31.21
Э-45

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА ВА ЭЛЕКТРОНИКА АСОСЛАРИ



31.21
Э-45

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА ВА ЭЛЕКТРОНИКА АСОСЛАРИ

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

TDU KUTUBXONASI
HIXOZ

Тошкент „Ўқитувчи" 1995

А. С. Каримов, М. М. Мирҳайдаров, Ғ. Р. Шоёқубов,
Б. А. Абдуллаев, С. Г. 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.: Ўқитувчи, 1995.—464 б.

31.21+32.85

№ 29—95
Алишер Навоий номидаги Ўзбекистон Республикаси Давлат кутубхонаси
Тираж 1500
Карт. тиражи 3000

К 2202010000—159 / 353 (04)—94 98—95

© „Ўқитувчи" нашриёти, 1995

ISBN 5—645—01921

Устозимиз проф. Ғофур Раҳимович Раҳимовнинг ёркин хотираларига бағишланади.

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

КИРИШ

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

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

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

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

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

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

Электротехника ва электроэнергетика соҳасидаги тадқиқотларимизнинг самараси ўлароқ якка 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 қувватли 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.

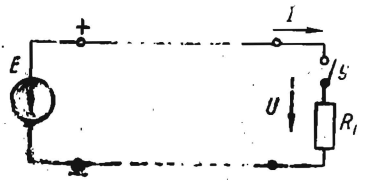
Ҳозирги даврда ишлаб чиқаришни бошқариш системасини автоматлаштириш, асосан, электротехник ва ярим ўтказгичли ҳамда микропрецессорли асбоблардан фойдаланиш билан ҳал этилмоқда. Шунинг учун бўлажак инженерлар халқ хўжалигининг турли соҳаларидаги вазифаларни муваффақиятли ҳал этишлари учун ихтисослиги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

1-боб. ЎЗГАРМАС ТОК ЭЛЕКТР ЗАНЖИРЛАРИ

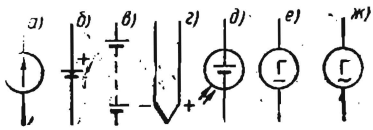
1.1. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Ҳар қандай электр занжири ўзаро симлар билан бириктирилган, битта ёки бир нечта электр энергияси манбаларидан ва 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) — $R_н$, бирлаштирувчи симлар (масалан, электр узатиш линияси) ва занжирни улаб-узиш учун мослама (улагич) — У каби элементлардан ташкил топган.

Занжирдан ток узлуксиз ўтиб туришининг асосий шарти 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. *а* — ЭЮК, *б* — гальваник элементлар ёки аккумулятор батареяла-

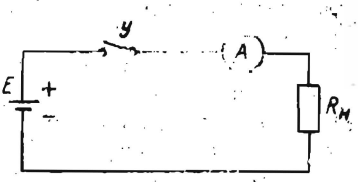


1.1-расм.



1.2-расм.

ри, *г* — термоэлементлар, *д* — фотоэлемент, *е* — ўзгармас токнинг электр машина генератори, *ж* — 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 занжирида электр энергиясининг манбаи (аккумулятор) мазкур занжирнинг ички қисмини, истеъмолчи (нагрузка) — $R_н$, 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 катталикдир:

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

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

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

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:

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

бу ерда: ρ — ўтказгичнинг солиштирма қаршилиги, Ом · м; l — ўтказгичнинг узунлиги, м; S — ўтказгичнинг кўндаланг кесим юзаси, м^2.

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 қаршиликнинг нисбатан катта бирликлари килоом (кОм) ва мегаом (МОм) дан ҳам фойдаланилади.

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

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

Солиштирма қаршиликка тескари катталик *солиштирма ўтказувчанликдир*:

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

Электротехникада турли мақсадлар учун тайёрланадиган симлар учун ишлатиладиган асосий материал нисбатан юқори солиштирма ўтказувчанликка эга бўлган металлардир (мис, алюминий, пўлат). Шунингдек, мазкур металларнинг котишмалари (манганин, константан, нихром ва б.) дан ҳам кенг фойдаланилади. Ушбу материалларга хос хусусиятлар 1 жадвалда кўрсатилган.

1-жадвал

Материал	Солиштирма ўтказувчанлиги (20°С)	Солиштирма қаршилиги (20°С)	Қаршилигининг (20÷100°С) даги температура коэффициенти, 1/°С
Кумуш	62,0	0,016	0,0035
Мис	57,0	0,0175	0,004
Алюминий	35,0	0,0294	0,004
Вольфрам	19,0	0,053	0,004
Пўлат	7,7	0,13	0,006
Манганин	2,4	0,42	0,00003
Константан	2,0	0,5	0,000005
Нихром	1,0	1,0	0,0001

1.2. ЭЛЕКТР ЗАНЖИРИНИНГ АСОСИЙ ҚОНУНЛАРИ

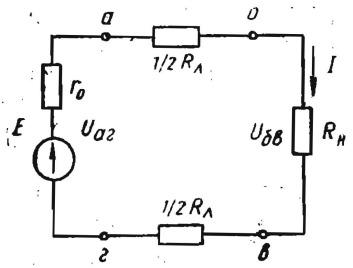
Ом қонуни электр занжирига оид асосий қонун бўлиб, занжирдаги ток ва кучланиш ўзаро қандай нисбатда боғланганлигини ифодалайди. Бу қонунга кўра тармоқланмаган берк занжирдаги (контурдаги) ток ЭЮК га тўғри пропорционал, занжирнинг тўла қаршилигига тескари пропорционалдир. Мазкур қонунга биноан 1.4-расмда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

$$I = \frac{E}{r_0 + R_л + R_н} = \frac{E}{r_0 + R_т}, \qquad (1.5)$$

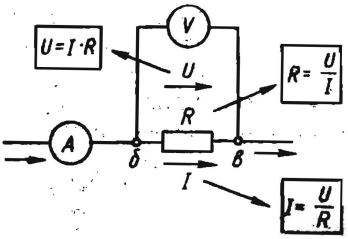
бу ерда r_0 — манбанинг ички қаршилиги; $R_л = \frac{1}{2} R_л + \frac{1}{2} R_л$ — электр узатиш линия симининг қаршилиги; $R_н$ — истеъмолчининг (нагрузканинг) қаршилиги; $r_0 + R_т$ — занжирнинг тўла қаршилиги; $R_т = R_л + R_н$ — ташқи занжирнинг қаршилиги.

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

$$I = \frac{U_{бв}}{R_н}, \qquad (1.6)$$



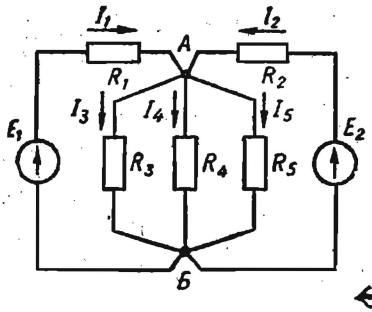
1.4-расм.



1.5-расм.

бундан

$$U_{бв} = I \cdot R_н.$$



1.6- расм.

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

Кирхгоф қонунлари мураккаб (икки ва ундан ортиқ контурли) электр занжирларни ҳисоблаш ва уларнинг электр ҳолатларини тўла аниқлаш учун хизмат қилади. Мураккаб занжирлар учун тармоқ, тугун ва контур тушунчалари қўлланади. *Тармоқ* — электр занжирининг маълум бир қисми бўлиб, кетма-кет бирлаштирилган қаршиликлар (резисторлар), энергия манбалари ва ҳоказолардан иборат. *Тугун* — электр занжирининг учта ва ундан ортиқ тармоқларининг бирлашган жойи. *Контур* — занжирнинг бир неча тармоқларидан иборат ёпиқ йўл. Масалан, 1.6- расмдаги электр занжири бешта тармоқ (булардан иккитасининг энергия манбаи бор), иккита тугун ва тўққизта контурдан иборат.

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

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

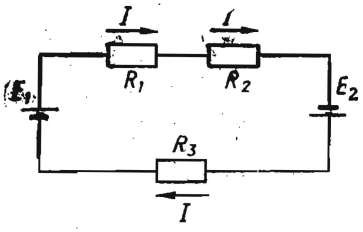
деб ёзиш мумкин. Бунда тармоқланиш тугуни келаётган токларни „+“ ишора ва ундан чиқиб кетаётган токларни „−“ ишора билан олган бўламиз. Умумий ҳолда

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

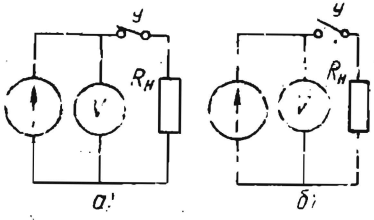
Кирхгофнинг иккинчи қонуни (кучланишлар қонуни) берк электр занжирининг қисмларида ЭЮК ва кучланишларнинг қандай тақсимланганлигини аниқлашга ёрдам беради. Бинобарин, берк контурдаги барча ЭЮК ларнинг алгебраик йиғиндиси шу контурнинг барча қисмларидаги кучланишлар пасайишининг алгебраик йиғиндисига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

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

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



1.7- расм.



1.8- расм.

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

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

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

1.3. МАНБА ВА ИСТЕЪМОЛЧИ ҚИСМАЛАРИДАГИ КУЧЛАНИШЛАР

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

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

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

$$A = U \cdot I \cdot t = W. \tag{1.11}$$

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

$$P = \frac{A}{t} = U \cdot I. \tag{1.12}$$

SI системасида қувватнинг ўлчов бирлиги сифатида *ватт* (Вт) қабул қилинган. 1 Вт = 1 Ж/1 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 Вт = 1 В · 1 А). Амалда қувватнинг қуйидаги ўлчов бирликлари: милливатт (мВт) [1 мВт = 10^{-3} Вт], киловатт (кВт) [1 кВт = 1000 Вт] ва мегаватт (МВт) [1 МВт = 10^6 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 ($I \cdot R_л = \Delta U_л$) ҳам шунчалик кичик бўлади. Натижада линиянинг фойдали иш коэффициенти юқори бўлади:

$$\eta = \frac{P_{ист}}{P_м} = \frac{U_{ист} \cdot I}{U_м \cdot I} = \frac{U_{ист} \cdot I}{\Delta U_л \cdot I + U_{ист} \cdot I}, \tag{1.13}$$

бу ерда $P_{ист}$ — истеъмолчининг қуввати; $P_м$ — манбанинг қуввати.

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

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

Халқаро бирликлар системасида энергия бирлиги қилиб жоуль қабул қилинган (1 Ж = 1 Вт · 1 с), аммо амалда киловатт-соатдан ҳам кенг фойдаланилади (1 кВт·соат = 1000 Вт × × 360 с = 3,6 · 10^6 Ж).

1.5. ЭЛЕКТР ТОКИНИНГ ИССИҚЛИК ТАЪСИРИ

Электр занжирларидаги қаршилик табиати жиҳатидан механикадаги ишқаланишга ўхшаб кетади, чунки ўтказгичда электр токини ҳосил қилувчи эркин электронларнинг илгарилама 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:

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

(1.14) формула Ленц-Жоуль конунининг 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 токларининг 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:

$$E = I \cdot r_0 + I \cdot R_л + I \cdot R_н = I \cdot (r_0 + R_л + R_н) = I \cdot (r_0 + R_т),$$

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

$$E \cdot I = I \cdot r_0 + I^2 \cdot R_л + I^2 \cdot R_н$$

ёки

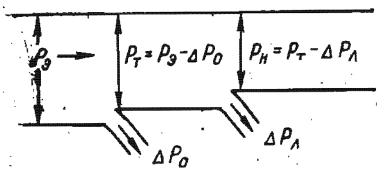
$$P_э = \Delta P_0 + \Delta P_л + P_н = \Delta P_0 + \Delta P_т. \qquad (1.15)$$

Бу ерда $P_э = E \cdot I$—манба ҳосил қилган электромагнит қувват. У манбанинг ўзида (ичида) $\Delta P_0 = I^2 \cdot r_0$ қувватга, узатиш линияси маълум қаршилик ($R_л$) га эга бўлгани сабабли узатилаётган қувватнинг $\Delta P_л = I^2 \cdot R_л$ қисми иссиқлик энергиясига, қолган қисми $P_н = I^2 \cdot R_н$ истеъмолчига (нагрузкага) сарфланади.

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

Амалда электр манбаининг ички қаршилиги занжирнинг ташқи қаршилигидан жуда кичик бўлади, яъни $r_0 \ll R_т$. Шунга кўра, электр генераторларнинг фойдали иш коэффициенти катта бўлади.

1.1-масала. Ички қаршилик 0,5 Ом, электр юритувчи кучи 150 В бўлган ўзгармас ток генераторининг қисмаларига икки симли узатиш линияси орқали қаршилиги 11,56 Ом бўлган нагрузка уланган (1.4-расм). Узатиш линияси алюминий симлардан иборат бўлиб, унинг параметрлари қуйидагича: узунлиги $l = 200$ м, кўндаланг кесими $S = 4$ мм², солиштирма қаршилиги $\rho = 0{,}0294 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$. Берилган катталиклар асосида қуйи-



1.9-расм.

дагилар аниқлансин: 1) занжирдаги ток — I; 2) генератор қисмаларидаги кучланиш — U; 3) нагрузка қисмаларидаги кучланиш — $U_н$; 4) генераторнинг электромагнит қуввати — $P_э$; 5) генераторнинг ичида сарфланаётган қувват исрофи — ΔP_0; 6) узатиш линиясидаги қувват исрофи — $\Delta P_л$; 7) юклама истеъмол қилаётган қувват — $P_н$; 8) занжирнинг қувватлар мувозанати.

Ечилиши. Узатиш линиясининг қаршилиги

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

Занжирнинг умумий қаршилиги

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

Ом қонунига биноан занжирдаги ток

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

Генератор қисмаларидаги кучланиш

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

Нагрузка қисмаларидаги кучланиш

$$U_н = U_г - I \cdot R_л = 145 - 10 \cdot 2{,}94 = 115{,}6 \text{ В}.$$

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

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

Нагрузка истеъмол қилаётган қувват

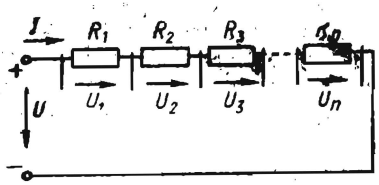
$$P_н = U_н \cdot I = 115{,}6 \cdot 10 = 1156 \text{ Вт} = 1{,}156 \text{ кВт}.$$

Занжирдаги қувватлар мувозанати

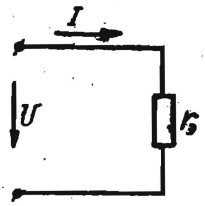
$$P_э = \Delta P_0 + \Delta P_л + P_н = 50 + 294 + 1156 = 1500 \text{ Вт} = 1{,}5 \text{ кВт}.$$

1.7. ЭЛЕКТР ЗАНЖИРИДАГИ ҚАРШИЛИКЛАРНИ УЛАШ СХЕМАЛАРИ

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



1.10- расм.



1.11- расм.

Қаршиликларни (истеъмолчиларни) кетма-кет улаш деб, бир қаршилик (R_1) нинг охирги учини иккинчи қаршилик (R_2) нинг бош учига, иккинчи қаршиликнинг охирги учини учинчи қаршилик (R_3) нинг бош учига ва ҳоказо бирлаштиришга айтилади (1.10- расм). Қаршиликлари кетма-кет бирлаштирилган, яъни *тармоқланмаган электр занжирининг* 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):

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

ёки

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

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

$$R_э = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n \qquad (1.16)$$

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

Демак, эквивалент қаршилик $R_э$ 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:

$$I = \frac{U}{R_э}. \qquad (1.17)$$

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

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

Қаршиликларни (истеъмолчиларни) параллел улаш деб, R_1, R_2, R_3, ..., R_n ва ҳоказо қаршиликларнинг бош учларини бир тугунга ва ана шу қаршиликларнинг охирги 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, ..., R_n қаршиликлар бош учларининг уланиш нуқталарига келувчи ток (I) шу нуқталардан (тугунлардан) тарқалувчи I_1, I_2, I_3, ..., I_n токларнинг йиғиндисига тенг (Кирхгофнинг I қонунига асосан):

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

ёки

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} + \ldots + \frac{U}{R_n} = U\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \right.$$

$$\left. + \ldots + \frac{1}{R_n}\right) = U \cdot \frac{1}{R_э}. \qquad (1.18)$$

Агар

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

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

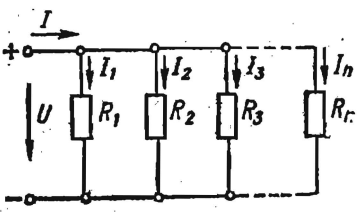
Агар $G_э = G_1 + G_2 + G_3 + \ldots + G_n$ бўлса, занжирдаги ток қуйидагича ифодаланади:

$$I = U \cdot G_э. \qquad (1.19)$$

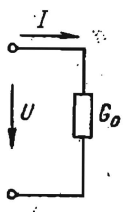
Бу ерда: G_1, G_2, G_3, ..., G_n — параллел тармоқларнинг ўтказувчанликлари, См;

$G_э$ — параллел тармоқларнинг эквивалент ўтказувчанлиги См.

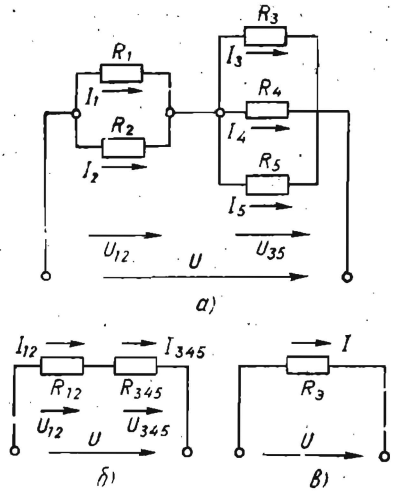
(1.19) формулага биноан 1.12 ва 1.13-расмлардаги схемаларни (занжирларни) ўзаро эквивалент дейиш мумкин. Демак,



1.12-расм.



1.13-расм.



1.14- расм.

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

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

$$R_э = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \qquad (1.20)$$

Қаршиликлари параллел уланган занжирнинг асосий афзаллиги шундаки, бундай занжирнинг бирон тармоғида узилиш содир бўлганида қолган тармоқлар нормал ишлайверади. Шунинг учун ҳам электр энергиясининг истеъмолчилари тармоққа, асосан, параллел усулда уланади.

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

Қаршиликлари аралаш уланган занжирларнинг эквивалент қаршилигини ҳисоблаш занжирнинг охирги 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 занжири учун қуйидагилар: $U = 36$ В, $R_1 = 8$ Ом, $R_2 = 2$ Ом, $R_3 = R_4 = 5$ Ом, $R_5 = 10$ Ом маълум бўлса, занжирнинг тармоқларидаги I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 токларнинг қиймати аниқлансин.

Ечилиши Занжирдаги R_1 ва R_2 қаршиликлар ўзаро параллел уланган учун уларнинг эквивалент қаршилиги

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

R_3, R_4, R_5 қаршиликлар ўзаро параллел уланган учун уларнинг эквивалент ўтказувчанлиги

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

Бундан

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

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

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

У ҳолда занжирдаги ток

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

Занжирнинг қисмларидаги кучланишлар эса

$$U_{1,2} = I \cdot R_{1,2} = 10 \cdot 1{,}6 = 16 \text{ В};$$
$$U_{3,4,5} = I \cdot R_{3,4,5} = 10 \cdot 2 = 20 \text{ В}.$$

У ҳолда тармоқлардаги токларнинг қиймати:

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

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

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 — $I_{ном}$, номинал кучланиш — $U_{ном}$ ва номинал қувват — $P_{ном}$ 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 мўлжалланган бўлади.

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

Электроэнергетик 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 турилади энг катта фойдали қувват тушунилади. Бошқа истеъмолчилар учун номинал қувват, уларнинг нормал режимда истеъмол қила оладиган электр қувватидир.

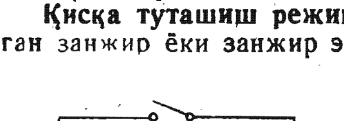
Электр энергияси истеъмолчиларинииг нормал режимда ишлашини таъминлаш учун, биринчи навбатда, уларнинг кириш қисмаларидаги ҳақиқий кучланишнинг номинал кучланиш қийматига тенг бўлишига эришмоқ зарур.

Электр занжирларининг иш режимлари турли сабабларга кўра номиналдан фарқ қилиши мумкин. Агар электр занжири режимининг ҳақиқий характеристикалари унинг номиналидан фарқ қилса-ю, аммо бу фарқ жоиз чегарада бўлса, бундай режим нагрузка **режими** дейилади. Масалан, радио ва телевизорлар учун кучланишнинг жоиз чегараси 210 ÷ 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 ($R_т = \infty$), занжирдан ток ўтмагандаги ($I = 0$) ҳолат тушунилади (1.15-расм). Бу ҳолда манба ичида кучланишнинг пасайиши нолга тенг бўлиб, унинг қисмаларидаги кучланиш генераторнинг (манбанинг) ЭЮК ига тенг бўлади ($E \approx U_т$).

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 туташиш режими деб, қисмаларида кучланиши бўлган занжир ёки занжир элементларининг (манба, истеъмолчи, узатиш линияси ёки бирлаштирувчи симлар) қаршиликсиз, ўзаро уланиб қолишига айтилади.



1.15-расм.

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

тади. Натижада катта иссиқлик ажралиб чиқиб, қурилманинг изоляцияси ишдан чиқади. Баъзи қисқа туташишларда электр ёйи ҳосил бўлиши мумкин. Умуман, қисқа туташиш режими нохуш оқибатларга олиб келиши сабабли уни *авариялы режим*, деб ҳам аталади. Қисқа туташиш электр қурилмаларини монтаж қилиш ва ундан фойдаланишнинг норма ва қоидаларига тўлиқ риоя қилинмаганлигининг натижасидир. Электр қурилмаларини қисқа туташув токларидан 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, токларни) 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 соддалаштириш.

2. Берилган электр занжири схемасини мустақил контурларга ажратиш.

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

4. Схемадаги 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 токлар тенгламасини тузиш, акс ҳолда охирги тугун учун тузилган тенглама аввалгиларига боғлиқ бўлиб қолади.

6. Кирхгофнинг иккинчи қонунига кўра (ўзаро боғлиқ бўлмаган) $K-(n-1)$ етишмовчи тенгламаларни тузиш (K — номаълум токлар 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 токларнинг (ички ва ташқи қаршиликда) барча тармоқларда ҳосил қилган кучланишлар пасайишини мусбат 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 токларни аниқлайлик (ЭЮК ва қаршиликлар маълум, деб фараз қиламиз).

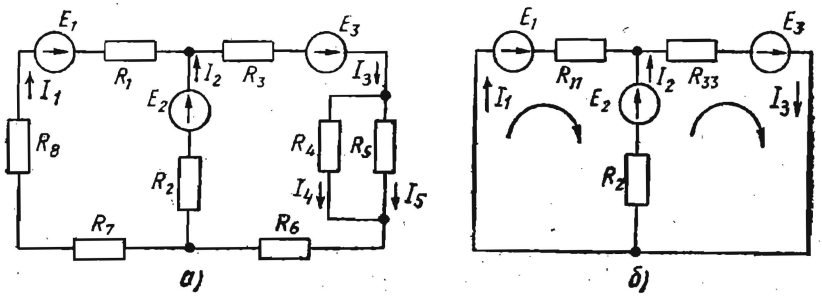
Берилган бошланғич схемани (1.16-расм, *а*) соддалаштиргандан сўнг 1.16-расм, *б* даги схема ҳосил бўлади.

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

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

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

(1.21) тенгламалар системасини ечиш натижасида айрим токлар мусбат ёки манфий ишорага эга бўлиб қолиши мумкин. Мусбат ишоралар токларнинг ҳақиқий йўналишлари тўғри белгиланганлигини, манфийлари эса токларнинг 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 токларнинг 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 токлар (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:

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

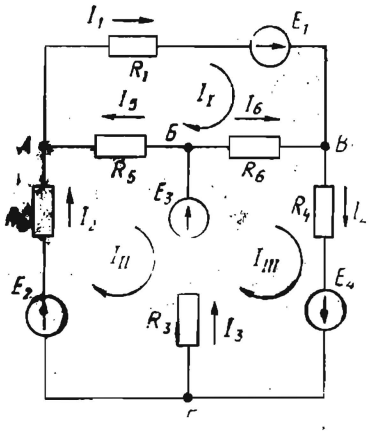
Мазкур тенгламалар системасини ечиб, $I_1 = 3$ А, $I_2 = 4$ А ва $I_3 = 7$ А эканлигини топамиз.

Демак, аниқланган барча токларнинг ишораси мусбат бўлиб чиқди, чунки тармоқлардаги токларнинг 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 токлари усули. Бу усул мураккаб электр занжирларини ҳисоблашда амалда кенг қўлланиладиган усуллардан бири бўлиб, Кирхгофнинг иккинчи қонунига биноан тузилган тенгламалар бўйича таҳлил қилинади.

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



1.17-расм.

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

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

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

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

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

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

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

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

4. Ёндош тармоқлардаги токларнинг йўналиши контур токларининг 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. Схемада нечта мустақил контур бўлса, ўшанча тенглама тузиш керак

Шундай қилиб, кўрилаётган 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:

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

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 йиғиндиси; R_{11}, R_{22}, R_{33} — тегишли контурлардаги қаршиликларнинг алгебраик йиғиндиси: R_{12}, R_{21}, R_{13}, R_{31}, R_{23}, R_{32} — тегишли ёндош контурлар орасидаги ёндош тармоқлар қаршиликларининг йиғиндиси 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}, ..., I_n контур токларини аниқлаш керак бўлса, n та тенглама тузилади, яъни:

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

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

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

Бу ерда Δ — тенгламалар системасининг бош аниқловчиси:

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

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

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

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

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:

$$E_{\text{I}} = E_1 = 20 \text{ В}; \quad E_{\text{II}} = E_2 - E_3 = 25 - 15 = 10 \text{ В};$$
$$E_{\text{III}} = E_3 + E_4 = 15 + 15 = 30 \text{ В}.$$

Ҳар бир контур қаршиликларининг йиғиндилари:

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

Ёндош тармоқларнинг қаршиликлари:

$$R_{12} = R_{21} = -5 \text{ Ом}; \quad R_{13} = R_{31} = -5 \text{ Ом};$$
$$R_{23} = R_{32} = -10 \text{ Ом}.$$

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

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

Мазкур тенгламалар системасининг бош аниқловчиси Δ 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 токларини 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 катталнклар ёрдамида контур токларини топамиз:

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

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

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

Контур токлари ёрдамида тармоқлардаги токларнинг ҳақиқий қийматини аниқлаймиз:

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

Демак, барча тармоқ токларининг қийматлари мусбат бўлгани туфайли 1.17-расмда кўрсатилган токларнинг йўналишлари ўзгаришсиз қолади

Тугун потенциаллари (кучланишлари) усули. Маълумки, агар занжирдаги берилган ЭЮК (ток) манбалари ва қаршиликлари бўйича занжирнинг тармоқларидаги токлар 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:

$$\varphi_{10}=\varphi_1-\varphi_0=\varphi_1;\quad \varphi_{20}=\varphi_2-\varphi_0=\varphi_2;\quad \ldots;$$
$$\varphi_{m0}=\varphi_m-\varphi_0=\varphi_m.$$

Бунда q ва S тугунлари орасига жойлашган $q-S$ тармоқнинг қисмаларидаги потенциаллар айирмаси $\varphi_{qs}=\varphi_q-\varphi_s$ бўлади. $\varphi_1, \varphi_2, \ldots, \varphi_m$ 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 токларини шу тармоқ ўтказувчанлигининг унинг элементидаги кучланишнинг пасайишига кўпайтмаси тарзида ифодалаймиз. Масалан, 1.18-расмдаги занжир учун бундай тенгламалар сони иккита бўлади, яъни:

$$I_1-I_2-I_3=0 \qquad (1.27)$$
$$I_3-I_4+I_5=0. \qquad (1.28)$$

а, *б* ва *в* тугунларнинг потенциалларини тегишлича $\varphi_a=-\varphi_1$, $\varphi_б=\varphi_2$ ва $\varphi_в=0$ орқали белгилаб, бутун занжирнинг токлари 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 $G_1, G_2, \ldots, G_5$ – занжир тегишли тармоқларининг ўтказувчанликлари.

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

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

ёки

$$\left.\begin{aligned} \varphi_1(G_1+G_2+G_3)-\varphi_2G_3=G_1E_1-I_1\\ -\varphi_1G_3+\varphi_2(G_4+G_4+G_5)=G_5E_2=I_2\end{aligned}\right\} \qquad (1.29)$$

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:

$$\left.\begin{aligned} \varphi_1G_{11}-\varphi_2G_{12}=I_1\\ -\varphi_1G_{21}+\varphi_2G_{22}=I_2\end{aligned}\right\}$$

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

$$\left.\begin{aligned} \varphi_1G_{11}-\varphi_2G_{12}-\ldots-\varphi_mG_{1m}=I_1,\\ -\varphi_1G_{21}+\varphi_2G_{22}-\ldots-\varphi_mG_{2m}=I_2,\\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\ -\varphi_1G_{m1}-\varphi_2G_{m2}-\ldots+\varphi_mG_{mm}=I_m.\end{aligned}\right\} \qquad (1.30)$$

Тенгламаларнинг чап қисмида фақат биттадан φ_kG_{kk} мусбат кўпайтма, қолганлари φ_qG_{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 ЭЮК ларнинг мазкур ЭЮК лар уланган тармоқлар ўтказувчанликларига кўпайтмасининг алгебраик йиғиндиси киради. E_qG_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 ечими аниқловчилар ёрдамида топилади, яъни:

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

бунда бош аниқловчи (Δ) қуйидагича ифодаланади.

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

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

Тармоқлардаги ҳақиқий токлар қуйидагича аниқланади:

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

$$I_k = \varphi_k G_k, \quad I_q = \varphi_q G_q, \ldots, \quad I_S = \varphi_s G_s$$

ва, худди шунингдек, k ва q, q ва S ва ҳоказо тугунларни уловчи 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 токлар тугун потенциаллари усули ёрдамида аниқлансин.

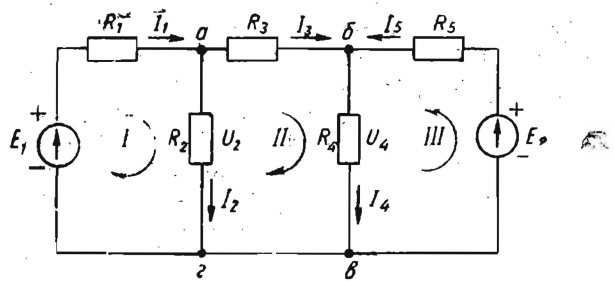
Ечилиши. Агар „$в - г$“ тугунларни битта тугун деб ҳисобласак ва унинг потенциалини $\varphi_0 = 0$ деб олсак, „$а$“ тугуннинг потенциали φ_1, „$б$“ тугунники эса φ_2 бўлади. Бинобарин, масала иккита тенглама билан ечилади:

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

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:

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

Тармоқлардаги токлар 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 1 қонунига биноан:

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

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

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

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

$$I_k = \sum_{n=1}^{m} In \qquad (1.31)$$

Тармоқлардаги хусусий токларнинг йўналишлари ўзаро мос бўлса, ҳақиқий ток мусбат, қарама-қарши бўлса манфий ҳисобланади. Шунинг учун тармоқлардаги токларнинг ҳақиқий йўналишларини схемадаги барча манбаларнинг токлари (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 токлар устлаш усули ёрдамида аниқлансин.

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

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

Занжирнинг тармоқланмаган қисмидаги ток:

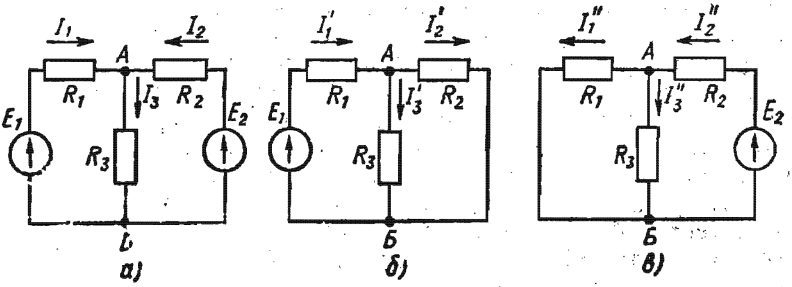
$$I_1' = \frac{E_1}{R_{1э}} = \frac{99}{16{,}5} = 6 \text{ А}.$$

Тармоқлардаги хусусий токлар:

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

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

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



1.19-расм.

$$R_{2э} = R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} = 6 + \frac{12 \cdot 8}{12 + 18} = 6 + 7{,}2 = 13{,}2 \text{ Ом}.$$

Занжирнинг тармоқланмаган қисмидаги ток:

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

Тармоқлардаги хусусий токлар:

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

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

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

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

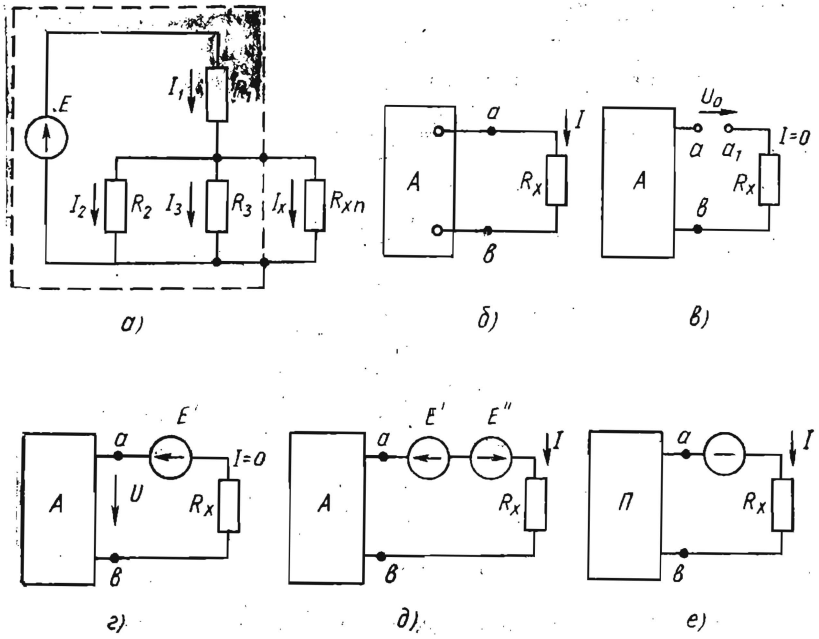
$$I_2 = I_2'' - I_2' = 5 - 4{,}5 = 0{,}5 \text{ А};$$

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

Демак, тармоқлардаги токларнинг ҳақиқий йўналишлари 1.19-расм, *а* да кўрсатилган йўналишларга мос келади

Эквивалент генератор (манба) усули. Мураккаб электр занжирининг ихтиёрий битта тармоғидаги токнинг қийматини аниқлаш керак бўлганда эквивалент генератор усули бирмунча қулай ҳисобланади. Масалан, 1.20-расм, *а* даги занжир *anb* тармоғининг R_x қаршилигидан ўтаётган I_x токини аниқлаш керак бўлсин. Албатта, бу ток занжирнинг пунктирга олинган қисмидаги ЭЮК (ЭЮК манбалари бирдан ортиқ бўлиши ҳам мумкин) таъсиридан ҳосил бўлган токдир. Занжирнинг пунктирга олинган қисми электротехникада икки қисмали ёки икки қутбли актив занжир дейилади. Шунга кўра, 1.20-расм, *б* 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, *в*), 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, *г*), R_x қаршилигидаги ток нолга тенглигича қолаверади.

Агар *anb* тармоғига қиймати ЭЮК E' га тенг, аммо йўналиши унга тескари бўлган ЭЮК E'' ни уласак (1.20-расм, *д*), R_x қаршилигидан қиймати бошланғич занжирдаги (1.20-расм, *а*) 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 токлар нолга тенг бўлади. Шунга кўра, *anb* шохобчадан ўтаётган ток қуйидагича аниқланади:

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

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

1.7-масала. 1.20-расм, *а* 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 $R_э$ ва ток I ни ҳисоблаш керак.

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

2.3. СИНУСОИДАЛ ЎЗГАРУВЧАН ФУНКЦИЯНИ ХАРАКТЕРЛОВЧИ КАТТАЛИКЛАР

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

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

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

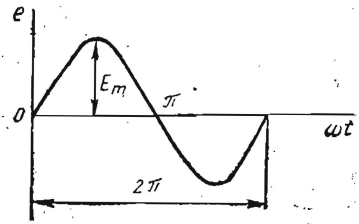
50 Гц частотали ўзгарувчан токни ҳосил қилиш (ёки синусоидал ўзгарувчан ЭЮК ҳосил қилиш) учун 2.2-расм, *а* даги икки қутбли ўзгарувчан ток генераторининг роторини

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

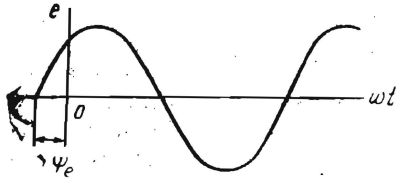
тезлик билан айлантириш керак.

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

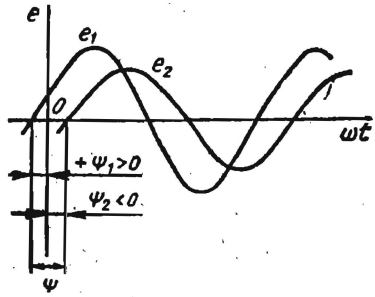
Ротори буғ турбиналари ёрдамида катта тезлик билан айланадиган турбогенераторларнинг магнит қутблари бир жуфтли бўлади. Роторининг айланиш тезлиги нисбатан кичик бўлган гидравлик турбиналарда эса кўп қутбли генераторлардан фойдаланилади.



2.4-расм.



2.5- расм.



2.6- расм.

Синусоидал ўзгарувчан функцияни характерловчи катталиклардан яна бири унинг фазасидир.

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

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

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

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

2.7 ифодадаги ω 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

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

Графикда бошланғич фаза бурчаги ψ 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 ψ га *фаза силжиш бурчаги* дейилади. Амалда ток билан кучланиш орасидаги фаза силжиш бурчаги φ ($\cos\varphi$) кўпроқ ишлатилади.

2.4. СИНУСОИДАЛ ЎЗГАРУВЧАН ФУНКЦИЯНИНГ ТАЪСИР ЭТУВЧИ ВА ЎРТАЧА ҚИЙМАТЛАРИ

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

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

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

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

$$Q = I^2RT$$

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

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

Қуйидаги ўзгартириш натижасида

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

чунки

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

Демак,

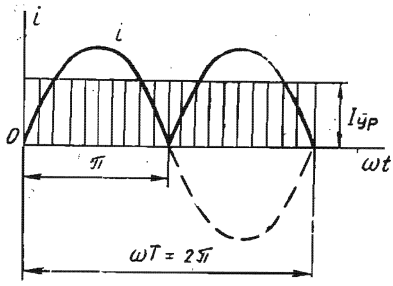
$$Q_\sim = \frac{I_m^2}{2} RT.$$

Иккала ток иссиқлик таъсирининг эквивалентлик шарти $Q_- = Q_\sim$ га биноан

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

ёки

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



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:

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

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

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:

$$I_{ўр} = \frac{1}{0{,}5T} \int_0^{0{,}5T} i\,dt = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_m \sin \omega t\,dt =$$

$$= \frac{I_m}{\pi} \Big| \cos \omega t \Big|_{\pi}^{0} = \frac{2I_m}{\pi} = 0{,}636\, I_m. \qquad (2.12)$$

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

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

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

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

Ўзгарувчан ток таъсир этувчи қийматининг унинг ўртача қийматига нисбати ($I/I_{ўр}$) синусоида шаклининг коэффициенти $K_ф$ ни ифодалайди:

$$K_ф = \frac{I}{I_{ўр}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1{,}11. \qquad (2.15)$$

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:

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

2.5. СИНУСОИДАЛ ЎЗГАРУВЧИ КАТТАЛИКЛАРНИ АЙЛАНУВЧАН ВЕКТОРЛАР ЁРДАМИДА ИФОДАЛАШ

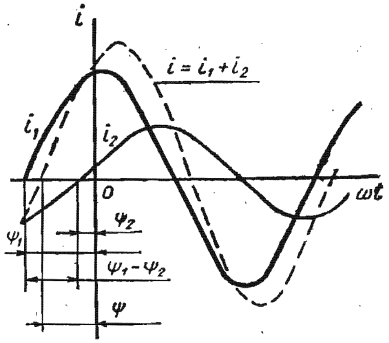
Вектор диаграммалар. Ўзгарувчан ток занжирлари назариясини ўрганишда ва занжирдаги жараёнларни текширишда, баъзан, турли амплитуда ва бошланғич фазага эга бўлган бир хил частотали синусоидал миқдорларни қўшиш ёки айириш керак бўлади. Бу масалани аналитик ва графикавий усулларда, шунингдек айланувчан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

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

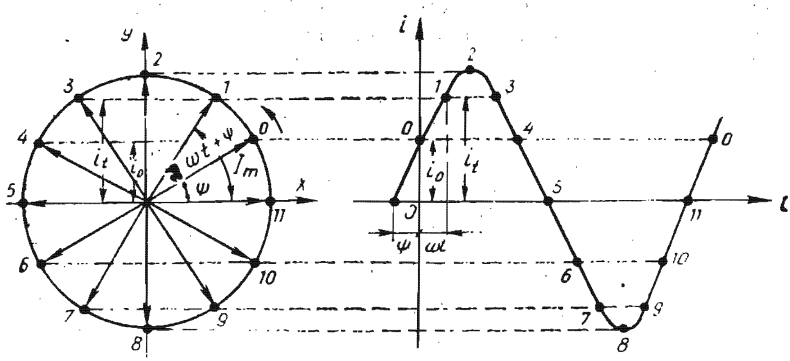
берилган бўлса, уларнинг йиғиндиси аналитик усул асосида қуйидаги тригонометрик ўзгартиришлар натижасида аниқланади:

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

Кўриниб турибдики, тенг таъсир этувчи ток i ҳам ўша частотада синусоидал қонун бўйича ўзгаряпти. Қўшилувчилар сони орта борган сари тенг таъсир этувчи токни тригонометрик алмаштиришлар йўли билан аниқлаш тобора мураккаблашади. Шунинг учун, бу усулни амалий ҳисоблашлар учун қўллаб бўлмайди. Бу 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 ω бурчак частотасига эга бўлган синусоидал ЭЮК кучланиш ва токлар тўғри бурчакли координаталар системасида ω бурчак тезликка тенг бўлган айланувчан векторлар тарзида ифодаланади.

Айланувчан радиус-векторнинг узунлиги синусоидал катталикларнинг амплитуда (ёки эффектив) қийматига тенг қилиб олинади, Масалан, ток $i = I_m \sin(\omega t + \psi)$ ни айланувчан вектор тарзида ифодалаш керак бўлсин. Бунинг учун тўғри бурчакли координаталар системасини олиб (2.9- расм), координата бошидан ψ 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 ω бурчак тезлик билан ҳаракатланаётган бўлса, унинг ордината ўқига проекцияси вақт бўйича синусоидал қонунга кўра ўзгаради. Фараз қилайлик, t вақт давомида мазкур вектор ωt бурчакка бурилган бўлсин. У ҳолда векторнинг ордината ўқига проекцияси синусоидал катталикнинг оний қиймати ($ob = i = I_m \sin(\omega t + \psi)$) ни ифодалайди. Вектор $\overline{I}_m$ ни бошланғич ҳолатига нисбатан турли бурчакларга буриш билан унинг тегишли оний қийматларини аниқлаш мумкин. Радиус-вектор $\overline{I}_m$ нинг бир марта тўлиқ айланиб чиқиши синусоидал токнинг бир марта тўлиқ ўзгаришига мосдир, яъни радиус-векторнинг вақт бирлиги ичидаги айланишлар частотаси (сони) синусоидал токнинг частотасига тенг демакдир.

Вектор диаграммаларни тузишда ва унга ўтишда қуйидагиларга риоя қилиниши керак:

1. Векторларга фақат бир хил ω частотали синусоидал катталиклар бўлгандагина ўтиш мумкин.

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

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

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

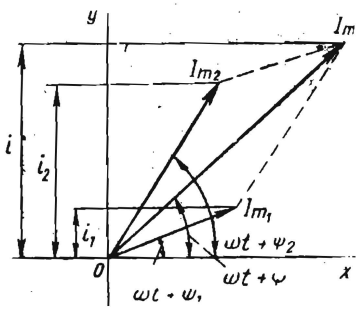
5. Бошланғич фазаси мусбат бўлган вектор координата бошида соат мили ҳаракатига тескари йўналишда, манфийси эса соат милининг ҳаракати йўналишида қўйилиши керак.

Юқоридаги шартларни ҳисобга олган ҳолда икки синусоидал катталик $i_1 = I_{m_1}\sin(\omega t+\psi_1)$ ва $i_2 = I_{m_2}\sin(\omega t+\psi_2)$ нинг йиғиндиси $i = i_1 + i_2 = I_m \sin(\omega t + \psi)$ ни айланувчан векторлар ёрдамида аниқлашнинг тасвири 2.10-расмда кўрсатилган.

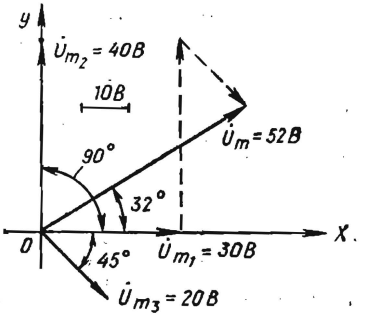
Кўпинча вектор диаграммаларда айланувчан векторларнинг узунлиги синусоидал миқдорларнинг амплитудавий қийматига тенг бўлмасдан, балки унинг таъсир этувчи қийматини ифодалайди. Бунда вектор диаграмма қуриш масштаби $\sqrt{2}$ марта ўзгаради.

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

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



2.10-расм.



2.11-расм.

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

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

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

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

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

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

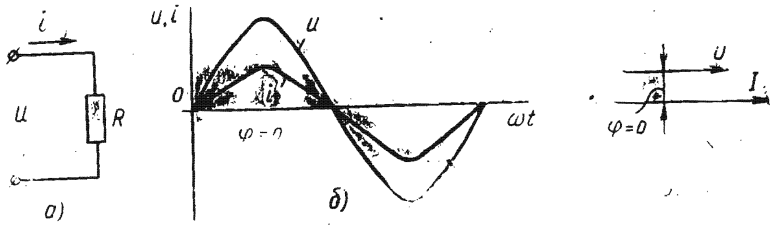
Энди транспортир ёрдамида $\bar{U}_m$ билан абциссалар ўқи орасидаги бурчакни ўлчаймиз. Мазкур бурчак занжирдаги умумий кучланишнинг фаза силжиши бурчаги бўлиб, $\psi + 32°$ га тенг. У ҳолда занжирда умумий кучланишнинг ўзгариш қонунияти қуйидагича ифодаланади:

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

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

Умумий тушунчалар. Барча электротехник қурилмалар маълум даражада қаршилик R, индуктивлик L ва 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 алмашиниш жараёни содир бўлгани учун мазкур элементлар реактив элемент-



2.12-расм.

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

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

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

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

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

бу ерда

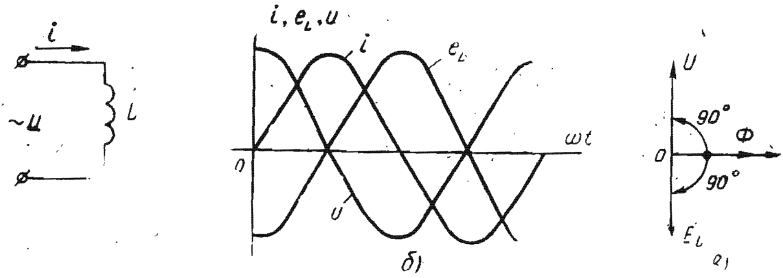
$$I_m = \frac{U_m}{R}. \qquad (2.17)$$

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

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

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

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



2.13- расм.

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

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

e_L ғалтакнинг индуктивлиги ва токнинг ўзгариш тезлигига боғлиқ, яъни

$$e_L = -L\frac{di}{dt} \tag{2.19}$$

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

Кирхгофнинг иккинчи қонунига асосан занжирнинг электр мувозанат тенгламаси

$$u = -e_L = L\frac{di}{dt}. \tag{2.20}$$

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

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

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

Демак, индуктив ғалтакли занжирдаги кучланиш билан ток (графиклари ва векторлари) орасидаги фаза силжиш бурчаги $\varphi = +90°$, яъни кучланиш токдан фаза бўйича 90° 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:

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

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

$$X_L = \omega L = 2\pi f L. \qquad (2.23)$$

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:

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

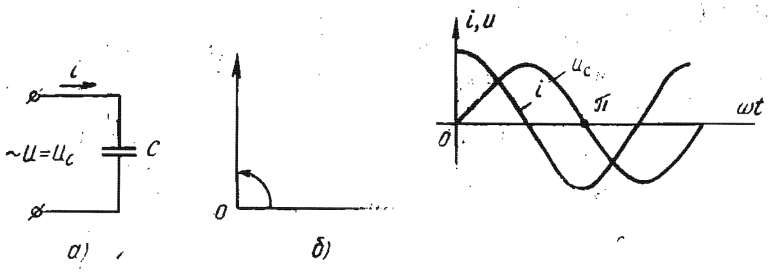
Агар $q = C \cdot u$ эканлигини ва (2.24) формулани ҳисобга олсак, конденсатор уланган занжирдаги токнинг ўзгаришини ифодаловчи тенгликни ҳосил қиламиз:

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

Демак, конденсатор уланган занжирдаги ток кучланишдан фаза бўйича 90° 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:

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

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

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

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

2.7. АКТИВ ВА РЕАКТИВ ҚАРШИЛИКЛАРИ ЎЗАРО 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 қаршиликдаги кучланишнинг пасайиши $u_R = iR$; 2) индуктив ғалтакдаги ўзиндукция ЭЮК ни мувозанатловчи кучланиш $u_L = -e_L$; 3) конденсаторнинг қопламаларидаги кучланиш u_C.

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

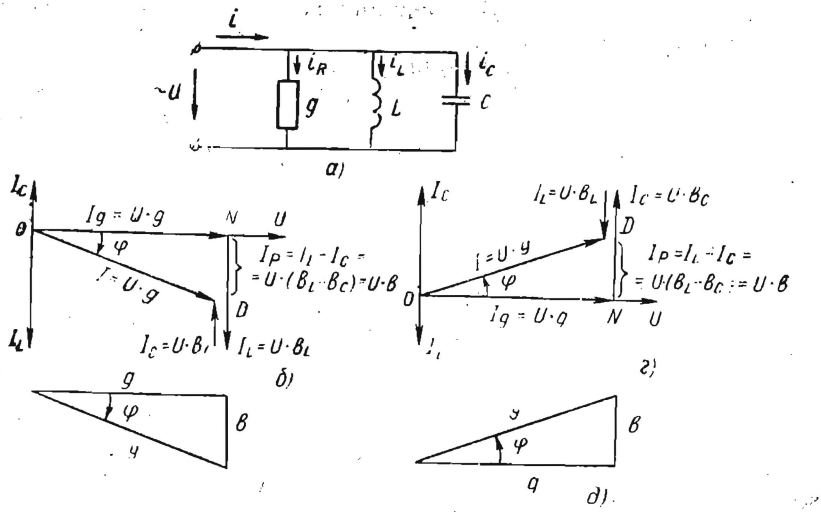
$$u = u_R + u_L + u_C. \qquad (2.28)$$

(2.28) ифодага биноан занжирдаги кучланишнинг ўзгариши:

$$u = U_{R_m} \sin \omega t + U_{L_m} \sin (\omega t + 90°) + U_{C_m} \sin (\omega t - 90°) =$$
$$= U_m \sin (\omega t + \varphi). \qquad (2.29)$$

Бунда фаза силжиш бурчаги φ нинг ишораси занжирдаги реактив қаршиликлардан қайси бирининг катталигига боғлиқ.

Актив ва реактив қаршиликлари 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 қийматга эга бўлгани учун у бош вектор тарзида олинган. Актив қаршиликдаги кучланиш вектори $(\overline{U}_R = \overline{I} \cdot R)$ ток вектори $(\overline{I})$ билан фазалар бўйича мос тушади; индуктив ғалтакдаги кучланиш вектори $(\overline{U}_L)$ ток вектори $(\overline{I})$ дан 90° илгари келади; конденсатордаги кучланиш $(\overline{U}_C)$ ток вектори $(\overline{I})$ дан 90° кечикади. Демак, реактив кучланиш векторлари $\overline{U}_L$ ва $\overline{U}_C$ ўзаро қарама-қарши йўналган бўлиб, улар орасидаги бурчак 180° ни ташкил этади.

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

$$\overline{U} = \overline{U}_R + \overline{U}_L + \overline{U}_C. \qquad (2.30)$$

Вектор диаграмма қуриш натижасида ҳосил бўлган кучланишлар учбурчаги OAB дан эса кучланишларнинг абсолют қийматларини аниқлаш мумкин:

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

Шундай қилиб, берилган занжир учун Ом қонунининг ифодаси:

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

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

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

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

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

1. Агар $X_L > X_C$ (яъни $U_L > U_C$) бўлса (2.15-расм, *б*) занжирга берилган кучланиш токдан фаза бўйича φ_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, *г*), занжирга берилган кучланиш токдан фаза бўйича φ_u бурчакка кечикади:

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

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

2.8. АКТИВ ВА РЕАКТИВ ҚАРШИЛИКЛАРИ ЎЗАРО ПАРАЛЛЕЛ УЛАНГАН ЗАНЖИР

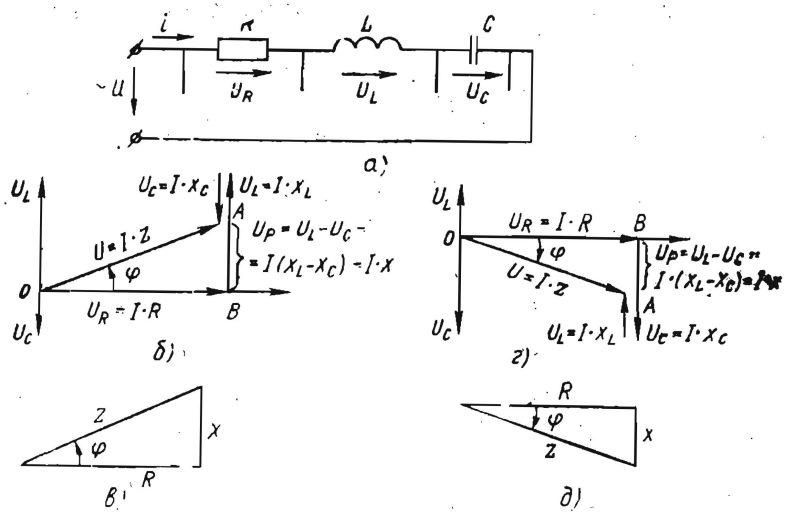
Тармоқланган (параллел) ўзгарувчан ток занжирларини таҳлил қилиш ва ҳисоблаш учун ўтказувчанликдан фойдаланиш қулайдир. Тармоқланган ўзгарувчан ток занжирида (2.16-расм, *а*) ўтказувчанлик уч турга бўлинади: актив ўтказувчанлик $g = \frac{1}{R}$; реактив ўтказувчанлик $b = b_L - b_C$ (бу ерда $b_L =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

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

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.

$$= gU_m \sin\omega t - \frac{U_m}{\omega L}\cos\omega t + \omega C U_m \cos\omega t =$$

$$= I_{gm}\sin\omega t - I_{L_m}\sin(\omega t - 90°) + I_{C_m}\sin(\omega t + 90°) =$$

$$= I_m \sin(\omega t - \varphi), \qquad (2.34)$$

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

Бунда фаза силжиш бурчаги φ 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 $\overline{I}_g = g \cdot \overline{U}$ кучланиш вектори $\overline{U}$ билан фазалар бўйича мос тушади, индуктив ғалтакдаги ток $\overline{I}_L$ кучланиш вектори $\overline{U}$ дан 90° га кечикади ва ниҳоят конденсатордаги ток вектори $\overline{I}_C$ кучланиш вектори $\overline{U}$ дан 90° илгарилаб келади. Қарама-қарши фазада бўлган токлар ($\overline{I}_L$ ва $\overline{I}_C$) нинг векторлари орасидаги бурчак 180° га тенг.

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

$$\overline{I} = \overline{I}_g + \overline{I}_L + \overline{I}_C. \qquad (2.35)$$

Вектор диаграммани қуриш натижасида ҳосил бўлган токлар учбурчаги OND дан

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

Берилган занжир учун Ом қонунининг ифодаси:

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

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

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

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

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

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

2. Агар $b_L<b_C$ бўлса, занжирдаги умумий ток I кучланиш U дан фаза бўйича φ бурчакка илгарилаб келади (2.16-расм, *г*). 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, *б*), иккинчи ҳолда эса актив-сиғим (2.16-расм, *г*) характерига эга ҳисобланади. Агар $b_L=b_C$ бўлса, $I_L=I_C$ бўлиб, занжирда токлар резонанси ҳодисаси рўй беради.

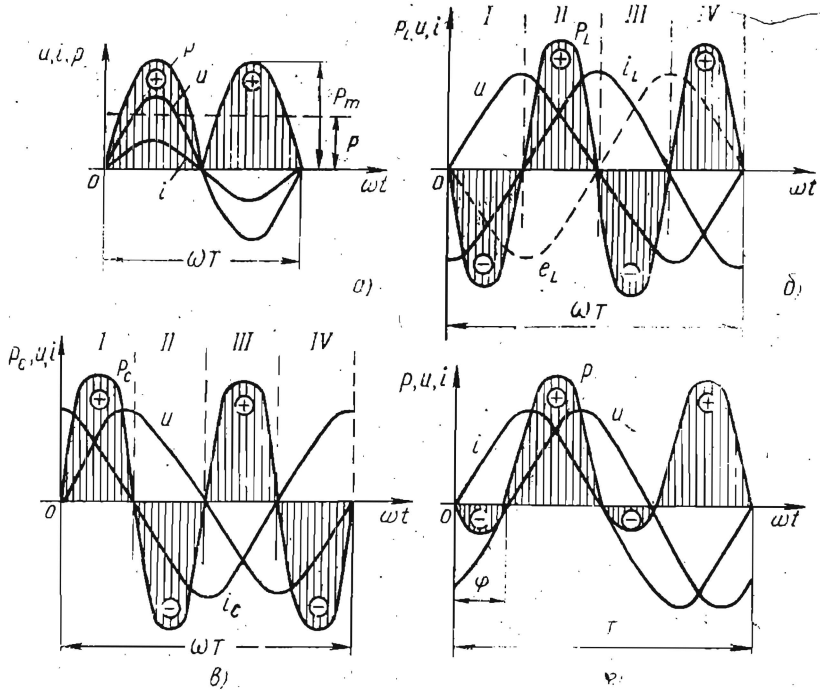
2.9. ЎЗГАРУВЧАН ТОК ЗАНЖИРИДАГИ ЭНЕРГЕТИК ЖАРАЁНЛАР

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

$$p=u_k\cdot i=U_m\sin\omega t\cdot I_m\sin\omega t=U_mI_m\sin^2\omega t, \qquad (2.38)$$

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

Оний қувват графигидан (2.17-расм, *а*) кўринадики, актив қаршиликли занжирдаги қувват O дан P_m гача даврий равишда ўзгаради, бунда унинг ишораси мусбат бўлади. Бу манбадан истеъмол қилинаётган энергиянинг қаршилик 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:

$$P_{ўр}=\frac{1}{T}\int_0^T Pdt=\frac{1}{T}\int_0^T u\cdot idt=\frac{U_m\cdot I_m}{T}\int_0^T \sin^2\omega t dt=$$

$$=\frac{U_mI_m}{T}\int_0^T\frac{1-\cos 2\omega t}{2}dt=\frac{U_mI_m}{2}=U\cdot I. \qquad (2.39)$$

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

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

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

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

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

$$p_L = u_L \cdot i = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) =$$

$$= -\frac{U_m I_m}{2} \sin 2\omega t = -U \cdot I \sin 2\omega t, \qquad (2.41)$$

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 кўринадики, 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).

$$p_C = u_C \cdot i = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin(\omega t + \pi/2) =$$

$$= \frac{U_m I_m}{2} \sin 2\omega t = U \cdot I \sin 2\omega t, \qquad (2.42)$$

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 кўринадики, 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 $W_э = Cu^2/2$ тарзида тўпланади (мусбат ярим тўлқин). Конденсатор қопламаларидаги кучланиш U_m дан O гача ўзгараётган II ва IV чораклардa 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 алмашиниб 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 алмашиниш жадаллигини сон жиҳатдан баҳолаш учун реактив қувват тушунчаси киритилади. Улар Q_L ва Q_C ҳарфлари билан белгиланади.

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

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

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

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T uidt = 0.$$

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 φ нинг қийматига боғлиқ. Силжиш бурчаги φ қанча катта бўлса, бу энергия шунча катта бўлади ва аксинча. Бу оний қувват ифодасидан ҳам кўриниб турибди:

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

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

2.10. ЎЗГАРУВЧАН ТОК ЗАНЖИРИНИНГ ҚУВВАТИ ВА ҚУВВАТ КОЭФФИЦИЕНТИ

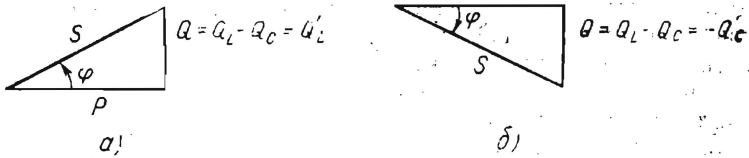
2.15-расм, *б* ва *г* даги кучланишлар учбурчаги OAB нинг учала томонини ток I га кўпайтириш билан қувватлар учбурчагини ҳосил қиламиз (2.18-расм, *а* ва *б*). Мазкур учбурчакнинг томонлари эса қуйидагиларни билдиради:

$P = U_k \cdot I = I^2 \cdot R$—занжирнинг актив қуввати;

$Q = U_x \cdot I = I^2 \cdot X$—занжирнинг реактив қуввати;

$S = U \cdot I = I^2 \cdot Z$—занжирнинг тўла қуввати;

$\cos\varphi = P/S$—занжирнинг қувват коэффициенти.



2.18- расм.

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

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

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

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

SI 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 $U_{ном}$ ва номинал ток $I_{ном}$ 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 φ қанчалик кичик бўлса, бу миқдор шунчалик катта бўлади. Аммо ўзгарувчан ток занжири энергия тўпловчи реактив L ва C элементларга эга бўлганлиги учун ҳамма вақт $\cos\varphi < 1$ (ёки $P < UI$) бўлади. $\cos\varphi = 1$ бўлганда тўла қувват бутунлай фойдали иш бажариш учун сарф бўлади. Аксинча, $\cos\varphi$ бирдан қанча кичик бўлса, аввалгидай фойдали иш бажариш учун S нинг қийматини шунча ошириш керак бўлади. Масалан, $U = 400$ В кучланишда $P = 6$ кВт актив қувватни таъминлаш учун тармоқдан истеъмол қилинадиган ток ва тўла қувват:

$\cos\varphi = 1$ бўлганда $I = 15$ А, $S = 6$ кВА
$\cos\varphi = 0{,}8$ бўлганда $I = 18$ А, $S = 7{,}5$ кВА
$\cos\varphi = 0{,}6$ бўлганда $I = 25$ А, $S = 10$ кВА
$\cos\varphi = 0{,}4$ бўлганда $I = 37{,}5$ А, $S = 15$ кВА.

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

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

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

2.11. КУЧЛАНИШЛАР РЕЗОНАНСИ

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

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

Демак, резонанс пайтида занжирдаги ток актив 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, *а* ва *б* да кўрсатилган. Улардан кўринадики, резонанс пайтида қарама-қарши фазада бўлган реактив (резонанс) кучланишлар U_L ва U_C ўзаро тенг бўлиб, бир-бирларини тўла компенсациялайди. Ҳақиқатан ҳам $\bar{I} \cdot X_L = \bar{I} \cdot X_C$, у ҳолда $\bar{U}_L = \bar{U}_C$ ҳисобланади. Бундай пайтда $U = U_R$ бўлади.

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

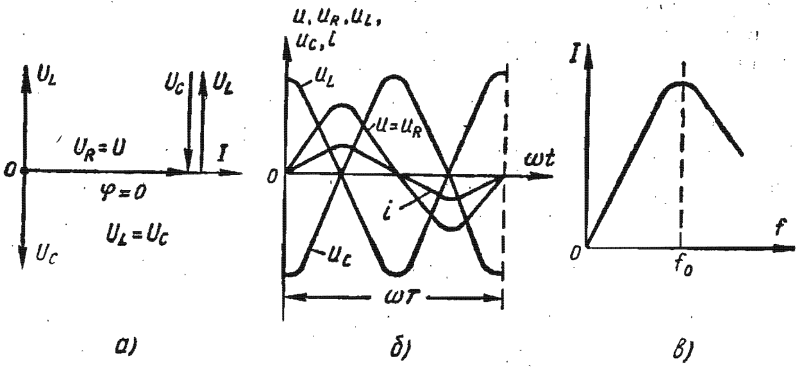
Кучланишлар резонансининг катталиги реактив элементлар қаршиликларининг актив қаршиликдан неча марта катта бўлишига боғлиқ. Бу қуйидаги ифодалардан ҳам кўриниб турибди:

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

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

Демак, кучланишлар резонанси актив қаршилиги унча катта бўлмаган занжирларда яққол билиниб туради. Кучланишлар резонанси аввалдан ҳисобга олинмаса, резонанс пайтида юзага 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 сиғимдаги 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 сиғимини ўзгартириш билан юзага келтириш мумкин.

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

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

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

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

2.12. ТОКЛАР РЕЗОНАНСИ

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

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

У ҳолда занжирдаги ток Ом қонунига биноан

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

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

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

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

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

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

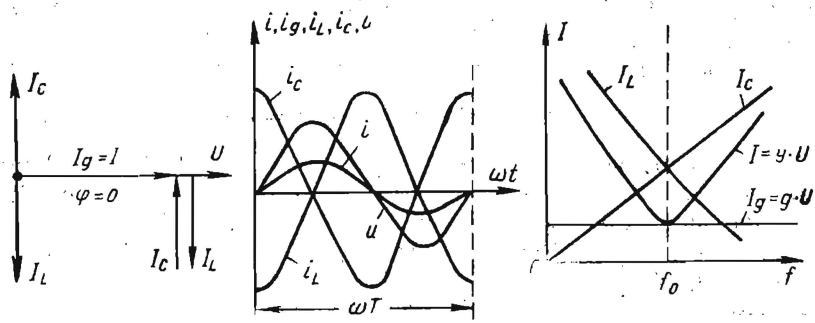
Демак, токлар резонанси актив ўтказувчанлиги унча катта бўлмаган занжирларда содир бўлиши мумкин. Токлар резонанси ҳам кучланишлар резонанси каби учта усул билан юзага келтирилиши мумкин.

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

Токлар резонансида манбадан келаётган энергия занжирда сарф бўлаётган актив энергиянигина қоплаб, занжирни улаш лаҳзаси L ва C элементларида эришилган токлар 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 сиғим қуввати, қурилманинг реактив индуктив қувватини қисман компенсациялаб, истеъмолчидан тармоққа қайтариладиган умумий реактив қувватнинг миқдорини ва таъсирини камайтиришга ёрдам беради, яъни

$$Q = Q_L - Q_C.$$



2.20- расм.

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

3- БОБ. УЧ ФАЗАЛИ ЎЗГАРУВЧАН ТОК ЗАНЖИРЛАРИ

Умумий тушунчалар

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Статорнинг пазларига (ариқчаларига) ўрамлар сони ўзаро тенг бўлган ва бир-биридан фаза бўйича 120° га силжиган (ёки $T/3$ даврга фарқ қилган) учта $A—X$; $B—Y$; $C—Z$ чулғамлар жойлаштирилган. Чулғамларнинг бош учлари A, B, C ва охирги 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 ω 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:

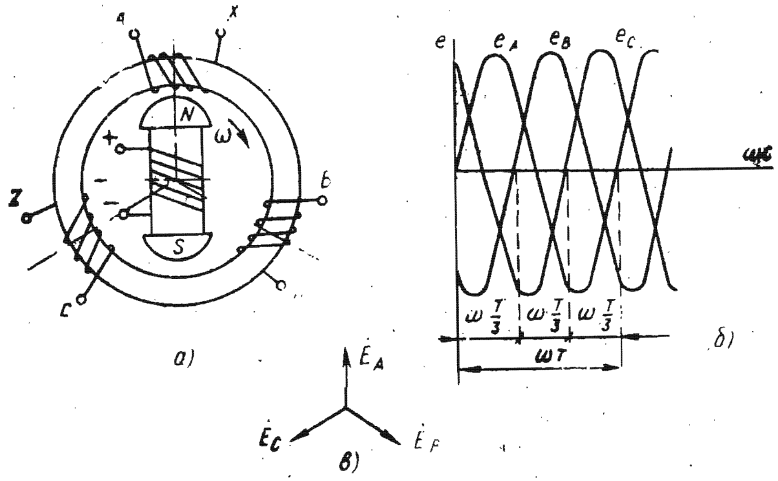
$$\left.\begin{aligned} e_A &= E_m \sin \omega t \\ e_B &= E_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \\ e_C &= E_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \end{aligned}\right\} \qquad (3.1)$$

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

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

---

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



3.1-расм.

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

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

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

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

Частота ва амплитудалари бир хил бўлиб, фаза жиҳатдан $2\pi/3$ га фарқ қилган учта ЭЮК лар (ёки токлар) йиғиндиси уч фазали ЭЮК ларнинг (ёки токларнинг) 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 кўринадики ҳар бир фаза ЭЮК лари ўзларининг максимумларига $T/3$ давр ўтиб эришади. Шунга кўра, ЭЮК векторлари $\bar{E}_A$, $\bar{E}_B$, $\bar{E}_C$ ларнинг геометрик йиғиндиси қуйидагича (3.1-расм, *в*)

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

бўлиб, қиррали симметрик юлдуз шаклини ташкил этади.

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

3.2. МАНБА ВА ИСТЕЪМОЛЧИЛАРНИ ТЎРТ СИМЛИ ЮЛДУЗ УСУЛИДА УЛАШ

Генератор ва истеъмолчи фазалари охирги учларини тегишлича O ва O' нуқталарга улаш *юлдуз усулида улаш* дейилади (3.2-расм). Бундай улаш усули „Y" 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 токлар *линия токлари* дейилади ва улар $I_л$ деб белгиланади.

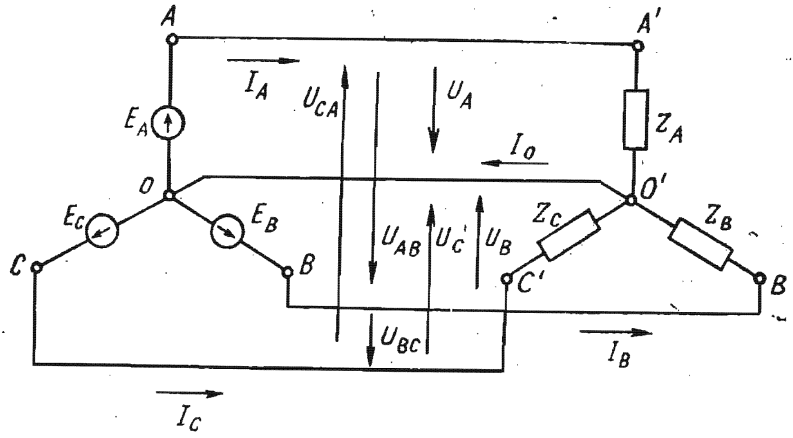
Манба ва истеъмолчининг бир номли фазаларидан ўтадиган I_A, I_B, I_C токлар *фаза токлари* дейилади ва улар $I_ф$ деб белгиланади. Юлдуз усули билан улашда манба ва истеъмолчининг бир номли фазалари кетма-кет уланган учун линия ва фаза токлари ўзаро тенг бўлади:

$$I_л=I_ф. \qquad (3.2)$$

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 $U_ф$) 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 $U_л$) тарзда ёзиш қабул қилинган.

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



3.2 расм.

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

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

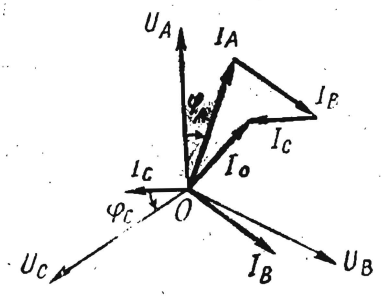
$$\sin\varphi_A=\frac{X_A}{Z_A};\quad \sin\varphi_B=\frac{X_B}{Z_B};\quad \sin\varphi_C=\frac{X_C}{Z_C}\ \text{ёки}\ \sin\varphi_\Phi=\frac{X_\Phi}{Z_\Phi}$$

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 охирги X, Y, Z учларидан унинг бош учлари A, B, C томон йўналиши олинган. Истеъмолчиларда кучланиш ва токнинг мусбат йўналиши қилиб уларнинг бош учларидан охирги учларига томон йўналиш қабул қилинган.

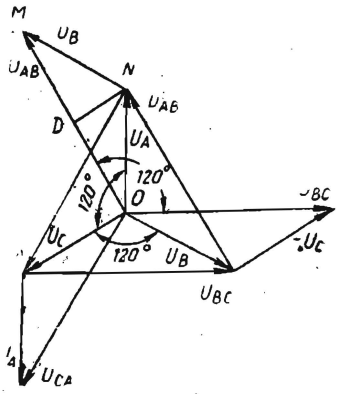
Нолинчи симдан ўтадиган ток I_O тарзда белгиланади. Кирхгофнинг биринчи қонунига мувофиқ нолинчи симдаги ток линия (ёки фаза) токларининг геометрик йиғиндисига тенг, яъни

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

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



- расм.



3.4- расм.

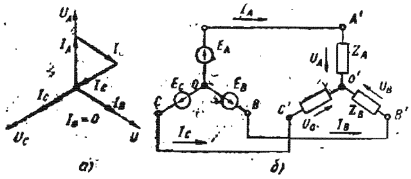
ихтиёрий O нуқтадан U_A, U_B, U_C фаза кучланишларининг векторлари 120° фарқ билан чизилади. Сўнгра I_A, I_B, I_C фаза токлари кучланишларга нисбатан φ_A, φ_B, φ_C кечикувчи бурчаклар остида чизилиб, ток I_0 нинг қиймати (3.3) ифодага биноан аниқланади.

Тўрт симли системада уч фазали занжирнинг ҳар бир фазаси мустақил занжир ҳисобланади. Фаза қаршиликларининг қийматидан қатъи назар учала фаза кучланиши ўзаро тенг, яъни $U_A = U_B = U_C = U_ф$. Бирон фазадаги қаршиликнинг 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 қаршилик қизийди ёки куйиб 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 чиқишда 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:

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

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



3.5- расм.

тиёрий O нуқтадан фаза кучланишларининг $\overline{U}_A$, $\overline{U}_B$, $\overline{U}_C$ векторлари ўзаро 120° фарқ билан чизилади. Сўнгра фаза кучланишларининг маълум қийматларига кўра (3.4) ифодага биноан линия кучланишларининг вектор диаграммасини қуриб, унинг қийматини аниқлаймиз (3.4- расм). Ушбу векторлар диаграммасидан кўринадики, учала линия кучланишлари ўзаро тенг ва фаза жиҳатдан бир-бирларига нисбатан 120° га силжиган. Тенг ёнли OMN учбурчакдан қуйидагиларни аниқлаймиз:

$$OM = 2\,OD = 2\,ON\cos 30° = \sqrt{3}\,ON.$$

Агар $OM = U_{AB} = U_л$ ва $ON = U_A = U_ф$ бўлса, у ҳолда

$$U_л = \sqrt{3}\,U_ф. \qquad (3.5)$$

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 сиғим ва индуктивликка эга бўлса, бундай нагрузка симметрик ҳисобланади. Симметрик нагрузкада линия токларининг геометрик йиғиндиси нолга тенг, яъни

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

(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 $U_л = \sqrt{3}U_ф$ ифода нагрузка симметрик бўлганидагина кучга эга.

3.4. ИСТЕЪМОЛЧИЛАРНИ УЧБУРЧАК УСУЛИДА УЛАШ

Уч фазали ток истеъмолчиларини учбурчак усулида улаш деб, биринчи фазанинг охирги учи X' ни иккинчи фазанинг бош учи B' билан, иккинчи фазаниг охирги учи Y' ни учинчи фазанинг бош учи C' билан ва учинчи фазанинг охирги учи Z' ни биринчи фазанинг бош учи A' билан улашга айтилади (3.6-расм, *а*). Бундай улаш усули „△“ 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:

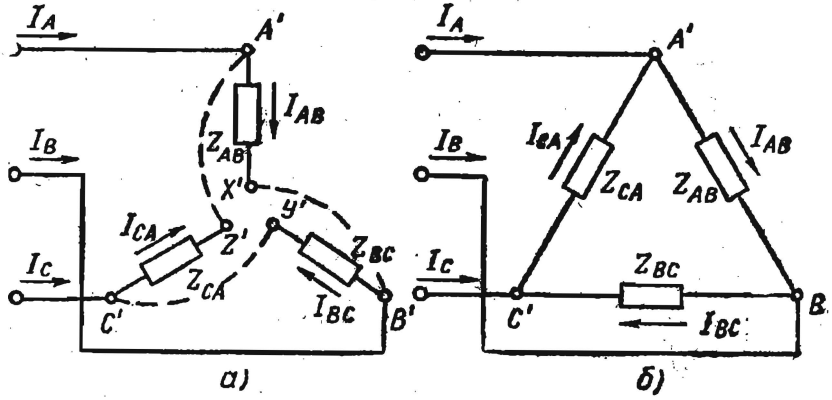
$$U_л = U_ф.$$

Истеъмолчининг фаза қаршиликларидан ўтаётган I_{AB}, I_{BC}, I_{CA} токларга фаза токлари дейилади. Линия симларидан ўтаётган I_A, I_B, I_C токлар эса линия токлари дейилади. Фаза ва линия токларининг 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

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

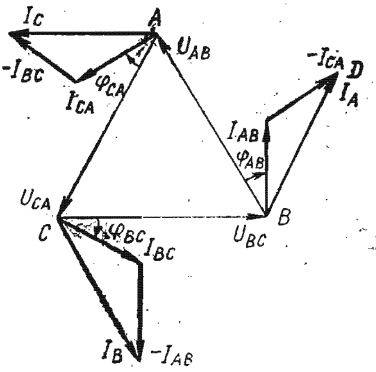
Истеъмолчининг фаза қаршиликларини юлдуз ёки учбурчак усулида улаш линия кучланишининг қийматига ва истеъмолчининг қандай номинал кучланишга мўлжалланганига боғлиқ. Масалан, паспортида „Y/△—380/220“ ёзуви бўлган уч фазали асинхрон двигателни линия кучланиши $U_л = 380$ В ли тармоққа юлдуз усулида, линия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

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

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

Демак, линия токлари фаза токларининг геометрик айирмасига тенг экан.

3.7-расмда актив-индуктив характердаги симметрик нагрузка учун линия ва фаза кучланишлари ҳамда токларининг вектор диаграммаси кўрсатилган. Дастлаб линия (фаза) кучланишлари векторларининг учбурчаги қурилади, сўнгра $I_{AB}=I_{BC}=I_{CA}$ фаза токларини линия кучланишлари U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} га нисбатан $\varphi_{AB}=\varphi_{BC}=\varphi_{CA}$ кечикувчи бурчаклар остида чизамиз. Кейин (2.7) ифодага биноан линия токларининг векторларини топиб, уларнинг қийматини аниқлаймиз.



3.7- расм.

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

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

$$I_л = \sqrt{3}\, I_ф \qquad (3.8)$$

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.

Y усулида уланганда $I_A \neq I_B \neq I_C$

△ усулида уланганда $I_{AB} \neq I_{BC} \neq I_{CA}$

Актив қувват

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

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

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

Реактив қувват

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

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

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

Тўла қувват

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

Уч фазали занжирнинг тўла қуввати

$$S_Y = \sqrt{P_Y^2 + Q_Y^2} \quad | \quad S_\Delta = \sqrt{P_\Delta^2 + Q_\Delta^2}$$

2. Нагрузка симметрик бўлганда

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

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

$$P = \sqrt{3}U_л I_л \cos\varphi_\Phi;$$
$$Q = \sqrt{3}U_л I_л \sin\varphi_\Phi;$$
$$S = \sqrt{3}U_л I_л.$$

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

$$I_{\Phi Y} = \frac{U_{\Phi Y}}{R_\Phi}; \qquad P_Y = 3U_{\Phi Y} I_{\Phi Y} = 3 \cdot \frac{U_{\Phi Y}^2}{R_\Phi}.$$

Учбурчак усулида уланганда эса

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

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

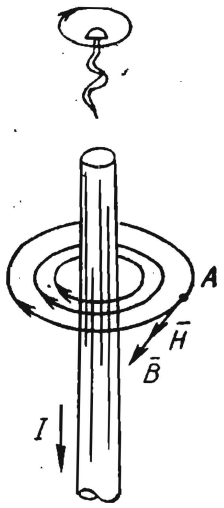
4-боб. МАГНИТ ЗАНЖИРЛАРИ ВА ЭЛЕКТРОМАГНИТ ҚУРИЛМАЛАР

4.1. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

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

Магнит занжирларидаги электромагнит жараёнларни МЮК, магнит оқими, магнит майдонининг индукцияси ва кучланганлиги каби тушунчалар билан изоҳланади. Маълумки, ўтказгичдан ток ўтаётганда унинг атрофида магнит майдони ҳосил бўлади. Бу ток тўғри чизиқли йўналган бўлса, унинг магнит майдони куч чизиқларининг йўналишини инглиз олими Максвелл тавсия этган ўнг парма қоидаси 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* ($\bar{B}$) билан характерланади. Бу вектор магнит майдони куч чизиқларига уринма бўйлаб йўналган бўлади ва у мазкур майдон интенсивлигини билдириб, унинг таъсир этиш йўналишини кўрсатади.



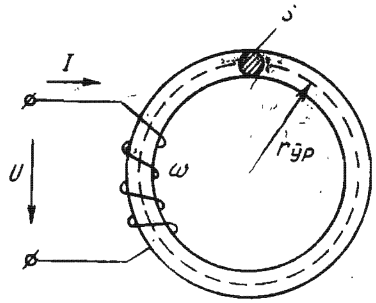
4.1- расм.

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

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

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

Индукцияси ҳамма нуқталарида бир



4.2-расм.

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

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

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 катталик ўзаро қуйидагича боғланган:

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

Бу ерда: μ — 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 $\bar{B}$ ва $\bar{H}$ ларнинг йўналишлари ўзаро мос келади.

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

$$\oint \bar{H}\, d\bar{l} = \sum I. \qquad (4.4)$$

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

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

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

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

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

2-жадвал

	Электр катталиклар	Магнит катталиклар
1	ЭЮК $(E = \oint \bar{E} dl = \sum F_l)$	МЮК $(F = \oint \bar{H} d\bar{l} = \sum I_l W_l)$
2	Электр токи $(I = \int_S \bar{\delta} d\bar{s})$	Магнит оқими $(\Phi = \int_S \bar{B} d\bar{s})$
3	Электр актив қаршилик $R = \frac{l}{\gamma S}$	Магнит қаршилиги $R_м = \frac{l}{\mu_a S}$
4	Ток зичлиги $\bar{\delta}$	Магнит индукцияси $\bar{B}$
5	Электр майдон кучланганлиги $\bar{E}$	Магнит майдони кучланганлиги $\bar{H}$
6	Солиштирма ўтказувчанлик γ	Абсолют магнит сингдирувчанлик μ_a
7	Кучланиш $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = \int_b^a \bar{E} d\bar{l}$	Магнит кучланиш $U_{м_{ab}} = \varphi_{м_a} - \varphi_{м_b} = \int_a^b \bar{H} d\bar{l}$

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

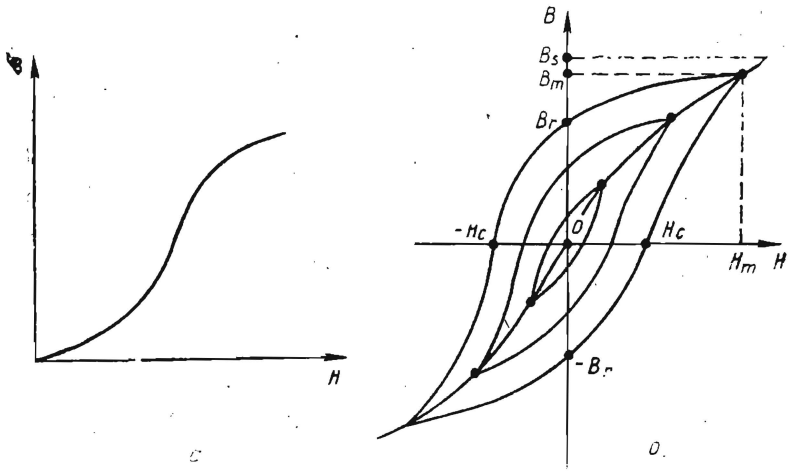
3-жадвал

№	Қонунлар	Электр занжири	Магнит занжири
1.	Ом қонуни	$I = \frac{U}{R}$	$\Phi = \frac{U_м}{R_м}$
2.	Кирхгофнинг I қонуни	$\sum I_к = 0$	$\sum \Phi_l = 0$
3.	Кирхгофнинг II қонуни	$\sum I_к R_к = \sum E_l$	$\sum \Phi_к R_{м_к} = \sum F_l$

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 цикларидан иборат бўлади. Бу ҳолдаги айрим характеристикани *гистерезис сиртмоғи* дейилади (4.3- расм, *б*).

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

Ферромагнит материалининг 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 ясашда 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 $P_г \left[\frac{B_m}{кг}\right]$ шу сиртмоқнинг юзасига пропорционал бўлади. Бундан ташқари, материалдаги „ампер токлари" (уюрма токлар) таъсирида исроф бўлган қувват $P_у$ ҳам амалий аҳамиятга эгадир. Бу қувват материалнинг солиштирма электр қаршилигига тескари пропорционал, магнит индукцияси квадратига ва магнитланиш частотасига тўғри пропорционал бўлади.

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

$$P_м = P_г + P_у.$$

Чегаравий гистерезис сиртмоғининг шакли унинг тўғри бурчакли коэффициенти билан аниқланади:

$$K_т = \frac{B_r}{B_m}.$$

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

4.3. ЎЗГАРМАС МЮК ТАЪСИРИДАГИ МАГНИТ ЗАНЖИРЛАРИ

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

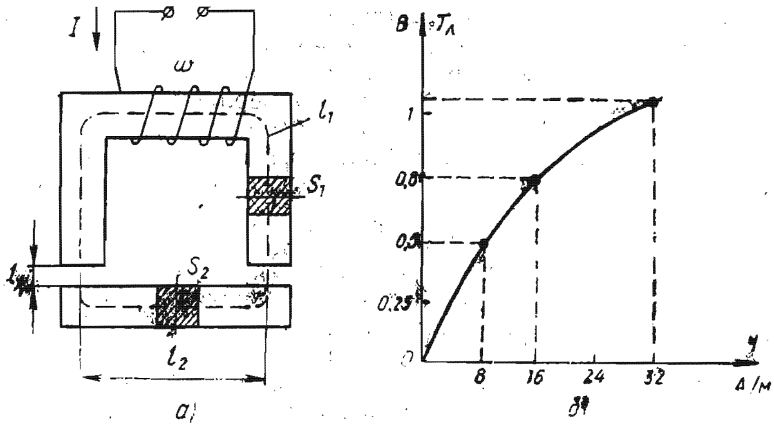
Магнит занжирини синтез қилишда берилган магнит занжиридан ўтаётган магнит оқими маълум бўлиб, унга тегишли МЮК ни топиш керак бўлади. Магнит оқимини Φ билан белгиласак, магнит индукцияси ва айрим участкалардаги магнит майдон кучланганлиги қуйидагича аниқланади:

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

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

Натижада МЮК:

$$F = \sum H_i l_i = IW,$$



4.4- расм.

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

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

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

$$F = IW = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_х 2 l_х$$

Ҳар бир участканинг индукцияси

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

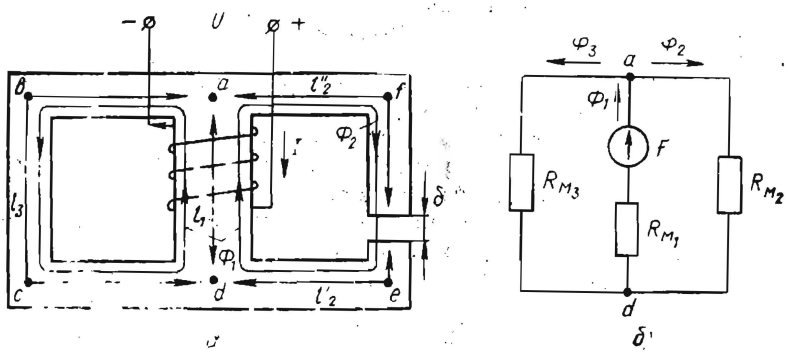
$$B_2 = \frac{\Phi}{S_2} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{2{,}5 \cdot 10^{-4}} = 0{,}8 \text{ Тл}.$$

Пермаллойнинг 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 $B_х = B_1$ эканлигини ҳисобга олганда

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



4.5- расм.

Натижада

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

Бинобарин, магнитловчи токнинг қиймати қуйидагича аниқланади:

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

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

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

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

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

Бу ерда:

$$R_{M_1} = \frac{l_1}{\mu_1 S_1}; \quad R_{M_2} = \frac{l'_2}{\mu_2 S_2} + \frac{l''_2}{\mu_2 S_2} + \frac{\delta}{\mu_0 S_2}; \quad R_{M_3} = \frac{l_3}{\mu_3 S_3}.$$

Демак, занжирнинг геометрик параметрлари ва участкаларнинг магнит сингдирувчанлиги маълум бўлса, (4.5) тенгламалар системасидаги номаълум Φ_1, Φ_2 ва Φ_3 магнит оқимларини аниқлаш мумкин.

4.4. ЎЗГАРУВЧАН МЮК ТАЪСИРИДАГИ МАГНИТ ЗАНЖИРЛАРИ

Агар 4.6-расмдаги магнит занжирига синусоидал кучланиш бериладиган бўлса, у ҳолда чулғамдан ўтаётган ток носинусоидал бўлади (4.7-расм, *б*). Чунки ферромагнит материалнинг магнитланиш характеристикаси гистерезис сиртмоғи бўйича ўзгаради (4.7-расм, *а*). Бу занжирдаги ток даврий бўлганлиги учун ферромагнит материал гистерезис сиртмоғи бўйича циклик равишда магнитланиб туради ва унда уюрма токлар 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:

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

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

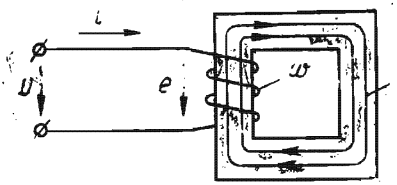
(4.6) тенгламага кўра занжирдаги магнит оқими

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

бу ерда

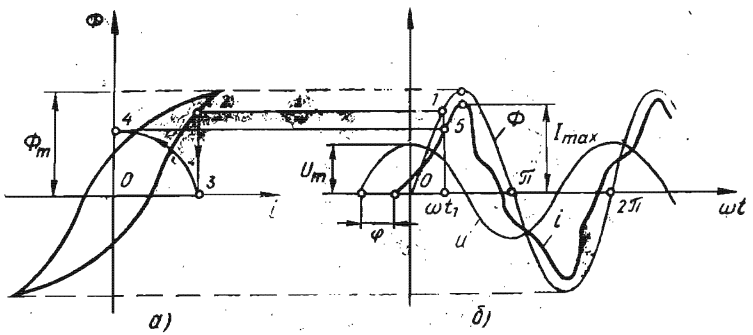
$$\Phi_m = \frac{U_m}{\omega W} = \frac{U}{4{,}44 f W}.$$

4.7-расмда ферромагнит материалнинг гистерезис сиртмағини ҳисобга олган ҳолдо занжирдаги токнинг ўзгаришини график равишда аниқлаш усули кўрсатилган. Бу ерда u ва i орасида фазалар силжиши ҳосил бўлишини кўрамиз.



4.6-расм.

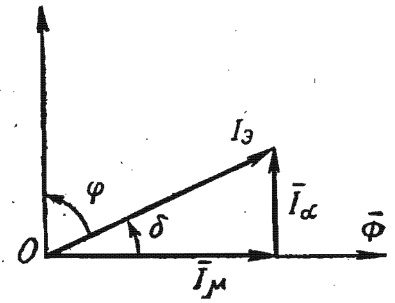
Умумий ҳолда, бундай занжирлар учун векторлар диаг-



4.7-расм.

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

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



4.8- расм.

Бу токнинг таъсирида занжирда исроф бўлган актив қувват:

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T uidt. \qquad (4.9)$$

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

$$P = U \cdot I_э \cdot \cos\varphi. \qquad (4.10)$$

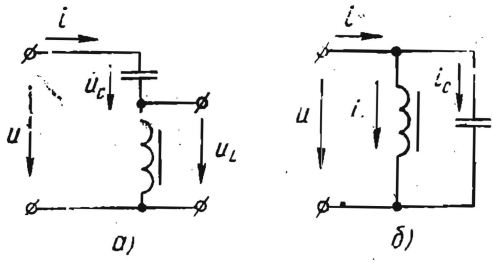
Берилган занжирнинг вектор диаграммаси 4.8-расмда кўрсатилган.

Эквивалент синусоидал ток вектори ($\bar{I}_э$) ни иккита $I_а$ ва $\bar{I}_\mu$ ташкил этувчиларга ажратиш мумкин (4.8-расм). Бу ташкил этувчиларни актив ($\bar{I}_а$) ва магнитловчи ($\bar{I}_\mu$) токлар деймиз, чунки $\bar{I}_а$ нинг йўналиши $\bar{U}$ нинг йўналишига, $\bar{I}_\mu$ нинг йўналиши магнит оқими вектори (Φ) нинг йўналишига мос келади.

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

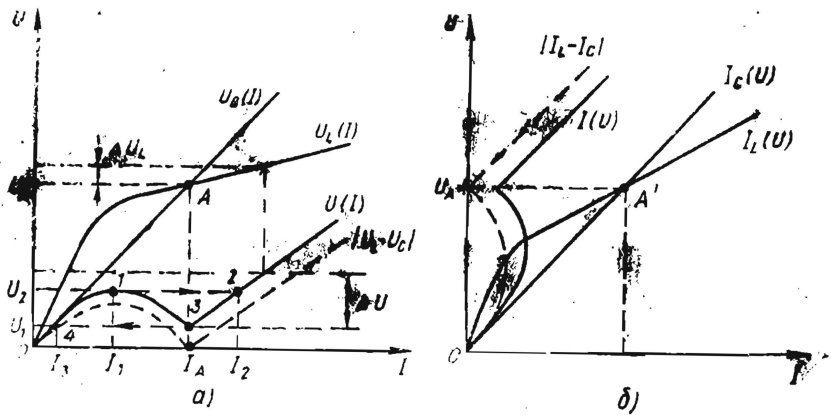
4.5. ФЕРРОРЕЗОНАНС ҲОДИСАСИ

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



4.9- расм.

натижасида кетма-кет уланган занжирда $|U_L| = |U_C|$, параллел уланган занжирда $|I_L| = |I_C|$ шартларни бажариш мумкин (4.9-расм). Бу шартларнинг бажарилиши ферромагнит ўзакли ғалтак хусусиятига боғлиқ бўлганлиги учун кетма-кет уланган занжирдаги (4.9- расм, *а*) резонанс ҳодисаси кучланишлар феррорезонанси, параллел улангандагиси эса токлар феррорезонанси дейилади. Бу занжирларнинг вольт-ампер характеристикалари 4.10- расмда кўрсатилган. 4.10- расм, *а* да сиғимдаги кучланиш U_C занжирдаги токка тўғри пропорционал ўзгаради, чунки бунда сиғим параметрлари ўзгармасдир. Чизиқли бўлмаган индуктивликдаги $U_L(I)$ боғланиш эса ферромагнит материалнинг асосий магнитланиш эгри чизиғига ўхшаш ўзгаради. Агар кучланиш ва токларни 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 A нуқтада $U_L = U_C$ бўлганлиги сабабли, бу нуқта резонанс нуқтаси дейилади. Характеристикаларга кўра, занжирга берилган кучланиш U миқдори секин-аста U_2 гача кўпайтирилиб борилса, ток I, кучланишлар U_L ва U_C қиймат-



4.10- расм.

лари ҳам ошиб боради ва занжир индуктив характерга эга бўлади, чунки $U_L - U_C > 0$. Агар U ўзининг U_2 қийматидан бироз оширилса, кучланишлар мувозанати бузилади, яъни $U > |U_L - U_C|$ бўлади ва занжирдаги ток I_1 қийматга нисбатан бир неча марта катта бўлган I_2 миқдорига сакраб ўтади. Бунда ток фазаси деярли 180° га ўзгаради ва у сиғим характерига эга бўлиб қолади. Бу ҳодиса „фаза тўнтарилиши" деб аталади. Токнинг сакраб ўзгариши эса реле ёки триггер эффекти деб аталади. Агар фаза тўнтарилишидан сўнг кучланиш (U) нинг қийматини ошириш давом эттирилса, кучланиш мувозанати, яъни идеал ҳолат $U = |U_L - U_C|$ юзага келиб, занжирдаги ток кучланишга пропорционал равишда ошиб боради. Кучланиш (U) нинг қиймати $U = U_1$ дан бироз камайтирилса, кучланишлар мувозанати яна бузилиб, иккинчи марта фаза тўнтарилиши содир бўлади. Натижада токнинг қиймати I_A дан сакраб, I_3 гача камаяди.

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

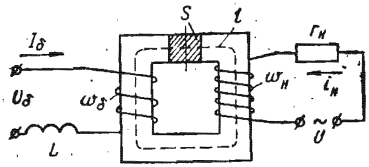
4.6. МАГНИТ КУЧАЙТИРГИЧЛАР

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

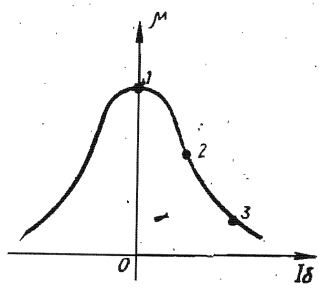
$$I_н = \frac{U}{\sqrt{R_н^2 + X_н^2}} = \frac{U}{\sqrt{R_н^2 + (\omega L_н)^2}}, \qquad (4.11)$$

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

$$L_н = \frac{W_н^2 \cdot S}{l} \cdot \mu\Big).$$



4.11- расм.

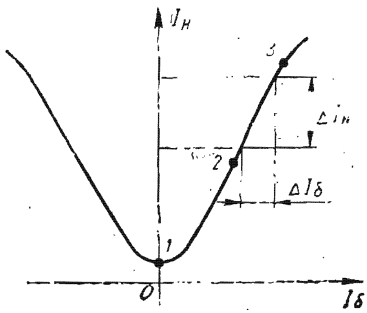


4.12- расм.

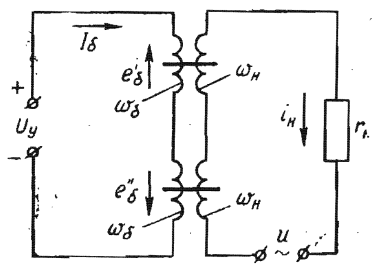
Ферромагнит материалнинг магнит сингдирувчанлиги бошқариш токининг қийматига боғлиқ бўлади (4.12- расм), яъни $I_б$ ортиб бориши μ нинг камайишига олиб келади Шунинг учун, (4.11) ифодага асосан, бошқариш токининг ўзгариши индуктивлик ($L_н$ ва $X_н$) ни ўзгартиради. Натижада кучайтиргичнинг асосий характеристикаси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

$$K_т = \frac{\Delta I_н}{\Delta I_б}. \qquad (4.12)$$

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



4.13- расм



4.14- расм.

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

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

5-боб. ТРАНСФОРМАТОРЛАР

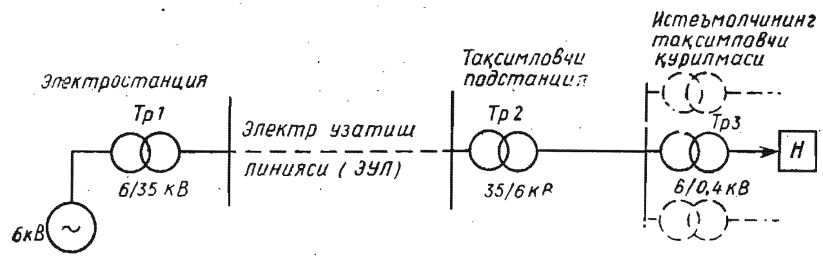
5.1. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

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

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

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

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



5.1- расм.

5.1- расмда электр энергиясини трансформаторлар ёрдамида узатиш схемаси кўрсатилган. Схемадан кўриниб турибдики, электростанцияда генератор ишлаб чиқараётган электр энергияси трансформатор Тр1 ёрдамида 6 кВ кучланишдан 35 кВ гача орттирилиб, электр узатиш линияси орқали тақсимловчи подстанцияга берилмоқда. У ерда пасайтирувчи трансформатор Тр2 ёрдамида кучланиш 35 кВ дан 6 кВ гача пасайтирилиб, истеъмолчининг трансформатори Тр3 га узатилмоқда. Бундай трансформаторлардан бир нечта бўлиши мумкин. Трансформатор Тр3 ёрдамида кучланиш 6 кВ дан истеъмолчи учун зарур бўлган 380/220, 220/127 В кучланишларга айлантирилади. Кўриниб турибдики, электр энергияси электростанциядан истеъмолчига етиб келгунча уч марта трансформацияланмоқда. Реал ҳолларда трансформациялаш сони бундан ҳам кўп бўлиши мумкин.

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

Трансформаторлар бажарадиган вазифасига кўра қуйидаги турларга бўлинади:

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

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

— тақсимлаш тармоқларидаги кучланишни ростлаб туриш учун мўлжалланган индукцион ростлагичлар;

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

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

5.2. ТРАНСФОРМАТОРНИНГ ТУЗИЛИШИ ВА ИШЛАШ ПРИНЦИПИ

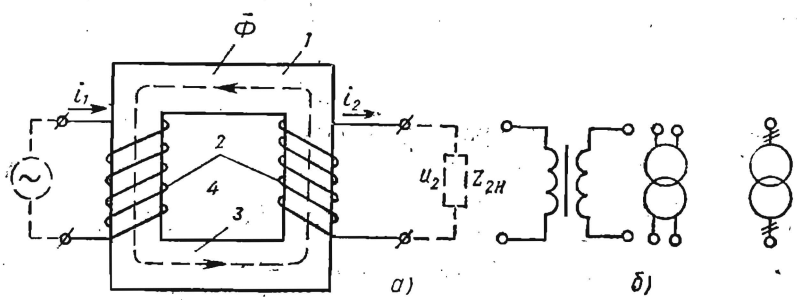
Трансформатор турларининг кўп бўлишига қарамай, уларда бўладиган электромагнит жараёнлар умумий ўхшашликка эга бўлиб, уларнинг ишлаш принципи бир хилдир. 5.2-расмда бир фазали икки чулғамли трансформаторнинг схемаси ва шартли белгиланиши кўрсатилган. Трансформатор пўлат ўзак (магнит ўтказгич) 1 дан ва иккита мис чулғамлар 2 дан иборат. Пўлат ўзакнинг индукцион токлар ҳисобига қизиб кетишини камайтириш мақсадида у қалинлиги 0,35 ÷ 0,5 мм бўлган электротехник пўлат пластиналардан йиғилади. Пластиналарнинг икки томонига изоляцион 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 Φ пўлат ўзак бўйлаб ҳаракатланади. Пўлат ўзакнинг мис чулғамлар ўралган қисми *стержень* дейилади. Трансформаторнинг манбага уланган чулғами *бирламчи*, истеъмолчига уланган *иккиламчи чулғам* дейилади. Шунинг учун бирламчи чулғамга (занжирга) оид катталиклар *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 катталиклар *2* индексига эга, масалан, w_2, u_2, i_2 ва ҳ. к.

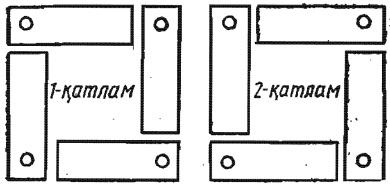
Трансформаторнинг бирламчи чулғамига берилган синусоидал кучланиш ($u_1 = U_m \sin \omega t$) таъсирида чулғамдан ўзгарувчан ток оқиб ўтади. Бу ток трансформаторнинг пўлат ўзагида ўзгарувчан магнит оқими (Φ) ни ҳосил қилади. Чулғамларнинг ўрамларини кесиб ўтаётган бу асосий магнит оқими бирламчи чулғамда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

$$E_1 = 4{,}44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Phi, \qquad (5.1)$$

$$E_2 = 4{,}44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \Phi. \qquad (5.2)$$



5.2-расм.



5.3- расм.

Бу ерда f — ўзгарувчан токнинг частотаси, Гц; w_1, w_2 — бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг ўрамлари сони; Φ — асосий магнит оқими, Вб.

Демак, (5.1) ва (5.2) ифодалардан кўринадики, частота f ва магнит оқими Φ ўзгармас бўлганда чулғамларда индукцияланган ЭЮК E_1 ва E_2 лар уларнинг ўрамлари сонига пропорционал экан, яъни

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2}.$$

Бу нисбат трансформаторнинг *трансформация коэффициенти* ҳисобланади, яъни

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2}. \qquad (5.3)$$

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, *а* да кўрсатилган трансформаторнинг иккиламчи чулғамига нагрузка ($Z_{2н}$) 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:

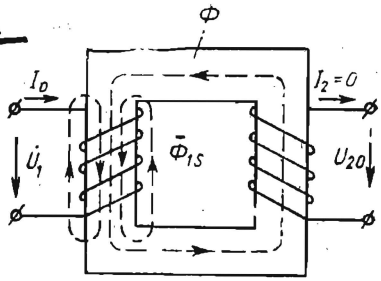
$$k = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}.$$

Демак, трансформатор чулғамларидаги токлар 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 (нагрузкасиз) ишлаш режими дейилади. Салт ишлаш режимида $U_1 = U_{1ном}$ 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 $I_0 w_1$ пўлат ўзак бўйлаб туташувчи асосий магнит оқими $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$ ни ва қисман ҳаво ҳамда пўлат ўзак орқали туташиб тарқалган магнит оқими Φ_{1s} ни ҳосил қилади. Бу ўзгарувчан магнит оқимлари ўзининг чулғамларда индукцияланган ЭЮК лари билан қуйидаги боғланишга эга:



5.4-расм.

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt} = \omega w_1 \Phi_m \sin(\omega t - 90°)$$
$$e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt} = \omega w_2 \Phi_m \sin(\omega t - 90°) \qquad (5.4)$$
$$e_{1s} = -w_1 \frac{d\Phi}{dt} = \omega w_1 \Phi_{1s} \sin(\omega t - 90°).$$

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

$$E_1 = \frac{E_{1m}}{\sqrt{2}} = \frac{\omega w_1}{\sqrt{2}} \Phi_m = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} w_1 \Phi_m$$

ёки

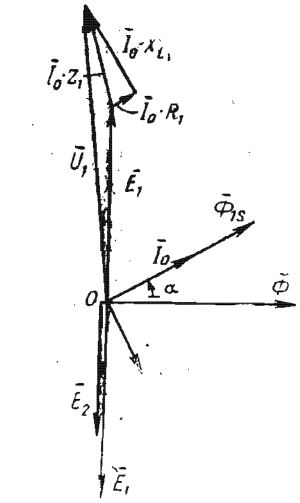
$$E_1 = 4{,}44 f_1 w_1 \Phi_m,$$
$$E_2 = 4{,}44 f w_2 \Phi_m,$$
$$E_{1s} = 4{,}44 f w_1 \Phi_{1s}.$$

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

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

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

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

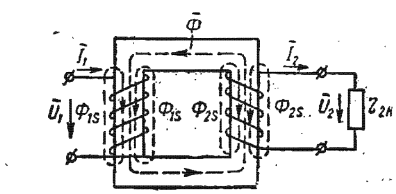


5.5- расм.

(5.6) тенглама ёрдамида трансформатор салт ишлаш режимининг вектор диаграммасини қурамиз (5.5- расм). Бош вектор сифатида ихтиёрий O нуқтадан асосий магнит оқимининг вектори Φ ни горизонтал йўналишда чизамиз. Ундан фаза бўйича 90° га кечикувчи бурчак остида $\bar{E}_1$ ва $\bar{E}_2$ лар чизилади. Ток $\bar{I}_0$ пўлат ўзакдаги қувват (магнит) исрофлари туфайли магнит оқими $\bar{\Phi}$ дан α бурчакка илгарилаб келади. Магнит оқими $\bar{\Phi}_{1s}$ ток $\bar{I}_0$ билан бир хил йўналишда бўлади. ЭЮК $\bar{E}_{1s}$ оқим $\bar{\Phi}_{1s}$ дан 90° га кечикади. Кучланиш $\bar{U}_1$ векторини (5.6) тенгламадаги E_1 манфий ишорали бўлгани учун қарама-қарши томонга йўналтирамиз. Вектор $\bar{E}_1$ нинг давомига вектор $\bar{I}_0 R_1$ ни ток $\bar{I}_0$ йўналишида чизамиз. Сўнгра вектор $\bar{I}_0 R_1$ га нисбатан 90° га илгариловчи бурчак остида вектор $\bar{I}_0 X_{L_1}$ ни чизамиз. Вектор $\bar{I}_0 X_{L_1}$ нинг охирги учини 0 нуқта билан туташтириб, кучланиш вектори $\bar{U}_1$ ни ҳосил қиламиз. Вектор $\bar{I}_0 R_1$ нинг бош учини вектор $\bar{I}_0 X_{L_1}$ нинг охири билан бирлаштириб, бирламчи чулғамдаги кучланишнинг тўла ички пасаюви ($\bar{I}_0 z_1$) ни ҳосил қилинади.

Ток I_0 бирламчи чулғам номинал токининг $(3 \div 10)$ % ини ташкил этгани учун вектор диаграммада ҳосил бўлган кучланишлар учбурчаги реал масштабларда қурилса, жуда кичик бўлади. Шунинг учун $U_1 \approx E_1$ дейиш мумкин. У ҳолда олинган нисбат ва $E_1 = 4{,}44 f w_1 \Phi_m$ га биноан асосий магнит оқими Φ 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 $\bar{U}_1$ нагрузкага боғлиқ эмас. Трансформаторнинг иккиламчи чулғамини бирор нагрузка $z_{2н}$ га улаганимизда ЭЮК E_2 таъсирида ундан I_2 нагрузка токи ўта бошлайди. Бу ток ҳосил қилган магнитловчи куч $\bar{I}_2 w_2$ пўлат ўзак ва ҳаво орқали туташган, тарқалган магнит оқими Φ_{2s} ни ҳосил қилади (5.6- расм). Бу оқим асосий магнит оқимига қарама-қарши йўналгани учун уни, шунингдек,



5.6- расм.

электр юритувчи куч E_1 ни ҳам кучсизлантирмоқчи бўлади. У ҳолда трансформатор электрик мувозанат ҳолатининг бузилишига йўл қўйилади. Аммо бирламчи чулғамнинг магнитловчи кучи $\bar{I}_1 w_1$ шундай ўзгарадики, натижада трансформаторнинг мувозанат ҳолати сақланиб, ўзакдаги асосий магнит оқими Φ миқдор жиҳатидан ўзгаришсиз қолади. Бу ҳолда магнитловчи кучлар мувозанати қуйидагича ифодаланади:

$$\bar{I}_1 w_1 + \bar{I}_2 w_2 = \bar{I}_0 w_1 \quad \text{ёки} \quad \bar{I}_1 w_1 = \bar{I}_0 w_1 - \bar{I}_2 w_2 \qquad (5.7)$$

Демак, бирламчи токнинг магнитловчи кучи иккиламчи токнинг магнитсизлаш таъсирини компенсациялайди. Агар (5.7) ифоданинг иккала томонини w_1 га бўлсак, магнитловчи кучлар тенгламасидан токлар тенгламасига ўтиш мумкин:

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_0 + \left(-\bar{I}_2 \frac{w_2}{w_1}\right). \qquad (5.8)$$

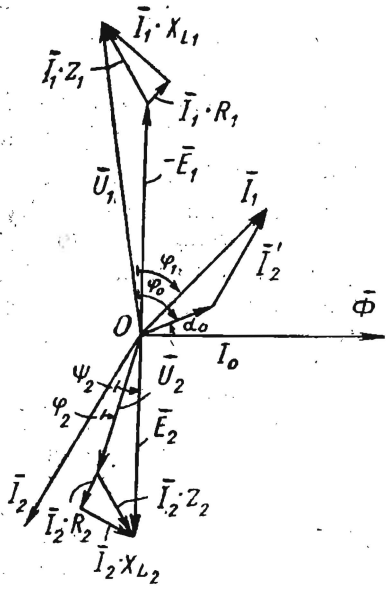
Бу ерда $\bar{I}_2' = -\bar{I}_2 \frac{w_2}{w_1}$ катталик иккиламчи токнинг магнитсизлаш таъсирини мувозанатловчи бирламчи токнинг ташкил этувчиси ҳисобланади. Шунинг учун бу катталик иккиламчи ток дейилади. У ҳолда бирламчи ток

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

яъни салт ишлаш токи билан келтирилган иккиламчи токнинг геометрик йиғиндисига тенг. Нагрузка токи I_2 нолдан бошлаб, ток I_1 эса салт ишлаш токи I_0 дан бошлаб ортади. Салт ишлаш токи номинал токнинг $I_0 = (2{,}5 \div 10\%) \cdot I_{1\,ном}$ 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

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



5.7-расм.

бу ерда: $\bar{U}_2$ — иккиламчи чулғам

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

Φ_{2s} иккиламчи чулғамдаги кучланишнинг индуктив пасаюви $\overline{U}_{L_2} = \overline{I}_2 \cdot X_{L_2}$ билан компенсация қилинади, у ҳолда

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

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 қурамиз (5.7-расм).

Нагрузкани актив-индуктив характерга эга десак, ток $\overline{I}_2$ ЭЮК $\overline{E}_2$ га нисбатан фаза бўйича ψ_3 бурчакка кечикади. Энди кучланиш $\overline{U}_2$ векторини (5.10) ифодага биноан аниқлаш учун вектор $\overline{I}_2 X_{L_2}$ ни вектор E_2 нинг охирги учидан ток $\overline{I}_2$ га перпендикуляр равишда чизамиз. Чунки иккиламчи чулғамдаги кучланишнинг индуктив пасаюви ток $\overline{I}_2$ дан 90° га илгарилаб келади. Сўнгра кучланишнинг актив пасаюви $\overline{I}_2 R_2$ ни ток $\overline{I}_2$ билан бир хил йўналишда $I_2 X_{L_2}$ га перпендикуляр қилиб жойлаштирамиз. Вектор $\overline{I}_2 R_2$ нинг бошланишини $\overline{E}_2$ ва $\overline{I}_2 X_{L_2}$ векторларнинг охирги учлари билан бирлаштириб иккиламчи чулғамдаги кучланишнинг тўла ички пасаюви вектори $\overline{I}_2 z_2$ ни ва координата боши O нуқта билан бирлаштириб, кучланиш $\overline{U}_2$ ни аниқлаймиз. Ток $\overline{I}_2$ билан кучланиш $\overline{U}_2$ орасида фаза силжиш бурчаги φ_2 ҳосил бўлади. Агар $\overline{I}_2' = -\overline{I}_2$ десак, (5.9) ифодадан $\overline{I}_1$ ни аниқлаймиз. Кучланиш $\overline{U}_1$ ток $\overline{I}_1$ дан φ_1 бурчакка илгарилаб келади, аммо φ_1 бурчак φ_2 бурчакдан катта. Векторлар диаграммасидан кўриниб турибдики, $\overline{I}_2$ нинг ортиши билан $\overline{I}_1$ ҳам ортиб, φ_1 тобора кичраймоқда. Демак, трансформаторнинг қувват коэффициенти $\cos\varphi_0$ дан то $\cos\varphi_н$ гача ортиши мумкин.

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

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

шув токидан сақлаш мақсадида автоматик ажраткичлар ўрнатилади. Трансформаторларни лаборатория шароитида текшириш учун „қисқа туташув" пасайтирилган кучланишларда амалга оширилади.

5.4. ТРАНСФОРМАТОРНИ САЛТ ИШЛАШ ВА ҚИСҚА ТУТАШУВ РЕЖИМЛАРИДА ИШЛАТИШ ТАЖРИБАЛАРИ

Салт ишлаш тажрибасини ўтказишдан мақсад трансформаторнинг пўлат ўзагида магнит майдони ҳосил қилиш учун сарф бўладиган қувват исрофи $P_п$ ни ва трансформаторнинг трансформация коэффициенти k ни аниқлашдир. Трансформаторнинг салт ишлаш тажрибасини ўтказиш схемаси 5.8-расмда кўрсатилган. Бирламчи чулғамга уланган ўлчаш асбоблари ёрдамида трансформаторниинг салт ишлаш вақтидаги токи I_0 ва қуввати P_0 ҳамда кучланиш U_{10} аниқланади. Тажриба вақтида $U_{10} = U_{1\,ном}$ 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:

$$P_0 = P_п + I_0^2 \cdot R_1.$$

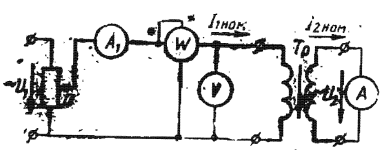
Мис чулғамларининг қизиши салт ишлаш токининг $I_0^2 R_1 = (0{,}05 I_{1н})^2 \cdot R_1$ қиймати билан чекланган учун, ундаги қувват исрофини $P_м = I_0^2 \cdot R_1 \approx 0$ дейиш мумкин. У ҳолда $P_0 = P_п$ бўлади.

Олинган маълумотлар бўйича трансформаторнинг трансформация коэффициенти $k = U_{10}/U_{20}$ ни ва салт ишлаш вақтидаги параметрларини аниқлаш мумкин:

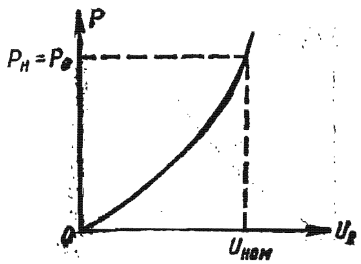
$$z_{10} = \frac{U_1}{I_0}; \qquad R_{10} = \frac{P_0}{I_0^2}; \qquad X_{10} = \sqrt{Z_{10}^2 - R_{10}^2}.$$

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

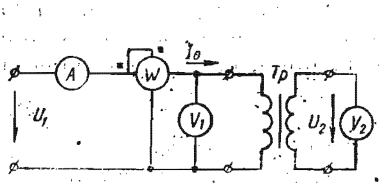
Трансформатор номинал нагрузка билан ишлаганда унинг



5.8-расм.



5.9-расм.



5.10-расм.

чулғамларидан номинал ток ўтиб, чулғамлар қизийди. Келтирилган қувват бир қисмининг иссиқлик тарзида атроф-муҳитга тарқалиши мис чулғамлардаги қувват исрофи $P_м$ дейилади, уни трансформаторнинг қисқа туташув режимида ишлаш тажрибасидан (5.10-расм) аниқланади. Схемадан кўринадики, трансформаторнинг иккиламчи чулғами амперметр A_2 орқали қисқа туташтирилган.

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

$$u_к\,\% = \frac{U_к}{U_{1ном}} \cdot 100.$$

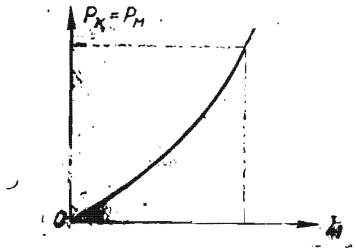
Қисқа туташув кучланиши трансформатор номинал кучланишининг кичик улушини ($U_к \approx 0{,}1\,U_{1н}$) ташкил этгани учун пўлат ўзакдаги қувват исрофи $P_п \approx 0$ дейиш мумкин У ҳолда қисқа туташув пайтида ваттметр кўрсатган қувват $P_к$ мис чулғамларнинг қизишига сарф бўлган қувват исрофи $P_м$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

$$P_к = P_п + I_{1н}^2 \cdot R_1 = 0 + P_м = P_м.$$

Тажрибадан олинган маълумотлар бўйича трансформаторнинг қисқа туташув параметрларини аниқлаш мумкин:

$$z_{1к} = \frac{U_к}{I_{1н}}; \qquad R_{1к} = \frac{P_м}{I_{1н}^2}; \qquad X_{1к} = \sqrt{z_{1к}^2 - R_{1к}^2}.$$

Агар қисқа туташув кучланиши $U_к = 0{,}05\,U_{1\,ном} = 0{,}05\,E_1$ эканлигини ҳамда нормал ҳолатда $E_1 = 4{,}44\,f w_1 \Phi_m$ бўлишини ҳисобга олсак, у ҳолда қисқа туташув пайтидаги магнит оқими



5.11-расм.

$$E_{1к} = 0{,}05E_1 = 4{,}44\,f w_1 \Phi_к;$$

$$\Phi_к = \frac{0{,}05E_1}{4{,}44 f w_1}.$$

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

$$\frac{\Phi_к}{\Phi_m} = \frac{1}{20} \text{ ёки } \frac{B_к}{B_m} = \frac{1}{20};$$

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

дейиш мумкин.

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

5.6. ТРАНСФОРМАТОРДАГИ ҚУВВАТ ИСРОФЛАРИ ВА УНИНГ ФОЙДАЛИ ИШ КОЭФФИЦИЕНТИ

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

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

$$P_м = I_{1\,ном}^2 R_1 + I_{2\,ном}^2 R_2.$$

2. Магнит оқимининг ўзгарувчанлиги туфайли юзага келган пўлат ўзакдаги гистерезис ва уюрма токларга сарф бўладиган қувват исрофи $P_п = P_г + P_у$. Бу қувват исрофи пўлат ўзакнинг материалига, магнит индукциясига ва ўзгарувчан токнинг частотасига боғлиқ.

3. Трансформаторнинг конструкциясига боғлиқ бўлган қувват исрофи $P_к$.

Булардан $P_м$ ва $P_п$ асосий исрофлар ҳисобланади. Мис чулғамлардаги қувват исрофлари нагрузкага боғлиқ бўлгани учун ўзгарувчан, пўлат ўзакдаги қувват исрофлари $P_п$ эса трансформаторнинг иш жараёнида ўзгармас (номинал кучланиш чегарасида) дир.

Трансформаторнинг фойдали иш коэффициенти

$$\eta' = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} = \frac{P_2}{P_2 + P_п + P_м}, \qquad (5.11)$$

бу ерда: P_1 — трансформаторнинг кириш томонидаги қуввати; P_2 — трансформаторнинг чиқиш томонидаги фойдали қуввати; ΔP — трансформатордаги тўла қувват исрофи.

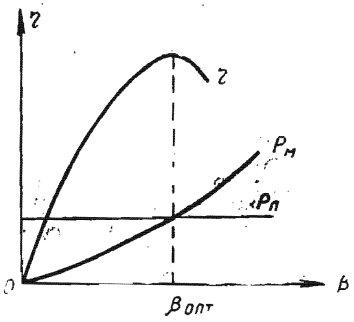
Агар трансформаторнинг фойдали иш коэффициентини унинг қандай юкланганлигини кўрсатувчи юкланиш коэффициенти

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2н}}$$

орқали ифодаласак,

$$\eta'' = \frac{\beta \cdot P_{2ном}}{\beta \cdot P_{2ном} + P_п + \beta^2 P_м} = \frac{\beta \cdot S_{ном} \cdot \cos\varphi_2}{\beta \cdot S_{ном} \cdot \cos\varphi_2 + P_п + \beta^2 P_м} \qquad (5.12)$$

$\cos\varphi_2$ — нагрузка қувват коэффициенти, $S_{ном}$ — трансформаторнинг тўла қуввати, ВА;



5.12-расм.

Катта қувватли трансформаторларнинг фойдали иш коэффициенти 0,97 ÷ 0,99, кичик қувватлилариники эса 0,82 ÷ 0,9 атрофида бўлади. Трансформаторларда $R_п = P_м$ бўлганда, унинг юкланиш коэффициенти оптимал ($\beta_{опт} = 0{,}5 \div 0{,}6$) 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 $S_{ном}$, кВА;

3) бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг номинал линия кучланишлари ($U_{1\,ном}$ ва $U_{2\,ном}$), кВ;

4) салт ишлагандаги қувват исрофи ($P_0 = P_п$), кВт;

5) мис чулғамлардаги, яъни қисқа туташув пайтидаги қувват исрофи ($P_м = P_к$), кВт;

6) қисқа туташув кучланиши ($u_к$), %;

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 фазали трансформаторларда

$$I_{1\,ном} = \frac{S_{ном} \cdot 10^3}{U_{1\,ном}}\,[А]; \quad I_{2\,ном} = \frac{S_{ном} \cdot 10^3}{U_{2\,ном}}\,[А]. \qquad (5.13)$$

Уч фазали трансформаторларда

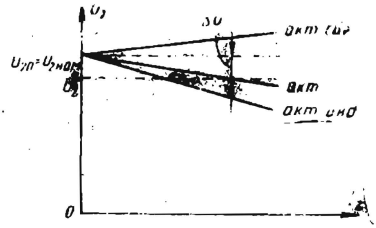
$$I_{1\,ном} = \frac{S_{ном} \cdot 10^3}{\sqrt{3}\,U_{1\cdot ом}}\,|А|; \qquad I_{2\,ном} = \frac{S_{ном} \cdot 10^3}{\sqrt{3}\,U_{2ном}}\,[А]. \qquad (5.14)$$

Кичик қувватли трансформаторларнинг номинал кучланиши ва токи ҳужжатда кўрсатилган бўлади.

5.7. ТРАНСФОРМАТОРНИНГ ТАШҚИ ХАРАКТЕРИСТИКАСИ ВА УНДАГИ КУЧЛАНИШНИНГ ЎЗГАРИШИ

Бирламчи чулғам кучланиши U_1 ва қувват коэффициенти $\cos\varphi_2$ ўзгармас бўлганда иккиламчи чулғамдаги кучланиш U_2 нинг нагрузка токи I_2 га боғлиқлигини ифодаловчи эгри чизиқ $U_2 = f(I_2)$ *трансформаторнинг ташқи характеристикаси* дейилади.

5.13-расмда трансформаторнинг турли хил характердаги нагрузкаларга оид ташқи характеристикаси кўрсатилган. Характеристикадан кўринадики, актив нагрузкада $\cos\varphi = 1$, актив-индуктив нагрузкада эса $\cos\varphi < 1$ ва фаза силжиш бурчаги $\varphi > 0$ бўлади. Ниҳоят, актив-сиғим нагрузкада $\cos\varphi_2 < 1$ ва $\varphi < 0$ дир. Иккиламчи чулғамдаги кучланишнинг ўзгариши:



5.13-расм.

$$\Delta U\% = \frac{U_{2н} - U_2}{U_{2н}} \cdot 100, \qquad (5.15)$$

бу ерда: $U_{2н} = U_{20}$ — трансформатор салт ишлаган пайтда иккиламчи чулғам учларидаги кучланиш; U_2 — трансформатор нагрузка билан ишлаётгандаги кучланиш.

Ташқи характеристикадан кўринадики, актив ва актив-индуктив нагрузка (истеъмолчи) учун ишлаётган трансформатордаги кучланиш номиналидан доим ΔU га кичик, актив-сиғим характерли нагрузкада эса ΔU га ортиқ бўлади. Электр истеъмолчилари, асосан, актив-индуктив характерга эга бўлади.

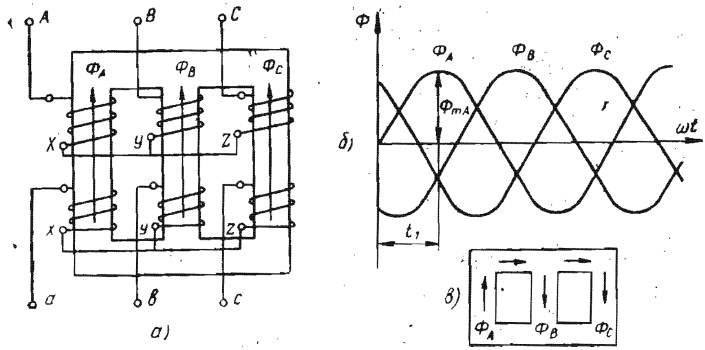
Линиядаги кучланишларнинг пасаювини ҳисобга олиб истеъмолчига ўрнатиладиган катта қувватли трансформаторларнинг чиқиш томонидаги кучланиши, одатда, номиналдан 5 процент ортиқ қилиб лойиҳаланади.

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 токлари ҳосил қилган барча магнит оқимлари ана шу ўзак бўйлаб туташади.

Уч фазали трансформаторнинг пўлат ўзаги остки ва устки томонлардан бирлаштирилган учта стержендан иборат. Ҳар бир срерженда ҳар фазанинг бирламчи ва иккиламчи чулғамлари жойлаштирилган. Чулғамлар юлдуз ёки учбурчак схемада уланиши мумкин. Бу бириктириш схемалари тегишлича Y ва △ тарзда белгиланади. Чулғамлар қандай схемада уланишидан қатъи назар бирламчи чулғамнинг бош (A, B, C) ва охирги (X, Y, Z) учлари катта ҳарфлар билан, иккиламчи чулғамнинг бош (a, b, c) ва охирги 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 токларнинг ва уларни ҳосил қилган магнит оқимлари ($\overline{\Phi}_A$, $\overline{\Phi}_B$, $\overline{\Phi}_C$) ларнинг шартли мусбат йўналиши таъминланган бўлади (5.14- расм, *а*).

Кирхгофнинг биринчи қонунига биноан исталган вақт 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 Φ_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

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

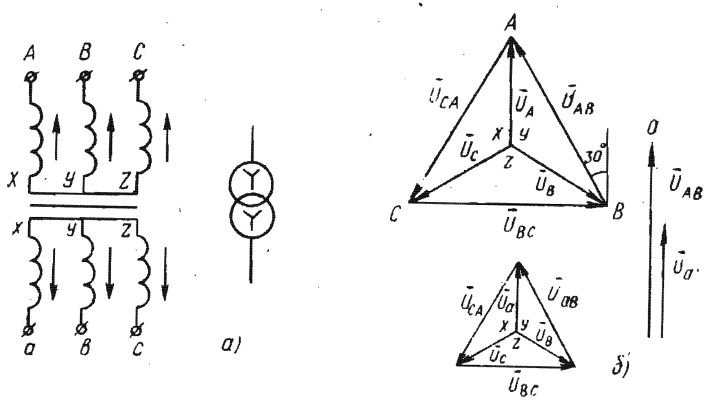
5.9. УЧ ФАЗАЛИ ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ ЧУЛҒАМЛАРИНИ УЛАШ СХЕМАЛАРИ ВА ТУРКУМЛАРИ

Уч фазали трансформаторлар чулғамларини улаш схемаларини каср тарзида кўрсатиш қабул қилинган. Касрнинг суратидаги 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, Y/Y тарзда белгиланади. Агарда юлдуз/учбурчак схемада уланган бўлса, Y/Δ 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 ($U_ф = U_л/\sqrt{3}$), 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 Д/△ схема паст кучланиш томони катта қувватли бўлган трансформаторларда қўлланади.

Уч фазали ток занжирида фаза ва линия кучланишлари бир-биридан фарқ қилгани учун фазали трансформаторларнинг бирламчи ва иккиламчи чулғамлари бир хил схемада, масалан юлдуз/юлдуз (Д/Д) схемада уланганда (5.14, 5.15-расм, *а*) бирламчи ва иккиламчи чулғамнинг фаза ($\bar{U}_A$, $\bar{U}_a$, ...) 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 қурамиз. Агар бирламчи чулғамнинг линия кучланиши вектори $\bar{U}_{AB}$ ни соат милининг ҳаракат йўналишида 0° га буриб, уни 0 (ёки 12) рақамида турибди десак, иккиламчи чулғамнинг линия кучланиши вектори $\bar{U}_{ab}$ ни ҳам ўша йўналишда 30° га бурсак, у ҳам 0 рақамига тўғри келади. Бу, чулғамлар юлдуз/юлдуз схемада уланганда уларнинг уланиш туркуми 0 эканлигини билдиради. Бирламчи ва иккиламчи чулғам учбурчак/учбурчак схемада уланганда $U_л = U_ф$ 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 Д/Д — 0 ва △/△ — 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 охирги учи билан, В фазанинг бош учини С фазанинг охирги 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° га ёки бир неча 30° 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

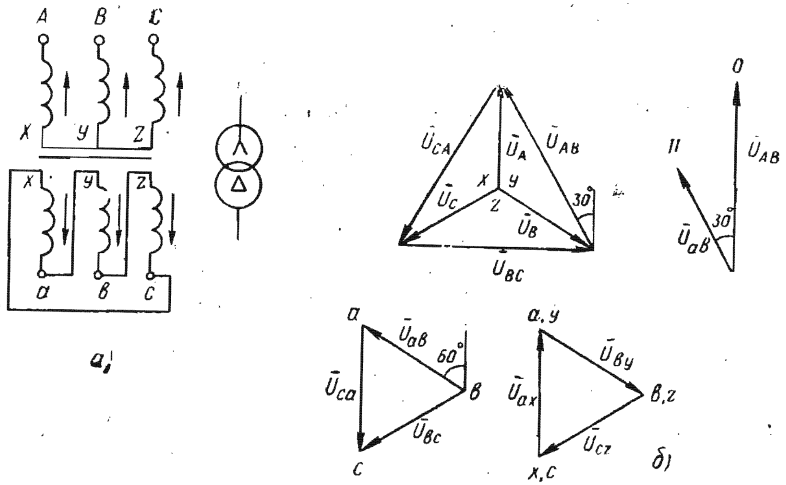


5.15- расм.

(5.15- расм, *а* ва 5.16- расм, *а*) чулғамларнинг охирги учларидан бош учларига томон олинган. Чулғам учбурчак схемада уланганда турли фазаларнинг бош ва охирги учлари бир нуқтага бирлашади, масалан, *а* ва *у*, *b* ва *z*, *с* ва *х*. Бу нуқталар орасидаги потенциаллар ўзаро тенг.

Бирламчи чулғамнинг векторлар диаграммасидан кўринадики, линия кучланишининг вектори $\bar{U}_{AB}$ *B* нуқтадан *A* нуқтага йўналган, у ҳолда иккиламчи чулғамнинг линия кучланиши вектори $\bar{U}_{ab}$ ҳам *B* дан *A* га йўналган (5.16- расм, *б*).

Агар бирламчи чулғам линия кучланишининг вектори $\bar{U}_{AB}$ ни соат милининг ҳаракат йўналишида 30° га буриб, уни 0



5.16- расм.

рақамида турибди деб, иккиламчи чулғамнинг линия кучланиши вектори $\bar{U}_{ab}$ ни ҳам 30° га бурганимизда у соатнинг 11 рақамига тўғри келади. Демак, бирламчи чулғами юлдуз, иккиламчи чулғами учбурчак схемада уланган уч фазали трансформатор чулғамларининг уланиш туркуми 11 бўлиб, у Y/Δ—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 Y/Y — 0, Y/Y$_0$ — 0 ва Y/Δ — 11 сингари улаш туркумлари кўп ишлатилади.

5.10. ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ ПАРАЛЛЕЛ ИШЛАШИ

Саноат корхоналарининг подстанцияларида бир нечта трансформаторлар ўрнатилган бўлиб, улар алоҳида ёки биргаликда (параллел) ишлаши мумкин. Трансформаторлар алоҳида ишлаганда уларнинг иккиламчи чулғамлари ўзаро боғланмаган, параллел ишлаганда эса умумий нагрузкага уланади. Трансформаторларни параллел ишлатиш улардан оқилона фойдаланишга имкон беради. Масалан, нагрузка кам бўлган соатларда трансформаторларнинг бир қисмини узиб қўйиш мумкин. Шунингдек, кучли нагрузка уланганда ҳар бир трансформаторга тўғри келадиган нагрузка миқдорининг кичикроқ бўлиши ва ҳар бир трансформаторнинг бир текис юкланиши таъминланади.

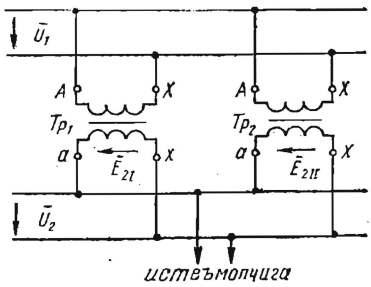
Трансформаторларнинг параллел ишлаши учун қуйидаги шартлар бажарилиши керак:

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

2. Қисқа туташиш кучланишлари бир хил бўлиши керак (±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 қарағанда катта бўлиб, чулғамлари мойли бакка туширилган бўлади.

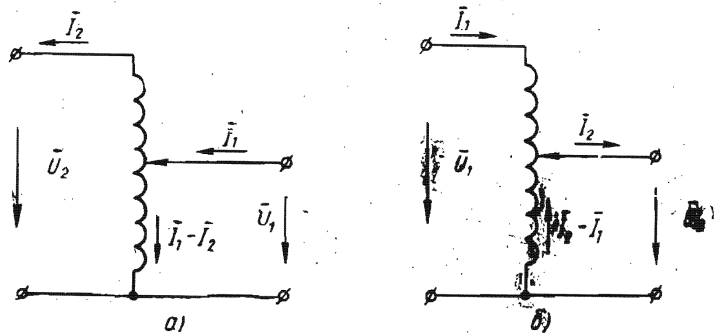
Автотрансформаторлар кучланиш кенг доирада ўзгартириладиган жойларда ишлатилади. Улар кучланишни орттириб ёки пасайтириб беради. 5.18-расм, *а* ва *б* да кучланишни орттирувчи ва пасайтирувчи автотрансформаторларнинг схемалари берилган.

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 чулғамига 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 автотранформаторларнинг 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 бинолари да ёруғлик кучини ўзгартиришда; уй-рўзғор ва лаборатория ишларида кенг қўлланади.



5.18-расм.

5.12. ЎЛЧАШ ТРАНСФОРМАТОРЛАРИ

Ўзгарувчан токнинг юқори кучланишли занжирларига уланадиган ўлчов асбобларининг ўлчаш чегараларини кенгайтириш мақсадида кучланиш ва ток трансформаторларидан фойдаланилади. Чунки бундай занжирларда ўлчаш чегараларини қўшимча қаршилик ва шунтлар ёрдамида кенгайтириш мумкин эмас, негаки ўлчаш асбобларининг чулғамлари юқори кучланиш остида бўлиб, ундан фойдаланишда хизмат кўрсатувчи шахс ҳаёти учун катта хавф туғилади.

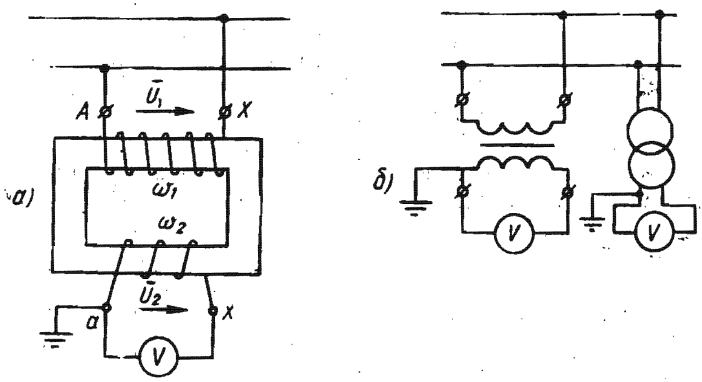
Юқори кучланишли тармоқ ва асбоб-ускуналарни ҳимоя қилиш учун турли ҳимоя релелардан фойдаланилади. Улар ҳам тармоққа ўлчаш асбоблари каби ток ва кучланиш трансформаторлари ёрдамида уланади.

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

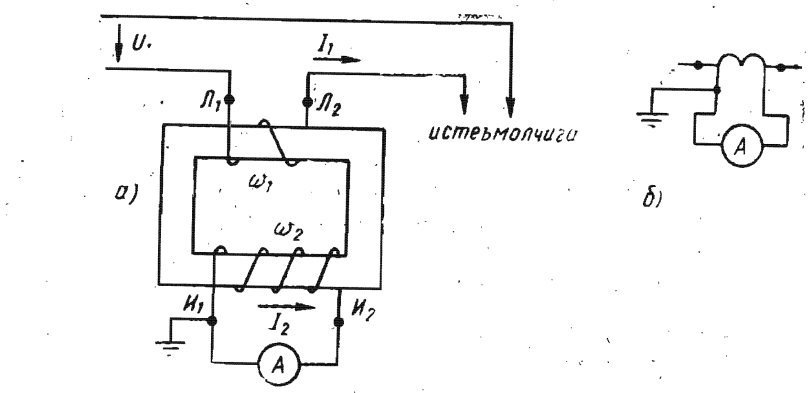
Юқори кучланишли бирламчи чулғамнинг ўрамлари сони w_1 нисбатан кўп бўлиб, тармоққа параллел уланади, яъни ўлчанадиган кучланиш бевосита таъсир эттирилади. Иккиламчи чулғамнинг ўрамлари сони w_2 нисбатан кам бўлиб, унга вольтметр, ваттметр, счётчик ва бошқа асбобларнинг кучланиш ғалтаклари уланади.

Кучланиш трансформаторларидаги бирламчи чулғамнинг номинал кучланиши $U_{1\,ном}$ юқори кучланишли тармоқнинг ёки қурилманинг номинал кучланишига, иккиламчи чулғамнинг номинал кучланиши $U_{2\,ном}$ эса 100 В га тенг қилиб олинади. Кучланиш трансформаторлари бир фазали ва уч фазали қилиб ишлаб чиқарилади. Бундай трансформаторларнинг трансформация коэффициенти:

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



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 туташишдан 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 токларни кучсиз токка айлантиришда ток трансформаторлари ишлатилади. Бундай трансформатор бирламчи чулғамининг ўрамлари сони кўп бўлмай, асосий электр занжирига кетма-кет уланади ва ўлчанадиган ток у орқали ўтади. Иккиламчи чулғамининг ўрамлари сони нисбатан кўп бўлиб, унга ўлчов асбоблари (амперметр, ваттметр, счётчикларнинг токли 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:

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

Ўлчанаётган токнинг ҳақиқий қийматини билиш учун амперметрнинг кўрсатишини трансформация коэффициенти k_I га кўпайтириш керак. Иккиламчи чулғамнинг номинал токи ($I_{2ном}$) 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 нагрузканинг қаршилиги номиналдан ошмаслиги шарт. Бирламчи занжирдан ток ўтиб турганида иккиламчи занжир асло узилмаслиги ва очилиб қолмаслиги керак. Мабодо иккиламчи занжир узилса, ток трансформаторидаги магнит оқими кучайиб кетиб, иккиламчи чулғам учларида ҳаёт учун хавфли кучланиш юзага келади. Шунинг учун ток трансформаторнинг иккиламчи чулғами электр ўлчов асбобларига уланган ёки қисқа туташган бўлиши шарт.

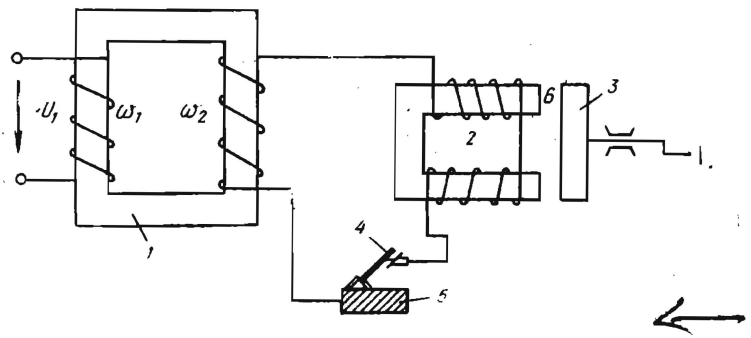
Ток трансформаторлари 0,2; 0,5; 1,0; 3,0; 10 аниқлик синфларига эга.

5.13. ПАЙВАНДЛАШ ТРАНСФОРМАТОРИ

Пайвандлаш трансформатори металл буюмларни, конструкцияларни ва ҳоказоларни эритиб, ўзаро улаш учун хизмат қилади. 5.21-расмда пайвандлаш трансформаторининг принципиал схемаси кўрсатилган. У трансформатор *1*, дроссель *2*, якорь *3*, электрод *4*, пайвандланадиган буюм *5*, дроссель билан якорь орасидаги тирқиш *6* дан иборат. Пайванд сифатли бўлиши учун электр ёй барқарор ёниши керак. Бунинг учун пайвандлаш жараёнида пайвандлаш токи қиймат жиҳатдан ўзгаришсиз бўлиши лозим. Пайвандлаш токи дроссель *2* билан якорь *3* орасидаги тирқиш *6* ни ўзгартириш орқали ростланади. Тирқиш ортганда дроссель чулғамининг индуктив қаршилиги камайиб, пайвандлаш токи кўпаяди ва аксинча.

Қисқа туташув бўлганда дроссель электр ёй ва трансформаторнинг токини чеклайди.

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



5.21-расм.

6-боб. ЭЛЕКТР ЎЛЧАШ АСБОБЛАРИ

6.1. АСОСИЙ ТУШУНЧАЛАР

Электр қурилмалари (генераторлар, трансформаторлар, энергия истеъмолчилари ва энергияни ўзгартирувчи бошқа қурилмалар) нинг нормал ишлаши учун аниқ техник талаблар таъминланган бўлиши керак. Бундай талабларнинг бажарилишини текшириш электр ўлчаш асбоблари ёрдамида бажарилади, чунки инсоннинг сезги аъзолари электр катталиклар (ток, кучланиш, частота, қувват, энергия ва ҳ. к.) ни бевосита кузата олмайди.

Электр ўлчаш асбоблари юқори сезгирликка, аниқликка эга бўлиши ҳамда ишончли ва оддий бўлганликлари туфайли аксарият физик катталиклар (температура, босим, ёруғлик, тезлик ва ҳ. к.) электр ўлчаш асбоблари ёрдамида ўлчанади. Бунда ноэлектр катталиклар унга пропорционал бўлган электр катталикларга ўзгартирилади.

Электр ўлчаш усули электр ва электр бўлмаган катталикларни узоқ масофадан ўлчаш (телеметрия) имконини беради. Телеметрик ўлчашлар чуқур бурғиланадиган қудуқларда, Ернинг сунъий йўлдошларида кенг қўлланилади.

Замонавий ишлаб чиқаришда электр ўлчашлар техникаси машина ва механизмларга таъсир этиб, ҳар хил технологик жараёнларни кузатиш имкониятини беради. Шунинг учун ҳам улар ишлаб чиқариш жараёнларини автоматик бошқаришнинг асосий бўғини ҳисобланади.

Ҳозирги пайтда асбобсозлик саноати фан-техникага керак бўлган барча текширув-ўлчаш асбоблари ишлаб чиқаришни йўлга қўйган. Ўлчаш аппаратларининг юқори сифати ва аниқлиги Давлат назорати томонидан кафолатланади.

Махсус техник воситалар — ўлчаш асбоблари ёрдамида физик катталикларнинг қийматларини тажриба йўли билан аниқлаш *ўлчаш* дейилади. Ўлчаш натижаси сон билан ифодаланади. Масалан, кучланиши 220 В.

Маълум ўлчамдаги физик катталикларни акс эттиришда фойдаланиладиган ашёвий ўлчаш воситаси ўлчов деб аталади. Электр қаршилигининг ўлчови — ўлчаш резисторлари (қаршилик ғалтаклари), электр юритувчи куч ва кучланишларнинг ўлчовлари — нормал элементлар, индуктивликнинг ўлчови — ўз ва ўзаро индуктивлик ўлчаш ғалтаклари, электр сиғимининг ўлчови — намунавий конденсаторлар.

Ўлчаш маълумотларини кузатувчининг бевосита ўзлаштириши учун қулай бўлган шаклда кўрсатувчи техник воситаси *ўлчаш асбоби* дейилади.

Барча электр ўлчаш асбоблари икки турга бўлинади: аналогли ва рақамли. Кўрсатиши ўлчанаётган миқдорнинг ўзгаришига узлуксиз боғлиқ бўлган ўлчаш асбоби аналогли ўлчаш асбоби деб аталади. Ўлчаш маълумотлари автоматик ҳолда

дискрет сигналларни ҳосил қиладиган ва кўрсатиши рақам шаклида ифодаланадиган асбоблар рақамли ўлчаш асбоблари деб аталади.

Ўлчаш маълумотларининг олиниш усулига қараб ўлчаш асбоблари қуйидагиларга бўлинади:

кўрсатувчи асбоблар (ўлчаш натижасини шкала бўйича кўриш мумкин);

қайд қилувчи асбоблар (ўлчаш натижасини тасмада акс эттиради).

Ўлчаш асбоблари ўлчов билан таққослаш усули бўйича бевосита ва билвосита таққослаш асбобларига бўлинади. Бевосита таққослайдиган асбобда сигнални бир ёки бир нечта ўзгартириш назарда тутилган. Буларга стрелкали амперметрлар, вольтметрлар, ваттметрлар ва шунга ўхшаш асбоблар мисол бўлади. Билвосита таққослаш асбоблари ўлчанаётган миқдорларни маълум миқдор билан таққослашга асосланган. Буларга ўлчаш кўприклари, потенциометрлар мисол бўлади. Кўп ҳолларда бевосита баҳолайдиган электр ўлчаш асбобларидан фойдаланилади. Бундай асбоблар билан ўлчашда ўлчовнинг кераги йўқ. Ўлчов дастлаб асбоб шкаласини даражалашда фойдаланилади, холос. Солиштириб ўлчайдиган асбоблар ўлчашни юқори аниқлик билан бажаришни таъминлайди, улар юқори сезгирликка эга. Лекин, ўлчашнинг бу усули мураккаб ва кўп вақт сарфлашни талаб қилади.

6.2. ЭЛЕКТР ЎЛЧАШ АСБОБЛАРИГА ҚЎЙИЛАДИГАН УМУМИЙ ТЕХНИК ТАЛАБЛАР

Ўлчаш асбобининг аниқлиги унинг хатолиги нолга қанчалик яқинлигини билдирувчи кўрсаткичдир. Стрелкали ўлчаш асбобларининг аниқлиги *келтирилган хатолик* билан баҳоланади:

$$\gamma = \frac{\pm\Delta}{A_{ном}} \cdot 100\% = \frac{A_ў - A_х}{A_{ном}} \cdot 100\%. \qquad (6.1)$$

Бу ерда: $A_ў$ — ўлчанган миқдор; $A_х$ — ўлчанадиган миқдорнинг ҳақиқий қиймати; Δ — абсолют хатолик.

Ўлчаш хатолиги асбобдаги камчиликлар (ишқаланиш, қўзғалувчан қисмларнинг мувозанатланмаганлиги, шкаланинг нотўғри ўрнатилиши ва ҳоказолар) ҳамда ташқи таъсирлардан келиб чиқади.

Нормал иш шароитларида аниқланган келтирилган хатолик асбобнинг *асосий хатолиги* деб аталади. Асосий хатолик бўйича бевосита баҳолайдиган асбоблар ГОСТ бўйича 8 та аниқлик синфига ажратилади: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 ва 4. Улар ўлчаш асбобларининг шкалаларида кўрсатилган бўлади. Аниқлик синфини билдирувчи рақам асосий энг катта жоиз

келтирилган хатоликни билдиради. Масалан, асбобнинг аниқлик синфи 0,2 бўлганда $\gamma = \pm 0{,}2\%$ бўлади.

Қўшимча хатоликлар асбоб ишлаш шароитларининг нормал шароитлар (муҳит температураси, ишчининг нормал ҳолати, ўзгарувчан токнинг кучланиши ва частотаси) дан четга чиқиши оқибатида келиб чиқади. Ташқи магнит ва электр майдонларининг мавжудлиги ҳам ўлчашда қўшимча хатоликни вужудга келтиради.

Ишлатиш шароитга қараб электр ўлчаш асбоблари қуйидаги туркумларга бўлинади: А (температура оралиғи +10 дан +35° С гача; муҳитнинг нисбий намлиги 80% гача); Б (—30 дан +40°С гача; 90% гача); B_1 (—40 дан +50° С гача; 95% гача); B_2 (—50 дан +60°С гача; 95% гача), B_3 (—50 дан +80°С гача; 98% гача)

Тропик иқлим шароитида ишлатишга мўлжалланган электр ўлчаш асбобларида „Т" белгиси бўлади.

Асбобнинг *сезгирлиги* ўлчаш асбобининг чиқиш қисмидаги сигнал ўзгариши (Δl) нинг кириш қисмидаги сигнал ўзгартирувчи (Δx) га нисбатидир:

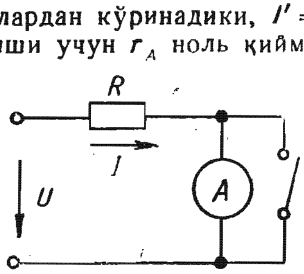
$$S = \frac{\Delta l}{\Delta x^{c^*}}$$

Асбобнинг сезгирлиги ўлчанаётган миқдорлар бирлигига мос келувчи шкаланинг бўлинмалар сони билан аниқланади.

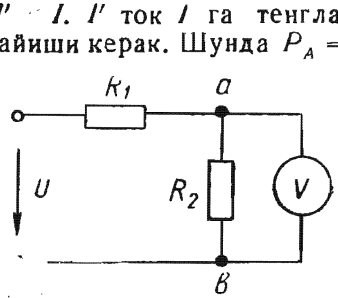
Асбобнинг ўзи истеъмол қиладиган қувват. Электр ўлчаш асбобининг ишлаши электр энергиянинг сарфланиши билан боғлиқдир. Бунда асбобнинг электр занжири қизийди. Асбобнинг қувват исрофи ва унинг параметрлари шундай бўлиши керакки, асбоб уланганда ўлчаш бажарилаётган занжирнинг иш режими ўзгармаслиги керак.

Юқорида айтилганларни қуйидаги иккита мисол билан тасдиқлаймиз. 1. Айтайлик, R қаршиликли занжирдаги токни ўлчаш талаб қилинсин (6.1-расм).

Амперметр бўлмаганда занжирдаги ток $I = \frac{U}{R}$. Амперметр уланганда (рубильник ажратилган) $I' = \frac{U}{R + r_A}$. Ушбу формулалардан кўринадики, $I' \neq I$, яъни $I' \approx I$. I' ток I га тенглашиши учун r_A ноль қийматгача камайиши керак. Шунда $P_A =$



6.1- расм.



6.2- расм.

$= (I')^2 \cdot r_A \to 0$. Агар r_A қанчалик кичик бўлса, ўзи истеъмол қиладиган қувват шунча кичик бўлади ва амперметрнинг уланишидан ҳосил бўладиган хатолик ҳам кичик бўлади.

2. Кучланиши $U = 300$ В бўлган занжирга (6.2-расм) иккита қаршилик $R_1 = 20$ кОм ва $R_2 = 10$ кОм уланган. Вольтметр уланмагандаги кучланиш $U_{ab} = 100$ В. Қаршилиги $r_V = 10$ кОм бўлган вольтметр a ва b нуқталарга кучланишни ўлчаш учун уланган. a ва b нуқталар орасидаги кучланиш аниқлансин. У ҳолда

$$R_{ab} = \frac{R_2 \cdot r_V}{R_2 + r_V} = \frac{10 \cdot 10}{10 + 10} = \frac{100}{20} = 5 \text{ кОм};$$

$$U'_{ab} = \frac{U}{R_1 + R_{ab}} \cdot R_{ab} = \frac{300}{20 + 5} \cdot 5 = 60 \text{ В}.$$

Методик нисбий хатолик

$$\delta_м = \frac{60 - 100}{100} \cdot 100\% = -40\%.$$

r_V қанча катта бўлса, нисбий хатолик шунча кичик бўлади ва асбоб истеъмол қиладиган қувват ҳам кичик бўлади.

Замонавий ўлчаш асбобларида қувват исрофи 0,2 дан 6 Вт гача бўлади.

Асбобнинг тез ишлай олиши. Ўлчанаётган миқдорлар ўзгарганда асбобнинг қўзғалувчан қисми (стрелка) бирор мувозанат ҳолатдан иккинчи мувозанат ҳолатга ўтади. Стрелканинг шкала узунлиги бўйича 1% дан ошмагандаги тебраниш амплитудаси учун кетган вақт оралиғи тинчланиш вақти деб аталади. Барча ўлчаш асбоблари тинчлантиргичлар (демпферлар) билан таъминланади. Тинчланиш вақти 4—6 секундан ошмаслиги керак.

Изоляция мустаҳкамлиги. Ўлчаш асбоблари ва ёрдамчи қисмларнинг изоляцияси етарли мустаҳкамликка эга бўлиши керак. Изоляция ГОСТ 1845—59 га мувофиқ 1 минут давомида 2 дан 5 кВ гача кучланишга бардош бериши керак (мос равишда тармоқ кучланиши 40 В дан 2 кВ гача бўлганда).

6.3. БЕВОСИТА БАҲОЛАЙДИГАН ЭЛЕКТР ЎЛЧАШ АСБОБЛАРИНИНГ ТАСНИФИ

Ўлчанадиган катталикларнинг турига қараб электр ўлчаш асбоблари қуйидагиларга бўлинади (4-жадвал).

Электр ўлчаш асбоблари ишлаш принципига кўра қуйидаги системаларга бўлинади (5-жадвал).

4-жадвал

Ўлчанадиган катталик	Ўлчаш асбоби	Асбобнинг шартли белгиланиши
Ток кучи	Амперметр	
	Миллиамперметр	
Кучланиш	Вольтметр	
Электр қуввати	Ваттметр	
	Киловаттметр	
Электр энергияси	Счётчик	
Фазаларнинг силжиши	Фазометр	
Частота	Частотометр	
Электр қаршилик	Омметр	
	Магомметр, меггер	

5-жадвал

Системанинг номи	Шкаладаги шартли белгиланиши
Магнитоэлектрик:	
қўзғалувчан рамкали, тескари таъсир кўрсатувчи механик моменти бўлган асбоб	
тескари таъсир кўрсатувчи механик моменти бўлмаган, қўзғалувчан рамкали асбоб (логометр)	
Электромагнит	

давоми

Системанинг номи	Шкаладаги шар ли белгиланиши
Электродинамик	
Ферродинамик	
Индукцион	
Электростатик	

Шунингдек, ўлчаш асбобининг шкаласида қуйидаги шартли белгилар: ток тури, фазалар сони, асбобнинг аниқлик синфи, изоляцияси текшириб (синаб) кўрилган кучланиш, асбобнинг иш ҳолати, асбоб ижросининг эксплуатация шароитига боғлиқлиги, ташқи майдондан ҳимояланиш даражасига кўрсатилган бўлади (6- жадвал).

6- ж а д в а л

ГОСТ 1845—59 бўйича шартли белгилар	Шартли белгининг маъноси
—	Ўзгармас ток асбоби
~	Ўзгарувчан ток асбоби
⎓	Ўзгармас ва ўзгарувчан ток асбоби
≋	Уч фазали ток системаси асбоби
1,5	Ўлчаш диапазонида процентлар билан нормаланган 1,5- аниқлик синфидаги асбоб
1,5	Шкала узунлигида процентлар билан нормаланган 1.5- аниқлик синфидаги асбоб
2	Асбобнинг ўлчайдиган занжири унинг корпусидан изоляцияланган ва бу изоляция ушбу кучланиш (2 кВ) билан текширилган

давоми

ГОСТ 1845-59 бўйича шартли белгилар	Шартли белгининг маъноси
	Шкаланинг горизонтал ҳолати
	Шкаланинг вертикал ҳолати
	Шкаланинг горизонталдан маълум бурчак (60°) остидаги қия ҳолати
АБВ	Ишлатиш шароитига кўра асбобнинг ижроси
	Ташқи магнит майдонлар таъсиридан I категория бўйича ҳимоя қилинган магнитоэлектрик асбоб
	Электр майдони таъсиридан I категория бўйича ҳимоя қилинган электростатик асбоб
	Генератор қисқич
	Корпус билан уловчи қисқич

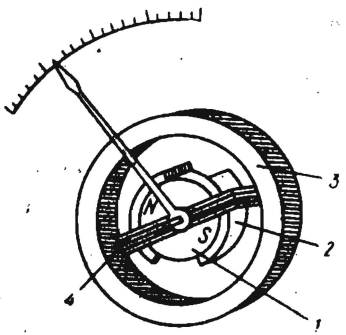
6.4. ЭЛЕКТР ЎЛЧАШ АСБОБЛАРИНИНГ МЕХАНИЗМЛАРИ

Электр ўлчаш асбобининг асосий қисмлари ундаги ўлчаш занжири ва ўлчаш механизмидир. Ўлчаш занжири (кучланиш, қувват, частота ва бошқалар) ни унга пропорционал бўлган ва ўлчаш механизмига таъсир этувчи катталикка айлантириб беради. Масалан, вольтметрнинг ўлчаш занжири ўлчаш механизмининг чулғамидан ва қўшимча қаршиликдан иборат. Бундай қаршилик занжири ўзгармасдир. Демак, ўлчаш механизми орқали кучланишга пропорционал бўлган ток ўтади.

Ўлчаш механизми (ЎМ) ўлчаш асбоби конструкциясининг бир қисми бўлиб, элементларнинг ўзаро таъсири натижасида уларнинг бир-бирига нисбатан ҳаракатини вужудга келтиради. Ўлчаш механизми қўзғалмас ва қўзғалувчи қисмлардан иборат. Ўлчаш механизми чулғамидаги токнинг қўзғалмас қисмнинг магнит (ёки электр) майдони билан таъсирлашиши натижасида механизмнинг қўзғалувчи қисми сурилади. Айлан-

тирувчи момент $M_{айл}$ ўлчанаётган миқдорларга бир хилда боғлиқ. Ўлчанаётган катталикнинг қиймати қўзғалувчи қисмнинг сурилишига қараб аниқланади.

Айлантирувчи момент тескари таъсир кўрсатувчи момент $M_{тес}$ билан мувозанатда бўлганда қўзғалувчи қисм стрелка билан биргаликда ўлчанаётган катталик қийматига мос келадиган аниқ ҳолатни эгаллайди. Ўлчаш асбобларидаги тескари таъсир кўрсатувчи момент кўпинча пружиналар, тортқилар ёрдамида ҳосил қилинади.



6.3- расм.

Қузғалувчан қисмнинг сурилиши мувозанат ҳолатда бўлиши моментларнинг тенглиги $M_{айл} = M_{тес}$ билан ифодаланади.

Асосий электромеханик ўлчаш механизмларига магнитоэлектрик, электромагнит, электродинамик ва индукцион механизмлар киради.

Магнитоэлектрик механизм. Қўзғалувчан рамкали магнитоэлектрик ўлчаш механизмлари ташқи ва рамка ичидаги магнитли кўринишларда бажарилади. Иккинчи хилдагиси асбобларнинг 80% дан кўпроғига ўрнатилади.

Ички рамали магнитли механизмларда (6.3- расм) ўзак вазифасини ўзгармас магнит *1* бажаради. Уни юмшоқ пўлатдан ясалган ҳалқасимон магнит ўтказгич *3* ўраб туради. Ҳаво оралиғида (зазорида) бир текис радиал магнит майдони ҳосил қилиш учун юмшоқ пўлатдан ясалган қутб учликлар *2* хизмат қилади.

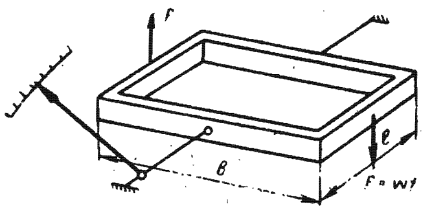
Қўзғалувчан ғалтак *4* тортқи ёки таянчларга ўрнатилган бўлиб, ўзакка нисбатан 90° га бурилиши мумкин. Ғалтак енгил алюмин каркасга ўралган ёки каркассиз изоляцияланган симдан иборат. Тескари таъсир кўрсатувчи момент ҳосил қилувчи ва қўзғалувчи ғалтакка ток ўтказувчи тортқилар (пружина ёки осмалар) чулғам учларига уланган.

Магнитоэлектрик механизмнинг ишлаш принципи ўзгармас магнит майдони билан токли ўтказгичларнинг ўзаро таъсирига асосланган. Айлантирувчи момент $M_{айл}$ электромагнит кучлар қонуни асосида аниқланади. Бунда ҳар бир ўтказгичга таъсир этаётган куч

$$f = B \cdot I \cdot l,$$

бу ерда l — ўтказгичнинг актив узунлиги.

Ғалтакнинг W ўрами иккита актив томонга эга. Елкага қўйилган кучлар ғалтак кенглиги b нинг ярмига тенг (6.4- расм). Демак, айлантирувчи момент:



6.4- расм.

$$M_{айл} = 2 \cdot f \cdot W \cdot \frac{b}{2} = B \cdot l \cdot W \cdot l \cdot b.$$

Агар $lb = S$ ғалтак юзаси бўлса, у ҳолда $M_{айл} = W \cdot B \cdot l \cdot S = c_1 \cdot l$. Тескари таъсир кўрсатувчи момент $M_{тес}$ тортқиларнинг ёки спирал пружиналарнинг буралишидан ҳосил бўлади ва уларнинг бураліш бурчагига пропорционалдир:

$$M_{тес} = c_2 \cdot \alpha,$$

бунда c_2 — пружинанинг бикрлик коэффициенти.

Моментлар тенглашганда $M_{айл} = M_{тес}$ ёки $c_1 l = c_2 \alpha$ стрелка сурилишдан тўхтайди. Тортқи ёки спирал пружиналарнинг буралиш бурчаги бир вақтда асбоб стрелкасининг сурилиш бурчаги ҳамдир. Демак, стрелканинг сурилиш бурчаги:

$$\alpha = \frac{c_1}{c_2} l = cl.$$

Қўзғалувчан қисмнинг бурилиш бурчаги ўлчанаётган токка тўғри пропорционалдир. Шунинг учун магнитоэлектрик асбобларнинг шкаласи текисдир, бу эса асбобнинг афзаллиги ҳисобланади.

Асбоб чулғами енгил алюмин каркасга ўралган бўлиб, қисқа туташган ўрамдан иборат. Каркас (ёки асбобнинг каркассиз чулғами) ўзгармас магнит ($N - S$) нинг магнит майдонида бурилганда (ҳаракатланганда) унда уюрма ток индукцияланиб, унинг йўналиши Ленц принципига асосан каркас (чулғам) бурилишига тескари таъсир кўрсатади. Бундай уюрма токлар магнит оқими билан ўзаро таъсирлашиб, тинчлантирувчи моментини ҳосил қилади ва чулғамли каркаснинг (чулғамнинг) тезда тинчланишини таъминлайди (магнит индукционли тинчлантиргич).

Магнитоэлектрик асбобларда, асосан, каркасли тинчлантиргичлар қўлланилади. Каркассиз ишлаб чиқарилаётган микроамперметрлардаги тинчлантиргич чулғамлидир.

Қўзғалувчан ғалтак 150 — 200 мА токка мўлжаллаб тайёрланади, чунки ток қийматининг юқори бўлиши тескари таъсир кўрсатувчи моментни ҳосил қилувчи ва ғалтакка ток узатувчи тортқилар ёки спирал пружиналарнинг қизишини оширади.

Магнитоэлектрик системага тааллуқли асбоблар шкалаларининг бир текислиги юқори аниқлик синфидаги ўлчаш чегараси кенг бўлган асбоблар тайёрлаш имконини беради. Масалан, М-1150 турдаги магнитоэлектрик амперметр 0,1 аниқлик синф-

да 0,75 мА дан 15 А гача бўлган 14 та ўлчаш чегарасига эгадир.

Шкаласи нотекис бўлган бошқа системадаги асбобларни кўп ўлчаш чегарали, аниқлик синфи юқори қилиб тайёрлаш қийиндир. Айлантирувчи момент йўналиши ғалтакдаги ток йўналишига боғлиқдир. Асбобни ўзгарувчан ток занжирига уланганда ғалтак тез ўзгарадиган механик импульсларни сезади ва стрелка ноль атрофида тебраниб туради. Магнитоэлектрик асбоблар фақат ўзгармас ток занжирларида қўлланилади. Стрелканинг керакли томонга бурилишини таъминлаш учун асбобни улашда қутблиликка амал қилиш керак.

Магнитоэлектрик системага тааллуқли асбобларнинг афзалликлари қуйидагилардан иборат: 1) аниқлик синфининг юқорилиги; 2) ташқи магнит майдонлар тавсифини кам сезиши (чунки улар ўзининг кучли магнит майдонига эга); 3) шкаласининг текислиги; 4) ўзи истеъмол қилувчи қувватнинг анча кичик бўлиши (сезгирлигининг юқорилиги).

Унинг камчиликларига ортиқча юкланишга сезгирлиги, механизмларининг нисбатан қиммат туришини келтириш мумкин.

Магнитоэлектрик ўлчаш механизмларидан юқори сезгир асбоблар (амперметр, вольтметр ва гальванометрлар) тайёрлашда фойдаланилиб, асосан ноль индикаторлар (ноль асбоблар), яъни занжирда токнинг йўқлигини қайдлагичлар (фиксаторлар) сифатида ишлатилади.

Магнитоэлектрик амперметрлар ва вольтметрларнинг ўлчаш механизмлари, умуман олганда, бир-биридан фарқ қилмайди. Фарқи фақат ўлчаш занжиридадир. Кучланишни ўлчаш — бу кучланишга пропорционал бўлган токни ўлчашдир, яъни

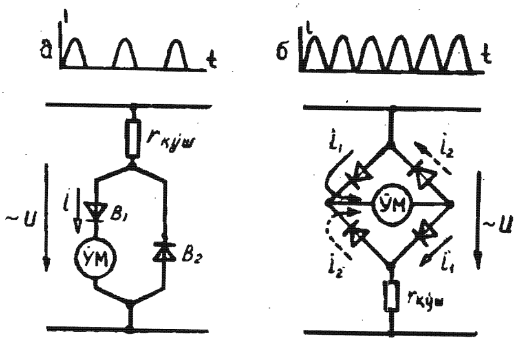
$$I_b = \frac{U}{r_b}.$$

$r_b = \text{const}$ бўлганда $I_b = U$ ва бундай амперметрнинг шкаласи вольтларда даражаланган бўлади.

Амперметрлар занжирга кетма-кет уланиб, уларнинг ички қаршиликлари (параллел уланган шунт билан бирга) нолга яқин бўлади. Вольтметрлар занжирга параллел уланиб, ички қаршилиги бир неча юз ва минг Омни ташкил этади (ўрамлар сони кўп бўлган ингичка сим). Бундан ташқари, ўлчаш механизми билан кетма-кет қилиб қўшимча қаршилик уланади. Вольтметрлар қаршиликларининг йиғиндиси бир неча ўн минг Омни ташкил этади.

Асбобсозликда аниқлилиги юқори (аниқлик синфи 0,1) бўлган асбоблар кўплаб ишлаб чиқарилади. Чунончи, ўлчаш чегаралари 750 мкА гача, 45mV гача бўлган М 1150 А, М 1151 mV, М1152 V асбоблар, М95 микроамперметрлар ва М1201 вольтметрлар шулар жумласидандир.

Рамка ичига жойлаштирилган магнитлардан фойдаланилганда ўлчаш механизмларининг габаритлари кичикроқ бўлишига эришилади. Масалан, М726 асбоблари (микроамперметр-



6.5- расм.

лар, миллиамперметрлар ва вольтметрлар) нинг габаритлари 20 × 24 мм ни ташкил этади.

Тортқилардан фойдаланиш (ўқлар ва подшипниклар ўрнига) асбобларнинг сезгирлигини оширади ва тебранишга берилувчанлигини камайтиради.

Магнитоэлектрик асбобларнинг юқори сезгирлигидан фойдаланиб, ўзгарувчан токларни ўлчашда улар ярим ўтказгичли диодлардан йиғилган битта ва иккита ярим даврли ўзгарувчан ток тўғрилагичли схемалар орқали уланади (6.5-расм).

Тўғрилагич магнитоэлектрик ўлчаш механизми (ЎМ) ўлчайдиган ўзгарувчан токни пульсланувчи ўзгармас токка айлантиради. Асбоб қўзғалувчан қисмининг инерция кучи бундай пульсацияларга улгурмайди, унинг буралиши айлантирувчи моментнинг бир даврдаги ўртача қиймати билан аниқланади. Чунки айлантирувчи момент токка пропорционалдир, у ҳолда мазкур момент токнинг уртача қиймати $I_{ўр}$ га пропорционал бўлади. Иккита ярим даврли тўғрилашда айлантирувчи момент қуйидагича топилади:

$$M_{айл} = W \cdot S \cdot B \cdot I_{ўр}.$$

Битта ярим даврли тўғрилагичда бу момент икки марта кичик бўлади. Одатда, тўғрилагичли асбобларнинг шкалалари таъсир этувчи қийматларни кўрсатадиган қилиб даражаланган бўлади.

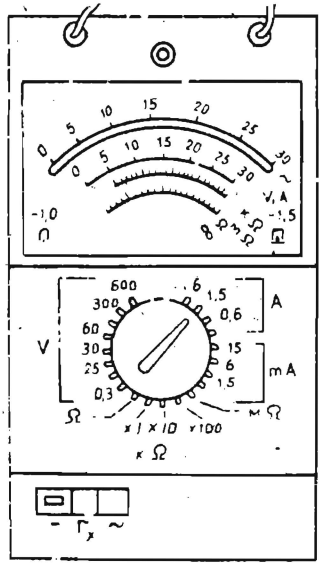
Синусоидага мувофиқ, эгри чизиқ формалари коэффициенти

$$K_ф = \frac{I}{I_{ўр}} = 1{,}11,$$

шунинг учун тўғрилагич асбоби шкаласи 1,11 га кўпайтирилган ($I = 1{,}11 \cdot I_{ўр}$) бўлади. Масалан, синусоидал кучланишнинг ўртача қиймати 108 В бўлганда асбоб 120 В кучланишни кўрсатади ($108 \cdot 1{,}11 = 120$).

Тўғрилагичли асбоблар косинусоидал катталикларни ўлчаш учун номақбулдир, чунки бунда қўшимча ўлчаш хатоликлари вужудга келади. Диодлар параметрларининг ўзгариб туриши (беқарорлиги) туфайли вужудга келадиган хатоликлар сабабли, бундай асбобларнинг аниқлик синфи 1,5 дан ошмайди.

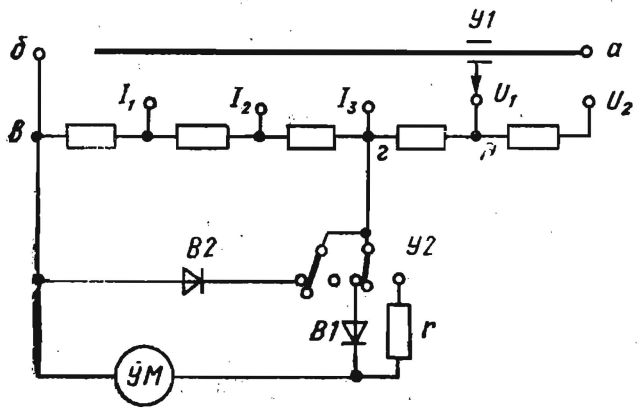
Тўғрилагич асбоблар магнитоэлектрик системанинг бир қатор афзалликларини (сезгирлигининг юқорилиги, ўзида кам қувват сарфлаши) сақлаб қолади. Улар кўп ўлчаш чегарали универсал асбоблар (тестерлар) сифатида қўлланилади, чунки шунтлар ва қўшимча қаршиликларни қайта улаш йўли билан уларнинг ўлчаш чегараларини ўзгартириш мумкин (6.6- расм). Ўлчашда ишлатиладиган ярим ўтказгич вентилларнинг ўлчамлари етарли даражада кичик бўлиб, улар тўғрилагич асбоб корпуси ичига бемалол жойлашади.



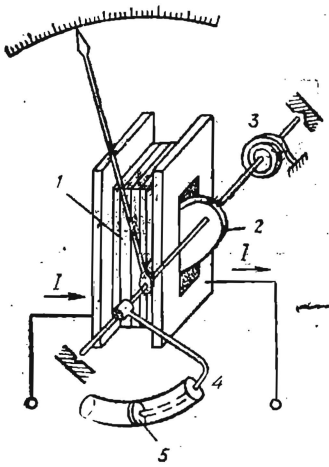
6.6- расм.

Кўп ўлчаш чегарали универсал вольт-амперметрнинг битта ярим даврли тўғрилагич схемаси 6.7-расмда кўрсатилган. Бунда В1 ва В2 мос равишда тўғри ва тескари диодлар.

Қайта улагич У1 ток ёки кучланишнинг керакли ўлчаш чегарасини танлаш имкониятини беради. Қайта улагич У2 асбобни ўзгармас ёки ўзгарувчан токка қайта улаш учун ишлатилади (6.7-расмда ўзгарувчан ток учун кўрсатилган). Ўлча-



6.7- расм.



6.8- расм.

наётган кучланиш a ва b қисмаларга берилганда ток қўшимча қаршилик 2-g орқали ўтади. Бу ток универсал шунт b-2 ва В1 диод орқали ўлчаш механизми (ЎМ) орасида тақсимланади. Диод В2 диод В1 ни хавфли тескари ярим тўлқин кучланишидан сақлайди.

Ўзгармас токдаги ўлчашларда В1 диоднинг тўғри қаршилиги қаршилик билан алмаштирилади.

Электромагнит механизм. Электромагнит системасидаги асбобларнинг ишлаш принципи ўлчанаётган токли ғалтак *1* га пўлат ўзак *2* нинг тортилишига асосланган (6.8-расм). Бундай қурилмада электромагнит кучлар шундай йўналган бўлиши керакки, бунда ўзакнинг ҳолатини ўзгартириш учун механизмдаги магнит оқим энг кўп бўлсин. Қўзғалувчан ўзак *2* ярпоқча кўринишида бўлиб, эксцентрик ҳолда ўққа маҳкамланган бўлади. Шу ўққа стрелкага тескари таъсир кўрсатувчи момент ҳосил қиладиган спирал пружина *3* ва тинчлантиргич *4* нинг поршени *5* маҳкамланган бўлади (6.8-расм). Ўлчанаётган ток *I* қўзғалмас ғалтак орқали ўтиб, магнит майдони ҳосил қилади. Ўзак *2* магнитланиб, ғалтакнинг тешигига тортилади ва у маҳкамланган ўқни буради. Ўз навбатида, ўққа маҳкамланган асбоб стрелкаси α бурчакка бурилади.

Асбобнинг қўзғалувчан қисмига таъсир этаётган айлантирувчи момент умумий ҳолда, магнит майдон энергияси ўзгаришининг бурилиш бурчак бўйича олинган биринчи тартибли ҳосиласи орқали аниқланиши мумкин:

$$M_{айл} = \frac{dW_м}{d\alpha} = \frac{d}{d\alpha}\left(\frac{Li^2}{2}\right) = \frac{i^2}{2}\frac{dL}{d\alpha},$$

бунда L — ғалтакнинг ўзак ҳолатига боғлиқ бўлган индуктивлиги; i — ўлчанаётган ток.

Айлантирувчи момент ғалтакдаги токнинг квадратига пропорционал деб қабул қилинади:

$$M_{айл} = c_1 I^2.$$

Айлантирувчи момент $M_{айл}$ ни мувозанатловчи тескари таъсир кўрсатувчи момент спирал пружина *3* ёрдамида ҳосил қилиниб, асбоб стрелкасининг бурилиш бурчагига, яъни спиралнинг буралиш бурчагига пропорционалдир:

$$M_{тес} = c_2\alpha.$$

Стрелка бурилишининг барқарорлашуви $M_{айл} = M_{тес}$ ёки $c_1 I^2 = c_2 \alpha$ га мос келади. Бундан

$$\alpha = \frac{c_1}{c_2} I^2 = cI^2.$$

Стрелканинг бурилиш бурчаги токнинг квадратига пропорционал бўлганлиги учун бу асбобларнинг шкаласи нотекис бўлади.

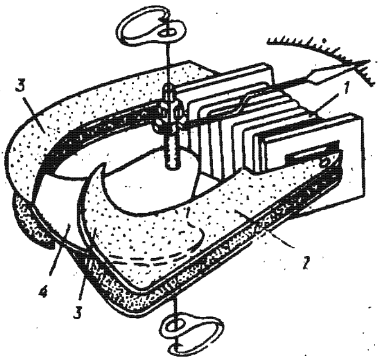
$\alpha = cI^2$ ифодадан кўринадики, қўзғалувчан қисм бурилиш бурчагининг ишораси ток йўналишига боғлиқ эмасдир. Электромагнит асбоблардан ўзгармас ва ўзгарувчан ток занжирларида фойдаланиш мумкин. Улар ўзгарувчан ток занжирида токнинг таъсир этувчи қийматини ўлчайди.

Асбобнинг қўзғалувчан қисми тинчланиши учун одатда ҳаволи тинчлантиргич қўлланилади. У эгилган цилиндр *4* дан иборат. Асбобнинг ўқи цилиндр ичида поршень *5* штоги билан боғланган. Цилиндр иккала қисмидаги босимлар фарқи натижасида қўзғалувчан қисмнинг ҳаракати секинлашади.

Шкаласининг нотекислиги электромагнит механизмли асбобларнинг камчилиги ҳисобланади. Асбоб шкаласининг нотекислигини камайтириш учун айлантирувчи момент ток кучига пропорционал бўлиши керак. Электромагнит механизм учун бу шартга $I\frac{dL}{d\alpha} = \text{const}$ бўлганда эришилади. Ўзакнинг шаклини танлаш ва уни ғалтакка нисбатан жойлаштириш йўли билан асбобнинг шкаласини деярли текис қилишга эришилади. Шкаланинг бошланғич қисми учун $I\frac{dL}{d\alpha} = \text{const}$ шартни амалга ошириб бўлмайди, чунки $I \to 0$ да $\frac{dL}{d\alpha} \to \infty$ бажарилмайди. Шунинг учун шкаланинг 10÷20% қисми сиқиқ бўлиб, қолган қисми анча текисдир.

Ташқи магнит майдоннинг таъсири ҳам мазкур асбобларнинг камчилиги ҳисобланади, чунки ғалтакнинг магнит майдони ҳавода тугашганлиги учун озроқ индукция билан характерланади. Ташқи магнит майдони таъсирида вужудга келган хатоликларни камайтириш учун электромагнит механизмли асбоблар пўлат ғилоф билан ниқобланган бўлади.

Электромагнит механизмли асбобларнинг янги конструкцияларида магнит ўтказгичли механизмлар (6.9-расм) қўлланилади. Бундай механизмларда ташқи магнит майдон таъсири анча сусайган бўлади. Бундай асбобларнинг ўзи истеъмол қиладиган қувват аввалги конструкциядаги асбоблардан 3—4 марта кам бўлиб, сезгирлиги нисбатан юқоридир. Ғалтак *1* иккита қутб учликлари *3* бўлган магнит ўтказгич *2* га жойлаштирилган. Ғалтак чулғамидан ток ўтганда сектор шаклдаги қўзғалувчи ўзак *4* ўқ (тортқи) атрофида бурилиб, магнит системанинг максимум энергиясига мос келувчи ҳолатни эгаллайди. Тортқиларга ўрнатилган қўзғалувчан қисмнинг бурилиши те-



6.9- расм.

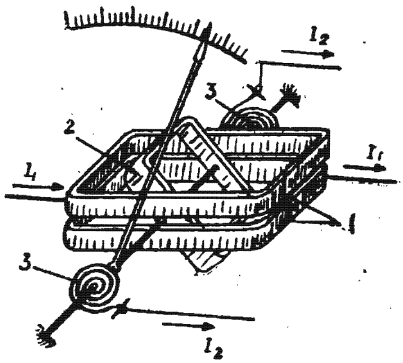
кари таъсир кўрсатувчи моментни ҳосил қилади. Демпфер сифатида суюқликли тинчлантиргичдан фойдаланилади. Суюқликли тинчлантиргичларнинг қўлланиши механизм ўлчамларини анча кичрайтиради. Бу уларнинг бошқа системадаги ўлчаш асбобларидан афзаллигидир.

Электромагнит механизмли асбоблар ўзининг тузилишига кўра оддий, нисбатан арзон, ўта юкланишга ғоят чидамлидир. Чунки ўлчаш механизмининг ғалтаги қўзғалмас бўлганлигидан, у катта токка (500 А гача) мўлжалланган бўлиши мумкин.

Асбобсозликда ўлчаш токи 10 мА гача бўлган кўчма Э59; 1,5 мА гача бўлган шчитли Э378 миллиампермётрлар; 500 А гача бўлган Э59/102 ва Э59/103 амперметрлар; 600 В гача бўлган Э59/106 вольтметрлар; тор профилли Э390 амперметрлар ва Э391 вольтметрлар ишлаб чиқарилади

Электродинамик механизмлар. Электродинамик механизмли асбобларнинг ишлаши токли ўтказгичларнинг ўзаро таъсир принципи (токлари қарама-қарши йўналган, иккита ўтказгич бир-биридан итарилиши, токлари бир хил йўналишда бўлса, бир-бирига тортилиши)га асосланади. Бундай ўзаро таъсирни ғалтаклардан биридаги токнинг бошқа ғалтакда ҳосил бўлган токнинг магнит майдон билан ўзаро таъсири, деб хулоса чиқариш мумкин.

Электродинамик механизмли асбоблар иккита: икки секцияли қўзғалмас *1* ва қўзғалувчан *2* ғалтакдан иборат. Қўзғалувчан ғалтакка ток J_2 иккита спирал пружина *3* орқали берилади. Бу ток тескари таъсир кўрсатувчи момент ҳосил қилиш учун ҳам хизмат қилади. Ўққа стрелка ва ҳаволи тинчлантиргич ҳам маҳкамланган бўлади (6 10-расм). Айлантирувчи момент ғалтаклардаги токларнинг кўпайтмасига тўғри пропорционалдир. Бундан ташқари, у қўзғалувчан ғалтак бурилиши би-



6.10- расм.

лан ғалтакларнинг нисбатан ўзгариш ҳолатига боғлиқдир. Айлантирувчи момент қўзғалувчан ғалтак сурилганда ўзаро индуктивликнинг ўзгаришига пропорционал ҳолда ифодаланади, яъни

$$M_{айл} = I_1 \cdot I_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha}.$$

Тормозловчи момент $M_{торм} = K \cdot \alpha$ пружинанинг буралиш бурчаги α га пропорционалдир. Бу бурчак асбоб стрелкасининг бурилиш бурчагидир. Стрелка бурилишининг барқарорлашуви $M_{тес} = M_{торм}$ га мос келади. Бундан

$$\alpha = \frac{1}{K} I_1 \cdot I_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha}.$$

Ўзгарувчан токда бундай боғланиш қуйидаги кўринишни олади:

$$\alpha = \frac{1}{K} I_1 I_2 \cos(\widehat{I_1 I_2}) \frac{dM_{12}}{d\alpha}.$$

Юқоридаги ифодадан кўринадики, I_1 ва I_2 токлар йўналишларининг бир вақтда ўзгариши билан бурилиш бурчаги α нинг ишораси ўзгармайди. Шу сабабли ҳам электродинамик механизмли асбоблар ўзгармас ва ўзгарувчан ток занжирларида қўлланиши мумкин.

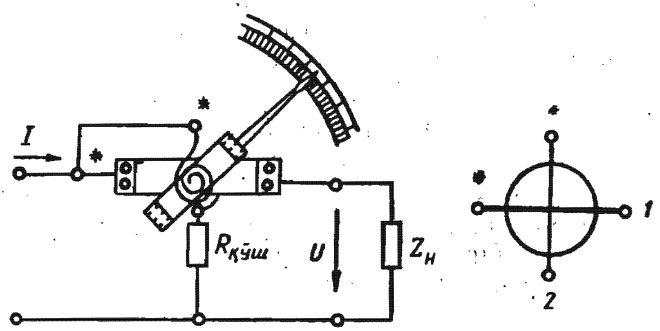
Ғалтакларнинг шаклини, уларнинг ўзаро жойлашишини ўзгартириш орқали бурчакнинг кичик ўзгаришида $\frac{dM_{12}}{d\alpha}$ га таъсир кўрсатиш, яъни $\frac{dM_{12}}{d\alpha} = \text{const}$ бўлишига эришиш мумкин. Бунда шкаланинг бирмунча текис бўлишига эришилади.

Ўлчаш механизмлари тайёрлашда пўлатдан фойдаланмаслик 0,5; 0,2; 0,1 каби юқори аниқлик синфидаги асбобларни ясаш имкониятини беради.

Ғалтакларнинг магнит оқимлари ҳаво орқали туташганлиги учун кучсиздир. Электродинамик механизмли асбобларнинг ташқи магнит майдон таъсирига берилиши уларнинг камчилиги ҳисобланади. Электродинамик механизмларни ташқи магнит майдон таъсиридан ҳимоялаш учун улар пермаллой билан икки қават қилиб ниқобланади.

Электродинамик механизмли асбоблар, асосан, кўчма лаборатория асбоблари ҳисобланиб, амперметрлар ва вольтметрлар сифатида ишлатилади. Ўзгармас ва ўзгарувчан ток занжирларида қувватларни ўлчаш учун электродинамик ваттметрлар кенг қўлланилади.

Ваттметрнинг қўзғалмас ғалтаги *1* ток ғалтаги деб аталиб, нагрузка занжирига кетма-кет уланади (6.11-расм). Шундай қилиб, ток I_1 назорат қилиб турилган қурилманинг токи I га тенг. Қўзғалувчан ғалтак *2* қўшимча резистор $R_к$ билан бир-



6.11- расм.

галикда параллел занжирни ёки кучланиш занжирини ташкил қилади. Бундай ғалтакдаги ток

$$I_2 = \frac{U_{нагр}}{rv + R_қ} \equiv U_{нагр}.$$

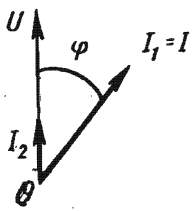
Айланувчи момент ва стрелканинг бурилиш бурчаги α, аввал кўрганимиздек,

$$M_{айл} = I_1 I_2 \cos(\widehat{I_1 I_2}) \frac{dM}{d\alpha} \text{ ва } \alpha = \frac{1}{K} I_1 I_2 \cos(\widehat{I_1 I_2}) \frac{dM}{d\alpha}.$$

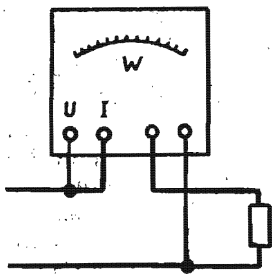
Параллел занжир ўзгармас ва реактивсиз қаршиликдан иборат бўлса, бундай ғалтакдаги ток $\left(I_2 = \frac{U_{нагр}}{const}\right)$ кучланиш билан бир хил фазада бўлади. Актив-индуктив нагрузканинг вектор диаграммаси 6.12-расмда кўрсатилгандек бўлади. Бундай ҳолда бурчак $(\widehat{I_1 I_2})$ ток I ва кучланиш U орасидаги фаза силжиш бурчагига тенг бўлади.

$$\frac{dM}{d\alpha} = \text{const}$$

деб қабул қилсак. $M_{айл} = KUI\cos\varphi = K_1 \cdot P$ ни ҳосил қиламиз,



6.12- расм.



6.13- расм.

яъни айланувчи момент актив қувватга пропорционалдир ва $\alpha = \frac{K_1}{K} UI\cos\varphi = \frac{K_1}{K} P$ бўлади.

Электродинамик ваттметр „қутбли“ асбоб ҳисобланади, чунки чулғамларнинг бирортасидаги ток йўналиши ўзгарганда стрелка тескари томонга бурилади. Ваттметрни тўғри улашни таъминлаш учун чулғамнинг иккала „учлари“ схемада юлдузча (*) ёки нуқта (·) билан белгиланади. Юлдузча билан белгиланган иккала занжирнинг қисқичлари *генератор (бошланғич) қисқичлар* деб аталади.

Мамлакатимизда ишлаб чиқарилган ваттметрларнинг чулғам клеммалари кучланиш чулғамига, ўртадагилари ток чулғамига тегишли. Генератор қисмалари U ва I ҳарфлари билан белгиланган.

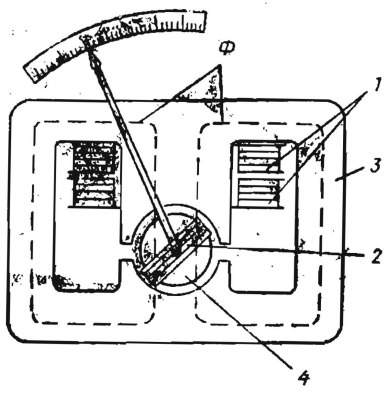
Электродинамик ваттметрлар ток ва кучланиш бўйича, одатда, бир нечта ўлчаш чегараларидан иборат (масалан, ток бўйича иккита чегара — 5А ва 10А, кучланиш бўйича учта чегара — 30,150 ва 300 В). Бундай асбоблар шартли шкалали бўлиб. ваттметрда ўлчанган катталикнинг ҳақиқий қийматини топиш учун стрелка кўрсатаётган бўлаклар сони асбобнинг доимийлиги c (ҳар бир бўлакка мос келган қувват) га кўпайтирилади. У қуйидаги формула билан аниқланади:

$$c = \frac{U_{ном} \cdot I_{ном}}{N},$$

бунда N—асбоб шкаласининг бўлаклар сони ($c = \frac{150 \cdot 5}{100} = 7{,}5$ Вт/бўлак, агар стрелка 10 бўлакка тенг бўлган бурчакка бурилса, ваттметр ўлчаётган қувват $P = 7{,}5 \cdot 10 = 75$ Вт бўлади).

Уч фазали занжирлардаги қувватни ўлчаш учун уч фазали, икки ва уч элементли ваттметрлардан фойдаланилади.

Ферродинамик механизмлар. Электродинамик механизмли асбобларнинг ташқи магнит майдон таъсирига берилишини ва айлантирувчи моментининг нисбатан кичик бўлишини механизмда электротехник пўлат пластинкалардан ёки пермаллойдан иборат ферромагнитли магнит ўтказгични қўллаш билан бартараф қилиш мумкин. Шундай магнит ўтказгичли электродинамик асбоблар *ферродинамик асбоблар* деб аталади. Уларнинг ишлаш принципи электродинамик асбобларникига ўхшашдир. Қўзғалмас ғалтак *1* магнит ўтказгич *3* ичига жойлаштирилади, қўзғалувчан каркассиз ғалтак *2*



6.14- расм.

эса пўлат *4* дан иборат қўзғалмас цилиндр билан ўраб олинган бўлади (6 14-расм). Пўлат магнит ўтказгич ўлчаш механизмининг магнит майдонини кучайтиради, нагижада асбобнинг айлантирувчи моменти бирмунча ошади. Ўзида кучли магнит майдонининг бўлиши ташқи магнит майдонлар таъсирини камайтиради.

Ферродинамик механизмли асбоблар ўзи ёзар асбобларда ҳамда тебраниш, силкиниш ва зарбли силкиниш шароитларида ишлатиш учун мўлжалланган асбобларда қўлланилади. Ўзи ёзар (қайд қилиш) асбобларда стрелка ҳаракатланаётган қоғоз лентасида ўзининг кўрсатишларини (маълумотларини) қайд қилиш учун сиёҳли перо билан таъминланган бўлади.

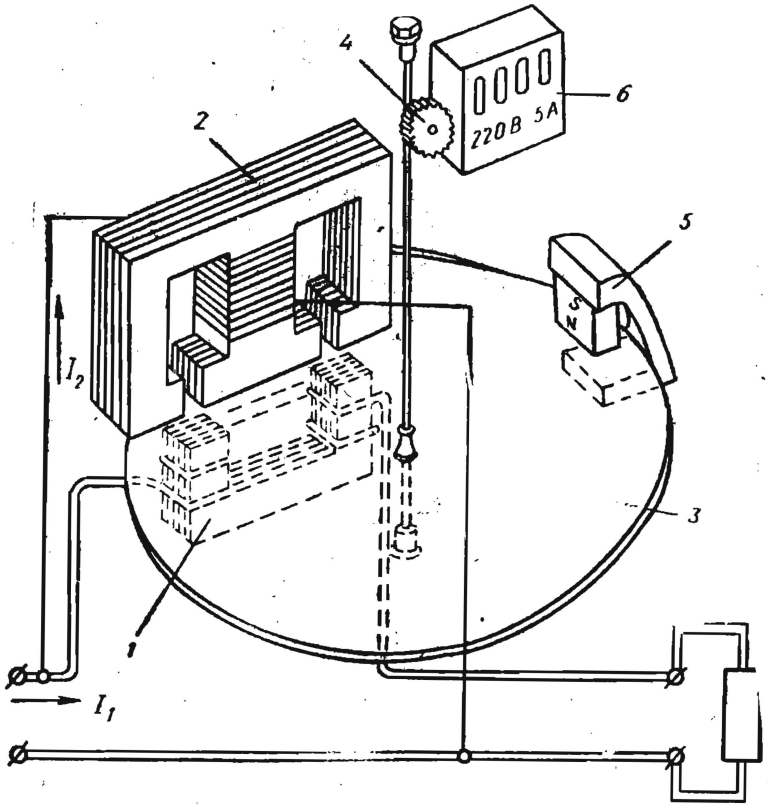
Улаш механизмида чизиқли бўлмаган элемент (пўлат магнит ўтказгич) нинг бўлиши, гистерезис, уюрма токлар ва пўлатнинг магнитланиш эгри чизиғи чизиқли бўлмаслиги сабабли асбобнинг аниқлик даражаси пасаяди. Ферродинамик механизмли асбобларнинг аниқлик синфлари 1,5; 2,5 бўлади.

Индукцион механизмлар. Индукцион механизмли асбобларда айлантирувчи момент қўзғалмас контурлар ҳосил қилган ўзгарувчан магнит оқимлари ва асбобнинг қўзғалувчан қисмида шу оқимлар индуктивлаган уюрма токларнинг ўзаро таъсири натижасида вужудга келади. Бундай асбобларнинг ишлаш принципидан кўринадики, улар фақат ўзгарувчан ток занжирларида қўлланиши мумкин.

Ҳозирги вақтда индукцион ўлчаш механизмлари фақат электр энергияси счётчикларида қўлланилади.

Электр энегияси бир фазали счётчигининг СО=1 тури кенг тарқалган (6.15- расм). *U*-симон *1* ва Т-симон *2* қўзғалмас электромагнитларнинг ўзгарувчан оқимлари ўққа ўрнатилган алюминийли енгил диск *3* ни кесиб ўтади. Ўзгарувчан оқимлар индукциялаган токлар (уюрма токлар) билан электромагнит оқимлари ўзаро таъсирлашиб, айлантирувчи моментни ҳосил қилади. Бу момент дискка таъсир қилади ва уни айлантиради.

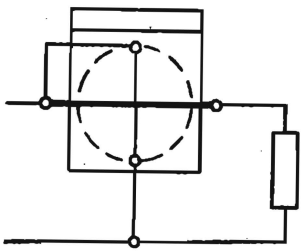
Электр энергияси счётчиги йиғувчи (жамловчи) асбоб бўлиб, кўрсатувчи қисми пружина билан чекланмагандир. У бирор вақт давомида (бир соатда, бир суткада, бир ойда ва ҳ. к.) сарфланган электр энергиясини ҳисобга олади. Пастки электромагнит *1* нинг чулғами счётчикнинг номинал токига мос келадиган, кўндаланг кесими нисбатан йўғон симдан ўралган (ясалган) бўлиб, ток чулғами деб аталади. У занжирга амперметр каби кетма-кет уланади. Электромагнит *2* нинг чулғами эса ингичка симдан 8—12 минг ўрам қилиб ўралади ва вольтметр каби тармоққа параллел уланади Счётчик тармоққа ваттметр каби уланади (6.16-расм). Ток чулғамидаги I_1 ток магнит оқими Φ_1 ни ҳосил қилади ва у диск *3* ни икки марта кесиб ўтади. Ток I_2 кучланишга пропорционал ҳолда Φ_u оқимни ҳосил қилиб, дискни бир марта кесиб ўтади (Φ_u магнит



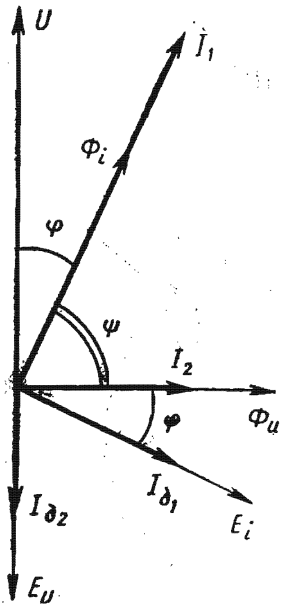
6.15- расм.

ўтказгичнинг пўлат ҳалқаси *2* бўйича туташган бўлиб, расмда кўрсатилмаган).

Иш токи *I* га тенг бўлган I_1 ток ва кучланиш *U* нагрузканинг характери билан аниқланиб, фаза бўйича бир-биридан φ бурчакка фарқ қилади. Кучланиш ғалтаги индуктивлигининг катта бўлиши, ўрамлар сонининг кўплиги сабабли ток I_2 кучланиш *U* дан 90° га яқин бурчакка кечикади (бунда Φ_u оқим бир қисмининг шунтланиши ёрдам беради). Агар асбобдаги электромагнитлар тўйинмаган режимда ишлаётганлигини ҳисобга олсак (яъни $\Phi_u \equiv I_2 \equiv U$ ва $\Phi_i \equiv I_1$) ва исрофлар бурчагини ҳисобга олмасак, қуйидаги вектор диаграммани ҳосил қиламиз (6.17-расм).



6.16- расм.



6.17- расм.

Ўзгарувчан оқимлар Φ_i ва Φ_u дискда шу оқимлардан 90° кечикувчи E_1 ва E_2 ЭЮК ларни индукциялайди. Бу ЭЮК лар дискда I_{g1} ва I_{g2} уюрма токларни ҳосил қилади ва улар билан бир хил фазада бўлади (дискнинг индуктивлигини ҳисобга олмаса ҳам бўлади). Оқимларнинг „бегона" токлар билан ўзаро таъсири натижавий айлантирувчи моментни беради. Мазкур моментнинг бир даврдаги ўртача қиймати:

$$M_{айл} = K_1\Phi_i \cdot I_{g2}\cos(\widehat{\Phi_i I_{g2}}) + K_2\Phi_u I_{g1}\cos(\widehat{-\varphi\Phi_u I_{g1}}) = K'\Phi_i\Phi_u\cos(90^\circ+\psi) + K''\Phi_i\Phi_u\cos(90^\circ-\varphi) = K\Phi_i\Phi_u\sin\psi.$$

Ушбу ифодада $\sin\psi = \sin(90^\circ-\varphi) \Longleftrightarrow \cos\varphi$.

Шундай қилиб, айлантирувчи момент

$$M_{айл} = I_1 U\cos\varphi = K_м P,$$

яъни у нагрузка истеъмол қилаётган актив қувватга пропорционалдир.

Счётчик дискининг айланишлар сонини сарфланаётган энергияга пропорционал қилиш учун дискнинг айланиш тезлигига пропорционал бўлган тормозловчи момент бўлиши керак. Бу моментни ўзгармас магнит 5 (6.1- расм) ҳосил қилади. Диск айланганда унинг $\Phi_м$ майдони (магнит оқими) дискда ўзининг уюрма токларини индукциялайди. Ленц қоидасига асосан, бу токлар дискнинг айланишига тескари таъсир кўрсатади. Уюрма токлар дискнинг айланиш тезлиги n га пропорционал бўлганлиги учун тормозловчи момент:

$$M_{торм} = K_т \cdot n.$$

Барқарорлашган тезликда $M_{айл} = M_{торм}$ ёки $K_м P = K_т n$ ифода $t=0$ дан t_1 гача бўлган вақт оралиғида

$$\int_0^{t_1} K_м P dt = \int_0^{t_1} K_т n dt$$

ёки

$$K_м P t_1 = K_т n t_1.$$

Бунда $Pt_1 = W - t$ вақт ичида қурилма истеъмол қилаётган электр энергияси, $nt_1 = N$ эса шу вақтдаги счётчик дискининг айланишлар сони.

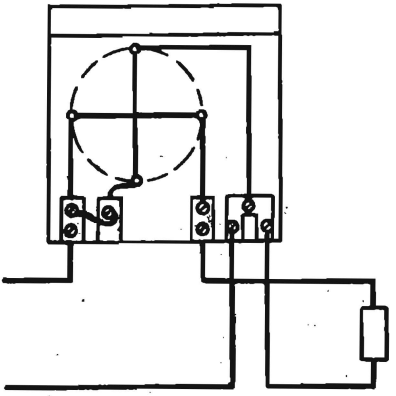
Демак,

$$W = \frac{K_т}{K_м} N = cN.$$

Бунда c—счётчик доимийси бўлиб, счётчик дискининг бир марта тўла айланишига тўғри келувчи Вт·сек даги энергия.

Счётчикдаги айланадиган дискнинг ўқи червяк ва тишли узатма орқали ҳисоблаш механизми билан туташтирилган. Счётчикнинг ҳисобга олаётган энергияси ҳисоблаш механизмининг кўрсатиши бўйича ўлчанади.

Индукцион счётчикларнинг қуйидагича аниқлик синфлари мавжуд: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0. Счётчик қисмаларининг жойлашиши 6.18-расмда кўрсатилган.



6.18-расм.

Уч фазали электр курилмаларда электр энергиясининг уч фазали счётчиклари қўлланилиб, улар иккита ёки учта асосий элементлардан иборат бўлади ва ўқ орқали ҳисоблаш механизмига таъсир кўрсатади.

Реактив энергияни ҳисобга олишда актив қувват счётчиклари тузилишига ўхшаш, лекин ғалтакларнинг ижроси ва ўзаро уланиши билан фарқ қиладиган уч фазали махсус счётчиклар ишлаб чиқариладй. Корхона ва бошқа объектлар электр қурилмаларининг электр қуввати 100 кВА ва ундан катта бўлганда реактив энергия счётчикларидан фойдаланилади.

Актив ва реактив энергия счётчикларининг кўрсатишлари бўйича электр қурилмаларнинг ўлчанган cos φ қийматининг ўртачаси аниқланади (бир ойда, квартална, йилда). Бунинг учун бир ойдаги кВАр·соат да ифодаланган электр энергиянинг сарфи кВт·соат да ифодаланган актив энергия сарфига бўлинади. Бу нисбат фаза силжиш бурчагининг тангенсини беради:

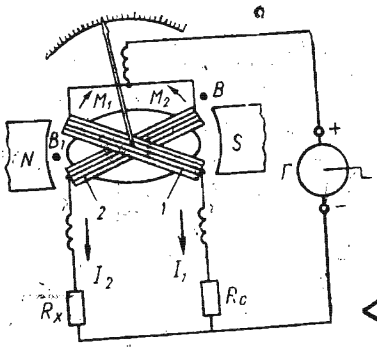
$$\frac{W_p}{W_a} = \frac{0{,}001\,UI\sin\varphi}{0{,}001\,UI\cos\varphi} = \mathrm{tg}\varphi.$$

tgφ бўйича cosφ топилади

Электр қурилмаларнинг ўртача ўлчанган cos φ сини ҳар ойда аниқлашдан мақсад истеъмолчининг cosφ қийматини ҳисобга олиб, сарфланган электр энергиясига тўланадиган ҳақни белгилашдир.

6.5. ЛОГОМЕТРЛАР

Кўриб чиқилган электр ўлчаш механизмларидаги қўзғалувчан қисмнинг бурилиши уларнинг ғалтаклари орқали ўтаётган токнинг, бинобарин, энергия манбаи кучланишининг бирор функцияси ҳисобланади.



6.19- расм.

Қаршиликлар, фазалар фарқи, частота, температура, босим, идишдаги суюқлик сатҳи ва ҳоказоларни ўлчаш учун логометрлардан фойдаланилади. Бунда кучланишга боғлиқ бўлган токнинг эмас, балки икки токнинг ўзаро нисбати ўлчанади („*логос*" грекча сўз бўлиб, нисбат деган маънони билдиради).

Магнитоэлектрик ва электродинамик механизмли логометрлар кенг тарқалган. Бу логометрларнинг ўзига хос хусусияти уларда механик тескари таъсир кўрсатувчи моментнинг йўқлигидир. Бунда айлантирувчи ва тескари таъсир кўрсатувчи моментларни электромеханик кучлар ҳосил қилади ва улар кучланишга турли даражада боғлиқ бўлади. Шунинг учун манба кучланишининг ўзгариши моментлар нисбатини ўзгартирмайди, бинобарин, асбобнинг кўрсатишига таъсир этмайди.

Магнитоэлектрик механизмли логометрнинг қўзғалувчан қисми бир-бирига бирор бурчак остида қаттиқ маҳкамлаб жойлаштирилган иккита рамка *1* ва *2* дан иборат. Рамкаларга ток учта юмшоқ (моментсиз) кумуш спираллар орқали берилади. Токларнинг йўналишлари шундай танланиши керакки, рамкаларда ҳосил қилинган моментлар M_1 ва M_2 ўзаро қарама-қарши таъсир этсин.

Магнит индукцияси B нинг бурилиш бурчагига боғлиқлиги N—S қутблар билан ўзак орасидаги масофанинг ўзгариши билан аниқланади. Бунга эришиш иккала ғалтакнинг нотекис оралиқда бўлиши ҳисобига содир бўлади (ё қутб учликлар шаклини йўниб ўйиш туфайли, ё ўзак шаклининг эллипсга ўхшашлиги туфайли). B_1 нуқтадаги индукция B нуқтадагига нисбатан катта бўлади (6.19- расм).

Агар ток занжири ёпиқ бўлса, у орқали I_1 ва I_2 токлар ўтади ва рамкаларда иккита айлантирувчи момент ҳосил бўлади:

$$M_1 = W_1 S B_1 I_1 = K I_1 f_1(\alpha);$$
$$M_2 = W_2 S B_2 I_2 = K I_2 f_2(\alpha).$$

Бу ерда: W —ғалтакнинг ўрамлар сони; S—ғалтакнинг кўндаланг кесим юзи, B—ҳаво оралиғида жойлашган ғалтакнинг магнит индукцияси.

Ғалтак соат стрелкаси йўналишида бурилганда, масалан ($M_1 > M_2$) биринчи ғалтакнинг актив томони анча кучсиз индукцияли жойга ўтади ва M_1 камаяди. Шу вақтда M_2 ошади.

Бирор аниқ ҳолатда моментлар ўзаро мувозанатда бўлади, яъни $M_1 = M_2$ ёки:

$$I_1 f_1(\alpha) = I_2 f_2(\alpha),$$

бундан

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{f_2(\alpha)}{f_1(\alpha)} = f(\alpha).$$

Демак, логометрнинг кўрсатиши унинг ғалтакларидаги токлар нисбати билан аниқланади.

Электротехник қурилмалар изоляциясининг мустаҳкамлигини аниқлашда магнитоэлектрик механизмли логометрлар (мегоомметр) ишлатилади. Бу асбобнинг қўлланилишини (Rx қаршиликни аниқлашни) кўриб чиқамиз (6.19-расм).

$$I_1 = \frac{U}{R_0 + R_1}; \qquad I_2 = \frac{U}{R_x + R_2},$$

бунда R_1 ва R_2—логометр ғалтакларининг қаршиликлари; R_0—асбоб ичидаги ўзгармас қаршилик; U—қўл ёрдамида ҳаракатга келтириладиган генератор (манба) кучланиши.

Манба сифатида асбоб корпуси ичига жойлашган ўзгармас магнит ёрдамида уйғотиладиган генератор $Г$ дан фойдаланилади. Генератор якори қўл билан ҳаракатга келтириладиган даста ёрдамида айлантирилади (2 айл/сек). Мегоомметрнинг турига қараб генераторнинг кучланиши 500, 1000, 2500 В бўлиши мумкин.

$$\alpha = f\left(\frac{J_1}{J_2}\right) = f\left(\frac{U}{R_0+R_1} \cdot \frac{R_x+R_2}{U}\right) = f\left(\frac{R_x+R_2}{R_0+R_1}\right).$$

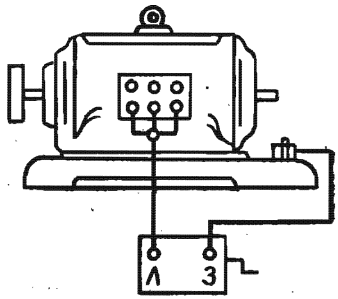
R_2 кичик бўлганлиги сабабли (R_x га нисбатан) уни эътиборга олмасак ва $R_0 + R_1 = \text{const}$ бўлишини ҳисобга олсак,

$$\alpha = f(R_x)$$

ни ҳосил қиламиз, яъни асбоб қўзғалувчан қисмининг бурилиш бурчаги ўлчанаётган қаршилик миқдори билан аниқланади. Мегоомметр шкаласи қаршилик миқдорларида даражаланган бўлади.

Логометрларнинг ўзига хос хусусияти шундаки, ўлчаш натижаси кучланиш U нинг ўзгаришига боғлиқ бўлмай, бунда I_1 ва I_2 бир хил ўзгаради.

Одатда, мегоомметрлар (М1101) нинг МОм ва кОм ларни ифодалайдиган шкаласида икки қатор белгилар бор. Шкала кўрсаткичининг охири чексизлик (∞) ҳисобланади. Занжир очиқ бўлганда асбоб стрелкаси чексизликни кўрсатадиган қилиб белгиланади.



6.20-расм.

Мегоомметрда ташқарига чиқарилган Л (линия) ва З (земля) қисма (клемма) лар бор. 6.20-расмда электродвигатель чулғамининг изоляция қаршилигини ўлчаш схемаси келтирилган (бундай ўлчашда электродвигатель манбадан ажратилади).

Магнитоэлектрик механизмли логометрлар температура, намлик, суюқлик сатҳи ва ҳоказоларни ўлчашда ҳам ишлатилади.

Электродинамик логометрлар фазометрлар, частотометрлар, фарадметрлар сифатида ишлатилади.

6.6. РАҚАМЛИ ЭЛЕКТР ЎЛЧАШ АСБОБЛАРИ ТЎҒРИСИДА АСОСИЙ ТУШУНЧАЛАР

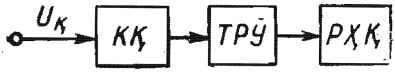
Кейинги йиллар ичида рақамли электр асбоблар юзага келди ва такомиллашди. Бундай асбобларда ўлчанадиган узлуксиз катталиклар қабул қилинган кодга мувофиқ шартли белгилар (рақамлар комбинацияси) га асбобнинг ҳисоблаш қурилмасида ўзгартирилади. Ишлаш принципига қараб рақамли вольтметрларда код-импульси, вақт-импульсли ўзгартиришлар ва кучланиш-частота ўзгартиришлардан фойдаланилади.

Код—бу бир неча сигналлар (кўпинча электр токининг импульслари) дан иборат бўлиб, электр катталикларни шартли равишда акс эттиради. Рақамли асбобларда ўлчанаётган катталикни код билан ёзиш, унинг X қийматини ўлчов бирлигида акс эттирувчи қиймат ўлчови M билан дискрет ҳолда таққослаб амалга оширилади.

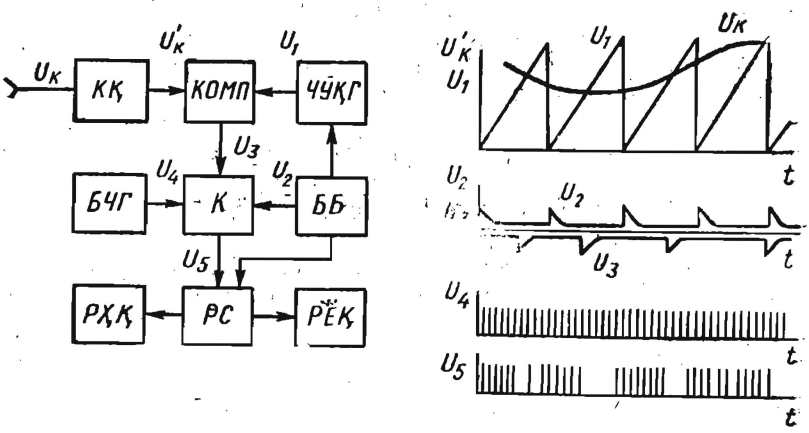
Умумий ҳолда, рақамли вольтметр кириш қурилмаси (КК), таққослаш-рақамли ўзгарткич (ТРЎ) ва рақамли ҳисобот қурилма (РҲҚ) дан иборат (6.21-расм).

Мисол тариқасида, кенг қўлланилиб келаётган вақт-импульсли ўзгартиришли рақамли вольтметрлар (В7-8, ВК7-10, Ф-200, Ф-220) нинг ишлаш принципини кўриб чиқамиз. Уларнинг ишлашини изоҳловчи структура схемаси ва вақтли диаграмма 6.22-расмда келтирилган.

Ўлчанаётган кучланиш $u_к$ кириш қурилмаси КҚ га берилади. Мазкур қурилма катта қаршиликли кучланишни бўлгич ҳисобланиб, унинг чиқиш жойида маълум оралиқда (масалан, 0—1 В) ўзгарадиган нормаллаштирилган кучланишни ҳосил қилиш мумкин. Бундай нормаллаштирилган кучланиш компаратор (КОМП) киришининг бирортасига берилади. *Компаратор* ўлчанаётган кучланишни эталон билан солиштирадиган қурилмадир. Компараторнинг иккинчи кириш жойи чизиқли равишда ўзгарадиган кучланиш генератори (ЧЎКГ)—релаксацион генератор чиқиш жойига уланган бўлади. Кириш ва компенсацияловчи кучланишлар ўзаро тенг бўлган вақтда компаратор калит $К$ ни беркитувчи импульс ҳосил қилади. Бар-



6.21-расм.



6.22- расм.

қарор частотали генератор БЧГ ишлаб чиқарган импульслар калит K орқали рақамли счётчик РС га келади. Счётчикнинг чиқишига рақамли ҳисоблаш қурилмаси РҲҚ ва рақам ёзувчи қурилма РЁҚ уланади. Вольтметрнинг ишлашини бошқариш блоки ББ бошқаради. Ўлчаш циклининг бошланишида бошқариш блокининг сигнали бўйича ЧЎКГ ишлай бошлаб, u_1 кучланишни ҳосил қилади ва БЧГ (u_4) импульсларини счётчикка ўтказиб юборади. Импульс u_2 билан бир вақтда калит K очилади. Нормаллаштирилган кириш кучланиши $u_к$ ва ЧЎКГ кучланиши u_1 тенглашган пайтда компараторнинг u_3 сигнали бўйича калит K ёпилади. Шундай қилиб, РС га кирган импульслар миқдори u_5 ўлчаш циклининг бошланиш моменти t_1 дан мувозанат ҳолати t_2 гача бўлган вақтга пропорционал бўлади. Бу вақт ўлчанаётган кучланиш $u_к$ га пропорционалдир.

Рақамли электрон вольтметрларнинг нисбий хатолиги 0,001% ни ташкил этади.

Ўзгарувчан кучланишли рақамли вольтметрларда кириш қурилмасидан кейин уланадиган қўшимча детектор бўлади.

Рақамли электр асбобларидан вольтметрлар, омметрлар, частотомерлар, электр энергияси счётчиклари ва бошқа асбоблар сифатида кенг фойдаланилади.

Рақамли ўзгармас ток вольтметрлари 1 мВ дан 1 кВ гача бўлган кучланишларни секундига 2000 мартагача ўлчаш имконини беради.

Ўлчаш хатолигининг нисбатан кичиклиги, тез ишлаши, ўлчаш натижаларини рақам кўринишида бериш ва уларни рақам ёзиш қурилмалари ёрдамида ҳужжатларга асосан қайд қилиш, электрон-ҳисоблаш машиналарига ўлчаш ахборотларини киритиш мумкинлиги рақамли электр ўлчов асбобларининг афзалликларидир. Шу билан бирга, рақамли электр асбобларининг

камчиликлари ҳам бор: схема ва конструкциясининг мураккаблиги, нисбатан қиммат туриши, ишончлилик даражасининг пастроқлиги. Микроэлектрониканинг тез суръатлар билан ривожланиши бу каби камчиликларни бартараф этиш имконини беради, дейиш мумкин.

7-боб. ЭЛЕКТР ЎЛЧАШЛАР

7.1. ЭЛЕКТР ЎЛЧАШ УСУЛЛАРИ

Ўлчаш техникаси халқ хўжалигининг ҳамма тармоқларида фан ва техника тараққиётини илгари сурувчи муҳим омиллардан бири бўлиб ҳисобланади. Табиатдаги нарса ва ҳодисаларни ўзаро таққосламай туриб, уларни илмий жиҳатдан асослаб бўлмайди. Бунда ўлчаш техникасининг бир тармоғи бўлган электр ўлчаш техникаси катта аҳамиятга эга.

Электр ўлчаш техникаси ёрдамида амалда маълум бўлган барча физик миқдорлар, яъни электрик ва ноэлектрик миқдорларни, ўзгармас ва вақт бўйича ўзгарувчан миқдорларни кенг кўламда ва узоқ масофадан ўлчаш мумкин. Шунинг учун ҳам электр ўлчаш усуллари хилма-хилдир. Электр ўлчаш усулларига бевосита баҳолаш усули ва таққослаш усуллари киради.

Агар ўлчанадиган катталикнинг қиймати олдиндан даражалаб қўйилган ўлчаш асбобининг ҳисоблаш қурилмасидан бевосита олинган бўлса, бундай ўлчаш *бевосита баҳолаш усули* дейилади. Масалан, ток кучини ўлчаш амперметр билан, кучланишни ўлчаш-вольтметр билан, қувватни ўлчаш ваттметр билан олиб борилади ва ҳоказо.

Агар ўлчанадиган катталикнинг қиймати ўлчов намунаси билан солиштириб аниқланса, бундай ўлчаш усули *таққослаш усули* дейилади. Таққослаш усули ўз навбатида ноль дифференциал, алмаштириш ва устма-уст тушириш усулларига бўлинади. Таққослаш усулига кўприксимон занжирлардаги қаршилик, сиғим ва индуктивликларни ёки потенциометрлардаги кучланиш ва ЭЮК ларни ўлчаш усуллари мисол бўла олади. Амалда таққослаш усулларидан ноль ва дифференциал усуллари энг кўп қўлланади.

Ноль усулда ўлчанаётган катталикнинг қиймати намуна ўлчов билан солиштиришда ҳосил бўлган фарқ нолга тенглашгунча ўзгартириб борилади. Бунга потенциометрда кучланишни, мувозанат кўприксимон занжирларда қаршиликни ўлчашлар мисол бўла олади. Солиштириш фарқи солиштириш асбобида ёки ноль индикаторда кузатилади. Ноль ўлчаш усули жуда аниқ ўлчаш усулидир. Чунки бундай ўлчашда юқори аниқликли намуна ўлчови ва сезгирлиги юқори таққослаш асбоби, масалан гальванометр ишлатилади.

Дифференциал усулда ўлчанаётган катталикнинг қиймати намуна ўлчов билан таққосланади ва ҳосил бўлган фарқ оддий

электр ўлчаш асбоби билан ўлчанади. Дифференциал усул бир-биридан кам фарқ қилган иккита миқдорни таққослаш ва ўлчаш учун ишлатилади. Шунинг учун ҳам бу усулнинг ўлчаш аниқлиги юқоридир. Масалан, икки миқдорнинг фарқи 1% га тенг бўлиб, бу фарқ 1,5% католик билан ўлчанса, у ҳолда ўлчанадиган миқдор 0,015% хатолик билан ўлчанади.

Юқорида кўриб чиқилган усулларнинг қайси биридан фойдаланмайлик, ўлчаш натижасини тўғридан-тўғри ёки билвосита олиш мумкин.

Тўғридан-тўғри ўлчаш—бу ўлчанувчи миқдорни тўғридан-тўғри тажрибадан, яъни бевосита ўлчаш асбобининг кўрсатишидан олишдир. Масалан, кучланишни вольтметрда, қувватни ваттметрда ўлчаш ва ҳоказо.

Билвосита ўлчаш—бу аниқланиши лозим бўлган миқдорни шу миқдорни ва бевосита ўлчаш мумкин бўлган бошқа миқдорларни ўзаро боғловчи маълум ифодадан топишдир. Масалан, кучланишни вольтметр ёрдамида ва токни амперметр ёрдамида ўлчаб, қаршиликни топишдир. Баъзи ҳолларда, айниқса, илмий текшириш ишларида ўлчаш натижаси ўлчанувчи миқдор билан тенгламалар орқали боғланган бир қанча миқдорларни тўғридан-тўғри ёки билвосита ўлчаб, сўнгра тенгламаларни ечиш орқали топилади ва бундай ўлчаш биргаликдаги ўлчаш деб аталади. Бунга материаллар қаршиликларининг температура коэффициентини топиш мисол бўлади.

7.2. ЎЛЧАШ ХАТОЛИГИ

Ҳар қандай ўлчашда ўлчаш натижаси ўлчанаётган миқдорнинг ҳақиқий қийматидан бироз фарқ қилади. Бу фарқ *ўлчаш хатолиги* деб аталади. Баъзан ўлчаш натижасини баҳолашда „ўлчаш аниқлиги“ дан фойдаланилади. Ўлчаш аниқлиги ўлчаш натижасининг ҳақиқий миқдорига қанчалик яқинлигини кўрсатади. Юқори ўлчаш аниқлигининг юқори бўлишига ўлчаш хатоси кичик бўлганида эришилади.

Ўлчанган миқдор ($A_ў$) билан ўлчанаётган миқдорнинг ҳақиқий қиймати ($A_х$) орасидаги айирма ўлчашдаги *абсолют хатолик* деб аталади ва Δ билан белгиланади, яъни:

$$\Delta = A_ў - A_х.$$

Абсолют хатонинг ўлчанаётган миқдорнинг ҳақиқий қийматига нисбати ўлчашдаги *нисбий хатолик* деб аталади ва β билан белгиланади, яъни:

$$\beta = \frac{\Delta}{A_х} 100\%. \qquad (7.1)$$

Агар ўлчанган миқдор ўлчанаётган миқдорнинг ҳақиқий қийматидан катта бўлса, ўлчашдаги нисбий хатолик мусбат ва, аксинча, кичик бўлса, манфий бўлади.

Агар (7.1) формуладаги Δ ўрнига $\frac{\gamma A_{max}}{100\%}$ ((6.1) формулага қаранг) ни қўйсак, нисбий хатолик қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$\beta = \frac{\gamma A_{max}}{A_x}.$$

Демак, ўлчанаётган миқдор асбобнинг ўлчаш чегараси (A_{max}) га яқин бўлса, ўлчашдаги нисбий хатолик асбобнинг келтирилган хатоси γ га яқин бўлади.

7.1-масала. Ўлчаш чегараси 10 А, аниқлик синфи 1,5 бўлган амперметр билан бир сафар 1 А, иккинчи сафар 10 А ток кучи ўлчанди. Шу амперметрнинг ўлчаш хатолигини солиштиринг.

Ечиш. Энг катта нисбий хатолик қуйидаги қийматларга тенг бўлади:

$$\beta_1 = \frac{\gamma A_{max}}{A_x} = \frac{1{,}5 \cdot 10}{1} = 15\%;$$

$$\beta_2 = \frac{\gamma A_{max}}{A_x} = \frac{1{,}5 \cdot 10}{10} = 1{,}5\%.$$

Хатоликларнинг ўзгариш характерига қараб уларни даврий ва тасодифий хатоликларга ажратиш мумкин.

Даврий хатолик — бу бир хил миқдорларни қайта ўлчаганда ўз қийматини ёки ўзгариш қонуниятини ўзгартирмайдиган хатоликдир.

Тасодифий хатолик — бу бир хил миқдорни қайта ўлчаганда ўз қийматини бирор қонуниятга бўйсунмаган ҳолда тасодифан ўзгартирувчи хатоликдир.

Умуман, ўлчаш хатолигига бир қанча сабаблар таъсир кўрсатади. Буларга асбобни ўлчанаётган миқдорнинг диапазонига, асбобнинг ўзи қабул қиладиган қувватига, сезгирлигига нисбатан нотўғри танлаш, асбобни нотўғри ишлатиш (ташқи шароитнинг нормал шароитдан фарқ қилиши, асбобни тўғри ўрнатмаслик), ўлчаш системаларини нотўғри танлаш ва бошқалар киради.

Даврий хатолик ўз навбатида ўзгармас ва ўзгарувчан хатоликларга бўлинади. Қайта ўлчаганда ўз қиймати ва ишорасини ўзгартирмайдиган хатоликка ўзгармас даврий хатолик дейилади. Бунга мисол тариқасида ўлчашда қўлланадиган ўлчовнинг ҳақиқий қиймати юқори аниқлик билан ўлчанмаганлигини келтириш мумкин. Маълум қонуният билан ўзгарувчи хатоликка эса ўзгарувчан даврий хатолик дейилади. Агар ўлчаш натижаси кучланишга боғлиқ бўлса, аккумуляторнинг зарядсизланишидаги кучланишнинг бир текис камайиши ўзгарувчан даврий хатоликка мисол бўла олади. Даврий хатолик келтириб чиқарувчи сабабларни аниқлаб, тузатиш киритиш орқали мазкур хатоликни камайтириш ва бутунлай йўқ қилиш мумкин.

Агар даврий хатолик тасодифий хатоликдан кичик бўлса, бир хил миқдорни ўлчашда уни бир неча бор ўлчаб, ўлчаш натижаси сифатида уларнинг ўртача қийматини олиш мақсадга мувофиқ, яъни

$$A_{ўр} = \frac{A_1 + A_2 + \ldots + A_n}{n},$$

бунда $A_1, A_2, \ldots, A_n$—ҳар бир ўлчаш натижаси, n—ўлчашлар сони. Ўлчашлар сони катта бўлганда $A_{ўр}$ ўлчанаётган миқдорнинг ҳақиқий қийматига яқинлашади.

Билвосита ўлчашда иккита ва ундан ортиқ ўлчаш асбобларидан фойдаланилади. Бу ҳолда билвосита ўлчашдаги хатолик бевосита ўлчашдаги хатоликнинг алгебраик йиғиндиси шаклида ёзиб, топилади.

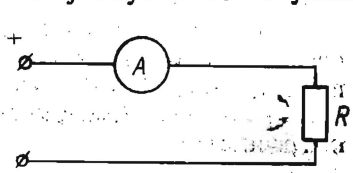
7.3. ТОК ВА КУЧЛАНИШНИ ЎЛЧАШ

Ток ва кучланишни бевосита ўлчаш. Ток ва кучланишни бевосита ўлчаш учун амперметр ва вольтметрлардан фойдаланилади. Амперметр ва вольметрлар магнитоэлектрик (фақат ўзгармас ток занжири учун); электромагнит, электродинамик, ферродинамик (ўзгармас ва ўзгарувчан ток учун); индукцион, тўғрилагичли (ўзгарувчан ток учун) ва бошқа системаларда бўлиши мумкин.

Токни ўлчаш учун занжирни қулай жойидан узиб, амперметр A ни истеъмолчи қаршилиги R билан кетма-кет улаш керак (7.1-расм). Амперметрни улашдан олдин ўлчанаётган токнинг турини ва тахминий қийматини билиш керак. Ўзгармас токни ўлчаш учун индукцион системадан бошқа барча системадаги амперметрлардан фойдаланиш мумкин, аммо амалда магнитоэлектрик амперметрларгина ишлатилади. Чунки улар жуда аниқ ва юқори сезгирликка эгадир. Ўзгарувчан миқдорларни ўлчашда асбоб шкаласидаги частота ўзгарувчан ток частотасига тенг ёки катта бўлишига эътибор бериш керак, акс ҳолда катта хатолик пайдо бўлади.

Асбобнинг ўлчаш чегарасини танлашда қуйидаги оддий қоидага риоя қилиш керак, яъни ўлчаш чегараси ўлчаниши керак бўлган миқдордан тахминан 25—30% кат та қилиб олинади. Чунки асбобнинг иккинчи ярмида нисбий ўлчаш хатолиги биринчи ярмидагига нисбатан камдир.

Текширилаётган электр занжирига уланувчи асбоб унинг параметрларини мумкин қадар кам ўзгартириши лозим. Шу сабабли амперметрнинг қаршилиги нолга тенг бўлиши керак. Бу ҳолда токни ўлчаш учун занжирга уланган амперметр занжир қаршилигини ўзгартирмайди. Амалда бу шартни бажариш



7.1-расм.

мумкин бўлмайди, шунинг учун ички қаршилиги энг кичик бўлган амперметрдан фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади. Аммо кичик ток (милли ва микроампер) ларни ўлчашда ички қаршилиги бир неча ўн ва юз Ом бўлган милли ва микроамперметрларни улашга тўғри келади.

Занжирга амперметр улаганда, унинг қаршилиги ўзгаради, натижада занжирдаги ток ҳам ўзгаради. Агар занжир қаршилиги R бўлиб, унга берилган кучланиш U бўлса, занжирдаги ток (амперметр уланмасдан олдин) $I_1 = U/R$ бўлади. Занжирга амперметр улангандан сўнг, занжирнинг умумий қаршилиги амперметр қаршилиги R_A миқдорига ортади. Натижада амперметр улангандан кейинги ток, яъни амперметр ўлчаган ток (7.1-расм) қуйидагига тенг бўлади:

$$I_2 = \frac{U}{R_A + R}.$$

Шунинг учун токни ўлчаш усулининг нисбий хатолиги:

$$\beta = \frac{\Delta I}{I_1} = \frac{I_1 - I_2}{I_1}.$$

Токларнинг қийматини қўйиб, ўлчаш хатолигини ҳосил қиламиз:

$$\beta = \frac{\Delta I}{I_1} = \frac{R_A}{R_A + R} = \frac{1}{1 + R/R_A}.$$

Бу ифодадан кўринадики, амперметр қаршилиги R_A қанча кичик бўлса ёки занжир қаршилиги R қанча катта бўлса, ўлчаш хатолиги шунча кичик бўлади.

Ўзгармас ток магнитоэлектрик амперметрлар билан, ўзгарувчан ток электромагнит, электродинамик амперметрлар ва тўғрилагичли миллиамперметрлар билан ўлчанади.

Тўғрилагичли миллиамперметрлар махсус частота хатолигини йўқ қилувчи қурилма қўлланганда 20 кГц частотали ўзгарувчан ток занжиридаги кичик ўзгарувчан токни ўлчашда ҳам қўлланади (Ц28, Ц29 микроамперметрлар, Ц433, Ц55, Ц56, Ц57 турдаги ампервольтметрлар). Ток кучини юқори аниқлик билан ўлчашда таққослаш усулидан фойдаланилади.

Амперметрларнинг ўлчаш чегарасини ошириш учун ўзгармас ток занжирида шунтлар, ўзгарувчан ток занжирида эса ўлчаш ток трансформаторлари ишлатилади.

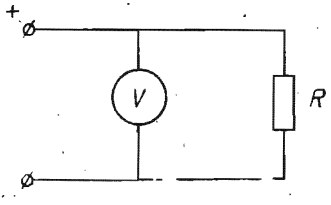
7.2-масала. Ўзгармас ток занжирида $I = 100$ А токни ўлчаш чегараси $I_A = 5$ А, ички қаршилиги $R_A = 0{,}015$ Ом бўлган амперметр билан ўлчаш учун шунт қаршилиги ҳисоблансин.

Ечилиши. Амперметрнинг ўлчаш чегарасини оширувчи коэффициент

$$m = \frac{I}{I_A} = \frac{100}{5} = 20.$$

Шунт қаршилиги

$$R_ш = \frac{R_A}{m-1} = \frac{0{,}015}{20-1} = 0{,}0007894 \text{ Ом}.$$



7.2- расм.

Кучланишни ўлчаш учун занжирнинг исталган (кучланиши ўлчанувчи) қисмига вольтметр параллел қилиб уланади. Вольтметр деганда шкаласи вольтларда даражаланган катта қўшимча ички қаршилиги нисбатан катта милливольтметр тушунилади (7.2- расм).

Ўзгармас ток занжирларида кучланишни ўлчаш учун, одатда, юқори аниқликдаги магнитоэлектрик механизмли вольтметрлар ишлатилади. Шу билан бирга, ўзгармас ток занжирларидаги кучланишни ўлчаш учун электромагнит, электродинамик, айлантиргич ва иссиқлик системасидаги вольтметрлардан ҳам фойдаланса бўлади, аммо бунда ўлчаш аниқлиги нисбатан пастроқ бўлади.

Ўзгарувчан ток занжиридаги кучланишни ўлчаш учун магнито-электрик системадан бошқа барча системадаги вольтметрлардан фойдаланса бўлади. Булда албатта, вольтметр частотасига катта аҳамият бериш керак, акс ҳолда частота бўйича қўшимча ўлчаш хатолиги вужудга келиши мумкин.

Юқори частотали (100 мГц) ўзгарувчан ток кучланиши иссиқлик, айлантиргичли системалардаги вольтметрлар ва электрон вольтметрлар ёрдамида ўлчанади.

Кичик ўзгарувчан кучланишлар (милли ва микровольтлар) тўғрилагичли ва электрон милливольтметрлар ёрдамида ўлчанади. Вольтметр занжирига уланиши билан занжирнинг қаршилигини ўзгартириб, ўлчаш усулидаги хатоликни ҳосил қилади. Ўлчаш усулидаги хатоликнинг нолга тенг ёки жуда кичик (асбобнинг хатолигидан 5—10 марта кичик) бўлиши учун вольтметр қаршилиги чексиз ёки жуда катта (бир неча ўн, юз килоом) бўлиши керак.

Вольтметрларни ўлчаш чегарасини ошириш учун ўзгармас ток занжирида қўшимча қаршилик, ўзгарувчан ток занжирида эса кучланиш ўлчаш трансформатори ишлатилади. Ўлчаш чегараси 600 В бўлган ўзгарувчан ток вольтметрларида ҳам қўшимча ички қаршиликдан фойдаланилади.

7.3-масала. Ўзгармас ток занжирида U=3000 Е кучланишни ўлчаш чегараси U_V=100 В, ички қаршилиги R_V = 20 кОм бўлган вольтметр билан ўлчаш учун қўшимча ташқи қаршилик ҳисоблансин.

Ечилиши. Вольтметрнинг ўлчаш чегарасини оширувчи коэффициент:

$$n = \frac{U}{U_V} = \frac{3000}{100} = 30.$$

Қўшимча қаршилик:

$$R_к = R_V(n-1) = 20\cdot(30-1) = 580\text{кОм}.$$

7.4. ҚУВВАТ ВА ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯНИ ЎЛЧАШ

Ўзгармас ток занжирларида қувватни амперметр ва вольтметр ёрдамида ўлчаш мумкин. Бунинг учун бир вақтда икки асбобнинг кўрсатишини ёзиб олиш ва сўнгра ўлчанган ток ва кучланиш қийматлари ўзаро кўпайтирилади. Бу ҳолда ўлчаш аниқлиги анча паст бўлади, шунинг учун ўзгармас ток қувватини ўлчаш учун амалда электродинамик ваттметр ишлатилади.

Ўзгарувчан ток занжирида қувватни амперметр ва вольтметр билан ўлчаб бўлмайди, чунки ўзгарувчан ток занжирининг қуввати ток ва кучланишдан ташқари қувват коэффициенти $\cos\varphi$ га ҳам боғлиқдир. Демак, ўзгарувчан ток қувватини амперметр, вольтметр ва фазометр билан ўлчаш мумкин, деган хулоса чиқади. Аммо бундай ўлчаш анча ноқулайдир, чунки бир вақтнинг ўзида учта асбобнинг кўрсатишини ёзиб олиш анча қийин, иккинчи томондан қувватни ўлчашдаги хатолик учта асбоб айрим хатоликларига боғлиқ бўлади. Шунинг учун ўзгарувчан ток занжирларидаги қувват фақат электродинамик ва ферродинамик ваттметрлар билан ўлчанади.

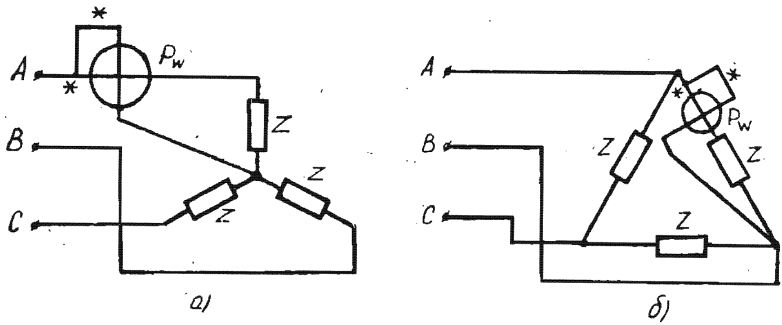
Электродинамик ваттметрларнинг аниқлиги феродинамик ваттметрникига нисбатан юқори бўлганлиги учун уларни юқори аниқлик билан ўлчаш керак бўлганда ҳамда юқори частотали (2000 Гц гача) ўзгарувчан ток занжирларида ишлатилади. Юқори частотали қувватларни ўлчашда термоэлектрик ва электрон ваттметрлардан ҳам фойдаланиш мумкин. Ферродинамик ваттметрлар, асосан, саноат частотасида шчит асбоби сифатида ишлатилади.

Бир фазали ўзгарувчан ток занжиридаги актив қувватни ўлчаш учун ваттметрни улаш схемаси 6.11-расмда кўрсатилган.

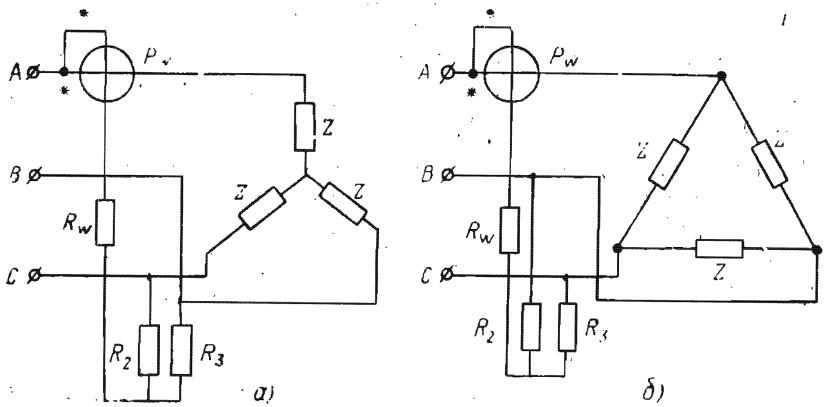
Уч фазали ток занжиридаги актив қувватни ўлчаш учун битта, иккита ва учта ваттметр усулларидан фойдаланилади.

Уч симли симметрик занжирнинг актив қувватини битта ваттметр усулида ўлчаш. Симметрик системаларда уч фазали қувватни ўлчаш учун битта ваттметрдан фойдаланса бўлади, чунки бунда истеъмолчиларнинг токи, кучланиши, фаза силжиши ва ҳар бир фазадаги актив қувват бир хил бўлади.

Истеъмолчиларнинг актив қувватини ўлчаш учун ваттметрни улаш скемаси 7.3-расмда келтирилган. Расмда ваттметр чулғамларининг бош учлари юлдузча билан белгиланган. 7.4-расмда актив қувватни ўлчаш учун ваттметрни сунъий нейтрал нуқта орқали улаш схемаси келтирилган. Чунки кўпгина ҳолларда нейтрал нуқтага улаш ва учбурчакни узиш мумкин бўлмай қолади.



7.3- расм.



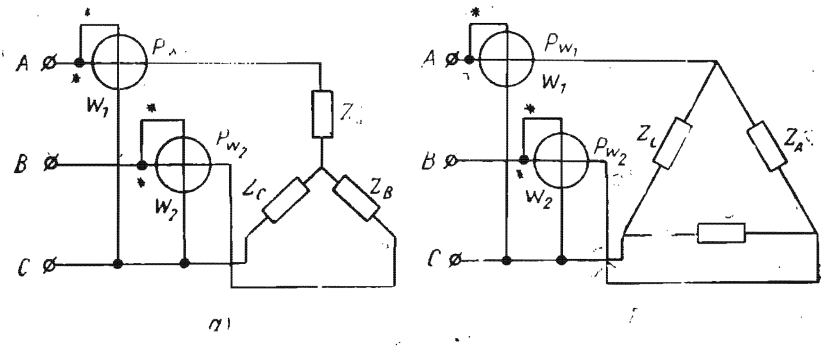
7.4- расм.

Қаршилик R_2 ва R_3 лар ваттметрдаги кучланиш чўлғамининг қаршилиги R_w га тенг бўлиши ($R_2 = R_3 = R_w$) шарт.

Уч фазали системанинг актив қувватини аниқлаш учун тўртала схемада ҳам ваттметр кўрсатган қувват P_w ни учга кўпайтириш керак:

$$P = 3P_w.$$

Уч симли носимметрик занжирнинг актив қувватини иккита ваттметр усулида ўлчаш. Уч фазали носимметрик занжирда ҳар бир фазадаги ток, фаза силжиши ва актив қувват турлича бўлади. Ҳатто фаза ва линия кучланишлари ҳам ҳар хил бўлиши мумкин. Бундай занжирнинг қувватини иккита ваттметр усулида ўлчаш мумкин Иккита ваттметрни уч симли занжирга улаш схемаси 7.5- расмда келтирилган. Схемадан кўринадики, ваттметрлардаги кучланиш чулғамларининг бош учлари ток чулғами уланган фазаларга, охирги учлари эса бўш қолган фазага уланади. Фақат шундагина уч фазали ток



7.5- расм.

занжирининг қуввати иккита ваттметр кўрсатиши P_{W_1} ва P_{W_2} ларнинг алгебраик йиғиндисига тенг бўлади, яъни:

$$P = P_{W_1} + P_{W_2}.$$

Бу ифоданинг тўғрилигини қуйидагича исботлаш мумкин. Уч фазали истеъмолчиларнинг оний қуввати

$$P = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C. \tag{7.2}$$

Агар истеъмолчилар юлдуз шаклида (7.5- расм, *а*) уланган бўлса,

$$i_A + i_B + i_C = 0,$$

бунда

$$i_C = -i_A - i_B. \tag{7.3}$$

(7.3) ифодани уч фазали система оний қувватининг ифодаси (7.2) га қўйсак, қуйидаги кўринишни олади:

$$P = u_A i_A + u_B i_B + u_C(-i_A - i_B) = (u_A - u_C) i_A + (u_B - u_C) i_B = u_{AC} \cdot i_A + u_{BC} \cdot i_B.$$

Шундай қилиб, уч фазали уч симли системанинг оний қувватини иккита йиғинди шаклига келтириш мумкин. Бу эса иккита ваттметр ёрдамида уч фазали система қувватини ўлчаш имконини беради. Оний қувватдан ўртача, яъни актив қувватга ўтсак, уч фазали системанинг қуввати қуйидагича бўлади:

$$P = U_{AC} I_A \cos(\widehat{\overline{I}_A \overline{U}_{AC}}) + U_{BC} I_B \cos(\widehat{\overline{I}_B \overline{U}_{BC}}) \tag{7.4}$$

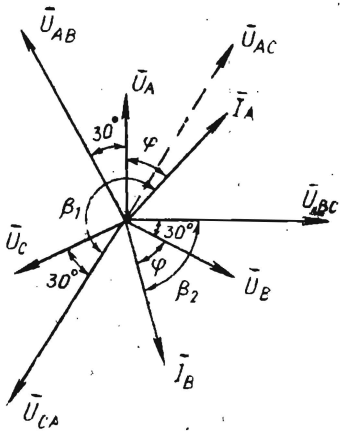
Демак, иккита ваттметр кўрсатган қувватларнинг алгебраик йиғиндиси уч фазали занжирнинг актив қувватига тенг бўлади:

$$P = P_{W_1} + P_{W_2}.$$

Чунки, ваттметр W_1 кўрсатган қувват $P_{W_1} = U_{AC} I_A \cos(\widehat{\overline{I}_A \overline{U}_{AC}})$ га ваттметр W_2 кўрсатган қувват эса $P_{W_2} = U_{BC} I_B \cos(\widehat{\overline{I}_B \overline{U}_{BC}})$

га тенг бўлади. Худди шундай натижага истеъмолчилар учбурчак шаклда уланганда ва ваттметрлар *B*, *C* ҳамда *A*, *C* фазаларга уланганда ҳам келиш мумкин.

Симметрик нагрузкали истеъмолчилар юлдуз шаклида уланган-даги ток ва кучланишларнинг вектор диаграммаси 7.6-расмда келтирилган. Бунда барча линия токи ва кучланишлари миқдор жиҳатдан тенг бўлиб, $\vec{I}_A$ ва $\vec{U}_{AC}$ векторлар орасидаги бурчак β_1 $(\varphi - 30°)$ га, $\vec{I}_B$ ва $\vec{U}_{BC}$ векторлар орасидаги бурчак $\beta_2 (\varphi + 30°)$ га тенг бўлади.



7.6- расм.

Шунинг учун (7.4) формулани қуйидагича ёзамиз:

$$P = U_л I_л \cos\beta_1 + U_л I_л \cos\beta_2 = \\ = U_л I_л \cos(\varphi - 30°) + U_л I_л \cos(\varphi + 30°) = \\ = U_л I_л 2 \cos 30° \cos\varphi = \sqrt{3}\, U_л I_л \cos\varphi. \qquad (7.5)$$

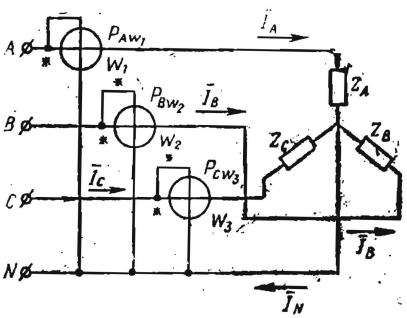
(7.5) ифодага асосан ҳар бир ваттметрнинг кўрсатиши фаза силжиши φ нинг қиймати ва ишорасига қараб манфий ёки мусбат бўлиши мумкин. Масалан, $\psi > -60°$ бўлганда биринчи ваттметрнинг кўрсатиши манфий, иккинчисиники эса мусбат ҳамда $\varphi > 60°$ да аксинча бўлади. Бундай ҳолларда ваттметрнинг кучланиш чулғамидаги токнинг йўналиши ўзгартирилади ва истеъмолчининг актив қуввати ваттметрлар кўрсатишининг айирмаси сифатида аниқланади. Агар $\varphi = 0°$ бўлса, истеъмолчининг актив қуввати иккала ваттметр кўрсатишларининг айирмаси сифатида аниқланади. Агар $\varphi = 60°$ бўлса, иккала ваттметрнинг кўрсатиши бир хил бўлади, яъни:

$$P_{W_1} = P_{W_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} U_л I_л = 0{,}866 U_л I_л.$$

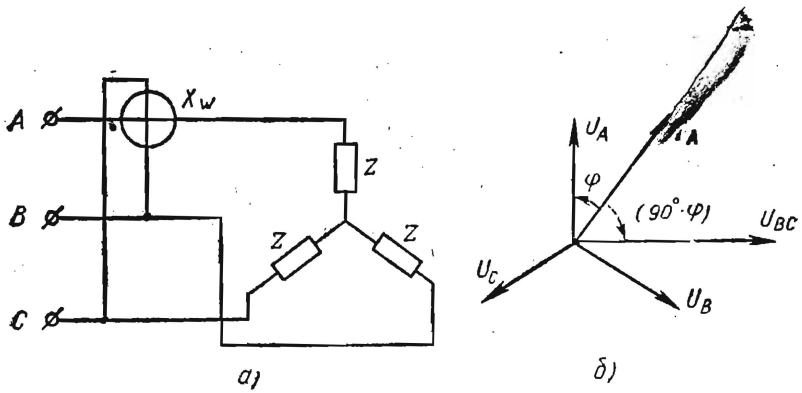
Иккита ваттметр усули тўрт симли занжирларда уч фазали қувватни ўлчаш учун яроқсиздир.

Тўрт симли занжирнинг актив қувватини учта ваттметр усулида ўлчаш. Нотекис нагрузкали тўрт симли занжирлардаги уч фазали қувватни ўлчаш учун учта ваттметрдан фойдаланилади.

7.7-расмда ваттметрларни занжирга улаш схемаси кўр-



7.7- расм.



7.8- расм.

сатилган. Бу схемада ҳар бир ваттметр айрим фазанинг актив қувватини ўлчайди, яъни:

$$P_{AW_1} = U_A I_A \cos\varphi_A;\ P_{BW_2} = U_B I_B \cos\varphi_B;\ P_{CW_3} = U_C I_C \cos\varphi_C.$$

Уч фазали занжирнинг актив қуввати учала ваттметр кўрсатган қувватларнинг алгебраик йиғиндисига тенг:

$$P = P_{AW_1} + P_{BW_2} + P_{CW_3}.$$

Амалда бир вақтнинг ўзида иккита ёки учта ваттметрларнинг кўрсатишини кузатиш жуда қийин, шунинг учун саноатимизда уч симли занжир учун икки элементли ҳамда тўрт симли занжир учун уч элементли уч фазали ваттметрлар ишлаб чиқарилади. Уч фазали ваттметр иккита ёки учта бир фазали ўлчаш механизмларидан иборат бўлиб, уларнинг умумий моменти ягона қўзғалувчан қисмга таъсир қилади.

Уч фазали занжирдаги реактив қувватни ўлчаш. Уч фазали симметрик занжирнинг реактив қувватини битта актив қувват ваттметри билан ўлчаш мумкин. Бунинг учун ваттметрни занжирга 7.8- расмда кўрсатилгандек улаш керак.

7.8- расм, *б* даги вектор диаграммадан кўринадики, ваттметрнинг кўрсатиши қуйидагига тенг:

$$X_W = U_{BC} I_A \cos(\hat{\bar{U}_A \bar{I}_{BC}}) = U_л I_л \cos(90° - \varphi) = U_л I_л \sin\varphi.$$

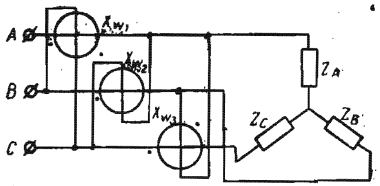
Уч фазали симметрик занжирнинг реактив қуввати ваттметр кўрсатишини $\sqrt{3}$ га кўпайтириб аниқланади:

$$Q = \sqrt{3} X_W = \sqrt{3} U_л I_л \sin\varphi.$$

Уч фазали занжирнинг реактив қувватини иккита ваттметр усули (7.5- расм) билан ҳам ўлчаш мумкин. Бунинг учун, аввалдагидек, ваттметрлар кўрсатишларининг алгебраик йиғиндисини эмас, балки айирмасини олиш керак. Бу қуйидагича ифодаланади (7.5- расм):

$$P_{W_1} - P_{W_2} = U_л I_л [\cos(30° - \varphi) - \cos(30° + \varphi)] = U_л I_л \sin\varphi.$$

Демак, уч фазали системанинг реактив қувватини аниқлаш учун ваттметрлар кўрсатишларининг айирмасини $\sqrt{3}$ га кўпайтириш керак, яъни



7.9- расм.

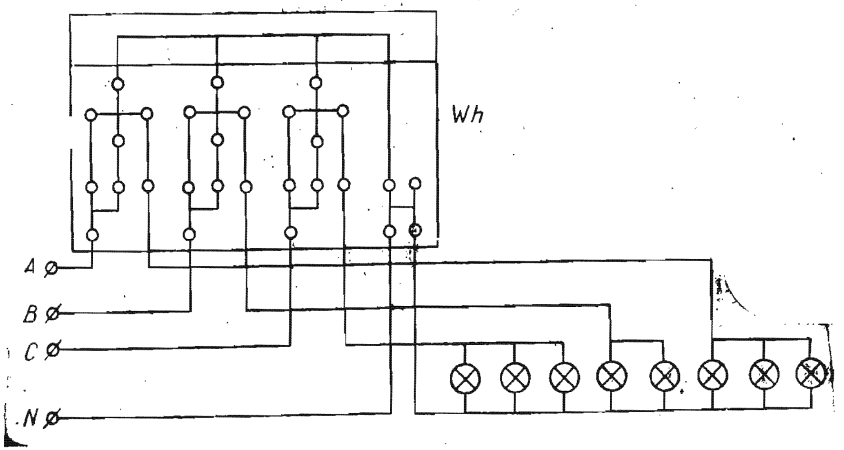
$$Q = \sqrt{3}(P_{W_1} - P_{W_2}) = \sqrt{3} U_л I_л \sin\varphi.$$

Ушбу хулосаларнинг барчаси нагрузка текис ва линия кучланишлари симметрик бўлгандагина тўғри бўлади. Нагрузка нотекис бўлганида реактив қувватни ўлчаш учун махсус схемалардан фойдаланилади.

7.9- расмда кўрсатилган учта ваттметрли схема ҳар қандай уч фазали занжирлардаги реактив қувватни ўлчаш учун яроқлидир. Бунинг учун ваттметрлар кўрсатган қийматлар йиғиндисини $\sqrt{3}$ га бўлиш керак:

$$Q = \frac{X_{W_1} + X_{W_2} + X_{W_3}}{\sqrt{3}}.$$

Уч фазали занжирдаги актив ва реактив энергияни ўлчаш. Ўзгарувчан токнинг актив энергияси индукцион счётчиклар ёрдамида ўлчанади. Уларни занжирга улаш схемаси худди ваттметрларни улаш схемаси каби бўлади. Мисол тариқасида 7.10- расмда уч элементли индукцион счётчикни тўрт симли уч фазали занжирга улаш схемаси берилган.



7.10- расм.

Реактив энергияни ҳам худди реактив қувватни ўлчагандагидек счётчикларни улаб, ўлчаш мумкин. Аммо уч фазали занжирларда реактив энергияни ўлчаш учун уч фазали махсус реактив счётчикдан фойдаланилади.

7.5. ҚАРШИЛИКНИ ЎЛЧАШ. ЎЗГАРМАС ТОК КЎПРИГИ

Электротехникада учрайдиган резисторлар, электр машиналари, электр асбоблари ва бошқаларнинг қаршиликларини шартли равишда кичик (1 Ом гача), ўртача (1 дан 10^5 Ом гача) ва катта (10^5 Ом дан юқори) қаршиликларга бўлиш мумкин. Амалда ўлчанадиган қаршиликнинг миқдори ва талаб қилинган ўлчаш аниқлигига қараб ҳар хил ўлчаш усуллари ва воситалари қўлланади.

Қаршиликни ўлчашда қуйидаги ўлчаш усулларидан фойдаланиш мумкин: *а*) амперметр ва вольтметр усули; *б*) омметр ёрдамида бевосита баҳолаш усули; *в*) солиштириш усули.

Амперметр ва вольтметр усули. Ўзгармас ток занжирида қаршиликни амперметр ва вольтметр ёрдамида ўлчаш билвосита ўлчаш усулига мисол бўлади. Бунинг учун 7.11-расмдагидек схема йиғилади. 7.11-расм, *а* даги схемадан кичик қаршиликларни, 7.11-расм, *б* даги схемадан ўртача ва катта қаршиликларни ўлчашда фойдаланилади. Номаълум қаршилик Ом қонунига асосан қуйидагича аниқланади:

$$R_x = \frac{U_V}{I_A}, \tag{7.6}$$

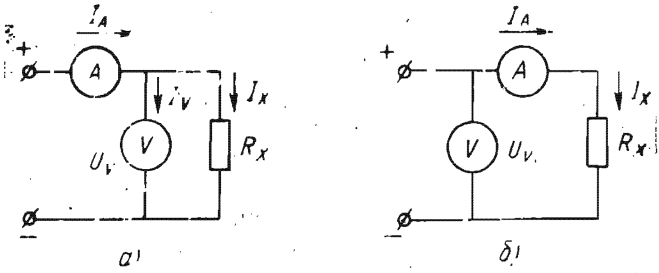
бунда U_V — вольтметр кўрсатган кучланиш; I_A — амперметр кўрсатган ток.

(7.6) формула билан ҳисобланган қаршилик қиймати ҳақиқий қийматдан фарқ қилади. Чунки 7.11-расм, *а* даги схемадан кўриниб турибдики, амперметрдан ўтаётган ток I_A номаълум қаршиликдаги ток I_x га қараганда вольтметрдан ўтаётган ток I_V миқдорича ортиқдир. Шунинг учун 7.11-расм, *а* даги схема бўйича номаълум қаршиликнинг ҳақиқий қийматини қуйидаги формула билан ҳисоблаш мумкин:

$$R_x = \frac{U_V}{I_x} = \frac{U_V}{I_A - I_V} = \frac{U_V}{I_A - U_V/R_V}. \tag{7.7}$$

Агар вольтметрнинг қаршилиги R_V ўлчанаётган қаршилик R_x дан кўп марта катта бўлса (масалан $R_V > 100R_x$), у ҳолда амперметр кўрсатган ток резистор қаршилиги R_x даги токка жуда яқин бўлади ва қаршиликни (7.6) формула ёрдамида осон топиш мумкин. Бу вақтда ўлчашдаги R_V нинг таъсири туфайли ҳосил бўлган нисбий хатолик 1% дан кичик бўлади.

7.11-расм, *б* даги схемада вольтметр кўрсатаётган кучланиш U_V номаълум қаршилик R_x га қўйилган кучланиш U_x



7.11- расм.

дан амперметрдаги кучаниш тушиши $R_A I_A$ чалик каттадир. Шунинг учун 7.11- расм, *б* даги схема бўйича номаълум қаршиликнинг ҳақиқий қийматини қуйидаги формула билан ҳисоблаш мумкин:

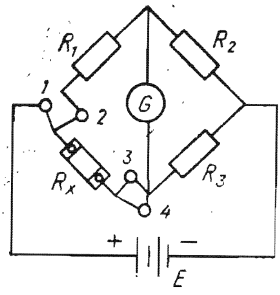
$$R_x = \frac{U_V}{I_A} = \frac{U_x + R_A I_A}{I_A}.$$

Агар амперметрнинг қаршилиги R_A ўлчанаётган қаршилик R_x дан кўп марта кичик бўлса (масалан, $R_A < 0{,}01 R_x$), у ҳолда вольтметр кўрсатган кучланиш номаълум қаршилик учларидаги кучланиш U_x га жуда яқин бўлади ва қаршиликни (7.6) формула ёрдамида топиш мумкин. Бу вақтда R_A нинг таъсири туфайли ҳосил бўлган нисбий хатолик 1% дан кичик бўлади.

Амалда амперметр ва вольтметр усули, асосан, электр машиналари, трансформаторлар ва бошқа электромагнит аппаратларининг чулғам қаршиликларини ўлчашда қўлланилади. Бу усулнинг афзаллиги шундаки, ўлчанаётган қаршиликдан номинал ток ўтказилиб, иш режими ҳосил қилинади ва сўнгра қаршиликни ўлчаб, температура хатолиги ҳисобга олинади.

Солиштириш усули. Қаршилик юқорида кўрилган усуллар ёрдамида ўлчанганда ўлчаш хатолиги 1 — 3% атрофида бўлади. Қаршиликни юқори аниқликда ўлчаш учун кўприк ва компенсация усулларига асосланган солиштириш усулидан фойдаланишга тўғри келади. Ўзгармас ток кўприги икки хил бўлади: якка кўприк ва қўшалоқ кўприк. Якка, яъни оддий кўприк, асосан, ўртача (2 — 10^5 Ом) қаршиликларни, қўшалоқ кўприк эса кичик қаршиликларни ўлчаш учун хизмат қилади.

Кўприк тўртта елка ва иккита диагоналдан иборат бўлади. Елканинг биттасига ўлчанадиган R_x, қолган учтасига ростланувчи маълум қаршиликлар R_1, R_2 ва R_3 уланади (7.12- расм). Кўприкнинг AC диагоналига ток манбаи E, BD диагоналига эса магнитоэлектрик гальванометр уланади.



7.12- расм.

Қаршилик R_x ни ўлчашда қаршиликлар R_1, R_2 ва R_3 шундай танланадики, бунда гальванометрдаги ток нолга тенг бўлсин. Бу вақтда B ва D нуқталарнинг потенциали ўзаро тенг ва кўприк мувозанат ҳолатида бўлади, яъни:

$$U_{AB} = U_{AD} \text{ ва } U_{BC} = U_{DC}.$$

Агар кучланиш пасайишини тегишли ток ва қаршиликлар билан ифодаланса:

$$I_1R_1 = I_xR_x \text{ ва } I_2R_2 = I_3R_3,$$

аммо $I_г = 0$ бўлганда $I_1 = I_2$ ва $I_x = I_3$. Шунинг учун:

$$I_1R_1 = I_3R_x \text{ ва } I_2R_2 = I_3R_3.$$

Охирги иккита тенгламани ҳадма-ҳад биринчисини иккинчисига бўлиб, ўзгармас ток кўпригининг мувозанат шартини ҳосил қиламиз:

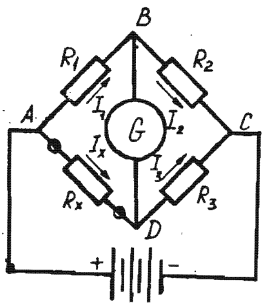
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_3} \text{ ёки } R_2R_x = R_1R_3.$$

Ўлчанадиган қаршилик R_x нинг сон қиймати мувозанат шартига кўра қуйидагича ҳисобланади:

$$R_x = R_1\frac{R_3}{R_2}. \qquad (7.9)$$

(7.9) формуладан кўринадики, номаълум қаршиликни ўлчаш нисбат $\frac{R_3}{R_2}$ ўзгармас бўлганда елка R_1 нинг (бу елка солиштириш елкаси дейилади) қаршилигини ростлаб ёки R_1 ўзгармас бўлганда нисбат $\frac{R_3}{R_2}$ нинг қаршилигини ростлаб, гальванометр токи $I_г$ нолга келтирилади.

Агар ўлчанадиган қаршилик 10 Ом дан кичик бўлса, туташтирувчи симларнинг қаршилиги ўлчаш хатосига катта таъсир қилади. Бу хатони камайтириш учун R_x ни 7.13 расмдагидек қилиб улаш керак. Бу ҳолда R_x дан клемма *2* гача бўлган туташтирувчи симнинг қаршилиги елка қаршилиги R_1 га ва R_x дан клемма *3* гача бўлган симнинг қаршилиги эса R_3 га қўшилади. R_1 ва R_3 нинг қаршилиги симларнинг қаршилигидан жуда кўп марта катта. R_x дан *1* ва *4* клеммагача бўлган туташтирувчи симларнинг қаршилиги эса мос ҳолда кўприк диаго-



7.13 расм.

налининг қаршиликларига қўшилади. Бу эса кичик қаршиликларни ўлчаш аниқлигини оширади.

Туташтирувчи симлар туфайли ҳосил бўлган ўлчаш хатолигини шу усул билан янада камайтириш натижасида пайдо бўлган кўприк қўшалоқ кўприк деб аталади. Бу кўприк тўғрисидаги маълумотларни электр ўлчаш асбобларига тааллуқли адабиётлардан олиш мумкин.

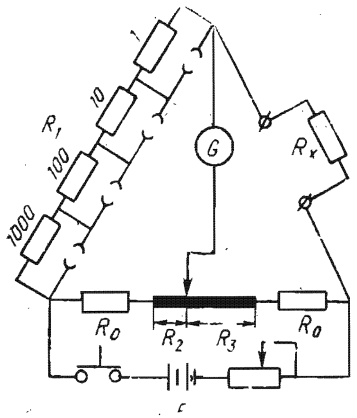
Кўприкларнинг конструкцияси турличадир. Аксарият тўрт елкали кўприкларнинг солиштириш елкаси тўрт декадали 10×1, 10×10, 10×100, 10×1000 Ом қаршиликлар кўринишида тайёрланади. Улар 1 дан 11110 Ом гача бўлган оралиқда ростлаш имкониятига эга. Бундай кўприкларда, одатда, елкалар нисбати 0,001; 0,01; 0,1; 1; 10; 100; 1000 Ом бўлади.

Солиштириш елкасидаги декадалар миқдор ва елкалар нисбатининг поғоналар сони кўприкдаги ўлчашлар чегарасини ва аниқлигини белгилайди. ГОСТ 7165—66 га асосан ўзгармас ток ўлчаш кўприклари жоиз хатолик бўйича қуйидаги аниқлик синфларига бўлинади: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 ва 5,0.

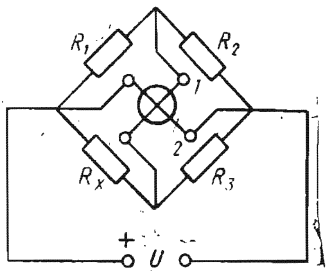
Кўприклар елкаларининг қаршиликлари конструкциясига қараб магазинли, чизиқли ёки реохордли турларда бўлади.

Магазинли кўприкларда елкаларнинг қаршиликлари штепселли ёки ричагли кўринишда бўлади.

Чизиқли (реохордли) кўприкларда солиштириш елкаси, одатда, қаршиликлар магазини кўринишида бажарилади, елкалар нисбати эса сургич (C) ёрдамида иккита ростланувчи қисмга ажралувчи реохорд (калибрланган сим) кўринишида амалга оширилади. Чизиқли кўприкнинг схемаси 7.14-расмда кўрсатилган. Ток манбаининг қисқа туташишини йўқ қилиш учун реохорд занжирига иккита бир хил чегараловчи қаршилик R_0 уланади. Номаълум қаршилик R_x (7.9) формула ёрдамида топилади. R_2 ва R_3 ларнинг қиймати эса реохорднинг шкаласидан олинади.



7.14-расм.



7.15-расм.

Амалда мувозанатлашган кўприклар билан биргаликда мувозанатлашмаган кўприклар ҳам ишлатилади. Мувозанатлашмаган кўприкларда ўлчанаётган миқдорнинг қиймати уларнинг чиқиш диагоналидаги ток ёки кучланишнинг миқдори орқали аниқланади. Бу кўприклар кўпроқ ноэлектрик миқдорларни ўлчашда ишлатилади. Уларнинг аниқлиги мувозанатлашган кўприкларга нисбатан пастроқ бўлиб, ўлчаш натижасига манба кучланишининг ўзгариши таъсир қилади. Мувозанатлашмаган кўприкларда манба кучланишининг таъсирини йўқ қилиш учун гальванометр ўрнига логометр қўйиш ёки стабиллашган манба кучланишидан фойдаланиш керак. 7.15-расмда логометрли мувозанатлашмаган кўприк схемаси келтирилган.

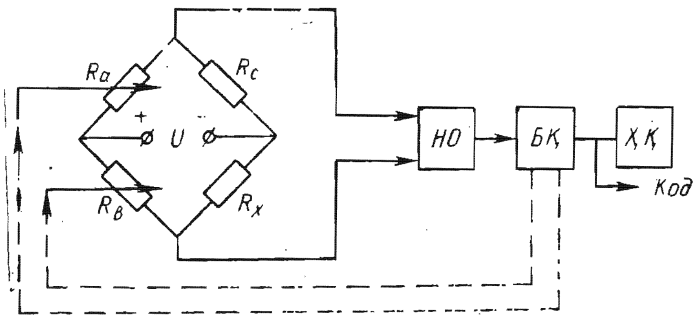
Маълумки, логометр қўзғалувчан қисмининг бурилиш бурчаги унинг қўзғалувчан рамкалари *1* ва *2* дан ўтувчи токларнинг нисбатига пропорционалдир. Шунинг учун манба кучланишининг ўзгариши (масалан, камайиши) кўприкнинг ўлчаш диагоналига уланган *1* рамка токини ўзгартирса (камайтирса), шу вақтнинг ўзида бошқа диагоналга уланган *2* рамка токини ҳам ўзгартиради (камайтиради), натижада кўприкнинг рамкаларидаги токларнинг нисбати ўзгармай қолади.

Демак, мувозанатлашмаган кўприк логометри стрелкасининг бурилиш бурчаги ўлчанаётган қаршилик R_x нинг миқдорига боғлиқ бўлади.

Кўприкни мувозанатлаштириш қўл билан ёки автоматик равишда олиб борилиши мумкин. Автоматик кўприклар, асосан, саноатда ўлчанаётган қаршилик қийматининг ўзгаришини узлуксиз кузатишда, унинг миқдорини бошқаришда ва масофада туриб ўлчашда қўлланади. Термистор ёрдамида температурани ўлчовчи ва бошқарувчи (7.8-§ га қаранг) автоматик кўприклардан ҳам халқ хўжалигида кенг фойдаланилмоқда.

Ҳозирги вақтда рақамли автоматик кўприклар ҳам тобора кўпроқ қўлланилмоқда. 7.16-расмда рақамли кўприкнинг соддалаштирилган схемаси келтирилган.

Рақамли кўприк ноль орган НО, бошқарувчи қурилма БҚ, ҳисоблаш қурилмаси ҲҚ ва бошқа қисмлардан иборат. Кўп-



7.16-расм.

рикда берилган программага асосан ва ноль органнинг сигналига қараб, бошқарувчи қурилма БҚ елка R_a (R_a йигирмата бир хил резистордан иборат) нинг резисторларини улаб ёки узиб кўприкни мувозанатлаштиради ва код ишлаб чиқарилади. R_x нинг қийматига қараб бошқарувчи қурилма БҚ R_b нинг қаршилигини ўзгартириб, кўприкнинг ўлчаш чегарасини ўзгартиради ва ўлчаш чегарасига қараб ҲҚ да ўлчаш бирлигининг белгиси (Ω, КΩ, МΩ) ни алмаштиради.

7.16-расмдан кўринадики, ўлчанаётган қаршилик қуйидагича ифодаланади:

$$R_x = \frac{R_b \cdot R_c}{R_a} = R_b R_c G_a,$$

бунда $G_a = \frac{1}{R_a}$ — R_a елканинг умумий ўтказувчанлиги.

Р336 кўприги бешта диапазонга эга бўлиб, 0,01 Ом дан 10 МОм гача бўлган қаршиликларни ўлчайди. Кўприкнинг аниқлиги диапазонлар сонига қараб 0,05; 0,5 ва 5 бўлади.

7.6. СИҒИМ ВА ИНДУКТИВЛИКНИ ЎЛЧАШ. ЎЗГАРУВЧАН ТОК КЎПРИГИ

Сиғим ва индуктивликни ўлчашда бевосита баҳоловчи асбоблар билан бир қаторда ўзгарувчан ток кўпригидан ҳам фойдаланилади. 7.17-расмда ўзгарувчан ток кўпригининг принципиал схемаси кўрсатилган.

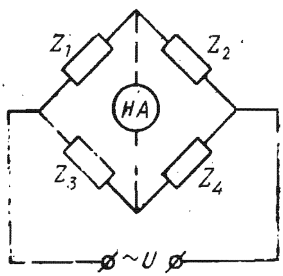
Ўзгарувчан ток кўпригининг елкалари комплексли тўла қаршиликдан иборат бўлиши мумкин, шунинг учун унинг мувозанатлик шарти қуйидагича ифодаланади:

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3. \qquad (7.10)$$

Комплексли тўла қаршиликларни даража шаклида, яъни $Z = Ze^{j\varphi}$ шаклда ёзиб, ўзгарувчан ток кўпригининг мувозанатлик шартини қуйидагича ифодалаш мумкин:

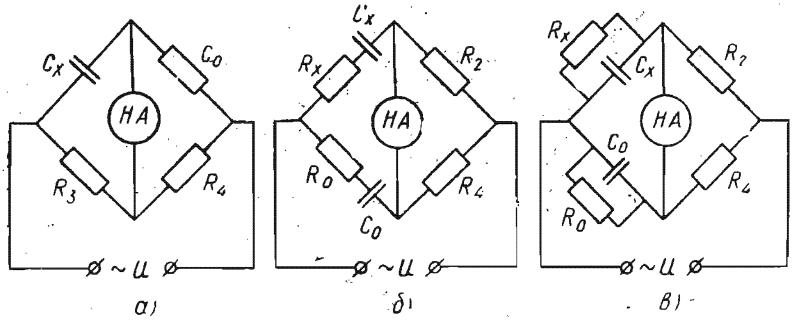
$$\left.\begin{aligned} Z_1 Z_4 &= Z_2 Z_3; \\ \varphi_1 + \varphi_4 &= \varphi_2 + \varphi_3. \end{aligned}\right\} \qquad (7.11)$$

Бунда Z_1, Z_2, Z_3 ва Z_4 — тегишли елка тўла қаршиликларининг модули; φ_1, φ_2, φ_3 ва φ_4 — тегишли елка кучланишлари билан елка токлари орасидаги фаза силжиши.



7.17- расм.

Мувозанатлик шарти (7.11) даги иккинчи шартни бажариш анча қийин, шунинг учун агар иккита ёндош (масалан, учинчи ва тўртинчи) елкага соф актив қаршилик R_3 ва R_4 ни уласак, $\varphi_3 = \varphi_4 = 0$ бўлади ва бошқа иккита



7.18- расм.

ёндош елкага индуктивлик ёки конденсатор уланади. Агар актив қаршиликлар қарама-қарши елкаларга уланса, бошқа қарама-қарши елкаларнинг бирига индуктивлик, иккинчисига эса конденсатор уланади.

Ўзгарувчан ток кўпригидаги ноль асбоб (НА) ўрнида электрон асбоб, вибрацион гальванометрлар ва тўғрилагичли магнитоэлектрик гальванометрлар ишлатилади. 7.18- расмда конденсатор сиғимини ўлчаш учун хизмат қилувчи ўзгарувчан ток кўпригининг схемалари кўрсатилган. 7.18- расм, *а* даги ўзгарувчан ток кўприги қувват исрофи бўлмаган конденсатор, яъни диэлектрикли (ҳаволи) конденсатор сиғимини ўлчаш учун хизмат қилади. Ўлчанаётган сиғим C_x намуна сиғими C_0 билан солиштирилиб, қуйидагича аниқланади:

$$\frac{1}{j\omega C_x} R_4 = = R_3 \frac{1}{j\omega C_0} \quad \text{ёки} \quad C_x = C_0 \frac{R_4}{R_3}.$$

Одатда, конденсатор оз миқдорда актив қувват қабул қилади. Шунинг учун реал конденсаторни идеал сиғим C_x ва унга кетма-кет ёки параллел уланган актив қаршилик R_x дан иборат, деб фараз қилиш мумкин. Бу вақтда актив қаршиликнинг миқдори қувват исрофларига эквивалент, деб қабул қилинади.

Қувват исрофи нисбатан кичик конденсаторлар сиғимини ўлчаш учун актив қаршилиги кетма-кет уланган эквивалент схемадан (7.18- расм, *б*) фойдаланиш мумкин. Бу ҳолда кўприк елкаларининг тўла қаршиликлари қуйидагига тенг бўлади:

$$Z_1 = R_x + \frac{1}{j\omega C_x}; \; Z_3 = R_0 + \frac{1}{j\omega C_0}; \; Z_2 = R_2; \; Z_4 = R_4.$$

Бу ифодаларни кўприкнинг умумий мувозанатлик шарти (7.10) га қўямиз:

$$\left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x}\right) R_4 = R_2 \left(R_0 + \frac{1}{j\omega C_0}\right).$$

Бундан кўприкнинг иккита мувозанатлик шарти келиб чиқади:

$$C_x = C_0 \frac{R_4}{R_2};\ R_x = R_0 \frac{R_2}{R_4}.$$

Конденсаторга берилган кучланиш билан ток орасидаги фаза силжишини 90° га тўлдирувчи қувват исрофи бурчаги δ ни қуйидаги ифодадан аниқлаш мумкин:

$$\operatorname{tg}\delta = \omega R_x C_x = \omega R_0 C_0.$$

Кўприкни мувозанатлаш учун $R_0 = 0$ бўлганда елкалар нисбати (R_4/R_2) ни ўзгартириб, ноль асбобда энг кам ток бўлишига эришилади, сўнгра R_0 ни ўзгартириб, токнинг янада кам бўлишига эришилади. Сўнгра R_4/R_2 ни ўзгартириб, кўприк мувозанатланади.

Қувват исрофи нисбатан катта бўлган конденсаторлар сиғимини ўлчаш учун актив қаршилиги параллел уланган эквивалент схемадан (7.18-расм, *в*) фойдаланилади. Кўприк мувозанатда бўлганда ўлчанаётган сиғим ва конденсаторнинг актив қаршилиги:

$$C_x = C_0 \frac{R_4}{R_2};\ R_x = R_0 \frac{R_2}{R_4}.$$

Қувват исрофи бурчаги δ конденсатор ва резистор параллел уланганда қуйидагича аниқланади:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{1}{\omega C_x R_x} = \frac{1}{\omega C_0 R_0}.$$

7.18-расм, *б* ва *в* ёрдамида диэлектриклардаги қувват исрофларини аниқлаш мумкин.

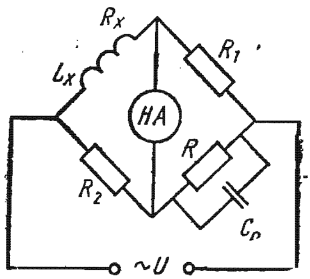
Индуктивликни ўлчаш учун бир қанча ўзгарувчан ток кўприклари мавжуд. 7.19-расмда индуктивликни намуна конденсатор сиғими билан таққословчи кўприк схемаси келтирилган. Бунда ўлчанадиган индуктивлик ғалтаги ва намуна сиғим кўприкнинг қарама-қарши елкаларига уланади. Схемада L_x ва R_x — ўлчанаётган ғалтакнинг индуктивлиги ва актив қаршилиги; C_0 ва R — намуна конденсатор ва унга параллел уланган резистор. Қолган елкаларга R_1 ва R_2 магазин қаршиликлари уланган.

Елкаларнинг тўла қаршиликлари қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$Z_1 = R_x + j\omega L_x;\ Z_2 = R_1;\ Z_3 = R_2;$$
$$Z_4 = \frac{R}{1 + j\omega C_0 R}.$$

Бу ифодаларни (7.10) формулага қўйиб, ўлчанадиган ғалтакнинг параметрларини аниқлаймиз:

$$L_x = C_0 R_1 R_2;\ R_x = \frac{R_1 R_2}{R}.$$



7.19-расм.

Саноатда универсал кўприклар ҳам ишлаб чиқарилади. Уларда сиғим, индуктивлик, актив қаршилик ва қувват исрофи бурчагининг тангенсини ўлчаш мумкин, яъни универсал кўприк битта корпусда ҳам ўзгармас, ҳам ўзгарувчан ток кўпригини мужассамлаштиради.

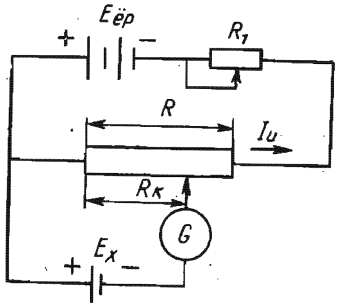
ГОСТ 9486 — 69 га асосан ўзгарувчан ток кўприклари 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 1,0; 2,0 ва 5,0 аниқлик синфларига бўлинади. Ўзгарувчан ток кўпригидаги ўлчаш аниқлиги ундаги ҳар бир диапазоннинг нисбий хатолиги билан аниқланади.

Сиғим ва индуктивликни билвосита ўлчаш усуллари бўлмиш гальванометр, учта вольтметр, амперметр-вольтметр-ваттметр ва бошқа усуллардан фойдаланиб ҳам ҳисоблаб топиш мумкин.

7.7. КОМПЕНСАЦИЯ ЎЛЧАШ УСУЛИ. ПОТЕНЦИОМЕТРЛАР

Номаълум ЭЮК ёки кучланишни маълум кучланиш билан солиштириб ўлчашга *компенсация ўлчаш* дейилади. Бунда солиштириш учун хизмат қилувчи қурилма потенциометр деб аталади ва шунинг учун компенсация ўлчашни кўп ҳолларда кучланиш, ЭЮК ва қаршиликни потенциометрда ўлчаш деб ҳам юритилади.

Ўзгармас токни ўлчашнинг компенсация усули. Кучланиш бевосита баҳоловчи асбобларда ўлчанса, ўлчаш аниқлиги 99,9% дан ошмайди. Лекин бу хатолик ташқи таъсирлар туфайли 0,1% кўпайиши мумкин. Бундан ташқари, бу усул вольтметр стрелкасининг бурилиши учун оз бўлса-да ток қабул қилади, бунинг эса амалда аниқ ўлчашларда ҳар доим ҳам иложи бўлавермайди. Масалан, термопара ЭЮК ини, нормал элемент ЭЮК ини ва бошқаларни ўлчашда токнинг ўлчанаётган миқдордан ўтиши ўлчаш хатолигини кескин ошириб юборади. Бундай ҳолларда компенсация усулидан фойдаланилади, бунда ўлчаш вақтида ўлчанаётган кучланиш ёки ЭЮК занжирида ток бўлмайди. Компенсация усулининг моҳияти ўлчанадиган номаълум ЭЮК ни маълум кучланиш пасаюви билан компенсациялаш (мувозанатлаш) орқали аниқлашдан иборатдир (7.20- расм).



7.20- расм.

$$E_x = I_u R_к,$$

бунда E_x — ўлчанадиган номаълум ЭЮК; I_u — компенсация қаршилигида кучланиш пасаювини ҳосил қилувчи маълум иш токи; $R_к$ — аниқ, ростланувчи компенсация қаршилиги.

Кучланиш пасаювини ҳосил қилиш учун олдин юқоридаги контурда ёрдамчи батарея $E_{ёр}$ таъсири остида номинал иш токи I_u ҳо-

сил қилинади ва унинг миқдори реостат R_1 ёрдамида ростланади. Сўнгра (7.20-расм) пастки контурдаги сургич A ни тахминан ўрта ҳолатдан ўнгга ва чапга шундай суриш керакки, бунда гальванометр G нолни кўрсатсин. Бу эса ўлчанадиган ЭЮК E_x занжирида токнинг йўқлигидан далолат беради. Шу вақтда қаршилик R нинг $R_к$ қисмидаги кучланишнинг пасаюви ўлчанаётган ЭЮК E_x га тенг бўлади, яъни

$$E_x = R_к I_и. \qquad (7.12)$$

Бу формуладаги иш токи:

$$I_и = \frac{E_{ёр}}{R}.$$

Ўлчаш жараёнида қаршиликлар $R_к$ ва R маълум бўлганлиги учун, номаълум ЭЮК қуйидагича топилади:

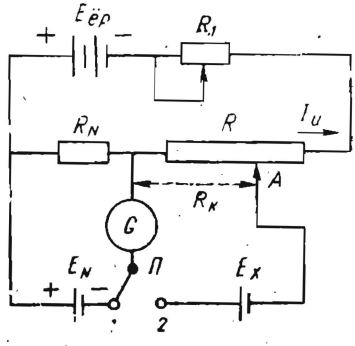
$$E_x = E_{ёр}\frac{R_к}{R}.$$

Ушбу формуладан кўринадики, E_x ни топишда қаршилик R дан ўтувчи иш токи иштирок этмай, балки ёрдамчи батарея ЭЮК $E_{ёр}$ иштирок этади. Бу эса ўлчаш хатолигини оширади. Чунки ЭЮК $E_{ёр}$ қаршиликка уланган туфайли, у вақт ўтиши билан зарядсизланади. Мазкур камчиликнинг таъсирини камайтириш мақсадида ҳозирги ҳамма потенциометрларда ёрдамчи батарея кучланишини барқарор ушлаб турувчи ярим ўтказгичли стабилизаторлар ишлатилади.

Иш токининг миқдорини аниқ ҳосил қилиш ва текшириш амперметрда эмас, балки юз мингдан биргача аниқликни таъминловчи намуна ЭЮК ўлчови — нормал элемент E_N ёрдамида амалга оширилади (7.21-расм). Потенциометрда иш токининг қийматини белгилаш ва текшириш учун переключатель (узгич) $П$ ни *1* ҳолатга қўйилади. Қаршилик R_1 ни ростлаш йўли билан гальванометр стрелкасининг нолда бўлишига эришилади. Бу вақтда намуна қаршилиги R_N да иш токи $I_и$ орқали ҳосил бўлган кучланишнинг пасаюви нормал элементнинг ЭЮК ига тенг бўлади:

$$E_N = R_N I_и;\ I_и = \frac{E_N}{R_N}. \qquad (7.13)$$

Иш токининг номинал қиймати ҳосил қилингандан сўнг, номаълум ЭЮК (кучланиш) ни ўлчаш мумкин. Бунинг учун переключатель $П$ ни ўнгдаги *2* ҳолатга ўтказилади ва компенсация каршилиги $R_к$ нинг қийматини ўзгартириб (сургич A ни



7.21-расм.

ўнгга ёки чапга суриш орқали), гальванометрнинг нолни кўрсатишига эришилади ва бунда (7.12) формуладаги тенглик вужудга келади.

(7.12) формуладаги $I_д$ ўрнига унинг (7.13) формуладаги ифодасини қўйсак, номаълум ЭЮК қуйидагича аниқланади:

$$E_x = E_N \frac{R_к}{R_N}. \qquad (7.14)$$

Потенциометрларнинг кўрсатувчи асбобларга нисбатан асосий афзаллиги, номаълум ЭЮК (кучланиш) ни жуда юқори даражали аниқликка эга бўлган намуна ўлчови — нормал элемент ёрдамида ўлчашдан иборатдир, шунингдек ўлчашнинг ўзи ўлчанаётган ЭЮК (кучланиш) дан ток (қувват) қабул қилмаслигидадир (чунки гальванометр токи ўлчаш вақтида нолга тенг бўлади). Бу эса компенсация усулида юқори аниқликка эришиш мумкинлигини билдиради. Ҳозирги потенциометрларнинг хатолигини процентнинг юздан бир ва ҳатто мингдан бир улушигача камайтириш мумкин.

Ўзгармас ток потенциометрлари икки гуруҳга бўлинади: кичик қаршиликли ҳамда катта қаршиликли потенциометрлар.

Кичик қаршиликли потенциометрларда иш токи занжирининг қаршилиги бир неча ўн ёки юз Ом, иш токи 1 дан 25 мА гача бўлади. Кичик қаршиликли потенциометрлар кичик ЭЮК (масалан, термопаранинг ЭЮК) ни ўлчаш учун хизмат қилади.

Катта қаршиликли потенциометрларда иш токи занжирининг қаршилиги 10000 Ом га етади ва иш токи 0,1 мА бўлади. Бу потенциометрларнинг юқори ўлчаш чегараси ЭЮК ёки кучланиш бўйича 1,2 — 2,5 В га етади.

Ўлчанадиган миқдорнинг қийматини ҳисоблаш аниқлиги ва потенциометрнинг ўлчаш чегараси, (7.14) формуладан кўринадики, компенсация қаршилиги $R_к$ нинг конструкцияси ва схемаси билан аниқланади. Чунки нормал ЭЮК E_N ва ўзгармас қаршилик R_N қийматлари жуда юқори аниқлигининг юқори эканлиги маълумдир.

Компенсация қаршилиги $R_к$ нинг схемаси ва конструкцияси $R_к$ ни нолдан потенциометрнинг юқори чегарасига тўғри келувчи қийматигача, иложи борича, текис ростлаш имконини бериши; ўлчанадиган миқдорнинг энг кичик қийматларини ҳисоблаш имконини бериши; қаршилик қийматининг доимийлигини ва унинг миқдорига ташқи омилларнинг кам таъсир қилишини таъминлаши керак.

Компенсация қаршилиги жуда хилма-хилдир. Компенсация қаршилигининг энг оддий схемаси сургичли реохорд кўринишида бўлади. Ҳозирги замон потенциометрларида шунтловчи декадали, ўрнинг босувчи декадали ва қўшалоқ декадали қаршиликлар схемаси кўп қўлланилади.

Потенциометрларнинг жоиз хатолиги уларнинг паспорти ва шчитида кўрсатилган махсус формулалар билан ҳисобланади.

Ўзгармас ток потенциометрлари ГОСТ 9245—68 нинг ҳамма талабларини қониқтириши керак. Мазкур ГОСТ га асосан қуйидаги аниқлик синфлари мавжуд: 0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2.

Потенциометрда ток кучи ва қаршиликларни ҳам ўлчаш мумкин. Бунинг учун ток кучи ва қаршилик махсус схема бўйича кучланишга айлантирилиши керак.

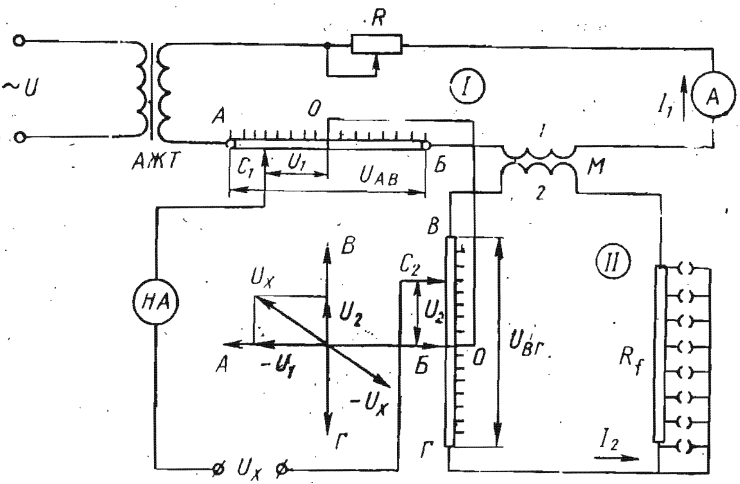
Ўзгарувчан токни ўлчашнинг компенсация усули. Ўзгарувчан ток занжирларидаги кичик ЭЮК, кучланиш, комплекс қаршилик ва бошқаларни аниқ ўлчашлар, худди ўзгармас ток занжирларидагигек, компенсация усули ёрдамида амалга оширилади. Ўзгарувчан ток потенциометрларининг ишлаши худди ўзгармас ток потенциометрлари каби бўлиб, ўлчанадиган номаълум кучланишни компенсация қаршилигида ишчи токи ҳосил қилган маълум кучланиш пасаюви билан мувозанатлашдан иборат. Аммо ўзгарувчан ток занжирларида мувозанатлик шарти, ўзгармас ток занжирларидагига қараганда анчагина мураккаброқ. Ўлчанадиган номаълум ўзгарувчан ток кучланишини маълум кучланиш билан мувозанатлаш учун қуйидаги тўртта шарт: *1*) улар сон қийматлари (модуллари) нинг тенглиги; *2*) улар фазаларининг қарама-қаршилиги; *3*) частоталарининг тенглиги; *4*) оний қийматларининг вақт бўйича ўзгариш эгри чизиқлари шаклининг бир хиллиги таъминланиши керак.

Ўзгарувчан ток потенциометрларининг ноль асбоблари сифатида саноат частота учун вибрацион гальванометрлар ва юқори частоталар учун электрон асбоблар ишлатилади.

Ўзгарувчан ток ЭЮК учун намуна ўлчовининг йўқлиги ўзгарувчан ток потенциометрларининг ўлчаш аниқлигини анчагина пасайтиради. Потенциометрларда иш токи аниқлик синфи 0,2 ёки 0,5 бўлган электродинамик амперметрлар билан ростланади. Шунга қарамай, ўлчаш объектидан қувват қабул қилмай ишлаши ва ўлчанадиган кучланишнинг фазасини аниқлаш имконияти ўзгарувчан ток потенциометрларидан фойдаланишга сабаб бўлди.

Ўлчанадиган кучланишни компенсация қилиш усулига қараб ўзгарувчан ток потенциометрлари қутб координатали ва тўғри бурчак-координатали хилларга бўлинади. Ҳозирги вақтда фақат тўғри бурчак-координатали потенциометрлар ишлаб чиқарилади. Мазкур потенциометрнинг принципиал схемаси 7.22-расмда кўрсатилган. Потенциометр иккита иш занжири I ва II дан иборат. Иш занжири I калибрланган сим *АБ*, ҳаволи трансформатор (пўлат ўзаксиз) *М* нинг бирламчи чулғами *1*, амперметр *А*, реостат *R* ва ажратувчи трансформатор *АТ* нинг иккиламчи чулғамидан иборат. Ушбу занжирнинг токи J_1 сим *АБ* да кучланиш пасаюви $U_{АБ}$ ни ҳосил қилади.

Иш занжири II калибрланган сим *ВГ*, ҳаволи трансформатор *М* нинг иккиламчи чулғами *2* ва резистор *R* дан иборат. Бу занжирнинг токи I_2 биринчи занжир токи I_1 дан, фаза



7.22- расм.

жиҳатдан, деярли 90° га кечикади. Бу қуйидагича тушунтирилади. Ҳаволи трансформатор M нинг чулғамидан I_1 ток оқиб ўтиб, магнит оқимини ҳосил қилади. Магнит оқими бу ток билан бир хил фазада бўлади, чунки ҳаволи трансформаторда уюрма токка ва гистерезисга қувват исроф бўлмайди. Бу оқим иккиламчи чулғамда ўзидан 90° га кечикувчи ЭЮК ҳосил қилади.

Агар бу занжирнинг реактив қаршилиги ҳаддан ташқари кичик қилиб олинса, у ҳолда ток I_2 ЭЮК билан бир хил фазада бўлади ва I_1 дан 90° га кечикади. Шунинг учун ток I_2 сим $BГ$ да ҳосил қилган кучланиш пасаюви $U_{BГ}$ ҳам кучланиш пасаюви $U_{AБ}$ дан 90° га кечикади.

C_1 ва C_2 сургичлар ёрдамида умумий нуқта O билан C_1 ва C_2 сургичлар орасидаги U_1 ва U_2 кучланишлар пасаювининг қийматларини ўзгартира бориб, ўлчанадиган кучланиш U_x ни компенсациялашга эришиш мумкин. Бунда номаълум кучланишнинг абсолют қиймати қуйидагига тенг:

$$U_x = \sqrt{U_1^2 + U_2^2}.$$

Ўлчанадиган кучланиш U_x нинг фазаси қуйидагича аниқланади:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_2}{U_1}.$$

I_1 ва I_2 лар қиймат жиҳатдан ўзгармас бўлганлиги учун бу токлар ҳосил қилган кучланиш пасаювлари $U_{AБ}$ ва $U_{BГ}$ лар ҳам ўзгармас бўлади. Шунинг учун $R_{AБ}$ ва $R_{BГ}$ ларнинг

шкаласини кучланиш бирлигида даражалаб, ўлчанадиган кучланишни компенсация қилувчи кучланишлар U_1 ва U_2 ларни осонгина ҳисоблаш мумкин. Лекин, ҳаволи трансформаторнинг иккиламчи чулғамида индукцияланган ЭЮК нинг қиймати I_1 нинг частотаси f га боғлиқ. Шунинг учун ўзгармас ток I_1 да I_2 нинг ўзгармаслиги учун иккинчи занжирга қаршилик R_f уланган.

Ўлчаш натижаларига тармоқ таъсирини йўқ қилиш учун потенциометр электр тармоғига ажратувчи трансформатор AT орқали уланади. 7.22-расмдаги иккала иш занжирлари фазода 90° га силжитиб жойлаштирилган. Бу иш I_1 ва I_2 ҳамда кучланишлар пасаюви $U_{АБ}$ ва $U_{ВГ}$ лар орасидаги 90° ли фаза силжиши яққол кўриниши учун қилинган.

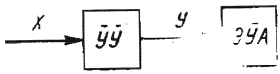
7.8. НОЭЛЕКТР КАТТАЛИКЛАРНИ ЭЛЕКТР УСУЛИДА ЎЛЧАШ

Илмий тадқиқотларда, технологик жараёнларда, янги машина ва аппаратларни яратиш ва уларни созлаш ҳамда ишлатиш жараёнида кўпгина ноэлектр катталикларни электр усулида ўлчашга тўғри келади. Ноэлектрик катталиклар бўлмиш механик, иссиқлик ва бошқа катталикларни ўлчаш учун хизмат қилувчи электр асбоблари ва усуллари бир қанча афзалликларга эга. Улар ноэлектрик катталикларнинг қийматинигина эмас, балки уларнинг сифатини ҳам аниқлаш, ўлчаш ва белгилаш имконини беради.

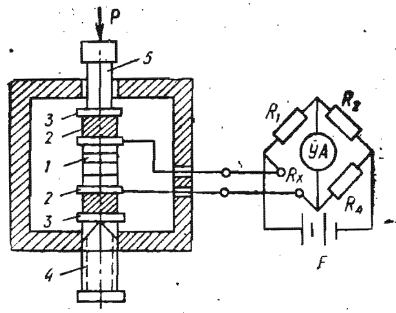
Электр ўлчаш усуллари ва асбобларининг афзалликларига асбоб сезгирлигини катта оралиқда осонгина ўзгартиш; жуда тез ҳамда жуда секин ўтувчи жараёнларни ўлчаш ва ёзиб олиш мумкинлиги; олисда туриб ўлчаш ва ўлчаш натижаларини олис масофага узатиш мумкинлиги; ноэлектр асбоблар билан ўлчаш мумкин бўлмаган жойлардаги катталикларни ўлчаш ва кузатиш мумкинлиги; ўлчаш натижаларини марказлаштириш ва ўлчаш объектига қайтадан автоматик равишда таъсир этиш имконияти ва бошқаларни киритиш мумкин.

Ҳозирги вақтда ноэлектр катталикларни ўлчаш ахборот-ўлчаш техникасининг каттагина соҳасини ташкил этади, бу катталикларни ўлчаш учун керак бўладиган асбобларни ишлаб чиқариш эса асбобсозлик саноатининг йирик тармоғига айланган.

Ноэлектр катталикларни ўлчайдиган электр асбоблар электр катталикларни ўлчайдиган асбоблардан фарқ қилади. Уларнинг таркибида ноэлектр катталиклар (температура, босим, силжиш, тезлик, тезланиш, сатҳ, сарф ва бошқалар) ни электр катталиклар (ток, кучланиш, қувват) га ёки электр параметрлари (қаршилик, индуктивлик, сиғим, магнит қаршилиги ва бошқалар) га айлантириб берувчи бир ёки бир нечта ўлчаш ўзгартиргичлари бўлади. Ўлчаш ўзгартиргичини, одатда, *датчик* деб аталади.



7.23- расм.



7.24- расм.

7.23- расмда ноэлектр катталикни электр усулида ўлчашнинг оддий структура схемаси кўрсатилган. Ўлчанадиган ноэлектр катталик *x* ўлчаш ўзгартиргичи (ЎЎ) нинг киришига берилади. Ўлчаш ўзгартиргичининг чиқишидаги электр катталик *y* электр ўлчаш асбоби (ЭЎА) ёрдамида бевосита ёки билвосита усулларда ўлчанади. Электр ўлчаш асбобининг шкаласи ўлчанадиган ноэлектр катталик бирлигида даражаланади, бу эса ўлчашни тезлатади ва ўлчаш хатолигини камайтиради.

Ишлашига қараб ҳамма ўлчаш ўзгартиргичларини параметрли ёки генераторли турларга ажратиш мумкин.

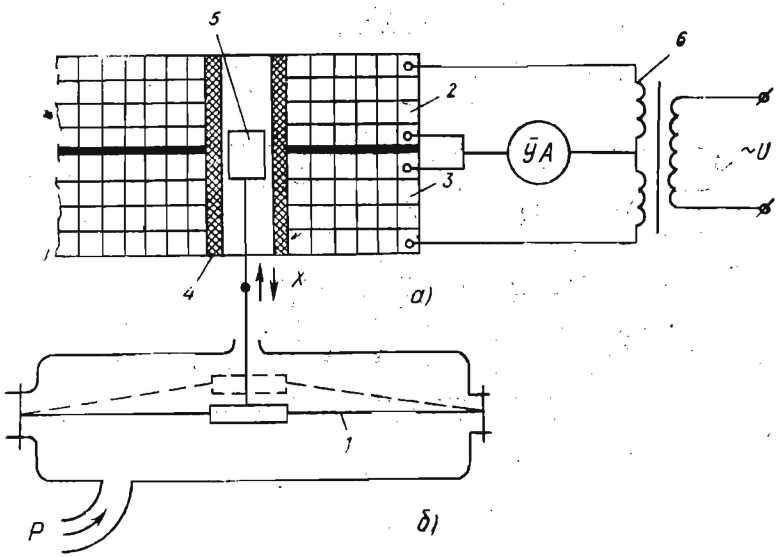
Қуйида куч, сатҳ, силжиш, тезлик, температура каби ноэлектр катталикларни ўлчаш учун хизмат қилувчи схемаларни келтирамиз.

Кучни ўлчаш учун кўмир шайбали датчик ва теплодатчиклардан фойдаланилади. Ҳар иккала датчикнинг ҳам ишлаш принципи куч таъсиридан ўз қаршиликларини ўзгартиришга асосланган.

7.24- расмда кўмир шайбали датчик ёрдамида кучни ўлчаш учун хизмат қилувчи қурилманинг принципиал схемаси кўрсатилган. Кўмир шайбали датчик 10 — 15 та кўмир шайбалар *1*, жез шайба *2* ва изоляцияловчи слюдали шайба *3* дан иборат. Булар винт *4* ва стержень *5* билан сиқиб қўйилади. Жез шайбага ташқарига чиқарилган симлар уланган. Ўлчаш схемаси сифатида ўзгармас ток кўприги хизмат қилади.

Ташқаридан куч *P* таъсир этмаганда кўприк мувозанатда бўлади. Стержень 5 га *P* куч қўйилганда кўмир шайбалар қисилиб, қаршиликларни ўзгартиради. Натижада кўприк мувозанат ҳолатдан чиқиб, унинг диагоналида ток ҳосил бўлади ва ўлчаш асбоби *ЎА* нинг стрелкаси бурилади. Ўлчаш асбобининг шкаласи ўлчанадиган куч бирлигида даражаланади.

Босимни ўлчаш учун суюқликли, мембранали, сильфонли, пружинали ва бошқа датчиклар ишлатилади. Ушбу датчикларда босим ёки босимлар фарқи кичик механик бурчакли



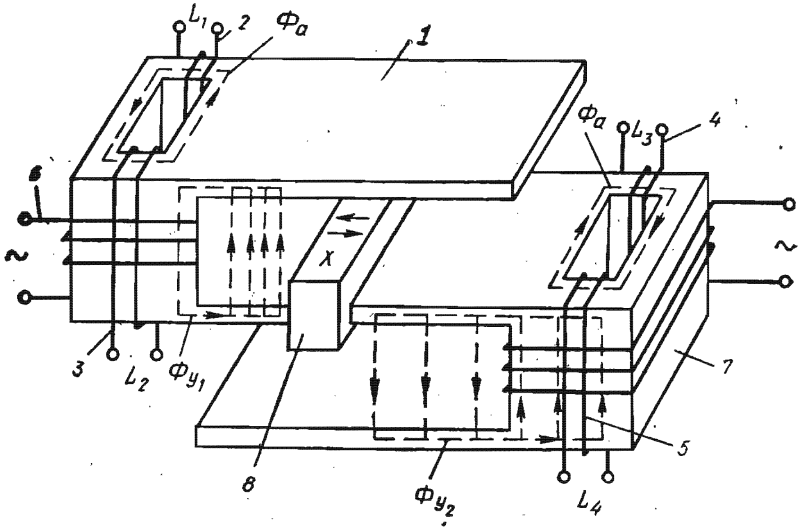
7.25-расм.

ёки чизиқли силжишга айлантирилади. Механик силжишни тўғридан-тўғри ёки механик силжиш датчиклари ёрдамида ўлчаш мумкин.

7.25-расмда босимни мембранали босим датчиги ва индуктив датчик ёрдамида ўлчаш учун хизмат қилувчи қурилманинг принципиал схемаси кўрсатилган.

7.25-расм, *а* да жамланган параметрли индуктив датчик берилган. Бу датчик қўзғалувчан ўзак *5* ва индуктивлиги бир хил бўлган ғалтак *2* ва *3* дан иборат. Ғалтак чулғами магнитланувчанлик хоссасига эга бўлмаган найча *4* устига ўралган ва трансформатор *6* нинг иккиламчи чулғами учига дифференциал схема бўйича уланган. Индуктив ғалтаклар билан трансформатор иккиламчи чулғамининг ўрта нуқталари орасига ўлчаш асбоби *ЎА* уланган.

7.25-расм, *б* да босим датчиги кўрсатилган. Ўлчанаётган босим *p* мембрана *1* га таъсир этиб, уни юқорига ёки пастга эзади. Натижада мембранага уланган ўзак силжийди. Агар босим бўлмаса, мембрана ўрта ҳолатда бўлади, шунинг учун қўзғалувчан ўзак индуктив ғалтак чулғамининг ўртасида туради. Бу вақтда ғалтакнинг индуктивлиги ва индуктив қаршилиги бир-биридан фарқ қилмайди, натижада электр ўлчаш асбоби *ЎА* дан ўтувчи ток нолга тенг бўлади. Агар босим таъсир этса, мембрана ва унга маҳкамланган ўзак юқорида силжийди (7а мда пунктир чизиқ билан кўрсатилган). Натижада ғалтак *2* нинг индуктивлиги бирор қийматга ошади, шу



7.26- расм.

вақтда ғалтак *3* нинг индуктивлиги эса ўшанча қийматга камаяди. Натижада ўлчаш асбоби *ЎА* дан механик силжиш қийматига, яъни ўлчанаётган босим қийматига мос ток оқиб ўтади. Асбобнинг шкаласи миллиметр ёки босим бирлигида даражаланади. Мазкур қурилма ёрдамида босимлар фарқини ҳам ўлчаш мумкин. Бунинг учун мембрананинг юқори қисмига P_1 босим, пастки қисмига эса P_2 берилади.

Силжишни ўлчаш учун силжиш датчикларидан фойдаланилади. Бунда турли физик катталиклар, чунончи, босим, температура, газ ёки суюқлик сарфи, зичлик ва бошқалар механик силжишга айлантирилади ва силжиш датчиклари ёрдамида ўлчанади. Силжиш датчиклари реостатли датчик, сиғимли датчик, индуктив датчик, трансформаторли датчик ва бошқа турларга бўлинади.

Ушбу дарсликда индуктив силжиш датчикларинигина кўриб чиқамиз. Индуктив датчик жамланган ва тақсимланган параметрли бўлиши мумкин. 7.25-расм, *а* да кичик (0,5 — 20 мм гача) механик силжишларни ўлчаш учун хизмат қилувчи жамланган параметрли индуктив силжиш датчигининг конструкцияси кўрсатилган. Катта (0,2 — 100 см ва бундан ҳам ортиқ) механик силжишларни ўлчаш учун тақсимланган параметрли индуктив датчикдан фойдаланилади. 7.26-расмда тақсимланган параметрли индуктив датчик конструкциясининг схемаси берилган.

Чизиқли индуктив датчик *S* шаклидаги узайтирилган магнит ўтказгич *1* дан иборат. Магнит ўтказгичнинг асосида биттадан тешик бор, асосларидаги индуктивлик ғалтаклари *2*, *3*, *4* ва *5* ларни ҳосил қилишда симлар шу тешиклардан ўткази-

лади, индуктивлиги бир хил L_1, L_2, L_3, L_4 бўлган бу ғалтаклардан ташқари, магнит ўтказгичга уйғотиш чулғамлари *6* ва *7* ҳам ўралган. Магнит ўтказгичнинг ўртанча ўзагида ҳаракатланувчи мис ёки алюминий экран *8* бор. Бу экран механик силжиши ўлчанадиган объектга маҳкам бириктирилади. Уйғотиш чулғамлари ўзаро кетма-кет туташтирилиб, кейин ўзгарувчан ток манбаига уланади. Уйғотиш чулғамларидан ўтаётган ток таъсирида параллел стерженлар орқали туташувчи магнит оқимлари Φ_{y_1} ва Φ_{y_2} ҳосил бўлади, уларнинг миқдори экраннинг ҳолатига боғлиқ.

Индуктив ғалтакларнинг ўрталаси ҳам кўприк схемасида уланади. Кўприкнинг бир диагоналига ўзгарувчан кучланиш манбаи уланганда иккинчи (чиқиш) диагоналида экраннинг силжишига пропорционал равишда кучланиш ҳосил бўлади. Экран магнит ўтказгичнинг ўртасида турганида ғалтак индуктивликлари ўзаро тенглашади, яъни $L_1 = L_2 = L_3 = L_4$ (кўприк мувозанатда бўлади) ва кўприкнинг чиқиш диагоналидаги кучланиши нолга тенг бўлади. Экран ўрта ҳолатдан ўнгга ёки чапга қанча силжиса, бир асосдаги магнит оқими Φ_a шунча ошиб, иккинчисида шунча камаяди. Бинобарин, L_1 ва L_2 индуктивликлар қанчага ошса, L_3 ва L_4 индуктивликлар шунчага камаяди. Натижада кўприк диагоналида чиқиш кучланиши U_r ҳосил бўлади:

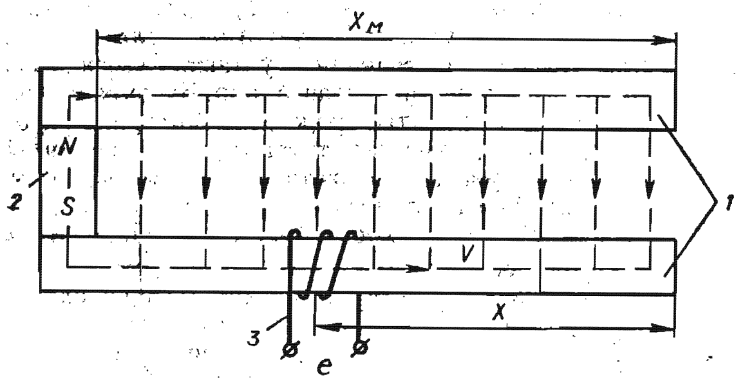
$$U_r = U_к \frac{L_1 - L_3}{L_1 + L_3} = U_к \frac{L_2 - L_4}{L_2 + L_4},$$

бу ерда $U_к$ — кўприк диагоналига уланган ўзгарувчан ток манбаининг кучланиши.

Шундай қилиб, кўприкнинг чиқиш диагоналига милливольтметрни улаб, экран маҳкамланган объектнинг механик силжишини ўлчаш мумкин.

Тезликни ўлчаш учун тахогенератор ва тезлик датчикларидан фойдаланилади. *Тахогенератор* айланиш тезлигини ўлчаш учун хизмат қилади. Қуйида чизиқли тезликни ўлчаш учун хизмат қилувчи чизиқли тезлик датчикларининг конструкцияси келтирилади.

Тезлик датчиклари ишлаш принципига қараб бир неча турга бўлинади: индукцион тезлик датчиги; магнит-модуляцион тезлик датчиги; Холл элементли тезлик датчиги ва бошқалар. Бу датчиклар қўзғалувчан қисмининг турига қараб, қўзғалувчан чулғамли, қўзғалувчан магнитли, қўзғалувчан ўзакли ва қўзғалувчан экранли бўлиши мумкин. Саноат корхоналарида иш жараёнини автоматлаштириш вақтида иш механизми ҳаракатланувчи қисмларининг силжиш тезликларини ўлчаш ва қайд қилишда, металл кесувчи ва ёғочга ишлов берувчи дастгоҳларнинг тезлигини текширишда, дастгоҳда металларни кавшарлаш тезликларини ёзиб бориш ва бошқа ҳаракат тезликларини ўлчашда тезлик датчикларидан фойдаланилади.



7.27- расм.

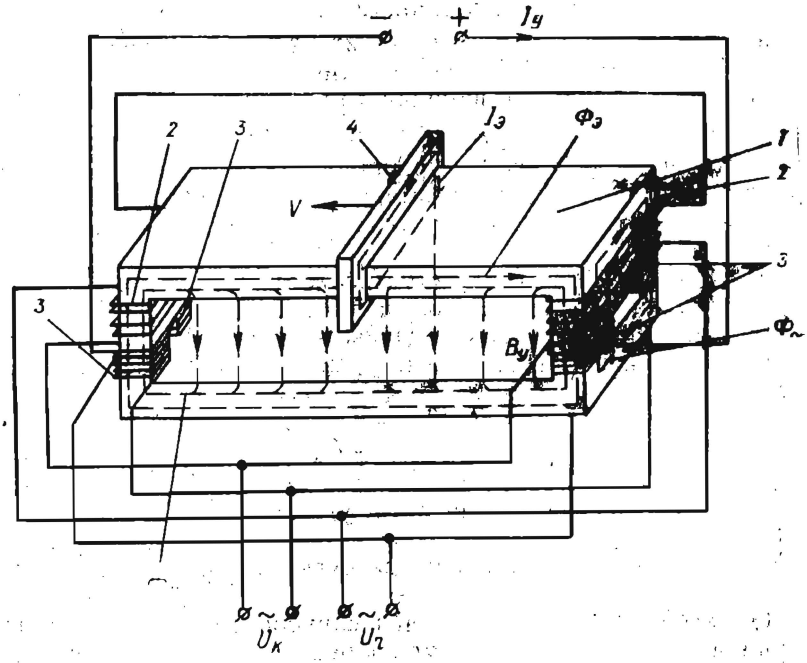
Қўзғалувчан чулғамли индукцион тезлик датчиги 7.27-расмда кўрсатилган. Датчик $П$ шаклдаги қўзғалмас магнит ўтказгичдан иборат. Ўзгармас (доимий) магнит *2* магнит ўтказгичнинг асоси бўлиб хизмат қилади. Унинг узайтирилган ихтиёрий битта стерженига қўзғалувчан ўлчаш чулғами *3* ўралган. Ўзгармас магнит иккита параллел стержень орасида деярли бир хил магнит индукциясини ҳосил қилади. Қўзғалувчан ўлчаш чулғами стержень бўйича қандайдир V тезлик билан силжиса, унинг ўрамлари стерженлар орасидаги магнит куч чизиқларини кесиб ўтиши натижасида чулғамда ЭЮК ҳосил бўлади. ЭЮК нинг қиймати ўлчаш чулғамининг силжиш тезлигига пропорционалдир:

$$e = S_V \cdot V.$$

Датчикнинг сезгирлиги S_V қўзғалувчан ўлчаш чулғамининг ўрамлар сонига, стерженлар орасидаги магнит индукцияга ва солиштирма магнит ўтказувчанликка пропорционалдир.

Қўзғалувчан ўлчаш чулғамли индукцион тезлик датчиги ёрдамида 0,05 — 50 мм/с оралиқдаги чизиқли тезликларни ўлчаш мумкин. Агар датчикнинг ўлчаш чулғамига ўзиёзар асбоб уланса, асбоб объект тезлигини қоғозга ёзиб боради. Ушбу датчик жуда сезгир ҳисобланади. Лекин унинг камчилиги ҳам бор (қўзғалувчан ўлчаш чулғами учларининг осилиб туриши). Шунинг учун қўзғалувчан ўлчаш чулғамининг ҳаракат оралиғини ошириш унинг осилиб турган учларининг тез узилишига қисман сабабчи бўлади. Бундай датчик ўлчаш чулғамининг ҳаракат оралиғи 20 — 30 см дан ошмайди.

Магнит-модуляцион чизиқли тезлик датчиги 7.28-расмда кўрсатилган. Датчик узайтирилган □ шаклдаги магнит ўтказгич *1* дан иборат бўлиб, икки ён томонига уйғотувчи чулғам *2* лар ўралган. Магнит ўтказгичнинг икки ён томони бир хилда тешилган бўлиб, ҳар бирига иккитадан индуктивлик



7.28- расм

ғалтаги *3* ўралган. Ғалтакларнинг индуктивликлари (L_1, L_2, L_3, L_4) ўзаро кўприк схемасида уланган. Магнит ўтказгичнинг бир стерженига қузғалувчан экран (қисқа туташтирилган чулғам) *4* ўрнатилган. Бу экран тезлиги текширилади ган объектга маҳкамланган бўлади. Индукцион чизиқли тезлик датчиги мазкур датчикнинг асоси бўлиб хизмат қилади Магнит-модуляцион тезлик датчигининг тезликка пропорционал бўлган чиқиш экран токи қайтадан магнит индукциясига айлантирилади. Тезликка пропорционал магнит индукцияси магнит ўтказгичнинг чеккаларидаги магнит қаршилигини ўзгартирганлиги туфайли бу датчик магнит-модуляцияловчи чизиқли тезлик датчиги деб юритилади. Датчик қуйидагича ишлайди. Уйғотиш чулғами *2* ўзгармас ток манбаига уланганда магнит ўтказгичнинг параллел стерженлари орасида деярли бир хил магнит индукцияси ҳосил бўлади.

Кўприк схемасининг бир диагонали ўзгарувчан ток манбаига уланганда иккинчи, яъни чиқиш диагоналида ўзгарувчан чиқиш кучланиши $U_г$ ҳосил бўлади. Экран қўзғалмасдан турганда чиқиш кучланиши нолга тенг бўлади, чунки бу вақтда ғалтакнинг индуктивликлари бир хилдир ($L_1 = L_2 = L_3 = L_4$). Экран чизиқли тезлик V билан силжитилса, унда тезликка пропорционал ЭЮК ҳосил бўлади. Бу ЭЮК экранда экранининг силжиш тезлигига пропорционал ток $I_э$ ҳосил қилади.

Ток $I_э$, ўз навбатида, магнит оқими ($\Phi_э$) ни ҳосил қилади. Бу магнит оқими □ шаклидаги магнит ўтказгич бўйича туташиб, унинг бир томонидаги асосий уйғотиш магнит оқими $\Phi_у$ га қўшилади ($\Phi_у + \Phi_э$) ва иккинчи томонидаги уйғотиш магнит оқимидан айирилади ($\Phi_у - \Phi_э$). Натижада датчикнинг бир томонидаги асоснинг магнит қаршилиги тезликка пропорционал равишда кўпаяди, иккинчи томонида эса камаяди. Шунга яраша, бир асосда ғалтак индуктивлиги камайиб, иккинчисида кўпаяди.

Шундай қилиб, ғалтак индуктивлиги (L_1, L_2, L_3, L_4) нинг текширилувчи чизиқли тезликка боғлиқ равишда ўзгариши кўприкнинг чиқиш диагоналида ўзгарувчан чиқиш кучланишининг тезликка пропорционал равишда ўзгаришига сабаб бўлади:

$$U_г = U_к \frac{L_1 - L_3}{L_1 + L_3} = U_к \frac{L_2 - L_4}{L_2 + L_4},$$

бу ерда $U_к$ — кўприкка берилган ўзгарувчан ток манбаининг кучланиши.

Магнит-модуляцион тезлик датчиги қуйидаги афзалликларга эга:

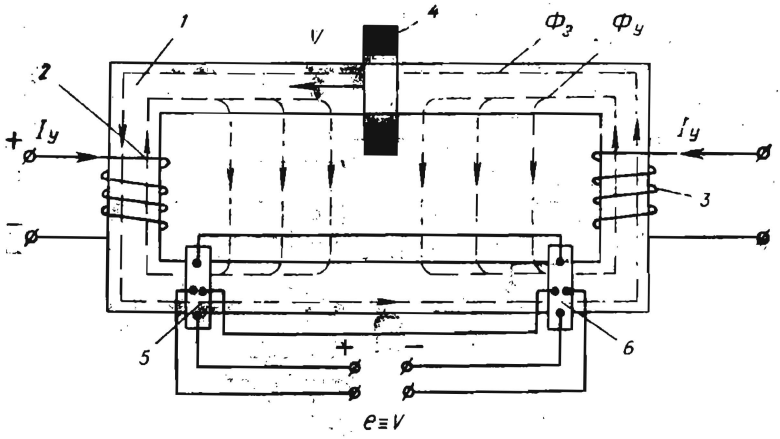
1. Датчикнинг чиқиш сигнали синусоидал ўзгарувчан ток кўринишида бўлганлигидан уни кучайтириш ва масофага узатиш анча қулай.

2. Датчикнинг қўзғалувчан қисми, яъни экрани осилган симлардан холи, шу туфайли датчикнинг ҳаракат оралиғини янада ошириш мумкин.

Магнит-модуляцион датчик ёрдамида 0,1 — 100 мм/с оралиқдаги чизиқли тезликни ўлчаш мумкин. Бунинг учун датчикнинг чиқиш диагоналига лампали милливольтметр ёки ўзиёзар асбоб уланса бас.

Холл элементли тезлик датчиги 7.29-расмда кўрсатилган. Холл элементли чизиқли тезлик датчиги узайтирилган □ шаклидаги қўзғалмас магнит ўтказгич *1* дан иборат бўлиб, асосларига уйғотиш чулғамлари *2* ва *3* ўралган. Магнит ўтказгичнинг бир стерженига экран *4* кийгизилган, стерженнинг икки чеккасига эса Холл элементлари *5* ва *6* жойлаштирилган. Холл элементларининг ўзаро кетма-кет ва қарама-қарши уланган кириш клеммаси ўзгармас ток манбаига, чиқиш клеммаси эса ўзиёзар асбобга уланади.

Уйғотиш чулғамлари ўзгармас ток манбаига уланганда икки стержень орасида деярли бир хил магнит индукцияси ҳосил бўлади. Экран тезлиги текширилаётган объект тезлиги билан силжитилса, экранда унинг силжиш тезлигига пропорционал равишда экран токи $I_э$ вужудга келади. $I_э$ ўз навбатида, магнит оқими $\Phi_э$ ни ҳосил қилади. Бу оқим □ шаклидаги магнит ўтказгич бўйича туташади ва экран тезлигига боғлиқ равишда асоснинг бир томонидаги асосий уйғотиш



7.29-расм.

оқимига қўшилади ($\Phi_у + \Phi_э$) ва иккинчи томонидаги уйғотиш оқимидан айирилади ($\Phi_у - \Phi_э$). Натижада Холл элементларининг бирида ЭЮК кўпайиб, иккинчисида камаяди. Демак, Холл элементларининг чиқиш клеммасида экраннинг силжиш тезлигига пропорционал равишда ЭЮК лар фарқи ҳосил бўлади:

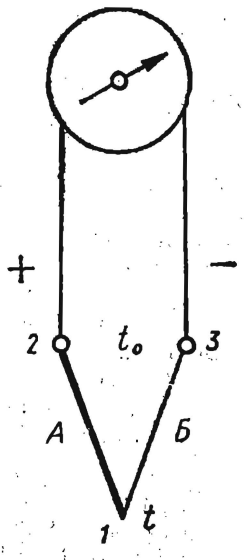
$$E = E_1 - E \equiv 2\Phi_э \equiv V.$$

Холл элементли датчик магнит-модуляцион датчикнинг ҳамма афзалликларига эга бўлиб, унинг чиқиш сигнали ҳам ўзгармас, ҳам ўзгарувчан ток шаклида бўлиши мумкин.

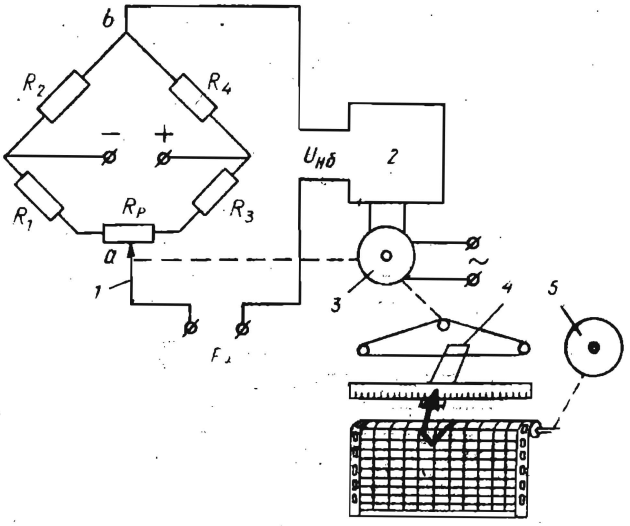
Температурани ўлчаш учун термопара ва термоқаршиликлардан фойдаланилади. Температура энг муҳим технологик параметрдир. Термопара ва термоқаршиликлар температуранигина ўлчаш учун эмас, балки бошқа физик катталикларни (газ таркиби, босим, зичлик ва сарфлар) ни билвосита ўлчаш учун ҳам ишлатилади.

Термопара икки хил металлдан тайёрланган ўтказгичлар *А* ва *Б* дан ясалган. Ўтказгичларнинг бир учи *1* бир-бирига кавшарланади, иккинчи учи *2* ва *3* эса электр ўлчаш асбобига уланади (7.30-расм).

Ўтказгичнинг кавшарланган ва асбобга уланадиган учларининг температуралари



7.30-расм.



7.31-расм.

ҳар хил бўлса, термопара ва ўлчаш асбобидан иборат занжирда ЭЮК ҳосил бўлади. Ўтказгичларнинг асбобга уланган учларида температура доимо бир хил бўлса, ЭЮК ҳамда асбобнинг кўрсатиши термопаранинг кавшарланган учлари температурасига боғлиқ бўлади. Термопара ЭЮК ининг қиймати ўтказгичларнинг кавшарланган нуқта температурасига ва термопара ўтказгичларининг материалига боғлиқ бўлиб, ўтказгичларнинг узунлиги ва диаметрига, температуранинг ўтказгичларда тақсимланишига боғлиқ эмас. Шунинг учун термопара баъзан жуда ингичка (миллиметрнинг бир неча улушича) ва жуда узун (юз метрларча) қилинади.

Термопара тайёрлаш учун жуда кўп материаллар ишлатилади. Шулардан мис билан константан (300°С гача), мис билан копель (600°С гача), хромель билан копель (800°С гача), хромель билан алюмель (1300°С гача) ва платина билан платинорадий (1600°С гача) дан ясалган термопаралар жуда кўп қўлланилади.

Термопарада ҳосил бўлган ЭЮК қиймати жуда кичик бўлиб, ҳар градусга бир неча (материалига қараб) микровольт тўғри келади. Лекин бу қиймат ўлчаш учун етарли ҳисобланади. Мазкур ЭЮК ни ўлчаш учун 7.30-расмда кўрсатилган магнитоэлектрик юқори сезгир милливольтметр ёки 7.31-расмда кўрсатилган автоматик электрон потенциометрдан фойдаланилади.

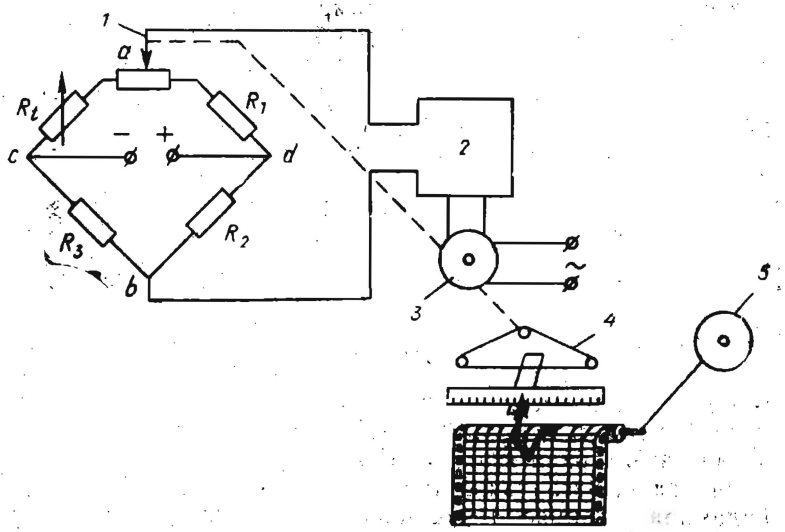
Потенциометр ёрдамида ўлчанаётган термопара ЭЮК қиймати E_t билан *а* ва *б* нуқталар орасидаги потенциаллар фарқи солиштирилади. Реохорд дастаси *1* ни реверсив двигатель *3* ёрдамида суриб, нуқта *а* нинг ҳолати E_t ва $U_{аб}$ орасидаги

фарқ ($E_t - U_{аб}$) нолга тенглашгунча ўзгартирилади. Агар бу фарқ (у номувозанат кучланиши — $U_{нб}$ ҳам дейилади) нолга тенг бўлмаса, у кучайтиргич *2* ёрдамида ўзгарувчан токка айлантирилиб, микровольтдан бир неча вольтгача кучайтирилгандан сўнг реверсив двигатель *3* нинг бошқариш чулғамига берилади. Двигатель ишга тушиб, реохорд дастасини $U_{нб}$ нолга тенглашгунча суради. Двигателнинг айланиш тезлиги ўлчанаётган термопара ЭЮК нинг қиймати E_t га боғлиқ. Реохорд дастаси билан биргаликда унга маҳкамланган карета *4*, стрелка ва перо ҳам сурилади. Перонинг сурилиши синхрон двигатель *5* ёрдамида ўзгармас тезлик билан ҳаракат қилувчи диаграммага ўлчанаётган қийматни ёзиб олиш имконини беради. Демак, ўлчанаётган температурани стрелка кўрсатиши бўйича шкаладан ёки диаграмма лентасидан олиш мумкин.

Термоқаршилик ўтказгич (ёки ярим ўтказгич) электр қаршилигининг температурага боғлиқлигига асосланган. Термоқаршилик, одатда, мис ва платинадан ясалган бўлиб, термопара каби термоэлектр юритувчи куч (ЭЮК) ишлаб чиқармайди, балки температура ўзгарганда ўз қаршилигини ўзгартиради. Металл қаршиликларда температура билан электр қаршилик ўртасида мутаносиб боғланиш бор. Термоқаршилик температураси ўлчанадиган муҳитга жойлаштирилади ва термоқаршилик қаршилигининг ўзгариши автоматик кўприк схемаси ёрдамида ўлчанади.

Электр қаршилигига айлантириш мумкин бўлган ҳар қандай катталикни ўлчаш учун хизмат қилувчи мувозанатли автоматик электрон кўприк схемаси 7.32- расмда кўрсатилган.

Автоматик потенциометрлардаги каби, ўлчаш кўприкларида ҳам кузатиш системаси бор. Мазкур система ўлчаш система-



7.32- расм.

сидаги кўприкни узлуксиз мувозанатлаш учун хизмат қилади. Кўприк иккита (ab — ўлчаш ва cd — манба) диагоналдан ва тўртта елкадан иборат. Иккита елканинг қаршилиги R_2 ва R_3 ўзгармас, қолган иккитасиники эса ўзгарувчан

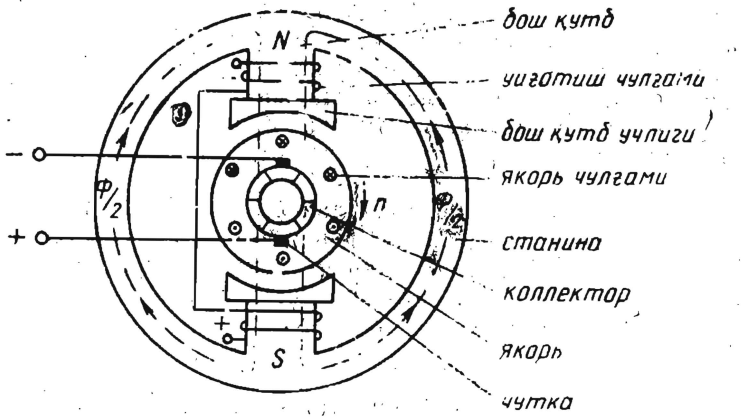
Температуранинг ўзгариши билан термоқаршилик қаршилиги R_t ўзгариши кўприкни мувозанат ҳолатидан чиқаради. Бунда кўприкнинг ўлчаш диагоналида сигнал, яъни номувозанат кучланиши пайдо бўлади. Бу сигнал кучланиш ва қувват кучайтиргичи *2* ва реверсив двигатель *3* нинг бошқариш чулғамидан ўтиб, двигателни ишга туширади ва у реохорд *1* дастасини кўприк мувозанатга келгунча суради. Бу вақтда карега *4* ҳам сурилгани учун ўлчанаётган температурани тўғридан-тўғри шкаладан ёки диаграмма лентасидан олиш мумкин.

8-БОБ ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАЛАРИ

УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Ўзгармас ток машиналари ўзгарувчан ток машиналаридан олдин (дастлаб ўзгармас ток двигатели, сўнгра ўзгармас ток генератори) яратилган. Ўзгармас ток машиналари қайтувчанлик хусусиятига эга бўлиб, двигатель ва генератор режимларида ишлай олади. Уларнинг тузилиши ҳам бир хил. Генератор режимида бирламчи двигателнинг (асосан, асинхрон двигателнинг, гоҳида ички ёнув двигателининг) механик энергияси электр энергияга, двигатель режимида эса электр энергияси қайта механик энергияга айлантириб берилади.

1838 йили академик Б. С. Якоби ўзгармас ток двигателини амалда ишлатиб кўрсатди. Ўзгарувчан ток техникаси тараққий эта бориши билан ўзгармас ток машиналарини ишлаб чиқариш ўзгарувчан ток машиналарига нисбатан камая борди. Бунга сабаб ўзгармас ток машиналари конструкциясининг нисбатан мураккаблиги (айниқса коллектор ва чўткаларнинг мавжудлиги) ва қимматлиги бўлди. Шунга қарамасдан, ўзгармас токни электр энергиясидан фойдаланишнинг маълум соҳаларида ўзгарувчан ток билан алмаштириб бўлмаслиги ҳамда у бирмунча афзалликларга эга бўлгани учун шу кунда ҳам ишлатиб келинмоқда. Масалан, электролиз қурилмаларида, аккумуляторларни зарядлашда, автоматикада, тезликни кенг доирада бир текис бошқариш ҳамда катта айланувчан момент талаб этилган жойларда, электр транспортида ва ҳоказоларда ўзгармас токдан фойдаланилади. Саноатда ўзгармас ток генераторлари ва двигателларини кўплаб ишлаб чиқариш йўлга қўйилган. Шунингдек, ўзгарувчан токни ярим ўтказгичли тўғрилагичлар ёрдамида ўзгармас токка айлантириш схемалари ҳам кенг қўлланилмоқда.



8.1- расм.

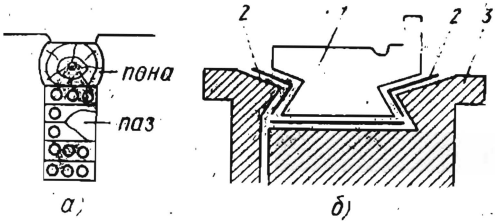
8.1. ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАСИНИНГ ТУЗИЛИШИ ВА ИШЛАШ ПРИНЦИПИ

Ўзгармас ток машинаси, асосан, қўзғалмас қисм — *станина*, қўзғалувчан қисм — *якордан* иборат. Станина йирик машиналар учун пўлатдан, кичик машиналар учун чўяндан қуйиб ясалади ва унга қутбларнинг ўзаклари ўрнатилади (8.1- расм).

Бош қутблар станинанинг ички сиртига ўрнатилган бўлиб, унга *уйғотиш чулғамлари* ўралган. Бош қутб машинанинг асосий магнит майдонини ҳосил қилади. Магнит майдонининг текис тарқалиши учун бош қутбга учлик ўрнатилган.

Якорь цилиндрсимон ўзак бўлиб, ўққа ўрнатилади. Якорь қалинлиги 0,35 — 0,5 мм ли электротехник пўлат пластинкалар тўпламидан тайёрланади. Уюрма токларга бўладиган қувват исрофини камайтириш мақсадида пластинкалар бир-биридан изоляция қилинади. Айланувчан якорнинг чулғамларида ўзгарувчан ЭЮК ҳосил қилиниб, коллектор ва чўткалар ёрдамида генератордан ўзгармас ток олинади.

Якорь чулғами изоляцияланган мис симдан иборат бўлиб, у алоҳида-алоҳида секция қилиниб ясалгандан сўнг якорнинг ўзагидаги пазлар орасига жойлаштирилади. Чулғам якорнинг ўзагидан яхшилаб изоляция қилинади ва махсус ёғоч поналар ёрдамида пазларда маҳкамланади (8.2- расм, *а*). Чулғамнинг учлари коллектор пластинкаларига бириктирилади.



8.2- расм.

Коллектор цилиндр шаклида бўлиб, мисдан ясалган алоҳида-алоҳида пластинкалардан иборатдир. Унинг тузилиши 8.2-расм, *б* да кўрсатилган. Пластинкалар бир-биридан ва корпусдан миканит манжета воситасида изоляцияланади. Корпусдаги тутқичга ўрнатилган чўткалар ёрдамида коллектордан ток олинади. Чўткалар кўмир, графит, мис ёки бронзадан ясалади.

Машинанинг якори бирламчи двигатель ёрдамида ўзгармас тезлик билан айлантирилганда (генератор режими) унинг чулғам ўрамларини бош магнит куч чизиқлари кесиб ўтиши натижасида, электромагнит индукцияси қонунига биноан, ЭЮК индукцияланади, яъни

$$E = c \cdot n \cdot \Phi, \qquad (8.1)$$

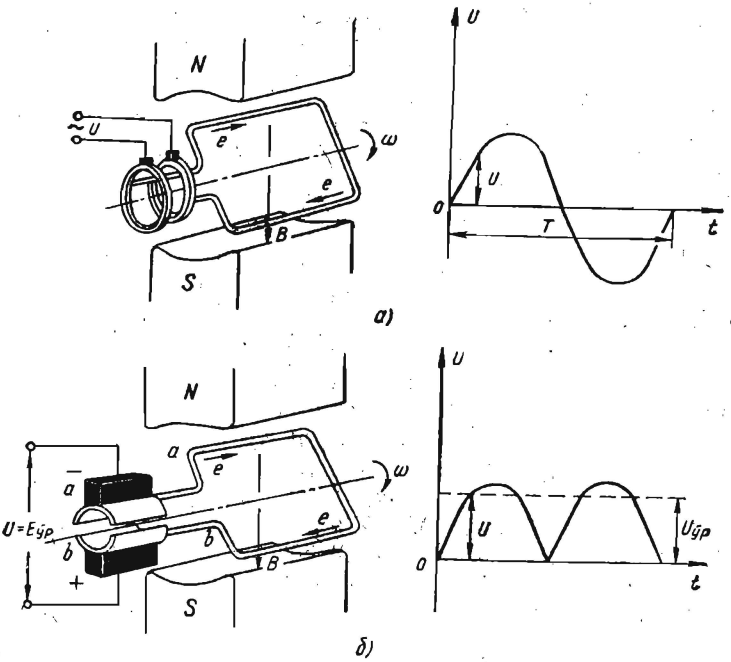
бу ерда c — ўзгармас коэффициент; n — якорнинг айланиш тезлиги, айл/мин; Φ — бош қутбларнинг магнит оқими, Вб.

Индукцияланган ЭЮК нинг йўналишини „ўнг қўл" қоидасига кўра аниқлаш мумкин. Якорда ЭЮК индукцияланиш ҳодисаси ўзгармас ток машинасининг двигатель режимида ҳам содир бўлади. Бироқ бунда генераторда индукцияланган ЭЮК токни генераторга уланган ташқи занжирда ҳосил қилади. Двигателда эса бу ЭЮК унга берилган кучланишга тескари йўналгандир.

8.2. ЎЗГАРМАС ТОК ҲОСИЛ ҚИЛИШДА КОЛЛЕКТОРНИНГ АҲАМИЯТИ

Ўзгармас ток ҳосил бўлиш жараёнини тушуниш учун аввал 8.3-расм, *а* га, сўнгра 8.3-расм, *б* га мурожаат қилайлик. 8.3-расм, *а*да рамка шаклидаги ўтказгич магнит майдонида айланганда унда қандай электр ҳодисалари рўй беришини кўриб чиқайлик. Рамканинг *а* ва *б* ўтказгичларя (яъни стерженлари) иккита ҳалқага бириктирилган бўлиб, *а* ўтказгич N қутбнинг, *б* ўтказгич S қутбнинг таъсирида турибди. Рамканинг айланиши мобайнида *а* ўтказгич S қутбнинг, *б* ўтказгич эса N қутбнинг таъсирига ўтади. Демак, ўтказгич қайси қутб таъсирида бўлса, у бириктирилган рамка ва чўтка ҳам шу қутб таъсирида бўлар экан. Расмдан кўриниб турибдики, рамка айланганда унда ҳосил бўлган ЭЮК синусоидал ўзгарувчандир. Ҳар бир рамка ўз ҳалқаси билан электр боғланганлиги учун ундаги потенциаллар айирмаси, яъни кучланиш ҳам синусоидал қонун бўйича ўзгаради. Бу кучланишнинг ўзгариши 8.3-расм, *а* нинг ўнг томонида кўрсатилган. Шунинг учун бундай ҳолда ташқи занжирдан ўзгарувчан ток ўтади. Демак, бундай схема бўйича ишлайдиган машина ўзгарувчан ток генераторидир.

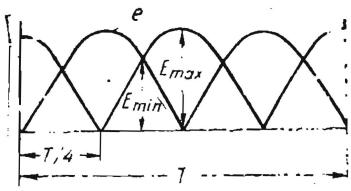
Энди юқоридаги схемани бироз ўзгартириб, рамканинг бошланиш ва охирини бир-биридан изоляция қилинган иккита ярим ҳалқага улаймиз (8.3-расм, *б*) ва машинанинг чўткала-



8.3- расм.

рида потенциаллар айирмасининг ўзгаришини кузатамиз. Рамканинг ярим айланиши давомида ҳар бир ўтказгичида ЭЮК, шунингдек тенг таъсир этувчи ЭЮК ҳам нолдан максимал қийматгача ортади ва яна нолгача камаяди.

Биринчи ярим айланиш давомида қўзғалмас 1-чўтка остида *N* қутб таъсиридаги *а* ўтказгич бириктирилган ярим ҳалқа (яъни якорь) сирпанса, 2-чўтка остида эса *S* қутб таъсиридаги *б* ўтказгич бириктирилган ярим ҳалқа сирпанади. Иккинчи ярим айланиш давомида эса *а* ўтказгич *N* қутбнинг таъсиридан чиқиб, *S* қутбнинг таъсирига кира бошлайди. *б* ўтказгич эса *S* қутбнинг таъсиридан чиқиб, *N* қутбнинг таъсирига кира бошлайди. Демак, 1-чўтка остида доимо *N* қутбнинг, 2-чўтка остида эса *S* қутбнинг таъсиридаги потенциаллар бўлар экан. Шунга кўра, ЭЮК нинг йўналиши ҳамда ташқи занжирдаги кучланишнинг йўналиши ўзгармайди. Бундай кучланишнинг ўзгариш характери 8.3- расм, *б* нинг ўнг томонида кўрсатилган. Бунда ташқи занжирдаги токнинг йўналиши ўзгармас бўлади. Аммо у қиймат жиҳатдан пульсланувчидир. Агар ярим ҳалқалар ва рамкалар сонини (яъни машинанинг коллектор пластинкалари ва якорь чулғамидаги ўрамлар сонини) икки баравар кўпайтирсак, якорнинг ҳалқаси бўйлаб бир-биридан 90° га сурилган, кетма-кет уланган иккита ўрам (ёки рамка) ҳосил бўлади. Бундай сурилиш натижасида ўрам-



8.4- расм.

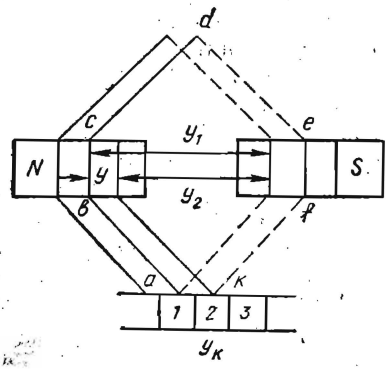
ларда ҳосил бўлган ЭЮК ҳам фаза жиҳатдан чорак даврга сурилган бўлади.

Ҳар бир параллел ўрамдаги тенг таъсир этувчи ЭЮК айрим ўрамларда ҳосил бўлган ЭЮК оний қийматларининг йиғиндисига тенг. Бундаги кучланишнинг ўзгариш характери 8.4- расмда кўрсатилган. Эгри чизиқдан кўринадики, машинанинг чулғамидаги ўрамлар сони ва коллектор пластинкаларининг сони ортганда кучланишнинг пульсланиши қисман камаяр экан. Демак, чулғамнинг ўрамлар сонини ва коллектор пластинкаларининг сонини кўпайтириш йўли билан кучланишнинг пульсланишини камайтириш ва унинг доимий характерга эга бўлишини таъминлаш мумкин.

Демак, ўзгармас ток генератори аслида ўзгарувчан ток машинаси бўлиб, ундаги ўзгарувчан ЭЮК кейинчалик коллектор ёрдамида тўғриланиб, ташқи занжирга ўзгармас ток берилар экан. Бунда коллектор механик тўғрилагич вазифасини бажаради.

8.3. ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАСИНИНГ ЧУЛҒАМЛАРИ

Дастлабки ўзгармас ток машиналарининг якори ҳалқа шаклида бўлиб, унга ҳалқасимон чулғам жойлаштирилган эди. Ҳалқасимон якорлар бир қанча камчиликларга эга бўлгани учун (чулғамни ташкил қилган ўтказгич узунлигининг ярмидан кўпи ЭЮК ҳосил қилишда қатнашмай, якорь ташқарисидаги симларнинг ўзаро уланиши учун хизмат қилади) кейинчалик барабан туридаги якорлар билан алмаштирилди. Барабан туридаги якорларда чулғамни андазалар ёрдамида тайёрлаб, очиқ пазларга жойлаштириш мумкин. Чулғам бир қанча ўтказгичлардан иборат бўлиб, улар бирлаштирилганда ёпиқ занжир ҳосил бўлади ва уларда ҳосил бўладиган ЭЮК лар қўшилади.



8.5- расм.

Уланишига қараб сиртмоқли ёки параллел, тўлқинсимон ёки кетма-кет чулғамлар бўлади.

Сиртмоқли чулғамда (8.5-расм) шимолий N қутб остида бўлган биринчи ўтказгичнинг охири жанубий S қутб остида бўлган иккинчи ўтказгичнинг охирига уланади. Ик-

кинчи ўтказгичнинг боши (жанубий қутб остида бўлган) шимолий қутб остида бўлган учинчи ўтказгичнинг бошига уланади. Шу тартибда уланган барча ўтказгичлар сиртмоқ ҳосил қилиб, жойлаштирилади.

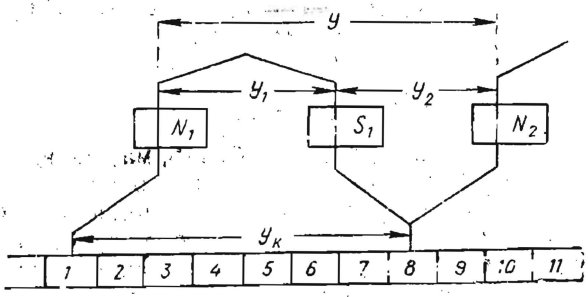
Якорь чулғамининг асосий элементи секциядир. Секция — чулғаминиг схемаси "*abcdefk*" бўйлаб бир-бири билан кетма-кет келувчи иккита коллектор пластинкалари орасидаги чулғамнинг бир қисмидир. Ҳар бир секциянинг иккита актив томони бор бўлиб, якорь пазларининг ичига жойлаштирилгандир. Секциянинг актив томонлари якорнинг чеккасида ўзаро бирикади. Секция битта ёки бир нечта ўрамлардан иборат бўлиши мумкин. Демак, чулғам бир ёки икки қаватли бўлиши мумкин. Асосан, икки қаватли чулғам ишлатилади.

Секциянинг актив томони битта ўтказгичдан иборат бўлса, бундай чулғам стерженли чулғам дейилади. Агар секциянинг актив томони бир нечта ўтказгичдан иборат бўлса, бундай чулғам ғалтакли чулғам дейилади.

Чулғам секцияси чулғам одими билан характерланади. Чулғамнинг биринчи одими „y_1" элементар пазлар сони билан ифодаланган бўлиб, ўша секциянинг биринчи ва иккинчи актив томонлари ўртасидаги оралиқ масофани ифодалайди. Чулғамнинг иккинчи одими „y_2" элементар пазлар сони билан ифодаланган бўлиб, иккинчи актив секция билан биринчи актив секциядан кейин чулғам схемаси бўйлаб кетган секция ўртасидаги оралиқ масофадир. Якунловчи одим „y" элементар пазлар сони билан ўлчанаб, чулғам схемаси бўйлаб кетма-кет келадиган икки секциянинг актив томонлари ўртасидаги оралиқ масофадир.

$$y = y_1 - y_2.$$

Тўлқинсимон чулғамда N_1 шимолий қутб остида бўлган биринчи ўтказгичнинг охири жанубий қутб S_1 остида бўлган иккинчи ўтказгичнинг охири билан бириктирилади (8.6-расм). Жанубий қутб S_1 остида бўлган иккинчи ўтказгичнинг боши шимолий қутч остида бўлган учинчи ўтказгичнинг боши билан бириктирилади ва ҳоказо. Шундай усулда бирлаштирил-



8.6- расм.

ган барча ўтказгичлар якорь айланаси бўйлаб тўлқин шаклида жойлашади. Тўлқинсимон чулғамда якунловчи одим $y = y_1 + y_2$ га тенг.

Коллекторнинг бўйлама одими коллектор пластинкалари орасидаги масофани кўрсатиб, $y_к$ билан белгиланади. Умуман, $y_к = y$ бўлади.

8.4. ЯКОРДА ИНДУКЦИЯЛАНГАН ЭЮК

Ўзгармас ток машинасининг якори айланганида унинг чулғам ўрамлари қутбларнинг магнит куч чизиқларини кесиб ўтиши натижасида электромагнит индукцияси қонунига кўра унда ЭЮК индукцияланади. Якорь чулғамида индукцияланган ЭЮК формуласини чиқариш учун 8.1-расмга мурожаат қилайлик. Расмда икки қутбли машинанинг магнит системаси кўрсатилган.

Агар бир қутбнинг магнит оқимини Φ, қутблар жуфтининг сонини p, якорнинг диаметрини d ва узунлигини l деб белгиласак, у ҳолда якорь юзасига тўғри келган ўртача магнит индукция

$$B_{ўр} = \frac{\Phi p}{\pi \cdot d \cdot l}.$$

Якорь n [айл/мин] тезлик билан айланаётганда якорь чулғамининг ҳар бир стерженида индукцияланган ЭЮК нинг ўртача қиймати:

$$E_{ўр} = B_{ўр} l v = \frac{\Phi p}{\pi d l} \cdot l \cdot \frac{\pi d n}{60} = p\Phi \frac{n}{60}.$$

Генераторнинг электр юритувчи кучи якорь чулғамининг битта параллел тармоғидаги тенг таъсир этувчи ЭЮК га тенг.

Агар якорь чулғамидаги умумий стерженлар сонини N деб, параллел тармоқлар сонини a орқали белгиласак, якорда индукцияланган ЭЮК:

$$E = E_{ўр} \frac{N}{a} = \frac{N}{a} \cdot p\Phi \frac{n}{60} = \frac{PN}{60a} \cdot n \cdot \Phi = c \cdot n \cdot \Phi.$$

ёки

$$E = c \cdot n \cdot \Phi,$$

бу ерда: c — ўзгармас коэффициент бўлиб, машинанинг конструкциясига боғлиқ катталикларни ўз ичига олади.

Демак, p, N, a ларнинг қиймати ўзгармасдир. Φ нинг қийматини эса уйғотиш чулғамидаги токни бошқариш йўли билан ўзгартириш мумкин. Бинобарин, машинанинг электр юритувчи кучи магнит оқим билан якорнинг айланиш тезлигига пропорционалдир.

8.5. ТОРМОЗЛОВЧИ ВА АЙЛАНТИРУВЧИ МОМЕНТЛАР

Ўзгармас ток машинасидаги генераторнинг тормозловчи моменти ва двигателнинг айлантирувчи моменти Ампер қонунига асосан жуда қулай топилади.

Якорь чулғами параллел тармоқдан ташкил топганлиги учун якорь токи улар орасида бўлинади. Демак, якорнинг ҳар бир ўтказгичидан $I = \frac{I_я}{2a}$ ток ўтади.

Ўтказгичдаги ток билан магнит майдонининг ўзаро таъсиридан электромагнит куч ҳосил бўлади:

$$F = BIl = B\frac{I_я l}{2a}.$$

Бу куч магнит индукцияси B га нисбатан ўтказгичнинг қутб остидаги ҳолатига қараб ўзгаради.

Агар биз битта қутб остидаги индукциянинг ўртача қийматини олсак:

$$F_{ўр.} = B_{ўр} \cdot l\frac{I_я}{a}.$$

Бу кучга тўғри келадиган момент:

$$M_{ўр} = F_{ўр} \cdot D,$$

бу ерда D—якорнинг диаметри.

Якорнинг бутун N симларида ҳосил бўлган момент, албатта, катта бўлади:

$$M = M_{ўр} \cdot N = B_{ўр} lD\frac{I_я}{2a}N.$$

Якорь битта қутбининг магнит оқими кесиб ўтаётган юза $S = \frac{\pi Dl}{2p}$ га тенгдир. Шу юзанинг ўртача индукцияга кўпайтмаси бир қутбнинг магнит оқимини беради:

$$\Phi = B_{ўр}\frac{\pi Dl}{2p};\ B_{ўр} lD = \frac{2\Phi p}{\pi}.$$

Бу қийматни момент формуласига қўйсак:

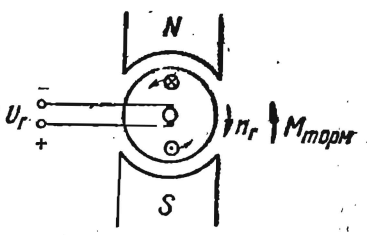
$$M = \frac{2\Phi p}{\pi}\frac{I_я}{2a}N = \frac{1}{\pi}\cdot\frac{p}{2a}N\Phi I_я.$$

У ҳолда

$$M = k_м \cdot \Phi \cdot I_я,$$

бу ерда $k_м$—берилган машина учун ўзгармас қиймат.

Бу момент генераторда тормозлаш вазифасини бажарса, двигателда айлантириш вазифа-



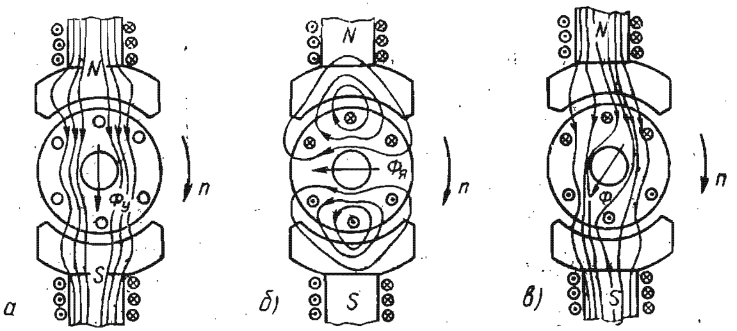
8.7- расм.

сини бажаради (8.7-расм). Генераторнинг якорини айлантирадиган бирламчи двигатель ана шу тормозловчи моментни енгиши керак.

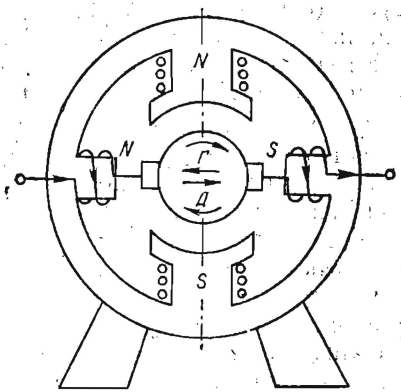
8.6. ЯКОРЬ РЕАКЦИЯСИ

Генератор салт ишлаганда бош қутб ҳосил қиладиган асосий магнит оқими Φ мавжуд бўлади (8.8 расм, *а*). Унга нагрузка уланганда якорь ўтказгичларидан ток ўтиб, якорнинг магнит майдони машинанинг бош қутблари ҳосил килган асосий магнит оқимига таъсир кўрсатади ва унинг йўналишини ўзгартиради (8.8-расм, *б*). Расмдан якорь токи ҳосил қилган магнит майдонининг йўналиши асосий магнит оқимининг йўналиши билан мос бўлган жойларда умумий магнит майдоннинг кучайганлигини, йўналиши қарама-қарши бўлган жойларда эса кучсизланганлигини кўриш мумкин. Баъзи жойларда эса якорь токининг магнит майдони асосий магнит майдонга тик йўналган. Умуман, якорь магнит майдонининг асосий магнит майдонига таъсир этиб, унинг йўналишини ўзгартириш ҳодисаси *якорь реакцияси* дейилади. Якорь реакцияси натижасида машинанинг асосий магнит оқими деформацияланади (8.8-расм, *в*). Демак, қутбларнинг бир томонида магниг чизиқларининг зичлиги ортса, иккинчи томонида камаяди.

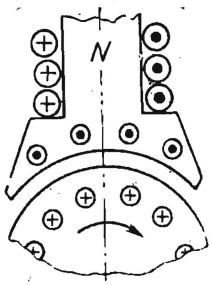
Якорнинг ўрамлари қутб остидаги магнит куч чизиқлари кўп жойдан (ёки якорь реакцияси натижасида магнит индукцияси кучайган ердан) ўтганда индукцияланган ЭЮК қиймати бирмунча кўпаяди. Бу ортиқча ЭЮК пластиналар орасида учқун ҳосил қилиб, коллектор бўйлаб олов пайдо бўлишига сабаб бўлади. Бу эса машинанинг нормал ишлашини бузади, нагрузка ортганда генераторнинг ЭЮК ини камайтириб, генераторнинг учларидаги кучланишнинг қўшимча пасайишига олиб келади. Якорь реакциясининг таъсири асосий қутблар орасидаги геометрик нейтрал чизиққа қўшимча қутблар ўрнатиш йўли билан камайтирилади (8.9-расм). Бу чулғам якорнинг чулғами билан кетма-кет уланади. Мазкур чулғам шундай



8.8-расм.



8.9- расм.



8.10- расм.

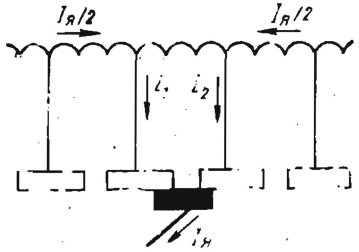
ўраладики, бунда унинг магнит майдони якорнинг магнит майдонига қарама-қарши йўналади.

150 кВт дан юқори қувватли машиналарда якорнинг бутун айланаси бўйлаб якорь реакциясини камайтириш мақсадида бош қутб учликларига компенсацияловчи чулғам ўрнатилади (8.10- расм). Бу чулғам якорь чулғами ва қўшимча қутбнинг чулғами билан кетма-кет уланади. Компенсацияловчи чулғамнинг магнит майдони якорнинг магнит майдонига қарама-қарши бўлиб, бош қутб учлиги зонасида якорь реакциясини компенсациялаш учун хизмат қилади. Кичик қувватли машиналарда эса қўшимча қутб ўрнига чўткаларни геометрик нейтрал чизиғидан суриб қўйиш усули қўлланилади. Натижада чўткаларнинг якорь реакциясининг таъсиридан учқунланиши бирмунча камаяди.

8.7. ЯКОРЬ КОММУТАЦИЯСИ

Ўзгармас ток машинаси ишлаганда чўтка билан коллектор ўртасида учқун пайдо бўлади. Кучли учқун машинанинг нормал ишлашига халақит беради. Учқун чиқишига механик камчиликлар (коллектор юзасининг нотекислиги, чўтка босимининг бўшлиги, коллекторнинг ифлосланганлиги ва чўтка билан коллектор орасидаги уринишнинг бузилишига олиб келадиган бошқа камчиликлар) сабаб бўлади. Натижада коллектор куйиб, емирилади. Учқун ҳосил бўлиши коллектор пластинкаларининг чўтка остидан ўтиш тезлигига боғлиқ.

Якорь айланганида коллектор пластинкалари чўткага навбатма-навбат тегиб ўтади. Жуда қисқа вақт ичида чўтка коллекторнинг бир пластинкасидан иккинчи пластинкасига ўтиши натижасида секциядаги ток $+\frac{I_я}{2}$ дан $-\frac{I_я}{2}$ гача ўзгариши



8.11- расм.

керак (8.11- расм). Секциядаги токнинг жуда тез ўзгариши (0,001÷0,003 с) натижасида ўзиндукция ЭЮК (e_L) пайдо бўлади. Якорнинг тезлиги орта борган сари бу қиймат кўпая бориб, чўтка билан коллекторнинг навбатдаги пластинкаси ва чиқиб кетаётган пластинкаси орасида учқун ҳосил бўлади.

Чўтка билан туташган якорь чулғами секцияларидаги ток йўналишининг ўзгариши билан боғлиқ бўлган ҳодисалар мажмуига ***коммутация*** дейилади. Секциянинг коммутацияланиш вақтига ***коммутация даври*** (T) дейилади. Чўтка қанчалик кенг бўлиб, машина шунчалик секин айланса, T нинг қиймати орта боради:

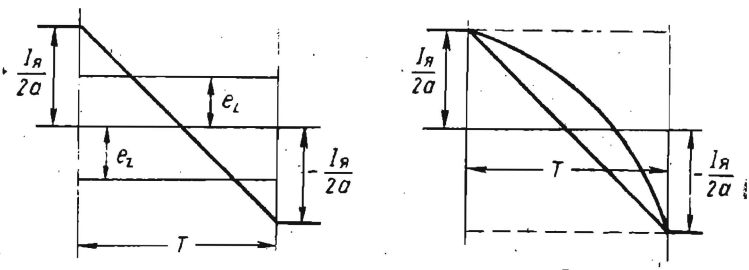
$$T = \frac{b_r}{v_k},$$

бу ерда b_r — чўтканинг эни; v_k — коллекторнинг айланма тезлиги.

Яхши коммутация фақат, коммутацияланувчи секциядаги токнинг ўзгариш жараёни, коллектор пластинкалари билан чўтка ўртасидаги ўткинчи қаршилик орқали аниқланиши мумкин. Бу қаршилик ***коммутация қаршилиги*** дейилади. Бу ҳодиса якорь бирмунча секин айланганда содир бўлади.

Ўзиндукция ЭЮК e_L ни компенсация қилиш учун қўшимча қутблар ҳосил қилган коммутацияловчи ЭЮК $e_к$ дан фойдаланилади. Бу қутбнинг чулғами якорга кетма-кет уланади.

Соф коммутация $e_L + e_к = 0$ бўлганда, яъни $e_к$ e_L ни тўла компенсация қилганда содир бўлади. Коммутацияланувчи секциядаги ток $+\frac{I_я}{2}$ дан $-\frac{I_я}{2}$ гача (8.12- расм, $а$) ўзгаргани учун коммутация чизиқли ҳисобланади. Агар коммутация даврида



8.12- расм.

$e_L > e_к$ бўлса, ўзиндукция ЭЮК e_L токнинг ўзгаришини секинлаштиради. Шунинг учун коммутация даври ортиб, у секинлашган коммутация ҳисобланади (8.12- расм, *б*).

Коммутациянинг яхши кечиши (учқуннинг кам бўлиши) учун:

1. Чўтка ва коллекторнинг ҳолатини доимо кузатиб туриш керак.

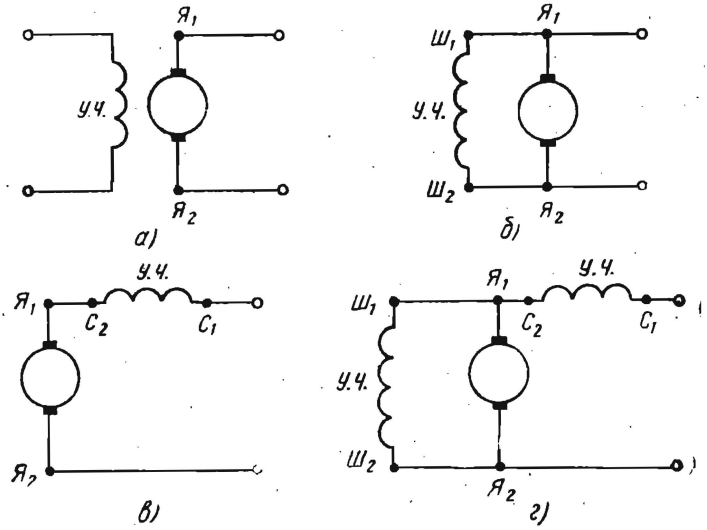
2. Қуввати 1 кВт дан юқори бўлган ўзгармас ток машиналарига қўшимча қутблар ўрнатиш керак.

3. Ана шундай ҳодисани кичик қувватли машиналарда ҳам ҳосил қилиш учун чўткани физик нейтрал ҳолатидан генераторларда якорнинг айланиш йўналиши бўйича, двигателда эса тескарисига буриш керак.

8.8. МАГНИТ МАЙДОНИНИ УЙҒОТИШ УСУЛИГА КЎРА ЎЗГАРМАС ТОК ГЕНЕРАТОРЛАРИНИ ТАСНИФЛАШ

Ўзгармас ток генераторларининг хусусиятлари уларнинг уйғотиш схемасига қараб, яъни ток бош қутбнинг уйғотиш чулғамларига қандай юборилишига қараб турлича бўлади.

Ўзгармас ток генераторлари магнит майдонини уйғотиш усулига қараб, мустақил уйғотишли ва ўз-ўзидан уйғотишли бўлади. Мустақил уйғотишли генераторларнинг уйғотиш чулғамларига юбориладиган ток ташқи манба (аккумулятор батареяси ёки бошқа генератор) дан олинади (8.13- расм, *а*). Ўз-ўзидан уйғотишли генераторларнинг уйғотиш чулғамларига юбориладиган ток бевосита генераторнинг ўзида (якоридан) олинади Ўз-ўзидан уйғотишли генераторлар уч хил бўлади:



8.13- расм.

а) параллел уйғотишли ёки шунт уйғотишли генераторлар;
б) кетма-кет уйғотишли ёки сериес генераторлар;
в) аралаш уйғотишли ёки компаунд генераторлар.

Параллел уйғотишли генераторларда уйғотиш чулғами якорь чулғамига параллел қилиб уланади (8.13-расм, *б*). Кетма-кет уйғотишли генераторларда эса уйғотиш чулғами якорь чулғамига кетма-кет уланади (8.13-расм, *в*). Аралаш уйғотишли генераторларнинг уйғотиш чулғами иккита бўлади. Улардан бири якорь чулғамига параллел, иккинчиси эса ташқи якорь шохобчасига кетма-кет қилиб уланади (8.13-расм, *г*). Агар ушбу генераторнинг параллел чулғамидан ўтувчи озгина ток ҳисобга олинмаса, кетма-кет уйғотиш чулғамини ҳам якорь чулғамига кетма-кет уланган, деб ҳисобласа бўлади.

8.9. УЗГАРМАС ТОК ГЕНЕРАТОРЛАРИНИНГ ЎЗ-ЎЗИДАН УЙҒОТИЛИШИ

Ўзгармас ток генераторларининг ўз-ўзидан уйғотиш занжирида ишлатиладиган қуввати жуда кичик (якорда истеъмол қилинадиган қувватнинг $3 \div 5\%$ қисмини ташкил қилади). Уйғотиш занжирини таъминлаш учун алоҳида мустақил манба ишлатиш жуда ноқулай. Шунинг учун амалда уйғотиш чулғамини якордан олинган ток билан таъминлайдиган ўз-ўзидан уйғотиш генераторлари кўпроқ ишлатилади.

Параллел уйғотишли генераторда уйғотиш чулғами ростлаш қаршилиги орқали якорга параллел қилиб уланади. Параллел уйғотишли генераторнинг схемаси 8.14-расмда кўрсатилган. Бундай генераторнинг якори қисмаларидаги кучланиш

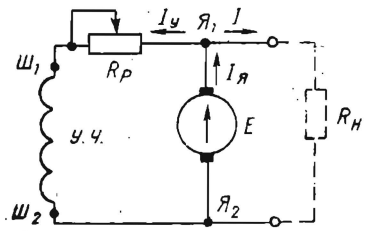
$$U_я = E - I_я R_я = U, \qquad (8.3)$$

бу ерда $I_я R_я$ — якорь қаршилигидаги кучланишнинг пасайиши.

8.14-расмда кўрсатилганидек, якорь ҳам ташқи электр шохобчасини, ҳам уйғотиш занжирини ток билан таъминлайди, яъни

$$I_я = I + I_у. \qquad (8.4)$$

Генератор нормал ишлаганида унинг уйғотиш чулғамидан ўтадиган токнинг миқдори:



8.14-расм.

$$I_у = \frac{U_у}{R_у + R_р} = \frac{U_я}{R_у + R_р}, \qquad (8.5)$$

бу ерда $U_у$ — уйғотиш кучланиши (у якорь қисмаларидаги кучланишга тенг); $R_у$ — уйғотиш чулғамининг қаршилиги; $R_р$ — ростлаш реостатининг қаршилиги.

Нагрузка бўлмаганида, яъни $I = 0$ да

$$I_я = I_у.$$

Уйғотиш токи якорнинг номинал токига нисбатан жуда оз бўлганлиги учун якорь кучланишининг пасайишини эътиборга олмаса ҳам бўлади, яъни $U_я \approx E = cn\Phi$ бўлади. Бунда

$$\Phi = \frac{I_у w_у}{R_м}. \qquad (8.6)$$

Якорнинг айланиш тезлиги ўзгармас бўлганида якорь қисмаларидаги кучланиш уйғотиш токигагина боғлиқ бўлади, яъни

$$U_я = E = f(I_у). \qquad (*)$$

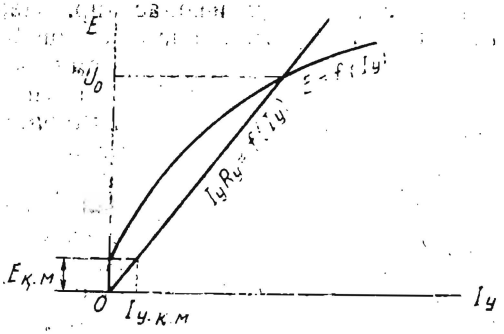
(8.7) ифодага мувофиқ уйғотиш токини ҳосил қилиш учун якорь қисмаларида кучланиш бўлиши керак. (*) ифодага кўра якорь қисмаларида кучланиш ҳосил қилиш учун уйғотиш токи бўлиши керак.

Дастлаб якорь бирламчи двигатель воситасида айлантирила бошлаганда уйғотиш токи ва уйғотиш токини ҳосил қилувчи якорь қисмаларида ҳеч қандай кучланиш бўлмайди. Шундай бўлса, машинада кучланиш ва ток қандай ҳосил бўлади? Бундай генераторда ЭЮК пайдо бўлиши ўз-ўзидан уйғотиш принципига асосланган.

Генератор ишлаши ёки ўз-ўзидан уйғониши учун унинг магнит системаси (қутблар ва станина) да қолдиқ магнетизм $\Phi_{қ.м}$ бўлиши шарт. Машинада бундай қолдиқ магнетизм дастлаб заводнинг ўзида ташқи ток манбаи ёрдамида вужудга келтирилади. Қолдиқ магнетизм $\Phi_{қ.м}$ якорь чулғамларида бироз бўлса ҳам ЭЮК $E_{қ.м}$ ни индукциялайди (8.15-расм). Шу ЭЮК уйғотиш чулғамларида $I_{у.қ.м}$ токини ҳосил қилади.

$$I_{у.қ.м} = \frac{E_{қ.м}}{R_я + R_у + R_р} = \frac{E_{қ.м}}{r_у + R_р}, \qquad (8.7)$$

бунда якорнинг қаршилиги эътиборга олинмайди, чунки у уйғотиш чулғамининг қаршилигига қараганда анча кичик бўлади. $I_{у.қ.м}$ уйғотиш токи магнит майдонини ҳосил қилади. Ушбу магнит майдони қолдиқ магнетизмнинг магнит майдони томон йўналган. Агар улар бир томонга йўналмаса, генератор ўз-ўзидан уйғонмайди ва ишлай олмайди. Бунда генератор якорини тескари томонга айлантириш ёки уйғотиш занжиридаги токнинг йўналишини ўзгартиришга тўғри келади. Бунинг учун уйғотиш занжирининг якорь



8.15-расм.

чулғамларига уланган учларини алмаштириш керак.

Уйғотиш токини ҳосил қилувчи магнит майдони қолдиқ магнетизмнинг магнит майдони томон йўналган бўлса, жами магнит майдони ва индукцияланувчи ЭЮК ошa боради. ЭЮК орта борган сари уйғотиш токи ҳам кучая боради. Бу жараён уйғотиш занжиридаги кучланиш индукцияланувчи ЭЮК ни мувозанатлагунга қадар давом этади (8.15- расмдаги a нуқта). Аммо, магнит тўйиниши туфайли кучланишнинг ўсиш жараёни чекланган бўлади.

8.10. ПАРАЛЛЕЛ УЙҒОТИШЛИ ЎЗГАРМАС ТОК ГЕНЕРАТОРИНИНГ ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

Электр машиналарининг хоссаларини уларнинг характеристикалари ёрдамида осон тушуниш мумкин. Бу характеристикалар машинага оид барча катталиклар ўзгармай туриб, фақат икки асосий параметр ўзгарганда улар орасидаги боғланишни ифода этувчи эгри чизиқдан иборат. Амалда генератор учун якорнинг айланишлар частотаси ўзгармас, якорь учидаги кучланиш, якорь токи ва уйғотиш токи эса ўзгарувчан катталиклар ҳисобланади. Параллел уйғотишли ўзгармас ток генераторини текширганда унинг учта асосий характеристикаси олинади.

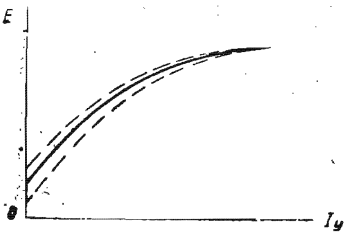
1. Салт ишлаш характеристикаси. Ушбу характеристика якорь қисмаларидаги кучланишнинг (якорнинг ташқи занжири очиқ бўлганда) уйғотиш токига қандай боғлиқ бўлишини кўрсатади. Бунда $I_я = 0$ ва $n = \text{const}$ бўлади. Салт ишлаш характеристикасининг аналитик ифодаси

$$U = f(I_у); \quad I_я = 0; \quad n = \text{const}.$$

$I_я = 0$ бўлганда $U = E$ бўлади, бинобарин $E = f(I_у)$ бўлади. $n = \text{const}$ бўлганлиги учун $E = cn\Phi$ формуласини $E = K\Phi$ кўринишида, $E = f(I_у)$ аналитик ифодани

$$\Phi = f(I_у w_у) \text{ ёки } B = f(H)$$

кўринишида ёзиш мумкин. Бу эса магнитланиш характеристикасининг аналитик ифодасидир. Параллел уйғотишли ўзгармас ток генераторининг салт ишлаш характеристикаси 8.16-расмда кўрсатилган.



8.16- расм.

Шундай қилиб, салт ишлаш характеристикасининг эгри чизиғи машина магнит занжири айрим элементларининг магнит хоссалари билан белгиланади. Уйғотиш токи кўпайганида ЭЮК ортади. ЭЮК максимал қийматга эришганидан сўнг уйғотиш токи аста-секин камайтира борилса, уйғотиш токининг аввалги қийматларига тўғри кел-

ганда ҳосил бўладиган ЭЮК аввалгидан ортиқроқ бўлади. Машина қутб ва корпусларидаги қолдиқ магнетизм шунга сабаб бўлади.

Одатда, назарий салт ишлаш характеристикаси ишлатилади. Бу характеристика ҳақиқий характеристиканинг юқори ва пастки тармоқлари ўртасидан ўтган эгри чизиқдир (8.16-расмда узлуксиз чизиқ билан кўрсатилган).

Салт ишлаш характеристикаси уч қисмдан иборат. Биринчи қисм характеристиканинг тўғри чизиқли бошланғич қисмидир. Бу қисмда машина ҳали магнит жиҳатдан тўйинмаган бўлиб, магнит индукцияси анча кам бўлади. Иккинчи қисм характеристиканинг эгри чизиқли қисми бўлиб, „тирсак" деб аталади. Бу қисмда машина магнит тўйиниш арафасида бўлади. Учинчи қисм характеристиканинг ётиқ ва тўғри чизиқли қисмлари бўлиб, бунда машина тўйинган, яъни уйғотиш токининг ортиши янги магнит куч чизиқларини ҳосил қилмайди.

Номинал кучланишнинг иш қисми, албатта, характеристиканинг эгри чизиқли (тирсак) қисмида бўлиши керак, чунки бу ҳолда кучланишини ростлаш қулайроқ.

Ташқи характеристика. Уйғотиш занжирининг қаршилиги ва айланиш тезлиги ўзгармас бўлганида генератор якори қисмаларидаги кучланишнинг нагрузка токи билан қандай боғланганлигини кўрсатувчи эгри чизиқ ташқи характеристика бўлади:

$$U = f(I_я), \quad R_у = \text{const}, \quad n = \text{const}.$$

Параллел уйғотишли генераторнинг ташқи характеристикасини олишда уйғотиш занжирининг қаршилиги $R_у = \text{const}$ бўлади. Нагрузка токи I ортганда якордаги ток $I_я$ ҳам ортади. Бу эса якордаги кучланиш пасайиши ($I_я R_я$) ҳамда якорь реакцияси туфайли якорь қисмаларидаги кучланишнинг пасайишига сабаб бўлади. Демак, уйғотиш токи

$$I_у = \frac{U}{R_у} \tag{8.8}$$

камаяди. Бу эса магнит оқими

$$\Phi = \frac{I_у w_у}{R_м} \tag{8.9}$$

нинг ҳамда индукцияланувчи ЭЮК

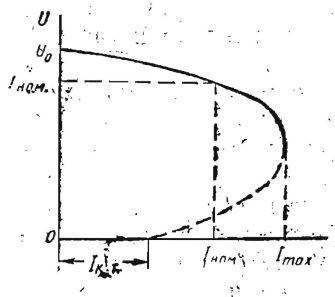
$$E = c\Phi n$$

ва якорь қисмаларидаги кучланиш

$$U = E - I_я R_я$$

нинг камайишига сабаб бўлади.

Шундай қилиб, параллел уйғотишли генератор кучланишининг пасайишига таъсир кўрсатувчи сабаблар қуйидагилардан иборат:



8.17- расм.

1. Кучланиш $I_я R_я$ нинг якорь қаршилигида пасайиши.

2. Якорь реакцияси.

3. Уйғотиш токининг камайиши.

Параллел уйғотишли генераторда нисбий кучланишнинг пасаюви:

$$\Delta U\% = \frac{U_0 - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\%. \quad (8.10)$$

Ўртача қувватли қўшимча қутбли машиналарда $\Delta U\% = 8 \div 15$ бўлади.

Характеристикадан кўринишича, параллел уйғотишли генераторни фақат аниқ бир чегарагача (I_{max} гача) юклаш мумкин. Ушбу ток *критик ток* деб аталади (8.17- расм, *d* нуқта). Токни бу даражагача кучайтириш мумкин эмаслигининг сабаби шуки, ток орта борса, кучланиш пасайишининг нагрузка токи I ни камайтириш таъсири ташқи қаршилик R таъсирига қараганда кўпроқ бўлади; ташқи қаршиликнинг камайиши нагрузка токи I ни кучайтиради:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_0 - \Delta U}{R}. \quad (8.11)$$

Ташқи қаршилик нолга тенг бўлганида I токи қисқа туташув токи $I_{к.т.}$ бўлади. Характеристикадан кўринишича, қисқа туташув токи унча кўп эмас. Бу токни қолдиқ магнетизм оқими индуктивлаган ЭЮК ҳосил қилади.

Ростлаш характеристикаси генератор қисмаларидаги кучланиш ва якорнинг айланиш тезлиги ўзгармас бўлганида уйғотиш токининг нагрузка токи билан қандай боғланганлигини кўрсатувчи эгри чизиқдир:

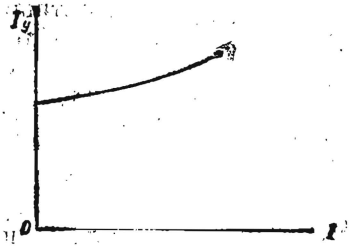
$$U_г = \text{const ва } n = \text{const бўлганда } I_у = f(I_я).$$

Электр энергияси истеъмолчилари (электр двигателлар, лампалар ва б.) нинг яхши ишлаши учун манбадан олинадиган кучланиш нагрузка ўзгаришига боғлиқ бўлмай номинал қийматга тенг бўлиши керак.

Шунтли генераторларда нагрузка ўзгариши билан кучланишни миқдор жиҳатдан бир хил сақлаш имконияти бор. Бунинг учун уйғотиш занжиридаги ростлаш реостати (8.14- расм) ёрдамида уйғотиш токи $I_у$, шунингдек, магнит оқими Φ ва ЭЮК E ўзгартирилиб, кучланишни $U = \text{const}$ тарзда ушлаб турилади. Барча генераторлар кучланиш ростлагичи билан жиҳозланади.

Демак, ростлаш характеристикаси (8.18- расм) турли нагрузкаларда генераторнинг қисмаларидаги кучланишни бир хил (ўзгармас) қилиб ушлаб туриш учун уйғотиш токини қанча ўзгартириш кераклигини курсатади.

Ўзгармас ток генератори саноат қурилмаларининг (электролиз ва гальваник қурилмалар) паст кучланишли ўзгармас ток истеъмол қиладиган манбалари ҳисобланади. Ундан синхрон генераторнинг уйғоткичи сифатида ҳам фойдаланилади. Айниқса, махсус ўзгармас ток генераторлари (пайвандлашда, поездларни ёритиш учун ишлатиладиган генераторлар, ўзгармас ток кучайтиргичлари, аккумуляторларни зарядлаш учун генераторлар) кенг тарқалган.



8.18- расм.

8.11. КЕТМА-КЕТ УЙҒОТИШЛИ ГЕНЕРАТОР

Кетма-кет уйғотишли генераторда магнит оқими ҳосил қилиш учун нагрузка токидан фойдаланиш мумкин, бунинг учун генераторнинг уйғотиш чулғами якорь билан ўзаро кетма-кет уланади (8.19-расм). Бундай генераторда якорь токи билан уйғотиш токи қиймат жиҳатдан нагрузка токига тенг бўлади, яъни:

$$I_я = I_y = I.$$

Демак, генераторни фақат нагрузка бўлган ҳолдагина уйғотиш мумкин. Шунинг учун бундай генераторларнинг салт ишлаш характеристикасини олиб бўлмайди. Генераторда нагрузка бўлмаганда $I_y = I = 0$ бўлади, генератор қисмаларидаги кучланиш фақат қолдиқ магнетизм ҳисобига ҳосил бўлади. Агар генераторнинг салт ишлаш характеристикасини олиш талаб этилса, унинг уйғотиш чулғамига ташқаридан (алоҳида манбадан) ток юборилади.

Генератор қисмаларидаги кучланиш якорда индукцияланган ЭЮК дан якорь ва уйғотиш чулғамларидан кучланишнинг пасайиши миқдорича кичик бўлади:

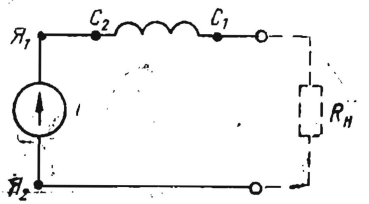
$$U = E - I_я(R_я + R_y) \qquad (8.12)$$

бунда

$$E = c\Phi n;$$

$$\Phi = \frac{I_y w_y}{K_м}.$$

Кучланишнинг нагрузкага қараб ўзгариши ферромагнит материалларнинг магнитланиш қонунига яқин бўлади, чунки магнит оқими Φ нинг уйғотиш токи I_y га қараб ўзгариши магнитланиш характеристикаси $B = f(H)$ дан иборат.



8.19- расм.

Нагрузка токи ортиши билан магнит оқими кўпаяди, кучланиш ортади. Аммо ток катта бўлса, тўйиниш ҳодисаси туфайли магнит оқими деярли кўпаймайди. Якорь ва уйғотиш чулғамларида кучланишнинг пасайиши ортади, шунингдек, якорь реакцияси ҳам кучаяди. Натижада машина қисмаларидаги кучланиш пасая бошлайди.

Электр энергиясининг одатдаги истеъмолчилари учун бундай характеристика тўғри келмайди, чунки улар кучланишнинг ўзгармас бўлишини талаб этади. Шунинг учун ўзгармас ток олишда бундай генератор ишлатилмайди. У фақат махсус схемаларда вольт қўшувчи машиналар тарзида қўлланилади.

Кетма-кет уйғотишли генераторлар учун ростлаш характеристикаси олинмайди.

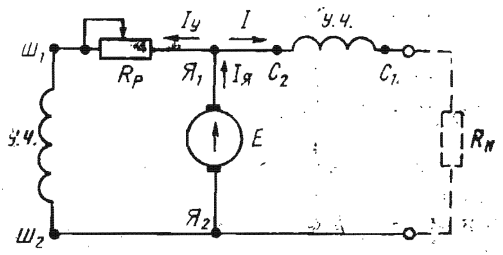
8.12. АРАЛАШ УЙҒОТИШЛИ ГЕНЕРАТОР

Аралаш уйғотишли генераторда иккита уйғотувчи чулғам бўлиб, уларнинг асосий чулғам деб аталгани якорга параллел, ёрдамчи чулғам деб аталган иккинчиси эса ташқи занжирга кетма-кет уланади (8.20-расм). Чулғамлар мослаб уланганда кетма-кет уланган ёрдамчи чулғам асосий чулғамнинг магнит майдонини кучайтиради, яъни уларнинг магнит майдонлари ўзаро қўшилади ($\Phi = \Phi_ш + \Phi_c$). Чулғамлар қарама-қарши уланганда кетма-кет уланган ёрдамчи чулғам асосий чулғамнинг магнит майдонини сусайтиради, яъни уларнинг магнит майдонлари бир-биридан айирилади ($\Phi = \Phi_ш - \Phi_c$). Одатдаги шароитда ўзгармас ток олиш учун чулғамлар мослаб уланади. Чулғамларни қарама-қарши улаш жуда кам ишлатилади, масалан, электр пайвандлаш машиналарида қўлланилади.

Энди аралаш уйғотишли генераторнинг асосий характеристикаларини қараб чиқамиз.

Салт ишлаш характеристикаси. Нагрузка бўлмаганда кетма-кет уланган чулғамдан ток ўтмайди ва у параллел уйғотишли машинадан фарқ қилмайди. Бинобарин, мазкур ҳол учун бу машиналарнинг салт ишлаш характеристикалари параллел уйғотишли машиналар характеристикаларининг айнан ўзидир.

Ташқи характеристика параллел уйғотиш занжирининг қаршилиги ва якорнинг айланиш тезлиги ўзгармас бўлганида генератор қисмаларидаги кучланишнинг нагрузка токига қандай боғланишини кўрсатувчи эгри чизиқдир:



8.20-расм.

$U = f(I)$; $R_{пар.\,у} =$ const; $n =$ const.

Нагрузка токини кўпайтирганда якорь токи ортади, бунда якорь занжиридаги кучланиш кўпроқ пасаяди, у

$$I_я R_я + I R_{у.кк},$$

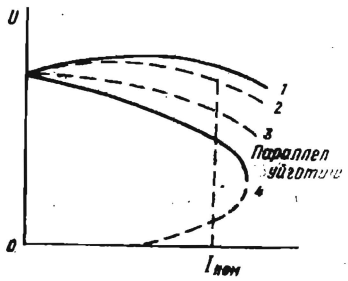
га тенг бўлади. Шунингдек, ЭЮК ни камайтирувчи якорь реакциясининг магнитсизланиш таъсири кўпаяди. Бу эса генератор қисмаларидаги кучланишни камайтиради:

$$U = E - I_я R_я - I R_у.$$

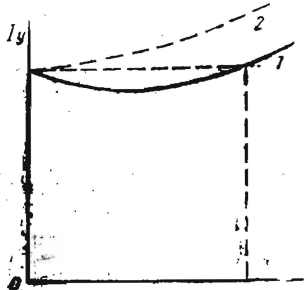
Аммо шу билан бирга тенг таъсир этувчи магнит оқими кўпаяди, чунки кетма-кет уйғотиш чулғамидан ўтган нагрузка токи қўшимча магнит юритувчи куч ҳосил қилади. Бу эса генератор қисмаларидаги кучланишни кўтаради. Кетма-кет уланган чулғамнинг ўрамлар сонига қараб кучланиш кўпроқ ёки озроқ кўтарилади (8.21-расм). Одатда, ўрамлар сони кучланиш деярли ўзгармайдиган қилиб ҳисобланади (8.21-расм, 2-эгри чизиқ). Бу шарт кетма-кет уйғотиш чулғами ҳосил қилган қўшимча магнит юритувчи куч якорь занжиридаги кучланишнинг пасайиши ва якорь реакциясининг магнитсизлаш таъсирини компенсация қилганида бажарилади.

Машинанинг магнит тўйиниши туфайли бундай компенсация тўла бўлмайди. Аммо нагрузка ўзгарганда аралаш уйғотишли генератор қисмаларидаги кучланишнинг ўзгариши (1 ва 2-эгри чизиқ) параллел уйғотишли генератордагидан (3-эгри чизиқ) анча оз бўлади. Уйғотиш чулғамлари қарама-қарши уланганда нагрузка ўзгариши билан генератор қисмаларидаги кучланиш жуда тез пасаяди, чунки кетма-кет чулғамдан ўтган ток магнит майдонини кучсизлантиради (8.21-расм, 4-эгри чизиқ). Генератор тез-тез қисқа туташув шароитига дуч келганда шундай характеристика зарурдир.

Ростлаш характеристикаси. Генератор қисмаларидаги кучланишни ўзгармайдиган қилиб сақлаш учун параллел уйғотишли генератордаги ЭЮК ни ўзгартириш лозим. Бу параллел уйғотиш чулғамидаги токни ўзгартириш йўли билан бажарилади. Кучланиш ўзгармай туриши учун уйғотиш токини қандай ўзгартириш лозимлигини кўрсатувчи эгри чизиқ ростлаш характеристикаси деб аталади:



8.21-расм.



8.22-расм.

$$U = \text{const}; \quad n = \text{const}; \quad I_y = f(I).$$

Нагрузка ўзгарганда параллел уйғотишли генераторгагига қараганда аралаш уйғотишли генераторда кучланиш камроқ пасайганлиги учун аралаш уйғотишли генераторларда уйғотиш токи камроқ ўзгартирилади (8.22-расм).

8.13. ЎЗГАРМАС ТОК ДВИГАТЕЛЛАРИ

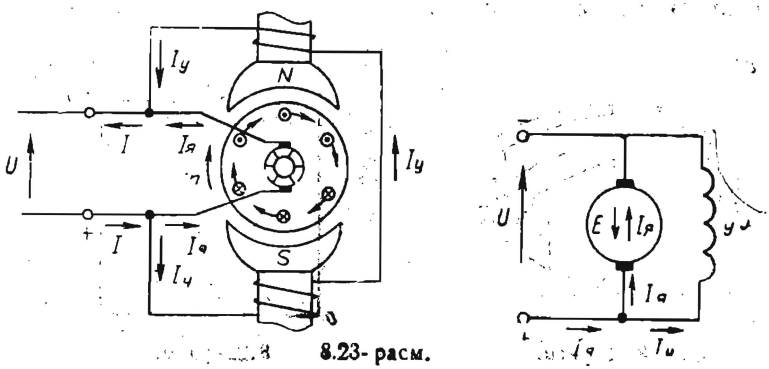
Ўзгармас ток электр машиналари бошқа электр машиналари каби қайтувчанлик хусусиятига эга бўлиб, ҳам генератор, ҳам двигатель режимларида ишлай олади. Шунинг учун двигателнинг тузилиши ўзгармас ток генераторининг тузилишидан фарқ қилмайди. Генераторга ўхшаб двигателлар ҳам уйғотиш чулғамининг якорга уланиш схемаси бўйича фарқланади. Ўзгармас ток двигателлари айланиш тезлигининг кенг доирада бошқарилиши ва махсус механик характеристикаларни олиш мумкинлиги туфайли кенг қўлланади. Булар прокат станларида, транспортда, кемаларда эшкак винтларни ҳаракатга келтириш учун ишлатиладиган ўзгармас ток двигателларидир.

Ягона П серияли ўзгармас ток двигателларининг қуввати 0,2 дан 6800 кВт гача бўлиб, айланиш тезлиги 24 дан 3000 айл/мин гача бўлган диапазонни ташкил этади.

Двигатель режими. Ўзгармас ток машинаси двигатель режимида ишлаши учун уйғотиш токини шундай камайтириш керакки, натижада якорда индукцияланаётган ЭЮК тармоқ кучланишидан кам бўлсин. Тармоқ кучланиши ортиқ бўлгани учун якордаги токнинг йўналиши тескарисига ўзгаради. Берилган кучланиш таъсирида уйғотиш чулғамидан ток ўта бошлайди, аммо унинг йўналиши ўзгармайди (8.23-расм).

Якорь чулғамларидан ўтаётган ток I_a билан уйғотиш чулғамининг магнит оқими Φ нинг ўзаро таъсиридан электромагнит куч F ҳосил бўлади, унинг йўналиши чап қўл қоидасига кўра аниқланади. Мазкур куч айлантирувчи моментни юзага келтиради:

$$M = k\Phi I_a.$$



8.23-расм.

Натижада якорь айлана бошлайди. Электромагнит момент M валнинг қаршилик моменти $M_к$ ни енгади ва электр машина двигатель режимида ишлай бошлайди.

Якорь айланганда чулғамдаги ўрамлар магнит куч чизиқларини кесиб ўтади ва уларда ЭЮК $E=c\Phi n$ индукцияланади. Ўнг қўл қоидасидан фойдаланиб, ҳар бир ўрамда индукцияланган бу ЭЮК нинг ундан ўтаётган токка тескари йўналганлигига ишонч ҳосил қилиш мумкин.

Демак, якорь чулғамида индукцияланган ЭЮК унга берилган ташқи кучланишга қарама-қарши йўналган. Шунинг учун бу ЭЮК *тескари ЭЮК* ($E_т$) номини олган.

Кучланиш U ва $E_т$ нинг қарама-қарши йўналганлигини ҳисобга олиб, якорь занжиридаги ток учун қуйидаги ифодани ёзиш мумкин:

$$I_я = \frac{U - E_т}{R_я} = \frac{U - c\Phi n}{R_я}$$

ёки

$$U = E + I_я R_я.$$

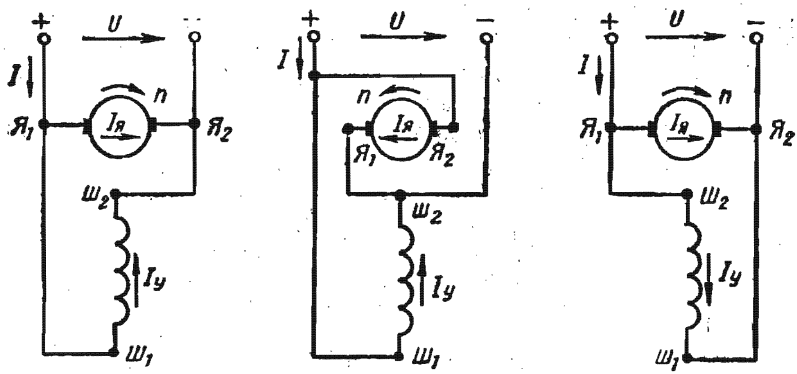
Двигатель қисмаларига берилган кучланиш U тескари ЭЮК ни ва кучланишнинг якорь чулғамининг қаршилиги $R_я$ даги пасаювини компенсация қилади. Двигатель нормал ишлаганда $I_я R_я$ нинг қиймати нисбатан кичик ва тескари ЭЮК тармоқ кучланиши U нинг 90—95% ни ташкил этади.

Параллел уйғотишли двигателнинг тармоқдан истеъмол қилаётган токи якорь ва уйғотиш чулғамларидан ўтаётган токларнинг йиғиндисига тенг, яъни $I = I_я + I_у$.

Двигателни ишга тушириш. Ўзгармас ток двигателининг якоридаги ток

$$I_я = \frac{U - E_т}{R_я} = \frac{U - c\Phi n}{R_я}$$

формула билан ифодаланган эди. Агар двигателни кучланиши U ўлган тармоққа уласак, ишга туширишнинг бошланғич лаҳзасида якорь ўзининг тинч ҳолатдаги инерциясини сақлаши ($n=0$) туфайли $E_т=0$ бўлиб, двигателнинг токи якорнинг қаршилиги билан чекланади, яъни $I_{и.т} = I_{қ.т.} = \frac{U}{R_я}$. Бу ток якорнинг қисқа туташиш токи $I_{қ.т}$ ҳам дейилади. У $(18 \div 20)$ $I_{я\ ном}$ га тенг. Якорь чулғамини бундай ўта катта токдан сақлаш мақсадида якорь чулғамига кетма-кет қилиб ишга тушириш реостати $R_{и.т}$ уланади (8.24-расм). У ҳолда ишга туширишнинг бошланғич лаҳзасида якордаги ток $I_я = U/(R_я + R_{и.т})$. Ишга тушириш вақти қисқа бўлиши учун ишга тушириш токининг жоиз қиймати $I_{и.т} = (1{,}5 \div 2)\ I_{я\ ном}$ бўлиши керак. Шу билан бир вақтда, ишга тушириш моменти $M_{и.т}$ ҳам номинал момент $M_{ном}$ дан 1,5÷2 марта катта бўлади. Двигателнинг айланиш тезлиги орта борган сари тескари ЭЮК $E_т$ нинг ҳам



8.24- расм.

қиймати орта бориб, якордаги ток ва айлантирувчи момент камая боради. Айлантирувчи моментни бир меъёрда ушлаб туриш учун ишга туширш реостатининг қаршилиги бир текис камайтира борилади ва двигатель номинал тезликка эришганда ($R_{и.т} = 0$ да) якорь занжиридан узиб қўйилади. Демак, двигателни ҳар гал тармоқдан ажратганда ишга тушириш реостатини қайта бошланғич ҳолатга келтириб қўйиш керак.

Двигателнинг ўз-ўзидан ростланиш принципи. Двигателнинг ўз-ўзидан ростланиш принципини тушунтириш учун якорь занжиридаги ток формуласига мурожаат қиламиз:

$$I_я = \frac{U - E_т}{R_я} = \frac{U - c\Phi n}{R_я}.$$

Агар қаршилик моменти $M_к$ ортса, двигателнинг айланиш тезлиги n ва тескари ЭЮК $E_т = c\Phi n$ камаяди. Натижада якорь токи $I_я$ ва у билан биргаликда айлантирувчи момент $M = k\Phi I_я$ янги қаршилик моменти билан тенглашгунча ортади. Аксинча, қаршилик моменти $M_к$ камайса, двигателнинг тезлиги ва у билан биргаликда тескари ЭЮК $E_т$ ортади, натижада якорь токи $I_я$ ва айлантирувчи момент M янги қаршилик моменти $M_к$ билан тенглашгунга қадар камаяди. Демак, ўзгармас ток двигатели нагрузка ўзгарганда ташқи таъсирсиз ўз-ўзидан ростланиш хусусиятига эга экан. Бу жараённи қуйидагича ифодалаш ҳам мумкин:

$$\rightarrow M_к\uparrow \rightarrow n\downarrow \rightarrow E_т\downarrow \rightarrow I_я\uparrow \rightarrow M\uparrow \rightarrow$$

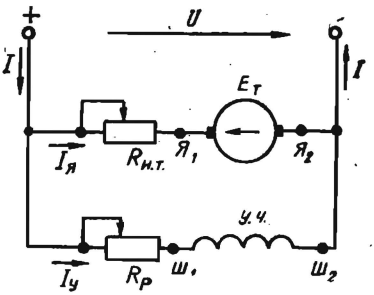
ёки

$$\rightarrow M_к\downarrow \rightarrow n\uparrow \rightarrow E_т\uparrow \rightarrow I_я\downarrow \rightarrow M\downarrow \rightarrow$$

Двигателни реверслаш. Ўзгармас ток двигателининг айланиш йўналишини ўзгартириш (реверслаш) учун якорь ёки уйғотиш занжиридаги токнинг йўналишини тескарисига ўзгарти-

риш керак. Бунинг учун якорнинг $Я_1$ ва $Я_2$ ёки уйғотиш занжирининг $Ш_1$ ва $Ш_2$ учларини двигателни ишга тушириш схемасига биноан ўзаро ўрнини алмаштириш керак.

8.25-расм, *а* да ўзгармас ток двигателининг чулғамларини улашнинг принципиал схемаси (реверслагунга қадар), 8.25-расм, *б* ва *в* ларда эса двигателнинг айланиш йўналишини ўзгартиришнинг схемалари кўрсатилган.



8.25- расм.

Двигателнинг айланиш тезлиги. Двигателнинг якорь токи формуласи $I_я = \frac{U - E_т}{R_я} = \frac{U - c\Phi n}{R_я}$ дан унинг айланиш тезлигини ифодаловчи формула

$$n = \frac{U - I_я R_я}{c\Phi} = \frac{E}{c\Phi} \qquad (8.14)$$

ни олиш мумкин. (8.14) формуладан кўринадики, двигателнинг айланиш тезлиги кучланишга тўғри, магнит оқимига тескари пропорционал. Агар тармоқ кучланишини двигателнинг иш жараёнида ўзгармас деб ҳисобласак, унинг айланиш тезлигини фақат магнит оқими орқали бошқариш мумкин бўлади. Магнит оқими билан уйғотиш токи $I_у$ нинг $\Phi = I_у w_у / R_м$ боғланишини ҳисобга олсак, двигателнинг айланиш тезлиги уйғотиш занжирининг парамегрларига боғлиқ бўлади. Одатда, двигатель учун $W_у$ ва $R_м$ лар ўзгармас бўлгани учун унинг айланиш тезлиги уйғотиш токигагина боғлиқ бўлади.

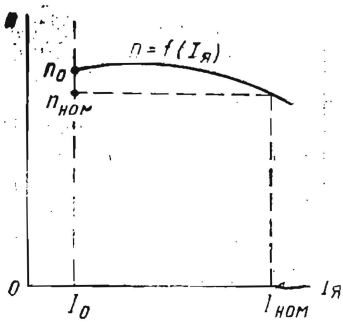
8.14. ПАРАЛЛЕЛ УЙҒОТИШЛИ УЗГАРМАС ТОК ДВИГАТЕЛИНИНГ ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

Параллел уйғотишли ўзгармас ток двигателининг хусусиятларини батафсил билиш учун унинг характеристикалари билан танишиб чиқамиз.

Салт ишлаш характеристикаси двигатель қисмаларидаги кучланиш ўзгармас ва унинг ўқидаги фойдали қувват $P_2 = 0$ бўлганда якорь айланиш тезлигининг уйғотиш токига боғлиқлигини ифодалайди. Буни қуйидагича ифодалаш мумкин: $U = \text{const}$, $P_2 = 0$ бўлганда $n = f(I_у)$

Двигателнинг айланиш тезлиги ва магнит оқими формулаларига мурожаат қиламиз:

$$n = \frac{U - I_я R_я}{c\Phi} = \frac{E}{c\Phi}; \qquad \Phi = \frac{I_у w_у}{R_м}.$$



8.26- расм.

Ушбу ифодалардан кўриниб турибдики, двигателнинг айланиш тезлиги магнит оқими Φ га, у эса ўз навбатида, уйғотиш токи $I_у$ га боғлиқ. Уйғотиш токининг дастлабки қийматларида машинанинг магнит системаси тўйинмаган бўлиб, магнит оқими уйғотиш токига тўғри пропорционалдир.

Агар уйғотиш токи кучли бўлса, машинанинг магнит системаси тўйинган бўлади ва уйғотиш токининг бундан кейинги ортиши магнит оқимини янада камайтиради. Магнит тўйиниши туфайли $n = f(I_у)$ кучли уйғотиш токларида абсцисса ўқига деярли параллел ҳолда бўлади. $n = f(I_у)$ гиперболик характерга эга. Двигателнинг салт ишлаш характеристикаси 8.26-расмда кўрсатилган.

Характеристикадан кўриниб турибдики, двигателнинг тезлигини кенг доирада бошқариш мумкин. Бу режимда уйғотиш занжирининг ишончлилигига алоҳида эътибор бериш керак. Чунки двигатель ишлаётганда уйғотиш занжирида узилиш содир бўлса, $I_у = 0$ ва у билан боғлиқ магнит оқими Φ ва тескари ЭЮК $E_т$ ҳам нолга тенглашиб, двигатель учун хавфли бўлган ўта катта айлантирувчи момент юзага келади.

Ташқи (юкланиш) характеристикаси уйғотиш токи (аниқроғи $R_р$ = const) ва кучланиш ўзгармас бўлганда, двигатель айланиш тезлигининг якорь токига боғлиқлигини кўрсатувчи эгри чизиқдир. Бинобарин, $I_у$ = const ($R_р$ = const), $U = U_{ном}$ = = const бўлганда $n = f(I_я)$.

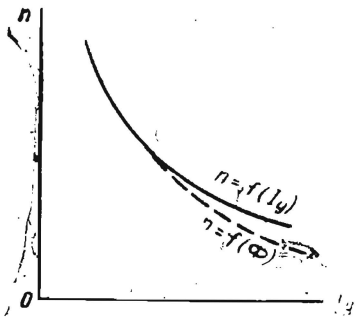
Юкланиш ўзгарганда якорнинг айланиш тезлиги қандай ўзгаришини кўриш учун двигателнинг айланиш тезлигини ифодаловчи формулага мурожаат қиламиз:

$$n = \frac{U - I_я R_я}{c\Phi}.$$

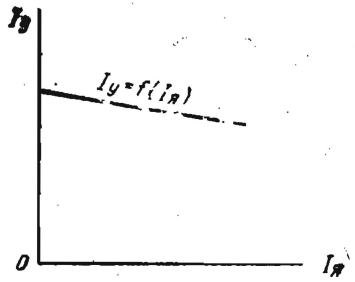
Ушбу ифодадан кўринадики, юкланиш ортиши билан якордаги кучланишнинг пасаюви ($I_я R_я$) ортади. Бу эса якорнинг айланиш тезлигини камайтиради, шунингдек якорь реакциясининг ортишига сабаб бўлади. Натижада тенг таъсир этувчи магнит оқими бироз камайиб, двигателнинг тезлиги ортади. 8.27-расмда двигателнинг ташқи характеристикаси кўрсатилган.

Якордаги кучланишнинг пасаюви якорь реакциясининг магнитсизлаш таъсиридан кучли бўлгани учун двигателнинг айланиш тезлиги бироз камаяди. Айланиш тезлигининг ўзгариши қуйидагича аниқланади:

$$\Delta n\,\% = \frac{n_0 - n_{ном}}{n_{ном}} \cdot 100$$



8.27- расм.



8.28- расм.

бу ерда $n_{ном}$—двигателнинг номинал нагрузка билан айланиш тезлиги; n_0—двигателнинг салт ишлашдаги айланиш тезлиги.

Параллел уйғотишли двигателларда $\Delta n = (2 \div 5)\%$ ни ташкил этади. Нагрузка ўзгарганда айланиш тезлигининг озгина қийматга ўзгариши, параллел уйғотишли двигателнинг ўзига хос хусусияти бўлиб, унинг характеристикаси „қаттиқ“ ҳисобланади.

Ростлаш характеристикаси двигателнинг айланиш тезлиги ва тармоқ кучланиши ўзгармас бўлганда уйғотиш токининг якорь токига боғлиқлигидир, яъни $n = \text{const}$, $U = \text{const}$ бўлганда $I_у = f(I_я)$.

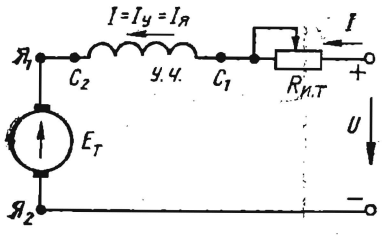
Ушбу характеристика (8.28- расм) двигателнинг салт ишлашидан то номинал нагрузкагача бўлган оралиқда унинг айланиш тезлиги ўзгармас бўлишини таъминлаш учун уйғотиш токини қай даражада ўзгартириш кераклигини кўрсатади. Ҳақиқатан ҳам, нагрузка ортганда двигателнинг айланиш тезлиги камаяди, аммо $n = \text{const}$ шартини бажариш учун магнит оқими Φ ни, яъни уни ҳосил қилувчи уйғотиш токи $I_у$ ни бироз камайтириш керак бўлади.

8.15. КЕТМА-КЕТ УЙҒОТИШЛИ ЎЗГАРМАС ТОК ДВИГАТЕЛИНИНГ ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

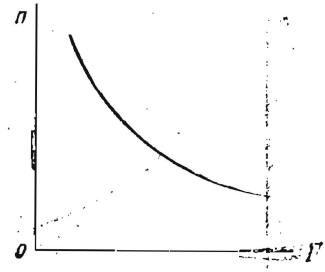
Кетма-кет уйғотишли ўзгармас ток двигателида уйғотиш чулғами билан якорь чулғами ўзаро кетма-кет уланган учун $I_у = I_я = I$ бўлади. Барча ток уйғотиш чулғамидан ўтганлиги учун унинг кесими катта ва ўрамлари сони оз бўлади.

Двигатель салт ишлаганда ёки нагрузка кам бўлганда унинг тармоқдан истеъмол қиладиган токи $I_у$ ва у ҳосил қиладиган магнит оқими Φ кичик бўлади:

$$n = \frac{E}{c\Phi} = \frac{U - I_я(R_я + R_у)}{c\Phi}.$$



8.29- расм.



8.30- расм.

Бунда двигателнинг айланиш тезлиги номиналдагидан 3 — 4 марта ортиқ бўлади. Шунинг учун бундай двигателни юксиз ишлатиш ва ўзгарувчан нагрузкага улаш мумкин эмас.

Кетма-кет уйғотишли двигателнинг электр тармоғига уланиш схемаси 8.29- расмда кўрсатилган.

Уйғотиш токи нагрузка токига тенг $I_у = I_я$ бўлгани учун мазкур двигателнинг салт ишлаш ва ростлаш характеристикаларини олиб бўлмайди. Фақат $U = \text{const}$ бўлганда ташқи характеристикаси $n = f(I_у)$ ни олиш мумкин. Бу боғланиш қуйидаги формула билан ифодаланади:

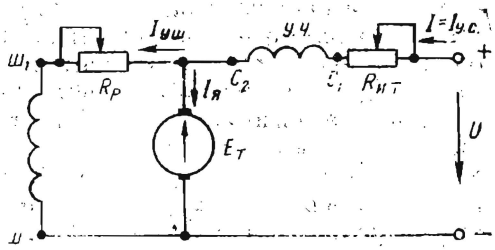
$$n = \frac{U - I_я(R_я + R_у)}{c\Phi}; \quad \Phi = f(I_у) = f(I).$$

Демак, нагрузка токи ортиши билан магнит оқими Φ ортади, тезлик эса камаяди. Бу боғланиш машинанинг магнит системаси тўйинмаган ҳолатда параллел уйғотишли двигателникига ўхшаш бўлиб, гиперболиқдир. Двигателнинг ташқи характеристикаси 8.30- расмда кўрсатилган. Катта нагрузкада машинанинг магнит системаси тўйинган бўлиб, магнит оқими Φ нинг ва айланиш тезлиги n нинг ўзгариши кам бўлганидан характеристика абсциссалар ўқига деярли параллелдир.

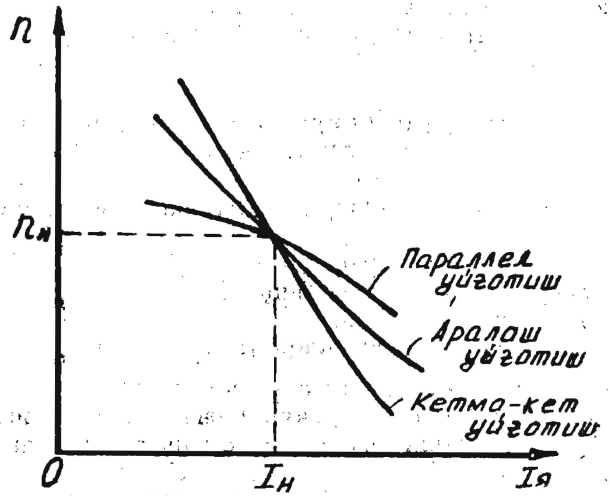
Кетма-кет уйғотишли двигателлар характеристикасининг „юмшоқ"лиги билан ажралиб туради. Бу двигателлар кўпроқ электр транспортида ва кранларда ишлатилади.

8.16. АРАЛАШ УЙҒОТИШЛИ ЎЗГАРМАС ТОК ДВИГАТЕЛИНИНГ ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

Бундай двигателларда иккита уйғотиш чулғами бўлиб, улардан бири якорга кетма-кет уланса, иккинчиси параллел уланади. Мазкур двигателнинг принципиал схемаси 8.31- расмда кўрсатилган. Кетма-кет чулғам параллел чулғам билан мос қилиб уланади, шундагина уларнинг магнит оқимлари қўшилади. Бу ҳолда двигатель параллел ва кетма-кет уйғотишли двигателларнинг „ўртача" хусусиятларига эга бўлади. Уйғотиш чулғамлари қарама-қарши уланганда двигатель ўзгармас



8.31- расм.



8.32- расм.

тезликка эришиши мумкин. Бундаги характеристика „қаттиқ" ҳисобланади.

Салт ишлаш характеристикаси. Нагрузка токи $I=0$ бўлганда, кетма-кет уйғотиш чулғамидан ўтадиган озгина токни ҳисобга олмаса ҳам бўлади. У ҳолда двигатель параллел уйғотишли двигателнинг салт ишлаш характеристикасидан фарқ қилмайди.

Ташқи (юкланиш) характеристикаси кучланиш ва параллел уйғотиш занжиридаги ток $I_{у.ш}$ (аниқроғи, шу занжирдаги ростлаш реостатининг қаршилиги $R_р$) ўзгармас бўлганда двигатель айланиш тезлигининг якорь токига боғлиқлигини ифодаловчи эгри чизиқдир, яъни $I_{у.ш}=\text{const}$, $U=\text{const}$ бўлганда $n=f(I_я)$. Бунда:

$$n=\frac{E}{c\Phi}=\frac{U-I_я(R_я+R_с)}{c(\Phi_ш+\Phi_с)} \qquad (8\ 15)$$

$$\Phi_ш=\frac{I_{у.ш}w_ш}{R_м};\qquad \Phi_с=\frac{I_{у.с}w_с}{R_м},$$

бу ерда $\Phi_ш$ ва $\Phi_с$ — тегишлича параллел (шунтли) ва кетма-кет (сериесли) чулғамнинг ҳосил қилган магнит оқими.

Нагрузка ортганда якорь токи ва кетма-кет уйғотиш чулғамининг токи ($I_{кк.} = I_{у.с}$ ва у билан биргаликда $\Phi_с$ ҳам) ортиб, двигателнинг айланиш тезлиги камаяди. Двигателнинг ташқи характеристикаси 8.32-расмда кўрсатилган.

Ростлаш характеристикаси. Ушбу характеристика двигателнинг айланиш тезлигини ростлаш керак бўлган жойлардагина ишлатилади. Шунинг учун мазкур двигателнинг ростлаш характеристикаси олинмайди.

Аралаш уйғотишли двигателлар электр поездларда, компрессорларда, насосларда, йўниш дастгоҳларида, прокат станларида, умуман катта момент ва тезланиш керак бўлган жойларда ишлатилади.

8.17. ЎЗГАРМАС ТОК ДВИГАТЕЛЛАРИНИНГ НОМИНАЛ КАТТАЛИКЛАРИ ВА ФИК

Бундай двигателнинг номинал катталикларига қуйидагилар киради:

$P_{ном}$ — номинал қувват, кВт;
$U_{ном}$ — номинал кучланиш, В;
$I_{ном}$ — номинал ток, А;
$n_{ном}$ — номинал айланиш тезлиги, айл/мин.

Номинал қувват $P_{ном}$ двигателни ишлаб чиқарган завод томонидан нормал шароитлар учун белгиланади. Двигателнинг ҳақиқий қуввати унинг валидаги қаршилик моменти билан аниқланади.

Двигателнинг қуввати P (кВт), айлантирувчи моменти ($H \cdot м$) ва айланиш тезлиги (айл/мин) ўзаро қуйидагича боғланган:

$$P_м = \frac{M \cdot n}{9550}. \qquad (8.16)$$

Двигатель ишлаганда қуйидаги қувват исрофлари бўлади: якорь чулғамидаги қувват исрофи ($\Delta P_я = I_я^2 R_я$; уйғотиш занжиридаги қувват исрофи ($\Delta P_у = I_у^2 R_у$); магнит майдони ҳосил қилишдаги (пўлатдаги) қувват исрофи ($\Delta P_п$); механик қувват исрофи ($\Delta P_{мех}$)

Двигатель истеъмол қиладиган электр қуввати унинг механик фойдали қуввати P дан қувват исрофлари $\sum \Delta P$ қийматича катта, яъни

$$P_э = P_м + \sum \Delta P = P + \Delta P_я + \Delta P_у + \Delta P_п + \Delta P_{мех}.$$

У ҳолда двигателнинг фойдали иши коэффициенти қуйидагича ифодаланади:

$$\eta = \frac{P_я}{P_э} \cdot 100\% = \frac{P_м}{P + \sum \Delta P} \cdot 100\%.$$

Умуман, ўзгармас ток машинасининг қуввати орт ан сари унинг фойдали иш коэффициенти ҳам ортади. Ўта кичик қувватли машиналарнинг ФИК 30—40% бўлса, катта қувватлилариники 83÷96 атрофидадир.

9-боб. АСИНХРОН МАШИНАЛАР

Асинхрон машина ўзгарувчан ток машинаси бўлиб, унинг ишлаш принципи айланувчан магнит майдони ҳодисасига асосланган дир. Асинхрон машиналар ҳам генератор, ҳам двигатель сифатида ишлатилиши мумкин.

Асинхрон двигателнинг тузилиши оддий, ишлатиш қулай, энергетик ва механик характеристикалари яхши бўлгани учун саноатда ишлатилаётган электр двигателларининг 80 фоизидан кўпроғини асинхрон двигателлар ташкил этади. Бундай катта талабни қондириш учун машинасозлик заводларида ҳар йили ишлаб чиқарилаётган асинхрон двигателларнинг қуввати ваттнинг бир неча улушларидан, бир неча минг киловаттгача, иш кучланиши эса 127 В дан 10 кВ гача бўлади.

Асинхрон двигателлар, бир, икки ва уч фазали қилиб ясалади. Уч фазали асинхрон двигателлар металл кесиш, ёғочни қайта ишлаш дастгоҳларини, кўтарма кранлар, лифтлар, эскалаторлар, вентиляторлар, насослар ва бошқа механизмларни ҳаракатга келтиришда ишлатилади.

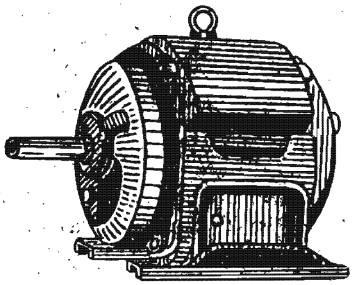
Бир фазали асинхрон двигателларнинг қуввати, одатда 0,5 кВт дан ошмайди. Ундан автоматик бошқариш системаларида, турли асбобларнинг электр юритмаларида, уй-рўзғор машиналарида фойдаланилади. Кичик қувватли асинхрон машиналар валларнинг айланиш тезликларини ўлчашда генератор (тахогенератор) сифатида ҳам ишлатилади.

Асинхрон машиналар частота ўзгартиргич, кучланиш ўзгартиргич ва фаза ўзгартиргич сифатида ҳам кенг қўлланади.

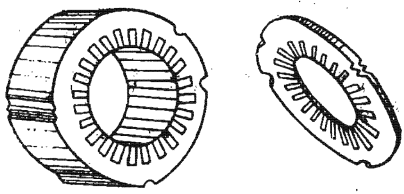
9.1. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ТУЗИЛИШИ

Барча электр машиналари каби асинхрон двигателлар ҳам икки асосий қисм; қўзғалмас қисм статор ва қўзғалувчан (айланувчи) қисм: ротордан иборат.

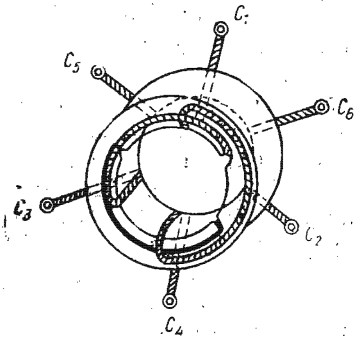
Статор станина, пўлат ўзак ва статорнинг пазларига жойлаштирилган уч фазали чулғамлардан иборат. Станина чўяндан ёки алюминийдан цилиндрсимон шаклда ясалган бўлиб, унинг ичига статорнинг пўлат узаги маҳкамланади. Шунингдек, станина машинани ташқи механик таъсирлардан сақлаш учун ҳам хизмат қилади. Станинада статор чулғамларини электр энергия манбаига улаш учун шу чулғамларнинг учлари чиқарилган „клеммалар қутичаси" бор. Асинхрон двигатель ишлаётганида уни яхшироқ совитиш мақсадида станина қобирғали қилиб ясалади. Чўяндан қуйилган станинали электр



9.1- расм.



9.2- расм.

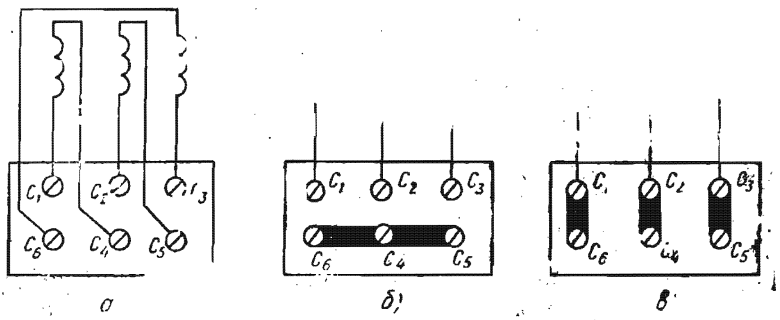


9.3- расм.

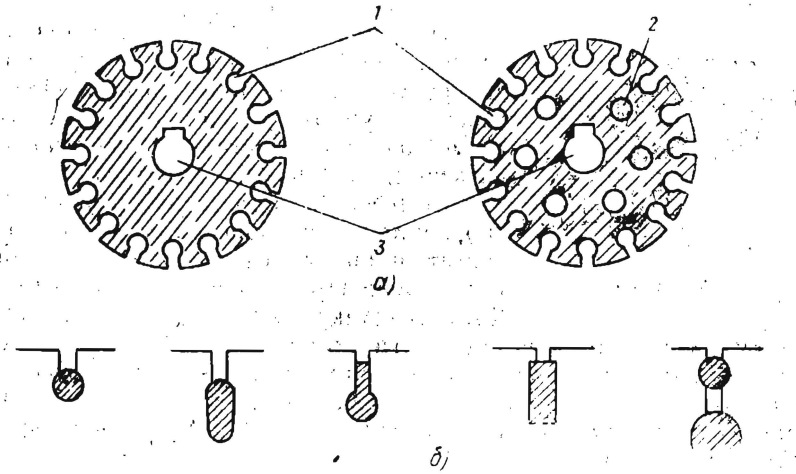
машиналар кўтариш учун мўлжалланган винтли илгакка эга бўлади (9.1- расм).

Статорнинг цилиндрсимон пўлат ўзаги қалинлиги 0,35 ёки 0,5 мм ли, ўзаро махсус ток билан (трансформатор ўзаги каби) изоляцияланган электротехник пўлат пластиналар тўпламидан иборат. Статор пўлат ўзагининг ички сиртида статор узунлиги бўйича кетган пазларга статор чулғамлари жойлаштирилган (9.2- расм).

Статор чулғами изоляцияланган мис симлардан ясалган бўлиб, статор пазларига $2\pi/3$ бурчак остида жойлаштирилади (9.3- расм). Чулғамларнинг бош ва охирги учлари юқорида айтилгандек, „клеммалар қутичасига" чиқарилган бўлади. 9.4- расм, *а — в* да чулғамларнинг ул ниши кўрсатилган. Чулғам учларининг очиқ қолдирилиши уни тармоқ кучланишининг қийматига қараб „юлдуз" ёки „учбурчак" схемада улашга имкон беради.



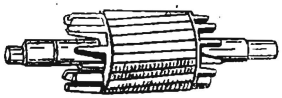
9.4- расм.



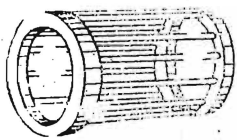
9.5- расм.

Ротор двигателнинг айланиш ўқига маҳкамланган бўлиб, унинг пўлат ўзаги ҳам статорники каби қалинлиги 0,35 ёки 0,5 мм ли электротехник пўлат пластиналар тўпламидан иборат. Пўлат ўзак пластиналарининг устки юзасида пазлар ўйилган бўлиб (9.5- расм, *а* ва *б*), уларнинг конфигурацияси турлича бўлиши мумкин. Пўлат ўзак двигателнинг ўқига маҳкамланади. Пўлат ўзак пластинкаларидаги пазлар ротор ариқчаларини ташкил этиб, унга ротор чулғамлари жойлаштирилади. Асинхрон двигателлар ротор чулғамларининг тузилишига қараб иккига бўлинади, двигателнинг номига эса шу чулғам номи қўшиб айтилади.

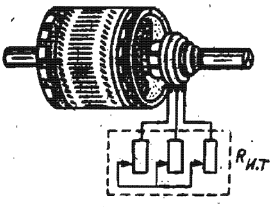
Агар пўлат ўзак ариқчаларига алюминийдан ясалган стерженлар жойлаштирилиб, уларнинг учлари алюминий ҳалқалар билан бириктирилса, бундай ротор *чулғамлари қисқа туташтирилган ротор* дейилади (9.6- расм). Бундай двигатель эса қисқа туташтирилган роторли асинхрон двигатель деб номланади. Иссиқ шароитларда ишлатиладиган двигателларнинг совитилишини яхшилаш мақсадида ротор ўқига шамоллатиш парракчалари ўрнатилади. Қуввати 100 кВт гача бўлган қисқа туташтирилган роторли асинхрон двигателларнинг ротор (чулғамлари) стерженлари алюминийдан қуйиб тайёрланади. Ротор стерженлари (чулғамлари) ўзаксиз ҳолда „олмахон ғилдираги" (9.7- расм) кўринишига эга.



9.6- расм.



9.7- расм.



9.8- расм.

Агар роторнинг пўлат ўзаги ариқчаларига, статор чулғамлари каби, мисдан ясалган уч фазали чулғам жойлаштирилса, бундай ротор фаза чулғамли ротор, бундай двигатель эса фаза роторли асинхрон двигатель деб аталади

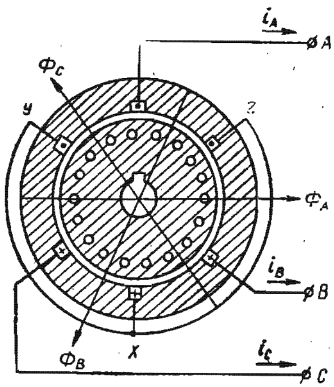
Ротор чулғами „юлдуз" схемада уланиб, чулғамнинг бош учлари асинхрон двигателнинг ўқига маҳкамланган контакт ҳалқалар билан туташтирилади. Контакт ҳалқалар эса графит чўткалар ёрдамида двигателдан ташқарига ўрнатилган уч фазали юргизиш реостати билан бириктирилади (9.8- расм). Юргизиш реостати $R_{юр}$ двигатель ишлаганда ротор чулғамининг қаршилигини ва шу билан биргаликда ротор токини бошқариш учун хизмат қилади.

9.2. УЧ ФАЗАЛИ ТОК СИСТЕМАСИ ЁРДАМИДА АЙЛАНУВЧАН МАГНИТ МАЙДОНИНИНГ ҲОСИЛ БЎЛИШИ

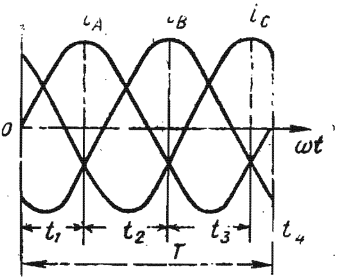
Айланувчан магнит майдоннинг ҳосил бўлишини статорининг пазларига уч фазали чулғам жойлаштирилган асинхрон машинаси мисолида кўриб чиқамиз. 9.9- расмда асинхрон двигателининг уч фазали чулғами якка чулғам сифатида кўрсатилган.

Агар статор чулғами уч фазали кучланиш манбаига уланса, чулғам орқали уч фазали ток ўта бошлайди (9.10- расм):

$$i_A = I_m \sin \omega t;$$
$$i_B = I_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right); \qquad (9.1)$$
$$i_C = I_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right).$$



9.9- расм.



9.10- расм.

Ҳар бир чулғамдан ўтаётган ток вақт бўйича синусоидал қонун бўйича ўзгаруви магнит юритувчи куч (МЮК) F_A, F_B ва F_C ларни ҳосил қилади ($F = I_w$). Уч фазали ток ҳосил қилган умумий МЮК нинг йўналишини ва қийматини аниқлаш учун фаза чулғамларидан ўтаётган токларнинг вақт бўйича ўзгариш графигига (9.10-расм) мурожаат қиламиз. Графикдан кўриниб турибдики, $t = t_1$ лаҳзада A фазасидаги ток $i_A = I_m$ қолган фазаларда эса $i_B = -\frac{I_m}{2}$, $i_C = -\frac{I_m}{2}$ бўлади. Ушбу фаза токлари ҳосил қилган МЮК ларнинг қийматлари: $F_A = F_m$, $F_B = F_C = -\frac{F_m}{2}$.

Фаза чулғамларида ҳосил бўлган МЮК нинг йўналиши ўнг қўл қоидаси бўйича аниқланади. 9.11-расм, *а* да магнит майдонининг $t = t_1$ вақтлаги йўналиши кўрсатилган. Уч фазали ток ҳосил қилган умумий МЮК нинг қиймати ҳар бир фаза токлари ҳосил қилган МЮК ларнинг геометрик йиғиндисига тенг, яъни

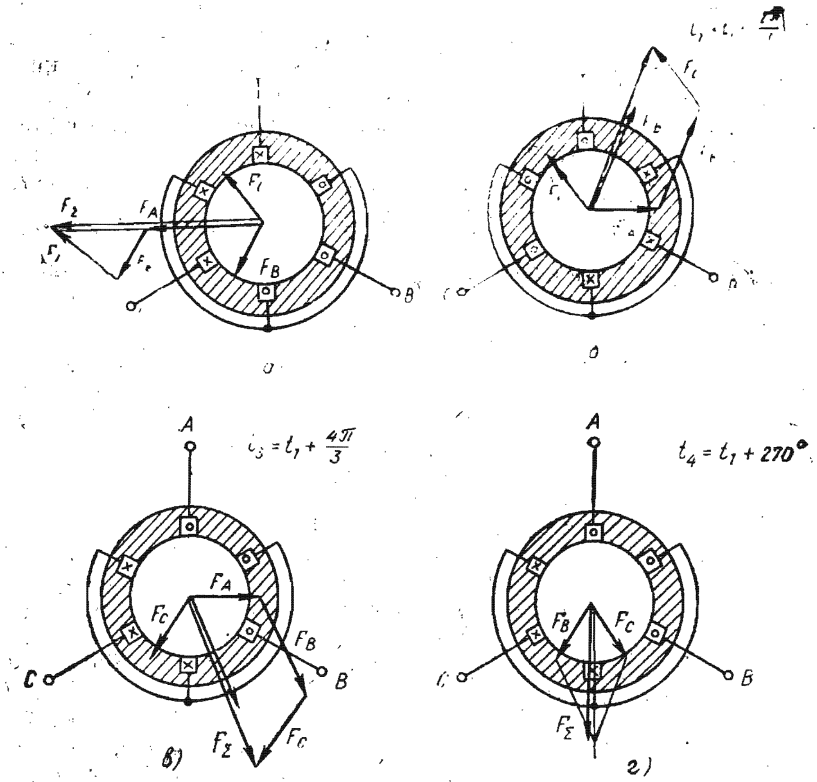
$$\bar{F}_\Sigma = \bar{F}_A + \bar{F}_B + \bar{F}_C = \frac{3}{2}\bar{F}_m.$$

Вақт $T/3$ қиймати ўзгаргандан кейин, яъни $t_2 = t_1 + \frac{2\pi}{3}$ да (9.10-расм) фаза чулғамлари орқали ўтаётган токларнинг қиймати ва йўналиши ўзгариб, $i_A = i_C = -\frac{I_m}{2}$ ва $i_B = I_m$ бўлади. Шу вақтдаги умумий магнит майдони оқимининг йўналиши ва қиймати 9.11-расм, *б* да кўрсатилгандек аниқланади. Бунда $\bar{F}_\Sigma = \bar{F}_A + \bar{F}_B + \bar{F}_C = \frac{3}{2}\bar{F}_m$ бўлиб, унинг йўналиши $B-Y$ чулғам ўқига перпендикуляр эканлигига ишонч ҳосил қилиш мумкин.

9.11-расм, *в* да $t_3 = t_1 + \frac{4\pi}{3}$ лаҳзадаги магнит майдони оқимларининг чулғам атрофида тарқалиши ва умумий магнит майдони оқимининг йўналиши кўрсатилган, бу ҳолда ҳам

$$\bar{F}_\Sigma = \bar{F}_A + \bar{F}_B + \bar{F}_C = \frac{3}{2}\bar{F}_m$$

қийматга эга бўлиб, унинг йўналиши $C-Z$ чулғам ўқига перпендикулярдир. Юқорида келтирилганлардан шуни хулоса қилиб айтиш мумкинки, умумий МЮК вектори доимо ўзгармас қийматга эга бўлгани ҳолда ўзгармас бурчак тезлик билан айланар экан. Вақтнинг $T/3$ га ўзгариши натижасида МЮК вектори 120° га бурилади, яъни МЮК вектори бир давр мобайнида бир марта тўлиқ айланади. Умумий магнит юритувчи кучнинг йўналиши эса ҳар доим токи максимал қийматга эга бўлган фазанинг магнит юритувчи кучи йўналиши билан мос тушади.



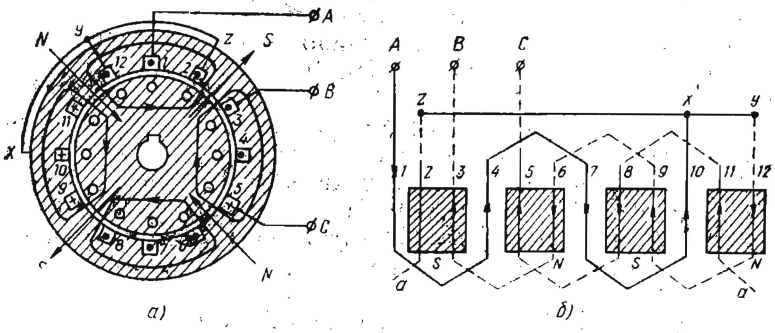
9.11-расм.

Шундай қилиб, айланувчан магнит майдонини ҳосил қилиш учун, биринчидан, чулғамлар фазада ўзаро маълум бир бурчакка силжиган, иккинчидан эса шу чулғамлар орқали ўтаётган токлар ҳам маълум бир фаза силжиш бурчагига эга бўлиши керак.

Юқорида келтирилган шартлардан бирортаси бажарилмаса, айланувчан магнит майдони ҳосил бўлмайди.

Айланувчан магнит майдонининг тезлиги. Маълумки, чулғамлардан уч фазали ток ўтганда бир жуфт қутбли ($p = 1$) магнит майдони ҳосил бўлади. Бундай магнит майдони ўзгарувчан токнинг бир даври манбайнида бир марта тўлиқ айланади. Чулғамлар сонини шундай танлаш мумкинки, бунда жуфт қутблар сони икки, уч ($p = 2, 3 \ldots$) ва ҳоказо бўлиши мумкин.

9.12-расмда икки жуфт қутбли магнит майдони кўрсатилган. Бу ерда чулғамлар сони аввалгига нисбатан икки марта кўп бўлиб, махсус схема бўйича уланган. Агар статорнинг чулғамлари билан биргаликда сиртини ёйиб (9.12-расм, *б*),



9.12- расм.

чулғамларнинг уланиш схемасини ва чулғамлардаги токларнинг йўналишини кўрадиган бўлсак ($t=t_1$ вақт учун), у ҳолда қўшни ҳар уч ўтказгичдаги (яъни 3, 4, 5, 6, 7, 8; 9, 10, 11; 12, 1, 2) токларнинг йўналиши мос тушади ва бу токлар ҳосил қилган магнит майдони тўрт қутбли (ёки икки жуфт қутбли) бўлади (9.10-расм). Бизнинг мисолда бир жуфт қутб статор айланасининг ярмини эгаллаганлиги учун ўзгарувчан токнинг бир даври мобайнида айланувчан магнит майдони статор айланасининг ярмига бурилади. Агар магнит майдони p жуфт қутблар сонига эга бўлса, айланувчан магнит майдони $1/p$ бўлакка бурилади. У ҳолда айланувчан магнит майдонининг бурчак тезлиги $\omega_1 = \frac{2\pi}{Tp}$. Агар $T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$ эканлиги ҳисобга олинса,

$$\omega_1 = \frac{2\pi\omega}{2\pi p} = \frac{\omega}{p}.$$

Агар айланувчан магнит майдонининг бурчак тезлиги ω_1 ни айланиш тезлиги n_1 билан, бурчак частота ω ни эса ўзгарувчан ток частотаси f_1 орқали ифодаласак, қуйидагига эга бўламиз:

$$\frac{2\pi n_1}{60} = \frac{2\pi f_1}{p},$$

бундан

$$n_1 = \frac{60f}{p}.$$

Демак, магнит майдонининг айланиш тезлиги ўзгарувчан ток частотасига ва жуфт қутблар сонига боғлиқ экан. Айланувчан магнит майдонининг йўналишини ўзгартириш (реверслаш) учун фазалар кетма-кетлигининг тартиби ўзгартирилади, яъни статор чулғамларининг манбага уланадиган C_1, C_2, C_3 бош учларидан исталган иккитасининг ўрни алмаштирилади.

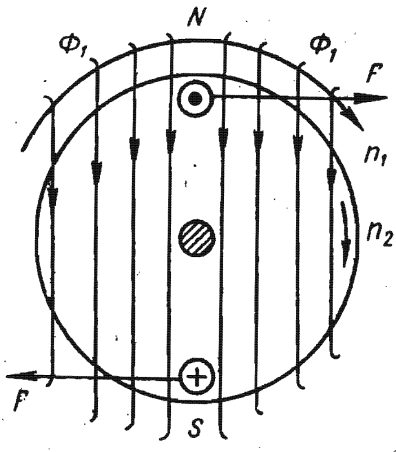
Саноат частотаси ($f_1 = 50$ гЦ) да айланувчан магнит майдонининг айланиш тезлиги $n_1 = \frac{3000}{p}$ бўлади. Агар $p = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ бўлса, айланувчан магнит майдонининг айланишлар тезлиги (сони) мос ҳолда 3000, 1500, 1000, 750, 600, 500 айл/мин ни ташкил этади.

Одатда, двигателнинг паспортида роторнинг номинал айланишлар сони ($n_2 = n_{ном}$) кўрсатилган бўлади. Айланувчан магнит майдонининг синхрон тезлик қийматини билиш учун $n_{ном}$ га энг яқин катта тезлик қиймати қабул қилинади. Масалан, $n_{ном} = 2860$ айл/мин га, $n_1 = 3000$ айл/мин, $n_{ном} = 1460$ айл/мин га, $n_1 = 1500$ айл/мин мос келади.

9.3. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ИШЛАШ ПРИНЦИПИ

Статорда n_1 тезлик билан айланаётган айланувчан магнит майдонининг оқими Φ_1 ротор чулғамларини кесиб ўтиб, электромагнит индукция қонунига асосан, ротор чулғамларида ЭЮК индукциялайди. ЭЮК, ўз навбатида, ротор токини ҳосил қилади.

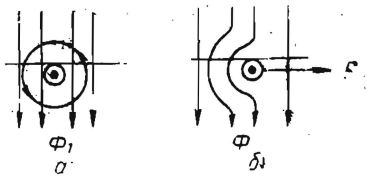
9.13- расмда айланувчан магнит майдонининг ўқ чизиғида жойлашган ротор чулғамидаги токнинг йўналиши кўрсатилган. Ротор токи, ўз навбатида, ротор чулғами атрофида Φ_2 магнит оқимини ҳосил қилади. Унинг йўналиши эса „парма" қоидаси бўйича аниқланади (9.14- расм, *а*). Ротор чулғамининг магнит оқими Φ_2 статорнинг магнит оқими Φ_1 га қўшилиб, двигателнинг умумий магнит майдони оқимини ҳосил қилади. Натижада деформацияланган магнит майдонида жойлашган ротор чулғамларига 9.14- расм, *б* да кўрсатилгандек F жуфт куч таъсир эта бошлайди. Бу кучнинг йўналиши чап қўл қоидасига кўра аниқланади. Шундай қилиб, шимолий N қутб остида жойлашган барча ўтказгичларга таъсир этувчи кучнинг йўналиши, жанубий S қутб остида жойлашган ўтказгичларга таъсир этувчи куч йўналишига қарама-қарши бўлиб, жуфт куч юзага келади. Мазкур жуфт куч таъсирида ротор n_2 тезликда, айланувчан магнит майдонининг айланиш йўналишида айлана бошлайди. Аммо роторнинг айланиш тезлиги n_2 статорнинг айланувчан магнит майдонининг айланиш тезлигидан кичик бўлади.



9.13- расм.

Агар статор магнит майдонининг айланиш тезлиги ва роторнинг айланиш тезли-

ги ўзаро тенглашди ($n_1 = n_2$) десак, у ҳолда айланувчан магнит майдонининг куч чизиқлари ротор чулғамларини кесиб ўтмайди ва натижада ротордa ЭЮК индукцияланмайди. Бунда ротор токи i_2 ва куч F нолга тенг бўлади. Бундай шароитда ротор инерцияси бўйича ҳаракатни давом эттириб, подшипникларидаги ва ҳаво билан ишқаланиш туфайли роторнинг тезлиги кичкирик, яъни $n_2 < n_1$ бўлади.



9.14- расм.

Айланувчан магнит майдони тезлигининг роторнинг айланиш тезлигига тенг бўлмаслиги туфайли ($n_2 < n_1$) бундай электр машиналар *асинхрон* (тезликлари бир хил эмас) *машиналар* деб номланган.

Роторнинг сирпаниши ва айланиш тезлиги. Ротор айланиш тезлигининг статор магнит майдонининг айланиш тезлигидан орқада қолиши *роторнинг сирпаниши* дейилади ва у лотинча S ҳарфи билан белгиланиб, қуйидагича ифодаланади:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\%. \qquad (9.2)$$

(9.2) ифодадан двигатель роторининг айланиш тезлиги $n_2 = n_1 (1 - S)$ ни аниқлаш мумкин. Тезликлар фарқига роторнинг сирпаниш тезлиги дейилиб, қуйидагича ифодаланади:

$$n_S = n_1 - n_2.$$

Двигателнинг ишлаш жараёнида сирпаниш қиймати 0 дан 1 гача ўзгаради, двигателни ишга тушириш пайтида роторнинг айланиш тезлиги $n_2 = 0$ бўлгани учун $S = 1$ бўлади. Двигателларнинг номинал сирпаниши $S_{ном} = 0{,}03 - 0.06$ қийматни ёки (3÷6)% ни ташкил этади. Агар двигателнинг номинал айланиш тезлиги берилган бўлса, сирпанишнинг қиймати бўйича айланувчан магнит майдонининг тезлигини топиш мумкин.

РОТОР ВА СТАТОР ЧУЛҒАМЛАРИДАГИ ЭЛЕКТР ЮРИТУВЧИ КУЧ ВА ТОКЛАР

Қўзғалмас ротор чулғамидаги ток частотаси. Қўзғалмас ротор чулғамида индукцияланган ЭЮК нинг частотаси айланувчан магнит майдонининг айланишлар тезлиги билан аниқланади:

$$f_2 = \frac{n_1 p}{60}. \qquad (9.3)$$

Айланувчан магнит майдонининг айланишлар сони $n_1 = \frac{60 f_1}{p}$ эканлигини ҳисобга олсак, $f_2 = f_1$ бўлади, яъни қўзғал-

мас ротор чулғамида индукцияланган ЭЮК нинг частотаси электр энергия манбаининг частотасига тенг бўлар экан. У ҳолда айланувчан магнит майдонининг статор ва ротор чулғамларида индукцияланган ЭЮК лари:

$$E_1 = 4{,}44 w_1 f_1 K_{r_1} \Phi_m; \tag{9.4}$$

$$E_2 = 4{,}44 w_2 f_2 K_{r_2} \Phi_m. \tag{9.5}$$

Агар $f_2 = f_1$ эканлигини ҳисобга олсак, ротор чулғамидаги ЭЮК $E_2 = 4{,}44 w_2 f_1 K_{r_2} \Phi_m$ га тенг бўлади.

Тормозланган ротор ва статор ЭЮК ларининг нисбати асинхрон двигатель ЭЮК ларининг *трансформация коэффициенти* деб аталади:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1 K_{r_1}}{w_2 K_{r_2}} = K_E. \tag{9.6}$$

Бу ерда K_{r_1} ва K_{r_2} — статор ва ротор чулғамлари коэффициенти ҳисобланади. (9.6) ифодадан $E_1 = E_2' = K_E E_2$ ни топамиз. Бу қиймат ротор ЭЮК ининг келтирилган қиймати дейилади.

Юқорида келтирилганларга асосланиб шуни айтиш мумкинки, агар асинхрон двигателнинг ротори айланмаса (ротор чулғами узилган бўлса), мазкур двигатель трансформатор режимида ишлайди.

Айланувчан роторнинг ЭЮК ва токи. Айланаётган роторнинг чулғамларида индукцияланаётган ЭЮК нинг частотаси f_{2s} роторнинг сирпаниш тезлиги n_s га боғлиқ бўлади, яъни:

$$f_{2s} = \frac{pn_s}{60} = \frac{p(n_1 - n_2)}{60}. \tag{9.7}$$

(9.7) ифодага қуйидагича ўзгариш киритиб, айланувчан ротор ЭЮК частотасининг сирпанишга боғлиқлигини ҳосил қиламиз:

$$f_{2s} = \frac{p(n_1 - n_2)}{60} \cdot \frac{n_1}{n_2} = f_1 S. \tag{9.8}$$

Демак, айланувчан ротор ЭЮК ининг частотаси ротор сирпанишига тўғри пропорционал экан.

Двигатель саноат частотаси ($f_1 = 50$ Гц) ва номинал нагрузкада ишлаганда $S_{ном} = (2 \div 6)\%$ эканлигини ҳисобга олсак, $f_{2s} = (1 \div 3)$ Гц ни ташкил этади.

Двигателни ишга тушириш пайтида $S = 1$ бўлганлиги учун $f_{2s} = f_1$, идеал салт ишлаш режимида, яъни $S = 0$ да $f_{2s} = 0$ бўлади.

(9.8) ифодани ҳисобга олсак, ротор ЭЮК ининг ифодаси қуйидагича бўлади:

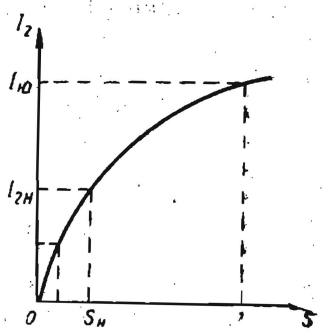
$$E_{2s} = 4{,}44 w_2 K_{r_2} f_{2s} \Phi_m = 4{,}44 w_2 K_{r_2} f_1 \cdot S\Phi_m = E_2 \cdot S. \tag{9.9}$$

У ҳолда ротор токи қуйидагича аниқланади:

$$I_{2s} = \frac{E_{2s}}{Z_2} = \frac{E_2 \cdot S}{\sqrt{R_2^2 + X_{2s}^2}}, \tag{9.10}$$

бу ерда: $X_{2s} = X_2 \cdot S$ — айланувчан ротор чулғамининг индуктив қаршилиги.

9.15- расмда ротор токининг сирпанишга боғлиқлик графиги келтирилган. Роторни ишга тушириш пайтида ($S = 1$) унда максимал ЭЮК индукцияланган учун ротор чулғамидан катта ток оқиб ўта бошлайди. Бу эса ўз навбатида, статор чулғамидан ҳам катта ток оқиб ўтишига сабаб бўлади (трансформаторга ўхшаш). Бу ток асинхрон двигателни ишга тушириш токи $I_{и.т}$ деб аталиб, қиймат жиҳатдан $I_{и.т} = (5 \div 7)\, I_{ном}$ га тенг бўлади.



9.15- расм.

Ўрта ва катта қувватли асинхрон двигателларни бундай катта ишга тушириш токидан сақлаш учун улар ишга тушириш қурилмалари ёрдамида ишга туширилади.

9.4. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЬ МАГНИТ ЮРИТУВЧИ КУЧИНИНГ ТЕНГЛАМАСИ

Асинхрон двигатель салт ишлаганда роторнинг МЮК нолга тенг бўлади. Айланувчи магнит майдони эса статорнинг МЮК туфайли ҳосил қилинади, яъни

$$\bar{F}_0 = m_1 \bar{I}_0 w_1, \qquad (9.11)$$

бу ерда: m_1 — статор фазаларининг сони; w_1 — статор фаза чулғамларининг ўрамлар сони; I_0 — салт ишлаш токи.

Агар асинхрон двигателнинг валидаги нагрузканинг қиймати ортса, ротор токи ҳам ортиб, статор МЮК ига қарама-қарши йўналган ротор МЮК ҳосил бўлади. Натижада ротор МЮК ни компенсациялаш учун статор МЮК ҳам шу қийматга ўзгаради. Шундай қилиб статор ва ротор МЮК ларининг геометрик йиғиндиси ҳар доим ўзгармас бўлади, яъни

$$\bar{F}_1 + \bar{F}_2 = \bar{F}_0$$

ёки

$$m_1 w_1 \bar{I}_1 k_1 + m_2 w_2 \bar{I}_2 k_2 = m_1 w_1 \bar{I}_0 k_1,$$

бундан

$$\bar{I}_1 + \bar{I}'_2 = \bar{I}_0, \qquad (9.12)$$

бу ерда: $\bar{I}'_2 = \bar{I}_2 \frac{m_2 w_2 \cdot k_2}{m_1 w_1 \cdot k_1}$ — ротор токининг келтирилган қиймати.

Статор токи (9.12) дан

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_0 - \bar{I}'_2. \qquad (9.13)$$

Шундай қилиб, статор токи салт ишлаш токидан ва қаршилик (тормозлаш) моменти туфайли вужудга келадиган $\bar{I}'_2$ дан иборат экан. Асинхрон двигателларда салт ишлаш токи номинал токнинг 40 — 60% ини ташкил этишига сабаб ротор билан статор орасидаги ҳаво бўшлиғининг мавжудлигидир.

9.5. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ АЛМАШТИРИШ СХЕМАСИ ВА ВЕКТОР ДИАГРАММАСИ

Трансформатордаги каби асинхрон двигателнинг ҳам иш режимини таҳлил қилишда унинг алмаштириш схемасидан фойдаланиш қулайдир. Умуман, асинхрон двигателнинг ҳам трансформатордаги каби статор ва ротор чулғамларини тегишлича бирламчи ва иккиламчи чулғам деб қараш мумкин. Бу чулғамлар орасидаги боғланиш трансформатордагидек магнит ҳодисасига асосланган дир. Юкланган асинхрон двигателнинг алмаштириш схемасини қуриш учун айланаётган ротор электр занжирини унга эквивалент бўлган қўзғалмас ротор занжири билан алмаштириш керак.

Эквивалент ротор занжирининг параметрлари шундай танланиши керакки, двигателнинг манбадан олаётган қуввати, роторга узатилаётган электромагнит қувват ўзгармас бўлиши керак. Бунинг учун роторнинг эквивалент ва ҳақиқий занжиридаги ток I_2 ва ЭЮК E_2 орасидаги фаза силжиш бурчаги бир хил бўлиши керак. Шундай шароитдагина эквивалент ва ҳақиқий машина ротор ва статор чулғамларининг умумий магнитловчи кучи бир хил бўлади.

Эквивалент ротор занжирининг ЭЮК ва токи қуйидагича аниқланади:

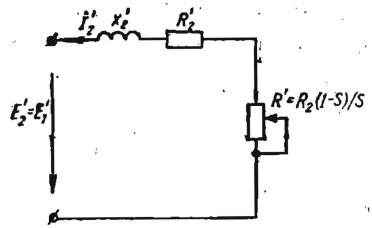
$$E'_2 = E_2 \cdot S \text{ ва } I'_2 = \frac{E'_2}{\sqrt{(R'_2/S)^2 + (X'_2)^2}}.$$

9.16- расмда эквивалент қўзғалмас роторнинг алмаштириш схемаси кўрсатилган. Бу ерда роторнинг актив қаршилиги R'_2/S иккита ташкил этувчи сифатида берилган

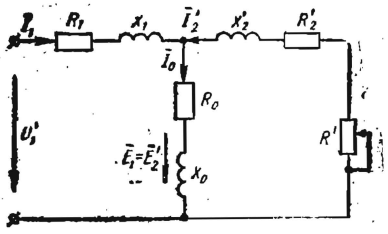
$$\frac{R'_2}{S} = R'_2 + R'_2 \cdot \frac{1-S}{S}.$$

Худди трансформатордагидек, эквивалент ротор чулғамини X'_2 ва R'_2 қаршиликлардан ва $R'_2\left(\frac{1-S}{S}\right)$ ташқи истеъмолчи қаршилигидан иборат деб қараш мумкин.

Булар асинхрон двигателнинг тўла алмаштириш схемасини тузишга имкон беради (9.17- расм).



9.16- расм.



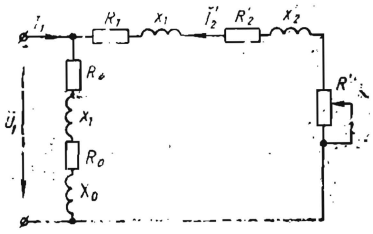
9.17- расм.

Алмаштириш схемасидан R_2 ва R_2' қаршиликлардаги қувват исрофи статор ва ротор чулғамларидаги электрик қувват исрофига тенг эканлиги келиб чиқади:

$$\Delta P_{1э} = 3I_1^2 R_1 \quad \text{ва} \quad \Delta P_{2э} = 3I_2'^2 R_2'.$$

R_0 қаршиликдаги қувват исрофи статорнинг пўлат ўзагидаги магнит қувват исрофига тенг, яъни $P_0 = 3I_0^2 R_0$.

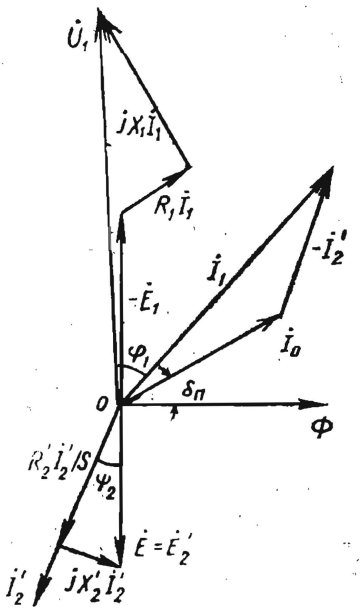
Асинхрон двигателнинг „Г“ шаклидаги алмаштириш схемаси 9.18- расмда кўрсатилган.



9.18- расм.

Асинхрон двигателнинг вектор диаграммаси магнит оқим Φ векторини қуришдан бошланади (9.19- расм), чунки магнит оқими статор ва ротор учун умумийдир.

Статор ва ротор чулғамларида индукцияланган E_1 ва E_2' ЭЮК лар магнит оқимидан $\pi/2$ бурчакка орқада қолади. Умумий вектор диаграммасини қуришда қўзғалмас эквивалент роторнинг ЭЮК асос қилиб олинади, чунки унинг частотаси манба частотасига тенгдир. Маълумки, асинхрон двигателларда салт ишлашдаги ток статор чулғамидаги номинал токнинг 40—60% ини ташкил этади. Салт ишлаш токининг вектори магнит оқими векторидан $\delta_п$ бурчакка, пўлат ўзакдаги ис-



9.19- расм.

рофлар туфайли, силжиган бўлади. Одатда, $\delta_п = 3° \div 5°$ бўлади.

Асинхрон двигателни тормозловчи моментнинг ротордаги ток қийматига ва фазасига таъсири, ротор чулғами актив қаршилиги $\frac{R_2}{S}$ нинг ўзгариши билан аниқланади. Шунинг учун қўзғалмас роторнинг чулғамидаги ток I_2' ЭЮК E_2' дан $\varphi = \operatorname{arctg}\frac{X_2'}{R_2'}$ бурчакка кечикади. Бу бурчак асинхрон двигателнинг юкланганлигини кўрсатади ва сирпанишнинг камайиши билан камайиб боради.

9.16-расмда келтирилган роторнинг алмаштириш схемаси учун қуйидаги тенгламани ёзиш мумкин:

$$\bar{E}_2' = \bar{I}_2'\frac{R_2'}{S} + j\bar{I}_2'X_2'. \qquad (9.14)$$

Статорнинг фаза чулғамлари орқали ўтаётган ток қуйидаги ифода ёрдамида аниқланиши мумкин:

$$I_1 = I_0 - \bar{I}_2'.$$

Статор чулғамларини алмаштириш схемаси учун ёзилган тенглама бўйича манба кучланиши векторининг қиймати топилиши мумкин, яъни

$$\bar{U}_1 = -\bar{E}_1 + I_1(R_1 + jX_2). \qquad (9.15)$$

Асинхрон двигателларда салт ишлаш токининг қиймати нисбатан катта бўлгани учун фаза силжиш бурчаги φ нинг қиймати ҳам катта бўлади. Бунда двигателнинг номинал қувват коэффициенти $0,7 \div 0,8$ га тенг бўлади.

9.6. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ЭЛЕКТРОМАГНИТ ҚУВВАТИ ВА АЙЛАНТИРУВЧИ МОМЕНТИ

Маълумки, айлантирувчи моментнинг бурчак тезлигига кўпайтмаси қувватни беради, яъни

$$P = M \cdot \omega. \qquad (9.16)$$

Асинхрон двигателларда эса электромагнит моментни статор магнит майдонининг бурчак тезлигига кўпайтмаси электромагнит қувват дейилиб, қуйидагича аниқланади:

$$P_{эм} = M_{эм} \cdot \omega_0, \qquad (9.17)$$

бу ерда ω_0 — айланувчан магнит оқимининг бурчак тезлиги.

Электромагнит қувват роторга айланувчан магнит оқим ёрдамида узатилгани учун, айланувчан магнит оқимининг бурчак тезлиги орқали ифодаланади.

Двигателнинг валидаги м ханик қувват ротор бурчак тезлигининг электромагнит моментга кўпайтмасига тенгдир:

$$P_{эм} = M_{эм} \cdot \omega. \qquad (9.18)$$

Агар роторнинг пўлат ўзагида магнитлаш учун сарф бўлаётган қувват исрофи ротор чулғамларидаги қувват исрофидан анча кичик бўлганлиги учун ҳисобга олинмаса, у ҳолда:

$$P_{эм} - P_{мех} = \Delta P_{чулғ} = 3I_2^2 R_2 \qquad (9.19)$$

ёки

$$M_{эм}(\omega_0 - \omega) = 3I_2^2 R_2.$$

Бундан электромагнит момент қуйидагича аниқланади:

$$M_{эм} = \frac{3I_2 R_2}{S\omega_0}, \qquad (9.20)$$

бу ерда: I_2 — ротор токи, А; R_2 — ротор чулғамининг қаршилиги, Ом.

У ҳолда электромагнит қувват

$$P_{эм} = \frac{3I_2^2 R_2}{S}. \qquad (9.21)$$

Агар $3I_2^2 R_2 = 3E_2 I_2 \cos(\widehat{E_2 I_2}) = 3E_2 I_2 \cos\psi_2$ эканлигини ҳисобга олсак, у ҳолда ишқаланиш моментини ҳисобга олмаган ҳолда

$$M_{эм} = \frac{3E_2 I_2 \cos\psi_2}{\omega_1 S}$$

ёки

$$M_{эм} = \frac{3 \cdot 4{,}44 w_2 f_2 K_{r_2} \Phi_m I_2 \cos\psi_2}{S} = C\Phi_m I_2 \cos\psi_2, \qquad (9.22)$$

бу ерда $C = 3 \cdot 4{,}44 \cdot f_2 w_2 \frac{K_{r_2}}{\omega}$ — ўзгармас коэффициент.

Демак, асинхрон двигателнинг айлантирувчи моменти ротор токига, магнит оқимининг амплитуда қийматига ҳамда ротор токи билан ЭЮК орасидаги бурчак косинусига тўғри пропорционал экан. (9.22) даги $I_2 \cos\psi_2 = I_{2a}$ ифода ротор токининг актив ташкил этувчиси эканлигини ҳисобга олсак, $M_{эм} = C \cdot \Phi_m \cdot I_{2a}$ бўлади, яъни асинхрон двигателда айлантирувчи момент ротор токининг актив ташкил этувчиси ёрдамида ҳосил бўлади.

(9.12) ифодадан шу нарса кўриниб турибдики, агар асинхрон двигателнинг ротори тормозланса, барча электромагнит қувват иссиқлик энергияси сифатида ажралиб чиқа бошлайди.

Номинал режим ($S_{ном} = 0{,}02 \div 0{,}06$) асинхрон двигателда ҳосил бўлаётган электромагнит қувватнинг 0,94 : 0,98 улуши механик қувват сифатида, озгина (0,02 : 0,06) улуши эса иссиқлик энергияси сифатида ажралиб чиқади.

Асинхрон двигателнинг айлантирувчи моменти. Агар механик ишқаланишлар туфайли вужудга келадиган қаршилик моменти $\Delta M_{мех}$ ни ҳисобга олмасак, $M_{эм} = M$ дейиш мумкин, у ҳолда

$$M = C\,\Phi_m I_2 \cos\psi_2. \tag{9.23}$$

Агар

$$\Phi_m = \frac{E_1}{4{,}44 w_1 f_1 K_{r_1}}; \qquad I_2 = \frac{E_1 S}{K\sqrt{R_2^2 + (X_2 S)^2}};$$

$$E_2 = \frac{E_1}{K}; \qquad \cos\psi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (X_2 S)^2}}$$

эканлигини ҳисобга олиб, уларни (9.23) га қўйсак, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$M = C_1 E_1^2 S \frac{R_2}{R_2^2 + (X_2 S)^2}. \tag{9.24}$$

Статор чулғамларида кучланишнинг пасайишини ҳисобга олмасак ($E_1 \approx U_1$), қуйидагини ёзиш мумкин:

$$M = C_1 U_1^2 S \frac{R_2}{R_2^2 + (X_2 S)^2}$$

ёки

$$M = C_1 U_1^2 S \frac{R_2'}{R_2'^2 + X_2^2}, \tag{9.25}$$

бу ерда

$$R_2' = \frac{R_2}{S}.$$

(9.25) ифодадан кўриниб турибдики, асинхрон двигателнинг валидаги айлантирувчи моментнинг қиймати манба кучланишининг квадратига ва сирпанишга боғлиқ экан. Демак, кучланишнинг озгина ўзгариши моментнинг кескин ўзгаришига сабаб бўлади.

1. $S = 0$, $n_2 = n_1$ бўлганда, яъни идеал салт ишлаш режимида $M = 0$ бўлиб, ротор тормозланади.

2. $S = 1$, $n_2 = 0$ бўлганда эса айлантирувчи момент *ишга тушириш моменти* дейилади:

$$M_{и.т} = CU_1^2 \frac{R_2'}{R_2'^2 + X_2^2}. \tag{9.26}$$

Асинхрон двигателнинг ҳосил қилиши мумкин бўлган максимал (критик) моментини топиш учун (9.25) ифодадан сирпаниш S бўйича ҳосила олиб, уни нолга тенглаштирамиз, яъни

$$\frac{dM}{dS} = C_1 U_1^2 R_2 \frac{R_2^2 - (X_2 S)^2}{[R_2^2 + (X_2 S)^2]^2} = 0.$$

Бундан

$$S_{кр} = \pm \frac{R_2}{X_2}. \qquad (9.27)$$

Асинхрон машина двигатель режимида ишлаганда $S_{кр} > 0$ бўлади. Критик сирпаниш қийматини ҳисобга олган ҳолда двигателнинг максимал моментини аниқлаш мумкин:

$$M_{кр} = C_1 U_1^2 \frac{1}{2X_2}. \qquad (9.28)$$

Агар асинхрон двигателда $X_2 \approx 5\,R_2$ эканлигини ҳисобга оладиган бўлсак, $S_{кр} = 0.2$ бўлади. (9.26), (9.27) ва (9.28) ифодаларни биргаликда ечиб, двигателнинг айлантирувчи моментининг қуйидаги соддалаштирилган ифодасини ёзиш мумкин:

$$M = \frac{2M_{кр}}{\frac{S}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S}}. \qquad (9.29)$$

Ушбу ифодадан сирпанишнинг номинал қийматини ҳисобга олган ҳолда критик сирпанишни аниқлаш мумкин:

$$S_{кр} = S_{ном}(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}), \qquad (9.30)$$

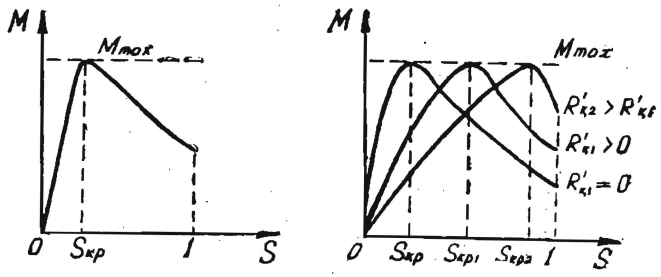
бу ерда: $S_{ном} = \frac{n_1 - n_{ном}}{n_1}$ — сирпанишнинг номинал қиймати;

$\lambda = \frac{M_{кр}}{M_{ном}}$ — юклаш коэффициенти.

Фаза роторли асинхрон двигателларда ротор чулғамига қўшимча қаршилик уланган учун, айлантирувчи момент қуйидагича аниқланади:

$$M = C_1 U_1^2 S \frac{R_2 + R_р}{(R_2 + R_р)^2 + (X_2 S)^2}. \qquad (9.31)$$

9.20-расмда ротор чулғами актив қаршилигининг турли қийматларида айлантирувчи моментнинг сирпанишга боғлиқлик эгри чизиқлари кўрсатилган. Чулғамнинг актив қаршилигинигина ҳисобга олиб қурилган характеристика *табиий характеристика*, қўшимча қаршилик қийматини ҳисобга олиб қурилган характеристика *сунъий* ёки *реостат характеристика* дейилади.

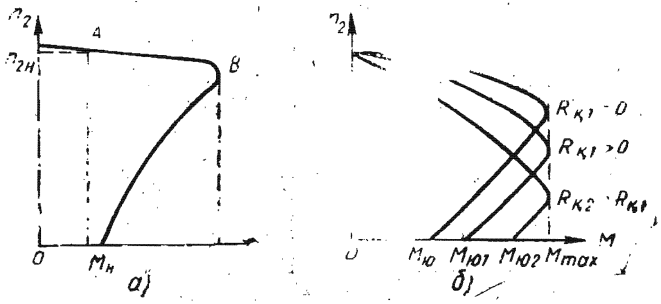


9.20-расм.

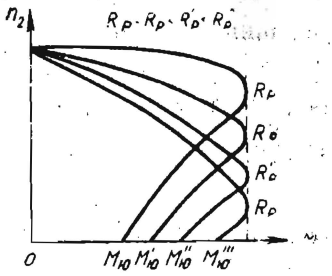
9.7. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ МЕХАНИК ХАРАКТЕРИСТИКАСИ

Манба кучланиши ўзгармас ($U_1 = \text{const}$) бўлганда ротор айланишлар сони (n_2) нинг айлантирувчи моментга боғлиқлик эгри чизиғи $n_2 = f(M)$ асинхрон двигателнинг *механик характеристикаси* дейилади. 9.21-расмда асинхрон двигателнинг механик характеристикаси кўрсатилган. Ушбу характеристикани 9.20-расмда кўрсатилган $M = f(S)$ эгри чизиғи ёки (9.20) ифода ёрдамида $n_2 = n_1(1 - S)$ экандигини ҳисобга олган ҳолда қуриш мумкин. Механик характеристика ҳар қандай двигателнинг асосий характеристикаларидан бири бўлиб, двигателнинг иш қобилиятини белгилайди. Маълумки, статор айланувчан магнит майдон тезлиги ўзгармас ($n_1 = \text{const}$) бўлгани учун роторнинг айланиш тезлиги билан сирпаниш орасидаги боғланиш чизиқлидир. Агар $S = 1$ бўлса, $n_2 = 0$; $S = 0$ бўлса, $n_2 = n_1$ бўлади. Механик характеристикада қуйидагиларни белгилаш мумкин: максимал (критик) момент M_{max} — асинхрон двигатель айлантирувчи моментининг максимал қиймати; ишга тушириш моменти $M_{ит}$ — асинхрон двигателни ишга тушириш (қўзғатиш) учун керак бўладиган момент қиймати; номинал момент $M_{ном}$ — асинхрон двигателнинг номинал иш режими (номинал кучланиш $U_{ном}$, номинал частота $f_{ном}$, номинал нагрузка) даги айлантирувчи моменти.

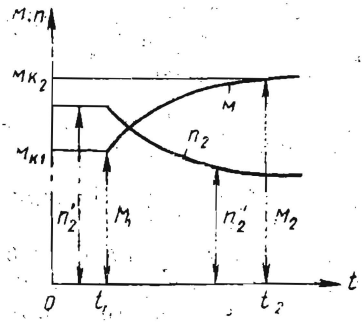
Юкланиш остидаги асинхрон двигателни ишга тушириш учун унинг ишга тушириш моменти иш механизмининг қаршилик моменти $M_к$ дан катта бўлиши керак, яъни $M_{и.т} > M_к$. Акс ҳолда двигателни ҳаракатга келтириб бўлмайди. Асинхрон двигатель айланишлар сонининг ўзгариши механик характеристиканинг C нуқтасидан бошланиб, B нуқта орқали ўтади. Характеристиканинг $A - B$ қисмидаги $M_{ном} = M_к$ нуқтада двигателнинг вали $n_{2\,ном}$ тезлик билан айлана бошлайди. Шундай қилиб, механик характеристиканинг $C - B$ қисми тезланиш қисми, $A - B$ эса иш қисми ҳисобланади. Асинхрон двигатель характеристиканинг иш қисмида барқарор тезлик билан айланади. Агар бирор сабабга кўра $t = t_1$ пайтда қарши-



9.21-расм.



9.22- расм.



9.23- расм.

лик моменти $M_{к1}$ дан $M_{к2}$ га ўзгарса (9.22-расм), у ҳолда $M_к > M$ бўлиб, двигатель тормозлана бошлайди. Натижада сирпаниш S ортади. Бу эса, ўз навбатида ЭЮК, ротор токи ва айлантирувчи момент қийматининг ўзгаришига олиб келади. Бундай жараён $M_к = M$ бўлгунча давом этиб, двигателнинг ўз-ўзини бошқариш жараёни деб аталади. Двигатель ўқига қўйилган қаршилик моменти қийматининг камайиши эса ўз-ўзини бошқариш жараёнига кўра, ротор айланишлар сонининг ортишига олиб келади. Одатда, двигателларда ўз-ўзини бошқариш жараёни секуднинг ўндан ёки юздан бир улуши мобайнида тугайди.

Механик характеристиканинг $C - B$ қисмида эса тезликнинг ҳар қандай ўзгариши (камайиши) айлантирувчи моментнинг камайишига олиб келади, натижада двигатель тўхтайди. Шунинг учун $n = f(M)$ эгри чизиқнинг $C - B$ қисми механик характеристиканинг *беқарор қисми* дейилади. Айрим ҳолларда максимал момент қиймати двигателни тўхтатиш моменти ҳам дейилади, чунки M_{max} нинг ΔM_{max} га ортиши двигателнинг тезда тўхташига сабаб бўлади. 9.23-расмда фаза роторли асинхрон двигатель учун механик характеристикаларнинг тўплами кўрсатилган. Ротор чулғамлари қаршилиги қийматининг ортиши характеристика эгрилигининг ошишига олиб келади. Ўз навбатида, ишга тушириш моментининг қиймати ортади, ишга тушириш токининг қиймати эса камаяди. Одатда, чулғами актив қаршиликнигина ҳисобга олиб қурилган механик характеристика „қаттиқ“ механик характеристика деб номланган.

9.8. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ПАСПОРТИДАГИ МАЪЛУМОТЛАРИ БЎЙИЧА МЕХАНИК ХАРАКТЕРИСТИКАСИНИ ҚУРИШ

Одатда, асинхрон двигателнинг паспортида қуйидаги маълумотлар кўрсатилади:

$U_{ном}$ — номинал кучланиш, [В];

$P_{ном}$ — номинал қувват, [Вт, кВт];

$n_{ном}$ — роторнинг номинал айланишлар сони, [айл/мин];

$\lambda = \frac{M_{max}}{M_{ном}}$ — двигателнинг ўта юкланиш коэффициенти (қисқа туташтирилган роторли асинхрон двигателлар учун $\lambda = 1{,}7 \div 2{,}5$, фаза ротогли двигателлар учун $\lambda = 1{,}5 \div 3{,}4$);

$\delta = \frac{M_{и.т}}{M_{ном}}$ — ишга тушириш коэффициенти.

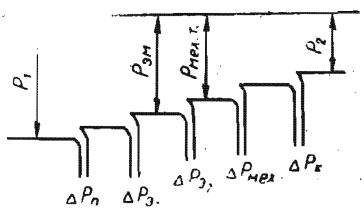
Юқорида кўрсатилган маълумотлар бўйича двигателнинг механик характеристикасини қуриш мумкин. Бунинг учун дастлаб айланувчи магнит майдонининг айланиш тезлигини аниқлаймиз. Бу тезлик қийматини аниқлашда синхрон тезликлар шкаласи (9.2-§ да келтирилган) дан фойдаланамиз. Сўнгра двигателнинг номинал моменти аниқланади:

$$M_{ном} = 975 \frac{P_{ном}}{n_{ном}} \text{ [кГ} \cdot \text{м]}; \quad M_{ном} = 9550 \frac{P_{ном}}{n_{ном}} \text{ [Н} \cdot \text{м]}.$$

Паспортида кўрсатилган коэффициентлар ёрдамида двигателнинг максимал M_{max} ва ишга тушириш моменти $M_{и.т}$ аниқланади. Аниқланган катталиклар бўйича координата ўқларида мос ҳолда a, b, c нуқталар белгиланади. Критик сирпаниш миқдори эса $S_{кр} = S_{ном}(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$ ифода ёрдамида аниқланади (9.12-расм, a). Бунда $S_{ном} = \frac{n_1 - n_{ном}}{n_1}$ бўлади. Характеристиканинг қолган нуқталари эса (9.29) ифода ёрдамида топилади. Фаза роторли асинхрон двигателнинг реостат характеристикаларини қуриш учун дастлаб каталоглардан берилган двигателнинг номинал қувватини ва сериясини, сўнгра ротор чулғамларининг актив ва реактив қаршиликлари аниқланади. Кейин (9.27) ва (9.29) ифодалардан фойдаланиб, сунъий реостат характеристикаси қурилади.

9.9. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ЭНЕРГЕТИК ДИАГРАММАСИ ВА ФОЙДАЛИ ИШ КОЭФФИЦИЕНТИ

Бошқа электр машиналардаги каби асинхрон двигателларда ҳам электр энергиясининг механик энергияга айлантирилиши энергия исрофи билан боғлиқ. Двигателга электр тармоғидан берилаётган P_1 қувватнинг қандай тақсимланиши 9.24-расмдаги асинхрон двигателнинг энергетик диаграммасида кўрсатилган.



9.24-расм.

Асинхрон двигателга тармоқдан берилаётган қувват:

$$P_1 = 3U_{1ф}I_{1ф}\cos\varphi.$$

Бу қувватнинг бир қисми статор-

нинг пўлат ўзагидаги қувват исрофи $\Delta P_п$ ва статор чулғамининг қизишига сабаб бўлган $\Delta P_{э1}$ электр қуввати исрофларини қоплашга сарфланади:

$$\Delta P_{э_1} = 3I_{1ф}^2 r_1.$$

Қувватнинг қолган қисми магнит оқими ёрдамида роторга узатилади ва шу сабабли электромагнит қувват деб аталади:

$$P_{эм} = P_1 - (\Delta P_{э1} + \Delta P_п).$$

Электромагнит қувватнинг бир қисми ротор чулғамидаги электр қувват исрофларини қоплашга сарфланади:

$$\Delta P_{э2} = 3I_{2ф}^2 \cdot r_2.$$

Электромагнит қувватнинг қолган қисми двигателнинг механик қувватига айланади ва *тўла механик қувват* дейилади:

$$P'_{т.мех} = P_{эм} - \Delta P_{э2}.$$

Тўла механик қувватнинг бир қисми механик исроф ($\Delta P_{мех}$) га, бошқа бир қисми қўшимча исроф ($\Delta P_қ$) га сарфланади, қолган қисми эса двигателнинг валидаги фойдали ($P_2 = P_м$) қувватни беради:

$$P_2 = P_{т.мех} - (\Delta P_{мех} + \Delta P_қ).$$

Двигателдаги механик исрофлар подшипниклардаги ишқаланишлар, айланувчан қисмларнинг ҳавога ишқаланиши ва чўткаларнинг ҳалқаларга ишқаланишидан (фаза роторли двигателларда) ҳосил бўлади.

Қўшимча қувват исрофлари двигателда сочилган магнит оқимлар бўлиши ва бошқа сабаблар туфайли вужудга келади. Двигатель тўла юкланиш билан ишлаганда қўшимча исроф ($\Delta P_қ$) унинг номинал қувватининг 0.5% га тенг қилиб олинади.

Шундай қилиб, двигателнинг фойдали механик қуввати

$$P_2 = P_1 - \sum \Delta P,$$

бунда $\sum \Delta P$ — двигателдаги қувват исрофларининг йиғиндиси

$$\sum \Delta P = \Delta P_п + \Delta P_{э1} + \Delta P_{э2} + \Delta P_{мех} + \Delta P_қ.$$

Асинхрон двигателнинг фойдали иш коэффициенти қуйидагича аниқланади

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum \Delta P}{P_1}.$$

Двигателнинг юкланиши номиналга яқин бўлганда фойдали иш коэффициенти энг катта қийматга етади. Кичик ва ўр-

та қувватли (1 — 100 кВт) двигателларда $\eta_{ном} = 70 \div 90\%$ ни, катта қувватли (100 кВт ва ундан катта) двигателларда $\eta_{ном} = 90 \div 94\%$ ни ташкил этади.

9.10. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ИШ ХАРАКТЕРИСТИКАСИ

Электр тармоғидаги кучланиш U_1 ва частота f_1 ўзгармас бўлганда двигателнинг айланиш тезлиги n_2, сирпаниш S, айлантириш моменти M, фойдали иш коэффициенти η, статор чулғамидаги ток I_1 ва қувват коэффициенти $\cos\varphi$ нинг двигатель валидаги фойдали қувват P_2 га боғлиқлик графиклари асинхрон двигателнинг иш характеристикалари дейилади (9.25-расм).

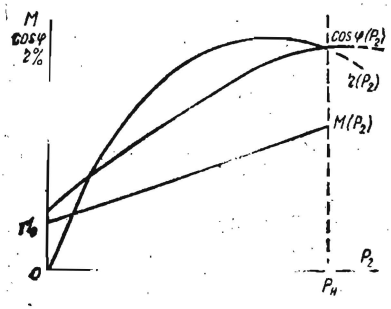
Двигатель салт ишлаганда ($P_2 = 0$) $S \approx 0$ бўлиб, сирпаниш формуласи $n_2 = n_1(1 - S)$ да $n_2 \approx n_1$ деб қабул қилиш мумкин. Юкланишнинг ортиши билан сирпаниш S орта боради, роторнинг айланиш тезлиги n_2 эса камая боради. Номинал юкланишда $P_2 = P_{2\,ном}$ бўлиб, сирпаниш номинал қийматга эришади.

Двигателнинг валидаги фойдали момент M нинг фойдали қувватга боғлиқлиги қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$M = 975\frac{P_2}{n_2}.$$

Двигатель P_2 нинг ортиши билан айланиш тезлиги камаяди, шу сабабли фойдали момент M юкланиш кўпайганда P_2 га қараганда тезроқ кўпаяди. Бинобарин, $M = f(P_2)$ бўлади.

Двигателнинг фойдали иш коэффициенти $\eta = \frac{P_2}{P_1}$ кўринишида ифодаланади. Двигателнинг тармоқдан олаётган P_1 валдаги фойдали қувват P_2 ва қувват исрофлари йиғиндиси $\sum\Delta P$ дан, иборат, яъни $\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum\Delta P}$. Двигатель салт ишлаганда $P_2 = 0$, бинобарин, ФИК ҳам $\eta = 0$ бўлади. Фойдали қувват P_2 ортган сари ФИК тез оша боради ва қувват исрофининг юкланишга боғлиқ бўлган ўзгарувчан қисми билан юкланишга боғлиқ бўлмаган ўзгармас қисми тенглашганда η энг катта қийматга эришади. Юкланишни яна ҳам орттириш фойдали иш коэффициентининг камайишига олиб келади



9.25-расм.

Статор токи I_1 (9.13) формуладан аниқланади. У ўзгармас I_0 ва ўзгарувчан I_2' ташкил этувчилардан иборат бўлиб, юкла-

нишга боғлиқдир. Двигатель салт ишлаганда $I'_2 = 0$ десак, $I_1 = I_0$ бўлади, яъни статор токи салт ишлаш токига тенг бўлади ва унинг қиймати асинхрон двигателларда статор чулғами номинал токи ($I_{1\,ном}$) қийматининг $40 \div 60\%$ ини ташкил этади. P_2 нинг ортиши ток I'_2 ва I_1 ларнинг ортишига олиб келади.

Двигатель салт ишлаганда унинг қувват коэффициенти энг кичик қийматни ташкил этади. Двигателнинг валига тушадиган юкланиш ортганда токнинг актив ташкил этувчиси ортади. Бу ҳолда қувват коэффициенти ҳам орта бориб, $P_2 = P_{ном}$ бўлганда энг катта қийматга эришади. Юкланиш яна ҳам кўпайганда $\cos\varphi$ камаяди. Бу ҳол сирпанишнинг кўпайиши ҳисобига ротор чулғамининг индуктив қаршилиги ($X_2 \cdot S$) ортиши билан изоҳланади. Қувват коэффициентининг катта бўлиши учун двигатель доимо ёки, ҳеч бўлмаганда, кўпроқ вақт номинал юкланишда ишлаши муҳимдир.

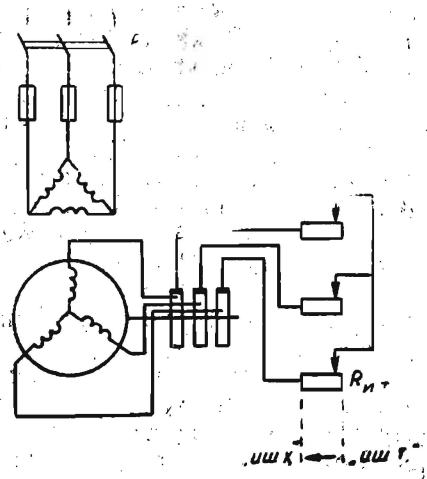
Номинал юкланишда ўрта қувватли (1 — 100 кВт) двигателларнинг қувват коэффициенти $\cos\varphi_{ном} = 0{,}7 \div 0{,}9$ катта қувватли (100 кВт дан ортиқ) двигателларда $\cos\varphi_{ном} = 0{,}8 \div 0{,}92$.

9.11. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЛАРНИ ИШГА ТУШИРИШ

Роторли қисқа туташтирилган асинхрон двигателларни электр тармоғига улаганда унинг ротор ва статор чулғамлари орқали номинал қийматидан $5 \div 7$ марта ортиқ бўлган ток ўтади. Ишга туширишнинг бошланғич пайтида сирпаниш $S = 1$ бўлиб, ишга тушириш токи энг катта қийматга эришади.

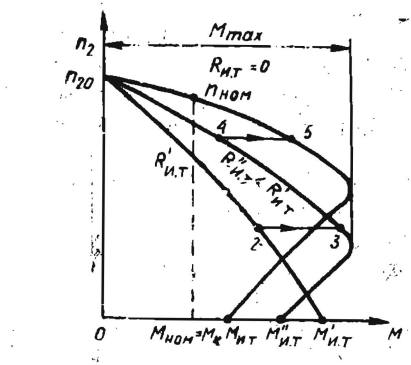
Двигателларни ишга туширишда, иложи борича, қуйидаги асосий талаблар бажарилиши керак: ишга тушириш жараёнида мураккаб бўлмаган қурилмалардан фойдаланиш; ишга тушириш моменти қаршилик моментидан катта бўлиши; ишга тушириш токининг кичик бўлиши; ишга тушириш вақти қисқа бўлиши.

Амалда қуйидаги ишга тушириш усулларидан фойдаланилади: ротор чулғамига юргизиш реостатларини улаш; статор чулғамини электр тармоғига (бевосита) улаш; ишга тушириш пайтида статор чулғамларига пасайтирилган кучланиш бериш.



9.26-расм.

Фаза роторли двигателнинг ишга тушириш токини камайтириш учун роторнинг фаза чулғамига уч



9.27- расм.

фазали актив қаршиликли реостат уланади (9.26-расм). Ишга тушириш токи қуйидаги формуладан аниқланади:

$$I_{и.т}=\frac{E_2}{\sqrt{(R_2+R_{юр})^2+X_2^2}}.$$

Бунда ишга тушириш токининг камайишигагина эмас, балки двигателни ишга тушириш моментининг ортишига ҳам эришилади (9.27-расм).

Двигатель қуйидагича ишга туширилади: ишга тушириш реостатининг қаршилигини энг катта қийматга („ишга тушириш" ҳолатига) келтириб, двигатель электр тармоғига уланади ва двигатель валининг айланиш тезлиги орта борган сари ишга тушириш реостатининг қаршилиги камайтириб борилади; ниҳоят айланиш тезлиги номинал қийматига етганда $R_{и.т}$ нолга етказилади („иш" ҳолати) Ишга тушириш жараёнининг охирида ротор чулғамлари махсус қурилма ёрдамида қисқа туташтирилади ва двигатель ротори қисқа туташтирилган режимда ишлайди.

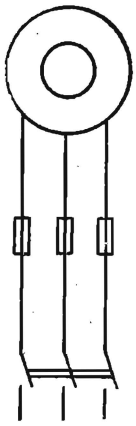
Фаза роторли двигателни ишга тушириш жараёнини унинг механик характеристикасидан (9.27-расм) фойдаланиб кўриб чиқиш мумкин. Характеристика ишга тушириш реостатининг учта босқичдаги қаршиликлари учун кўрсатилган. Ишга туширишнинг дастлабки пайти (реостатнинг „иш. т" ҳолати) да ишга тушириш моменти $M_{и.т}$ пастки характеристиканинг *1* нуқтасига тўғри келади. Двигатель ишга тушиб, маълум тезликка эриша бориши билан унинг моменти пастки характеристиканинг *1 — 2* қисми бўйича камаяди. Реостат дастаси реостатнинг камроқ қаршилигига мос келадиган иккинчи босқичга сурилса, шу қисқа вақт ичида роторнинг айланиш частотаси бир хил қолиб, ишга тушириш моменти иккинчи характеристиканинг *3* нуқтасига мос ҳолда ортади. Худди шу йўл билан реостат дастаси учинчи босқичга ўтказилади; бунда айлантирувчи моментининг қиймати валдаги қаршилик моментига тенглашади ва ишга тушириш жараёни тугалланади. Бу ҳолат юқориги характеристиканинг *6* нуқтасига тўғри келади.

Шундай қилиб, двигателни ишга тушириш жараёни давомида ишга тушириш моментининг катталиги деярли ўзгармасдан қолади.

Фаза роторли двигателларни ишга тушириш жараёни айрим камчиликлардан ҳоли эмас, яъни ишга тушириш операцияси мураккаб ва узоқ давом этади, тежамли эмас.

Ротори қисқа туташтирилган асинхрон двигателни электр тармоғига бевосита улаш усулида ишга тушириш (9,28-расм)

кенг қўлланилади. Лекин двигателни тармоққа улаш пайтида жуда қисқа вақт бўлса ҳам, номинал токдан 5 ÷ 7 марта катта бўлган ишга тушириш токи $I_{и.т}$ пайдо бўлади. Двигатель ишга туширилганда унинг айланиш тезлиги номинал қийматгача жуда тез ортади ва ишга тушириш токи камайиб, номинал юкланишга мос келадиган қийматга эришади.

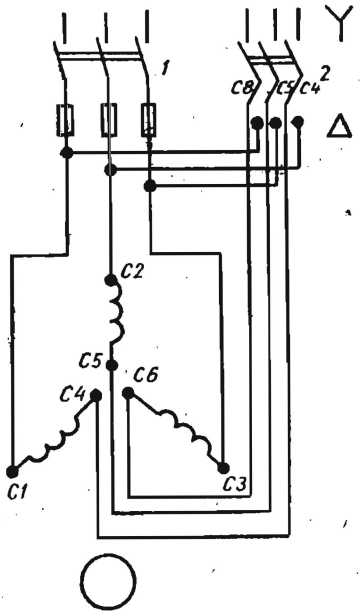


9.28- расм.

Двигателларни ишга туширишда ишга тушириш токи $I_{и.т}$ нинг таъсири туфайли электр тармоғи кучланишининг қиймати сезиларли даражада пасайиб кетиши мумкин. Бунда айлантирувчи момент кучланишнинг квадратига пропорционал ($M \equiv U^2$) бўлгани учун юкланиш билан ишлаётган двигателларнинг моменти камайиб, уларнинг нормал ишлаши бузилади. Аммо ҳозирги энергетик системаларнинг қуввати етарли даражада катта бўлганлиги туфайли кичик ва ўрта қувватли асинхрон двигателларни электр тармоғига бевосита улаб ишга туширилганда ишга тушириш токининг таъсири деярли сезилмайди. Бунда ишга туширилаётган двигателларнинг қуввати электр тармоғи (генератор ёки трансформатор) қувватидан бир неча марта кичик бўлиши керак. Агар қисқа туташтирилган роторли асинхрон двигателларни электр тармоғига бевосита улаб ишга тушириш имконияти бўлмаса, яъни асинхрон двигателларнинг қуввати электр тармоғи қувватига яқин бўлса, ишга тушириш токи бошқа бирор усул билан камайтирилади.

Двигателни учбурчак схемадан юлдуз схемага ўтказиб ишга тушириш. Двигателни ишга тушириш пайтида унга пасайтирилган кучланиш бериш орқали ишга тушириш токини камайтириш мумкин.

Статор чулғами учбурчак схемада ишлашга мўлжалланган асинхрон двигателнинг мазкур чулғамини учбурчак усулида улашдан юлдуз усулида улашга ўтказиб, двигателни ишга туширишни кўриб чиқайлик (9.29 расм). Двигателни ишга тушириш қуйидаги тартибда бажарилади. Рубильник 2-ҳолатига ўтказилиб, двигателни электр тар-



9.29- расм.

моғига уласак, статор чулғами юлдуз схемада уланган бўлади. Бунда двигатель фазасига бериладиган кучланиш линия кучланишидан $\sqrt{3}$ марта кичик бўлади. Демак, фаза токи ҳам $\sqrt{3}$ марта камаяди. Маълумки, чулғамлар юлдуз схемада уланганда линия токи фаза токига тенг бўлади, бунда ишга тушириш токи:

$$I_{\text{и. т}\lambda} = \frac{U_{\text{ф}\lambda}}{Z_{\text{ф}}} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}Z_{\text{ф}}},$$

бу ерда $I_{\text{и.т}\lambda}$ — юлдуз схемада уланган двигателнинг ишга тушириш токи; $U_{\text{л}}$ — электр тармоғининг линия кучланиши; $Z_{\text{ф}}$ — статордаги фаза чулғамининг қаршилиги.

Рубильник *2* „иш“ ҳолатига ўтказилганда, яъни статор чулғамлари „учбурчак“ схемада уланганда фазадаги ишга тушириш токи:

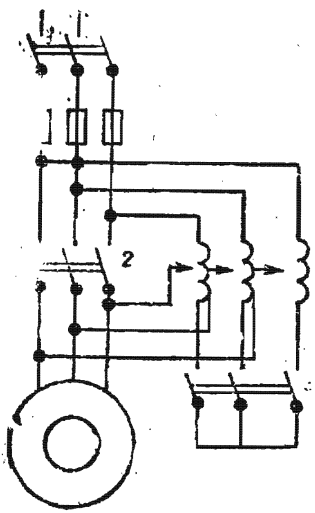
$$I_{\text{и. т ф}} = \frac{U_{\text{ф}\Delta}}{Z_{\text{ф}}} = \frac{U_{\text{л}}}{Z_{\text{ф}}}$$

ва линиядаги ишга тушириш токи

$$I_{\text{и. т}\Delta} = \frac{\sqrt{3}U_{\text{л}}}{Z_{\text{ф}}}.$$

$I_{\text{и.т л}}$ ва $I_{\text{и.т}\Delta}$ ни таққосласак:

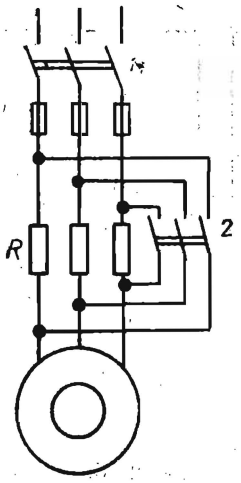
$$\frac{I_{\text{и.т л}}}{I_{\text{и.т}\Delta}} = \frac{1}{\sqrt{3}}.$$



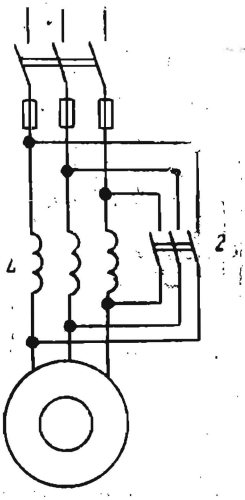
9.30- расм.

Шундай қилиб, двигателнинг ишга тушириш токи статор чулғамларини юлдуз схемада уланганда учбурчак схемада улангандагига нисбатан $\sqrt{3}$ марта кичик бўлади. Лекин $M \equiv U^2$ бўлганлиги сабабли мазкур усулда ишга туширилаётган двигателнинг айлантирувчи моменти уч марта камаяди. Демак, бу усулдан двигателни фақат салт ишлатиш ёки валга қўйилган юкланиш кичик бўлганда фойдаланиш мумкин.

Ишга тушириш токини камайтириш мақсадида двигателнинг статор чулғамларига бериладиган кучланиш қийматини автотрансформатор ҳамда актив ёки индуктив қаршилик билан ҳам пасайтириш мумкин.



9.31- расм.



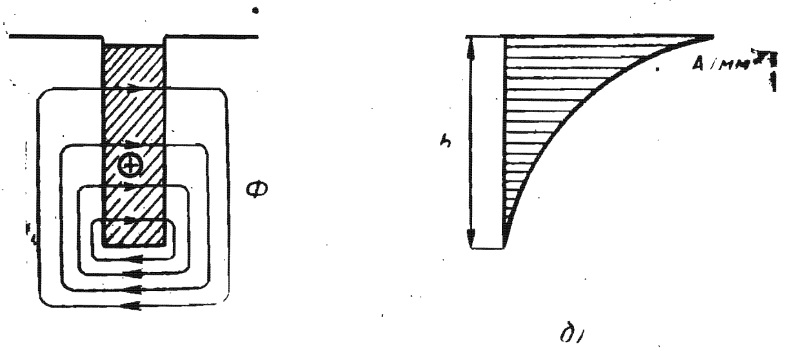
9.32- расм.

Автотрансформатор ёрдамида ишга тушириш усулида (9.30-расм) рубильник *2* узиб қўйилган ҳолатда рубильник *3*, сўнгра рубильник *1* уланади ва статор чулғамига пасайтирилган кучланиш берилади. Двигатель ротори берилган кучланишга мос тезлик билан айлана бошлагандан кейин автотрансформатор ёрдамида кучланиш оширилади. Ротор айланиш тезлиги номиналга етганда рубильник *3* ажралиб, рубильник *2* уланади ва статор чулғамларига бевосита тармоқ кучланиши берилади.

Двигателни ишга тушириш вақтида пасайтирилган кучланиш бериш учун статор чулғамига кетма-кет қилиб актив ёки индуктив қаршиликларни улаш 9.31 ва 9.32-расмларда кўрсатилган. Ишга тушириш вақтида рубильник *2* узиб қўйилган ҳолатда рубильник *1* уланади. Ток электр тармоғидан статор чулғамларига актив ёки индуктив қаршиликлар орқали ўтиб, уларда кучланишларнинг пасаюви содир бўлади. Натижада статор чулғамларига пасайтирилган кучланиш берилади. Роторнинг айланиш тезлиги ортиб ишга тушириш токи камайганда рубильник *2* уланади ва статор чулғамлари электр тармоғининг номинал кучланиши таъсирида бўлади.

ЧУҚУР ПАЗЛИ ВА ҚЎШ ЧУЛҒАМЛИ АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЛАРНИ ИШГА ТУШИРИШ

Асинхрон двигателлар роторининг конструкциясини ўзгартириб, масалан, чуқур пазли ва қўш чулғамли қилиб, уларнинг ишга тушириш токини камайтириш ва ишга тушириш моментини ошириш мумкин.



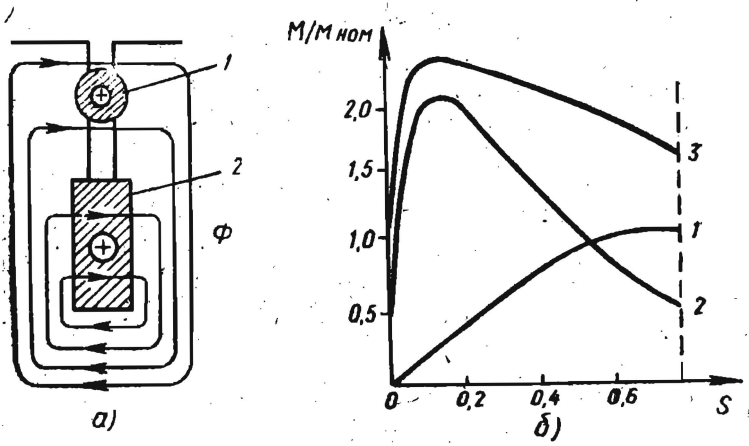
9.33- расм.

Чуқур пазли двигатель роторидаги пазнинг баландлиги энига нисбатан бир неча марта каттадир (9.33- расм, *а*). Роторнинг пазларига мис чулғамлар (стерженлар) жойлаштирилиб, иккала томонидан мис ҳалқаларга кавшарлаб бириктирилган бўлади.

Двигателни ишга тушириш пайтида ($S=1$) ротор токининг частотаси энг катта бўлганда чулғам пастки қисмининг индуктив қаршилиги юқори қисмининг индуктив қаршилигидан анча катта бўлади. Бунга ротор токи ҳосил қилган магнит оқимининг куч чизиқлари чулғамнинг ротор юзасига яқин қисмига нисбатан пастки қисмини кўпроқ кесиб ўтиши сабаб бўлади. Натижада ротор токининг тақсимланиши 9.33- расм, *б* да кўрсатилгандек бўлади. Бундан кўринадики, ротор токининг кўп қисми, асосан, чулғамнинг юқори қисми орқали ўтади, бу қисмнинг кўндаланг кесими нисбатан кичик бўлгани туфайли ротор чулғами актив қаршилигининг ортишига олиб келади. Ротор чулғами актив қаршилигининг ортиши ишга тушириш токининг камайишига ва ишга тушириш моментининг ортишига олиб келади.

Ротор айланиш тезлигининг ортиши билан ротор токи частотасининг камайиши чулғам пастки қисми индуктив қаршилигининг ҳам камайишига олиб келади. Двигатель номинал режимда ишлаганида ротор чулғамидаги токнинг тақсимланиши бир текис бўлиб, ротор чулғами актив қаршилигининг камайишига эришилади.

Қўш чулғамли асинхрон двигателнинг роторида қисқа туташтирилган иккита чулғам бўлади (9.34- расм, *а*). Чулғамлардан бири роторнинг ташқи юзасига яқин жойлашган бўлиб, кўндаланг кесими кичик, актив қаршилиги эса катта жез ёки бронза стерженлардан (9.34- расм, *а* даги *1*), иккинчиси ундан чуқурроқда, кўндаланг кесими катта, актив қаршилиги камроқ бўлган мис стерженлардан (9.34- расм, *а* даги *2*) иборат бўла-



9.34- расм.

ди. Ташқи чулғам *1* ни камроқ магнит куч чизиқлари кесиб ўтганлиги учун унинг индуктив қаршилиги анча кичик, ички чулғам *2* ни кўпроқ магнит куч чизиқлари кесиб ўтганлиги учун унинг индуктив қаршилиги катта бўлади.

Двигателни ишга тушириш пайтида ($S = 1$) ротор токининг частотаси тармоқ частотасига тенглашади, ротор чулғамининг индуктив қаршилиги эса энг катта қийматга эришади. Ташқи чулғамнинг индуктив қаршилиги кичик, актив қаршилиги катта бўлганлиги учун у асосий ишга тушириш моментни ҳосил қилади. Шунинг учун уни *ишга тушириш чулғами* дейилади. Бунда ташқи чулғам орқали кам ток ўтади, лекин унинг актив ташкил этувчиси катта бўлиб, ишга тушириш моментининг катта бўлишига сабаб бўлади. Айланиш тезлиги орта бориши билан ротор токининг частотаси камаяди. Натижада ротор чулғамининг индуктив қаршилиги ҳам тегишлича камаяди. Номинал режимда токнинг аксарият қисми актив қаршилик кам бўлган ички чулғам орқали ўтади. Ушбу чулғам *иш чулғами* деб аталади.

Қўш чулғамли двигателларда айлантирувчи момент M ишга тушириш ва иш чулғамларида ҳосил бўлган $M_{и.т}$ ва $M_{иш}$ моментлар йиғиндисидан иборат. 9.34- расм, *б* да қўш чулғамли двигателнинг ишга тушириш пайтидаги (*1*), иш пайтидаги (*2*) ва иккала чулғам ҳосил қилган $M = f(S)$ боғланишлари (*3*) кўрсатилган.

Қўш чулғамли двигателларда ишга тушириш моментининг катта қиймати таъминланиши билан бирга, ишга тушириш пайтида ротор чулғами қаршиликларининг ортиши ҳисобига ишга тушириш токининг камроқ бўлишига эришилади.

9.12. АСИНХРОН МАШИНАНИНГ ГЕНЕРАТОР ВА ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТОРМОЗ РЕЖИМЛАРИ

Асинхрон машиналар фақат двигатель режимида эмас, балки генератор ва электромагнит тормоз режимларида ҳам ишлаши мумкин (9.35-расм). Ана шу режимлар асинхрон машинанинг механик характеристикасида кўрсатилади.

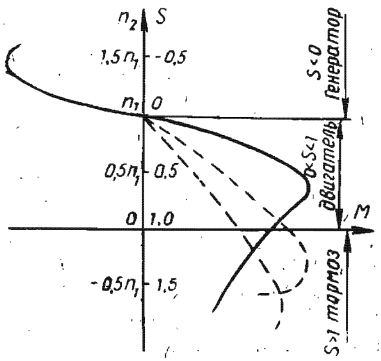
Асинхрон машинанинг электромагнит тормоз режими двигателнинг роторини тез тўхтатиш зарур бўлган ҳолларда қўлланилади. Агар ишлаётган асинхрон двигателнинг айланувчан магнит майдони йўналиши махсус улаш йўли билан ўзгартирилса, двигателнинг айланувчан қисмлари билан ижрочи механизмнинг инерция кучлари ротрнинг аввалги йўналишда айланишини давом эттиради. Бунда айлантирувчи момент, машинанинг айнан двигатель режимидаги каби, айланувчан магнит майдони йўналишида бўлиб, роторнинг айланишига тескари таъсир қилади. Натижада ротор тормозланиб, машина электромагнит тормоз режимида ишлайди, сирпаниш эса $S > 1$ бўлади (9.36-расм, *а*). Масалан, лифт, эскалатор, кўтарма кран ва бошқаларда юкларни туширишда юкдан ҳосил бўлган момент G двигателнинг роторини айланувчан магнит майдони йўналишига тескари йўналишда айланишга мажбур қилади.

Электромагнит тормоз режимида фаза роторли асинхрон двигателларнинг ротор занжирига қўшимча актив қаршилик улаш йўли билан, 9.35-расмда штрих чизиқларда кўрсатилган механик характеристикалардан бирортасини олиш мумкин. 9.35-расмдан кўринадики, характеристиканинг $S > 1$ қисмида максимал момент ва шунинг билан бирга барқарор электромагнит тормоз таъминланади.

Электромагнит тормозлашнинг асосий афзаллиги — кичик тезликларда, ҳатто $n_2 = 0$ да ҳам катта тормозловчи момент ҳосил қилишидир.

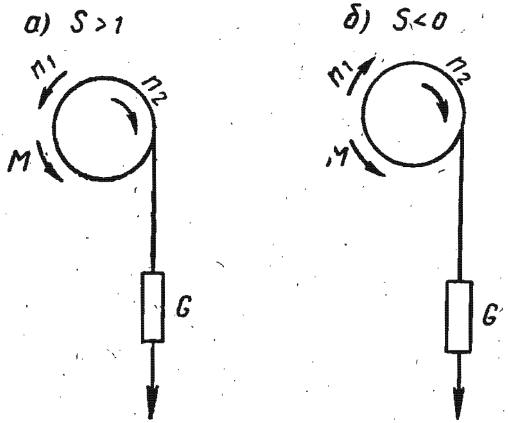
Агар ишлаётган асинхрон двигатель бирламчи двигатель ёрдамида статор магнит майдонининг айланиш тезлигидан катта тезлик билан айлантирилса, сирпаниш манфий бўлади, яъни

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} < 0.$$



9.35-расм.

Бундай статор чулғамида ҳосил қилинган ЭЮК ва токнинг йўналиши тескари томонга ўзгаради. Натижада роторнинг айлантирувчи моменти ҳам ўз йўналишини ўзгартиради ва айлантирувчи момент ҳолда (двигатель режимида) тескари таъсир этувчи моментга (бирламчи двига-



9.36- расм.

телнинг айлантирувчи моментига нисбатан) айланиб қолади. Бундай ҳолда асинхрон машина двигаталь режимидан генератор режимига ўтиб, бирламчи двигателниг механик энергиясини электр энергияга айлантиради (9.36- расм, *б*).

Асинхрон машина генератор режимида айланувчан магнит майдонини ҳосил қилиш учун электр тармоғидан зарурий реактив энергияни олади, лекин тармоққа, бирламчи двигателни механик энергиясининг ўзгариши натижасида, олинган актив энергияни истеъмолчига беради. Шунга эътибор бериш керакки, асинхрон генераторлар фақат синхрон генераторлар билан биргаликдагина ишлаши мумкин, бунда синхрон генераторлар реактив энергия манбаи вазифасини ўтайди.

Асинхрон генератор алоҳида ҳам ишлаши мумкин. Лекин бу ҳолда генераторни магнитлашга зарурий реактив қувватни олиш учун, унга параллел қилиб уланган конденсаторлар батареясидан фойдаланилади.

Асинхрон генераторларнинг синхрон генераторларга қараганда айрим камчиликлари бор: тармоқдан кўпроқ реактив қувват олиши; алоҳида шароитда ўз-ўзидан уйғониши учун махсус конденсаторлар батареяси бўлишини талаб этиши. Шунинг учун уларнинг қўлланиши чекланган дир.

9.13. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ АЙЛАНИШ ТЕЗЛИГИНИ РОСТЛАШ ВА АЙЛАНИШ ЙЎНАЛИШИНИ ЎЗГАРТИРИШ (РЕВЕРСЛАШ)

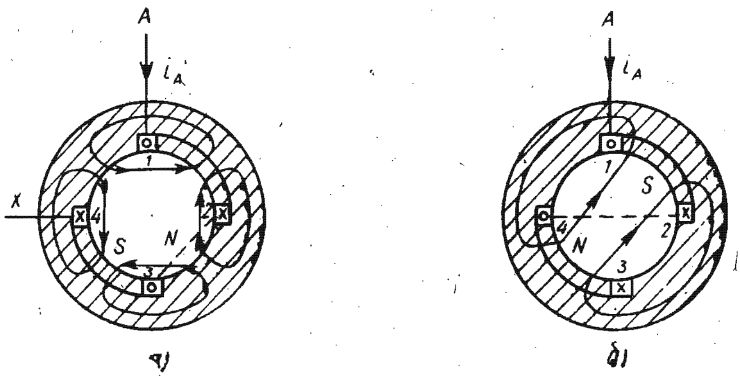
Асинхрон двигателнинг айланишлар тезлиги $n_2 = \frac{60f_1}{p}(1 - S)$ бўлгани учун унинг тезлигини статор токининг частота-

си f_1, жуфт қутблар сони p ёки сирпаниш S ни ўзгартириш билан ростлаш мумкин.

Статор токининг частотасини ўзгартириш билан тезликни ростлаш статор айланувчи магнит майдонининг айланиш тезлигини ўзгартиришга асосланган. Бу усул двигатель тезлигини бир текис ва кенг доирада ростлаш имконини беради, аммо бунда махсус частота ўзгартиргич бўлиши керак. Натижада бундай қурилма мураккаблашади ва двигателнинг фойдали иш коэффициентини камайтиради. Амалда бундай усул электр тармоғига уланган бир нечта асинхрон двигателларнинг тезликларини ростлашда қўлланилади. Частота ўзгартиргичлардан энг истиқболлиси тиристорли частота ўзгартиргичдир. Бу усул билан айланишлар сони катта бўлган асинхрон двигателларнинг тезлиги бошқарилади.

Статор чулғамининг жуфт қутблар токини ўзгартириш билан двигателнинг тезлигини ростлаш усули, асосан, қисқа туташтирилган роторли двигателларда қўлланилади. Бунга сабаб шуки, қисқа туташтирилган роторда қутблар сони доимо статор чулғамининг қутблар сонига тенг бўлади. Шу сабабли, двигателнинг айланишлар тезлигини ўзгартириш учун статорнинг чулғамлари сонини ўзгартириб улашнинг ўзи етарлидир. Фаза роторли двигателларда эса статор чулғамининг уланиш тартибини ўзгартириб улашдан ташқари, ротор чулғамини ҳам тегишли ўзгартириш зарур бўлади. Статор чулғамининг жуфт қутблар сонини ўзгартириш билан статор айланувчи магнит майдонининг тезлиги ўзгаради. Демак, роторнинг айланишлар тезлигини ўзгартиришга эришилади. Двигателнинг айланишлар тезлигини бундай усулда бошқаришда унинг статорига қутблар сони турлича бўлган бир нечта чулғам ёки қутблар сони ўзгартирилиши мумкин бўлган махсус қўшимча чулғам ўрнатилади.

9.37- расмда ҳар бир фазаси иккита ғалтакдан иборат бўлган статор чулғамининг уланиш схемасини кетма-кет улашдан (9.37- расм, *а*) параллел улашга ўтказиб (9.37- расм, *б*), жуфт



9.37- расм.

қутблар сонини ўзгартириш кўрсатилган. Бунда фаза ғалтаклари кетма-кет улашдан параллел улашга ўтгазилганда жуфт қутблар сони $p = 2$ дан $p = 1$ га камаяди. Бунда синхрон тезлик 1500 дан 3000 айл/мин гача ўзгаради. Демак, двигатель ҳам бир-биридан икки марта фарқ қилувчи иккита тезликка эга бўлади. Бундай двигателлар *икки тезликли двигателлар* деб аталади. Саноатда икки тезликли асинхрон двигателлар қуйидаги синхрон тезликларда ишлаб чиқарилади: 300/150; 1500/750; 1000/500 айл/мин ва ҳ. к.

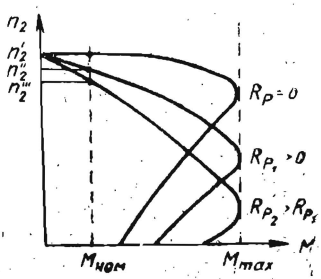
Уч тезликли ва тўрт тезликли двигателларнинг статорида иккитадан мустақил чулғамлар бўлиб, уларнинг биринчисида иккита тезлик ҳосил қилинса, иккинчисида битта (уч тезликли двигателда) ёки иккита (тўрт тезликли двигателда) тезлик ҳосил қилинади. Бундай двигателлар қуйидаги синхрон тезликларга эга бўлиши мумкин: уч тезликли — 1500/1000/750, 1000/750/500 айл/мин; тўрт тезликли — 3000/1500/1000/500, 1500/1000/750/500 айл/мин.

Шундай қилиб, бир нечта тезликларда ишлашга мўлжалланган асинхрон двигателлар *кўп тезликли двигателлар* деб аталади.

Жуфт қутблар сонини ўзгартиришда тезлик равон эмас, балки поғонали тарзда бошқарилса ҳам, турли тезликларда механик характеристикасининг қаттиқлиги ва ростлашда тежамлилиги юқори бўлгани учун, бу усул металл кесиш дастгоҳларида, насос, элеватор, вентилятор ва лифт қурилмаларида кенг қўлланилади.

Сирпанишни ўзгартириш орқали двигатель тезлигини бошқариш усули фақат фаза роторли асинхрон двигателларда ишлатилади. Бунда ротор занжирига уч фазали реостат уланади. Бундай реостат ишга тушириш реостагларидан фарқли равишда узоқ вақт ишлашга мўлжалланган бўлиб, бошқариш реостати деб аталади. Мазкур реостатнинг уланиш схемаси 9 26-расмда кўрсатилган схемадан фарқ қилмайди.

Асинхрон двигателнинг ротор занжири актив қаршилигининг турли қийматлари учун қурилган $n = f(M)$ механик характеристикаси (9 38-расм) шуни кўрсатадики, ротор занжирининг актив қаршилиги ортиб бориши билан сирпанишнинг берилган юкланиш моментига тўғри келадиган қиймати катталашади, яъни двигателнинг айланишлар тезлиги камаяди. Агар реостат қаршилиги нолга тенг бўлса, двигатель синхрон тезликка яқин бўлган n_2' айланишлар тезлигига эга бўлади. Агар реостат қаршилиги нолдан катта бўлса, $n_2'' < n_2'$ бўлади ва ҳоказо.



9.38- расм.

Одатда, ростлаш реостатининг

қаршилиги поғонали тарзда ўзгартирилади. Бинобарин, двигателнинг айланишлар тезлиги ҳам шунга мос равишда ўзгаради. Ростлаш реостатларининг қизишга сарфланадиган қувват исрофи кўпайиши билан двигателнинг фойдали иш коэффициенти камаяди. Булардан ташқари, юкланиш моментининг озгина ўзгариши ҳам двигатель айланишлар тезлигининг кўпроқ ўзгаришига олиб келади. Лекин, бундай камчиликларга қарамасдан, тезликни ротор занжирига реостат улаш йўли билан бошқариш усули фаза роторли асинхрон двигателларда кенг қўлланилади.

Асинхрон двигателнинг айланиш йўналишини ўзгартириш (реверслаш) учун статор магнит майдонининг айланиш йўналишини ўзгартириш лозим. Бунинг учун двигателдаги фаза чулғамларининг манбага уланадиган исталган иккитасининг ўрнини алмаштириш кифоядир.

9.14. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЛАРНИНГ ҚУВВАТ КОЭФФИЦИЕНТИНИ ОШИРИШ

Асинхрон двигателларнинг статор чулғами занжири актив ва индуктив қаршиликларга эга. Электр тармоғига уланган двигателнинг статор чулғамига берилган электр энергиянинг бир қисми (актив қувват) двигателнинг роторида механик энергияга айланади, қолган қисми (реактив қувват) эса айланувчан магнит майдони ҳосил қилиш учун сарф бўлади.

Двигателга электр тармоғидан берилган тўла қувват $S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}$ га тенг. Актив қувват $P = U \cdot I \cos\varphi = S \times \cos\varphi$ ифодадан аниқланиб, двигатель ўқидаги юкланишнинг ўзгаришига боғлиқдир. Бунда $\cos\varphi$ *қувват коэффициенти* деб аталади ва актив қувват тўла қувватнинг қандай қисмини ташкил этишини кўрсатади. Реактив қувват (Q) двигатель ўқидаги юкланишнинг ўзгаришига боғлиқ эмас.

Двигателга берилган кучланиш ўзгармас бўлса, магнит оқими ва статор чулғамидаги токнинг реактив ташкил этувчиси ҳам ўзгармас бўлади. Юкланишнинг ўзгариши билан токнинг реактив ташкил этувчиси ўзгаришсиз қолиб, фақат актив ташкил этувчиси ўзгаради, яъни юкланишнинг кўпайиши билан $\cos\varphi$ ортади ва аксинча.

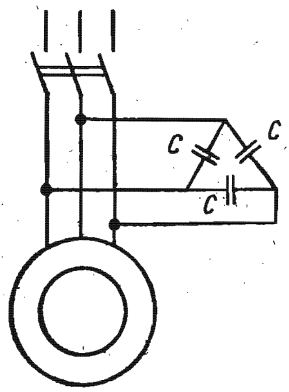
Асинхрон двигателларнинг берилган кучланиши ва қувватида қувват коэффициентининг камайиши билан тармоқдан олаётган токи ортади, яъни

$$I = \frac{P}{U \cos\varphi}.$$

Шундай қилиб, двигатель қувват коэффициентининг камайиши электр станциясидаги генераторларнинг, трансформаторларнинг номинал қувватидан тўла фойдаланишга имкон бермайди, шунингдек узатиш линияларида энергия исрофининг ортишига олиб келади. Масалан, агар двигателларнинг тўла

юкланишдаги қувват коэффициенти 0,75 ÷ 0,85 бўлса, кичик юкланишда cos φ камайиб кетади. Шунинг учун cos φ ни ошириш чоралари кўрилмаса, энергетик системанинг натижавий қувват коэффициенти кичик бўлади.

Двигателларнинг қувват коэффициенти қуйидагича оширилади. Двигателларни қувватига қараб тўғри танлаш керак. Агар двигатель кам юкланишда ишласа, cos φ кичик бўлади. Кам юкланиш билан ишлаётган двигателларни кичик қувватли двигателлар билан алмаштириш ва, илож борича, двигателларнинг салт ишлаш вақтини камайтириш лозим.



9.39- расм.

Агар двигатель қувватини тўғри танлаш орқали қувват коэффициентини керакли қийматга ошириш имконияти бўлмаса, махсус усуллардан фойдаланилади. Директив cos φ нинг қиймати 0,9 ÷ ÷ 0,92 оралиқда бўлади. cos φ < 0,9 бўлганда реактив қувватни компенсациялаш учун махсус компенсациялаш қурилмаси — статик конденсатор батареяларидан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Конденсаторлар двигателларга (уч фазали истеъмолчиларга) параллел қилиб учбурчак схемада уланади (9.39-расм). Конденсаторларнинг сиғимий реактив қуввати двигателнинг индуктив қувватини қисман компенсациялайди. Натижада реактив қувват камаяди, қувват коэффициенти эса ортади:

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)}}.$$

бу ерда Q_C — компенсацияловчи қурилманинг реактив қуввати.

9.15. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЛАРНИНГ ТУРЛАРИ

Умумий мақсадларда ишлатиладиган асинхрон двигателлар саноатда ягона серияда ишлаб чиқарилади. Бинобарин, қуввати ва айланишлар сони (тезлиги) бир хил бўлган битта серияда ги двигателлар қаерда ишлаб чиқарилишидан қатъи назар, умумий конструкция ва бир хил ўлчамларга эга бўлади.

Уч фазали асинхрон двигателларни дастлабки ягона сериясси бўлмиш А, АО сериялар 50-йилларда қўлланган. Бу сериядаги двигателларнинг қуввати 0,6 дан 100 кВт гача, габарит ўлчамлари етти хил бўлган. Асинхрон двигателларнинг биринчи сериясини иккинчи ягона серияга (АО2, А2) алмаштириш саноатда 1961 — 1965 йилларда ўзлаштирилди. Иккинчи серия двигателларининг қувват диапазони биринчи сериядагидек бўлиб, статор ўзаги ташқи диаметрининг ўлчамлари билан фарқ қиладиган, тўққизта габариг ўлчамга эга. АО2 ва

А2 сериядаги учфазали асинхрон двигателлар А ва АО серияларидан энергетик ва эксплуатацион кўрсаткичларининг анча юқорилиги билан фарқ қилади. I — V габаритли двигателлар механик ҳимояланган ва ёпиқ ҳолда совитиладиган (АО2), VI — XI габаритли двигателлар эса ҳимояланган (А2) ва ёпиқ ҳолда совитиладиган (АО2) двигателлардан таркиб топган.

Қуввати 100 кВт гача бўлган, А2 ва АО2 ягона сериядаги асинхрон двигателлар қуйидагича белгиланади:

А2 — ҳимояланган, умумий қўлланадиган, ишга тушириш моменти оширилган: АП2, АС2 — сирпаниши оширилган; АЛ2 — алюминий корпусли; АК2 — фаза роторли;

АО2 — ёпиқ ҳолда совитиладиган, умумий қўлланадиган; АОП2 — ишга тушириш моменти оширилган; АОС2 — сирпаниши оширилган: АОЛ2 — корпуси алюминийдан; АОТ2 — тўқимачилик саноати учун.

Асинхрон двигателнинг белгиланишида унинг қайси серияга тегишлилиги, габарити, статорининг узунлик номери (тартиб рақами) ва қутблар сони кўрсатилади. Масалан, АО2-51-6 қуйидагиларни билдиради: ёпиқ ҳолда совитиладиган, ягона АО2 сериядаги уч фазали асинхрон двигатель, габарити V, статорининг узунлик номери биринчи, қутблар сони олтита.

Махсус шароитларда ишлаш учун мўлжалланган двигателларни белгилашнинг охирига ҳарф қўшилади. Масалан: Х — химиявий, Т — тропик, В — намга ва совуққа чидамли, Ш — кам шовқинли.

Асинхрон двигателлар турли хил синхрон тезликлар (3000, 1500, 1000 ва 750 айл/мин) га ҳамда 127/220, 220/380 ва 380/660 В номинал кучланишга мўлжаллаб ясалади. Агар двигатель 220/380 В кучланишга мўлжалланган бўлса, тармоқ кучланиши 380 В бўлганда двигателнинг статор чулғамини юлдуз схемада улаш, тармоқ кучланиши 220 В бўлганда эса учбурчак схемада улаш лозим. Ҳар иккала ҳолда ҳам фаза кучланиши 220 В га тенглигича қолади.

Ҳозирги вақтда саноатда 4А (ёпиқ ҳолда совитиладиган) ва 4АН (ҳимояланган) сериядаги уч фазали асинхрон двигателлар ишлаб чиқарилмоқда. Булар тўртинчи серияга мансуб, қуввати 0,12 дан 400 кВт гача бўлган двигателларни ўз ичига олади. Бу сериядаги двигателлар қуйидаги номинал кучланишларга мўлжалланган: 220/380 В — қуввати 0,37 кВт гача; 220/380 ва 380/660 В — қуввати 0,55 кВт дан 110 кВт гача; 380/660 В — қуввати 132 кВт дан ортиқ.

Янги турдаги ушбу двигателлар аввалгиларга нисбатан қуйидаги афзалликларга эга: оғирлиги (ўртача 18% га) камайтирилган, габарит ўлчамлари кичрайтирилган, айланиш ўқи пастроқ ўрнатилган, ишга тушириш моменти оширилган, шовқин ва тебраниш даражаси пасайтирилган, монтаж қилиш қулайлаштирилган, фойдали иш коэффициенти оширилган, қувватлар шкаласи ва ўлчамлари халқаро стандартларга яқинлаштирилган.

4А серияда двигатель турининг янгича белгилаш схемаси қабул қилинган: эски сериядагига ўхшаш статор ўзагининг шартли диаметрининг ўлчами ўрнига валнинг айланиш баландлиги (роторнинг айланиш ўқидан таянч юзасига бўлган масофа) киритилган бўлиб, у 50 мм дан 380 мм гачадир.

Саноатда 4А серияда айланиш ўқининг баландлиги 50 мм дан 350 мм гача бўлган барча двигателлар, 4АН серияда эса айланиш ўқининг баландлиги 160 мм дан юқори бўлган двигателлар ишлаб чиқарилади.

4А ягона сериядаги асинхрон двигателларнинг хили ва ўлчамларини билдирувчи ҳарфли ва рақамли белгилар қуйидагиларни англатади: 4 — двигатель сериясининг номери; А — двигателнинг хили (асинхрон); Н — двигатель ташқи муҳит таъсиридан ҳимояланган (бу ҳарфнинг бўлмаслиги двигатель ёпиқ ҳолда совитилишини билдиради); А ёки Х — двигателнинг станина ва қалқони қандай материалдан ясалганлигини (биринчи ҳарф станина ва қалқоннинг алюминийдан ясалганлигини, иккинчи ҳарф станинанинг алюминийдан, қалқоннинг эса чўяндан ясалганлигини, агар ҳарф бўлмаса станина ва қалқоннинг чўян ёки пўлатдан ясалганлигини) билдиради; иккита ёки учта рақам — двигатель айланиш ўқининг баландлиги; *S*, *M*, *L* — станинанинг узунлиги бўйича ўлчами (ушбу ҳарфлар иккита ёки учта рақамдан кейин туради); А ёки В — статор ўзагининг узунлиги; 2, 4, 6, 8, 10 ёки 12 — қутблар сони, V — қандай иқлимда ишлатишга мўлжалланган; 3 — ўрнатилиш категорияси.

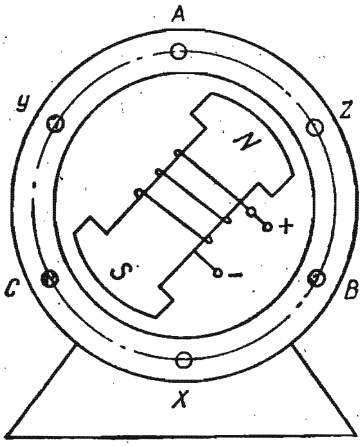
4А сериядаги двигателларнинг хили ва ўлчамларини белгилашнинг янги системаси қабул қилинган. Масалан, 4АН200М4У3 қуйидагини англатади: уч фазали қисқа туташтирилган роторли асинхрон двигатель, ҳимояланган IV серия, станина ва қалқони чўяндан ясалган, айланиш ўқининг баландлиги 200 мм, станина узунлиги бўйича ўрнатилган ўлчами *M*, тўрт қутбли, иқлим шароитига мослаб ясалган V (мўътадил иқлим), учинчи категория.

Сирпаниши оширилган двигателларда серия белгисидан кейин қўшимча „С“ белгиси қўйилади (4АС200 6У3). Кўп тезликли двигателларнинг белгиланишида қутблар сони келтирилган бўлади (4А200М12/8/2/6/4У3). Фаза роторли двигателларда 4А ёки 4АН, кейин „К“ белгиси қўйилади (4АНК280М4У3). Кам шовқинли двигателнинг белгиланишида қутблар сонидан кейин „Н“ белгиси қўйилади (4А160М6НУ3).

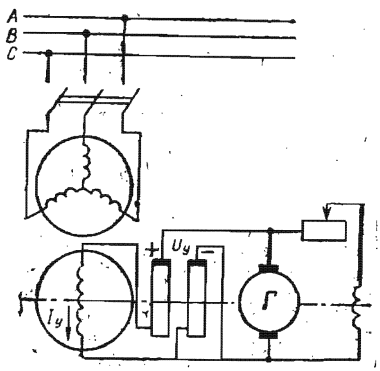
10-боб. СИНХРОН МАШИНАЛАР

10.1. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР. СИНХРОН МАШИНАЛАРНИНГ ИШЛАШ ПРИНЦИПИ

Айланиш тезлиги (n) ўзгармас бўлиб, статор токининг частотаси $f = \frac{pn}{60}$ нисбат орқали боғлиқ бўлган ўзгарувчан ток машинаси *синхрон машина* деб аталади.



10.1- расм.



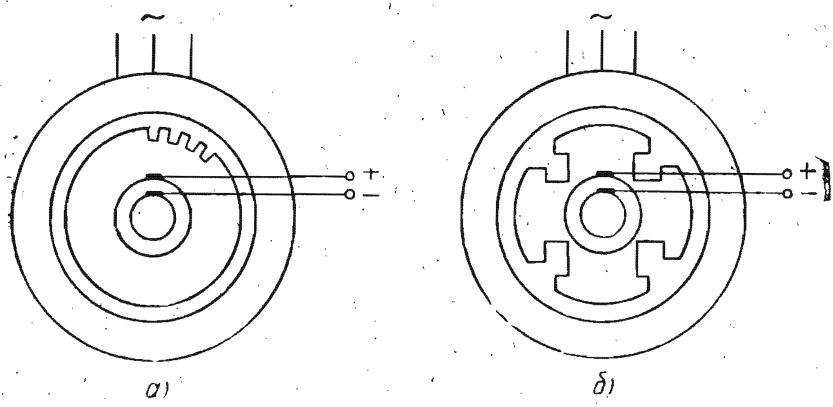
10.2- расм.

Синхрон машиналар электр генераторлари, двигателлари ва реактив қувват компенсаторлари сифатида ишлатилади. Барча электр машиналари каби улар ҳам қайтувчанлик хусусиятига эга. Синхрон машиналар, асосан, барча электр станцияларда уч фазали электр генераторлари сифатида ишлатилмоқда. Замонавий иссиқлик электр станцияларида қуввати 800 кВа ва ундан ортиқ бўлган генераторлар ўрнатилган. Гидравлик электр станциялардаги генераторларнинг қуввати бирмунча кам бўлиб, 500 — 600 кВА ни ташкил этади. Атом электр станцияларида эса битта блокнинг қуввати 1.5 минг МВА га етади.

Статор ва ротор синхрон машинанинг асосий қисмлари ҳисобланади. Статорнинг ўзаги ўзаро изоляцияланган электротехник пўлат япроқчалардан йиғилган бўлиб, цилиндрсимон яхлит корпуснинг ички сиртига маҳкамланади. Статор ўзагининг ички қисмидаги пазларга уч фазали ўзгарувчан ток чулғамлари жойлаштирилади (10 1- расм).

Машина ўқига маҳкамланган контакт ҳалқаларига ротор чулғамининг икки учи маҳкамланган бўлиб, ҳалқалар сиртида қўзғалмас ток уловчи чўткалар сирпанади. Ротор учун доимий ток манбаи сифатида қуввати унча катта бўлмаган ўзгармас ток генератори — уйғотгич ишлатилади. Одатда, уйғотгичнинг қуввати синхрон машина қувватининг (1 — 3)% ини ташкил этади. Айрим ҳолларда синхрон генератор ҳосил қилган токни тўғрилаш йўли билан доимий ток ҳосил қилинади. 10.2- расмда синхрон машинанинг электр схемаси тасвирланган 10.3- расмда эса синхрон машинанинг асосий турлари кўрсатилган.

Яққол кўринадиган қутбли синхрон машиналарни тайёрлаш технологиясини ҳамда конструкциясининг механик мустаҳкам-



10.3-расм

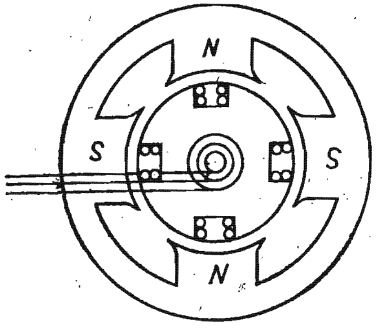
лигини таъминлаш учун уларни айланиш тезлиги 1000 айл/мин дан кам бўлган ҳолларда ишлатиш учун тавсия этилади. Аниқ намоён қутбли генераторнинг бирламчи двигатели сифатида, кўпинча, гидравлик турбина ишлатилади. Шунинг учун бундай генераторлар *гидрогенераторлар* деб аталиб, уларнинг айланиш тезлиги 60 дан 750 айл/мин оралиғида бўлади. Тезликнинг бундай катта оралиқда ўзгариши гидростанцияларда сув босими ва исрофининг турлича бўлиши билан боғлиқдир. Гидрогенератор қутбларининг сони гидротурбинанинг тезлигига боғлиқ ҳолда бир неча ўнтагача бўлиши мумкин (10.3-расм, *б*). Масалан, турбинанинг айланиш тезлиги 75 айл/мин ва стандарт частота 50 Гц бўлганда $P = 60f/n_2 = (60 \cdot 50)/75 = 40$ жуфт қутб ёки 80 та қутб бўлади.

Яққол кўринмайдиган қутбли машиналар, асосан, роторнинг айланиш тезлиги катта 1500, 3000 айл/мин бўлганда қўлланилади. Бундай машина роторининг конструкцияси бўртиб чиқмаган қутб сифатида, яъни уйғотиш чулғами жойлаштириладиган пазли цилиндрсимон шаклда ясалади (10.3-расм, *а*). Яққол кўринмайдиган қутбли генераторларнинг бирламчи двигатели сифатида буғ турбинаси қўлланилгани учун бундай генераторлар *турбогенераторлар* деб аталади.

Синхрон двигателлар қуввати бир неча ўн минг киловаттгача ва яққол кўринадиган қутбли қилиб ишлаб чиқарилади.

Синхрон машиналарнинг ишлаш принципи ротор чулғамига ўзгармас ток берилганда, ўзгармас магнит майдони ҳосил бўлиши ва ротор билан бирга айланиб статор чулғамларини кесиб ўтиб, уларда частотаси f га тенг бўлган ЭЮК индукциялашига асосланган.

Агар статор чулғамларига нагрузка қаршилиги $Z_н$ ни уласак, генераторнинг фаза чулғамларида ҳосил бўлган i_A, i_B ва



10.4- расм.

i_C токлар тезлиги $\left(n_1 = \frac{60f}{p}\right)$ ротор тезлигига тенг бўлган айланувчан магнит майдони ҳосил қилади. Шунинг учун бундай электр машиналар, роторнинг айланиш тезлиги статор магнит майдонининг айланиш тезлигига тенг бўлгани учун. *синхрон машиналар* деб юритилади. Қуввати нисбатан катта бўлмаган (100 кВА гача) машиналарнинг ўзгармас ва ўзгарувчан ток чулғамлари, кўпинча ўзаро ўрин алмашган бўлади (10.4-расм). Истеъмолчи уланадиган чулғам роторга, уйғотиш чулғами эса статорга жойлаштирилади.

10.2. СИНХРОН ГЕНЕРАТОРНИНГ САЛТ ИШЛАШИ. НАГРУЗКАЛИ ИШ РЕЖИМИ. ЯКОРЬ РЕАКЦИЯСИ.

Аввалги параграфда кўриб ўтилганидек, синхрон машинанинг магнит майдони оқими, уйғотиш чулғамининг ($\bar{F}_у$) ва статор чулғамининг МЮК ларининг биргаликда таъсири натижасида ҳосил қилинади. Генератор салт ишлаганда магнит майдони оқими фақат уйғотиш токи ёрдамида ҳосил қилинади, яъни $\Phi_{нат} = \Phi_у$ бўлиб, статор фаза чулғамларида роторнинг қутб ўқи бўйича йўналган ЭЮК ни индукциялайди, яъни

$$E_0 = 4{,}44 f K^0_1 w_1 \Phi_у.$$

Асосий магнит майдон оқими уйғотиш токига пропорционал бўлгани учун ЭЮК қийматини уйғотиш токи қийматини катта диапозонда ўзгартириб, ростлаш мумкин

Статор чулғамларида индукцияланувчи ЭЮК нинг частотаси $f = \frac{p \cdot n}{60}$ эканлигини билган ҳолда

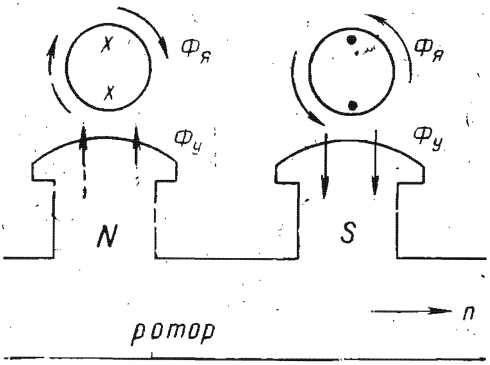
$$E_0 = 4{,}44 \frac{K_{01} \cdot w_1 \cdot p}{60} \Phi_у \cdot n = c_E n \Phi_у,$$

деб ёзиш мумкин, яъни синхрон машинанинг ЭЮК магнит майдони оқимига ҳамда айланиш тезлигига пропорционалдир.

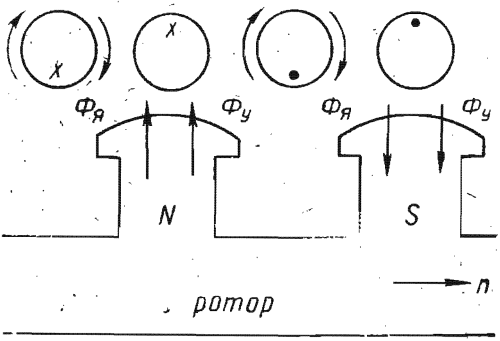
Генератор юкланиш билан ишлаганда статор чулғамларидан оқиб ўтаётган ток роторнинг асосий магнит майдони оқимига тескари йўналган магнит оқимини ҳосил қилиши натижасида якорь реакцияси ҳосил бўлади.

Турли юкланишлар учун якорь реакцияси таъсирини акс таъсирини кўриб чиқамиз.

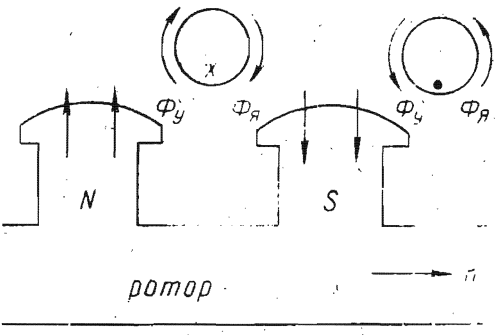
Актив истеъмолчи ($\varphi=0$). 10.5- расмда роторнинг икки қутби ва статор чулғами кўрсатилган. Роторнинг расмда кўрсатилган стрелка йўналиши бўйича ҳаракатланиши натижасида статор чулғамларида ўтказгични юқори қисмида кўрсатилган изланишда индукцияланган ЭЮК ҳосил бўлади. Кўрилаётган ҳолда статор токининг йўналиши ЭЮК йўналиши билан мос тушгани учун унинг йўналишини ҳам ЭЮК йўналишини кўрсатгандек, ўтказгичнинг пастки қисмида кўрсатамиз. Қарама-қарши йўналган $\Phi_я$ (иккиламчи статорнинг магнит оқими) таъсирида ҳам бир қутбнинг ярми магнитсизланади, иккинчи ярми эса магнитланади. Бу ҳолда статорнинг магнит майдони кўндаланг майдон, деб ҳисобланади. Якорь реакцияси умумий магнит майдони ўқининг айланиш йўналиши бўйлаб силжишига сабаб бўлади. Тўйинишнинг таъсири туфайли умумий магнит майдони бироз сусаяди: қутбларнинг яқинлашаётган қисмида кўпроқ сусайиб, узоқлашаётган қисмида кучаяди.



10.5- расм.

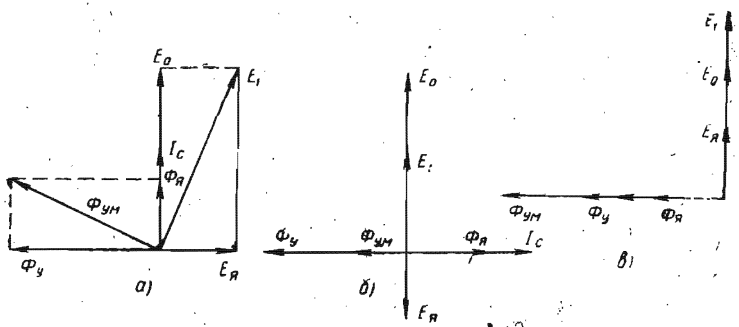


10.6 расм.



10.7- расм.

Индуктив истеъмолчи ($\varphi=\pi/2$). Статордаги фаза токи ро-



10.8- расм.

тор қутби $\pi/2$ ёки 90° градусга илгарилаб кетгандагина ўзининг максимал қийматига эришади, чунки токнинг мусбат максимум қийматига ЭЮК нинг мусбат максимум қиймати мос келади. 10.6- расмдан кўриниб турибдики, статор магнит майдонининг оқими ротор қутби бўйича йўналган бўлиб, ротор майдони оқимига қарама-қарши йўналгандир. Бундай якорь реакцияси *кўндаланг магнитсизловчи якорь реакцияси* деб аталади.

Сиғимли истеъмолчи ($\varphi = -\pi/2$). Статор токи ўзининг максимум қийматига ротор қутби фаза чулғами ўртасидан $\pi/2$ масофада бўлганда эришади, яъни ЭЮК ўзининг мусбат энг катта қийматига токнинг мусбат энг катта қийматидан сўнг эришади. Бундай ҳолда якорь реакцияси бўйлама магнитловчи бўлади.

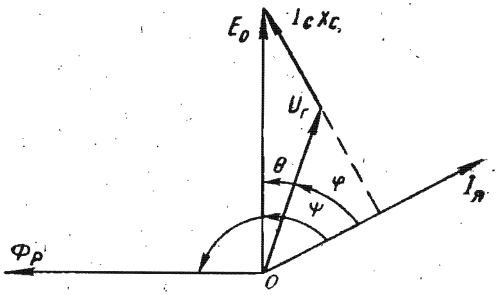
Келтирилган ҳоллар учун якорь реакциясининг таъсири 10.8- расмда келтирилган ЭЮК, магнит оқими ва токларининг вектор диаграммаси орқали намойиш қилинган. 10.8- расм, *а* да кўрсатилгандек, актив истеъмолчи учун якорь реакцияси кўндалангдир.

10.8- расм, *б* ва *в* да кўрсатилгандек, якорь реакцияси бўйлама бўлиб, индуктив истеъмолчи ҳолида натижавий магнит оқими, бинобарин ЭЮК ни ҳам камайтиради. Сиғимли истеъмолчи ҳолида эса натижавий магнит оқими, яъни ЭЮК ҳам ошади. Юқорида айтилган хулосаларни умумий ҳолда $-\frac{\pi}{2} < \varphi < \frac{\pi}{2}$ бўлганда ҳам қўллаш мумкин. Бунда индуктив ток (актив-индуктив истеъмолчи) ЭЮК ни камайтириб, машинани магнитсизлайди, сиғим токи (актив-сиғимли истеъмолчи) машинани магнитлаб, ЭЮК ни оширади.

10.3. СИНХРОН ГЕНЕРАТОРНИНГ ЭЛЕКТР ҲОЛАТИ ТЕНГЛАМАСИ ВА СОДДАЛАШТИРИЛГАН ВЕКТОР ДИАГРАММАСИ

Синхрон машинадаги магнит оқимларини алоҳида-алоҳида кўриб чиқайлик. Роторнинг магнит оқими статор чулғамида салт ишлаш ЭЮК E_0 ни ҳосил қилса, ротор орқали ва ҳаво

бўшлиғи орқали бирикадиган статор сочилиш оқими сочилиш ЭЮК E_c ни ҳосил қилади. Якорь реакцияси туфайли ҳосил бўлган магнит оқими эса статор чулғамида якорь реакцияси ЭЮК $E_я$ ни ҳосил қилади.



10.9- расм.

Статор магнит оқими туфайли пўлат ўзакнинг тўйиниш таъсирини ҳисобга олмасак ва статор магнит майдон оқими статор токига пропорционал эканлигини ҳисобга олган ҳолда сочилиш ЭЮК ини қуйидаги кўринишда ёзишимиз мумкин:

$$\overline{E}_c = -j\overline{I}_1 X_C, \qquad (1)$$

бу ерда X_C — статор чулғамининг сочилиш оқими туфайли ҳосил бўлган индуктив қаршилиги.

Якорь реакциясининг ЭЮК ини эса статор чулғамида индукцияланган ўзиндукция ЭЮК деб қараш мумкин:

$$\overline{E}_я = -j\overline{I}_1 X_я, \qquad (2)$$

бу ерда $X_я$ — статор чулғамининг индуктив қаршилиги.

Синхрон генераторнинг электр ҳолати тенгламасини чулғамнинг актив қаршилигини ҳамда (1) ва (2) ларни ҳисобга олган ҳолда қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\overline{U}_г = \overline{E}_0 + \overline{E}_c + \overline{E}_я - \overline{I}_1 r_c$$

ёки

$$\overline{U}_г = \overline{E}_0 - j\overline{I}_1 X_c - j\overline{I}_1 X_я - \overline{I}_1 r_c.$$

Сочилиш ЭЮК $\overline{F}_c$ ва якорь реакцияси ЭЮК $\overline{E}_я$ ток $\overline{I}_c$ га нисбатан $\pi/2$ радианга силжиганлигини ҳисобга олиб, ифодани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\overline{U}_г = \overline{F}_0 - j\overline{I}_c(X_р + X_c) - \overline{I}_c r_c.$$

Сочилиш оқими ва якорь реакциясини ҳисобга оладиган $X_р + X_c = X$ катталик *синхрон индуктив қаршилик* деб аталади. Бинобарин,

$$\overline{U}_г = \overline{E}_0 - j\overline{I}_c X - \overline{I}_c r_c.$$

Генератор номинал юкланганда индуктив кучланишнинг пасаювчи ($I_c X_c$) фаза кучланиши номинал қийматининг $10 \div 15\%$ ини ташкил этади. Статор чулғамининг актив қаршилиги нисбатан кичик бўлиб, ундаги кучланишнинг пасаюви $I_c r_c$ генератор номинал юкланганда $(1 \div 2)\%$ ни ташкил эта-

ди. Шунинг учун актив қаршиликдаги кучланиш пасайишини ҳисобга олмаган ҳолда

$$\overline{U}_г = \overline{E}_0 - j\overline{I}_с X,$$

деб ҳисоблаш мумкин.

Синхрон генераторнинг соддалаштирилган вектор диаграммасини қуриш учун роторнинг магнит оқими вектори $\overline{\Phi}_р$ ни бошланғич вектор сифатида қабул қилишимиз мумкин. Салт ишлаш ЭЮК ининг вектори $\overline{E}_0$ эса $\overline{\Phi}_р$ дан $\pi/2$ га кечикади.

Статор токи вектори $\overline{I}_с$ салт ишлаш ЭЮК ининг вектори $\overline{E}_0$ дан

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{X + X_н}{r_с + r_н}$$

ифода билан аниқланувчи φ бурчакка кечикади. Бу ерда $X_н$ ва $r_н$ генератор юкланишининг индуктив ва актив қаршилиги.

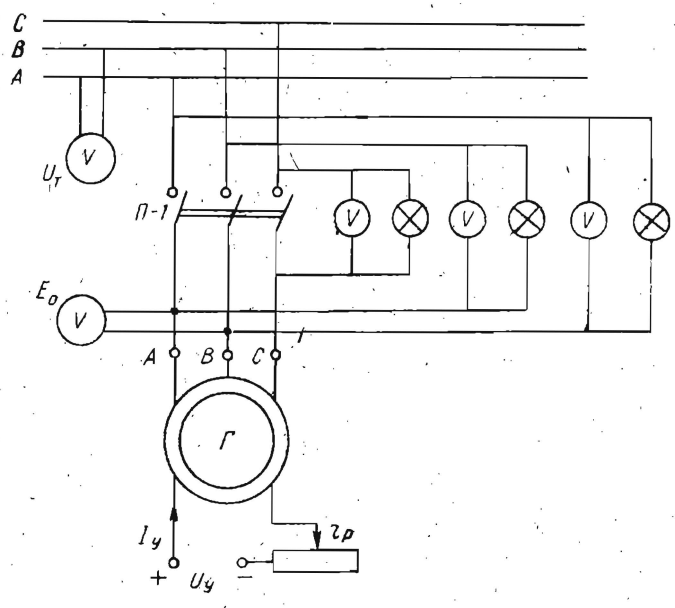
Реактив кучланишнинг пасаювчи ($j\overline{I}_с X$) ток векторидан $\pi/2$ бурчакка илгарилаб келади. $\overline{U}_г$ векторнинг ҳолатини аниқлаш учун $\overline{E}_0$ охиридан $\overline{I}_с$ га перпендикуляр туширамиз ва унда реактив кучланиш пасаюви векторини белгилаймиз. Ҳосил бўлган нуқтани координаталар боши билан бириктириб, $\overline{U}_г$ кучланиш векторини аниқлаймиз.

Вектор диаграммадаги φ бурчакнинг қиймати юкланиш хусусиятини белгилайди:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{X_н}{r_н}.$$

10.4. СИНХРОН ГЕНЕРАТОРНИНГ ТАРМОҚ БИЛАН ПАРАЛЛЕЛ ИШЛАШИ

Катта қувватга эга бўлган замонавий электр станцияларида параллел уланадиган бир нечта синхрон генераторлар ўрнатилади. Масалан, Тошкент ГРЭС ида ҳар бирининг қуввати 160 МВт бўлган 12 та турбогенератор ўрнатилган. Асосий саноат районларида бир нечта электр станциялари ўзаро бирлаштирилиб, йирик электроэнергетик системалар ташкил этилади. Чунончи, Ўрта Осиё энергосистемаси Ўзбекистон, Туркманистон, Тожикистон, Қирғизистон ва Жанубий Қозоғистондаги барча электр станцияларини бирлаштиргандир. Шунинг учун синхрон генераторларнинг ягона (умумий) электр система (ёки тармоқ) учун ишлаши оддий иш режими ҳисобланади. Генераторнинг алоҳида битта ёки алоҳида бир гуруҳ истеъмолчилар учун ишлаши эса кам қўлланилади. Синхрон генераторлар параллел уланганда уларнинг аварияси з ҳамда барқарор ишлашини таъминлаш учун баъзи махсус шартларни бажариш талаб этилади. Биринчидан, генератор тармоққа



10.10- расм.

уланганда токнинг кескин ўзгаришига йўл қўймаслик керак. Акс ҳолда система ҳимоясининг (ёлғондан) ишга тушишига генератор ёки бирламчи двигателнинг тўхтатиб қолишига сабаб бўлади.

Бошқа генераторлар электр энергияси билан таъминлаётган уч фазали тармоққа генераторни улашни энг оддий схемаси 10.10- расмда кўрсатилган.

Тармоқ билан параллел ишлашга уланаётган генератор ЭЮКнинг оний қиймати уланаётган вақтда манба кучланишининг оний қийматига тенг бўлиши керак, яъни:

$$U_m \sin(\omega_т t - \alpha_т) = E_{cm} \sin(\omega_г t - \alpha_г).$$

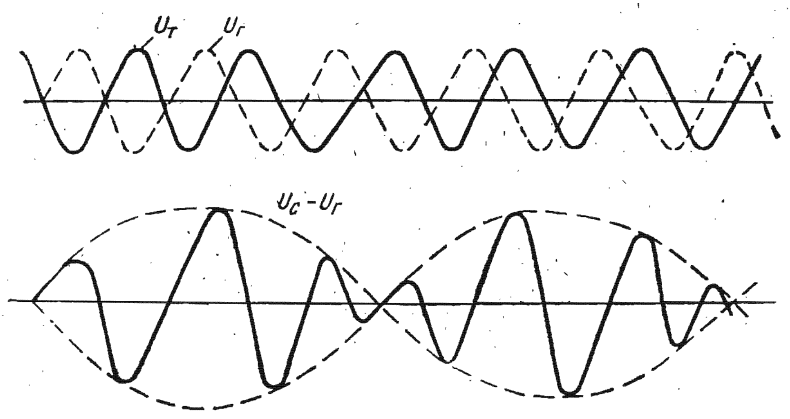
Бу эса қуйидаги уч шарт бажарилганда амалга ошиши мумкин:

— манба кучланиши ва генератор ЭЮК ининг амплитуда ёки эффектив қийматлари ўзаро тенг ($U_{тм} = F_{гм}$ ёки $U_т = U_г$) бўлиши;

— уларнинг частоталари тенг ($\omega_т = \omega_г$ ёки $f_т = f_г$) бўлиши;

— $\overline{U}_т$ ва $\overline{E}_г$ векторлар фаза жиҳатдан мос тушганда бошланғич фазаларнинг тенг ($\alpha_т = \alpha_г$) бўлиши.

Бундан ташқари, уч фазали генераторларда тармоқ билан генератор учун фазалар алмашиши тартибини мослаштириш керак. Мазкур барча талабларни бажариш *синхронлаш* деб аталади.



10.11-расм.

Уланаётган генераторни синхронлаштириш қуйидагича амалга оширилади. Бирламчи двигатель ёрдамида генератор тахминан синхрон тезликкача айлантирилади, ростлаш реостати ёрдамида унинг (генераторининг) ЭЮК шундай ўзгартириладики, бунда генератор қисмларига уланган вольтметр манба кучланишига тенг қийматни кўрсатсин. Бунда генераторнинг фазалар кетма-кетлиги тармоқ фазалари кетма-кетлиги билан мос тушиши керак. Рубильник П-1 улашдан олдин генераторнинг частотасини ва ЭЮК ини янада аниқроқ қилиб ростлаш керак. Бундай ростлашда (ростланганликни кўрсатишда) П-1 рубильник қисмаларига уланадиган учта чўғланма лампа ёки учта „нолинчи" вольтметрлар ишлатилади („сўнишга улаш" схемаси). Синхрон генератор билан тармоқ синхрон ишлагандагина генератор электр юритувчи кучи билан манба кучланишининг ўзаро тенглигини узоқ муддат таъминлаш мумкин.

Агар $\overline{E_0}$ билан $\overline{U_г}$ ўзаро тенг бўлса, рубильникнинг бир номдаги қисмалари орасида потенциаллар айирмаси нолга тенг бўлиб, лампалар ёнмайди. Лекин бундай ҳолда частоталар ўртасида озгина фарқ бўлса, у ҳолда лампалар даврий равишда ўчиб-ёниб туради. Ушбу ҳол учун 10.11-расмда манба кучланишининг оний қиймати (*1*) ва генератор ЭЮК (*2*) ҳамда натижавий кучланиш (*3*) эгри чизиқлари келтирилган.

Генератор частотаси манба частотасига қанча яқин бўлса, лампанинг ёруғлик нури шунча секин тебранади ва (*а*, *в*, *с* нуқталарда) нисбатан узоқ муддат ёниб-ўчади. Айрим ёниб-ўчиш оралиғи нисбатан узоқ (3—5 секунд) бўлганда, лампа тўла ўчган вақтда рубильникни улаш мумкин. Вақтнинг ушбу лаҳзасини аниқ белгилаш учун ноль соҳаси кенгайтирилган „нолинчи" вольтметрлардан фойдаланилади. Генератор манбага улангандан кейин эса унинг айланишини синхронлаш автоматик тарзда давом этади.

10.5. СИНХРОН МАШИНАНИНГ ЭЛЕКТР ТАРМОҒИ БИЛАН ПАРАЛЛЕЛ ИШЛАШИ

Синхронлаштириш жараёни тугагандан сўнг, рубильник уланганда электр тармоғига уланган генератор салт ишлаш ҳолатида ишлай бошлайди. Синхрон машинанинг параллел ишлашини тадқиқ қилишда (10.5- расм) генератор қисмаларидаги кучланиш $\overline{U}_г$ ва манба кучланиши доимо ўзаро тенг бўлган соддалаштирилган вектор диаграммадан фойдаланамиз. Бунда

$$\overline{U}_г = \overline{E}_0 = \overline{U}_т.$$

Бу ҳолда статор токи ($I_с = 0$) нолга тенгдир. Бунга мос келувчи вектор диаграмма 10.12- расмда кўрсатилган.

Тармоққа уланган генератор тармоққа энергия узатиб, тармоқ юкланишининг бир қисмини ўзига қабул қилиши учун уни қандай бошқариш лозимлигини кўриб чиқамиз. Энергиянинг бир занжирдан бошқасига ўтиши учун кучланиш қийматини ўзлаштириш лозим. Бизнинг ҳолда эса генераторнинг қўзғатиш оқимини ва унинг валдаги механик қувватини бошқариш лозим.

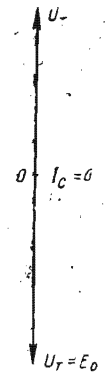
Қўзғатиш занжиридаги реостат ёрдамида қўзғатиш токининг оширилиши асосий магнит майдонининг ва у билан боғлиқ бўлган $\overline{E}'_0$ нинг ортишига олиб келади. Натижада тенглик $\overline{U}_г = \overline{E}_0 = \overline{U}_т$ бузилади, яъни

$$\overline{U}_г = \overline{U}_т = \overline{E}'_0 - jI_с X$$

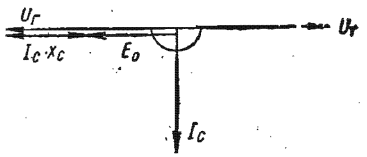
ёки

$$\overline{I}_с = \frac{\overline{E}'_0 - U_г}{jX}.$$

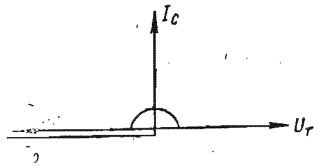
Бундай режим учун хос бўлган вектор диаграмма 10.13- расмда кўрсатилган. Вектор диаграммадан кўриниб турибдики, $\overline{I}_с$



10.12- расм.



10.13- расм.



10.14- расм.

ток вектори генератор кучланиши $\overline{U}_г$ дан $\pi/2$ бурчакка кечикади ва индуктив характерга эга бўлиб, синхрон машина электр тармоғига реактив қувват беради:

$$Q = 3\overline{U}_г\overline{I}_с \cdot \sin \pi/2 = 3\overline{U}_г\overline{I}_с.$$

Натижада генератор ўта қўзғатилиб, генераторга нисбатан индуктив тенглаштирувчи (электр тармоғига нисбатан соф сиғим характеридаги) ток пайдо бўлади. Бу ток индуктив истеъмолчиларни магнитлаш учун сарф бўлади, яъни генератор электр тармоғи реактив юкланишининг бир қисмини ўзига қабул қилади.

Кўрилаётган ҳолдаги (яъни $\varphi = \pi/2$ учун) актив қувват:

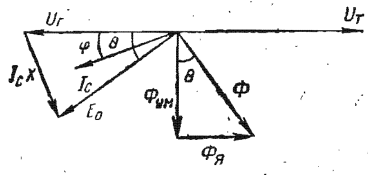
$$P = 3U_г I_с \cos \varphi = 0.$$

Агар қўзғатиш токини камайтирсак, $\overline{E}_0$ электр тармоғи кучланишидан кичик бўлиб, вектор диаграмма 10.14-расмда кўрсатилгандек бўлади.

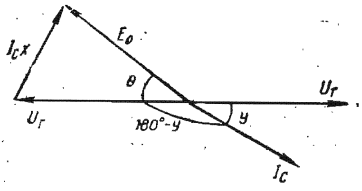
Вектор диаграммада кўрсатилгандек, энди $\overline{I}_с$ ток вектори ўз йўналишини ўзгартириб, генератор кучланишида $\pi/2$ бурчакка илгарилаб кетади ёки электр тармоғи кучланишидан $\pi/2$ га кечикади. Шунинг учун генератор етарлича қўзғатилмаганда генератор кучланишига нисбатан сиғим характерга, электр тармоғига нисбатан эса индуктив характерга эга бўладиган тенглаштирувчи ток юзага келади. Реактив қувват ўз ишорасини ўзгартиради ва машина электр тармоғидан ўзини магнитлаш учун реактив қувват истеъмол қила бошлайди, яъни электр тармоғи учун реактив нагрузка бўлиб қолади. Бунда ҳам, биринчи ҳолда кўриб ўтилгандек, актив қувват нолга тенгдир.

Шундай қилиб, генераторнинг қўзғатиш токини ўзгартириш билан унинг реактив қувватини ўзгартириш мумкин, актив қувватни эса қайта тақсимлаш мумкин эмас. Актив қувватни ўзгартириш учун генератор валидаги механик қувватни бошқариш лозим. Бунга, буғ турбинада буғнинг келишини, гидравлик турбинада эса сувнинг келишини бошқарадиган ростлагич (бошқариш қурилмаси) нинг ҳолатини ўзгартириш орқали эришиш мумкин.

Бирламчи двигателнинг қуввати оширилганда роторнинг айлантирувчи моменти ортиб ротор, айланувчи магнит майдондан θ бурчакка илгарилаб кетишга ҳаракат қилади. θ бурчакни ротор майдони ўқи билан статор умумий магнит майдони ўқи орасидаги бурчак эканлигини кўриб ўтамиз. Бинобарин, роторнинг магнит майдони оқими ҳосил қилган $\overline{E}_0$ ЭЮК оқим $\overline{\Phi}_0$ дан $\pi/2$ бурчакка, генератор кучланиши $\overline{U}_г$ эса умумий оқим ҳосил қилиб, ундан $\pi/2$ бурчакка кечиккани учун ротор ва статор магнит майдон ўқлари орасидаги фарқ (θ бурчак) электр юритувчи куч ва кучланиш векторлари орасидаги



10.15- расм.



10.16- расм.

бурчакка тенгдир. Механик қувват оширилган ҳол учун (10.15- расм) ток вектори кучланиш векторидан φ бурчакка силжиганлигини кўрамиз. Бунда $\overline{I_c}$ токнинг актив ташкил этувчиси нисбатан катта бўлиб, генератор электр тармоғига актив қувват ($P=3U_г I_c \cos\varphi$) бера бошлайди. Натижада унинг валидаги айлантирувчи момент билан мувозанатлашувчи электромагнит тормоз моменти таъсир эта бошлайди ва роторнинг айланиш тезлиги ўзгармай қолади.

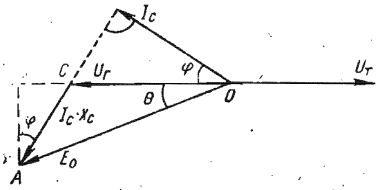
Агар ротор ўқига ташқи тормозловчи моменг таъсир этса, роторнинг магнит майдони ўқи, статор майдони ўқидан θ бурчакка кечикади. Натижада $\overline{E}_0$ вектори $\overline{U}_г$ вектордан мазкур бурчакка кечика бошлайди. Вектор диаграммада кўрсатилгандек, (10.16- расм) $\overline{I_c}$ ток вектори $\overline{U}_г$ кучланиш векторига нисбатан $(\pi-\varphi)$ бурчакка силжийди. Натижада электр тармоғидан $P=3U_г I_c \cos(180-\varphi)=-3U_г I_c \cos\varphi$ актив қувват истеъмол қила бошлайди, машина эса двигатель режимида ишлаб, тормозловчи момент билан мувозанатлашувчи айлантирувчи момент ҳосил қилади.

Шунинг учун электр тармоғига уланган генераторлар актив қувватининг бир қисмини қабул қилиши учун сарф қилинадиган механик қувватни ошириш лозимдир. Агар сунъий равишда машина роторни тормозласак, у автоматик равишда генератор режимидан двигатель режимига ўтади.

10.6. СИНХРОН МАШИНАНИНГ АЙЛАНТИРУВЧИ МОМЕНТИ

Синхрон машинанинг соддалаштирилган вектор диаграммасидан фойдаланиб, унинг айлантирувчи моментини аниқлаймиз. Қулайлик учун машинанинг генератор режимида ишлашини кўриб чиқамиз (10.17- расм).

Генераторнинг статоридаги исрофларни ҳисобга олмаган ҳолда генераторнинг роторидан статорига узатилаётган электромагнит қувват генераторнинг электр тармоққа бераётган фойдали қувватига тенг, деб ҳисоблаш мумкин,



10.17- расм.

яъни

$$P = 3U_г I_с \cos\varphi. \qquad (3)$$

$\triangle OAB$ ва $\triangle ABC$ учбурчаклардан

$$AB = I_с X \cos\varphi = E_0 \sin\theta$$

ёки

$$I_с \cos\varphi = \frac{E_0 \sin\theta}{X} \qquad (4)$$

(4) ифодани (3) га қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$P = 3\frac{U_г E_0}{X}\sin\theta \qquad (5)$$

Бирламчи двигатель ёрдамида генераторга берилаётган қувват:

$$P_{мех} = \omega_р M. \qquad (6)$$

(5) ва (6) ифодаларни ўзаро тенглаштириб, қуйидагига эга бўламиз:

$$M = \frac{P_{мех}}{\omega_р} = 3\frac{U_г E_0}{X\omega_q}\sin\theta. \qquad (7)$$

Роторнинг бурчак тезлиги эса қуйидагига тенг:

$$\omega_р = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi f}{p} = \frac{\omega}{p}, \qquad (8)$$

бу ерда $\omega = 2\pi f$ — ўзгарувчан токнинг бурчак частотаси (8) ни (7) га қўйсак,

$$M = \frac{3p}{\omega}\cdot\frac{E_0 U_г}{X_с}\sin\theta \text{ Н·м}$$

га эга бўламиз.

Шундай қилиб, синхрон машинанинг айлантирувчи моменти электр тармоғи кучланишига, статор ЭЮК ига ҳамда статор ва ротор магнит майдони ўқлари орасидаги θ бурчак синусига тўғри пропорционал экан.

Машина $\theta = 90°$ да максимал моментга эришади:

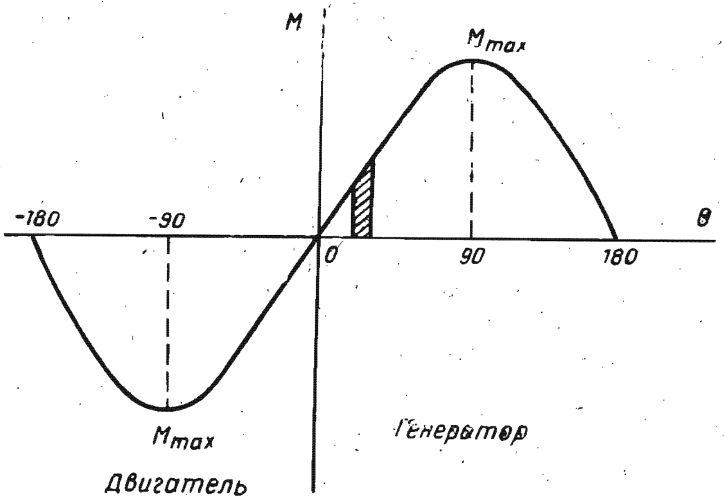
$$M_{max} = \frac{3P}{\omega}\frac{E_0 U_г}{X}.$$

Умумий ҳолда

$$M = M_{max}\sin\theta.$$

Синхрон машинанинг параметрлари ва электр тармоғининг кучланиши ўзгармас бўлганда максимал момент қиймати ЭЮК га, яъни қўзғатиш токига боғлиқ бўлади.

$M(\theta)$ боғлиқлик синусоидал кўринишга эга бўлиб, синхрон машинанинг *бурчак характеристикаси* деб аталади (10.18-расм). Агар $\theta > 0$ бўлса, $M > 0$ бўлиб, синхрон машина



10.18- расм.

генератор режимида ишлайди, тармоққа электр қуввати узатади ва бирламчи двигатель учун тормозловчи момент ҳосил қила бошлайди.

Генератор режимида θ бурчак 0° дан $\pi/2$ оралиғида ўзгарганда машина барқарор ишлай бошлайди. $\theta = \pi/2$ дан кейин эса бирламчи двигателнинг айлантирувчи моменти генераторнинг қаршилик моментидан катта бўлиб, генератор беқарор режимда ишлайди, яъни генератор синхронизмдан чиққунча ротор айланиши тезлаша бошлайди (θ ортиб боради). Бунда статор токи генераторни авария ҳолатига келтирадиган даражада ошиб кетади. Генератор номинал юкланганда барқарор ишлаши учун $\theta \leqslant \pi/6$ бўлиши керак, бунда момент бўйича иккиланган кафолатга эга бўлади.

Агар $\theta < 0$ бўлса, электр қувват ва электромагнит момент манфий бўлиб, синхрон машина электр тармоғидан энергия истеъмол қилади ва двигатель режимида ишлай бошлайди. Электромагнит момент машина валига қўйилган тормозловчи момент билан мувозанатловчи момент билан мувозанатлашиб, айлантирувчи моментга айланади.

Двигатель режимида θ бурчак 0 дан $-\pi/2$ гача ўзгарганда тезлик барқарор бўлиб, θ нинг ортиши айлантирувчи моментнинг камайишига олиб келади, аксинча $\theta > 90°$ да, тезлик беқарордир.

Тормозловчи момент айлантирувчи максимал моментдан катта бўлганда машина синхронизмдан чиқади, роторнинг айланиши секинлаша бошлайди, статор токи (истеъмол қилинаётган ток) ошиб кетади, авария ҳолати вужудга келади.

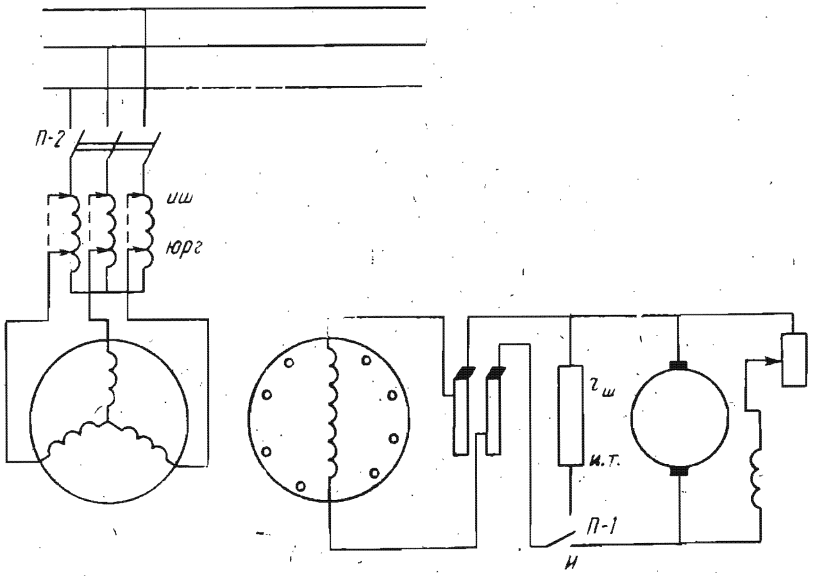
ҳимоя воситаси ишга тушади ва ҳоказо. Агар θ бурчак $\pi/6$ дан ошмаса, синхрон двигатель номинал юкланиш билан барқарор ишлай бошлайди.

10.7. СИНХРОН МАШИНАНИНГ ДВИГАТЕЛЬ РЕЖИМДА ИШЛАШИ. ДВИГАТЕЛНИ АСИНХРОН ҚИЛИБ ИШГА ТУШИРИШ

Тармоқ билан параллел ишлаётган генераторни двигатель режимига ўтказиш 10.5-§ да кўриб чиқилган эди. Аммо амалда электр станцияларда генераторни двигатель режимига бундай ўтказиш жуда кам учрайди. Шунинг учун бу ерда фақат двигатель режимида ишловчи синхрон машинани ишга тушириш масалалари кўрилади.

Жуда катта қувватли синхрон двигателни электр тармоғига тўғридан-тўғри улаб ишга тушириш мумкин эмас. Чунки, агар двигателни тармоқда уланган лаҳзада роторнинг уйғотиш токи нолга тенг бўлмаса, у ҳолда статорнинг айланувчи магнит майдони ва роторнинг қўзғалмас магнит майдони орасида момент вужудга келади ва у роторни маълум томонга буришга ҳаракат килади. Тармоқ ўзгарувчан токининг ярим давридан кейин статор майдони битта қутб бўлагига бурилади ва статор майдонининг қутблари ўзаро ўрнини алмаштиради. Шу вақт давомида эса, ротор механик инерция кучи туфайли ҳатто жойидан қўзғалолмайди ҳам, чунки токнинг ярим даври 0,01 с ни ташкил қилади. Яна ярим даврдан кейин эса статор ва ротор орасида роторни тескари томонга буришга ҳаракат қилувчи момент вужудга келади ва натижада ротор яна жойидан қўзғалмайди. Двигатель эса бошланғич юргизиш ишга тушириш моментига эга бўлмайди. Демак, синхрон двигателни ишга тушириш учун унинг роторини синхрон тезликка яқин ёки унга тенг тезликкача айлантириш керак. Буни қуввати унча катта бўлмаган махсус айлантирувчи двигатель ёрдамида амалга ошириш мумкин. Ҳозирги вақтда бундай ёрдамчи двигателлар ишлатилмайди, чунки улар қурилманинг нархини қимматлаштиради ва синхрон двигателларнинг қўлланилишини чеклайди. Ҳозир кўп ҳолларда синхрон двигателни асинхрон двигатель каби ишга тушириш усули қўлланади. Бунинг учун роторнинг қутб учликларига ўтказгичли стерженлар жойлаштирилади ва уларнинг учлари ҳалқалар билан туташтирилади. Натижада худди асинхрон двигателлардаги каби қисқа туташтирилган чулғам вужудга келади. Баъзи синхрон двигателларда махсус қисқа туташтирилган чулғам бўлмайди, унинг вазифасини эса улкан ротор ўзаги ўтайди.

Синхрон двигателни асинхрон тарзда ишга тушириш 10.19-расмда кўрсатилган. Статорни манбага улашдан олдин роторнинг уйғотиш чулғами қайта улагич П-1 орқали $r_ш$ қаршиликка уланади (П-1 ни И. т. ҳолатга қўямиз). Шунт қаршилиги



10.19- расм.

$r_ш$ ротор чулғамининг актив қаршилигидан $10 \div 15$ марта катта бўлади. Сўнгра статор чулғами уч фазали ўзгарувчан ток манбаига уланади ва унда айланувчан магнит майдони юзага келади. Мазкур майдоннинг магнит куч чизиқлари роторнинг қисқа туташган чулғамини кесиб ўтади ва унда ЭЮК индукциялайди. Ротор токининг статор магнит майдони билан ўзаро таъсири натижасида айлантириш моменти вужудга келади ва у двигателни синхрон тезлик n_1 дан бироз кичик тезлик n_2 гача айлантиради. Сўнгра роторнинг уйғотувчи чулғами қайта улагич П-1 ёрдамида қаршилик $r_ш$ дан ўзиб, уйғотгичга уланади (П-1 ни „И" ҳолатга қўямиз). Бунда роторнинг ўзгармас магнит майдони статорнинг айланувчи магнит майдони билан ўзаро таъсир этиши натижасида вужудга келган момент двигателни синхронлашга интилади. Натижада двигатель ротори статор магнит майдони билан синхрон айлана бошлайди ($n_2 = n_1$).

Ишга тушириш вақтида ротор уйғотиш чулғамининг қаршилик $r_ш$ га уланиши чулғам изоляциясини шикастланишдан сақлайди, чунки уланмаган чулғамда айланувчи майдон жуда катта ЭЮК индукциялаши мумкин. Иккинчи томондан, чулғамни қисқа туташтириш ҳам мақсадга мувофиқ эмас, чунки бунда роторни секинлатувчи жуда катта бир фазали ток вужудга келади.

Синхрон двигателни ишга туширишда ишга тушириш токини камайтириш учун уч фазали автотрансформатордан фой-

даланилади (10.19-расм). Мазкур трансформатор орқали статорга камайтирилган кучланиш берилади (ишга тушириш ҳолати). Кучланишни аста-секин ошира бориб, двигателнинг сирпаниши энг кичик қийматгача камайтирилади. Сўнгра автотрансформатор дастагини „Ищ“ ҳолатига ўтказиб, статор чулғамига тармоқ кучланишининг тўлиқ берилиши таъминланади. Ишга тушириш жараёни тугаши (ротор синхрон тезликда айланиши) билан қисқа туташган ишга тушириш чулғами машинанинг ишлашида қатнашмайди, чунки унда ток индукцияланмайди.

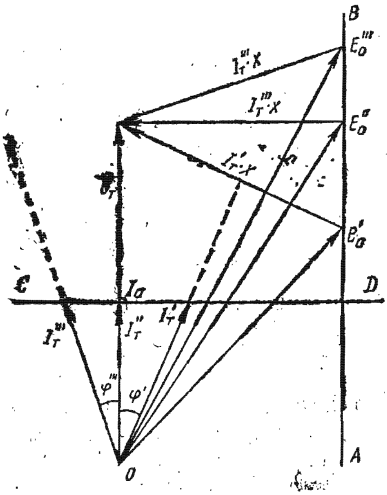
10.8. СИНХРОН ДВИГАТЕЛДАГИ УЙҒОТУВЧИ ТОКНИНГ ТАРМОҚ ТОКИГА ТАЪСИРИ. ДВИГАТЕЛНИНГ *U*-СИМОН ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

Синхрон машиналарнинг иш режимларидан бизга шу нарса маълумки, электр тармоқ билан параллел ишловчи синхрон генератор роторининг уйғотувчи токини ўзгартириш билан реактив токни, бинобарин, генераторнинг реактив нагрузкасини ростлаш мумкин.

Уйғотувчи токнинг ўзгариши синхрон двигателнинг иш режимига қандай таъсир қилишини кўриб чиқамиз. Жараёнларни яхшироқ тушуниш учун двигателни ўзгармас юкланиш билан ишлайди, яъни двигатель валидаги қаршилик моменти ўзгармас деб ҳисоблаймиз. Бунда электромагнит қувват валдаги қувватга тенг (исрофларни ҳисобга олмаганда) ва ўзгармас бўлади:

$$P = 3U_1 I_т \cos\varphi = \text{const}.$$

Агар тармоқ кучланиши $U_т = \text{const}$ бўлса, у ҳолда $I_т \cos\varphi = I_a = \text{const}$ бўлади.



10.20-расм.

10.20-расмдан

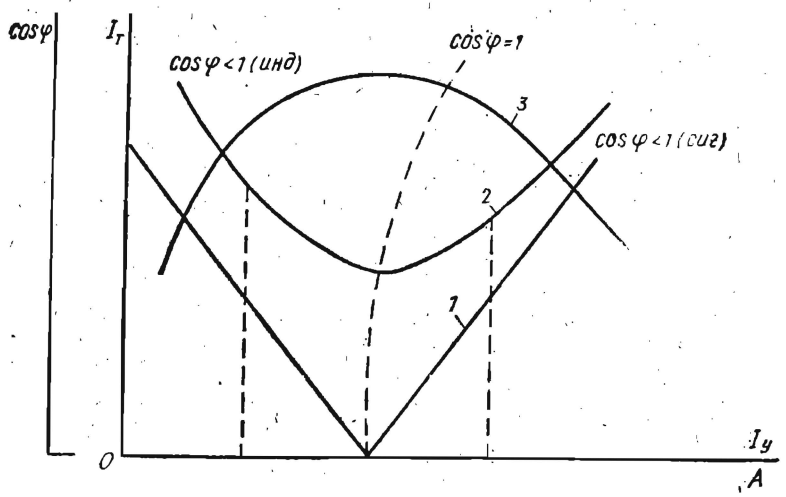
$$I_т X \cos\varphi = E_0 \sin\theta.$$

Синхрон индуктив қаршилик X ўзгармас, деб ҳисобланса, у ҳолда

$$I_т \cdot X \cos\varphi = E_0 \sin\theta.$$

Уйғотиш токининг, демак ЭЮК E_0 нинг турли хил қийматлари учун синхрон двигателнинг ток ва кучланишлар вектор диаграммаларини қурамиз (10.20-расм). Ишни тармоқ кучланиши U нинг векторини қуришдан бошлаймиз

Унча катта бўлмаган уйғо-



10.21-расм.

тиш токи $I'_у$ дан, бинобарин E'_0 да тармоқдан қабул қилинаётган ток $I'_т$ тармоқ кучланиши $U_т$ дан φ' бурчакка кечикади ($\varphi'>0$, $\cos\varphi'<1$ — индуктив характерда бўлади). Юқорида келтирилган тенгламалардан маълумки уйғотувчи токнинг ҳар қандай қийматларида ЭЮК векторининг охири кучланиш $U_т$ векторига параллел равишда АВ тўғри чизиқ бўйича сурилади. Ток векторининг охири ДС тўғри чизиқ бўйича сурилади. ДС тўғри чизиқ эса кучланиш векторига перпендикуляр бўлади.

Кўрилган ҳолда двигатель тўйинмаган уйғотиш режимида ишлайди ва тармоққа нисбатан актив-индуктив нагрузка вазифасини ўтайди. Чунки бунда двигатель ўзини магнитланиши учун тармоқдан реактив қувват биргаликда ишласа, ундан ўта уйғонган режимда фойдаланиш керак. Бунда тармоқни реактив ток билан камроқ юклаш ва умумий қурилмаларнинг қувват коэффициентини яхшилаш мумкин бўлади. Двигателнинг тўйинмаган уйғотиш режимида ишлаши тежамлилик жиҳатдан фойдали эмас.

Тармоқ токи билан уйғотиш токи орасидаги $I_т=f(I_у)$ график боғланиш U-симон характеристика деб аталади. Синхрон двигателнинг икки хил нагрузка қийматларидаги U-симон характеристикалари 10.21-расмда кўрсатилган. Характеристикаларнинг чап қисми двигателнинг тўйинмаган уйғотиш режимида, ўнг қисми эса ўта тўйинган уйғотиш режимида ишлашига мос келади. Токнинг энг кичик қийматига $I_т=I_а$, $\cos\varphi=1$ да эришилади. *1*-характеристика машинанинг салт ишлаш режими учун (исрофлар ҳисобга олинмаган) *2*-харак-

теристика эса двигатель валида маълум миқдордаги механик *нагрузка* P бўлгандаги режим учун қурилган. Ушбу координаталар системасидаги эгри чизиқ *2* га тўғри келувчи ўзгармас нагрузкада қувват коэффициентининг уйғотиш токига боғлиқлиги $\cos\varphi = f(I_у)$ ҳам акс эттирилган (эгри чизиқ *3*).

10.9. СИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ИШ ХАРАКТЕРИСТИКАСИ ВА АСОСИЙ СОЛИШТИРМА КЎРСАТКИЧЛАРИ

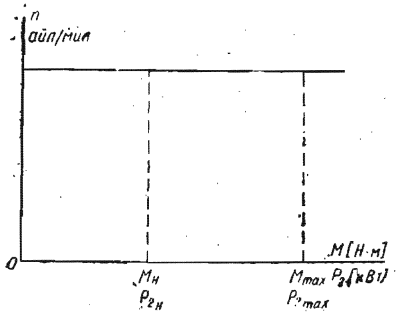
Синхрон двигателнинг ишини баҳолашда унинг иш характеристикаларидан фойдаланилади. Улар мос равишда тезлик n, айлантирувчи момент қабул қилади.

Уйғотиш токини $I''_у$ қийматгача оширамиз. Бу қийматга ЭЮК нинг E''_0 миқдори тўғри келади. Вектор диаграммадан кўринадики, двигатель қабул қилаётган ток $I'_т$ энг кичик қиймат $I_а$ гача камаяди ва фазаси бўйича тармоқ кучланишининг фазаси билан бир хил ($\varphi'' = 0$, $\cos\varphi'' = 1$) бўлади. Бу режимда двигатель актив нагрузка каби ишлайди, чунки тармоқдан фақат актив қувват қабул қилади.

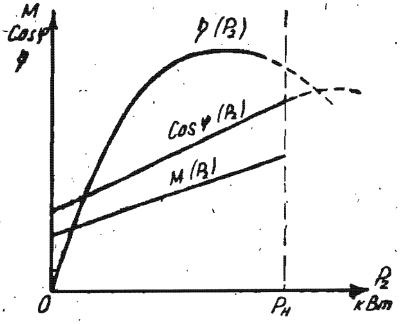
Уйғотиш токини $I'''_у$ қийматгача оширамиз. Бунда ЭЮК E_0 га тенг бўлади. Тармоқдан қабул қилинаётган ток $I''_т$ янада кўпаяди, шу билан бирга тармоқ кучланишидан φ''' бурчакка илгарилаб кетади ($\cos\varphi''' < 1$ — сиғим характерда). Бунда двигатель ўта уйғонган режимда ишлаб, тармоқ учун актив-сиғим *нагрузка* вазифасини ўтайди ва ортиқча реактив қувватни тармоққа беради. Бу режимда двигателни ташқи қаршилик туфайли зарядланаётган конденсатор, деб қараш мумкин.

Синхрон двигателнинг мазкур учта иш режимидан кўринадики, уйғотиш токини ўзгартириш билан фақатгина қабул қилаётган ток эмас, балки двигателнинг қувват коэффициенти ҳам ўзгаради. Бундан шундай хулоса келиб чиқади: агар двигатель алоҳида электр тармоғига уланган бўлса у ҳолда уйғотиш токини $\cos\varphi = 1$ дагидек қилиш мақсадга мувофиқдир. Агар у умумий электр тармоғига уланган бўлса ва асинхрон двигателлар билан M, қувват коэффициенти $\cos\varphi$ ва ФИК η нинг двигатель валидаги қуввати P_2 га боғлиқ бўлган эгри чизиқлардир. Бунда тармоқ кучланиши U унинг частотаси f ва уйғотиш токи $I_у$ ларнинг қийматлари ўзгармасдир.

Двигатель роторининг айланиш тезлиги $n = \frac{60f}{P}$ машинанинг ҳамма иш режимларида мутлақо ўзгармас қолади. Двигателнинг механик характеристикаси, яъни тезликнинг юкланиш моментига боғлиқлиги $n_2 = f(M)$ [ёки $n_2 = f(P_2)$] абсцисса ўқига параллел тўғри чизиқ билан ифодаланади (10.22-расм). Бундай характеристика асинхрон двигателнинг қаттиқ характеристикасидан фарқли ўлароқ мутлоқ қаттиқ деб аталади.



10.22- расм.



10.2 - расм.

Салт ишлашда момент ўзгармаслигини ҳисобга олганда двигателнинг айланиш моменти валдаги фойдали қувватга пропорционал бўлади $\left(M = \frac{60P_2}{2\pi n}\right)$. Шунинг учун $M = f(P_2)$ характеристика координаталар ўқининг салт ишлаш моменти M қийматидан ўтказилган тўғри чизиқни ифодалайди (10.23-расм). $\cos\varphi = f(P_2)$ нинг ўзгариши машинани уйғотиш усули ва хусусиятига боғлиқ: номинал нагрузкада синхрон двигателлар, одатда, ўзувчи ток билан ишлашга мўлжалланади ва бунда $\cos\varphi = 0{,}8 \div 0{,}9$ бўлади. Демак, машина ўта тўйинган уйғотиш режимида ишлаганда ($P_2 > P_{ном}$ бўлганда) $\cos\varphi$ максимумга эришади. Юкланиш камайганда $\cos\varphi$ камаяди (10.23-расм).

Синхрон машиналардаги асосий қувват исрофлари статор ва ротор чулғамларидаги ўзаклардаги исрофлардан ҳамда механик исрофлардан иборат:

Статор чулғамидаги исрофлар қуйидагича аниқланади:

$$\Delta P_{мс} = m I_т^2 r_с,$$

бунда $m = 3$ — статор чулғамининг фазалар сони; $r_с$ — битта фазасининг актив қаршилиги.

Роторнинг уйғотиш чулғамидаги исрофлар:

$$P_{мр} = I_у^2 r_у = U_у I_у,$$

бунда $r_у$ — ротор уйғотиш занжирининг актив қаршилиги; $U_у$ — уйғотгичнинг кучланиши.

Уйғотгичнинг ФИК $\eta_у$ ни киритиб, уйғотгичдаги исрофларни ҳисобга олиш мумкин:

$$\Delta P_{му} = (U_у I_р)/\eta_у.$$

Магнит исрофлар (гистерезис ва уюрма токлар туфайли ҳосил бўлган исрофлар) $\Delta P_у$ статор ўзагида статорнинг айланувчи магнит майдони таъсири остида юзага келади. Роторда

магнит исрофлари бўлмайди, чунки у айланма магнит майдон билан синхрон тарзда айланади.

Механик исрофлар ($\Delta P_{мех}$) двигателнинг подшипниклар. сурилувчи контактлари ва айланувчи қисмларидаги ишқаланиш, шунингдек, ҳаво қаршиликларини енгиш туфайли вужудга келади.

Барча қувват исрофларини ΔP орқали белгилаб, уч фазали синхрон двигателнинг ФИК қуйидаги ифода билан аниқлаш мумкин

$$\eta = \frac{3UI\cos\varphi - \Delta P}{3UI\cos\varphi},$$

бунда U ва I — фаза кучланиши ва токнинг таъсир этувчи қийматлари.

$\eta = f(P_2)$ — эгри чизиқ двигатель номинал юкланганда максимумга эга бўлади (10.23-расм). Катта қувватли машиналар учун $\eta_{max} = 96 \div 99\%$, кичик ва ўртача қувватли машиналар учун $\eta_{max} = 88 \div 92\%$ бўлади.

Синхрон двигателлар асинхрон двигателларга нисбатан қуйидаги афзалликларга эга:

1. Қувват коэффициенти $\cos\varphi = 1$ ҳамда силжиш бурчаги $\varphi < 0$ (сиғим режими) бўлган ҳолда ишлай олиши. Агар двигатель $\cos\varphi = 0{,}8 \div 0{,}9$ ($\varphi < 0$) билан ишлашга мўлжалланган бўлса, у актив қувватни қабул қилиш билан бир вақтда тармоққа реактив қувват беради (генерациялайди). Бу актив-индуктив нагрузка билан параллел ишлаганда жуда муҳимдир.

2. Двигатель валидаги механик юкланиш салт ишлашдаги максимал чегарасигача ўзгарганида айланишлар сонининг мутлақо ўзгармаслиги.

3. Двигателнинг максимал моменти тармоқ кучланишининг тебранишига кам сезгирлиги, чунки айлантирувчи момент кучланишнинг биринчи даражасига пропорционалдир.

Синхрон двигателларнинг камчиликлари қуйидагилардан иборат:

1. Айланиш тезлигини фақат манба кучланишининг частотасини ўзгартириш билан ростлаш мумкинлиги,

2. Ишга туширишнинг нисбатан мураккаблиги.

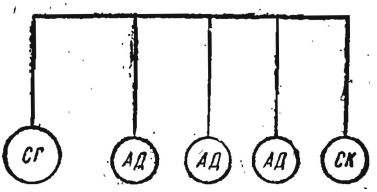
3. Иккита (ўзгармас ва ўзгарувчан) таъминлаш манбаларининг талаб қилиниши.

Синхрон двигателларнинг мазкур камчиликлари туфайли улар асосан, катта қувватли юритмаларда камроқ фойдаланилади. Амалда қуввати 100 кВт дан катта бўлган компрессорлар, насослар, эзиш дастгоҳлари ва бошқа юритмаларда синхрон двигателлардан фойдаланилади.

10.10. СИНХРОН КОМПЕНСАТОР

Ўқида юкланиш бўлмаган, яъни режимида ўта тўйинган уйғотиш режимида фақат салт ишловчи синхрон двигатель

синхрон компенсатор деб аталади. У қувват коэффициентини яхшилаш ҳамда тармоқ кучланишини барқарорлаш учун хизмат қилади. Электр тармоқларида индуктив характердаги нагрузка кўп бўлганида бу айниқса муҳим аҳамиятга эга бўлади. Бундай индуктив нагрузкани асинхрон двигателлар, трансформаторлар, реакторлар, реле ва шу кабиларнинг магнитловчи индуктив токлари ҳосил қилади.



10.24-расм.

Агар тармоқда ток I бўлса, у актив реактив ташкил этувчилар ($I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2}$) дан иборат бўлади. Агар реактив ташкил этувчи оширилса, $\cos\varphi$ камаяди. Демак, таъминловчи генераторларнинг актив қуввати ва узатиш тармоқларининг ҳамда трансформаторларнинг ўтказиш қобилияти камаяди. Шунинг учун узатиш тармоқларининг индуктив токларини компенсация қилиш мақсадида синхрон компенсаторларни қўллаш мақсадга мувофиқ бўлиб, улар генераторларни реактив токлардан қисман ҳоли қилади (10.24-расм) ва $\cos\varphi$ ни яхшилайди:

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_г - Q_{ск})^2}}.$$

Одатда $\cos\varphi$ ни 0,92 ÷ 0,95 гача оширишга ҳаракат қилинади, чунки уни бирга етказиш компенсатор қувватини жуда кўп оширишни талаб қилади. Бу эса иқтисодий жиҳатдан фойдали бўлмайди. Синхрон компенсатор ёрдамида кучланишни барқарор қилиш токнинг реактив ташкил қилувчисини камайтириш ҳисобига узатиш тармоқларида кучланиш пасаювини камайтириш билан амалга оширилади

Синхрон компенсаторларни 100 МВА қувватгача ротори яққол намоён қутбли қилиб ва асинхрон ишлатишга мўлжаллаб ишлаб чиқарилади. Компенсаторларнинг механик иш бажариш учун хизмат қилмаслигини ҳисобга олиб, уларнинг ротор ўқлари механик жиҳатдан енгил конструкцияда, герметик қилиб ясалади. Бу эса уларни очиқ жойларга ўрнатиш имкониятини беради.

1-масала. Уч фазали синхрон турбогенератор номинал қувват ($S_{ном} = 10$ МВА, $\cos\varphi = 0{,}8$) билан $U_л = 10$ кВ кучланишда ишлайди. Генератор чулғамлари юлдузсимон бириктирилган. Статор фазасининг актив қаршилиги $r_с = 0{,}03$ Ом, индуктив қаршилиги $X = 1{,}5$ Ом. Жуфт қутблар сони $p = 1$. Роторнинг уйғотиш занжиридаги қувват исрофи генератор номинал қувватининг 1% ини, магнит ва механик қувват исрофлари 1,2% ини ташкил қилади. Ток частотаси $f = 50$ Гц.

Роторнинг айланиш тезлиги n, генератор ЭЮК E_0 (вектор диаграммадан график ва аналитик усулда), генератор ФИК ва генераторни айлантирувчи турбинанинг номинал қуввати топилсин.

Ечилиши: Генератор роторининг айланиш тезлиги

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{P} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \text{ айл/мин.}$$

Генераторнинг номинал токи

$$I_{\text{с ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3}\, U_{\text{л ном}}} = \frac{10000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3} \cong 600 \text{ А.}$$

Реактив кучланишнинг пасаюви

$$U_{\text{р}} = I_{\text{ном}} \cdot X = 600 \cdot 1{,}5 = 900 \text{ В.}$$

Бу номинал фаза кучланишининг

$$U_{\text{р}}\% = \frac{U_{\text{р}}}{U_{\text{ф}}} \cdot 100 = \frac{900 \cdot \sqrt{3} \cdot 100}{10000} = 15\%$$

ини ташкил қилади.

Вектор диаграммани қурамиз, бунинг учун „0“ нуқтадан масштабга риоя қилган ҳолда фаза кучланиши $\dot{U}_{\text{ф}}$ нинг векторини қўямиз (10.25-расм).

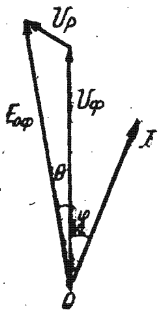
Ток $\dot{I}_{\text{т}}$ нинг векторини кечикувчи $\varphi = 37°$ бурчак билан қўямиз. Бектор $\dot{U}_{\text{ф}}$ нинг охиридан ток векторига перпендикуляр чизиқ ўтказамиз ва унга индуктив қаршиликдаги кучланиш пасаювини қўямиз (актив кучланиш пасаювини ҳисобга олмаймиз). Координаталар бошини $\dot{U}_{\text{р}}$ нинг охири билан туташтирамиз ва ЭЮК вектори $\dot{E}_{0\text{ф}} = 6550$ В ни ҳосил қиламиз. Бинобарин, $E_0 = \sqrt{3}\, E_{0\text{ф}} = 1{,}73 \cdot 6550 = 11330$ В.

Генератор ЭЮК ини аналитик усулда аниқлаймиз.

Генераторда йўқотилган кучланиш

$$\Delta U\% = U_{\text{а}}\% \cos\varphi + U_{\text{р}}\% \sin\varphi \cong 15 \cdot 0{,}6 = 9\%.$$

Актив кучланишнинг пасаювини ҳисобга олмасак,



10.2-расм.

$$E_{0\text{ф}} = U_{\text{ф}} + \Delta U = \frac{10000}{\sqrt{3}} + \frac{9 \cdot 10000}{100\sqrt{3}} = 6545 \text{ В.}$$

Бу эса вектор диаграммадан олинган миқдор билан бир хилдир. Генераторнинг ФИК ини ушбу ифодадан аниқлаймиз:

$$\eta\% = \frac{P_{2\,\text{ном}}}{P_{2\,\text{ном}} + \sum \Delta P} \cdot 100.$$

Генератор қисмларидаги фойдали қувват:

$$P_{2\,\text{ном}} = S_{\text{ном}} \cos\varphi = 10000 \cdot 0{,}8 = 8000 \text{ кВт.}$$

Генератордаги умумий қувват исрофи:

$$\sum\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_y + P_{мех+маг} =$$

$$= 3J^2_{с\,ном}r_c + \frac{1\%}{100}S_{ном} + \frac{1{,}2\%}{100}S_{ном} =$$

$$= 32{,}4 + \frac{2{,}2}{100}\cdot 10000 = 252{,}4 \text{ кВт.}$$

Вундан

$$\eta\% = \frac{8000}{8000 + 252{,}4}\cdot 100\% = 97\%.$$

Генераторни айлантирувчи турбинанинг қуввати:

$$P_{1\,ном} = P_{2\,ном} + \sum\Delta P = 8000 + 252{,}4 = 8252{,}4 \text{ кВт.}$$

2-масала. Параллел уланган иккита синхрон генератор $\cos\varphi_1 = \cos\varphi_2 = 0{,}6$ бўлганда бир хил нагрузка $I_1 = I_2 = 400$ А га эга. Уйғотиш токини ва биринчи генератор турбинасининг айлантириш моментини ўзгартириш билан нагрузкаларни қайта тақсимлаш амалга оширилдики, натижада биринчи генераторнинг токи $I'_1 = 440$ А, унинг қувват коэффициенти $\cos\varphi'_1 = 1$ бўлди. Иккинчи генераторнинг уйғотиш токини ва бирламчи двигателнинг бераётган қувватини шундай ўзгартириш керакки, натижада улар учун умумий бўлган тармоқ кучланиши $U = 10$ кВ нинг ўзгармаслиги таъминлансин. Биринчи ва иккинчи ҳолларда ҳар бир генератор орқали тармоққа берилаётган актив қувватлар P_1 ва P_2 аниқлансин. Ҳар бир ҳол учун вектор диаграмма қурилсин.

Ечилиши. Умумий токнинг актив ташкил этувчиси

$$I_1\cos\varphi_1 + I_2\cos\varphi_2 = I\cos\varphi = 400\cdot 06 + 400\cdot 0{,}6 = 480 \text{ А.}$$

Биринчи генераторнинг режими ўзгаргандан кейин ундаги токнинг актив ташкил этувчиси:

$$I'_1\cos\varphi'_1 = 440\cdot 1 = 440 \text{ А.}$$

Иккинчи генераторнинг режими ўзгаргандан кейин, ундаги токнинг актив ташкил этувчиси:

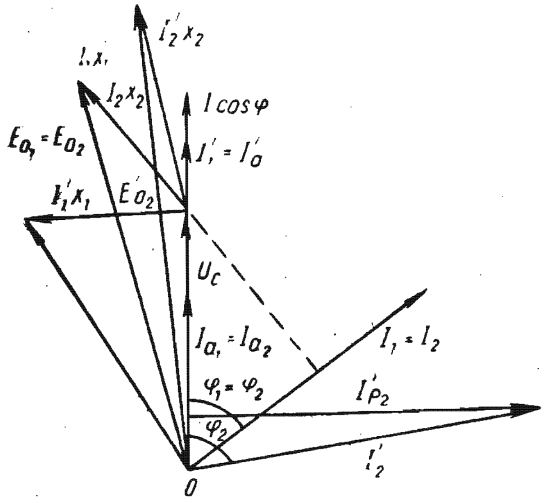
$$I'_2\cos\varphi'_2 = I\cos\varphi - I'_1\cos\varphi'_1 = 480 - 44\,0 = 40 \text{ А.}$$

Ўзгарган режимда иккинчи генератор токининг реактив ташкил этувчиси:

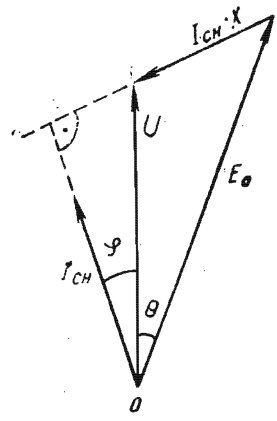
$$I'_2\sin\varphi'_2 = I\sin\varphi - I'_1\sin\varphi'_1 = I\sin\varphi = 800\cdot 0{,}8 = 640 \text{ А.}$$

Иккинчи генераторнинг ток кучи:

$$I'_2 = \sqrt{(I'_2\cos\varphi'_2)^2 + (I'_2\sin\varphi'_2)^2} = 645 \text{ А.}$$



10.26- расм.



10.27- расм.

Иккинчи генераторнинг қувват коэффициенти:

$$\cos\varphi_2' = \frac{I_2'\cos\varphi_2'}{I_2'} = \frac{40}{645} = 0{,}06.$$

Генераторларнинг актив қувватлари:

$$P_1 = P_2 = \sqrt{3}\,UI_2\cos\varphi_2 = \sqrt{3}\,UI_1\cos\varphi_1 =$$
$$= 1{,}73 \cdot 10000 \cdot 400 \cdot 0.6 = 4142 \text{ кВт};$$
$$P_1' = \sqrt{3}\,UI_1'\cos\varphi_1' = 1{,}73 \cdot 10000 \cdot 400 = 7612 \text{ кВт};$$
$$P_2' = \sqrt{3}\,UI_2'\cos\varphi_2' = 1{,}73 \cdot 10000 \cdot 40 = 692 \text{ кВт}.$$

Текшириш:

$$P = P_1 + P_2 = 4152 + 4152 = 8304 \text{ кВт};$$
$$P' = P_1' + P_2' = 7612 + 692 = 8304 \text{ кВт}.$$

Вектор диаграммани қурамиз (10.26-расм).

3-масала. Уч фазали синхрон двигатель қуйидаги номинал параметрларга эга: $P_{ном} = 800$ кВт; $n_{ном} = 1500$ айл/мин; $\eta_{ном} = 93\%$; $\cos\varphi_{ном} = 0{,}9$ $(\varphi < 0)$ тармоқнинг линия кучланиши $U_л = 10000$ В. Статор чулғамлари „юлдуз" схемада уланган. Уйғотиш токи номинал режимда $E_0 = 1{,}3U_ф$ ни ҳосил қилади. Тармоқ частотаси $f = 50$ Гц.

Қуйидагилар: статорнинг номинал токи; жуфт қутблар сони; двигателнинг берилган иш режими учун вектор диаграммаси қурилсин ва ундан статор чулғамининг реактив қаршилиги аниқлансин. E_0 қийматлари $0{,}8U_ф$; $0{,}9U_ф$; $1{,}2U_ф$; $1{,}5U_ф$

га тенг бўлганда (ўзгармас нагрузкада) векторлар диаграммаси қурилсин ва қабул қилинаётган ток қийматлари ва фаза силжиш бурчаклари φ топилсин; U-симон характеристика $I_с = f(I_у)$ ва бурчак боғланиши $\varphi = f(I_у)$ лар қурилсин. Уйғотиш токининг айрим қийматлари қуйида келтирилган.

E_0%	58	87	100	120	132
$I_у$%	50	80	100	150	200

Ечилиши. Статорнинг номинал токи

$$I_{с\,ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3}\,U_л \cos\varphi_н \eta_{ном}} = \frac{800 \cdot 10^3}{1{,}73 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}93} = 55 \text{ А}.$$

Жуфт қутблар сони:

$$p = \frac{60f}{n} = \frac{60 \cdot 50}{1500} = 2.$$

Двигателнинг берилган иш режими учун векторлар диаграммасини қурамиз (10.27-расм). Бунинг учун қуйидагиларни аниқлаймиз:

$$U_ф = \frac{U_л}{\sqrt{3}} = \frac{10000}{\sqrt{3}} = 5800 \text{ В};$$

$$E_0 = 1{,}3U_ф = 1{,}3 \cdot 5800 = 7550 \text{ В};$$

$$\varphi = \arccos 0{,}9 = -25°.$$

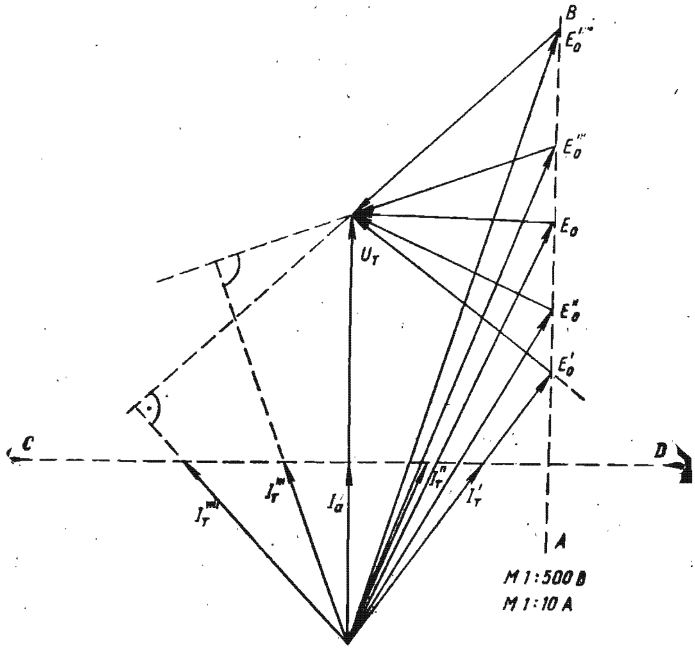
Кучланиш масштабини 1 : 1000 В, ток масштабини 1 : 10 А қилиб оламиз.

Ҳосил қилинган миқдор $I_{с\,ном} - X = 2{,}75$ см га тенг ёки 2750 В. Бундан

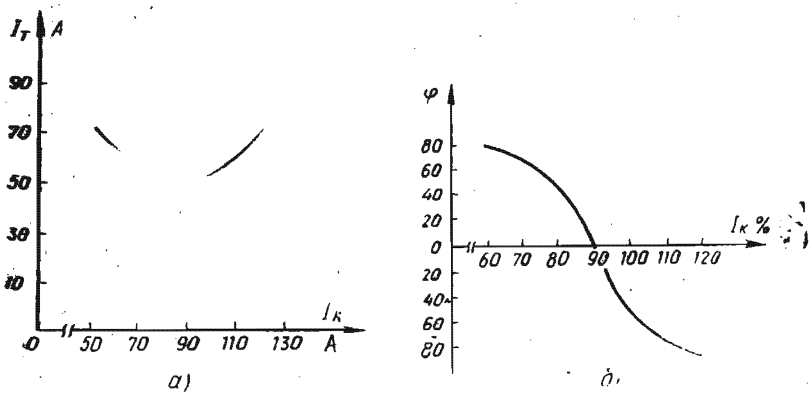
$$X = \frac{2750}{I_{с\,ном}} = \frac{2750}{55} = 50 \text{ Ом}.$$

Берилган қийматлар: $E_0 = 4650$ В; 5220 В; 6960 В; 8700 В учун векторлар диаграммасини қурамиз (10.28-расм). Диаграмма бўйича U-симон характеристикаларни қуриш учун қуйидаги жадвални тузамиз ва ундан фойдаланган ҳолда $I_с = f(I_у)$ ва $\varphi = f(I_у\%)$ характеристикаларни қурамиз (10.29-расм).

E_0	В	4650	5220	6400	6960	7550	8700
$I_у$	%	61,5	69	85	92	100	115
$I_с$	А	70	58	51	54	55	70
φ	град	70	50	0	−35	−45	−66



10.28- расм.



10.29- расм.

4- масала. Корхонада умумий қуввати 1000 кВт бўлган асинхрон двигателлар ўрнатилган. Корхонанинг ўртача қувват коэффициенти $\cos\varphi_{ўр} = 0{,}77$. Электр жиҳозлар подстанциядан линия кучланиши ($U_л = 380$ В) билан таъминланади. Энергия келувчи симлардаги қувват исрофи $\Delta P_л = 60$ кВт ни, фаза симининг қаршилиги $r_л = 0{,}005$ Ом ни ташкил этади. Қувват коэффициентини $\cos\varphi' = 0{,}95$ қийматгача ошириш учун синх-

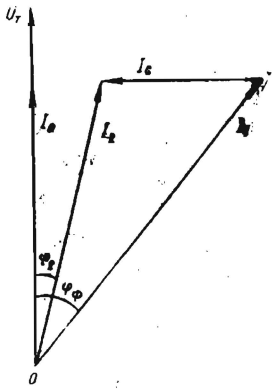
рон компенсатор ўрнатиш мўлжалланган. Агар компенсатордаги актив исрофлар унинг реактив қувватининг 3% ини ташкил қилса унинг тўла қувватини ҳамда компенсатор уланғандан кейин энергия келувчи симлардаги қувват исрофини аниқланг.

Ечилиши. Компенсаторнинг реактив қуввати

$$Q_{ск} = P_{ад}(\operatorname{tg}\varphi_{ўр} - \operatorname{tg}\varphi') =$$
$$= 1000\,(0.84 - 0{,}33) = 510 \text{ кВАр.}$$

Компенсатордаги актив қувват исрофи:

$$\Delta P_{ск} = 0{,}03 Q_{ск} =$$
$$= 0{,}03 \cdot 510 = 15{,}3 \text{ кВт.}$$



10.30-расм.

Компенсацияга қадар линиялардаги ток кучи:

$$I_1 = \frac{P_{ад}}{\sqrt{3}\,U_л \cos\varphi_{ўр}} = \frac{1000 \cdot 10^3}{1{,}73 \cdot 380 \cdot 0{,}77} = 1990 \text{ А.}$$

Компенсаторнинг тўла қуввати:

$$S_{ск} = \sqrt{\Delta P_{ск}^2 + \Delta Q_{ск}^2} = \sqrt{15{,}3^2 + 510^2} = 512 \text{ ВА.}$$

Компенсатор ўрнатилгандан кейин линиялардаги ток кучи

$$I_1' = \frac{P_{ад}}{\sqrt{3}\,U_л \cos\varphi} \frac{1000 \cdot 10^3}{1{,}73 \cdot 380 \cdot 0{,}95} = 1600 \text{ А.}$$

Ўтказувчи симлардаги компенсация қилинмасдан ва қилингандан кейинги қувват исрофлари:

$$\Delta P_л = 3 I_л^2 r_к = 3 \cdot 1990^2 \cdot 0{,}05 = 60 \text{ кВт;}$$
$$\Delta P_л' = 3 (I_л')^2 r_л = 3 \cdot 1600^2 \cdot 0{,}05 = 38{,}5 \text{ кВт.}$$

Подстанциянинг қувват бўйича тежамлилиги

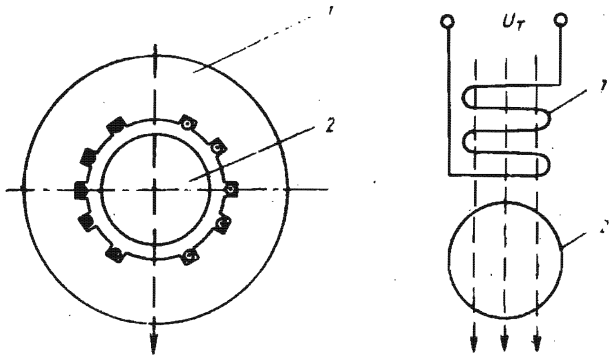
$$P = \Delta P_л - \Delta P_л' - \Delta P_{ск} = 60 - 38{,}5 - 15{,}3 = 6{,}2 \text{ кВт.}$$

Векторлар диаграммасини қурамиз (10.30-расм).

11-боб. КИЧИК ҚУВВАТЛИ ЭЛЕКТР МАШИНАЛАР

11.1. БИР ФАЗАЛИ АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЛАР

9-бобда кўриб чиқилган уч фазали асинхрон двигателлар конструкциясининг содда ва мукаммаллиги, механик характеристикаларининг яхшилиги, айланувчи магнит майдони осонликча ҳосил қилиниши мумкинлиги уларни турли саноат қурилмаларида двигатель тарзида ишлатишга сабаб бўлди.



11.1- расм.

Уч фазали асинхрон двигателлар билан бир қаторда саноатда бир фазали асинхрон двигателлар ҳам кўп ишлатилади. Бир фазали асинхрон двигателларнинг қуввати 15 ÷ 600 Вт бўлиб, уларнинг энергетик кўрсаткичлари, ишлаш хусусиятлари нисбатан пастдир. Шунга қарамай, бир фазали двигателлар автоматик бошқариш қурилмаларида, уй-рўзғор электр асбобларида, вентиляторларнинг электр юритмаларида, насос, компрессор, овоз ёзиш аппаратларида кенг қўлланилади. 11.1-расмда бир фазали асинхрон двигателнинг тузилиши кўрсатилган. Бир фазали двигатель қўзғалмас статор (*1*) ва қўзғалувчи (айланувчи) қисқа туташтирилган чулғамли ротордан (*2*) иборат. Статорда кўп секцияли чулғам жойлаштирилган бўлиб, иш фазаси статор пазаларининг учдан икки қисмини эгаллайди. Статор чулғамини бир фазали манбага улаганимизда ўзгарувчан ток пульсацияланувчи магнит майдонини ҳосил қилади. Магнит майдон вектори фазода статорнинг фаза чулғамлари текислигига перпендикуляр йўналган ва қўзғалмас бўлиб, қиймат ва йўналиши жиҳатдан ўзгарувчан бўлади, яъни двигателда айланувчи магнит майдони ҳосил бўлмайди. Бир фазали асинхрон двигателнинг ишлаш принципини тушуниб олиш учун пульсацияланувчи магнит майдон векторини турли томонга айланувчи иккита бир хил магнит майдон векторларига ажратамиз. Ҳосил бўлган магнит майдонининг амплитуда қийматлари пульсацияланувчи магнит майдони оқимининг ярмига тенг бўлади, яъни бир фазали статор чулғамини фазалар кетма-кетлиги турлича бўлган ва умумий уч фазали манбага уланган иккита уч фазали чулғам билан алмаштирамиз.

11.2-расм, *в* да фазаларни алмаштириш тартиби кўрсатилган: бирида $A - B - C$, иккинчисида $A - C - B$ статор чулғамларида ҳосил бўлган тўғри ва тескари кетма-кетликда айланувчи магнит майдонлар ротордa $i_{тўғр}$ ва $i_{теск}$ токларни индукциялайди. Бинобарин, бир фазали двигателнинг ишлашини

тадқиқ қилишни иккита умумий роторли бир хилдаги уч фазали двигателнинг тадқиқи билан алмаштириш мумкин. Тўғри ва тескари кетма-кетликдаги магнит майдонлари ўзлари ҳосил қилган токлар билан ўзаро таъсирлашиш натижасида қиймати тенг бўлган ва қарама-қарши йўналган айлантирувчи момент ҳосил қилади. Натижада двигателда ишга тушириш моменти нолга тенг бўлади. Шунинг учун бир фазали асинхрон двигателни манбага улаганимизда унинг қўзғалмас ротори мустақил равишда айлана олмайди. Бу эса бир фазали асинхрон двигателнинг асосий камчиликларидан ҳисобланади. Бунда двигателни ишга тушириш учун қўшимча қурилма талаб қилинади.

Бир фазали асинхрон двигателнинг механик характеристикасини қуришда, кўрилаётган иккита „уч фазали" двигателларнинг механик характеристикаларидан фойдаланилади.

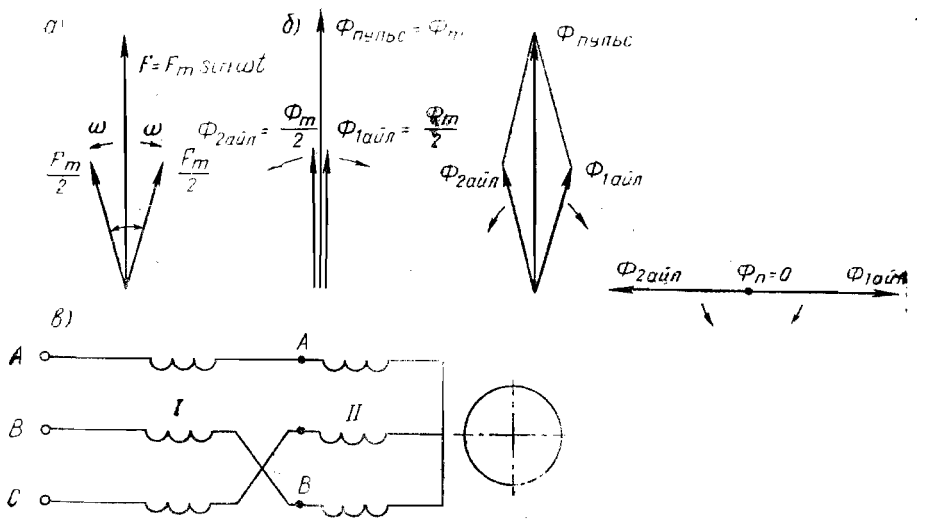
Айланиш йўналиши роторнинг тахмин қилинаётган айланиш йўналиши билан мос тушган магнит майдони „тўғри", қарама-қарши йўналганини эса „тескари" деб ҳисоблаймиз. У ҳолда Φ тўғри магнит оқимига нисбатан роторнинг сирпаниши

$$S_{\text{тўғ}} = \frac{n_{0\,\text{тўғ}} - n}{n_{0\,\text{тўғ}}} = \frac{n_0 - n}{n_0} = 1 - \frac{n}{n_0}. \qquad (11.1)$$

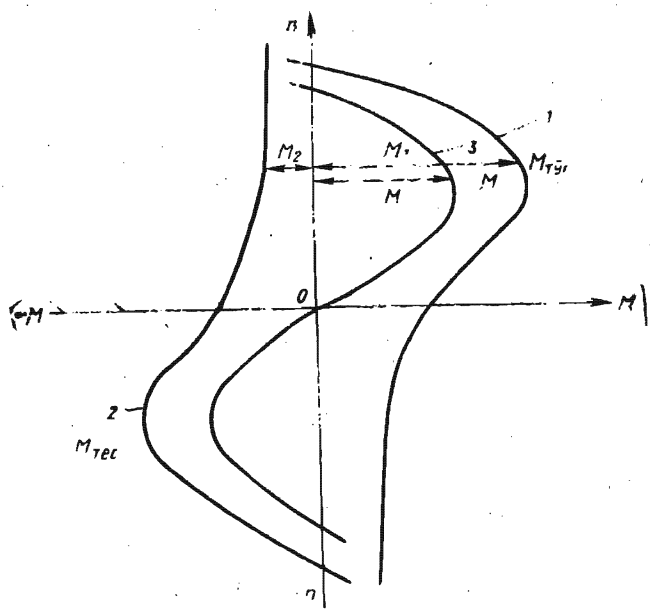
Демак, двигатель тезлашган сари сирпаниш камаяди, момент M эса маълум қийматгача ошади.

Тескари магнит оқимига нисбатан роторнинг сирпаниши эса

$$S_{\text{теск}} = \frac{n_{0\,\text{теск}} + n}{n_{0\,\text{теск}}} = \frac{n_0 + n}{n_0} = 1 + \frac{n}{n_0}. \qquad (11.2)$$



11.2- расм.



11.3- раси.

(11.1) ни эътиборга олиб, қуйидагини ҳосил қиламиз.

$$S_{теск} = 2 - S_{тўғр}. \qquad (11.3)$$

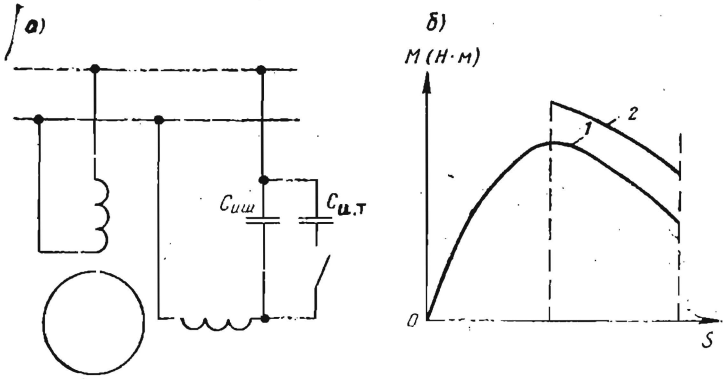
$S_{теск}$ нинг ортиши ротор токининг частотаси ҳамда ротор чулғамининг индуктив қаршилиги ортишига сабаб бўлади, натижада M_2 момент камаяди.

„Тўғри" ва „тескари" майдонлар таъсири натижасида ҳосил бўлган умумий айлантирувчи моментнинг қиймати M_1 ва M_2 моментларнинг алгебраик йиғиндисига тенг бўлиб, йўналиши қиймати катта момент йўналиши бўйича бўлади. 11.3-расмда „тўғри" майдон (2- эгри чизиқ) ва бир фазали двигателнинг (3- эгри чизиқ) механик характеристикалари кўрсатилган. Бир фазали асинхрон двигателнинг механик характеристикаси (3- эгри чизиқ)дан кўринадики, ротор ташқи куч таъсирида (қўл билан айлантирганда) бирламчи тезланиш олиб, шу куч йўналиши бўйича маълум катталикдаги момент ҳосил қилиб айлана бошлайди, яъни роторнинг айланиш йўналиши ташқи куч йўналиши билан аниқланади.

Бир фазали двигателнинг механик характеристикаси бўйича қуйидаги хулосаларни айтиш мумкин:

— бир фазали двигатель ишга тушириш моментига эга эмас;

— „тескари" майдоннинг тормозловчи моменти туфайли двигателнинг салт ишлаш тезлиги уч фазали двигателнинг салт ишлаш тезлигидан кичик;

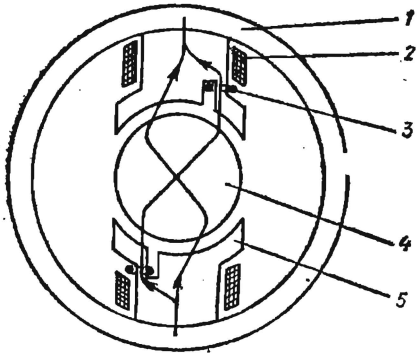


11.4- расм.

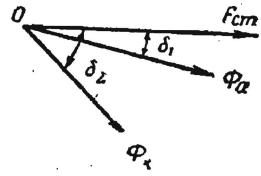
— бир фазали двигателнинг юкланиш қобилияти ва ФИК нисбатан кичик.

Статорининг ички сиртидан тўлиқ фойдаланилмагани учун бир фазали двигателнинг қуввати бир хил ўлчамли уч фазали двигатель қувватининг тахминан 2/3 қисмига тенг бўлади. Чунки бир фазали двигатель ишга тушириш моментига эга эмас, яъни уни ишга тушириш учун махсус қурилма керак бўлади. Бир фазали двигателлар статор пазларининг 1/3 қисмига жойлаштирилган ва иш чулғами билан 90° бурчак ҳосил қилган ишга тушириш чулғами билан жиҳозланади. Двигателда айлантирувчи момент ҳосил қилиш учун чулғамлар фазода ўзаро 90° га силжиган бўлиши билан бирга, чулғамлардан ўтадиган токлар ҳам вақт бўйича шу бурчакка силжиган бўлиши керак. Бундай силжишни таъминлаш учун ишга тушириш чулғамига кетма-кет тарзда фаза силжитувчи элементлар улаш тавсия этилади. Масалан, сиғим C уланади. 11.4-расмда ишга тушириш чулғами бир фазали двигатель схемаси ва токларнинг вектор диаграммаси кўрсатилган. Иш ва ишга тушириш чулғамлари манбага уланганда двигателда айланувчи магнит майдони ҳосил бўлади ва двигателнинг ишга тушишини таъминлайдиган айлантирувчи момент роторга таъсир эта бошлайди. Ротор маълум тезланишга эришгандан сўнг ишга тушириш чулғами узиб қўйилади ва двигатель бир фазали двигатель каби ишлайди.

Ҳозирги пайтда саноатда ишлаб чиқарилаётган бир фазали двигателларда „ишга тушириш" чулғами ва конденсаторни иш жараёнида ҳам манбадан узмаслик мумкин. Бундай двигателлар конденсаторли двигателлар деб аталади (11.5-расм). Бундай двигателларда ҳар бир чулғам статорнинг ички сиртидаги пазларнинг ярмисини эгаллайди ва иш чулғами ҳисобланади. Чулғам ўқлари фазода 90° га силжиган бўлади. Иш сиғими



а)



б)

11.5- расм.

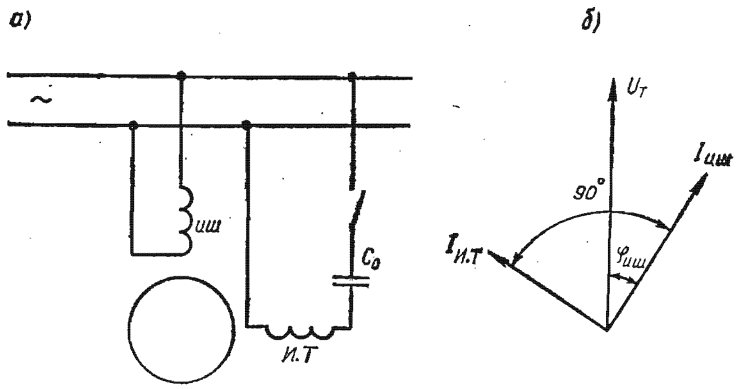
$C_{иш}$ нинг қиймати шундай танланадики, бунда чулғамлардаги токлар ўзаро 1/4 даврга силжиган бўлади. Бунда двигателнинг иш жараёнида айланувчи магнит майдони ҳосил бўлиши ҳамда унинг энергетик кўрсаткичлари яхшиланиши таъминланади. Ишга тушириш моментини ошириш, айланувчи майдон ҳосил қилиш учун двигателни ишга тушириш жараёнида $C_{иш}$ конденсаторга параллел $C_{и.т}$ конденсатори ҳам уланади. Двигатель ишга тушгандан сўнг айлантирувчи магнит майдон шаклини бузмаслик, қийшайтирмаслик учун конденсатор $C_{и.т}$ узиб қуйилади. Двигатель номинал тезликнинг 80% ига эришганда ҳамда $C_{и.т}$ узилгандан сўнг двигателнинг ҳаракати *1* эгри чизиқ бўйлаб давом этади. Бу эгри чизиқ катта юкланиш қобилияти ва қувват коэффициентига эга бўлган бир фазали двигателнинг механик характеристикасига мос келади.

Статори аниқ намоён қутбли бўлган бир фазали асинхрон двигателларнинг ҳам конструкцияси мавжуд (11.6- расм). Статор чулғамлари (*2*) қутбларга маҳкамланган бўлади. Қутб бошмоқларида (*4*) чуқур пазлар ажратилган бўлиб, унга мисдан ясалган, қисқа туташтирилган ҳалқа (*3*) ўрнатилади. Двигатель оддий қисқа туташтирилган роторли (*5*) бўлади. Бунда статор чулғамлари ҳосил қилган магнит майдони оқимини иккита магнит майдони оқимларининг йиғиндиси сифатида кўрсатиш мумкин:

$$\overline{\Phi} = \overline{\Phi}_0 + \overline{\Phi}_к,$$

бу ерда: Φ_0 — қутбнинг қисқа туташтирувчи ҳалқа эгалламаган қисмидан ўтувчи магнит оқими; $\Phi_к$ — қисқа туташтирувчи ҳалқага илакишувчи магнит оқими

Бу оқимлар фазода статор фаза чулғамининг магнитловчи кучига нисбатан фаза жихатдан ўзаро α бурчакка силжиган



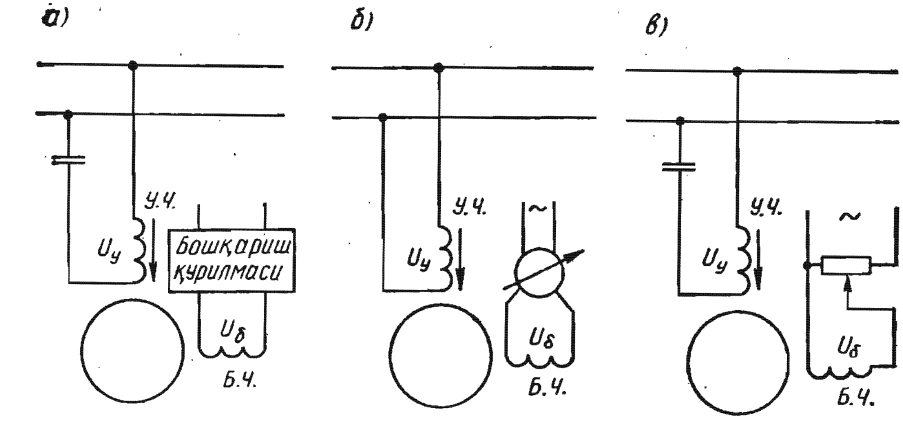
11.6- расм.

бўлади. Чунки Φ_0 оқим магнитловчи кучдан унча катта бўлмаган бурчакка кечикади, $\Phi_к$ оқим эса катта иссиқлик ва магнит исрофлари туфайли каттароқ бурчакка (45° гача) кечикади. Магнит оқимлари (Φ_0 ва $\Phi_к$) нинг фазода ва фазалари ўзаро силжиган бўлиши роторнинг бир қисқа туташтирилган ҳалқадан иккинчи ҳалқага томон ҳаракатини таъминлайдиган айлантирувчи магнит майдони ҳосил қилади. Бундай двигателлар конструктив тузилиши жиҳатдан содда ва уларни ишлатиш қулай бўлади. Аммо қувват коэффициенти, ФИК ва ишга тушириш моментининг кичик бўлиши уларнинг камчилиги ҳисобланади.

11.2. ИККИ ФАЗАЛИ ИЖРОЧИ АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЛАР

Кузатиш системаларда, ҳисоблаш техникасида ва автоматика қурилмаларида электр сигналларни механик ҳаракатга айлантиришга хизмат қиладиган икки фазали асинхрон двигателлар кенг тарқалган. Бундай ижрочи двигателларга барча иш режимларида бошқариш мумкинлиги, механик ва ростлаш характеристикаларининг чизиқли бўлиши, шовқин чиқармаслик, тез ҳаракатланувчанлик каби талаблар қўйилади.

Кичик қувватли икки фазали асинхрон двигателлар (қуввати ваттнинг бир неча улушларидан бир неча юз ваттгача) статор ички сиртининг ярмини эгаллаган ва ўзаро 90° бурчакка силжиган иккита чулғамга эга бўлади. Чулғамлардан бири доимо бир фазали тармоққа уланган бўлиб, пульсацияланувчи магнит майдони ҳосил қилади ва *уйғотиш чулғами* деб аталади. Бошқа чулғамга эса бошқариш қурилмасидан бошқарувчи сигнал берилиб, айлантирувчи майдон ҳосил қилинади. Бу чулғам *бошқариш чулғами* дейилади. Бошқариш чулғамидаги кучланишни уч хил: амплитудали, фазали ва амплитуда-



11.7- расм.

фазали усулда ўзгартириш мумкин (11.7- расм). Амплитудали бошқаришда уйғотиш кучланиши $U_у$ ўзгартирилмайди, бошқариш кучланиши $U_б$ эса ростланади. Кучланишлар орасидаги фаза силжиши эса 90° бўлиб қолаверади. Ижрочи двигателнинг режимларини тадқиқ қилишни осонлаштириш учун бошқарувчи сигнал коэффициенти тушунчасини киритамиз:

$$\text{амплитудали бошқаришда } K = \frac{U_б}{U_у}, \tag{11.4}$$

$$\text{фазали бошқаришда } K = \sin\beta. \tag{11.5}$$

Сигнал коэффициенти машинанинг магнит майдонини характерлайди. Чунончи, $K = 0$ бўлганда пульсацияланувчи майдон, $K < 1$ бўлганда эклиптик шаклда айланувчи, $K = 1$ бўлганда эса айланма магнит майдони ҳосил бўлади.

11.1-§ да кўрилган конденсаторли бир фазали асинхрон двигателни ижрочи двигатель сифатида ишлатиш мумкин эмас, чунки юргизиш чулғамидаги бошқариш кучланиши узилгандан кейин ҳам ротор пульсацияланувчи магнит майдони туфайли айланишини давом эттириши мумкин, яъни двигатель ўз-ўзидан ишлаши мумкин. Натижада уни бошқариш мумкин бўлмай қолади. Бинобарин, двигателни бошқариш имконияти бўлиши ва бир фазали режимда қолиш учун $M_{теск} > M_{тўр}$ бўлиши керак. Ўз-ўзидан ишлаб кетиш шарти қуйидагича

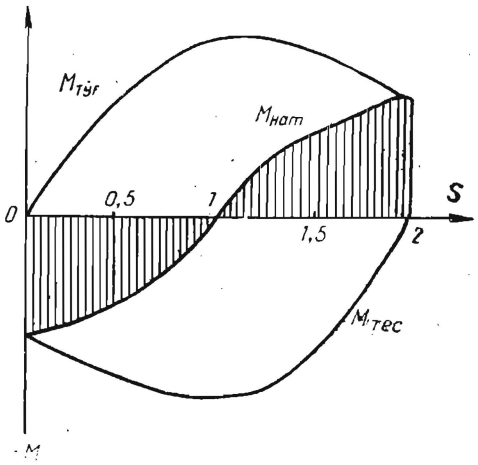
$$M_{нат} = M_{тўғ} - M_{теск} \leqslant 0. \tag{11.6}$$

Механик характеристикалари бўйича ўз-ўзидан ишламаслик шарти (11.3) ни ҳисобга олган ҳолда қуйидагича ёзиш мумкин:

$$M_{тўр}(S) \leqslant M_{теек}(2 - S). \tag{11.7}$$

Агар $S_{кр} \geqslant 1$ бўлса, (11.7) шарт бажарилади.

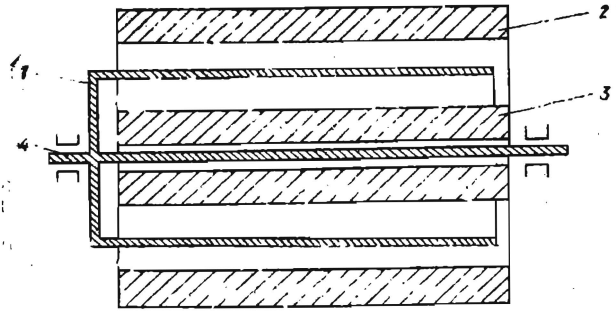
Ижрочи двигателларда $S_{кр} = 1{,}1 - 1{,}2$ бўлганда ўз-ўзидан ишлашнинг олдини олиш мумкин. Бундай шарт ротор стерженларининг актив қаршилиги катта бўлган қисқа туташган роторли асинхрон двигателларда бажарилиши мумкин. Бундай „олмахон ҳалқали" ротор стерженлари солиштирма қаршилиги катта бўлган металлар (жез, бронза) дан кўндаланг кесим юзаси кичик қилиб ясалади.



11.8- расм.

Ротор чулғамининг актив қаршилиги катта бўлган бир фазали асинхрон двигателнинг механик характеристикаси 11.8-расмда кўрсатилган. Сирпаниш $0 < S < 1$ оралиқда ўзгарганда „тескари" майдон моменти „тўғри" майдон моментидан катта бўлади, натижада двигатель бир фазали иш режимида тўхтайди ва ўз-ўзидан ишламайди. Икки фазали режимда эса, бошқарувчи кучланиш таъсир этганда машинада айланма магнит майдони ҳосил бўлади ва тормоз режимида, яъни $S_{кр} > 1$ бўлганда машина максимал моментга эришади. Бундай двигатель айланиш тезлигининг барча оралиғида барқарор ишлайди, аммо роторнинг массаси туфайли катта инерция моменти юзага келади ва ижрочи двигателнинг тезкорлиги камаяди.

Ротори номагнит юмшоқ металл (алюминий қотишмаси) дан ковак цилиндр шаклда ясалган двигателлар яхши хусусиятга эга бўлади. Бундай двигателнинг статори икки қисмдан иборат бўлади; ташқи қисми пўлатдан ковак цилиндр *2* шаклда, ички қисми эса оғир пўлатдан цилиндр *3* шаклда ясалади. Статорнинг иккала қисми ҳам пермалой япроқчалардан йиғилган бўлиб, статор чулғами ташқи ёки ички ўзакда, ёки ҳам ташқи, ҳам ички ўзакда жойлаштирилади. Кичик инерцияли номагнит ротор *1* вал *4* га ўрнатилган бўлади. Статор чулғамларидан ток ўтганда айланма магнит майдони ҳосил бўлиб, роторда ЭЮК индукцияланади. Бу ЭЮК роторда айланма магнит майдони билан ўзаро таъсирлашувчи уюрма ток ҳосил қилади Натижада айлантирувчи момент ҳосил бўлади. Уюрма токлар роторнинг юқори сиртидан ўтгани учун унинг актив қаршилиги анча кўпаяди.



11.9- расм.

Ижрочи асинхрон двигатель роторининг айланиш йўналишини ўзгартириш (реверслаш) учун амплитудали бошқаришда сигнал фазасини 180° га ўзгартириш, фазали бошқаришда эса уйғотиш кучланиши U_y нинг фазасидан бошқариш кучланиши $U_б$ нинг фаза жиҳатдан илгарилаб кетишини таъминлаш керак (агар реверслашдан олдин бошқариш кучланиши фаза жиҳатдан U_y дан кечиккан бўлса).

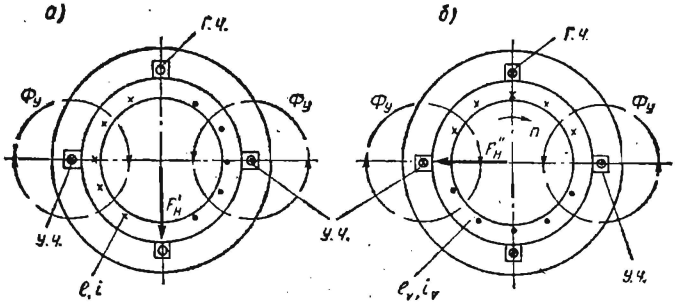
11.3. АСИНХРОН ТАХОГЕНЕРАТОРЛАР

Автоматика қурилмаларида икки фазали асинхрон двигателлардан айланма ҳаракатдаги механик энергияни электр энергиясига айлантирувчи асбоб, яъни механизмлар ўқининг айланиш тезлигини ўлчаш учун ишлатиладиган *тахогенератор* сифатида фойдаланиш мумкин.

Тахогенераторнинг характеристикаси чизиқли бўлиб, ундаги чиқиш кучланиши билан айланиш тезлиги орасидаги боғлиқликни ифода этади, яъни

$$U = K \cdot n. \qquad (11.8)$$

Асинхрон тахогенераторнинг тузилиши ковак роторли ижрочи двигателнинг тузилиши билан бир хилдир. Статордаги битта чулғам уйғотиш чулғами ҳисобланиб, манбага уланади. Иккинчиси генератор ёки чиқиш чулғами ҳисобланиб, нагрузкага ёки индикаторга уланади. Частотаси f бўлган тармоқ токи уйғотиш чулғамидан оқиб ўтиб, пульсацияланувчи магнит майдонини ҳосил қилади. Пульсацияланувчи майдоннинг ўқи уйғотиш чулғамининг ўқи билан мос тушади. Қўзғалмас роторда ушбу магнит майдони трансформатор ЭЮК ва токи деб аталувчи e_t ва i_t ни индукциялайди. Роторнинг актив қаршилиги катта бўлгани туфайли фаза жиҳатдан e_t билан мос тушади ва роторни магнитловчи куч F'_p трансформатордаги каби пульсацияланувчи магнит оқими йўналиши бўйича таъсир эта-



11.10- расм.

ди. Уйғотиш чулғамига нисбатан 90° силжитиб жойлаштирилган генератор (чиқиш) чулғамида $\Phi_у$ оқимни ЭЮК индукцияламайди ва чиқиш кучланиши нолга тенг бўлади (11.10- расм, *а*). Ротор n тезлик билан айлантирилганда (11.10- расм, *б*) унда трансформатор ЭЮК идан ташқари, айланиш ЭЮК e_v ҳам индукцияланади ва айланиш токи i_v ҳосил бўлади.

Ротордаги токлар кўндаланг ўқ бўйича йўналган магнитловчи куч F''_p ва оқим Φ_p ҳосил қилади. Генератор (чиқиш) чулғамида бу оқим ЭЮК индукциялайди:

$$E_г = 4{,}44 f_1 w_г K_{r_г} \Phi_{pm}, \qquad (11.9)$$

бу ерда $w_г$ — генератор чулғамидаги ўрамлар сони, $K_{r_г}$ — генератор чулғамининг коэффициенти.

(11.9) ифодадаги f_1 (генератор чулғамининг ЭЮК частотаси) роторнинг айланиши тезлигига боғлиқ бўлмайди.

Чиқиш кучланишининг механизм (ротор) айланиш тезлигига боғлиқ ифодасини йўл қўйилиши мумкин бўлган хатоликлар (магнит занжирида тўйиниш йўқлиги, ҳаво бўшлиғи магнит қаршилигининг қиймати ва ҳ.) ни ҳисобга олган ҳолда келтириб чиқариш мумкин:

$$U_{чиқ} \approx E = C\Phi_{pm} = C_1 F''_p = C_2 e_V = C_3 V_2 = Kn, \qquad (11.10)$$

бу ерда $V_2 = \frac{\pi D_2 n}{60}$ — роторнинг айланиш тезлиги; C, C_1, C_2, C_3, K — доимий пропорционаллик коэффициентлари.

Мавжуд тахогенераторларда (11.10) ифода айрим хатоликлар туфайли ночизиқлидир.

Тахогенераторларга қуйидаги талаблар қўйилади:

— айланиш тезлиги билан чиқиш кучланиши ўртасида аниқ пропорционалликни таъминлаш;

— температура ва намлик ўзгарганда ҳам ишлашининг ишончли бўлиши;

— юқори даражада тезкорликни таъминлаш;

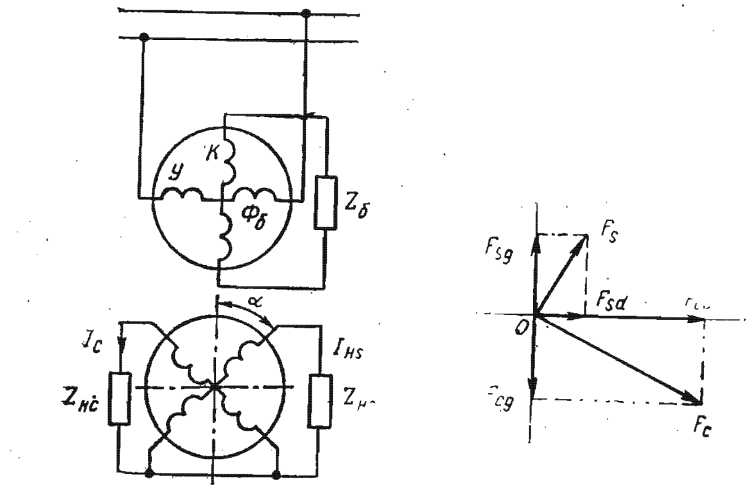
— тузилиши содда, оғирлиги ва ўлчамлари кичик бўлиши.

11.4. БУРИЛИШ ТРАНСФОРМАТОРЛАРИ

Бурилиш трансформаторлари роторнинг бурилиш бурчаги α ни кучланишга айлантириб берувчи, қуввати бир неча ваттдан иборат бўлган микромашиналардир. Статик трансформаторларда иккиламчи кучланиш амплитудаси қийматини ўзгартириш учун бирламчи кучланиш амплитудасини ўзгартириш керак бўлса, бурилиш трансформаторларида иккиламчи кучланиш амплитудаси роторнинг бурилиш бурчагига пропорционал бўлади. Бурилувчи трансформаторлар автоматик кузатиш системаларида, ҳисоблаш қурилмаларида алгебраик, геометрик ва тригонометрик масалаларни ечишда ишлатилади.

Тузилиши жиҳатдан бурилувчи трансформаторлар контакт ҳалқали асинхрон машиналарга ўхшайди. Статори электротехник пўлат япроқчалардан ковак цилиндр шаклда йиғилган бўлиб, ўзаро перпендикуляр жойлаштирилган иккита чулғамга эга бўлади. Ротори ҳам электротехник пўлат япроқчалардан барабан шаклда йиғилган бўлиб, ташқи занжир билан контакт ҳалқалар ва чўтка ёрдамида уланган иккита чулғамдан иборат.

Статор ва ротор чулғамларининг уланиш схемаларига кўра, чиқиш кучланиши ротор бурилиш бурчагининг синусига, косинусига ёки бурилиш бурчаги α га пропорционал (чизиқли



11.11- расм.

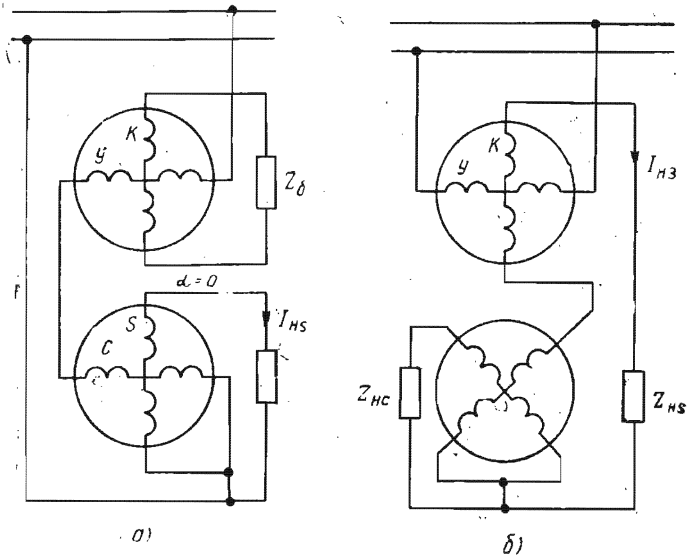
трансформатор) бўлади. Синус-косинусли бурилувчи трансформаторнинг (СКБТ) ишлаш принципи билан танишиб чиқамиз. Бундай трансформаторнинг электр схемаси 11.11-расмда кўрсатилган. Статорнинг уйғотиш чулғами $У$ ни ўзгарувчан ток манбаига уласак, трансформаторда пульсацияланувчи бўйлама магнит оқими $Ф_б$ ҳосил бўлади. Бу оқим чулғам s (синусли) ва c (косинусли) ларда ЭЮК ни индукциялайди:

$$\left.\begin{aligned} E_s &= KU_т \sin\alpha, \\ E_c &= KU_т \cos\alpha \end{aligned}\right\}, \qquad (11.11)$$

бу ерда $K = \frac{w_р}{w_{ст}}$ — статордан роторга трансформация коэффициенти; $w_р$ ва $w_{ст}$ — ротор ва статор чулғамларининг ўрамлар сони; $U_т$ — тармоқ кучланиши.

(11.11) га асосан чулғамлардаги I_c ва I_s токлар ҳамда $Z_{нs}$ ва $Z_{нs}$ нагрузка қаршиликлардаги кучланишлар ҳам $\cos\alpha$ ва $\sin\alpha$ га пропорционал бўлади. Ротор токлари пульсацияланувчи МЮК F_s ва F_c ларни ҳосил қилади. Бу МЮК ларни ташкил этувчиларга ажратиш мумкин: F_{cd} ва F_{sd} — бўйлама ўқ бўйича ва F_{cq} ва F_{cq} — кўндаланг ўқ бўйича (11.11-расм, *б*). Бўйлама ўқ бўйича пульсацияланувчи МЮК оддий трансформатордаги каби уйғотиш чулғамининг МЮК билан мувозанатлашади. Ротор МЮК ининг кўндаланг ташкил этувчиси эса мувозанатлашмайди ва ротор чулғамларида ЭЮК индукцияловчи пульсацияланувчи магнит оқими ҳосил қилади. Натижада $\sin\alpha$ ва $\cos\alpha$ билан чиқиш кучланиши орасидаги пропорционал боғланиш бузилади. Чиқиш кучланиши билан бурилиш бурчаги орасидаги мувофиқ боғлиқликни ҳосил қилиш учун ротор МЮК ининг кўндаланг ташкил этувчисини компенсациялаш керак. Компенсациялашнинг икки хил: бирламчи (статор томонидан) ва иккиламчи (ротор томонидан) усули мавжуд. Компенсациялашнинг бирламчи усулида статор чулғами k унча катта бўлмаган балласт қаршилигига $Z_б$ га тўғридан-тўғри уланади. Иккиламчи компенсациялашда эса ротор чулғамларига бир хил нагрузка қаршилиги уланади $Z_{нs} = Z_{нc}$. Бунда роторнинг кўндаланг магнит оқими нолга тенг бўлиб, хатолик бўлмайди. Одатда, компенсациялашнинг иккала усули ҳам қўлланилади, чунки иш вақтида нагрузка қаршилигининг тенглигини таъминлаш қийин бўлади. СКБТ дан фарқли ўлароқ, чизиқли бурилувчи трансформатор (ЧБТ) ларда чиқиш кучланиши роторнинг бурилиш бурчаги α билан чизиқли боғланган $U_{чиқ} = f(\alpha)$. ЧБТ ни ҳосил қилиш учун машина чулғамлари бирламчи компенсациялаш схемаси бўйича (11.12-расм, *а*) ёки иккиламчи компенсациялаш схемаси бўйича (11.12-расм, *б*) уланади. 11.12-расмда кўрсатилгандек, k, c, s чулғамлардаги кучланиш насаюви ҳисобга олинган ҳолда, чиқиш кучланишини синус чулғамидан олиш мумкин:

$$U_{чиқ} = KU_т \frac{\sin\alpha}{1 + K\cos\alpha}.$$



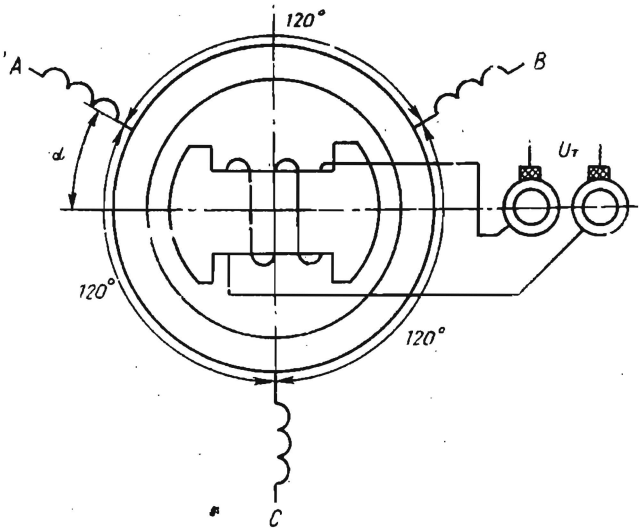
11.12- расм.

Агар $K = \frac{w_р}{w_{ст}} = 0{,}52 \div 0{,}56$ ва $\alpha = \pm 55°$ бўлса, чиқиш кучланиши бурилиш бурчагига пропорционал бўлади ($U_{чиқ} = KU_т \cdot \alpha$). Юқори аниқликдаги пропорционаллик $\alpha = \pm 30°$ да таъминланади.

11.5. СИНХРОН БОҒЛАНГАН ИНДУКЦИОН МАШИНАЛАР. СЕЛЬСИНЛАР

Дистанцион (масофадан туриб бошқариш) ва кузатиш системаларида механик равишда ўзаро боғланмаган иккита ўқнинг синхрон ёки синфаза бурилишини ёки айланишини таъминлаш талаб қилинади. Бурилиш бурчагини синхрон равишда узатишда *сельсин* деб аталувчи индукцион машиналардан фойдаланилади. Машиналардан бири етакчи ўқ билан механик боғланган бўлиб, датчик деб аталади, иккинчиси эса етакланувчи ўқ билан боғланган бўлиб қабул қилгич дейилади. Сельсинларнинг қуввати кичик бўлиб, асинхрон машиналар каби ясалади.

Датчикнинг бирламчи чулғами, яъни уйғотиш чулғами роторда жойлашган бўлиб, ўзгарувчан ток манбаига уланади. Иккиламчи чулғам, яъни синхронлаш чулғами эса статор пазларига жойлаштирилади. Сельсинлар бир фазали ва уч фазали, контакт ҳалқали ёки контакт ҳалқасиз бўлади. Уйғотиш чулғами статорда, синхронлаш чулғами эса роторда ҳам жой-



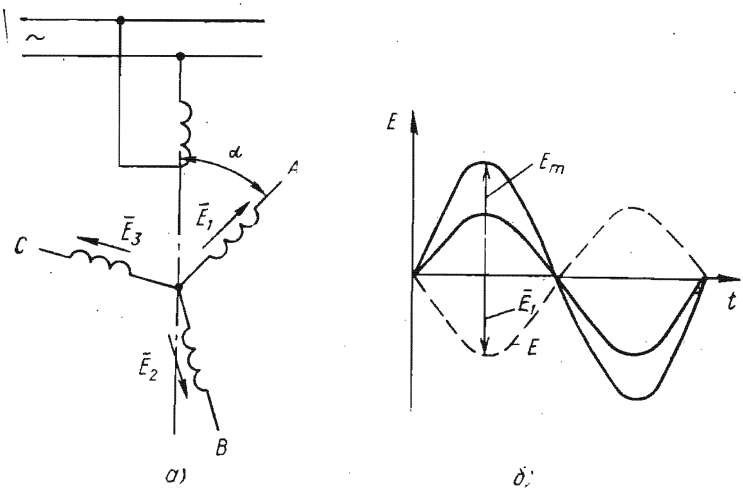
11.13- расм.

лашиши мумкин. Ротор чулғами бир фазали бўлган сельсиннинг схемаси 11.13- расмда кўрсатилган. Агар уйғотиш чулғами ўзгарувчан ток тармоғига уланса, ундан ўтаётган ток ҳосил қилган пульсацияланувчи магнит майдон куч чизиқлари ротор ва статорнинг магнит ўзаклари орқали бирикади. Бунда синхронлаш чулғамида роторнинг бурилиш бурчагига пропорционал бўлган ЭЮК индукцияланади. Роторнинг бурилиши натижасида уйғотиш чулғами билан синхронлаш чулғамининг ҳар бир фазаси орасидаги ўзаро индуктивлик косинус қонуни бўйича текис ўзгаради. Агар биринчи фазадаги ЭЮК нинг амплитуда қийматини кўрадиган бўлсак, унда A чулғамнинг ўқи уйғотиш чулғамининг ўқи билан устма-уст тушганда ЭЮК энг катта қийматга эришади. Ротор $\alpha = 90°$ га бурилганда, яъни чулғамларнинг ўқлари ўзаро перпендикуляр бўлганда A фазадаги ЭЮК нолга тенг бўлади (11.14- расм). Синхронловчи фаза чулғамлари ўзаро 120° бурчак остида жойлашган эканлигини ҳисобга олиб, ЭЮК ларнинг эффектив қиймат ифодаларини ёзишимиз мумкин:

$$\left.\begin{aligned} E_A &= E_m \cos\alpha; \\ E_B &= E_m \cos(\alpha - 120°); \\ E_C &= E_m \cos(\alpha - 240°). \end{aligned}\right\} \qquad (11.13)$$

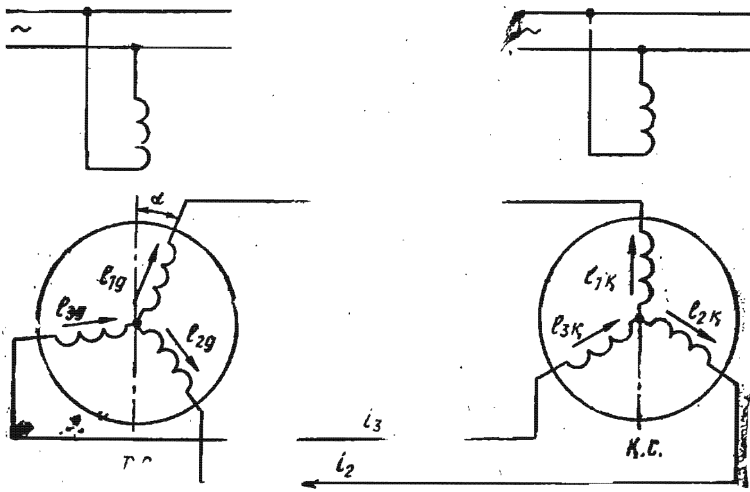
Сельсинларнинг асосан икки хил: индикаторли ва трансформаторли иш режимлари бор.

Индикаторли иш режими. Бу режим сельсин-қабул қилгичнинг ўқи кичик қаршилик моменти ҳосил қилувчи (ўлчов



11.14- расм.

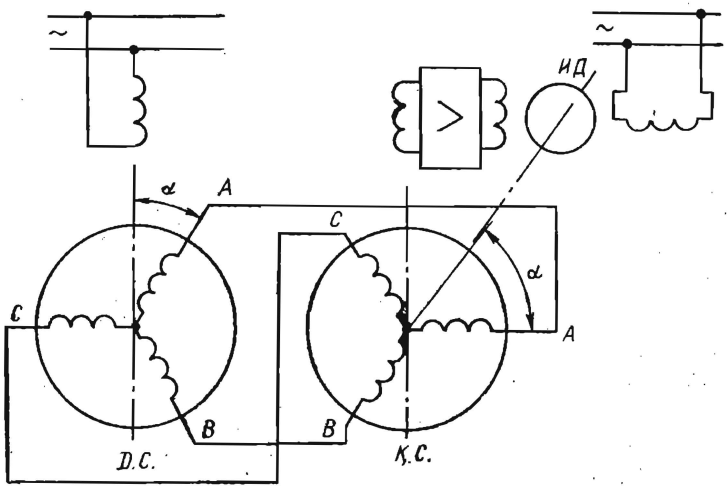
асбоб стрелкаси) механизм билан юкланганда бурчак силжишларни узоқ масофаларга узатишда қўлланилади. Индикаторли режимда иккита бир хил сельсин танланади, уларнинг уйғотиш чулғамлари бир хил частотали ва кучланишли манбага уланади. Сельсин-датчик ва сельсин-қабул қилгичнинг синхронлаш чулғамлари ўзаро алоқа линияси орқали уланади (11.15-расм). Синхронлаш чулғами қарама-қарши уланади. Агар син-



11.15- расм.

хронлаш чулғамининг фазаси уйғотиш чулғамига нисбатан бир хил жойлашган бўлса, уларда ўзаро тенг, аммо қарама-қарши йўналган ЭЮК индукцияланади. Алоқа линияларидаги ток нолга тенг бўлади. Сельсин-датчик ротори α бурчакка бурилганда синхронлаш чулғамида индукцияланувчи ЭЮК қиймати ўзгаради, натижада алоқа линиясида ток пайдо бўлади. Синхронлаш чулғамидаги ток билан уйғотиш чулғамидаги пульсацияланувчи майдоннинг ўзаро таъсири натижасида айлантирувчи момент ҳосил бўлади. Мазкур момент сельсин-қабул қилгич роторини сельсин-датчик ротори бурилган томон бўйлаб ўша бурчакка буради (сельсин-датчик ротори маҳкамланган бўлади). Бунда сельсин-датчик ва сельсин-қабул қилгич ўртасида ассиметриянинг мавжудлиги, манба кучланишининг ўзгариши, истеъмолчининг тормозловчи моменти таъсири ҳамда подшипниклардаги ишқаланиш туфайли хатолик вужудга келади. Жоиз хатоликнинг қийматига қараб, сельсинлар аниқлик бўйича учта синфга бўлинади. Биринчи синфдаги сельсинлар учун бурилиш хатолиги $\pm 0{,}75^\circ$ дан ошмаслиги керак.

Трансформатор режими. Нисбатан катта қаршилик моменти ҳосил қилувчи механизмларни буриш керак бўлганда трансформатор режимидан фойдаланилади. Бунда сельсин-датчикнинг берилган бурилиш бурчаги сельсин-қабул қилгичнинг чиқиш қисмида ҳаракат қилувчи механизм билан механик равишда боғланган ижрочи двигателга таъсир этувчи ЭЮК ҳосил қилади. Трансформатор режимида ишлаганда сельсин-датчикнинг уйғотиш чулғами ўзгарувчан ток тармоғига уланади, сельсин-қабул қилгичнинг уйғотиш чулғами эса ижрочи двигателнинг бошқариш чулғами уланадиган кучайтиргичга уланади. Иккала сельсиннинг синхронлаш чулғамлари алоқа симлари орқали ўзаро уланади (11.16- расм).



11.16- расм.

Дастлабки ҳолатда сельсинларнинг тегишли синхронлаш фаза чулғамлари ўзаро 90° га силжиган бўлади, қабул қилгични синхронловчи *А* фаза чулғамининг ўқи уйғотиш чулғамига перпендикуляр, датчикнинг *А* фаза ўқи эса уйғотиш чулғами билан мос тушади. Датчикнинг уйғотиш чулғами орқали ўтувчи ўзгарувчан ток ҳосил қилган пульсацияланувчи магнит майдони синхронловчи учта чулғамда ЭЮК индукциялайди. Бу ЭЮК лар синхронлаш чулғамида ва алоқа симларида ток ҳосил қилади. Бошланғич шароитда сельсин-қабул қилгичда чулғам ўқига перпендикуляр бўлган пульсацияланувчи магнит майдони ҳосил бўлади. Натижада уйғотиш чулғамида магнит майдони юзага келмайди.

Агар сельсин-датчик роторини $\alpha_д$ бурчакка бурсак, сельсин-қабул қилгични синхронлаш чулғамидаги ток ўзгаради, пульсацияланувчи майдон ўқи $\alpha_м = \alpha_д$ бурчакка бурилади ва сельсин-қабул қилгични уйғотиш чулғамида ЭЮК индукцияланиб. кучайтиргич орқали ижрочи двигателнинг бошқариш чулғамига узатилади. Ижрочи двигатель ишга тушади ва етакланувчи механизмнинг ўқини буради. Бу вақтнинг ўзида ижрочи двигатель сельсин-қабул қилгич ўқини ҳам буради. Натижада уч фазали синхронлаш чулғамининг бурилиши уйғотиш чулғами ЭЮК ининг камайишига сабаб бўлади. Ижрочи двигателни, сельсин-қабул қилгич роторини, сельсин-датчикнинг бурилиш бурчагига тенг бурчакка бурганда уйғотиш чулғамидаги ЭЮК нолга тенг бўлиб, двигатель тўхтайди.

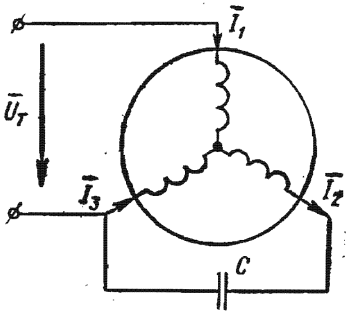
Сельсинларнинг турли иш ҳолатлари учун кўриб ўтилган назарияларни роторида уйғотиш чулғами бўлган контактли ва контактсиз сельсинларга ҳам татбиқ этиш мумкин.

11.6. СИНХРОН МИКРОМАШИНАЛАР

Автоматика қурилмаларида асинхрон микромашиналар билан бир қаторда синхрон микромашиналар ҳам кенг қўлланилади. Электр соатлар, лента айлантирувчи механизмлар, ўзиёзар асбоблар, магнитофон, радиоаппаратлар каби турли механизмларда синхрон микромашиналарга хос бўлган айланиш тезлигининг ўзгармаслик хусусиятидан фойдаланилади. Синхрон микромашиналарнинг айланиш тезлиги ($n = n_0$) манба частотаси билан мустаҳкам боғлангандир. Синхрон микромашиналарнинг қуввати ваттнинг бир неча улушидан то бир неча юз ваттгача бўлади. Улар қуйидаги турларга бўлинади: реактив двигателлар; гистерезисли двигателлар; қадамли ёки импульсли двигателлар.

Ҳар бир двигателнинг хусусиятини алоҳида кўриб ўтамиз. **Реактив синхрон двигателлар**. Статорида уч фазали ёки бир фазали чулғам бўлиб, аниқ намоён қутбли роторида эса уйғотиш чулғами бўлмаган электр машинаси реактив синхрон двигатель дейилади Аввал кўриб ўтилган синхрон двигателлардан фарқли равишда реактив микромашиналарни уйғотиш

ротор чулғами орқали эмас, балки статор чулғами орқали ўтувчи токнинг реактив ташкил этувчиси ёрдамида амалга оширилади. Токнинг реактив ташкил этувчиси двигателни уйғотувчи бўйлама магнит оқимини ҳосил қилади. Бундай двигателларда айлантирувчи момент бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича магнит ўтказувчанликнинг турлича бўлиши ҳисобига ҳосил бўлади.

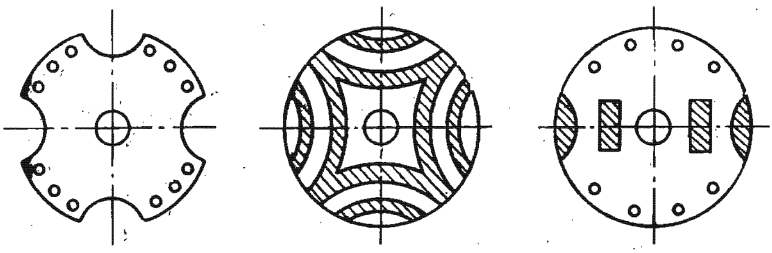


11.17- расм.

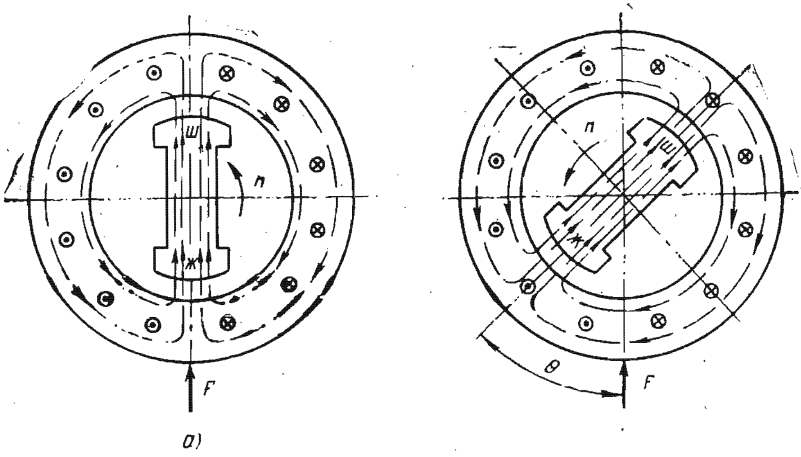
Двигателнинг статори айланувчи магнит майдони ҳосил қилиши учун конденсаторни бир фазали чулғамга улаш мумкин (11.17- расм). Сиғимнинг қийматини тўғри танлаб, симметрик уч фазали токлар системасини ҳосил қилиш мумкин.

Синхрон микродвигателларнинг ротори турли конструктив ижрога эга бўлиши мумкин. Махсус шаклга эга бўлган ва пўлат япроқчалардан йиғилган ротор энг кўп тарқалган (11.19- расм, *а*). Двигателни ишга тушириш учун роторга „олмахон ҳалқали" қисқа туташтирилган чулғам жойлаштирилган бўлади. Бўлимларга (секцияларга) бўлинган ротор алюминий ёки бошқа номагнит материаллардан ясалган бўлиб, пўлат тасмалар ўрнатилган бўлади. Кўндаланг ва бўйлама ўқлар бўйича магнит қаршиликлар орасидаги фарқни кўпайтириш учун ротор овалсимон пазли қилиб тайёрланади (11.18- расм, *б*). Двигателнинг иш жараёнини икки қутбли уч фазали статор чулғами мисолида кўриб чиқиш мумкин (11.19- расм, *а*). Статор токи бўйлама ўқ бўйлаб йўналган МЮК (F) ҳосил қилади. Статорнинг айланма магнит майдони эса роторда уюрма токларни индукциялайди.

Двигатель асинхрон тарзда ишга туширилгандан сўнг роторнинг тезлиги синхрон тезликка яқинлашади, статор МЮК га нисбатан маълум ҳолатини сақлаган ҳолда, магнит майдонига илакишиб айлана бошлайди. Агар ротор юкланиш моменти билан юкланса, у секинлаша бошлайди. Натижада Θ



11.18- расм.

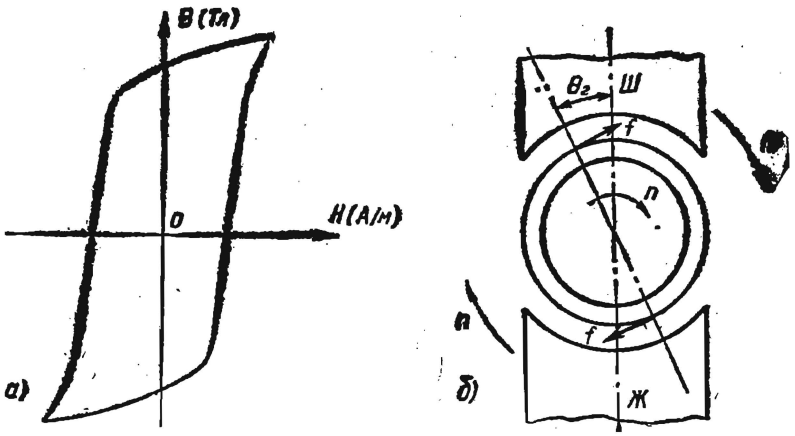


11.19- расм.

бурчак пайдо бўлади ва статорнинг магнит майдон куч чизиқлари роторни айланиш йўналиши бўйлаб торта (илакиштира) бошлайди (11.19- расм, *б*). Юкланиш моменти билан мувозанатлашувчи электромагнит момент пайдо бўлади. Ротор ўқидаги юкланишнинг ошиши θ бурчакнинг ортишига сабаб бўлади. Натижада электромагнит моменти ортади. Мазкур моментнинг қиймати кучланишнинг квадратига, реактив қаршиликнинг фарқига ва $\sin 2\theta$ га пропорционал бўлади. Агар тармоқ кучланиши ўзгармас бўлса, $\theta = 45°$ да момент максимал қийматга эга бўлади. Тузилишининг соддалиги, ишлаш жараёнида ишончлилиги ва таннархининг кичиклиги реактив двигателларнинг афзаллиги ҳисобланади. Қувват коэффициенти $\cos\varphi$ нинг кичиклиги (0,5 гача), максимал моментининг нисбатан кичиклиги, кучланишнинг ўзгаришига сезгирлиги синхрон микромашиналарнинг камчилиги ҳисобланади.

Гистерезисли двигателлар. Айлантирувчи моменти гистерезис ҳодисаси ёки ротор материалининг қайта магнитланиши туфайли ҳосил бўладиган микромашиналар гистерезисли двигателлар деб аталади. Гистерезисли двигателларнинг статори реактив двигателларники каби бўлади. Двигателнинг ротори чулғамсиз цилиндр шаклида бўлиб, қаттиқ магнит материалдан ясалади. Айрим ҳолларда ротор мисдан ёки машинасозликда ишлатиладиган пўлатдан ясалган бўлиб, унга катта коэрцитив кучга эга бўлган қаттиқ магнит материалдан тайёрланган втулка кийгизилган бўлади.

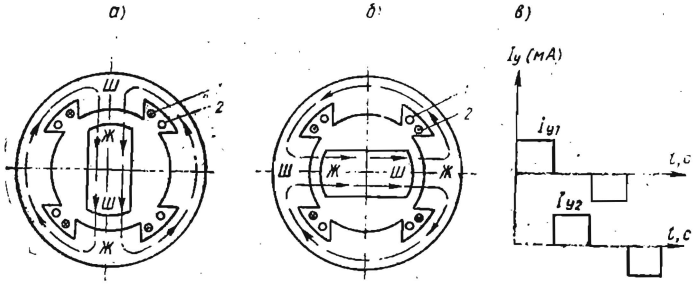
Гистерезисли двигателнинг ротори синхрон тезлик билан айланиб, статор магнит майдонида гистерезис ҳалқаси бўйича қайта магнитланади (11.20- расм, *а*). Гистерезис ҳодисаси туфайли роторнинг магнитланиш ўқи статорнинг айланма магнит



11.20- расм.

майдони ўқидан гистерезис силжиш бурчаги $\Theta_г$ га кечикади. Натижада статор ва ротор орасида таъсир этувчи кучнинг тангенциал ташкил этувчиси $f_т$ ва айланиш тезлигига боғлиқ бўлмайдиган гистерезис моменти ҳосил бўлади (11.20- расм, *б*). Ротор материалининг гистерезис ҳалқаси қанча кенг бўлса, бурчак, бинобарин, гистерезис моменти ҳам шунча катта бўлади. Гистерезисли двигателлар тузилишининг соддалиги, ишда ишончлилиги ФИК нинг нисбатан юқори бўлиши бундай микромашиналарнинг афзаллиги ҳисобланади.

Импульсли двигателлар. Статор чулғами импульсли кучланиш ҳосил қилувчи махсус коммутаторга уланган синхрон микродвигатель импульсли двигатель деб аталади. Коммутатор берилган кетма-кетликдаги бошқарувчи импульсларни m фазали тўғри тўртбурчакли кучланиш импульсига айлантиради. Импульсли двигателларнинг статори аниқ намоён қутбли бўлиб, унга қўзғатиш чулғами ўрнатилади. Ротори магнит бошмоқлари бўлмаган доимий магнит кўринишида тайёрланади (11.21- расм, *а*). Статор қутбларидаги ғалтакларга кучланиш



11.21- расм.

импульслари кетма-кетлиги берилганда ротор бир қутб бўлагичалик масофага сакраб силжийди (бурилади). Роторнинг силжиш қадами статор ва ротор магнит қутблари сонига боғлиқ бўлади. Роторнинг айланиш тезлиги эса кучланиш импульсларининг частотасига боғлиқдир.

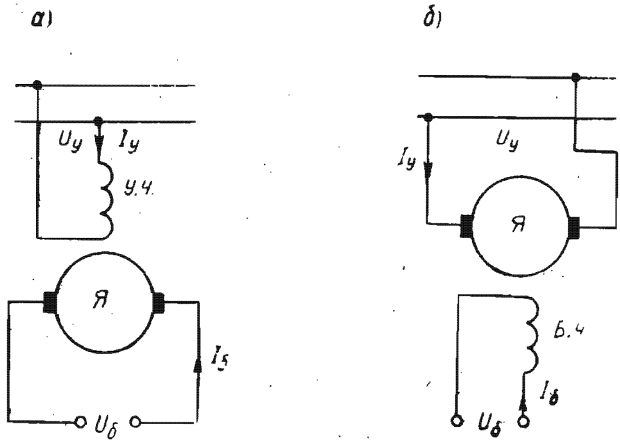
Қадамли двигателларнинг кўриб чиқилган турларидан ташқари реактив ва индукторли хиллари ҳам қўлланилади.

11.7. ЎЗГАРМАС ТОК ИЖРОЧИ ДВИГАТЕЛЛАР

Ўзгармас ток микродвигателлари автоматик бошқариш системаларида, кузатиш юритмаларида ижрочи двигателлар тарзида кенг ишлатилади. Чунки уларда айланиш тезлигини бир текис кенг доирада бошқариш имконияти бор. Ўзгармас ток микродвигателлари ҳам оддий ўзгармас ток двигателлари каби тузилган бўлиб, якорининг тузилишидагина ўзига хос томони бор. Якорнинг инерция моментини камайтириш учун, яъни двигателнинг тез ишлаб кетишини ошириш учун ижрочи двигателнинг якори пазларсиз, ичи бўш цилиндрсимон қилиб ясалади. Якорнинг чулғами эса босма равишда тайёрланади.

11.22 расм, *а* да якорь бошқаришли, 11.22-расм, *б* да эса қутб бошқаришли ижрочи двигателнинг электр схемаси кўрсатилган. Якорь бошқаришли двигателда уйғотиш чулғами ўзгармас ток манбаига доимо уланган бўлиб, якорь чулғамига бошқариш токи чўтка орқали бошқарувчи кучланиш манбаидан берилади.

Автоматик қурилмаларда якорь бошқаришли двигатель кўп ишлатилгани учун унинг механикавий хусусиятлари билан қисқача танишиб чиқамиз. Бошқарувчи кучланиш бўлмаганда якордаги ток нолга тенг бўлиб, двигатель айланмайди ва ўз-



11.22 расм.

ўзидан ишлаб кетмайди. Ўзгармас ток машинасининг назариясидан маълумки, уйғотиш чулғамидаги кучланиш $U_у = \text{const}$ бўлганда магнит оқими

$$\Phi = K I_у = K' U_у,$$

якордаги ток эса

$$I_б = \frac{U_б - E}{r_я + r_п} = \frac{\alpha U_у - C_E K' U_у \cdot n}{r}.$$

Двигателнинг айлантирувчи момент эса

$$M = C_м \Phi I_б = C_м K' U_у I_б$$

ёки

$$M = \frac{C_м K' \alpha U_у^2 - C_E C_м K'^2 U_у^2 \cdot n}{\sum r}.$$

Двигателнинг механик характеристикасини қуриш учун иккита нуқтани белгилаймиз:

а) салт (юксиз) ишлаш ($M_с = 0$)

$$n_с = n_0 = \frac{1}{C_E K' \alpha}$$

$\alpha = 1$ бўлганда эса: $n_0 = \frac{1}{C_E \cdot K'}$;

б) ишга тушириш моменти

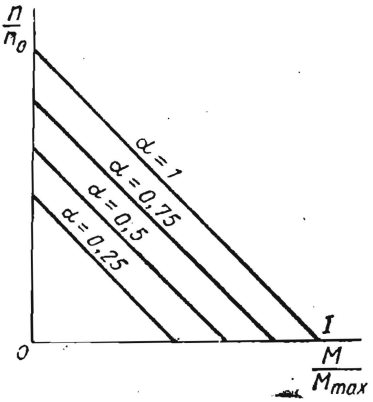
$$n_н = 0 \text{ да}$$

$$M_{и.т} = \frac{C_м K' \alpha U_у^2}{\sum r} = M_{max}$$

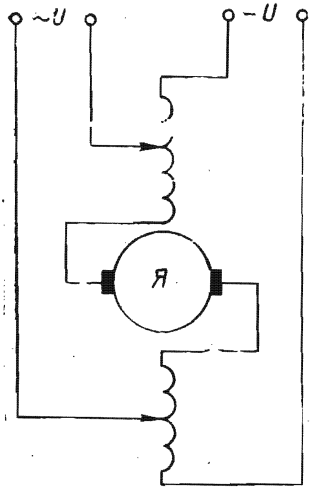
ёки

$$M_{max} = \frac{C_м K' U_у^2}{\sum r}.$$

Якорь бошқаришли двигателнинг механик характеристикасининг тўпламини қурамиз, бунда нисбат $\frac{n}{n_0}$ ни нисбат M/M_{max} деб қараймиз. Сигнал коэффициенти α нинг турли қийматларида механик характеристикаларнинг параллел эканлигини 11.23-расмдан кўриш мумкин. Бундай кўринишдаги механик характеристикалар двигатель айланишининг тез ортиб кетишини ва унинг айлани-



11.23-расм.



11.24-расм.

шини тўғри чизиқли ростлаш мумкинлигини кўрсатади. Якорь бошқаришли двигателнинг камчилиги айлантирувчи моментнинг сигнал коэффициенти α га боғлиқлиги ҳисобланади. Двигателнинг аниқ ишлаши учун келтирилган сигналнинг қуввати бирмунча катта бўлиши керак.

11.8. УНИВЕРСАЛ КОЛЛЕКТОРЛИ ДВИГАТЕЛЛАР

Универсал коллекторли двигателлар автоматик қурилмаларда ва маиший электр асбобларнинг юритмаларида ишлатилади. Уларнинг қуввати ваттнинг бир неча улушидан бир неча юз ваттгача бўлади. Булар ўзгармас ва ўзгарувчан ток (бир фазали) манбаларидан таъминланади. Универсал коллекторли двигателнинг тузилиши кетма-кет уйғотишли ўзгармас ток двигателининг тузилишидан деярли фарқ қилмайди. 11.24-расмда универсал коллекторли двигателнинг принципиал электр схемаси кўрсатилган. Маълумки, бир вақтда якордаги токнинг ва уйғотиш чулғамидаги токнинг йўналишини ўзгартириш билан айлантирувчи моментнинг йўналиши ўзгармайди. Демак, уни ўзгарувчан ток манбаига улаганда ҳам у айланаверади. Аммо, уйғотиш чулғамига ўзгарувчан ток берилганда унинг индуктив қаршилиги катта бўлади. Магнит занжирининг яхлит қисмларида катта иссиқлик исрофи юзага келади. Двигатель ўзгарувчан токда ишлаганда унинг индуктив қаршилигини камайтириш учун уйғотиш чулғами секцияларга бўлинади ва тармоққа чулғамнинг бир қисми уланади. Универсал коллекторли двигатель ўзгармас ток двигателидан шуниси билан фарқ қиладики, бунда унинг магнит системаси (станина ва қутблар) шихталанган электротехник пўлат тунукалардан тайёрланади, шунингдек, уларнинг қўшимча қутблари йўқ.

Якорнинг иккала томонида симметрик жойлаштирилган уйғотиш чулғами двигатель ҳосил қиладиган (радиога халал берувчи) сигналларни камайтиришга имкон беради. Двигателнинг ўзгарувчан токда ишлаши унинг ўзгармас токда ишлашидан фарқ қилиб, бир қатор ўзига хос хусусиятларга эга. Бунга мисол тариқасида чўтка, коллектор ва бутун машина хизмат муддатининг қисқаришини кўрсатиш мумкин.

12-боб. БОШҚАРИШ ВА ҲИМОЯ АППАРАТЛАРИ. ЭЛЕКТР ЮРИТМАНИ БОШҚАРИШ

12.1. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Электротехника қурилмаларини бошқариш ва ҳимоя қилиш турли хил аппаратлар ёрдамида амалга оширилади. Вазифасига қараб уларни иккита асосий гуруҳга: коммутацияловчи (улаш) ва ҳимоя аппаратларига бўлиш мумкин. Коммутацияловчи (улаш) аппаратларга турли хил узгичлар, ажратгичлар, контакторлар, магнитли ишга туширгич ва бошқалар киради. Ҳимоя аппаратларига ҳаволи автоматик узгичлар, эрувчан сақлагичлар ва турли хил релелар киради. Баъзи аппаратлар масалан, магнитли ишга туширгич автоматлар ҳам коммутациялаш, ҳам ҳимоялаш вазифаларини бажаради.

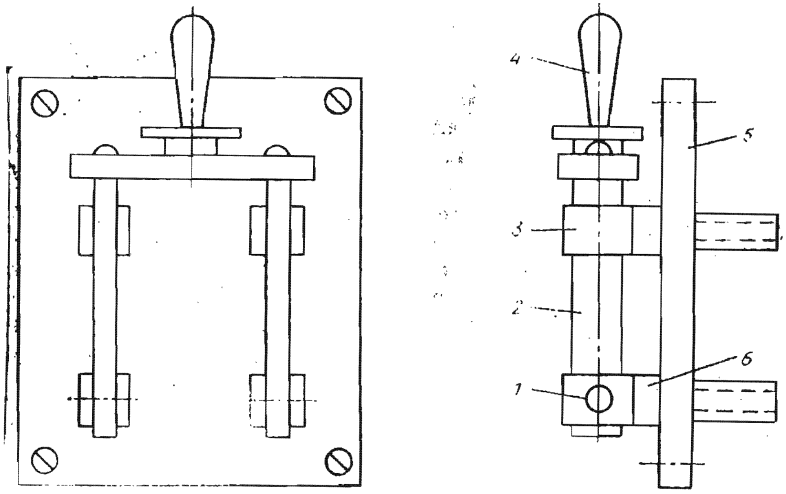
Электр аппаратлар орқали электр юритмадаги двигателларни ишга тушириш, тўхтатиш, бир тезликдан иккинчисига ўтказиш, ҳаракат йўналишини ўзгартириш ва бошқа мураккаб вазифалар бажарилади. Электр аппаратларнинг ишончли ишлашида контактлар муҳим ўрин эгаллайди. Контактлар қуйидаги уч турга: қаттиқ (ажралмайдиган), масалан, машиналар ва аппаратларнинг қисмаларига ўтказгичларни бириктириш; сурилувчи; коммутацияловчи (узувчи) аппаратларга бўлинади. Контактлар оғир шароитларда ишлайди, агар аппаратлар қисқа туташув токларини узиши керак бўлса, бу шароит яна ҳам оғирлашади.

Юқори кучланишли ва катта токли занжирларда маълум миқдорда ўзиндукция ЭЮК вужудга келади. Бу ЭЮК ва тармоқ кучланиши таъсирида ажралувчи контактлар оралиғида электр разряд, яъни электр ёйи вужудга келади. Бунда юқори температура юзага келиши натижасида контактлар бузилади ёки эриб бир-бирига ёпишиб қолади. Шунинг учун кўпгина коммутацион аппаратлар ёй сўндиргичлар билан жиҳозланади.

Ўзгарувчан ток занжирини узиш анча осон, чунки ўзгарувчан ток даврий равишда ноль қийматлардан ўтиб туради. Бу эса ёйнинг сўнишини енгиллаштиради. Агар контактлар ток нолдан ўтаётган лаҳзада ажратилса ва улар катта тезликда керакли оралиққа узоқлаштирилса, ёй вужудга келмаслиги ҳам мумкин. Ҳозирги вақтда кўпгина коммутацион аппаратлар ярим ўтказгичли асбоблар асосида контактсиз қилиб ясалмоқда.

12.2. ҚЎЛ БИЛАН БОШҚАРИЛАДИГАН АППАРАТЛАР

Электр аппаратларни улаш ва узишни хизмат қилувчи ходим ёрдамида амалга ошириш қўл билан бошқариш деб аталади. Қўл билан бошқариладиган аппаратларга рубильниклар, қайта улагичлар, пакетли узгичлар, контроллёрлар, буйруқ



12.1- расм.

берувчи контроллерлар, ажратгичлар, кнопкалар ва ҳоказолар киради.

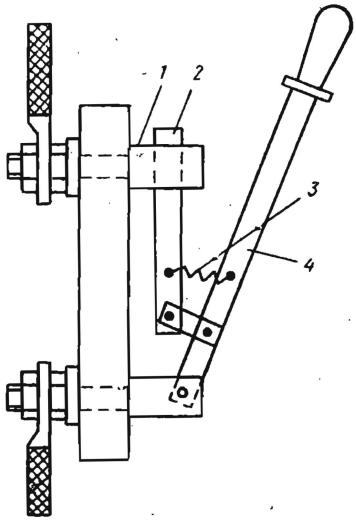
Рубильниклар ва қайта улагичлар. Битта занжирда уланган ва узилган ҳолатларга қўл билан ҳаракатлантирилиб эришиладиган ноавтоматик узгич *рубильник* деб аталади. Иккита турли занжирларга навбати билан улаш учун хизмат қилувчи рубильник *қайта улагич* деб аталади. Рубильник ва қайта улагичлар 500 В гача бўлган номинал кучланиш учун мўлжалланган бўлиб бир, икки ва уч қутбли қилиб ясалади.

Рубильник ва қайта улагичлар марказий дастали, ён дастали ва ричагли бўлади. Улар кичик (5—20 А) ва катта (100—600 А) токларга мўлжаллаб ишлаб чиқарилади. 12.1- расмда кичик токка мўлжалланган рубильникнинг тузилиши кўрсатилган. Рубильникнинг барча деталлари изоляцион асосга ўрнатилади. Рубильникни узганда қўзғалувчан қисм (пичоқ) *2* ва қўзғалмас қисм (жағ) *3* контактлари орасида ёй ҳосил бўлади ва бу ёй ток нолдан ўтганда контактлар оралиғида зарядланган заррачаларнинг тез камайиши туфайли ўчади. Ёй ҳосил бўлганда контактларни куйишдан сақлаш учун рубильниклар иккита: асосий *4* ва ёрдамчи *2* пичоқлар билан таъминланади (12.2- расм). Бу пичоқлар шарнир воситасида пружина *3* билан ҳам боғланган. Рубильник ажратилганда қўзғалмас контакт *1* дан олдин асосий пичоқ чиқади, сўнгра ёрдамчи пичоқ пружина таъсирида жуда тез чиқади. Натижада, вужудга келган электр ёйи кичик қувватга эга бўлади ва тезда ўчади.

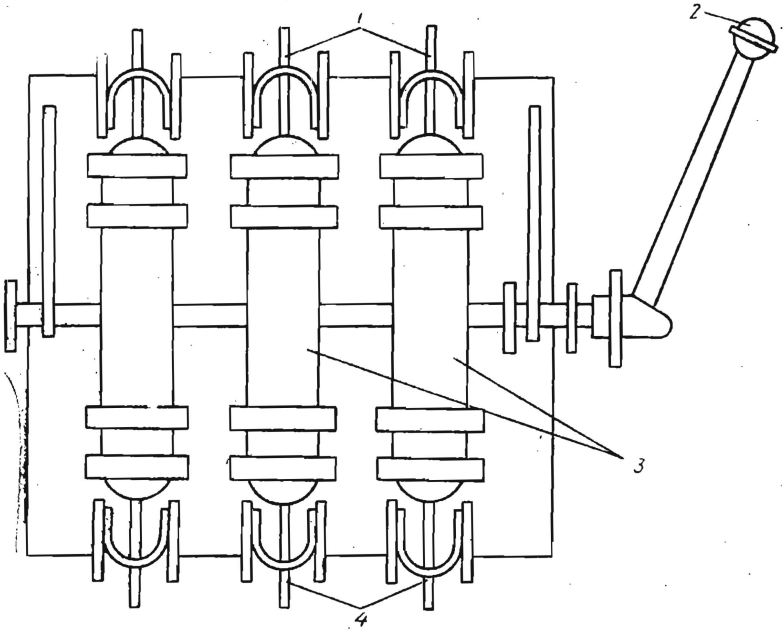
Катта токли рубильниклар ва қайта улагичлар ёй сўндирувчи қурилма билан жиҳозланади. Ёй сўндирувчи қурилмаси

бўлмаган рубильниклар токсиз занжирларни узиш ва очиқ узилишлар ҳосил қилишга мўлжалланган.

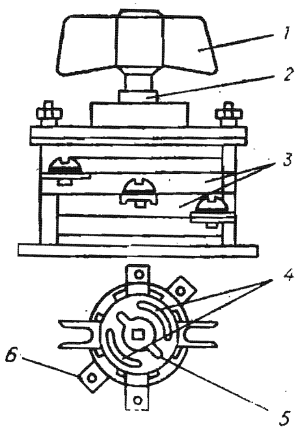
Баъзи ҳолларда битта аппарат бир неча вазифани бажариши мумкин. Масалан, баъзи замонавий рубильникларда пичоқлар сифатида сақлагичлардан фойдаланилади. Бундай рубильниклар бир вақтнинг ўзида ҳам коммутация, ҳам ҳимоя вазифаларини бажаради. Блокли рубильник-сақлагичлар учта сақлагич *3* дан иборат бўлиб, умумий траверсага маҳкамланади (12.3-расм). Уни улаганда сақлагичлар траверса билан бирга сурилади ва уларнинг пичоқлари таянч контактлар *1* ва *4* нинг жағларига киради. Ушбу рубильниклар ёпиқ қилиб ясалади. Бунда шу нарса аҳамиятлики, бир томонга очиладиган қопқоқ рубильник дастаси *2* билан механик қулф-калитга эга: қопқоқни очиш фақат узилган ҳолатдаги



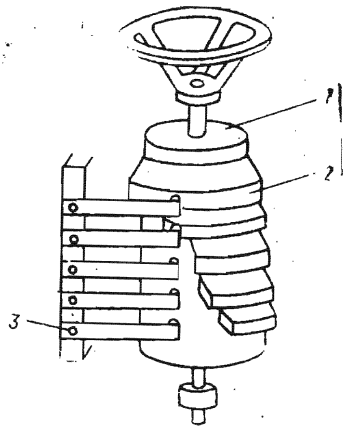
12.2- расм.



12.3- расм.



12.4- расм.



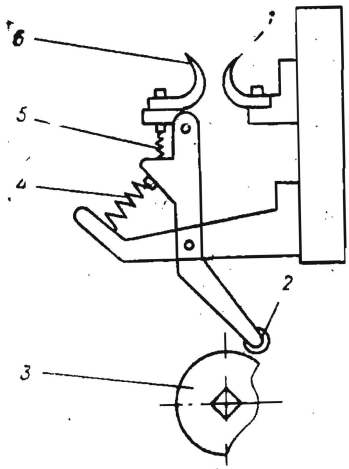
12.5- расм.

дастадагина мумкин, дастани улаш эса фақат қопқоқ ёпилган ҳолда амалга оширилади.

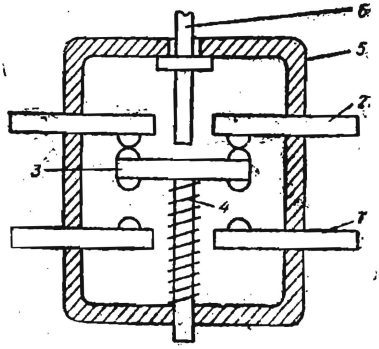
Пакетли узгичлар ва қайта улагичлар катта бўлмаган қувватли двигателларни ишга тушириш ва айланиш йўналишини ўзгартириш схемаларида, шунингдек, асинхрон двигателлар чулғамларини учбурчакдан юлдуз схемага қайта улашда ишлатилади. *Пакетли узгич* (12.4-расм) бураб ишлатиладиган кичик ҳажмли аппарат бўлиб, умумий жойлаштирилган бир неча қатламлар (пакетлар) *3* дан иборатдир. Ҳар бир пакет ичида қўзғалувчан *5* ва қўзғалмас *4* контактлар бўлади. Қўзғалмас контактларга электр занжир симлари уланади. Қўзғалувчан контакт *5* ўқ *2* га маҳкамланган бўлиб, даста *1* ёрдамида айлантирилади ва белгиланган маълум ҳолатларга эга бўлади. Бунда пакетлардан бирининг қўзғалмас контактлари туташиб, истеъмолчи электр манбаига уланади. Қўзғалмас контактларнинг қисмалари *6* узгич асосига маҳкамланган. Пакетли узгичларнинг камчилиги қўзғалувчан (сурилувчи) контактларнинг ишончлилиги паст бўлишидадир.

Контроллерлар (инглизча *controller* — бошқариш) ишлаш принципи ва вазифасига кўра пакетли узгичларга яқин бўлиб, кучли электр занжирларини маълум дастур бўйича қайта улашда ишлатилади. Улар ёрдамида баъзи кўтарма кранлар ва бошқа механизмлар электр двигателларининг занжирларида токни улаш амалга оширилади.

Контроллерларнинг барабанли ва кулачокли хиллари бор. Барабанли контроллерда занжирнинг уланиши (12.5-расм) барабан *1* нинг айланиб, қўзғалувчан *2* ва қўзғалмас *3* контактларнинг туташишида амалга ошади. Қўзғалувчан контактлар



12.6- расм.



12.7- расм.

мисдан ёки бронзадан ясалади ва барабандан диэлектрик материал билан ажратиб қўйилади. Сурилувчи контактнинг мавжудлиги, юқорида айтилганидек, аппаратнинг ишончлилигини кескин пасайтиради. Шунинг учун, кўпинча, кулачокли контроллерлар ишлатилади. Уларда сурилмайдиган контактлар бўлиб, уларга кулачоклар таъсир этади. Кулачокли контроллер секцияларидан бирининг тузилиши 12.6-расмда кўрсатилган. Кулачок *3* бурилганда ролик *2* ё кулачокда бўлади, ёхуд унинг ўйиқ жойига тушади. Ролик кулачокда бўлганда контактлар *1* ва *6* ажратилган ҳолатда бўлади. Ролик ўйиққа тушганда контактлар пружиналар *4* ва *5* таъсири остида туташади.

Командоконтроллерлар. Кулачоги нисбатан кичик контроллерлар кичик қувватли бошқариш занжирларини улаш ва узиш учун ишлатилади. Улар буйруқ берувчи контроллерлар деб ҳам аталади.

Кнопкалар бошқариш схемаларида ёрдамчи электр занжирларни улаш ва узиш орқали электромагнит аппаратларни масофадан туриб бошқаради. Кнопкаларнинг тузилиши турлича бўлади (ҳар хил уловчи ва узувчи контактларнинг тўпламн билан); бошланғич ҳолатга ўз-ўзидан қайтувчи: босилган ҳолатда қолувчи: махсус калит билан уланувчи ва бошқалар.

Икки контактли бошқариш кнопкасининг тузилиши 12.7-расмда кўрсатилган. Изоляцион материалдан ясалган асос *5* га қўзғалмас контактлар *1* ва *2* жойлаштирилган. Кнопканинг штифти *6* босилганда металл ўтказгичли кўприкча *3* ёрдамида қўзғалмас контактлар *1* туташади, контактлар *2* эса ажралади. Пружина *4* кнопкани дастлабки ҳолатга қайтариш учун

хизмат қилади. Битта асосга саккизтагача контактлар жуфтини жойлаштириш мумкин. Бунда уларни кнопка станцияси деб аталади. Бошқариш схемаларида иккита: юргизиш ва тўхтатиш кнопкалари қўлланилади. Агар юргизиш кнопкаси босилса, бошқариш занжири уланади ва, аксинча, тўхтатиш кнопкаси босилса, бошқариш занжири узилади. Бу кнопкалар битта асосга жойлаштирилади.

Қўл билан бошқариладиган аппаратлар вазифаси ва тузилишига кўра бир неча хилга бўлинади. Улар орасида турли хил узгичлар, тумблёрлар, йўл қайта улагичлар, йўл охиридаги узгичлар ва бошқалар бор. Ушбу аппаратлар ҳам бошқариш занжирини улаш ва узиш учун хизмат қилади. Уларнинг тузилиши ва ишлаши кнопкаларникидан кам фарқ қилади.

12.8. ЭЛЕКТРОМАГНИТ КОНТАКТОРЛАР, МАГНИТЛИ ИШГА ТУШИРГИЧЛАР ВА АВТОМАТЛАР

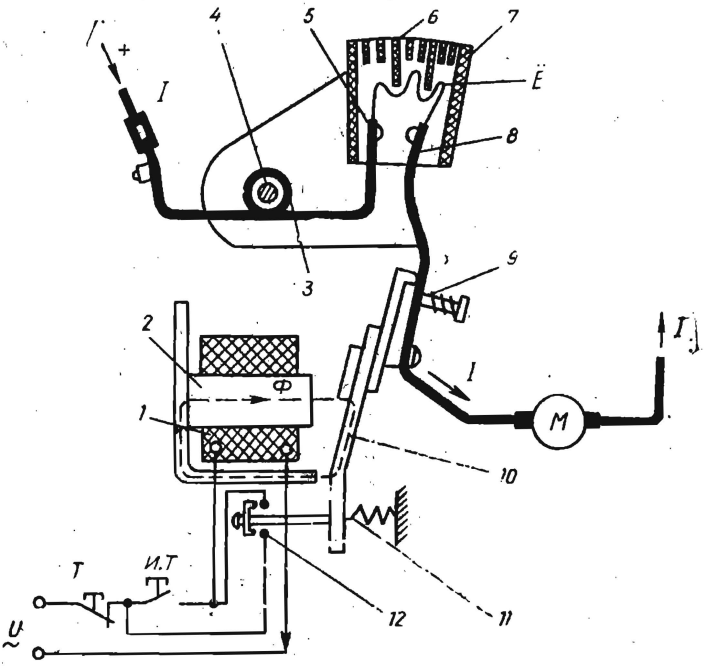
Ўзгармас ва ўзгарувчан ток электр двигателларини, ўзгартиргичларни, электр иситиш қурилмаларни ва бошқа ҳар хил электр энергия истеъмолчиларини электр манбаига улаш учун контакторлар, магнитли юргизгичлар, автоматлар ва бошқа электромагнит аппаратлардан фойдаланилади. Бу аппаратлар катта ток занжирларини автоматик ва масофадан туриб бошқариш имконини беради.

Электромагнит контактор. Коммутацияловчи электромагнит аппарати *контактор* деб аталади. Унинг бошқариш занжирини қайта улаш қўл билан амалга оширилиб, бунда асосий катта ток занжири автоматик ҳолда уланади ва узилади. Контакторлар токи бўлган электр қурилмани кўп марта ва тез улаш ва узиш учун хизмат қилади.

Контакторлар асосий куч занжиридаги токнинг қийматига кўра ўзгармас ва ўзгарувчан ток контакторларига бўлинади. Контакторлар 75—4000 А токка (ўзгармас токда кучланиши 220, 440, 650, 750 В га ва ўзгарувчан токда кучланиши 380, 500 ва 660 В га) мўлжаллаб ишлаб чиқарилади ва занжирни соатига 600 — 1500 марта узиб-улаш имконини беради.

Бир қутбли контакторлар тузилишининг принципиал схемаси 12.8-расмда кўрсатилган. Изоляцион материалдан ясалган асосга қўзғалмас асосий контакт *5* маҳкамланган. Чулғам *1* нинг ўзаги *2* га ўқ орқали якорь *10* шарнирли тарзда маҳкамланган. Якорга ричаг воситасида қўзғалувчан контакт *8* ўрнатилган. Контактор уланганда электр тармоғидан келаётган ток ўзак *4* атрофига ўралган чулғам *3* орқали қўзғалмас контакт *5* дан қўзғалувчан контакт *8* га, ундан эса мис тасмалардан ясалган қайишқоқ ричаг орқали болтга ва ундан сим орқали двигателга ўтади.

„Ишга тушириш" кнопкасини босганда юритувчи электромагнитнинг чулғами *1* га кучланиш берилади ва чулғам орқа-

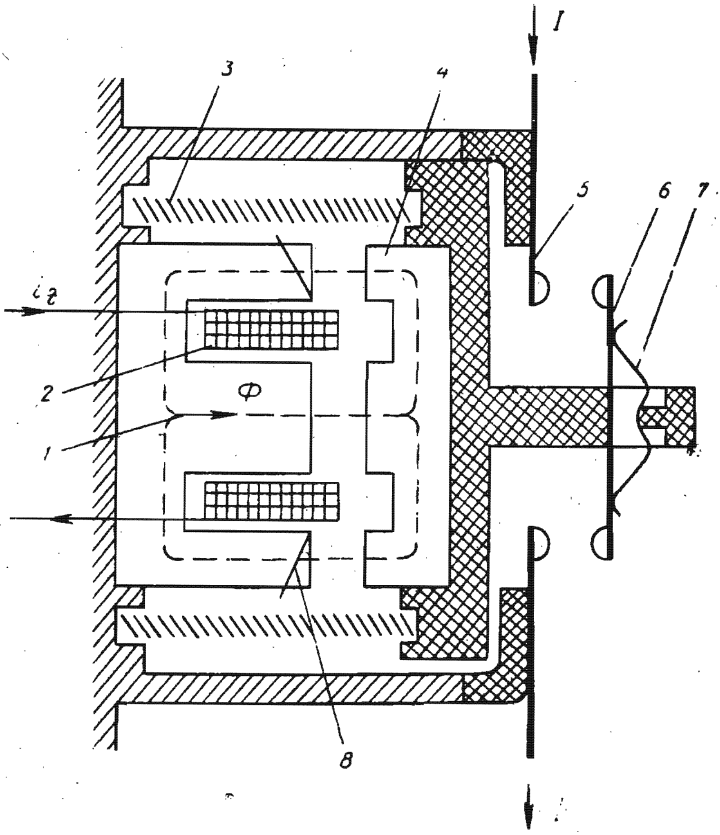


12.8- расм.

ли ток оқиб ўтиб, магнит оқим *Ф* вужудга келади. Магнит оқими электромагнит кучни ҳосил қилади ва у қайтарувчи *11* ва контакт *9* пружиналарнинг кучини енгиб, якорь *10* ни ўзак *2* га тортади. Қўзғалувчан контакт *8* қўзғалмас контакт *5* га тортилади ва асосий контакт уланади, натижада истеъмолчи тармоққа уланади. Шу вақтда ёрдамчи контакт *12* уланади ва у „Ишга тушириш" кнопкасини шунтлайди. Сўнгра „Ишга тушириш" кнопкасини қўйиб юборганда ҳам чулғам *1* занжири узилмайди, контактор эса уланган ҳолатда қолади. Қўзғалувчан контакт *8* ни қўзғалмас контакт *5* га туташтириш учун контакторда контакт пружина *9* ўрнатилган. Бу пружина, шунингдек, қўзғалувчан контактни қўзғалмас контактга туташтиришдаги титрашни камайтиради.

Асосий контактлар узоқлашганда ёй „Ё" вужудга келади ва у ёй сўндирувчи камера *7* да сўнади. Ёй сўндирувчи камера изоляцион тўсиқларга эга бўлиб, ёйни чўзади ва унинг қаршилигини кўпайтиради. Ёйнинг камерага ўтиши учун магнитли пуфлаш системасидан фойдаланилган, у пўлат ўзак *4* га жойлаштирилган чулғам *3* дан иборат.

Ғалтакни таъминловчи токнинг турига қараб (ўзгармас ва ўзгарувчан) магнит система ўз хусусиятига эга. Ўзгармас ток



12.9- расм.

контакторларида ўзак яхлит, ўзгарувчан ток контакторларида эса электротехник пўлат пластинкалардан йиғилган бўлади. Мазкур пластинкалар уюрма токларнинг ва улар ҳосил қилувчи ўзгарувчан ток контакторининг ўзагидаги исрофларнинг камайишини таъминлайди. Ўзгармас ток контакторида тортувчи электромагнит куч ўзгармас магнит оқими, ўзгарувчан ток контакторида эса ўзгарувчан магнит оқими орқали вужудга келади. Якорь *4* нинг ўзгарувчан магнит оқими таъсири остида титрашининг олдини олиш учун магнит системада мис ёки жездан ясалган қисқа туташтирилган ўрам *8* кўзда тутилади (12.9- расм). Мазкур ўрам якорь ёки ўзакнинг бир қисмига кийгизилади. Ўзгарувчан магнит майдон оқими қисқа туташтирилган чулғам билан илашиб, унда ўзгарувчан ток ҳосил қилади. Бундай ўрамнинг мавжудлиги якорга таъсир қилувчи ўзгарувчан магнит оқимларида фаза силжишини ҳосил қилади ва якорнинг мустаҳкам тортилишини таъминлайди.

Магнитли ишга туширгич. Магнитли ишга туширгич 75 кВт гача бўлган асинхрон двигателларни автоматик бошқарувчи қурилма бўлиб, контакторлар асосида ишлаб чиқарилади ва уларга иссиқлик релелари ва ёрдамчи контактлар ўрнатилади.

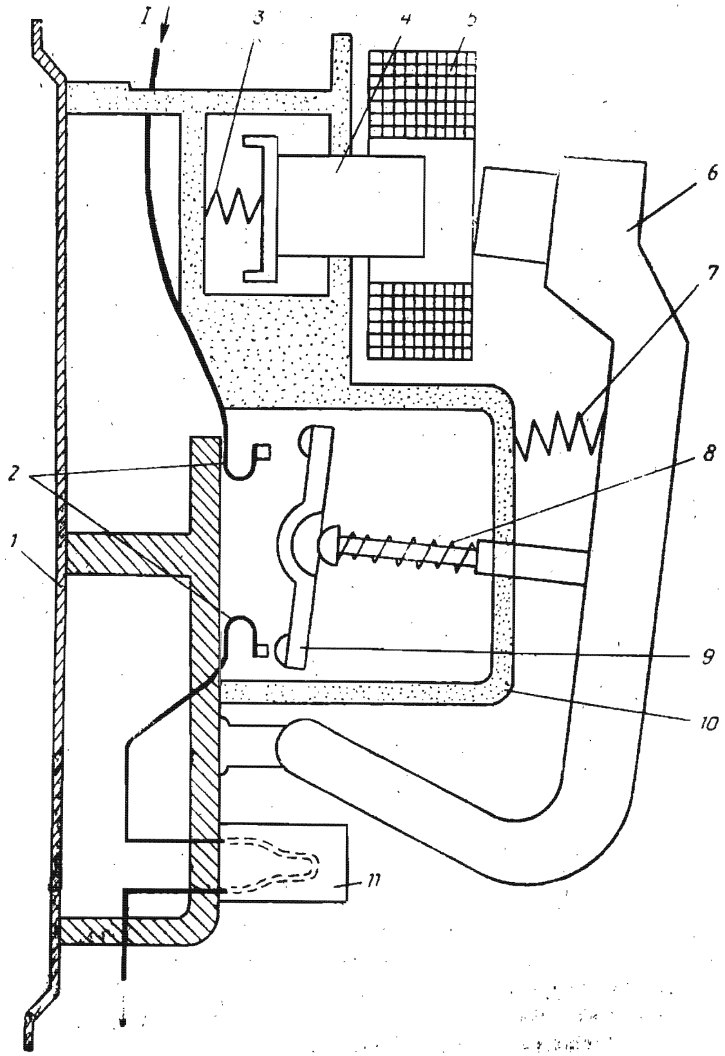
Кичик қувватли асинхрон двигателларни бошқариш учун тўғри йўлли магнит системали магнит юритгичлардан фойдаланилади (12.9-расм). Магнит ўтказгич *1* бошқариш чулғами *2* билан магнитли юритгич корпусига қўзғалмас қилиб маҳкамланади. Асоснинг изоляцион қисмига қўзғалмас контактлар *5* ва якорга қўзғалувчан контактлар *6* маҳкамланади. Бошқариш чулғамидан ток I_t ўтганда магнит системада магнит оқими Φ вужудга келади. Унинг таъсири остида якорь *4* пружина *3* нинг сиқиш кучини енгиб, қўзғалмас магнит ўтказгичга тортилади. Якорь билан боғланган қўзғалувчан контактлар *6* қўзғалмас контакт *5* га уланади ва коммутацияланаётган занжирдан ток *I* ўтади. Контактлар қайишқоқ пўлат пластинкали ясси пружина *7* орқали босилади.

Ўзгарувчан ток магнитли юритгичнинг бошқариш чулғамидаги ўрамлар сони ўзгармас ток юритгичининг чулғамидагига нисбатан кам. Шунинг учун магнит занжири ёпиқ бўлганда ўзгарувчан ток магнитли юритгичнинг бошқариш чулғамлари катта индуктив қаршиликка эга. Бошқариш чулғами уланган заҳоти унда ток катта бўлади, якорь тортилгандан сўнг ток камаяди. Ўзгарувчан ток магнитли ишга туширгичи уланганда титраш ҳосил бўлади. Бу титраш бошқариш чулғамини 50 Гц ли ўзгарувчан ток билан таъминлаганда чулғам токи ва магнит оқими ноль қийматлардан секундига 100 марта ўтишида вужудга келади. Бу вақтда якорни ўзакка тортиб турувчи электромагнит кучи ҳам нолга тенг бўлади. Бунинг натижасида якорь титрашининг вужудга келиши, дириллашни юзага келтиради. Шунинг учун ўзгарувчан ток магнитли ишга туширгичлари титрашни камайтирувчи махсус қурилма — қисқа туташтирилган ўрам *8* га эга. Қисқа туташтирилган ўрам якорь ёки ўзак учларига жойлаштирилади ва магнит ўтказгичнинг бир қисмини қамраб олади. Бошқариш чулғами ҳосил қилган ўзгарувчан магнит майдон оқимининг бир қисми қисқа туташтирилган ўрам билан илашиб, унда ЭЮК ҳосил қилади. Ушбу ЭЮК таъсирида ўрамдан ток оқиб ўтади ва ўрамда магнит ҳосил бўлади. Ўрам майдонининг оқими бошқарувчи чулғам майдонининг оқимидан фаза бўйича деярли 90° га кечикади. Шунинг учун бошқариш чулғамининг магнит оқими ноль қийматга эришганда якорь қисқа туташтирилган ўрамнинг магнит оқими ҳосил қилган электромагнит куч орқали ўзакка тортилиб туради.

Бошқариш чулғамининг токи узилганда магнит майдон оқими камаяди ва пружина 3 таъсири остида якорь чекка ўнг ҳолатга сурилади. Натижада якорга маҳкамланган қўзғалувчан контакт қўзғалмас контактдан ажралади.

Саноатда тўғри йўлли қўзғалувчан системали магнит ишга туширгичларнинг ПМЕ тури ва унинг ўрнини эгаллаётган ПМЛ тури кенг ишлатилмоқда.

ПМЛ турдаги магнитли ишга туширгичлар ротори қисқа туташтирилган уч фазали асинхрон двигателларни масофадан туриб тўғридан-тўғри электр тармоққа улаш билан ишга тушириш ва тўхтатиш учун хизмат қилади. Бу магнитли ишга туширгичлар двигателни рухсат этилмаган давомли ўта юкланишдан ва фазалардан бири узилганда вужудга келувчи токлардан иссиқлик релеси ёрдамида ҳимоя қилади. Ишга ту-



12.10- расм.

ширгичлар магнит ўтказгичларининг номинал кучланиш 380 В ва ток 10 — 63 А га мўлжаллаб ясалган хили III-симон турли тўғри йўлли системага эга, 80 — 200 А токка мўлжалланган хиллари эса П-симон турда бўлади.

Ўртача қувватли (17—75 кВт) асинхрон двигателларни номинал 380—500 В кучланишда бошқариш МАЕ серияли магнит юритгич ёрдамида амалга оширилади. У бурилувчи турдаги қўзғалувчан системага эга (12.10-расм). Юритгич металл асос *1* га эга. Қўзғалмас контактлар *2* изоляцион камера *10* ичига, кўприк турдаги қўзғалувчан контактлар *9* эса қўзғалувчан якорь *6* га жойлаштирилган. Контактлар контакт пружиналар *8* орқали босилади. Қўзғалмас магнит ўтказгич 4 чулғам *5* билан амортизацияловчи пружиналар *3* га ўрнатилган. Юритгичнинг қўзғалувчан системаси ўзининг массаси ва пружина *7* ҳисобига ажратилган ҳолатга қайтади. Якорь титрашининг олдини олиш учун электромагнит қутбига қисқа туташтирилган ўрам ўрнатилади. Двигателларни ўта юкланишдан ҳимоя қилиш учун юритгичларга ўрнатилган иссиқлик релелари *11* дан фойдаланилади.

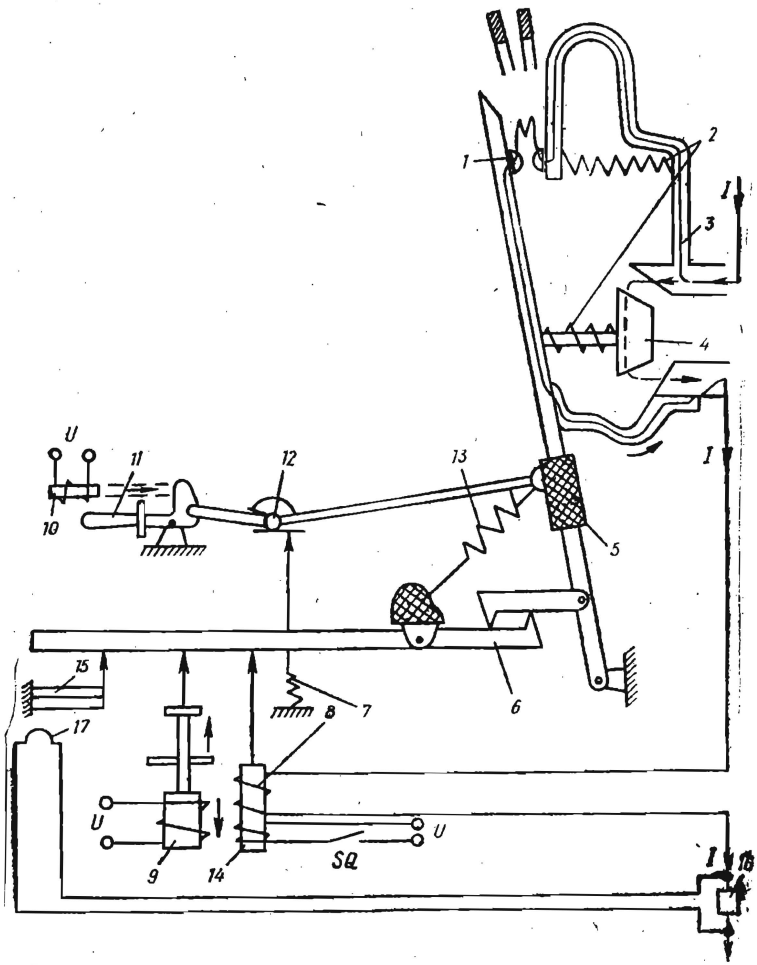
Автоматик ҳаво узгич. Автоматик узгич (автомат) электр занжирларни ва электр жиҳозларни улаш ва узиш учун ҳамда уларни қисқа туташишлардан ва ўта юкланишлардан ҳимоя қилиш учун ишлатилади (12.11-расм). Ҳозирги электр қурилмаларда А3100 серияли (600 А гача) автоматик узгичлардан фойдаланилади. Улар секин-аста янги сериялар (А3700 ва АЕ-2000) билан алмаштирилмоқда. А3700 серияли узгичлар 40 дан 630 А гача бўлган номинал токлар учун мўлжалланган. Улар 4000 дан 6300 А гача оний таъсир этувчи максимал токка мўлжалланган электромагнитли максимал ток ажратгичларга эга.

Автоматик ҳаво узгичнинг принципиал схемаси 12.11-расмда кўрсатилган. Автоматик ҳаво узгичларда ёйни сўндириш учун махсус муҳит ишлатилмайди, у ҳавода ўчирилади.

Қутблар сонига кўра автоматик ҳаво узгичлар бир, икки ва уч қутбли бўлади. Кузатиладиган катталик (ток кучи, кучланиш ва иссиқлик миқдори)нинг белгиланган қийматдан ортиш лаҳзасидан бошлаб контактларнинг ажралиш лаҳзасигача бўлган вақтга кўра, яъни ишлаб кетиш вақти $t_и$ га кўра автоматлар қуйидагиларга бўлинади: нормал автоматлар ($t_и = 0{,}02 \div 0{,}1$ с); тез таъсир қилувчи автоматлар ($t_и \leqslant 0{,}005$ с); ишлаб кетиш вақти 1 с гача бўлган ростланувчи селектив автоматлар.

Автоматлар кучланиши ўзгарувчан токда 380, 660 В ва ўзгармас токда 110, 220, 440 В бўлганда 6000 А гача токлар учун мўлжаллаб ишлаб чиқарилади. Автоматларнинг узиш қобилияти 200—300 кА токкача етади. Автоматлар қуйидаги асосий элементлар: ёй сўндирувчи тузилма, контактлар, юритма, эркин ажратиш механизми, ажраткичлар ва ёрдамчи контактлардан иборат.

Автоматнинг контактлари узоқ вақт қизимасдан номинал токларни ўтказиши ва қисқа туташув токларини узиш-



12.11- расм.

да ҳосил бўлувчи ёй таъсирига чидаши керак. Биринчи шартга мувофиқ контактларни солиштирма қаршилиги кичик материалдан, иккинчи шартга мувофиқ эса ёй таъсирига чидамли материалдан тайёрлаш керак. Ҳар иккала шартни бир вақтнинг ўзида бажариш мумкин бўлмаганлиги учун икки жуфт бош *3* ва *4* ҳамда ёй сўндирувчи *1* контактлар қўлланилади (12 11- расм). Нормал режимда токнинг асосий қисми мис, кумуш ёки уларнинг қотишмасидан тайёрланган бош контактдан ўтади. Автомат узилганда аввал асосий контактлар ажралади, лекин ток занжири узилмайди, чунки токнинг ҳаммаси ёй сўндирувчи контактлар занжирига ўтади. Сўнгра ёй сўндирувчи контактлар ажралади ва уларда электр ёйи сўнади. Узилади-

ган токнинг қиймати унча катта бўлмаганда ёй сўндирувчи контактлар мисдан, катта токларда эса вольфрам, унинг қотишмасидан ёки металли чиннидан тайёрланади. Ёй сўндирувчи контактлар конструкцияси бўйича осон алмаштириладиган қилиб ясалади

Автоматнинг ёй сўндирувчи тузилмаси автоматни ўчирганда ҳосил бўладиган ёйни сўндириш учун хизмат қилади. Автоматларда пўлат пластинкали ёй сўндирувчи тузилмалар кенг қўлланилади.

Автоматнинг юритмаси бевосита қўл билан ёки масофадан бошқарилувчи бўлиши мумкин. Қўл билан бошқарилганда занжирни улаш даста *11* ни бураш билан амалга оширилади. Масофадан бошқарилганда электромагнит *10* ёрдамида юритмага таъсир қилинади.

Эркин ажратиш механизми автоматни исталган вақтда ўчиришни таъминлайди, шунингдек, улаш жараёнида ҳам ўчиришни (агар у лозим бўлса) амалга оширади. У таянчга шарнирли тарзда боғланган ричаг *12* дан иборат. Автоматик узгичнинг принципиал схемаси (12.11-расм) да автомат узилган ҳолатда турибди, чунки асосий контактлар *3* ва *4* ажратилган ва коммутация токи узувчи контактлар *1* нинг параллел занжири орқали ўтмоқда. Бундай конструкцияда ёй асосий контактларда вужудга келмайди ва улар куймайди. Узувчи (ёй сўндирувчи) контактлар бош контактлар *3* ва *4* дан етарли масофага узоқлашганда ажралади. Ток занжирининг узилиши натижасида электр ёйи ҳосил бўлади. У ёй сўндирувчи камерада сўндирилади. Контактлар охири туташиши учун узувчи ва асосий контактлар пружиналар *2* билан таъминланган Автоматни улаш учун даста *11* ни босиш ёки электромагнит *10* га кучланиш бериш кера . Улашда ҳаракат даста *11* ёки электромагнит *10* дан ричаглар *12* ёрдамида асосий тортувчи деталь (ричаг) *5* га узатилади. Бу ричаг аввал ёй сўндирувчи *1* ни, сўнгра эса асосий контактлар *3* ва *4* ни туташтиради. Бунда узувчи пружина *13* чўзилади ва бутун система илгак *6* да илиниб туради.

Ажраткичлар электромагнит ёки биметалли механизмлар бўлиб, электр занжирининг берилган параметрларини назорат қилади ва мазкур параметрлар (ток, кучланиш ва иссиқлик) белгиланган қийматларидан ошиб кетганда автоматни ўчиради. Ушбу автомат электр жиҳозларни қисқа туташувдан, ўта юкланишдан ва минимал кучланишлан ҳимоя қилади. Қисқа туташув токи максимал ажраткич ғалтаги *8* дан ўтганда унинг электромагнит кучи қўзғалувчан ўзакли ғалтакка таъсир қилади ва илгак *6* ни чиқариб юборади.

Минимал кучланишни ажраткич тармоқ кучланиши бериладиган ғалтак *9* га ва пружинага эга. Тармоқ кучланиши номинал бўлганда уларнинг кучлари мувозанатлашади ва соленоиднинг штоги автоматни ўчириш (узиш) га таъсир қилмайди. Тармоқ кучланиши номиналдан пасайганда қўзғалувчан

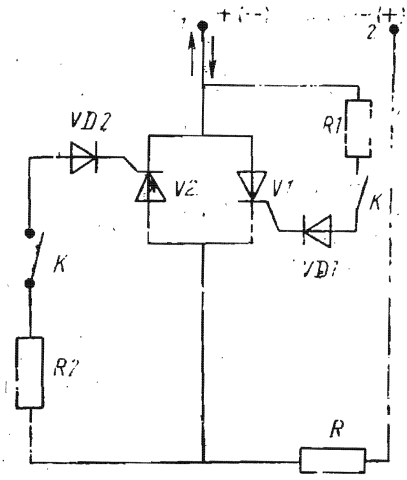
ўзак ҳосил қилаётган куч етарли бўлмайди ва унинг штоги пружина таъсирида илгак *6* ни чиқариб юборади. Автоматни масофадан кнопка *SQ* ёрдамида ўчириш учун мустақил ажраткич ғалтаги 14 қўлланиши мумкин.

Биметалли (иссиқлик) ажраткич *15* иссиқликни электр тармоғига шунт *16* орқали уланган қиздирувчи элемент *17* дан олади. Чизиқли кенгайиш коэффициенти турлича бўлган иккита металл (биметалл) дан ташкил топган пластинка қизиганда эгилади. Бунда мазкур пластинканинг штоги илгак *6* ни чиқариб юборади. Иссиқлик ажраткич ёрдамида истеъмолчилар ўта юкланишдан ҳимоя қилинади. Ишлаб кетиш вақти ўта юкланиш токига боғлиқ, яъни ток қанча катта бўлса, биметалл пластинка шунча тез қизийди ва занжирни узиш шунча тезроқ амалга ошади. Иссиқлик инерцияси катта бўлганлиги учун иссиқлик ажраткичлар электр двигателларни ишга туширувчи токларнинг таъсирини сезмайди.

Баъзи автоматлар фақат электромагнит ёки иссиқлик ажраткичга эга бўлиши мумкин.

12.4. ТИРИСТОРЛИ КОНТАКТОРЛАР

Куч занжирларини коммутацияловчи (узиб-уловчи) электромагнитли аппаратлар — контакторлар, магнитли ишга туширгичлар ва бошқа шунга ўхшаш элементларнинг энг муҳим камчилиги улардаги контактлар ишончлилигининг пастлигидир. Катта токларнинг коммутацияси контактлар орасида ёйнинг вужудга келиши билан боғланган. Бу эса уларнинг қизишига, эришига ва натижада коммутацияловчи аппаратларнинг ишдан чиқишига олиб келади. Куч занжирлари тез-тез улаб-узиб турилади ган қурилмаларда коммутацияловчи аппаратлар контактларининг ишончсиз ишлаши бутун қурилманинг ишлашига салбий таъсир қилади Тиристорлар асосида яратилган тиристорли контакторлар юқорида кўрсатилган камчиликлардан холидир. Тиристорли контакторлар ўзгарувчан ва ўзгармас токда ишлайдиган хилларга бўлинади.



12.12- расм.

Бир фазали тиристорли ўзгарувчан ток контакторларининг схемаси 12.12- расмда кўрсатилган. Бу схемадан қаршилиги *R* бўлган истеъмолчини бир фазали ўзгарувчан ток тармоғига улаб-узишда фойдаланилади. Мазкур схеманинг ишлаш принципи билан танишиб чиқамиз.

Контактор вазифасини ўзаро қарама-қарши уланган тиристорлар *V1* ва *V2* бажаради. Бунда *V1* нинг катоди *V2* нинг анодига уланган. *V1* ва *V2* лар нагрузка қаршилиги *R* билан кетма-кет уланади. Тиристор *V1* нинг бошқарувчи электроди диод *VD1*, калит *K*, резистор *R1* орқали тиристор *V1* нинг анодига, тиристор *V2* нинг бошқарувчи электроди эса диод *VD2*, калит *K* ва резистор *R2* орқали тиристор *V2* нинг анодига уланган. Бундай улаш тиристор аноди мусбат бўлганда унинг бошқарувчи электроди катодга нисбатан мусбат бўлишини таъминлайди. Бу эса тиристорнинг ишлашига (очилишига) қулай шароит яратади.

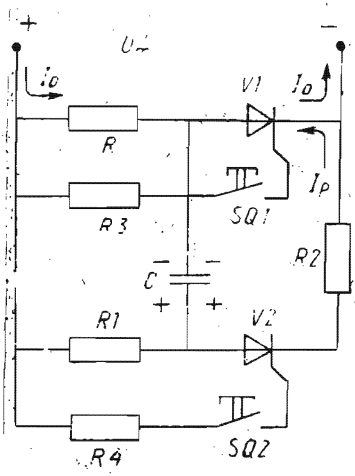
Контакторни улаш ва истеъмолчи занжирига кучланиш бериш учун калит *K* ни улаш керак, унинг контактлари тиристорлар (*V1* ва *V2*) нинг бошқариш занжирларини улайди. Шу вақтда агар қисма *1* да мусбат потенциал (ўзгарувчан ток синусоидасининг мусбат ярим тўлқини) бўлса, у ҳолда тиристор *V1* нинг бошқарувчи электродига резистор *R1* ва диод *VD1* орқали мусбат кучланиш берилади. Тиристор *V1* очилади ва нагрузка *R* дан ток ўтади. Тармоқ кучланиши U_m нинг қутби алмашганда тиристор *V2* очилади. Шундай қилиб, нагрузка ўзгарувчан ток тармоғига уланади. Калит *K* ни узганда бошқарувчи электрод занжири узилиб қолади, натижада тиристорлар уланмайди ва нагрузка тармоқдан узиб қўйилади.

Кўриб чиқилган схемада тиристорни улаш калит ёрдамида амалга оширилишига қарамасдан, бу тиристорли контакторнинг ишлаш ишончлиги электромагнит контакторникидан анча юқори, чунки калит контактлари бошқарувчи электродлар занжирини коммутациялайди, уларга эса нагрузка токидан бир неча миллион мартагача кичик ток келади. Калит ўрнида релейнинг контактидан фойдаланиш мумкин. Тиристорли контакторларни электрон схемалар ёрдамида контактсиз қилиш мумкин. Бир фазали тиристорли контакторлар асосида уч фазали тиристорли контакторларни яратиш ҳеч қандай қийинчилик туғдирмайди.

Тиристорли контакторлар каби ПТ ва ПТК серияли тиристорли юритгичлар ҳам ишлаб чиқилган. Тиристорли юритгичларнинг ПТ ва ПТК сериялари 16 ва 40 А токларга ва 380 В кучланишга мўлжалланган бўлиб, асинхрон двигателларни манбага улаб-узиш учун хизмат қилади. ПТК сериядагиси эса двигателларни ўта юкланишлардан ва фазаларнинг узилишидан ҳам ҳимоя қилади.

Тиристорли ўзгармас ток контактори ўзгарувчан ток тиристорли контакторидан фарқли ўлароқ мажбурий коммутация узелига эга бўлиши керак. Чунки, тиристорни ёпиш учун бошқарувчи сигналнигина ўчириш кифоя қилмай, балки тиристор токини ҳам нолгача пасайтириш керак.

Тиристорли ўзгармас ток контакторининг принципиал схемаси 12.13-расмда кўрсатилган. Тиристор *V1* нагрузка *R* ни улайди, тиристор *V2*, конденсатор *C*, резистор *R1* ва *R2* лар



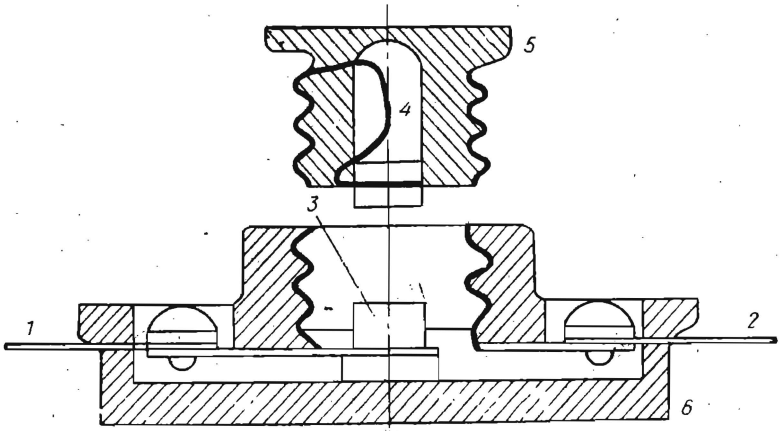
12.13- расм.

эса тиристор *V1* нинг мажбурий ёпилишини таъминлайди. Резисторлар R_3 ва R_4 тиристорларнинг бошқарувчи токларини чеклаш учун хизмат қилади. Нагрузкани улаш учун кнопка *SQ1* ни босиш керак, бунда тиристор *V1* нинг бошқарувчи электродига мусбат (катодига нисбатан) потенциал берилади ва у очилади, нагрузка *R* орқали эса ток I_0 оқиб ўтади. Шу вақтда конденсатор *C* зарядлана бошлайди, натижада мажбурий коммутация занжири ишга тайёрлана боради. Нагрузкани тармоқдан узиш, яъни ток I_0 ни нолгача камайтириш учун кнопка *SQ2* ни босиш керак. Бу вақтда тиристор *V2* очилади ва конденсатор *C* нинг резистор *R2* орқали зарядсизланиши бошланади. Зарядсизланиш токи I_p ток I_0 га нисбатан қарама-қарши йўналишга эга. Шунинг учун тиристор орқали ўтувчи натижаловчи ток $I_0 - I_p$ нолгача камайганда нагрузка *R* тармоқдан узилади. Нагрузкани қайтадан манбага улаш учун яна кнопка *SQ1* ни босиш керак.

12.5. ҲИМОЯ АППАРАТЛАРИ

Кучланиши 1000 В гача бўлган электр қурилмалари ва тармоқларининг занжирларини ўта юкланиш ва қисқа туташувларда автоматик ажратиш учун сақлагичлар, автоматлар, магнитли юритгичлар ва релелардан фойдаланилади.

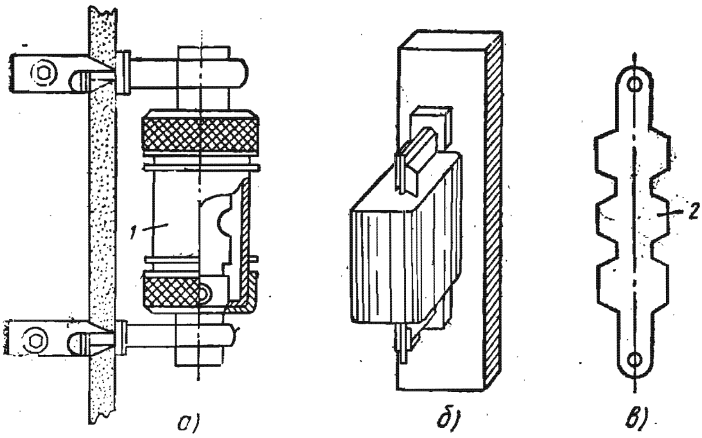
Сақлагичлар. Электр занжирида қисқа туташув ёки ўта юкланиш юзага келганда уни автоматик равишда бир марта узиш учун хизмат қиладиган аппарат сақлагич деб аталади. Занжирни сақлагич воситасида узиш эрувчан қўйманинг эриши туфайли амалга ошади. Бу эрувчан қўйма ўзидан муҳофаза қилинаётган занжирнинг токи оқиб ўтганда қизиб эрийди. Эрувчан қўймани қўлда алмаштириш мумкин. Конструкциясининг соддалиги ва арзонлиги сабабли эрувчан сақлагичлар саноат электр қурилмаларида, электр тармоқларида, электр станция ва подстанцияларда, радиотехника қурилмаларида ҳамда турмушда шу кунларда ҳам кенг қўлланилади. Сақлагичларнинг конструкцияси турлича бўлиб, миллиампердан то минглаб ампергача токларга мўлжалланади. Ҳамма сақлагичлар асосий элементлар *асос, эрувчан қўйма, контакт* ва *ёй сўндирувчи қурилма* ёки *ёй сўндирувчи муҳитдан* иборат бўлади.



12.14- расм.

Пробкали сақлагичлар 250 В гача кучланиш ва 60 А гача токка мўлжаллаб ишлаб чиқарилади. Пробкали сақлагич (12.14-расм) асос *6* дан ва унга бураб маҳкамланадиган резьбали пробка *5* дан иборат. Пробка чиннидан ясалади ва иккита металл контактлар билан таъминланади. Улар орасига эрувчан сим *4* пайвандланади. Кириш сими *1* қўзғалмас контакт *3* га уланган. Бу контакт алмашинувчи пробка *5* да жойлашган эрувчан қўйма *4* (маълум бир номинал ток учун мўлжалланган) орқали пробка *5* нинг бурама контакт ва чиқиш сими *2* уланган патрон орқали ёпиқ занжир ҳосил қилинади. Ток номинал қийматдан ортиб кетганда қўйма *4* эриб, занжир узилади.

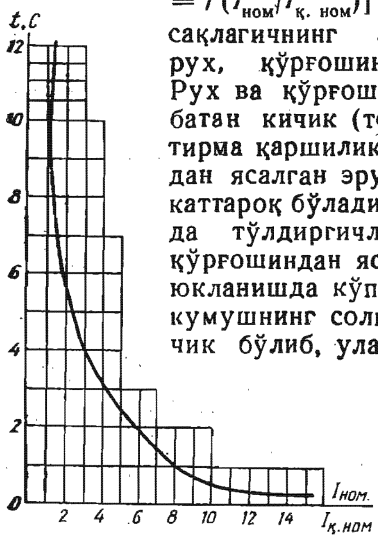
ПР ва НПР турдаги найчали сақлагичлар (12.15-расм). Бундай сақлагич газ ҳосил қилувчи фибрали найча *1* дан иборат бўлиб, унинг ичига аниқ ток кучига мўлжалланган рухли эрувчан қўйма *2* жойлаштирилган (12.15-расм, *в*). Қўйма эриганда унинг торайган жойларида бир нечта кетма-кет уланган ёйлар ҳосил бўлиб, уларнинг таъсирида фибрали найча ички юзасининг айрим қисмлари парчаланади ва катта миқдорда газ ажратади. Бунда найча ичида ҳосил бўлган юқори босим ёйнинг тез сўнишига имкон беради. ПР сақлагичларнинг патронлари 15, 60, 100, 200, 350, 600 А номинал токларга мўлжалланади (12.15-расм, *а*). Тўлдиргичли НПР турдаги ёпиқ сақлагичларда эрувчан қўймалар кварц қуми билан тўлдирилган ва кавшарлаб (қалайлаб) зич беркитилган чинни найчаларга жойлашган (12.15-расм, *б*). Бу сақлагичлар жуда катта узиш қобилиятига эга бўлиб, уларда ток товушсиз ва алангасиз узилади. Мазкур сақлагичларнинг асосий техник параметрлари номинал кучланиш ($U_{ном}$) ва номинал ток ($I_{ном}$) ҳисобланади.



12.15- расм.

Эрувчан қўйманинг узоқ вақт эримасдан ишлашини таъминлайдиган токнинг максимал қиймати эрувчан қўйманинг номинал токи $I_{ном}$ деб аталади. Қўймадан ўтадиган ток $I_{ном}$нинг қиймати қўйма учун мўлжалланган токнинг номинал қиймати $I_{қ.\ ном}$ га нисбатан қанча катта бўлса, қўйманинг эриш вақти, яъни ҳимоя қилинаётган занжирнинг узилиш вақти шунча кичик бўлади.

12.16- расмда эрувчан қўймаларнинг характеристикаси $[t = f(I_{ном}/I_{қ.\ ном})]$ келтирилган. Эрувчан қўйма сақлагичнинг асосий элементи бўлиб, мис, рух, қўрғошин ёки кумушдан тайёрланади. Рух ва қўрғошиннинг эриш температураси нисбатан кичик (тегишлича 419 ва 327°С), солиштирма қаршиликлари эса катта бўлгани учун улардан ясалган эрувчан қўйманинг кўндаланг кесими каттароқ бўлади. Бундай қўймаларни сақлагичларда тўлдиргичларсиз ишлатиш мумкин. Рух ва қўрғошиндан ясалган қўймали сақлагичлар ўта юкланишда кўпроқ вақт ишлай олади. Мис ва кумушнинг солиштирма қаршилиги нисбатан кичик бўлиб, улардан ясалган қўйманинг кўндаланг кесими катта эмас, бу уларнинг тез ишлаб кетишини таъминлайди. Бундай қўймалар қўйманинг ҳажмини кичрайтириш муҳим аҳамиятга эга бўлган тўлдиргичли сақлагичларда қўлланилади. Ишлатиш жараёнида оксидланишни камай-



12-16- расм.

тириш учун, одатда, сиртига қалай суви юритилган мис қўймалар қўлланилади. Кумуш оксидланмайди, шунинг учун уларнинг характеристикалари барқарордир. Лекин нархи қиммат бўлганлиги учун улар зарур ҳоллардагина қўлланилади.

Айрим истеъмолчиларни (масалан, двигателларни) ҳимоя қилувчи қўйма ва сақлагичларни танлашда иккита шартга риоя қилиш керак:

1) улардан узоқ вақт давомида нормал ток (иш токи $I_{иш}$) ўтганда қўймалар эримаслиги, яъни $I_{қ.\,ном} \geqslant I_{иш}$;

2) қўймалар ҳимоя қилинаётган двигателларнинг қисқа муддатли (ишга тушириш) токига чидамли бўлиши, яъни $I_{қ.\,ном} \geqslant \frac{I_{и.\,т}}{(1{,}5 \div 2{,}5)}$.

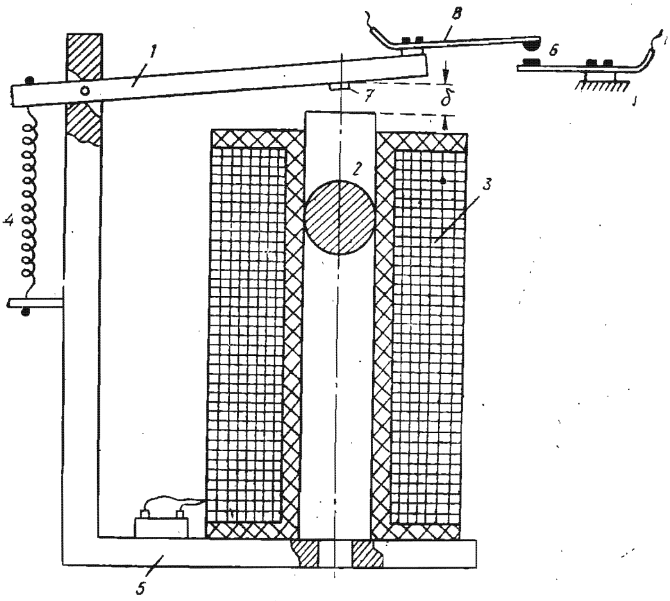
Оғир шароитда ишга тушириладиган электр юритмаларда 1,5 ÷ 2 коэффициент, енгил шароитда эса 2,5 коэффициент олинади.

Реле. Ҳозирги замон мураккаб электр системаларида ҳамда электр машиналар ва аппаратлар автоматикасида такомиллашган ва мустаҳкам қурилмалар — релелар кўп ишлатилади. Уларда кириш (бошқариш) катталиги ўзгарганда чиқиш катталиги дарҳол ўзгаради, натижада чиқиш контактлари ё уланади (бошқарилаётган занжирда ток пайдо бўлади), ёки узилади.

Бошқариш аппаратлари билан биргаликда ишлайдиган ҳимоя релеларининг вазифаси бузилишга олиб келувчи иш режимларида электр системаларни, двигателларни ва бошқа электр қурилмаларни бузилишдан сақлашдир. Қабул қилиш элементларининг ишлаш принципига кўра релелар: электромагнит, индукцион, қутбланувчи, магнитоэлектрик, электродинамик ва электрон турларга бўлинади. Кириш параметрларига қараб релелар: ток релеси, кучланиш релеси, иссиқлик релеси ва бошқа турларга бўлинади.

Айрим ҳолларда битта реле ёрдамида бир-бирига боғлиқ бўлмаган бир нечта занжирларни бошқариш керак бўлади. Бунда оралиқ релелар ишлатилади. Реленинг ишга тушиш вақти 0,05 — 0,25 с.

Электромагнитли релелар кўпроқ тарқалган бўлиб, улар бошқариш чулғамидаги ток (кучланиш) ўзгаришидан таъсирланади. Автоматикада жуда кўп ишлатиладиган электромагнитли реленинг содда кўриниши 12.17-расмда тасвирланган. У қўзғалувчан якорь *1*, ўзак *2*, электромагнит чулғами *3*, магнит ўтказгич *5*, қайтарувчи пружина *4*, нормал очиқ контактлар *6* ва магнитсиз ўзакча *7* дан иборат. Электромагнит чулғамидан ўзгармас ёки ўзгарувчан ток ўтганда якорни тортувчи электромагнит куч вужудга келади. Бу вақтда қайтарувчи пружина тескари таъсир кўрсатувчи момент ҳосил қилади. Қўзғалувчан контакт ясси контакт пружина *8* орқали якорга маҳкамланган. Электромагнит чулғами бошқариш зан-



12.17-расм.

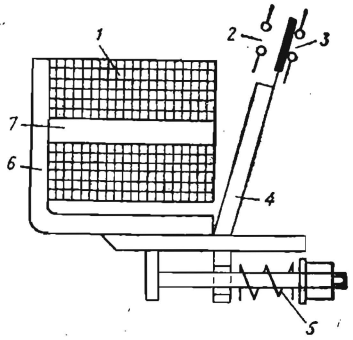
жирининг бир қисми бўлса, контактлар эса ижрочи занжирнинг бир қисмидир.

Электромагнит чулғамидан ток оқиб ўтганда магнит майдони вужудга келади. Майдоннинг магнит оқими ўзак, магнит ўтказгич ҳамда якорь орқали туташади ва якорни ўзакка тортади. Бу вақтда ўзакка маҳкамланган қўзғалувчан контакт қўзғалмас контактга уланади. Натижада ижрочи занжирда контактлар уланади ва ижрочи механизм ишга тушади. Контакт пружина *8* босим ҳосил қилиб, контактлар *6* нинг ишончли уланишини таъминлаш учун хизмат қилади. Электромагнит чулғамида кучланиш ёки ток узилганда реленинг якори қайтарувчи пружина *4* таъсирида нормал (дастлабки) ҳолатга қайтади ва контактлар *6* ажралади. Якорнинг паст томонидаги магнитсиз ўзакча *7* чулғамдаги ток узилганда якорнинг ўзакдан осон ажралишини таъминлаш учун хизмат қилади. Бунда қолдиқ магнетизм таъсири кескин камаяди. Релелар тузилишига қараб бир нечта уланувчи ва узилувчи контактларга эга бўлиши мумкин.

Кўриб чиқилган электромагнит релени оралиқ реле, баъзи ҳолда кучланиш релеси деб юритилади. У максимал ва минимал кучланиш релеларига бўлинади.

Максимал кучланиш релеси шундай ростланадики, агар кучланиш номинал, яъни белгиланган қийматдан ошиб кетса, у билан боғлиқ чулғам токи ҳам ошади. Натижада магнит оқи-

ми ошиб, якорни ўзакка тортади. Бунда реленинг нормал ёпиқ контактлари узилиб, ҳимоя қилинаётган электр қурилмани узишга автоматик ҳолда ахборот беради.



12.18- расм.

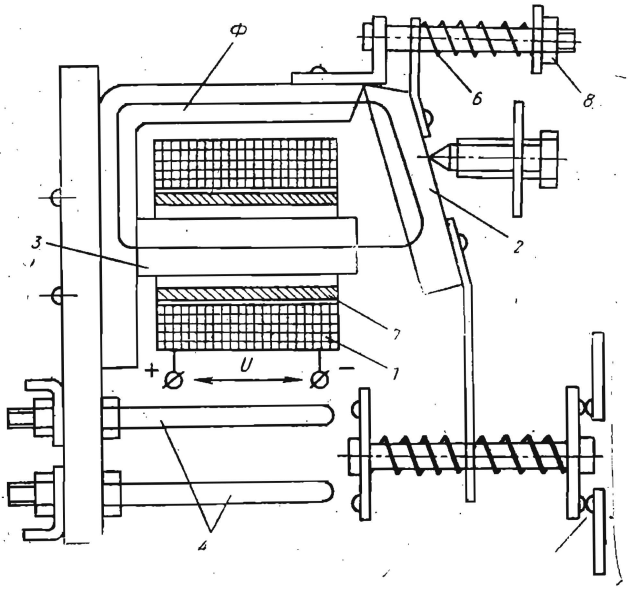
Минимал кучланиш релесининг нормал ёпиқ контакти номинал кучланишда очиқ бўлади. Агар кучланиш белгиланган қийматдан камайса, реле чулғамидаги ток ва магнит оқими камаяди. Бу оқим якорни тортиб туролмайди. Натижада якорь ўзакдан узоқлашади ва нормал ёпиқ контакт уланиб, ҳимоя қилинаётган электр қурилмани узишга ахборот беради.

Оралиқ реле номинал кучланишда ишлайди. Унинг контактлари бир неча ампер ток кучига мўлжалланади.

Максимал ток релеси электр двигателларни ва бошқа электр қурилмаларни қисқа туташув токларидан ҳимоя қилиш учун хизмат қилади (12.18-расм). Реленинг чулғами *1* ҳимояланаётган занжир билан кетма-кет уланади, шунинг учун ундан электр двигатель ёки бошқа қурилманинг иш токи оқиб ўтади. Реле чулғамининг қаршилиги кичик бўлиши учун, у йўғон симдан кам ўрамли қилиб ясалади. Ток ҳосил қилган магнит оқим ўзак *7*, магнит ўтказгич *6* ва якорь *4* бўйича туташади. Реле чулғамидан номинал токдан икки-уч марта катта ток ўтганда, яъни $I = (2 \div 3) I_{ном}$ да вужудга келган электромагнит куч $E_э = IW$ пружина *5* нинг қайишқоқлик кучи $F_п$ дан кичик бўлади. Бу вақтда якорь ўзакка тортилмайди, натижада контакт *3* уланган, контакт *2* эса уланмаган ҳолда бўлади.

Агар электр занжирида қисқа туташув содир бўлса, занжир токи номинал қийматдан бир неча марта катта бўлади. Бу вақтда вужудга келган электромагнит куч ҳаддан ташқари катта бўлганлиги учун пружина *5* нинг қаршилик кучини енгиб, якорь *4* ни ўзак *7* га тортади. Бунда контакт *3* узилади, контакт *2* эса уланади. Реленинг *3* контакти контактор ёки бошқа аппаратнинг бошқариш занжирига уланган. Шунинг учун контакт *3* нинг узилиши контактор ёки бошқа аппарат ёрдамида электр двигателни ёки бошқа электр қурилмани электр манбаидан узади.

Максимал ток релесининг ишлаб кетиш токини пружина *5* ни таранглаш билан ростлаш мумкин. Одатда, ишлаб кетиш токи $I_и = (2 \div 3) I_{ном}$ оралиғида танланади. Чулғамда катта токнинг пайдо бўлишидан контакт *3* нинг узилишигача кетган вақт 0,05 — 0,30 с бўлиб, реленинг *ишлаб кетиш вақти* деб аталади. Токнинг қиймати қанча катта бўлса, ишлаб кетиш



12.19- расм.

вақти шунча кичик бўлади. Реле ишлагандан ва контакт орқали двигатель манбадан узилгандан кейин реледа магнит оқими бўлмайди ва якорь пружина таъсири остида дастлабки ҳолатга қайтади.

Агар юқоридаги релелар ўзгарувчан токда ишлатиладиган бўлса, уларнинг ўзагига, худди магнитли ишга туширгичдаги каби, қисқа туташтирилган чулғам жойлаштирилиши керак.

Вақт релеси автоматик бошқариш системаларида аппаратларни маълум кетма-кетликда ва маълум вақт оралиғида ишлашини таъминлаш ва ҳаяллаш вақтини юзага келтириш учун хизмат қилади. Вақт релеси ишлаши ва тузилишига кўра электромагнитли, электронли, пневматик ва бошқа турларга бўлинади.

Қуйида 12.19-расмда кўрсатилган электромагнитли вақт релесининг тузилиши ва ишлашини кўриб чиқамиз. Реленинг чулғами *1* ўзгармас ток тармоғига уланганда ўзакда магнит оқим *Ф* вужудга келади ва унинг таъсирида якорь *2* дарҳол ўзак *3* га тортилади. Бунда контактлар *4* уланади ва контактлар *5* эса узилади. Агар чулғам *1* ни ўзгармас ток манбаидан узилса реледа ҳаяллаш вақти бошланади. Бунда чулғамда ток нолга тенг бўлади ва магнит оқим *Ф* магнит ўтказгичда камая бошлайди. Мазкур магнит оқими қисқа туташтирилган ўрам (ёки мис гильза) *7* да ўзиндукция ЭЮК ни ҳосил қилади. Бу ЭЮК таъсири остида қисқа туташтирилган ўрамдан ток оқиб ўтади ва у магнит оқим $Ф_к$ ни вужудга келтиради. Бу оқим

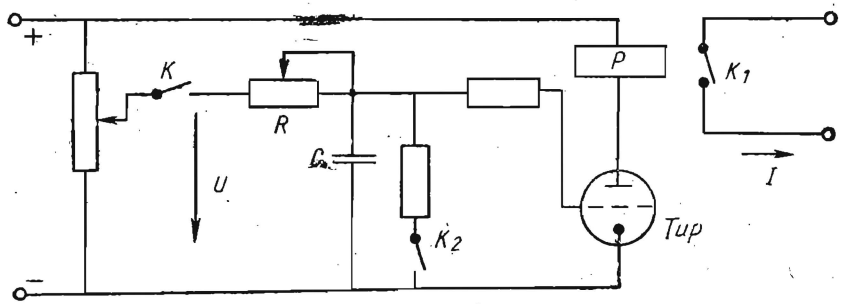
Ленц қоидасига мувофиқ магнит ўтказгичдаги магнит оқимининг қийматини ўзгартирмасликка интилади. Аммо қисқа туташтирилган ўрамдаги қувват исрофи туфайли магнит оқими секин-аста камая бошлайди ва у ҳосил қилган электромагнит куч пружина *6* нинг кучидан кичик бўлганда реленинг якори ўзакдан узоқлашади. Бунда контактлар *4* узилади, контактлар *5* эса уланади.

Шундай қилиб, реле чулғамини узган вақтдан бошлаб, контактларнинг қайта уланиши бирданига эмас, балки маълум вақтдан кейин содир бўлмоқда. Бу вақт *ҳаяллаш вақти* деб аталади. Ушбу турдаги реледа ҳаяллаш вақти секунднинг улушидан то 5—12 секундгача бўлиши мумкин. Ҳаяллаш вақтини пружина *6* нинг таранглигини ўзгартириш билан ростлаш мумкин. Бунинг учун гайка *8* дан фойдаланилади.

Электрон реледа ўзгармас кучланиш U да конденсатор C нинг резистор R орқали зарядланиши ҳаяллаш вақтини вужудга келтиради (12.20-расм). Дастлаб тиратрон (Тир) ёнмайди, чунки унинг тўр кучланиши бўлмаганда анодига берилган кучланиш тиратороннинг ишлаши учун етарли эмас. Зарядланадиган конденсаторнинг кучланиши тиратроннинг тўр кучланишига тенгдир.

Конденсаторнинг зарядланиши калит K уланган лаҳзада бошланади. Конденсатор секин-аста зарядлана бошлайди ва унинг кучланиши тиратроннинг ишга туширувчи тўр кучланиши қийматига етмагунча кўпаяди. Конденсатор кучланиши тўр кучланишининг ишга тушириш қиймати $U_{и.т}$ га етганда ($U_m = U_{и.т} = U_c$) тиратрон очилади ва тиратроннинг анодига уланган реле P чулғамида ток пайдо бўлади. Натижада реле ишга тушади ва калит $K1$ бошқарув занжирини улайди ва калит $K2$ ни улаб, конденсаторни зарядсизлайди. Тиратрон очилгандан кейин тўр ўзининг бошқариш вазифасини йўқотади. Конденсаторнинг зарядсизланиши вақт релесини қайтадан ишлашга тайёрлайди.

Шундай қилиб, реленинг ҳаяллаш вақти зарядланаётган конденсатор кучланишининг ошиш тезлиги билан аниқланади. Бу тезлик конденсатор зарядланиш контурининг доимий вақти



12.20- расм.

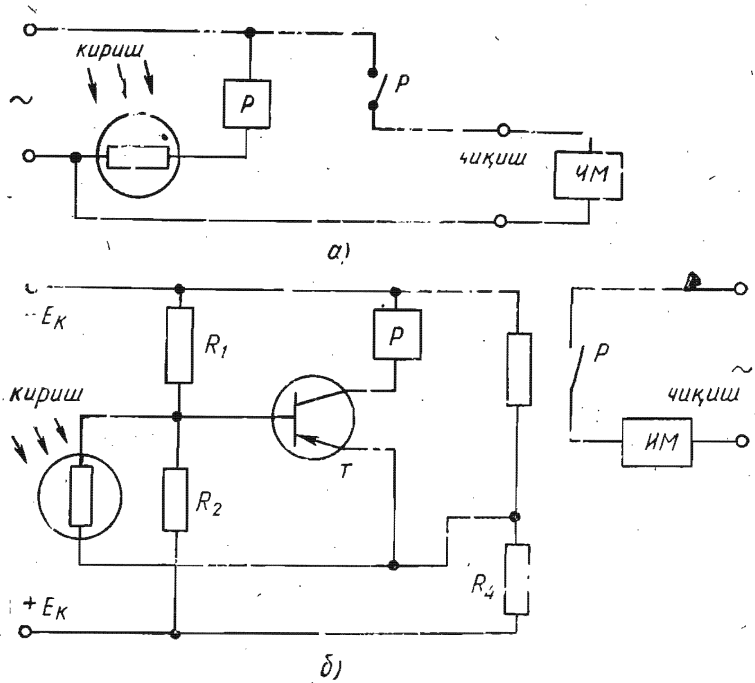
$\tau = RC$ га боғлиқ. Вақт $t = RC$ давомида конденсатор кучланиши деярли U га тенг бўлади.

Тиратрон токи анча катта 1—100 А бўлгани учун анод занжирига реле эмас, балки катта қувватли технологик жараённи бошқарувчи аппарат, масалан, ўзгармас ток двигателини улаш мумкин. Бу эса контактсиз тиратронли реленинг асосий афзаллигидир.

Фотореленинг кириш элементи фотоэлектрон асбобга тушаётган ёруғлик оқимининг ўзгариши таъсирида ишлайди. Фотоэлектрон асбобларга фоторезисторлар, фотодиодлар, фототранзисторлар, фототиристорлар, электронли ва ионли фотоэлементлар киради. Фоторезистор тузилиши ва ишлатилишига кўра фотоэлектрон асбоблар ичида энг оддийси ҳисобланади.

Фоторезисторли фоторелелар уй-рўзғор электр аппаратларида, кўча чироқларини ёқиб-ўчиришда ва бошқа соҳалардаги технологик жараёнларни автоматлаштиришда ишлатилади. Фотореле фоторезисторнинг турига ва бошқарилаётган жараённинг хусусиятларига қараб кучайтиргичсиз (12.21-расм, *а*) ҳамда битта кучайтиргичли (12.21-расм, *б*) ёки бир нечта кучайтиргичли бўлиши мумкин.

Фоторезистор ўзи бошқарадиган қурилма ва электр энергияси манбаи билан кетма-кет уланади (12.21-расм, *а*). Ёритилмаган фоторезисторнинг қаршилиги катта бўлганлиги учун



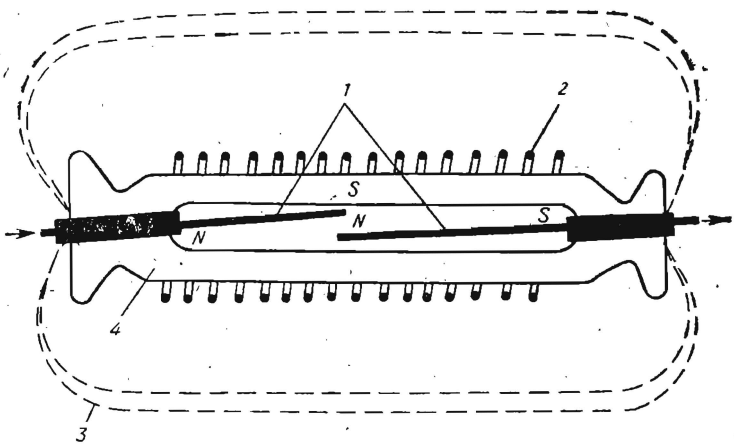
12.21-расм.

электр энергияси манбаи таъсирида фоторезисторли занжирда ток жуда кичик бўлади. Агар фоторезистор ёритилса, унинг қаршилиги дарҳол камаяди, натижада занжирда ток кўпаяди ва реле ишга тушади Реленинг контакти ижрочи механизмни улайди. Кўпгина ҳолларда фоторезистор токидан тўғридан-тўғри ижрочи механизмни ишга тушириш учун фойдаланиш мумкин.

Фоторезисторли ва битта транзисторли кучайтиргичи бўлган фотоэлектрон реленинг схемаси 12.21-расм, *б* да кўрсатилган. Фоторезистор ёритилмаганда транзистор *Т* нинг база ва эмиттер потенциаллари коллектор манбаига уланган кучланиш бўлгичлар *R1R2* ва *R3R4* билан белгиланади. Бу бўлгичлар қаршиликларининг қийматлари шундай танланганки, агар фоторезистор ёритилмаган бўлса, транзистор базасининг потенциали эмиттер потенциалига нисбатан мусбатроқ бўлади. Бунда транзистор ёпиқ бўлади. Агар фоторезистор ёритилса, унинг қаршилиги бирданига камайиб кетади, натижада база потенциали эмиттер потенциалига нисбатан манфий бўлади ва транзистор очилади. Транзисторнинг коллектор занжирига уланган электромагнит реле ишга тушади ва ўзининг контактларини улаб, кузатилаётган ёруғлик оқимининг қиймати маълум миқдорга етганлиги тўғрисида ахборот беради ёки шу ёруғлик оқимига тегишли занжирни бошқаради. Ушбу фотоэлектрон реледан кўчанинг электр чироқларини куннинг ёруғлиги маълум қийматга эришганда автоматик ҳолда ўчириш ёки ёқишда фойдаланиш мумкин. Бу ҳолда фотоэлектрон реленинг коллектор занжирига вақт релеси уланади. Вақт релеси бўлган фоторезистор кечаси қисқа муддатли ёритилганда (чақмоқ пайтида) кўча чироқлари ўчишиниг олдини олади. Бу реледаги бўлгичлар *R1R2* ва *R3R4* нинг қаршиликларини ўзгартириб, фоторезистор ёритилмаганда эмиттер потенциалини база потенциалига нисбатан мусбатроқ қилиш орқали транзисторнинг очилишига эришиш ва шу билан кўча чироқларини ёқиш ҳам мумкин.

Герконли релелар электр автоматикада жуда кўп ишлатилмоқда. Улар электромагнит реледан бошқариладиган магнитли контактларга эга эканлиги билангина фарқ қилади (12.22-расм). Ҳавоси сўриб олинган шиша баллон *4* га инерт газ тўлдирилган ва ферромагнит материалдан ясалган контактлар *1* кавшарланган. Баллон атрофига бошқариш чулғами *2* жойлаштирилган. Релени ўзгармас ток манбаига улаганда бошқариш чулғамидан ўзгармас ток оқиб ўтиб, магнит майдони *3* ни ҳосил қилади. Бу магнит майдони ферромагнитли контактлар *1* ни магнитлайди, натижада улар бир-бирига тортилади ва бошқариш занжирини улайди.

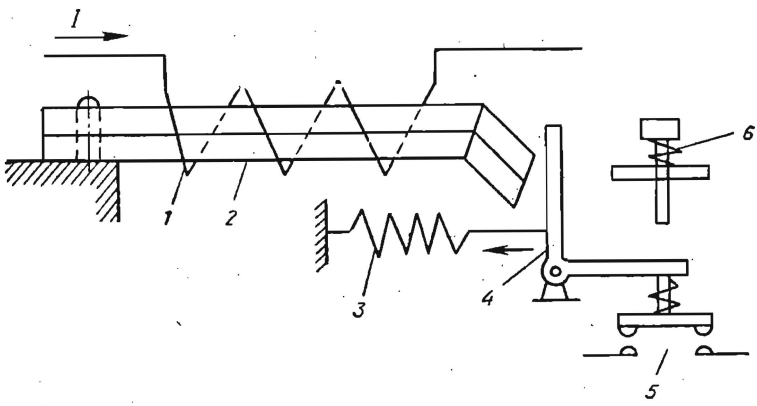
Агар бошқариш чулғами ўрнида ўзгармас магнит ишлатилса, герконли реледан турли „сирли" калит ва ижрочи механизмлар сифатида фойдаланиш мумкин. Бунинг учун герконли релега ўзгармас магнит яқинлаштирилса, унинг бошқариш занжири уланади (масалан, уйнинг кириш эшиги очилади).



12.22- расм.

Иссиқлик релеси электр двигателларни ва бошқа электр қурилмаларни узоқ вақт давом этадиган 10—20% ли ўта юкланишдан ҳимоялаш учун хизмат қилади.

Иссиқлик релесининг соддалаштирилган тузилиши 12.23-расмда келтирилган. Реле ҳимояланувчи двигатель ёки бошқа электр қурилма занжири билан кетма-кет уланган қиздириш элементи *1* дан иборат. Қиздириш элементининг ичига биметалл пластинка *2* жойлаштирилган. У чизиқли кенгайиш коэффициенти турлича бўлган иккита металл пластинкалардан иборат бўлиб, уларнинг бир томондаги учлари ўзаро кавшарланган, иккинчи учлари эса асосга қўзғалмас қилиб маҳкамланган. Қиздириш элементидан ажралиб чиқаётган иссиқлик таъсирида биметалл пластинка қизийди. Истеъмолчининг токи



12.23- расм.

ўзининг номинал қийматидан маълум миқдорга, масалан 20% га ошганда биметалл пластинка кўпроқ қизиб, маълум миқдорга букилади ва ричаг *4* ни қўйиб юборади. Пружина *3* нинг таъсири остида ричаг бурилади ва иссиқлик релесининг нормал ёпиқ (уланган) контактлари *5* ни очади. Контакт *5* магнитли ишга туширгичнинг бошқариш занжирига уланади, шунинг учун юритгич чулғамининг занжири узилади ва магнитли юритгичнинг асосий контактлари ажралади, яъни электр двигатель ёки бошқа электр қурилма электр тармоқдан узилади. Иссиқлик релесини дастлабки ҳолатга қайтариш учун кнопка *6* дан фойдаланилади.

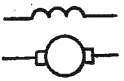
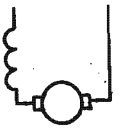
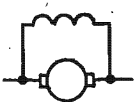
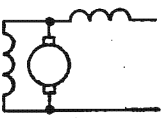
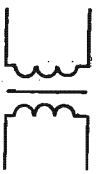
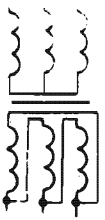
12.6. ЭЛЕКТР ТУЗИЛМА ВА ЭЛЕМЕНТЛАРНИНГ СХЕМАДА ТАСВИРЛАНИШИ

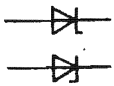
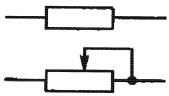
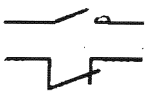
Аппаратларнинг тузилиши ва ишлаши билан танишгандан сўнг двигателни ишга тушириш ва тўхтатишда фойдаланиладиган автоматик бошқариш схемаларининг ишлаш принципини кўриб чиқиш мумкин. Лекин схеманинг ишлашини кўриб чиқишдан олдин электр машиналар, аппаратлар ва бошқа баъзи электр қурилмаларнинг ГОСТ 2.722—68, 2.728—74, 2,756—76 бўйича тасвирланиши билан танишмоқ керак. Энг кўп ишлатиладиган элементларнинг схемаларда белгиланиши 7-жадвалда келтирилган. Бу жадвалда келтирилган барча элементлар занжирда ток ёки кучланиш бўлмаган ҳол учун кўрсатилган.

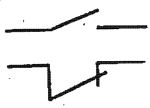
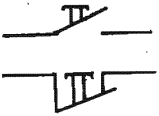
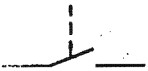
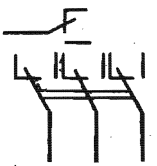
7-жадвал

Номи	Белгиланиши
Ротори қисқа туташтирилган уч фазали асинхрон машина	
Фазали ротор чулғами юлдуз, статор чулғами эса учбурчак шаклида уланган фаза роторли уч фазали асинхрон машина	
Ротори қисқа туташтирилган икки фазали асинхрон машина	

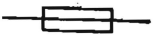
7-жадвалнинг давоми

Номи	Белгиланиши
Уч фазали синхрон машина	
Мустақил уйғотишли ўзгармас ток машинаси	
Кетма-кет уйғотишли ўзгармас ток машинаси	
Параллел уйғотишли узгармас ток машинаси	
Аралаш уйғотишли ўзгармас ток машинаси	
Бир фазали трансформатор	
Уч фазали ферромагнит ўзакли трансформатор (бирламчи чулғами юлдуз, иккиламчи чулғами эса учбурчак шаклида уланган)	

Номи	Белгиланиши
Ярим ўтказгичли асбоблар: Диод Транзистор (*p-n-p* турдаги) Транзистор (*n-p-n* турдаги)	
Тиристор Стабилитрон	
Резистор: ростланмайдиган занжирни узмай ростланадиган	
Конденсатор	
Ферромагнит ўзакли дроссель	
Контактор, магнитли юритгич ёки реле чулғами	
Кучланиш релесининг чулғами	
Ток релесининг чулғами	
Контактор, магнит юритгич, контроллерларнинг контактлари: уловчи узувчи	

Номи	Белгиланиши
Реле контактлари: уловчи узувчи	
Уланишда ҳаялловчи уланувчи контакт	
Узилишда ҳаялловчи уланувчи контакт	
Уланишда ҳаяллаш вақтли узувчи контакт	
Узилишда ҳаяллаш вақтли узувчи контакт	
Кнопка контактлари: уловчи узувчи	
Йўл ёки охирги узгичнинг уловчи контакти	
Автоматик узгич (автомат) ларнинг контактлари: бир қутбли уч қутбли	
Қайта улагич контактлари: бир қутбли уч қутбли	

7-жадвалнинг давоми

Номи	Белгиланиши
Иссиқлик релесининг қиздириш элементи	
Иссиқлик релесининг узувчи контакти	
Сақлагич	

12.7. ЭЛЕКТР ДВИГАТЕЛЛАРНИНГ АВТОМАТИК БОШҚАРИШ СХЕМАЛАРИДАН НАМУНАЛАР

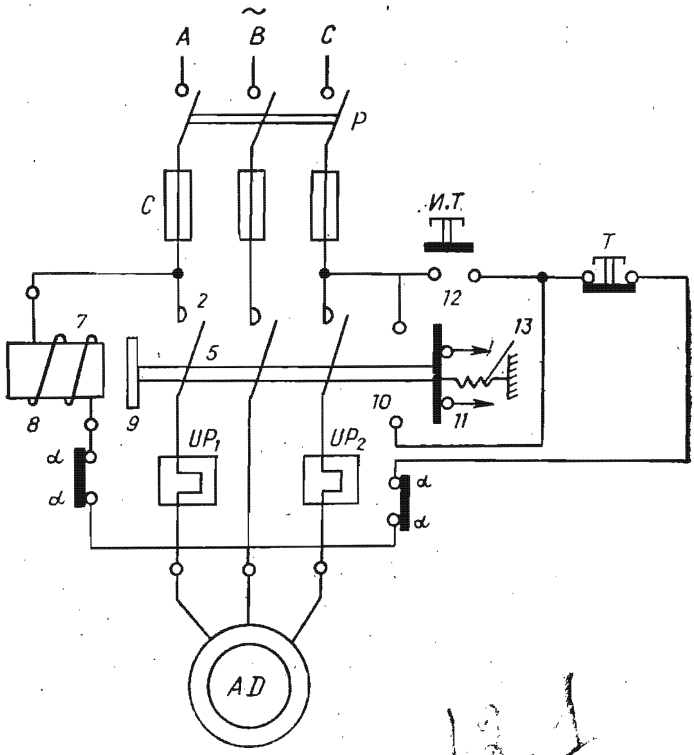
Электр юритмани бошқариш — электр юритмани ишга тушириш, тезлигини ростлаш тўхтатиш, йўналишини ўзгартириш ва иш режимини ушлаб туришдан иборат. Электр юритмани бошқариш қўл билан, автоматик ва ярим автоматик тарзда бўлиши мумкин. Ҳозирги вақтда саноат электр юритмалари асосан автоматик бошқарилмоқда.

Автоматика системаларида схемалар ишламаётган ҳолатда тасвирланади, яъни барча рубильник ва автоматлар узилган, чулғамлар токсиз, электр машиналар тўхтаган ва иш механизмлари бошланғич ҳолатда бўлади. Схемалар принципиал, ёйилган ва монтаж кўринишда бажарилади.

Принципиал схемаларда ҳар бир машина ва аппаратларнинг чулғамлари, контактлари ва бошқа қисмлари бир жойда жойлаштирилади. Бунда ушбу қурилманинг ишлашини тушунишни осонлаштирувчи туташтирувчи симларгина кўрсатилади.

Монтаж схемаларда электр жиҳозларнинг жойлашиши ва элементларнинг симлар ҳамда кабеллар билан уланиши ҳақиқий қурилмада қандай бўлса, шундай кўрсатилади. Бундай схемаларни тушуниб олиш қийинроқ, аммо қурилмани йиғишда, ишлатишда ва тузатишда улардан фойдаланиш қулай.

Асинхрон двигателларнинг схемаларидан намуналар. Кичик ва ўртача қувватли (1000 кВт гача), ротори қисқа туташтирилган асинхрон двигателлар, одатда, тўғридан-тўғри электр тармоғига улаб ишга туширилади. Двигателни бошқариш схемаси коммутацияловчи аппаратга, турли ҳимоя ва блокировка қурилмаларига эга. Қисқа туташтирилган асинхрон двигателни



12.24- расм.

автомат, контактор ёки магнитли юритгич орқали бошқариш схемаси содда бошқариш схемаси ҳисобланади.

Ротори қисқа туташтирилган асинхрон двигателни магнитли юритгич орқали ишга туширишнинг монтаж схемаси 12.24-расмда кўрсатилган. Ушбу схемада ҳар бир элементларнинг жойлашиши уларнинг асл ҳолдаги жойлашишига мос келади. Схемада, шунингдек, магнитли юритгичнинг ҳар бир элементлари орасидаги механик боғланишлар ҳам кўрсатилган.

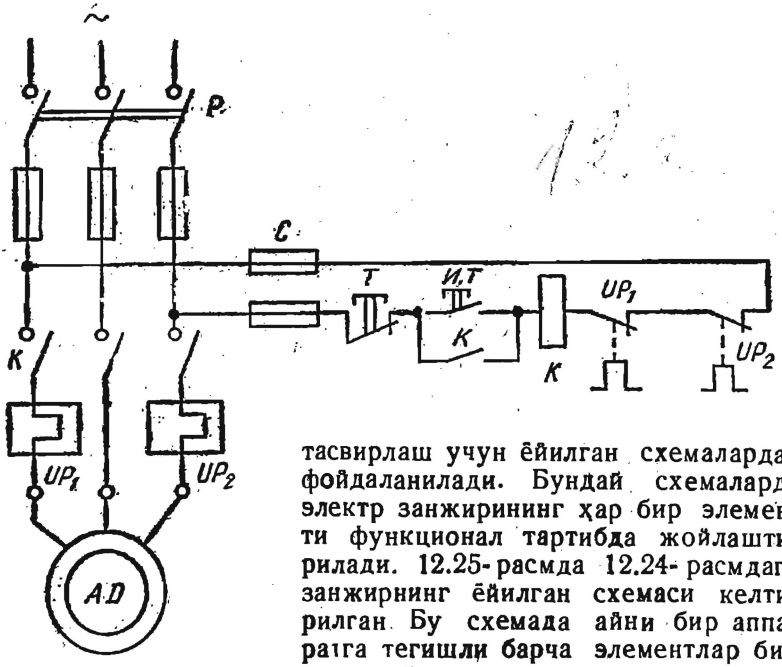
Юритгични улаш ва узишни бошқариш учун схемада иккита кнопка („Ишга тушириш" ва „Тўхтатиш" кнопкалари) бор. „Ишга тушириш" (ИТ) кнопкаси нормал ҳолатда очиқ контактга эга, яъни кнопка босилмагунгача бошқариш занжири туташмаган ҳолда бўлади.

Магнитли юритгич қуйидаги тартибда ишлайди. ИТ кнопкаси уланганда электромагнит ғалтаги *7* нинг занжири иссиқлик релелари $ИР_1$ ва $ИР_2$ ларнинг нормал ёпиқ контактлари „$a - a$" орқали уланади. Бунда электромагнит чулғамидан ток оқиб ўтиб, ўзак *8* да магнит майдони ҳосил қилади. Натижа-

да ўзак *8* га якорь *9* тортилади ва юритгич контактлари *2* ва *5* ларни улайди. Бунда контакт кўприкча *12* нормал ҳолда очиқ блок-контакт *10* ни улайди, у эса „ИТ“ кнопкасини шунтлайди, яъни ИТ кнопкаси ажралган нормал дастлабки ҳолатга қайтганда электромагнит занжири бу блок-контактлар орқали уланган ҳолатда қолади. Бу вақтда блок-контакт *11* узилади ва у двигателнинг ишга тушганлиги тўғрисида ахборот бериши ёки бирор бошқа занжирни блокировка қилиши мумкин.

Тўхтатиш кнопкаси (Т) босилганда ғалтак *7* нинг занжири узилади, натижада электромагнит якорни қўйиб юборади ва пружина *13* таъсирида якорь ўнгга тортилади. Бу вақтда контактлар *2* ва *5* ажралиб, двигатель занжирини узади. Бу вақтда блок-контакт *10* узилади, *11* эса ёпилади.

Двигатель белгиланган дан ортиқ ток билан юкланганда иссиқлик релеси UP_1 ва UP_2 лар ишга тушиб, „$a-a$“ контактларни ажратади. Бунда ҳам ғалтак *7* нинг бошқариш занжири узилиб, асинхрон двигатель манбадан ажратилади. Асинхрон двигателда ёки унинг таъминловчи куч занжирида ёки бошқариш занжирида қисқа туташув содир бўлса, бу вақтда сақлагич *С* нинг қўймаси куйиб, асинхрон двигатель ва унинг занжири ҳимояланади. 12.24-расмда содда схема тасвирланган. Агар электр занжирларининг сони кўп бўлса, схема мураккаблашиб кетади. Занжирларнинг бошқарилишини тўлароқ



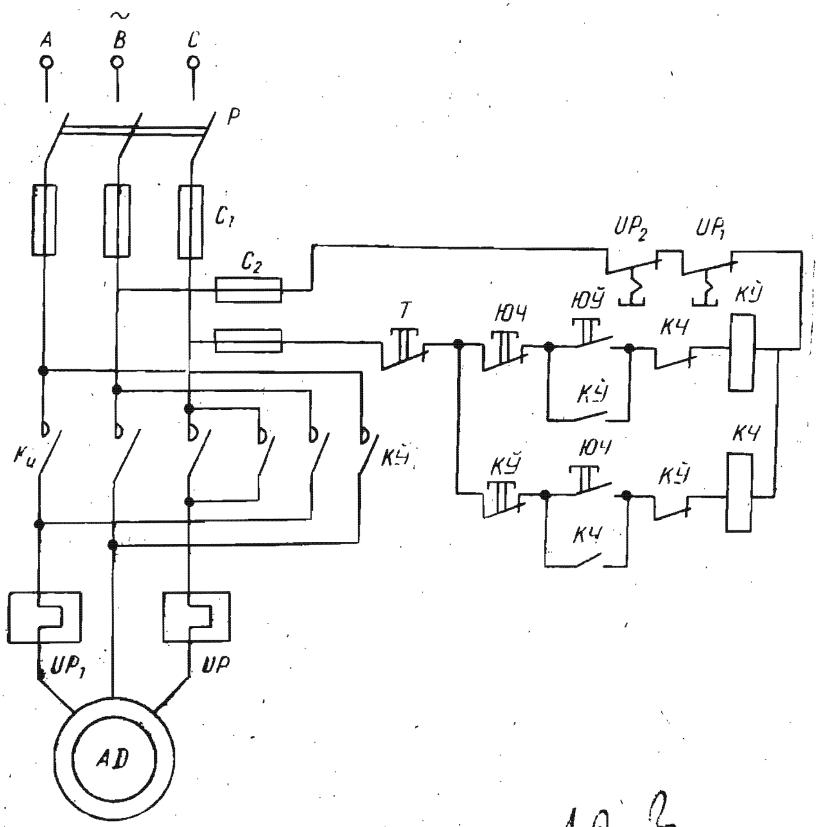
12.25-расм.

тасвирлаш учун ёйилган схемалардан фойдаланилади. Бундай схемаларда электр занжирининг ҳар бир элементи функционал тартибда жойлаштирилади. 12.25-расмда 12.24-расмдаги занжирнинг ёйилган схемаси келтирилган. Бу схемада айни бир аппаратга тегишли барча элементлар бир хилда белгиланган.

Саноат корхоналарида кўпгина ме-

ханизмлар ўз ҳаракат йўналишини узлуксиз ўзгартириб туради. Бунинг учун уларни ҳаракатлантираётган двигателларнинг ҳаракат йўналишини ўзгартириш, яъни статор чулғамига уланган иккита фазаларнинг ўзаро ўрнини алмаштириш етарли бўлади. Электр двигателнинг айланиш йўналишини ўзгартирувчи (реверсловчи) магнитли реверсив ишга туширгич иккита нореверсив ишга туширгичлардан иборат. Улар ўзаро механик тарзда шундай боғланганки, бунда фақат битта магнитли юритгич уланган бўла олади. Агар иккита нореверсив магнитли ишга туширгичлардан фойдаланилса, у ҳолда уларнинг ва ишга тушириш кнопкаларининг нормал ёпиқ контактлари бошқариш занжирларини ҳам электр, ҳам механик тарзда ажратади, яъни ўнгга бошқариш занжири уланганда чапга бошқариш занжири автоматик тарзда манбадан ажралади.

Ротори қисқа туташтирилган асинхрон двигателнинг айланиш йўналишини бошқариш схемаси 12.27-расмда келтирилган. Уч қутбли рубильник P улангандан кейин ўнгга юрги-



12.27 расм.

12.3

зиш кнопкаси *ЮЎ* босилса, уч қутбли магнитли ишга туширгичнинг *ҚЎ* (ўнгга) чулғами уланади. Бу чулғам чапга йўналтирувчи магнитли юритгич ва юргизиш кнопкасининг нормал ёпиқ контактлари *КЧ* ва *ЮЧ* ҳамда иссиқлик релеларининг контактлари UP_1 ва UP_2 орқали уланади. Бунда асинхрон двигателнинг ротори ўнгга айланади. Бу вақтда ўнгга юргизиш кнопкаси *ЮЎ* ишга туширгич *КУ* нинг ёрдамчи блок-контакти *КЎ* билан уланади (шунтланади).

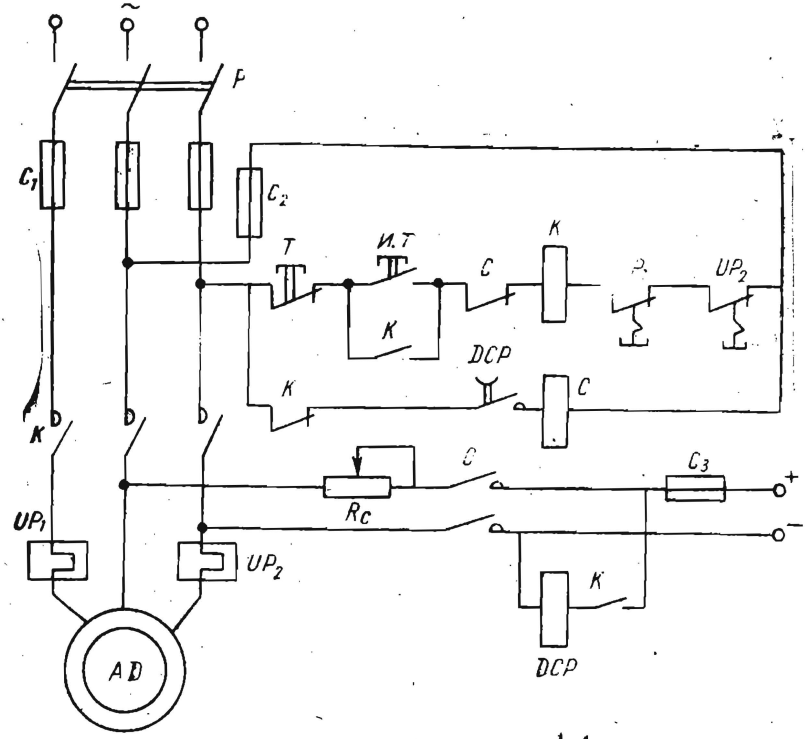
Тескари томонга, яъни „чапга" айлантириш учун дастлаб тўхтатиш кнопкаси *Т* ни, сўнгра чапга юргизиш кнопкаси *ЮЧ* ни босиш керак. Бу вақтда дастлаб магнитли ишга туширгич чулғами *КЎ* узилади, сўнгра ишга туширгичнинг *КЧ* чулғами уланади. Бунда асинхрон двигатель уланган фазаларнинг кетма-кетлигини ўзгартиради. (*А* ва *В* фазалар ўзаро ўрин алмашади.) Натижада асинхрон двигателнинг ротори тескари йўналишда, яъни чапга айлана бошлайди. Асинхрон двигателни тўхтатиш учун тўхтатиш кнопкаси *Т* ни босиш керак. Бунда дастлаб бошқарув занжири манбадан ажралади ва юритгич контактлари двигателни таъминловчи манбадан ажратиб қўяди.

Иккала ишга туширгич бараварига уланмайди. Чунки битта ишга туширгичнинг уланиши унинг нормал ёпиқ блок-контактининг очилиши натижасида иккинчи ишга туширгич бошқариш занжирининг очиқ бўлишига олиб келади. Шунингдек, ишга тушириш кнопкалари механик жиҳатдан ҳам блокировкаланган.

Кўп ҳолларда двигателни тез тўхтатиш талаб қилинади. Бу мақсад учун асинхрон двигателнинг статор чулғамига ўзгармас ток берилади ва бу токнинг магнит майдони таъсирида двигатель тез тўхтайди.

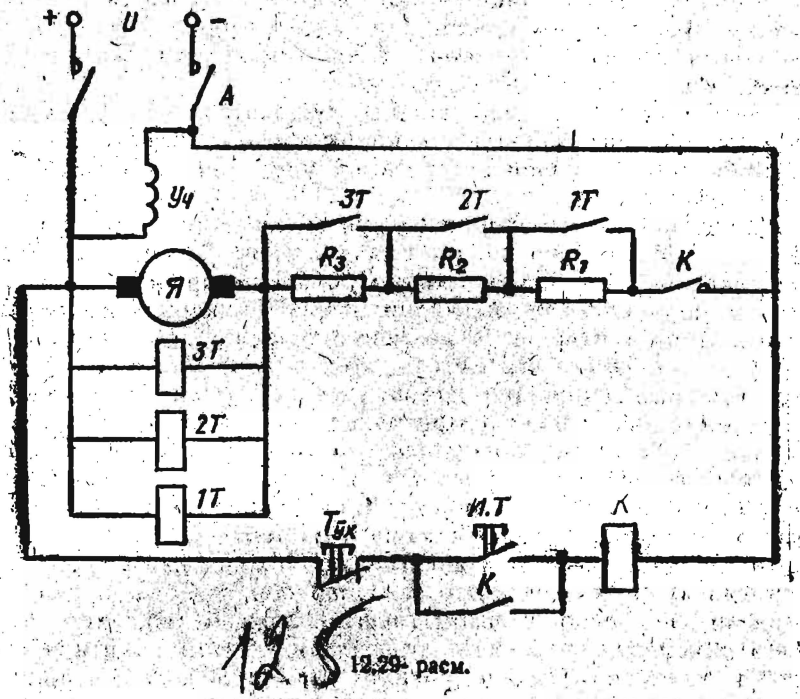
Ротори қисқа туташтирилган асинхрон двигателни динамик секинлатишли бошқариш схемаси 12.27-расмда кўрсатилган. *ИТ* кнопкаси босилганда контактор *К* чулғамидан ток ўтади ва у ишлай бошлайди. Контактор двигателни ва динамик секинлатиш релеси *ДСР* ни улайди. Бунда *ДСР* нинг контакти уланади, аммо секинлатиш контактори *С* уланмайди. Чунки унинг занжирида конденсаторнинг ёрдамчи контакти *К* очиқ бўлади. Бу контакт тўхтатиш кнопкаси *Т* босилиб, контактор *К* нинг занжири уланганда ва у двигателни электр тармоғидан узганда уланади. Бунда секинлатиш контактори *С* ишга тушиб, статор чулғамига ўзгармас ток беради ва динамик секинлатиш бошланади. Қаршилик R_c мазкур токнинг қийматини ростлаш учун хизмат қилади. *ДСР* нинг ҳаяллаш вақти двигателни динамик секинлатиш, яъни тўхтатиш вақтини белгилайди.

Ўзгармас ток двигателини ишга туширишни ЭЮК, ток ёки вақт функцияси асосида автоматик бошқариш мумкин. Параллел уйғотишли ўзгармас ток двигателини ЭЮК функцияси асосида автоматик ишга тушириш схемаси 12.29-расмда кел-



12.27-расм.

тирилган. Якорга параллел қилиб учта тезлатиш релесининг ғалтаклари 1Т, 2Т, 3Т уланган. Бу релеларнинг контактлари мос ҳолда ишга тушириш қаршиликлари (R_1, R_2, R_3) ни двигателнинг якорь занжиридан чиқариб ташлайди. Ўзгармас ток двигателини ишга тушириш учун автоматни улаб, *ИТ* кнопкасини босиш кифоя. Бу вақтда контактор *К* ишга тушиб, унинг асосий контакти *К* якорь занжирини улайди, ёрдамчи контакти эса *ИТ* кнопкасини шунтлайди. Асосий контактнинг уланиши двигателни R_1, R_2 ва R_3 лар орқали таъминловчи манбага улайди. Бунда двигателда максимал ишга тушириш токи $I_{ит\,max} = 2I_{ном}$ ҳосил бўлади ва двигатель ишга тушади. Якорь тезлиги орта бориб, якорь токи камаяди, яъни $I_{ит\,min} = 1{,}1I_{ном}$ бўлади. Бу вақтда якорь тезлиги n' ва якорь ЭЮК E' бўлиб, тезлатиш релеси 1Т ишга тушади ва унинг контакти R_1 қаршиликни шунтлайди. Бу яна якорь токининг максимумгача ортишига олиб келади. Токнинг ортиши тезликни n'' гача, тезликнинг ортиши эса ЭЮК ни E'' гача оширади. ЭЮК нинг ортиши токни яна минимумгача камайтиради. E'' да тез-



12.29- расм.

латиш релеси $2T$ ишга тушади ва унинг контакти R_2 қаршиликни шунтлайди. Худди шунингдек, тезлатиш релеси $3T$ ишга тушиб, унинг контакти R_3 қаршиликни шунтлайди. Шундай қилиб, двигатель тезлиги номинал тезликкача ошади ва у номинал режимда ишлайди. Одатда, реле $1T$ кучланиш $U = 0{,}3U_{ном}$ бўлганда, реле $2T$ $U = 0{,}6U_{ном}$ бўлганда ҳамда реле $3T$ эса $U = 0{,}9U_{ном}$ бўлганда ишга тушишга ростланган. Агар тўхташиш кнопкаси босилса, двигатель секин-аста тўхтайди ва тезлатиш релеларининг контактлари ажралиб, улар двигателни қайтадан ишга тушириш учун R_1, R_2, R_3 қаршиликларни якорь занжирига киритади.

13- БОБ. ЭЛЕКТР ЮРИТМА АСОСЛАРИ

13.1. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Халқ хўжалигининг ҳамма тармоқларини электрлаштириш жисмоний меҳнатни енгиллаштиради ва меҳнат шароитини яхшилайди. Шунинг учун халқ хўжалигининг барча соҳаларида электр энергиясини истеъмол қилиш тобора ортиб бормоқда. Электр станциялари ишлаб чиқарган электр энергиянинг 60% идан кўпроғи электр двигателлар ёрдамида механик энергияга айлантирилади.

Ҳозирги кўпгина машина ёки механизмлар электр двигателлар ёрдамида юритилади. Ҳар қайси фабрика, завод, цех, механизациялашган транспорт ва қишлоқ хўжалигини иш механизмларисиз тасаввур қилиш қийин.

Электр двигателларининг халқ хўжалигида кўп қўлланилишига уларнинг фойдали иш коэффициенти нисбатан юқори бўлиши ишга тушириш ва тўхтатиш учун кам вақт сарф бўлиши сабаб бўлмоқда.

Замонавий электр машинаси кўп сонли турли қисмлардан иборат. Уларнинг ҳар бири турли вазифани бажарса-да, уларнинг биргаликда ишлаши маълум ишлаб чиқариш жараёнини амалга оширишга қаратилгандир. Ишлаб чиқариш жараёнларини автоматлаштириш ва механизациялашни замонавий бошқариш воситаларига эга бўлган электр юритмаларни қўлламасдан амалга оширишни тасаввур қилиш қийин.

Автоматлашган электр юритмаларнинг ҳозирги пайтда ривожланган автомагик бошқариш, назорат қилиш ва ростлаш назариясига ва воситаларига эга бўлиши якка ва боғланмаган автоматизациялашдан комплекс, яъни жамланган ва ўзаро боғланган автоматик системага ўтиш имкониятини беради. Ҳозирги вақтда автоматлаштирилган дастгоҳлар, қатор мураккаб машиналар, цехлар ва ҳатто заводлар бор. Уларда бутун иш жараёни ва бошқариш автоматлаштирилган бўлиб, хом ашё гайёр маҳсулот даражасига етказилади. Автоматлаштирилган электр юритмани қўллаш меҳнат унумдорлигини ортишига, маҳсулот сифатининг яхшиланишига ва таннархининг камайишига ҳамда ишлаб чиқариш майдонининг қисқаришига олиб келади.

Ҳозирги вақтда ва яқин келажак учун электр юритмаларнинг қуйидаги асосий ривожланиш йўналиши белгиланган: деҳқончилик ва чорвачилик хўжаликларида ҳамда транспортда электр юритмадан фойдаланишни кенгайтириш; замонавий электротехника материаллари ва воситаларини қўллаш асосида мавжуд электр юритмаларни такомиллаштириш ва уларнинг янги турларини яратиш.

Иш механизми (машина), механик узатма, электр двигатель ҳамда унинг бошқариш аппаратлари биргаликда электр юритма деб аталади. Электр двигатель узатиш системаси орқали иш механизмининг ижрочи қисмини ҳаракатга келтиради. Бошқариш аппаратлари ёрдамида двигатель, иш механизмининг баъзи элементлари ва ёрдамчи қурилмалар (агар машина ёки иш механизми мураккаб бўлса) бошқарилади. Замонавий электр юритмаларни якка ва кўп двигатели электр юритмага ажратиш мумкин. Битта электр двигатель ёрдамида ҳаракатга келувчи машина якка двигателли электр юритма деб аталади. Бунга бир шпинделли пармалаш дастгоҳи металлга оддий ишлов берувчи дастгоҳлар, вентилятор ва бошқалар мисол бўла олади. Мураккаб ишлаб чиқариш агрегатининг айрим ишчи органларини ҳаракатга келтирувчи бир нечта якка электр юрит-

малар мажмуи кўп двигателли электр юритма деб аталади. Бунга мисол тариқасида металлга мураккаб ишлов берувчи дастгоҳлар, шнеклар, тўқимачилик машиналари, прокат станлари ва бошқаларни кўрсатиш мумкин.

Электр юритмаларни бошқаришдаги автоматлаштирилганлик ҳажмига қараб автоматлаштирилмаган, автоматлаштирилган ва автоматик хилларга ажратиш мумкин.

Агар электр юритмани ишга тушириш, тўхтатиш ва у ёрдамида технологик жараённи бошқаришни одам бажарса, бундай юритма *автоматлаштирилмаган электр юритма* деб аталади. Агар одам фақат бошланғич бошқариш таъ ирини ҳосил қилишдагина иштирок этса, бундай юритма *автоматлаштирилган электр юритма* деб аталади. Бунда мураккаб ишлаб чиқариш жараёнлари автоматик бажарилади. Масалан, операцияларни маълум кетма-кетликда бажариш, андаза бўйича ишлаш, катта қувватли ва мураккаб электр юритмаларнинг тезлигини бошқариш, ҳаракат йўналишини ўзгартириш ва бошқалар мисол бўлади. Автоматлаштирилган электр юритмага турли прокат станлари, лифтлар, минорали кранлар киради. Автоматлаштирилган электр юритма асосан кўп двигателли бўлади. Агар одам фақат автоматик бошқариш ва электромеханик системаларнинг ҳолатини кузатишдагина иштирок этса, бундай юритма автоматик электр юритма ёки машиналарнинг *автомат линиялари* деб аталади. Автомат линиялар саноат корхоналарини автоматлаштиришда янги босқич бўлиб, унда бир қанча машиналар гуруҳи ишлайди. Машиналар деталга ёки буюмга ишлов беришдаги бир қанча операцияларни бирин-кетин бажаради ҳамда мазкур деталь ёки буюмлар бир машинадан иккинчисига автоматик равишда узатилади.

13.2. ЭЛЕКТР ЮРИТМАНИНГ ҲАРАКАТ ТЕНГЛАМАСИ

Электр юритманинг бир турғун ҳолатдан иккинчисига ўтиши ҳамда уни ишга тушириш, тўхтатиш, ҳаракат йўналишини ўзгартириш электр юритманинг ўтиш режими деб аталади. Бунда унинг тезлиги, моменти ва ундаги токнинг қиймати ўзгаради.

Электр двигателнинг қувватини бошқариш схемасини ва аппаратларни тўғри танлаш, двигателни ишга тушириш ва тўхтатиш вақтида электр энергия сарфини камайтириш каби масалалар катта аҳамиятга эга. Масалан, механизмнинг иш унумини ошириш учун оптимал тезликни танлаш етарли бўлмай, балки электр юритманинг ўтиш режимининг вақтини камайтириш ҳам керакдир. Электр юритманинг ўтиш режими электр двигателнинг ва иш механизмининг ишлаш динамикаси билан боғлангандир.

Электр двигатель ишлаганда ҳосил бўлувчи айлантириш моменти M электр юритманинг турли қисмларига таъсир этув-

чи қаршилик моменти билан мувозанатлашади. Қаршилик моментларини пайдо бўлиш сабабларига кўра қуйидаги уч гуруҳга бўлиш мумкин:

1. Иш машинаси ижрочи қисмининг фойдали иш бажаришда (масалан, кесиш, юк кўтариш, қисиш, чўзиш, эзиш ва бошқалар) ҳосил бўлувчи моментлар.

2. Иш машинаси ва узатиш қурилмаси ҳаракатланувчи қисмларининг ишқаланишидан ҳосил бўлувчи моментлар.

3. Иш машинаси ва узатиш қурилмаси ҳаракатланувчи қисмларининг инерциясидан ҳосил бўлувчи моментлар.

Биринчи ва иккинчи гуруҳ моментларини статик қаршилик моменти ($M_к$), учинчи гуруҳ моментини эса *динамик қаршилик моменти* ($M_{дин}$) дейилади.

Электр юритма системасидаги моментларнинг мувозанатлик тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

$$M = M_к \pm M_{дин}. \qquad (13.1)$$

Динамик (инерция) момент қуйидаги формула билан топилади:

$$M_{дин} = J\frac{d\omega}{dt}, \qquad (13.2)$$

бунда J — механик системадаги барча ҳаракатланувчи қисмларининг двигатель ўқига келтирилган умумий инерция моменти [кг · м²]; ω — двигатель ўқининг айланиш тезлиги [рад/с].

Ўқнинг айланиш тезлиги ω ни айланишлар сони n [айл/мин] да ифодалаб:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60},$$

динамик моментнинг бошқа ифодасини келтириб чиқариш мумкин:

$$M_{дин} = M - M_к = \frac{J}{9{,}55}\frac{dn}{dt}\ [Н \cdot м]. \qquad (13.3)$$

Кўпгина ишлаб чиқариш механизмларида инерция моменти ўзгармас бўлиб, қуйидаги ифода билан аниқланиши мумкин:

$$J = m\rho^2 = \frac{GD^2}{4g}, \qquad (13.4)$$

бунда ρ ва D — инерция радиуси ва диаметри, м; G — жисмнинг оғирлиги, кг; $g = 9{,}81$ м/с² эркин тушиш тезланиши.

(13.4) ифодани (13.3) га қўйиб, динамик момент учун қуйидаги ифодани ҳосил қилиш мумкин:

$$M_{дин} = M - M_к = \frac{GD^2}{375}\frac{dn}{dt}. \qquad (13.5)$$

(13.3) ёки (13.5) ифода электр юритманинг ҳаракат тенгламаси деб аталади. (13.5) дан кўринадики:

1. Агар $M > M_к$ бўлса, $\frac{dn}{dt} > 0$ бўлиб, юритма мусбат тезланиш олади ва ўз тезлигини $M = M_к$ бўлгунча оширади.

2. Агар $M < M_к$ бўлса, $\frac{dn}{dt} < 0$ бўлиб, юритма манфий тезланиш олади ва ўз тезлигини $M = M_к$ бўлгунча камайтиради.

3. Агар $M = M_к$ бўлса, $\frac{dn}{dt} = 0$ бўлиб, юритма ўзгармас тезлик билан турғун режимда ишлайди.

Демак, динамик момент фақат ўтиш режимида пайдо бўлади. Юритманинг тезланишида бу момент ҳаракатга тескари йўналган бўлиб, тезликнинг ошишига қаршилик қилади, тормозланишда эса ҳаракат бўйича йўналиб, ҳаракатнинг давом этишига ёрдам беради.

Қаршилик моментини ўз характерига қараб реактив ва актив моментларга ажратиш мумкин. Реактив момент қисиш, кесиш, ишқаланишлар таъсирида юзага келиб, юритманинг ҳаракатига қаршилик қилади ва ҳаракат йўналиши ўзгарса, ўз ишорасини ўзгартиради. Актив момент оғирлик кучи ҳамда қайишқоқ жисмни чўзиш, қисиш ва буришда ҳосил бўлган қаршилик моментидан иборат бўлиб, юритма ҳаракатига қаршилик қилиши ва ҳаракат йўналишини ўзгаришига ёрдам бериши мумкин. У ҳаракатнинг ҳар икки йўналишида ҳам ўз ишорасини ўзгартирмайди.

Демак, электр юритманинг ҳаракат тенгламасини умумий ҳолда қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\pm M \pm M_к = \frac{GD^2}{375}\frac{dn}{dt}. \qquad (13.6)$$

(13.6) тенгламадаги моментлар ишорасини танлаш двигателнинг режимига ва қаршилик моментининг характерига боғлиқ.

(13.4) формуладаги

$$GD^2 = 4gJ$$

катталик *маховик моменти* деб аталади. Унинг қиймати ҳар бир двигателнинг қўзғалувчан қисми учун маълумотномаларда келтирилади.

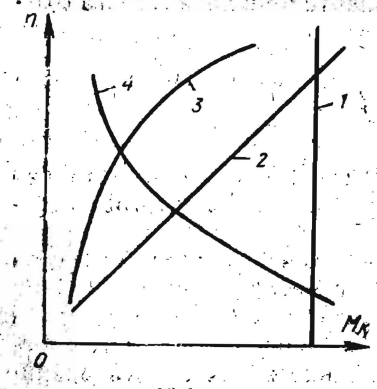
Электр юритманинг ҳаракат тенгламаси берилган режимда юритманинг тезлигини, юритмадаги двигателни ишга тушириш ва тўхтатиш вақтини, берилган вақтда иш машинасини ишга тушириш учун зарур бўлган моментни аниқлаш имконини беради. Шунингдек, юритманинг механик характеристикаларидан ҳам фойдаланилади.

13.3. ЭЛЕКТР ЮРИТМАНИНГ МЕХАНИК ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

Электр юритма тезлигининг моментга қараб ўзгариши электр юритманинг *механик характеристикаси* деб аталади. Мазкур характеристикани шартли равишда иш механизмининг ва электр двигателнинг механик характеристикаларига ажратиш мумкин.

Иш механизмининг механик характеристикаси. Электр юритманинг иши иш механизмини ҳаракатга келтирувчи электр двигателнинг механик хусусияти билан иш механизми характеристикаларининг ўзаро мос келишига кўп жиҳатдан боғлиқдир. Электр юритманинг ўтиш жараёни (ишга тушириш, тормозлаш ва тезликни ростлаш) даги иши двигателнинг айлантириш моменти билан механизм қаршилик моментларининг тезликка нисбатан ўзгаришига боғлиқ.

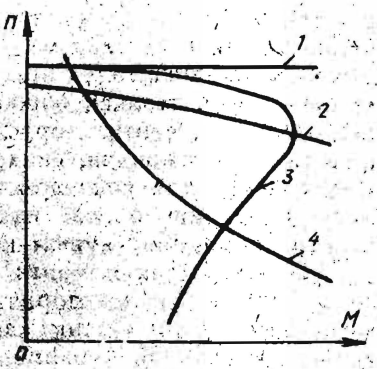
Механизмнинг қаршилик моменти билан тезлиги орасидаги боғланиш унинг механик характеристикаси $|n = f(M_к)|$ деб аталади. Қаршилик моментининг хусусиятига қараб, механизмларнинг механик характеристикалари турлича бўлиши мумкин. Аммо уларни бир оз умумлаштириб, 13.1-расмда кўрсатилган механик характеристикалар кўринишига келтирамиз. 1-тўғри чизиқ қаршилик моменти айланиш тезлигига боғлиқ бўлмаган механизмнинг механик характеристикасидир. Бундай механизмларга кўтарма кранлар, лифтлар, конвейерлар (агар суриладиган материалларнинг оғирлиги ўзгармас бўлса), поршенли насослар (агар босим ўзгармас бўлса), йигириш машиналари ва бошқалар мисол бўлади. 2-тўғри чизиқ (13.1-раси) қаршилик моменти айланиш тезлигига қараб чизиқли ўсиб борувчи механизмнинг механик характеристикасини билдиради. Агар мустақил уйғонувчи генераторнинг якорь занжири ўзгармас миқдорли қаршиликка уланган бўлса, бу генераторнинг двигатели чизиқли ўсувчи механик характеристикага эга бўлади. 3-эгри чизиқ қаршилик моменти айланиш тезлигига қараб чизиқли бўлмаган ҳолда (параболага ўхшаб) ўсиб борувчи механизмнинг механик характеристикасини бидиради. Бундай механизмларга вентиляторлар, марказдан қочма насослар мисол бўлади. Улардаги қаршилик моменти тезликнинг квадритига қараб ошади. 4-эгри чизиқ қаршилик моменти айланиш тезлигига қараб чизиқли бўлмаган тарзда камайиб борувчи механизмларнинг механик характеристикасини билдиради. Бундай механизмларга баъзи токарлик, фрезерлик ва бошқа металл кесиш дастгоҳлари мисол бўлади.



13.1-расм.

Улардаги қаршилик моменти тезликнинг ошиши билан камаяди.

Электр двигателнинг механик характеристикаси. Электр двигателнинг хусусияти электр юритманинг иши учун катта аҳамиятга эга. Электр двигателнинг хусусияти, асосан, унинг механик характеристикасида тўлароқ ифодаланади. 13.2-расмда ўзгармас ва ўзгарувчан ток двигателларининг механик характеристикалари $[n = f(M)]$ кўрсатилган. Характеристикалардан кўринадики, электр двигатель айлантириш моментининг ошиши двигателнинг айланиш тезлиги камайишига сабаб бўлади. Моментнинг ўзгаришига боғлиқ равишда айланиш тезлигининг ўзгариш даражаси двигателларнинг турига боғлиқ бўлиб, уларнинг механик характеристикаларининг „қаттиқлиги" билан аниқланади. Агар тезлик қанча кам ўзгарса, характеристика шунча қаттиқроқ ҳисобланади. Характеристиканинг қаттиқлиги (β) момент орттирмасининг тезлик орттирмасига нисбати билан аниқланади, яъни $\beta = \Delta M/\Delta n$.



13.2-расм.

Қаттиқлик даражасига қараб электр двигателларнинг механик характеристикаларини учта гуруҳга бўлиш мумкин:

1. Мутлоқ қаттиқ механик характеристика. Бунда моментнинг ўзгариши билан тезлик ўзгармай қолади ($\Delta M/\Delta n = \infty$). Бундай характеристика синхрон двигателга хосдир (13.2-расм, 1-тўғри чизиқ)

2. Қаттиқ механик характеристика. Бунда моментнинг ўзгариши билан тезлик ҳам оз миқдорда ўзгаради (момент $M = 0$ дан $M = M_{ном}$ гача ўзгарганда тезлик 5 — 10% атрофида ўзгаради). Бундай характеристика параллел уйғотишли ўзгармас ток двигателлари учун ҳамда механик характеристиканинг иш қисмида асинхрон двигателлар учун ҳам хосдир (13.2-расм, 2- ва 3-эгри чизиқлар).

3. Юмшоқ механик характеристика. Бунда моментнинг ўзгариши билан тезлик катта миқдорда ўзгаради. Бундай характеристика кетма-кет уйғотишли ўзгармас ток двигателига хосдир (13.2-расм, 4-эгри чизиқ). Аралаш уйғотишли ўзгармас ток двигатели механик характеристиканинг қаттиқлик даражасига қараб иккинчи ёки учинчи гуруҳга кириши мумкин (уйғотиш чулғамларининг қайси бири кучлироқ бўлса, ўшанинг хусусияти кучлироқ намоён бўлади).

Ишлаб чиқариш механизмларига қўйилган талабларга қараб двигатель танланади. Унинг номинал моменти, айланиш тезлиги, ишга тушириш моменти ҳамда механик характерис-

тикаси механизмнинг тегишли параметрларига мос келиши керак. Масалан, баъзи қурилмаларда ўзгарувчан ток механик ўзгартиргичи қаршилик моментининг ўзгаришида тезликнинг ўзгармас бўлиши талаб этилади. Катта қувватли (100 кВт ва ундан ортиқ), тезлиги бошқарилмайдиган қурилмалар (компрессор, насос, вентилятор) да синхрон двигателдан фойдаланилади. Бир томондан, синхрон двигателни қўллашдан мақсад қурилманинг механик характеристикасининг мутлақо қаттиқлигини ошириш бўлса, иккинчи томондан, мазкур машина электр тармоқнинг қувват коэффициентини оширади.

Агар қаршилик моменти катта миқдорда ўзгарса-ю, аммо тезликнинг кичик миқдорда ўзгариши талаб этилса, бундай қурилмалар учун қаттиқ характеристикали электр двигатель танланади. Бундай қурилмаларга токарлик, фрезерлик ва бошқа металлга ишлов берувчи дастгоҳ киради. Уларда тезликнинг оз миқдорда ўзгариши муҳим аҳамиятга эга эмас.

Ишга тушириш моменти катта бўлиши талаб этилган қурилмаларда (транспорт, юк кўтариш механизмлари) юмшоқ характеристикали двигателларни қўллаш мақсадга мувофиқдир.

13.4. ЭЛЕКТР ЮРИТМАДАГИ ЎТИШ ЖАРАЁНЛАРИ

Электр юритмадаги ўтиш жараёнининг давомийлиги, яъни ишга тушиш, тўхташ ва бир тезликдан иккинчисига ўтиш вақтлари механизмнинг иш унумига таъсир қилади, албатта. Ўтиш жараёнида двигателнинг чулғамидан жуда катта ток ўтиб, қувват исрофи кўпаяди. Бундан кўринадики, ўтиш жараёнини тадқиқ қилиш катта аҳамиятга эга, иккинчидан ўтиш жараёнининг давомийлиги орқали электр юритмани бошқариш схемасининг элементлари ва структураси танланади.

Ўтиш жараёнини ўзаро боғланган механик, электр ва иссиқлик миқдорларини ҳисобга олган ҳолда текшириш анча мураккаб вазифа. Шунинг учун бу масала амалда содда ва чегараланган усуллар ёрдамида ҳал қилинади.

Электр юритманинг ҳаракат тенгламаси (13.5) дан юритма тезлигининг n_1 дан n_2 гача ўзгариши учун кетган вақт қуйидагича аниқланади:

$$t_{1,2} = \frac{GD^2}{375}\int_{n_1}^{n_2}\frac{dn}{M - M_к} = \frac{GD^2}{375}\int_{n_1}^{n_2}\frac{dn}{M_{дин}}. \qquad (13.7)$$

(13.7) тенгламани ечиш учун M, $M_к$ ёки $M_{дин}$ ларнинг тезлик орқали ифодаланган механик характеристикалари маълум бўлиши керак.

$M_д$ = const бўлгандаги ўтиш режими. Агар айлантириш ва қаршилик моментлари ўзгармас бўлса, динамик момент $M_{дин}$ тезликка боғлиқ бўлмайди ва ўтиш режимининг давомийлиги осон аниқланади:

$$t_{1,2} = \frac{GD^2}{375}\frac{n_2 - n_1}{M_{дин}}. \qquad (13.8)$$

Ушбу тенгламадан двигателни реостат орқали ишга тушириш, бир тезликдан иккинчисига ўтиш вақтини тахминан топишда фойдаланиш мумкин. Бунинг учун двигателнинг ўзгарувчан моменти ўртача ўзгармас момент билан алмаштирилади.

$$t_{1,2} = \frac{GD^2}{375} \frac{n_2 - n_1}{M_{ўр} - M_к}. \qquad (13.9)$$

1-масала. Параллел уйғотишли двигателнинг параметрлари $GD^2 = 4{,}1$ Н · м²; $M_{ном} = 110$ Нм; $M_к = M_{ном}$ бўлса, унинг тезлигини $n_1 = 800$ айл/мин дан $n_2 = 900$ айл/мин га ошириш учун қанча вақт керак? Тезлик реостат орқали бошқарилади ва реостат қаршилиги бир погонага камайтирилганда двигателнинг максимал айлантириш моменти $M_{max} = 170$ Н · м бўлади.

Ечилиши. Двигателнинг ўртача айлантириш моменти

$$M_{ўр} = \frac{M_{max} + M_{ном}}{2} = \frac{170 + 110}{2} = 140 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тезликни 800 айл/мин дан 900 айл/мин га ошириш учун кетган вақт

$$t_{1,2} = \frac{4{,}1\,(900 - 800)}{375\,(140 - 110)} = 0{,}36 \text{ с}.$$

Агар $n_1 = 0$, $n_2 = n_{ном}$ бўлса, (13.9) формуладан двигателни ишга тушириш учун сарфланган вақтни топиш мумкин:

$$t_{и.т.} = \frac{GD^2 n_{ном}}{375\,(M_{ўр} - M_к)}. \qquad (13.10)$$

2-масала. Двигателнинг параметрлари $GD^2 = 30$ Н · м², $n_{ном} = 1440$ айл/мин, $M_{ном} = 80$ Н · м, $M_к = M_{ном}$, $M_{max} = 160$ Н × × м бўлса, двигателнинг ишга тушиши учун қанча вақт сарфланади?

Ечилиши. Двигателнинг ўртача моменти

$$M_{ўр} = \frac{M_{max} + M_{ном}}{2} = \frac{160 + 80}{2} = 120 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ишга тушириш вақти

$$t_{и.т.} = \frac{30 \cdot 1440}{375\,(120 - 80)} = 2{,}88 \text{ с}.$$

3-масала. Параллел уйғотишли двигателнинг параметрлари $GD^2 = 4{,}1$ Н · м², $M_{ном} = 110$ Н · м, $M_к = M_{ном}$ бўлса, двигатель тезлигини $n_1 = 900$ айл/мин дан $n_2 = 800$ айл/мин га камайтириш учун кетган вақтни ҳисобланг. Реостат қаршилиги бир погонага кўпайтирилганда двигателнинг минимал айлантириш моменти $M_{min} = 90$ Н · м бўлади.

Ечилиши. Двигателнинг ўртача моменти

$$M_{ўр} = \frac{M_{min} + M_{ном}}{2} = \frac{90 + 110}{2} = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тезликни 900 айл/мин дан 800 айл/минга камайтириш учун кетган вақт:

$$\frac{GD^2(n_1 - n_2)}{375(M_{ур} + M_к)} = \frac{4{,}1(900 - 800)}{375(100 + 110)} = 0{,}052 \text{ с.}$$

Электр тармоғидан узилган двигателнинг қаршилик моменти таъсири остида тўхташ вақти:

$$t_{тўх} = \frac{GD^2 n_{ном}}{375 M_к} = \frac{4{,}1 \cdot 900}{375 \cdot 110} = 0{,}089 \text{ с.}$$

4- масала. 2- масала шартидаги двигателнинг тезлигини номинал қийматдан нолгача камайтириш (тўхтатиш) учун сарфланган вақтни аниқланг.

Ечилиши. Двигателни тўхтатиш учун сарфланган вақт:

$$t_{тўх} = \frac{GD^2 n_{ном}}{375 \cdot M_к} = \frac{3 \cdot 1440}{375 \cdot 80} = 0{,}144 \text{ с.}$$

$M_{дин} \neq$ const бўлгандаги ўтиш режими. $M_{дин}(n)$ ни интеграллаш мураккаб бўлса, ўтиш жараёнини график ёки аналитик усул ёрдамида ҳисоблаш анча осондир. Бунинг учун (13.5) формуладаги dn ва dt лар кичик орттирма Δn ва Δt лар билан алмаштирилади. Шунингдек, $\Delta n_к$ тезлик оралиғида M ва $M_к$ ларни ўртача ўзгармас кичик $M_к$ ва $M_{кк}$ ларга алмаштирилади (13.3- расм) ва $\Delta n_к$ тезликка эришиши учун двигатель тезлигини ошириш учун кетган вақт қуйидагича аниқланади:

$$\Delta t_к = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{\Delta n_к}{M_к - M_{кк}},$$

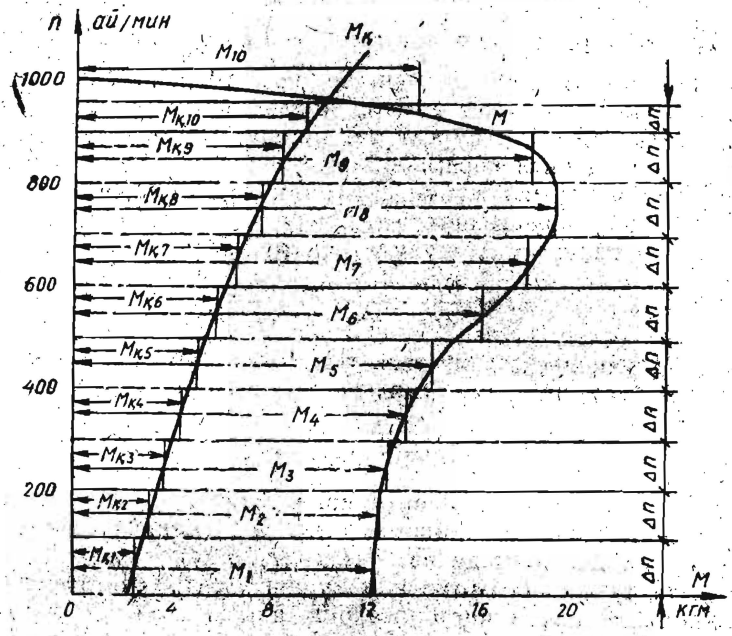
бунда $\Delta n_к$ — графикдаги ҳар бир поғонага тегишли тезлик орттирмаси; $M_к$ — ҳар бир поғонадаги ўртача айлантириш моменти; $M_{кк}$ — ҳар бир поғонадаги ўртача қаршилик моменти; $\Delta t_к$ — кўрилаётган тезлик оралиғидаги ўтиш режими учун сарфланган вақт.

Двигателни ишга тушириш учун сарфланган умумий вақт:

$$t = \sum_{k=1}^{m} t_к. \qquad (13.13)$$

бунда m — диапазон (поғона) лар сони.

5- масала. Вентилятор юритмасини ишга тушириш учун сарфланган вақтни топинг. Юритма асинхрон двигатель ёрдамида ҳаракатга келади ва унинг параметрлари қуйидагича: $n_{ном} = 960$ айл/мин, $GD^2 = 2{,}1$ Н · м², $P_{ном} = 40$ кВт. Двигателнинг $n = f(M)$ ва вентиляторнинг $n = f_1(M_к)$ механик характеристикалари 13,3- расмда берилган. Қулай бўлиши учун вентиляторнинг характеристикаси ҳам биринчи квадратга жойлаштирилган (аслида унинг моменти манфийдир).



13.3-расм.

Ечилиши. $n = f(M)$ ва $n = f_1(M_к)$ характеристикаларнинг ўзаро кесишган нуқтаси турғун режимни беради. Характеристикалар 9 та бўлакка $\Delta n = 100$ айл/мин (охиргиси $\Delta n = 60$ айл/мин) қилиб бўлинади. Ҳар бир бўлак учун M ва $M_к$ нинг ўртача қийматларини топамиз ва ҳар бир бўлак учун Δt вақтни ҳисоблаймиз. Биринчи бўлак учун:

$$\Delta t_1 = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{\Delta n_1}{M_1 - M_{к_1}} = \frac{2,1}{375} \cdot \frac{100}{12,2 - 2,2} = 0,056 \text{ с.}$$

Қолган бўлаклар учун ҳисоблаш натижаларини қуйидаги жадвалга киритамиз.

$к$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Δn, $\frac{\text{айл}}{\text{мин}}$	100	100	100	100	100	100	100	100	100	60
M, кГм	12,2	12,8	13,1	13,6	14,9	17	19	19,8	18,8	14
$M_к$, кГм	2,2	3	3,8	4,5	5	5,9	6,6	7,5	8,5	9,6
Δt, с	0,056	0,057	0,06	0,0615	0,0566	0,0445	0,0455	0,0478	0,545	0,127

Демак, электр юритманинг ишга тушиш вақти $t = \sum_{1}^{10} \Delta t =$ $= 0{,}6131$ с. Худди шундай, двигателнинг тўхташи учун сарфланган вақтни ҳам топиш мумкин. Бунда двигателнинг моменти ҳаракатга қаршилик кўрсатади. Қаршилик моменти эса ҳаракат бўйича ва унга қарама-қарши бўлиши мумкин. Масалан, қаршилик моменти ишқаланиш туфайли ҳаракатга қарама-қарши йўналганда двигателнинг тезлигини Δn га камайтириш учун сарфланган вақт Δt қуйидагича топилади:

$$\Delta t = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{\Delta n}{M_{ўр} + M_{қўр}}.$$

Худди шунингдек, двигатель тезлигини бир тезликдан иккинчисига ўтказиш учун сарфланган вақтни ҳам аниқлаш мумкин.

13.5. ЭЛЕКТР ЮРИТМАНИНГ НАГРУЗКА ДИАГРАММАСИ

Электр двигателнинг айлантириш моменти, токи ва қувватининг вақтга қараб ўзгариши электр юритманинг *нагрузка диаграммаси* деб аталади ва $M(t)$, $I(t)$, $P(t)$ тарзда белгиланади. Нагрузка диаграммасини қуриш электр двигатель билан ижрочи механизмнинг биргаликда ишлангандаги хусусиятларни ҳисобга олишга асосланган. Чунки двигателнинг $M(t)$ ва $P(t)$ нагрузка диаграммалари фақат барқарор режим вақтидагина ижрочи механизмнинг $M_к(t)$ ва $P_к(t)$ нагрузка диаграммалари билан бир хил бўлади. Бу вақтда $M = M_к$ ва $P = P_к$ бўлади.

Электр юритманинг нагрузка диаграммаси унинг ҳаракат тенгламаси асосида қурилади. Бунинг учун механизм қаршилик моментининг ўзгариш характери ва электр юритмадаги ўтиш жараёнининг қонунияти маълум бўлиши керак. Кўп ҳолларда двигателнинг айлантириш ва қаршилик моментларининг тезликка боғлиқлиги ўтиш жираёнида мураккаб бўлади. Бу ҳолларда ҳаракат тенгламасини аналитик ечиш мумкин бўлмай, уни график ёки графоаналитик усулда ечилади.

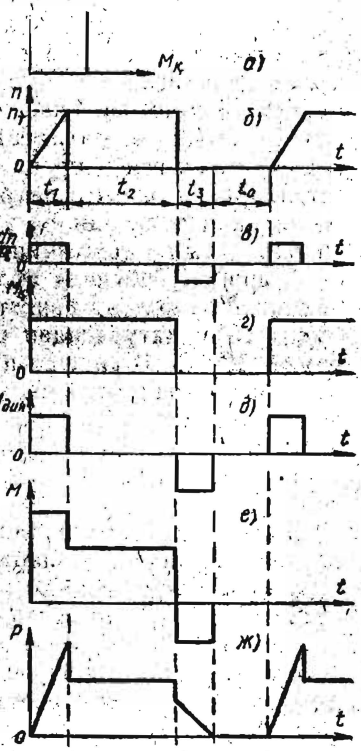
Нагрузка диаграммасини ҳисоблаш ва қуриш кетма-кетлигини даврий равишда ишловчи кўприкли кранниг электр юритмаси мисолида кўриб чиқамиз. Мазкур кранда фаза роторли асинхрон двигатель ишлатилган. Нагрузка диаграммасини ҳисоблаш учун юритманинг механик характеристикаси $n = f(M_к)$ ва юритманинг бир давр мобайнидаги ишини таъминловчи айланиш тезлигининг графиги $n(t)$, шунингдек юритманинг инерция моменти $J_к$ маълум бўлиши керак (13.4- расм, *а*, *б*). Иш механизмининг бир даври двигателни валида юкланиш бўлган ҳолда тезлигини $n = 0$ дан $n = n_{max}$ гача олиб чиқиш учун кетган вақт (ишга тушириш вақти t_1), юритманинг ўзгармас тезлик $n_т$ билан ишлаш вақти (t_2), тўхтатиш вақти (t_3) ва икки давр орасидаги тўхташ вақти (t_0) дан иборат.

$n(t)$ боғланишдан $\frac{dn}{dt}$ ни график усулда топамиз (13.4-расм, *в*). $n(M_к)$ ва $n(t)$ боғланишлардан фойдаланиб, иш машинасининг нагрузка диаграммаси $M_к(t)$ ни қурамиз (13.4-расм, *г*). Бу моментнинг қиймати ёки ўртача қиймати (агар қаршилик моменти ўзгарувчан бўлса) бўйича каталогдан аввал фаза роторли асинхрон двигатель танланади.

Коэффициент $K = 1{,}1 \div 1{,}5$ ($1{,}3 \div 1{,}5$ қийматлар оғир ишга тушириш шароити учун) га тенг қилиб олинади.

Двигатель танлангандан сўнг унинг ротор инерцияси $J_р$ топилади. Юритманинг умумий инерция моменти $J = J_к + J_р$ аниқланади.

Сўнгра динамик момент миқдори $M_{дин} = \frac{J}{9{,}55}\frac{dn}{dt}$ ни топамиз. $M_{дин}(t)$ графиги dn/dt боғланишга шаклан ўхшаш бўлади (13.4-расм, *д*).



13.4-расм.

Двигателнинг айлантириш моменти қаршилик моменти билан динамик моментларнинг алгебраик йиғиндисидан иборат бўлганлиги учун, график $M_к(t)$ ва $M_{дин}(t)$ лар ординатасининг ҳар бир вақтга тўғри келувчи қийматларини ўзаро қўшиб, иш механизмининг нагрузка диаграммаси $M(t)$ ни ҳосил қиламиз (13.4-расм, *е*).

Двигатель ўқидаги қувват графиги $P(t)$

$$P = \frac{2\pi}{60} M \cdot n \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}$$

формулага асосан айлантириш моменти билан тезлик графикларининг мос ординаталарини ўзаро кўпайтириб ҳосил қилинади (13.4-расм, *ж*).

Тахминан танланган двигателнинг нагрузка диаграммаси $M(t)$ ёки $P(t)$ бўйича текширилиб, қатъий хулосага келинади.

13.6. ДВИГАТЕЛНИНГ ҚИЗИШИ ВА СОВИШИ

Двигателларнинг ишлаш жараёнида қизиши уларнинг нагрузка диаграммасига боғлиқ. Двигателни ишлатиш шароитида ҳосил бўладиган энг юқори температура ундан фойдаланиш кўрсаткичининг даражаси бўлиб ҳисобланади. Электр двигателлар ишланганида албатта қизийди, бу барча двигателларда содир бўладиган энергия исрофи туфайли ҳосил бўлади. Двигателлардаги электр энергия исрофларининг барча турлари иссиқликка айланади ва унинг бир қисми ташқи муҳитга, бошқа бир қисми машинанинг қизишига сарф бўлади.

Агар ГОСТ бўйича атроф-муҳит ҳарорати 40°С деб қабул қилинса, у ҳолда двигатель изоляциясининг температурасининг муҳит температурасидан ошиши 105°С (А синфдаги изоляция учун), 130°С (В синфдаги изоляция учун) ва 180°С (Н синфдаги изоляция учун) чегарагача рухсат этилади. Чулғам изоляцияси температурасининг ГОСТ белгилаган температурадан ошишига йўл қўйилмайди, чунки бу двигатель изоляциясининг бузилишига ва хизмат муддатининг қисқаришига олиб келади.

Электр двигателларнинг қизиш жараёнини тушунишни осонлаштириш учун шартли равишда двигателнинг бутун ҳажми бир меъёрда исийди, иссиқлик эса унинг сиртидан бир текисда тарқалади ва иссиқлик сиғими ҳамда иссиқлик узатилиши двигатель ва ташқи муҳит температуралари фарқига пропорционал деб ҳисобланади. Ана шу шароит учун двигателнинг ўта қизиш температураси τ нинг бошланғич температура $\tau_{бош}$ дан охирги, турғун $\tau_{тур}$ температурагача t вақт ичида ўзгариши қуйидаги тенглик билан ифодаланади:

$$\tau = \tau_{тур}\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) + \tau_{бош} e^{-\frac{t}{T}}, \qquad (13.14)$$

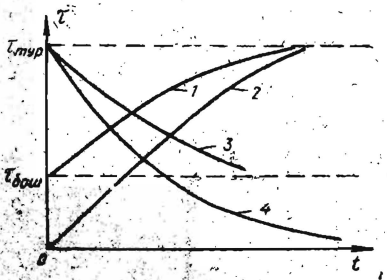
бунда T — қизиш доимийси бўлиб, иссиқлик атроф-муҳитга тарқалганда двигателнинг энг юқори барқарор температурагача қизиши учун сарфланган вақтини билдиради.

Бошланғич ишлаш даврида двигателнинг температураси атроф-муҳит температурасидан деярли фарқ қилмайди, яъни $t=0$ да $\tau_{бош}=0$ бўлади, у ҳолда (13.14) тенглама қуйидаги кўринишга келади:

$$\tau = \tau_{тур}\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right). \qquad (13.15$$

(13.14) ва (13.15) тенгламалар асосида 13.5-расмда қизиш эгри чизиқлари (мос ҳолда *1* ва *2*) келтирилган. Расмдан кўринадики, бошланғич ўта қизиш температураси ($\tau_{бош}$) двигатель температурасининг ортиш тезлигини ўзгартирар экан (13.5-расм). Қизиш эгри чизиқлари *1* ва *2* лардан кўринадики, двигатель турғун ўта қизиш температурасига анча вақт ўтгандан кейингина эришади. Агар двигатель электр тармоғи-

дан узилса, унинг қизиши тўхтайди, бироқ иссиқликнинг двигатель сиртидан нурланиши давом этади (нурланиш двигателда тўпланган иссиқлик ҳисобига содир бўлади). Шунинг учун двигатель совий бошлайди. Температура двигателнинг совиш жараёнида қуйидаги ифодага мувофиқ ўзгаради:



13.5-расм.

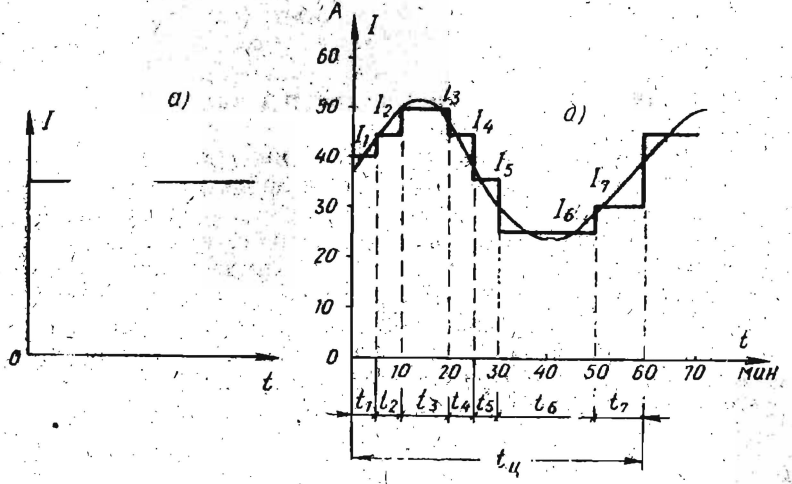
$$\tau = \tau_{бош}\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) + \tau_{тур}e^{-\frac{t}{T}}. \quad (13.16)$$

Агар двигатель атроф-муҳит ҳароратигача совиса, яъни $\tau_{бош} = 0$ бўлса, (13.16) тенглама қуйидаги кўринишни олади:

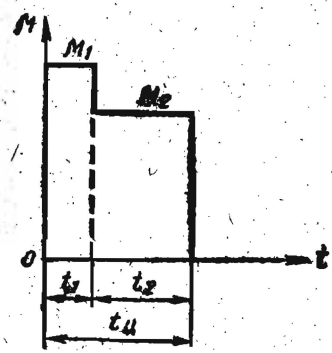
$$\tau = \tau_{тур}e^{-\frac{t}{T}}. \quad (13.17)$$

(13.16) ва (13.17) тенгламалар асосида 13.5-расмда двигателнинг совиш эгри чизиқлари *3* ва *4* келтирилган.

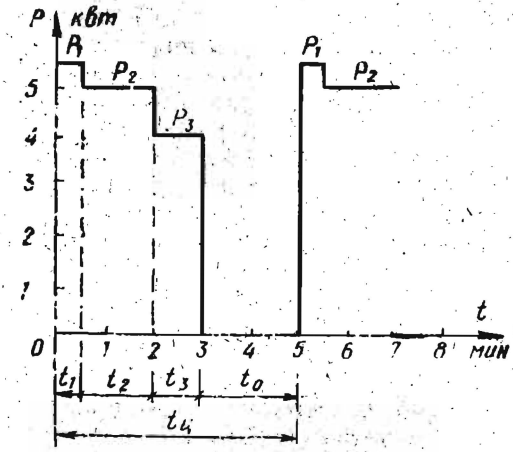
Агар двигателнинг қизиш температураси рухсат этилган барқарор (турғун) температурага яқинлашса-ю, аммо ундан ошиб кетмаса, у ҳолда бу режимда двигателдан тўлиқ фойдаланилган бўлади. Шунинг учун ҳам двигателнинг қизиш ва совиш хусусиятига қараб ГОСТ асосида электр юритмаларнинг иш жараёни учта: узоқ муддатли, қисқа муддатли ва такрорланадиган қисқа муддатли номинал иш режимига бўлинади.



13.6-расм.



13.7-расм.



13.8-расм.

Узоқ муддатли иш режимида двигателнинг юкланиш билан ишлаш даври узоқ вақт давом этади, шунинг учун унинг барча қисмлари температуранинг барқарор қийматигача қизийди. Бунда двигателнинг нагрузкаси ишлаш вақти давомида ўзгармаслиги (13.6-расм, *а*) ёки ўзгариб туриши мумкин (13.6-расм, *б*). Двигателнинг узоқ муддат ишлагандаги қизиш (2) ва совиш (4) эгри чизиқлари 13.5-расмда кўрсатилган.

Қисқа муддатли иш режимида электр юритманинг номинал нагрузкада ишлаш даврлари двигателни вақтинчалик электр тармоғидан узиб қўйиш вақти билан алмашиниб туради. Ана шу вақт давомида двигатель атроф-муҳит ҳароратигача совишга улгуради (13.7-расм). Бу режимда жуда кам миқдордаги механизмлар (тўғон затворлари, ажралувчи кўприклар, қувурлар задвижкаси ва бошқалар) ишлайди. Шунинг учун мазкур режимда ишлайдиган двигателлар махсус қурилмалар учунгина ишлаб чиқарилади.

Такрорланадиган қисқа муддатли иш режимида электр юритманинг номинал нагрузкада қисқа муддатли ишлаш даврлари ($t_и$) двигателни тармоқдан узиб қўйиши (пауза) даврлари (t_0) билан ёки двигателдан нагрузкани олиб қўйиш билан алмаштириб турилади (13.8-расм). Бу режимда нагрузка уланган даврда двигатель қисмларининг қизиш температураси барқарор қийматгача кўтарила олмайди, пауза вақтида эса атроф-муҳит ҳароратигача совишга улгурмайди. Такрорланадиган қисқа муддатли иш режими улашнинг нисбий давомийлиги (УД) дейиладиган катталик билан характерланади:

$$\text{УД} = \frac{t_и}{t_и + t_0} \cdot 100\% = \frac{t_0}{t_ц} \cdot 100\%, \qquad (13.18)$$

бунда $t_ц$ — бутун цикл вақти.

Саноат корхоналарида УД 15, 25, 40 ва 60% бўлган турли қувватдаги двигателлар ишлаб чиқарилади. Буларда циклнинг давомийлиги 10 минутдан ошмайди. Узоқ давом этадиган режимларда УД — 100% бўлади ва бундай двигателларнинг ишлаши узоқ муддатли иш режимига тааллуқли бўлади.

13.7. ЭЛЕКТР ДВИГАТЕЛЛАРНИНГ ҚУВВАТИНИ ТАНЛАШ

Двигателларнинг қувватини тўғри танлаш катта аҳамиятга эга бўлиб, электр юритма қувватининг бошланғич минимал қийматини ва уларни эксплуатация қилишда юзага келувчи энергия исрофининг камроқ бўлишини таъминлайди. Барча ҳолларда ҳам двигателларнинг номинал иш режимларини иш механизмларининг режимларига мос ҳолда танлаш керак.

Узоқ муддатли иш режими учун двигатель қувватини танлаш. Халқ хўжалигининг аксарият тармоқларида ишлатиладиган турли механизмларнинг нагрузкаси узоқ муддат давомида ўзгармас ёки кам ўзгарувчан бўлиши мумкин. Агар бундай механизмлар истеъмол қиладиган ўзгармас қувват (P) маълум бўлса у ҳолда двигателнинг қуввати бевосита каталогдан танланади. Бунда двигатель қуввати ($P_{ном}$) нагрузка қуввати (P) га тенг қилиб олинади. Агар каталогда бундай қувватли двигатель бўлмаса, у ҳолда навбатдаги энг яқин каттароқ қувватли двигатель танланади, яъни $P_{ном} \geqslant P$ бўлиши керак. Агар механизмнинг қуввати олдиндан маълум бўлмаса, унда двигатель танлаш баъзи қийинчиликларни туғдиради. Узоқ муддат ўзгармас нагрузкада ишлайдиган механизмлар (насослар, вентиляторлар, компрессорлар) учун мўлжалланган двигателларнинг қуввати назарий ҳисоблар ёки эмпирик формулалар ёрдамида ҳисоблаб, ёки нагрузка диаграммасини қуриш йўли билан аниқланади. Масалан, насослар учун қуйидаги формуладан фойдаланиш мумкин:

$$P_н = \frac{QH\gamma K_э}{102\eta_н\eta_у} \text{ кВт}, \qquad (13.19)$$

бу ерда Q — насоснинг иш унуми, м³/с; H — тўла босим, м; γ — ҳайдаладиган суюқликнинг солиштирма оғирлиги, кг/м³; $K_э$ — эҳтиётлик коэффициенти; ($P_н \leqslant 50$ кВт бўлганда $K_э = 1{,}2$; 50 дан 360 кВт гача $K_э = 1{,}15$; 350 кВт дан юқори қувватли двигателлар учун $K_э = 1{,}1$); $\eta_н$, $\eta_у$ — мос ҳолда насос ва насос билан двигатель орасидаги узатманинг фойдали иш коэффициентлари.

6-масала. Кўп қаватли уйларга сув берадиган марказдан қочма насос учун ротори қисқа туташтирилган синхрон двигатель қувватини танлаш талаб қилинади. Бунда қуйидагилар маълум: $Q = 0{,}05$ м³/с; ҳисобий сув босими $H = 25$ м; $\eta_н = 0{,}5$; $\eta_у = 1$; насоснинг иш режими — узоқ муддатли; $\gamma = 1000$ кг/м³; насоснинг айланиш тезлиги $n_н = 1450$ айл/мин.

Ечилиши. (13.19) формулага асосан насос талаб қилган қувватни ҳисоблаймиз:

$$P_н = \frac{QH\gamma K_э}{102\eta_н\eta_у} = \frac{0{,}95 \cdot 25 \cdot 1000 \cdot 1{,}3}{102 \cdot 0{,}5 \cdot 1} = 24{,}5 \text{ кВт}.$$

Каталогдан қуввати бўйича энг яқин бўлган, ротори қисқа туташтирилган асинхрон двигатель танлаймиз, унинг номинал техник кўрсаткичлари қуйидагича: тури A; $P_н = 25$ кВт; $n_н = 1450$ айл/мин; $\eta_{ном} = 0{,}9$; $\cos\varphi = 0{,}8$.

Вентилятор учун қуйидаги формуладан фойдаланиш мумкин:

$$P_в = \frac{QHK_э}{102\eta_в\eta_у} \text{ кВт}, \qquad (13.20)$$

бу ерда Q — вентиляторнинг иш унуми, м³/с; H — тўла босим, мм сув устуни; $K_э$ — эҳтиётлик коэффициенти, ($P_в \leqslant 2$ кВт бўлганда $K_э = 1{,}5$; 5 кВт гача $K_э = 1{,}25$; 5 кВт дан юқори бўлганда $K_э = 1{,}1 \div 1{,}15$); $\eta_в$, $\eta_у$ — мос ҳолда вентилятор ва узатманинг фойдали иш коэффициенти.

Компрессор учун қуйидаги формуладан фойдаланиш мумкин:

$$P_к = \frac{QA}{102\eta_к\eta_у} \text{ кВт}, \qquad (13.21)$$

бу ерда Q — компрессорнинг иш унуми, м³/с; A — 1 м³ ҳавони 1 атмосфера босимдан керакли босимгача сиқиш учун сарф бўладиган иш, кГ · м; $\eta_к$, $\eta_у$ — мос ҳолда компрессор ва узатманинг фойдали иш коэффициенти.

Кўпгина механизмлар узоқ муддат ўзгарувчан нагрузкада ишлайдилар. Бундай қурилмалардаги электр двигателларнинг қуввати нагрузка диаграммаси ёки ўртача исрофлар усули асосида аниқланади. Ўртача исрофлар усули двигателнинг ишлаш давридаги ўртача қувват исрофи $\Delta P_{ўр}$ ни номинал нагрузка билан ишлагандаги исрофлар $\Delta P_{ном}$ билан солиштиришга асосланган.

Ўртача қувват исрофи ушбу ифодадан топилади:

$$\Delta P_{ўр} = \frac{\Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 + \ldots + \Delta P_l t_l}{t_ц},$$

бу ерда ΔP_1, ΔP_2, ..., ΔP_l — t_l вақтдаги қувват исрофи; $t_ц$ — циклнинг давомийлиги.

Агар иш цикли вақтида ўртача қувват исрофи номинал нагрузка билан ишлагандаги номинал қувват исрофидан ошмаса, у ҳолда двигателнинг ўртача температураси жоиз қийматдан ошмайди. Демак, двигатель тўғри танланган бўлади.

Шундай қилиб двигателни танлаш шарти сифатида ушбу ифода хизмат қилади.

$$\Delta P_{ўр} \leqslant \Delta P.$$

Аммо каталогларда двигатель тўғрисидаги керакли маълумотларнинг етарли бўлмаслиги кўп ҳолларда ўртача қувват исрофидан фойдаланишни қийинлаштиради. Шунинг учун амалда анчагина содда усул: эквивалент миқдорлар (ток, момент ва қувват) усули кенг қўлланилади.

Эквивалент ток деб, шундай ўзгармас токка айтиладики, бу ток электр двигатели чулғамларидан бутун ишлаш даври давомида ўтиб, чулғамларни ҳақиқий ток ўткандагидай бир хилда қиздиради. Двигателнинг берилган нагрузка диаграммасидан эквивалент ток қуйидагича топилади.

13.6-расм, *б* да берилган $I=f(t)$ эгри чизиқли график поғонали синиқ чизиқ билан алмаштирилади ҳамда t_1, t_2 ва ҳоказо вақтлар оралиғида двигатель мос равишда I_1, I_2 ва ҳоказо токлар қабул қилади деб ҳисобланади. Бу вақтда Ленц-Жоуль қонунига асосан:

$$I_э^2 \cdot r \cdot t_ц = I_э^2 \cdot r(t_1 + t_2 + \ldots + t_n) = I_1 r t_1 + I_2 r t_2 + \ldots + I_n r t_n$$

бу ерда r — электр двигатель чулғамларининг қаршилиги. Бундан эквивалент ток

$$I_э = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \ldots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \ldots + t_n}}. \qquad (13.22)$$

Двигателнинг каталогдан танланадиган номинал токи $I_{ном}$ ҳисобланган эквивалент ток $I_э$ га тенг ёки ундан катта қилиб олиниши керак, яъни

$$I_{ном} \geqslant I_э.$$

6- масала. 13.6-расм, *б* да келтирилган график бўйича ишлайдиган иш механизми электр двигателининг номинал токи танлансин:

$$I_э = \sqrt{\frac{40^2 \cdot 5 + 45^2 \cdot 5 + 50^2 \cdot 10 + 45^2 \cdot 5 + 35^2 \cdot 5 + 25^2 \cdot 20 + 30^2 \cdot 10}{5 + 5 + 10 + 5 + 5 + 20 + 10}} =$$
$$= 36{,}9 \text{ А}.$$

Каталогдан $I_{ном} \geqslant I_э = 36{,}9$ А қилиб кўрсатилган турдаги двигатель танланади.

Агар электр двигателининг магнит оқими ўзгармас бўлса (параллел уйғотишли ўзгармас ток ва синхрон электр двигателлар), у ҳолда электр двигателини эквивалент айлантириш моментига кўра танлаш мумкин:

$$M_э = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \ldots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \ldots + t_n}}, \qquad (13.23)$$

чунки $M = C_м \Phi I$ ва $\Phi = \text{const}$ бўлганда, момент токка пропорционал бўлади.

Агар берилган нагрузка графиги қувватнинг вақтга боғланишидан иборат ва нагрузканинг тезликка таъсири жуда кў-

чик бўлса (масалан, асинхрон, синхрон двигателлар ва параллел уйғотишли ўзгармас ток двигатели), у ҳолда электр двигателини эквивалент қувват бўйича танлаш мумкин:

$$P_э = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \ldots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \ldots + t_n}}, \qquad (13.24)$$

чунки $P = M\omega$ ва $\omega = \text{const}$ бўлганда қувват момент ва токка пропорционал бўлади.

Агар $M_{ном} \geqslant M_э$ ёки $P_{ном} \geqslant P_э$ бўлса, (13.23) ёки (13.24) формула бўйича ҳисоблаб, танланган двигатель қизиш шартини бажаради.

Қисқа муддатли иш режими учун двигатель қувватини танлаш. Қисқа муддатли иш режимининг нагрузка диаграммаси (13.7-расмда) кўрсатилган. Мазкур диаграммага мос равишда (13.23) формуладан фойдаланиб, эквивалент момент ҳисобланади. Бунда $t_1 + t_2 + \ldots + t_n = t_к$ деб олинади ва қисқа муддатли ишлаш вақти деб аталади.

Сўнгра каталогдан $t_к$ вақт ишлашга мўлжалланган, номинал моменти эквивалент моментга тенг ёки ундан катта $M_{ном} \geqslant M_э$ бўлган двигатель танланади. Электр двигателни оний ўта юкланишга текшириб кўриш керак: нагрузканинг $I_{max}/I_э$ нисбати двигатель $I_{max}/I_{ном}$ нисбатининг жоиз қийматидан кичик ёки унга тенг бўлиши керак.

Такрорланадиган қисқа муддатли иш режими учун двигатель қувватини танлаш. Кранлар, лифтлар, экскаваторлар, металларга ишлов берувчи бир қанча дастгоҳларнинг двигателлари ва шу кабилар такрорланадиган қисқа муддатли иш режимида ишлайди. Уларнинг нагрузка диаграммаси 13.8-расмда кўрсатилган.

Такрорланадиган қисқа муддатли режимда ишлайдиган механизмлар учун двигатель қувватини юқорида келтирилган эквивалент ток, қувват ва момент формулаларидан фойдаланиб танлаш мумкин. 13.8-расмда кўрсатилган график асосида эквивалент қувват қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$P_э = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}}. \qquad (13.25)$$

Аниқланган эквивалент қувват $P_э$ ва берилган УД учун каталогдан двигателнинг номинал қуввати топилади. Ҳисобланган УД энг яқин стандартга мос келмаса, у ҳолда (13.25) формуладан топилган ҳақиқий эквивалент қувватни ($P_{эх}$) стандарт $УД_{ст}$ га қайта ҳисобланади:

$$P_{э.ст.} = P_{э.х} \sqrt{\frac{УД_х}{УД_{ст}}}. \qquad (13.26)$$

8-масала. 13.8-расмдаги график бўйича ишловчи механизм двигателининг номинал қуввати аниқлансин:

$$P_э = \sqrt{\frac{5{,}5^3 \cdot 0{,}5 + 5^3 \cdot 1{,}5 + 4^3 \cdot 1}{0{,}5 + 1{,}5 + 1}} = 4{,}78 \text{ кВт};$$

$$\text{УД} = \frac{0{,}5 + 1{,}5 + 1}{0{,}5 + 1{,}5 + 1 + 2} \cdot 100\% = 60\%.$$

УД — 60% учун каталогдан параллел уйғотишли ўзгармас ток ёки асинхрон двигателнинг номинал қуввати типилади, $P_{ном} \geqslant P_э = 4{,}78$ кВт.

13.8. ЭЛЕКТР ЮРИТМА УЧУН ДВИГАТЕЛЬ ТУРИНИ ТАНЛАШ БУЙИЧА УМУМИЙ ТАВСИЯЛАР

Двигателни тўғри танлаш катта аҳамиятга эгадир. Кўп сонли ўзгарувчан ва ўзгармас ток двигателларининг турлари ичида у ёки бу иш машинасининг юритмаси учун шундай двигателни танлаш керакки, у ишлаб чиқариш жараёнининг ҳам техник, ҳам иқтисодий талабларини тўла-тўкис қондирсин.

Электр юритмаларни лойиҳалашда ўзаро боғлиқ бир қатор масалалар (двигателнинг кучланишини, тезлигини ва турини танлаш) ни ҳал қилишга тўғри келади.

Двигателнинг номинал кучланишини танлаш Бу масалани ечишда стандарт номинал кучланишга асосланилади. Уч фазали двигателлар 220, 380, 660, 3000, 6000 ва 10000 В кучланишга, ўзгармас ток двигателлари 110, 220 ва 440 В кучланишларга мўлжаллаб чиқарилади. Кичик ва ўртача (100 кВт гача) қувватли уч фазали асинхрон ва синхрон двигателлар учун 380 В кучланишни танлаш мақсадга мувофиқдир. 220 В ли кучланиш тавсия этилмайди, чунки бунда ток кучи $\sqrt{3}$ марта юқори бўлиб, рангли металл сарфини кўпайтиради.

Катта қувватли электр юритмалар учун 3000, 6000 ва 10000 В га мўлжалланган уч фазали двигателларни қўллаш тавсия этилади Бу кучланишлардан қай бирини танлаш саноат корхонасидаги юқори кучланишли тармоқдаги кучланишнинг қийматига боғлиқ.

Тезлиги бошқариладиган ўзгармас ток двигателли электр юритма учун асосан 220 В, баъзан 110 В кучланиш тавсия этилади. Чунки 440 В га мўлжалланган ўзгармас ток двигателлари ишлаш даврида тез-тез ишдан чиқиб туради.

Двигатель турини танлаш. Танланадиган двигателнинг шундай турини танлаш керакки, уни бошқариш осон, эксплуатация қилишда мустаҳкам ва ишончли ҳамда нархи арзон, ўзи ихчам, шунингдек юқори энергетик кўрсатгичларга эга бўлсин. Двигателнинг турини танлашда юритманинг тезлиги бошқариладиган ёки бошқарилмайдиганлигига ҳам эътибор бериш керак. Юқоридаги талабларнинг аксариятини қондирувчи электр двигатель — бу ротори қисқа туташтирилган асинхрон двигателдир. Шунинг учун иш жараёнида тезлигини бошқариш талаб этилмайдиган барча иш механизмлари ва ма-

шиналарида асинхрон двигателлар кенг қўлланилади. Шунингдек, мазкур двигателлар камчиликлардан ҳам ҳоли эмас. Уларнинг асосийлари қуйидагилардан иборат:

1. Чекланган ишга тушириш моментида катта ишга тушириш токининг мавжудлиги.

2. Ротор занжиридаги иссиқлик миқдорининг ташқи муҳитга яхши тарқалмаслиги туфайли қайта улаш сонининг чекланганлиги.

3 Ўқдаги нагрузка моменти ўзгарганда тезликнинг ўзгариши.

Шунга қарамай, халқ хўжалигидаги деярли барча кичик ва ўртача 100 кВт гача қувватли, тезлиги бошқарилмайдиган иш механизмларида ротори қисқа туташтирилган асинхрон двигателлар қўлланади.

Такрорланадиган қисқа муддатли режимда ишлайдиган ва нисбатан катта ишга тушириш частотасига эга бўлган баъзи механизмлар учун оширилган номинал сирпанишли асинхрон двигателларни қўллаш тавсия қилинади. Оширилган сирпаниш қисқа туташтирилган асинхрон двигатель роторида битта ёки иккита „олмахон қафаси" тарзида жойлаштириш орқали амалга оширилади. Бундай двигателларнинг ишга тушириш моменти катта, ишга тушириш токи эса нисбатан кичик бўлади. Шунинг учун бу двигателлардан фойдаланилганда электр юритманинг ишга туширишдаги энергия исрофи ва ишга тушириш вақти камаяди.

Баъзи ҳолларда фаза роторли асинхрон двигателлардан ҳам фойдаланишга тўғри келади. Улар қуйидаги электр юритмаларни ҳаракатга келтиришда қўлланилади:

1. Оғир шароитда ишга тушириладиган, ишга тушириш моментининг катта бўлиши талаб қилинадиган ва тезланишни чеклайдиган механизмлар (пассажир ва шахта кўтарувчи қурилмалар).

2. Соатига қайта уланиш сони кўп бўлган (такрорланадиган қисқа муддатли режимда ишлайдиган) қурилмалар.

3. Тезликни кичик чегарада бошқариш талаб этиладиган қурилмалар.

Фаза роторли асинхрон двигателларни қўллаш керак бўлганда улар тузилишининг мураккаблигини, оғирлиги ва ҳажми нисбатан катта эканлигини, $\cos\varphi$ нинг кичиклигини ва эксплуатацияси нисбатан мураккаблигини эътиборга олиш керак.

Ўртача ва катта қувватли, узоқ муддатли режимда ишлайдиган бошқарилмайдиган электр юритмаларда синхрон двигателлардан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Бундай юритмаларга компрессорлар, катта қувватли насослар ва вентиляторлар ва бошқалар киради. Синхрон двигателлар юқори ФИК ва сиғимли $\cos\varphi$ режимда ишлай олиши билан асинхрон двигателлардан фарқ қилади. Кичик қувватли қурилмаларда бу двигателларни қўллаш иқтисодий жиҳатидан ўзини оқламайди, чунки сарфланган харажатларни уларни эксплуатация қилишдаги афзалликлари қопламайди.

Иш шароитига кўра тезликни катта оралиқда равон бошқариш талаб этиладиган қурилмаларда, катта ишга тушириш сонига эга бўлган механизмларда ва нисбатан кичик тезликда ишлайдиган юритмаларда ўзгармас ток двигателларини қўллаш мумкин. Бундай қурилмаларга реверсив прокат станлари, металлга ишлов бериш дастгоҳлари, электр транспорти, лифтлар, кўтарма-транспорт механизмлар ва бошқалар мисол бўлади.

Электр двигателларининг номинал тезлигини танлаш. Электр двигателларни иш машиналари билан ўзаро бириктиришнинг энг содда ва мустаҳкам тури уларни бевосита муфта орқали улашдир. Бу ҳолда двигателнинг тезлиги иш машинасининг тезлигига тенг қилиб олинади. Двигателлар эса маълум стандарт тезликка мўлжалланган бўлади. Бундан ташқари, двигателларнинг номинал тезлиги кичикроқ бўлса, уларнинг ўлчами берилган номинал қувватда ($P_{ном}$) каттароқ бўлади. Шунинг учун аксарият двигателлар 1500 ва 3000 айл/мин тезликка мўлжаллаб чиқарилади. Иккинчидан, иш машиналари, асосан, кичик тезликка (200—500 айл/мин) мўлжалланган бўлади. Бинобарин, двигателларни иш машиналарига улаш узатиш қурилмаларидан фойдаланишни тақозо қилади. Бундай ҳолларда двигателнинг номинал тезлиги бир неча вариантларда ҳисоблаш, текшириш ва анализ қилиш асосида танланади.

Электр двигателларининг конструкциясини танлаш. Двигатель конструкциясини танлашда атроф-муҳит шароити ҳам ҳисобга олинади. Бунда двигателни ташқи муҳит таъсиридан ҳимоялаш керак бўлса, иккинчи томондан, двигателларда юзага келиши мумкин бўлган учқунлардан атроф-муҳитни (агар ёнувчи чанглар, портловчи газлар ва аралашмалар ва шунга ўхшашлар мавжуд бўлса) ҳимоя қилиш керак бўлади. Шунинг учун ҳам двигателлар очиқ, ҳимояланган, ёпиқ ва портлашга хавфсиз кўринишда ишлаб чиқарилади.

Очиқ двигателлар ҳеч қандай ҳимоя воситаларига эга бўлмайди ва чангсиз, ифлоссиз ва бошқа аралашмаларга эга бўлмаган қуруқ хоналарда ишлатилади.

Ҳимояланган двигателлар қуйидагиларга бўлинади:

— ток ўтказувчи қисмларга тасодифан тегиб кетишдан ва двигатель ичига ташқи буюмлар тушиб кетишидан ҳимояланган (двигателнинг очиқ жойларини ёпиб турувчи тўрлари бўлади);

— сув томчилари тушишидан ҳимояланган (тўрдан ташқари соябони ҳам бўлади).

Ёпиқ двигателларни зах, газли, чангли хоналарда ишлатиш мумкин. Улар қопқоқ ҳамда махсус зичлагич билан таъминланади. Бундай двигателлар ичига ташқаридан чанг, газ ва бошқа аралашмалар кирмайди. Герметик ёпиқ двигателни эса узоқ муддат сувга ботириб қўйилса ҳам двигатель ичига нам ўтмайди.

Портлашга хавфсиз двигателлар ёнғин ва портлаш хавфи бўлган, хавфли газ ёки буғли хоналарга ўрнатилади. Улар-

нинг корпуси шу қадар мустаҳкамки, портлаш натижасида двигатель ичида ҳосил бўлган аланга ташқарига — портлаш хавфи бўлган муҳитга чиқмайди.

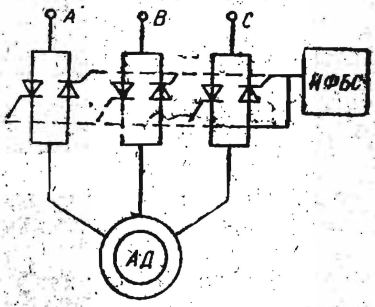
Булардан ташқари, двигателларни совитилиши, маҳкамланиши ва шу каби бошқа шунга ўхшаш хусусиятларига қараб ҳам бир неча турга ажратиш мумкин.

13.9. ЭЛЕКТР ЮРИТМАНИ ТИРИСТОР БИЛАН БОШҚАРИШ

Тиристорли ўзгартиргичларнинг юқори ФИК (0,95÷0,97), габарит ўлчамларининг нисбатан кичиклиги ва шу каби бошқа кўрсаткичлари туфайли тиристорли электр юритмалардан кенг фойдаланиш йўлга қўйилмоқда. Тиристорлар ва тегишли бошқариш системаларидан фойдаланиш ҳам ўзгарувчан, ҳам ўзгармас ток двигателларини ишга тушириш муаммосини ҳал қилади ҳамда керакли ростлаш характеристикалари ва динамик режимларни олиш имконини беради.

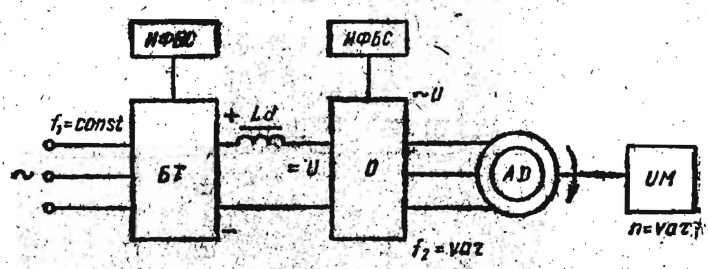
Тиристорли ўзгарувчан ток электр юритмаси. Асинхрон двигателнинг айланишлар частотасини ростлаш учун тиристорлар статор занжирига уланади. Бунда улар ёрдамида статор чулғамларидаги синусоидал кучланишнинг амплитудасини (фазали ростлаш) ёки частотасини (частотали ростлаш) ростлаш мумкин. Ҳар иккала ҳолда ҳам асинхрон двигателнинг айлантириш моменти ўзгаради. Бу айланишлар частотасининг ўзгаришига олиб келади.

Асинхрон двигателнинг айланишлар частотасини тиристорли кучланиш ўзгартиргичи (ТКЎ) ёрдамида ростлаш схемаси 13.9- расмда кўрсатилган. ТКЎ нинг ҳар бир фазасида иккита қарама-қарши (параллел) уланган тиристор бўлиб, ўзгарувчан токнинг ҳар иккала ярим даврини ўтказади. ТКЎ ёрдамида кучланишни ўзгартириш учун импулъсли фаза бошқарувчи система (ИФБС) деб аталувчи қурилма бўлиши керак. У иккита вазифани бажаради: бошқарувчи импульсни вужудга келтиради ва уни тармоқ кучланишига нисбатан фаза бўйича силжитади. ИФБС тиристорли ўзгартиргичнинг ростлаш бурчаги α ни 0 дан 180 электрик градусга ўзгартириш имконини беради (13.9- расм).



13.9- расм.

Бошқарувчи импульсни тиристорларга бериш лаҳзаларини ўзгартириб, асинхрон двигателнинг статор чулғамига берилаётган кучланишни ўзгартиришга ва роторнинг айланишлар частотасини унча катта бўлмаган оралиқда ўзгартиришга эришиш мумкин. Шу билан бирга, кучланишни камайтириш асинхрон двигателнинг ишга тушириш ва максимал моментларини камай-



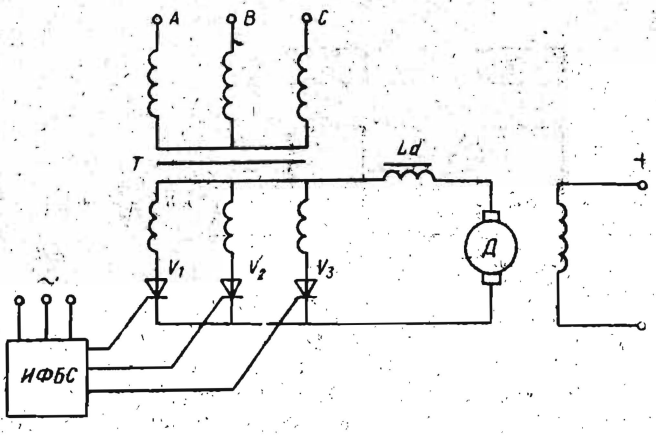
13.10- расм.

тиришга олиб келади. Асинхрон двигателнинг айланишлар частотасини ростлаш оралиғини кенгайтириш учун ёпиқ ёки частотали бошқариш системаларидан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир.

Двигателларнинг айланишлар частотасини тармоқ токининг частотасини ўзгартириб ростлаш алоҳида манба бўлишини тақозо қилади. У асинхрон двигателни таъминловчи кучланиш частотасини саноат токи частотаси (f_1 — 50 Гц) дан ошириш ёки камайтиришни равон ўзгартириш имконини беради. Бу ростлаш усулининг қийинлиги анча мураккаб ва қимматбаҳо частота ўзгартиргичининг талаб қилинишидадир. Асинхрон двигателнинг айланишлар частотасини частота ўзгартиргич ёрдамида ростлашнинг блок схемаси 13.10-расмда кўрсатилган. Частота ўзгартиргич бошқариладиган тўғрилагич БТ, у уч фазали ва f_1 = const бўлган тармоқ кучланишини ўзгармас ток кучланиши (U) га айлантиради, тўғриланган кучланишнинг пульсланишини текисловчи дроссели L_d фильтр, ўзгармас ток кучланишини ўзгарувчан частота f_2 ли уч фазали ўзгарувчан ток кучланишига айлантирувчи (асинхрон двигателни таъминлаш учун) инвертор И ва ИФБС лардан иборат. Электрон-импульсли фаза бошқариш системалари ИФБС тўғрилагич ва инвертор тиристорларини бошқаришни амалга оширади ва қурилманинг керакли ишлаш режимини таъминлайди.

Тиристорли ўзгармас ток электр юритмаси. Ўзгармас ток двигателининг айланишлар частотасини ростлаш керак бўлганда ва ҳаддан ташқари катта қувватли двигателларни ишга туширишда тиристорли ўзгартиргичлар кенг ишлатилмоқда. Улар ёрдамида ўзгармас ток двигателлари уч фазали ўзгарувчан ток тармоғига уланиши мумкин.

Тиристорли ўзгартиргич — двигател (ТЎ — Д) системасининг содда схемаларидан бири 13.11-расмда кўрсатилган. Тиристорли ўзгартиргич ИФБС билан биргаликда уч фазали ўзгарувчан тармоқ кучланишини ўзгарадиган кучланишли ўзгармас токка айлантиради. ИФБС нинг қисқа муддатли бошқа-



13,11- расм.

рувчи импульслари тиристор $V1$, $V2$, ва $V3$ ларни фаза кучланишларининг мусбат ярим даврларида, фазаларнинг алмашиниш тартибига мос ҳолда очади. Фаза кучланишларининг манфий ярим даврларида табиий коммутация туфайли тегишли фазаларнинг тиристорлари ёпилади. Агар бошқарувчи импульслар тиристорлар $V1$, $V2$ ва $V3$ га тегишли табиий очилиш нуқталарида берилса, энг катта тўғриланган ўртача кучланиш U_{d0} олинади. Бошқарувчи импульсларни табиий очилиш нуқтасига нисбатан α бурчакка кечиктириб берилса, тиристорлар кечроқ очилади. Тўғриланган ўртача кучланиш U_d эса энг катта тўғриланган ўртача кучланиш U_{d0} дан кичик бўлади. Тиристорли ўзгартиргичларнинг тўғриланган ўртача кучланиши:

$$U_d = U_{d0}\frac{1+\cos\alpha}{2},$$

бу ерда α — ростлаш бурчаги.

U_d кучланиш двигателнинг якоридаги кучланишга тенг бўлади. Шунинг учун ТЎ — Д система учун электромеханик характеристика тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

$$\omega = U_{d0}(1+\cos\alpha)/(2к\Phi) - RI/(к\Phi),$$

бу ерда R — якорь занжирининг умумий қаршилиги (у якорь чулғамининг ва ўзгартиргичнинг қаршиликларидан иборат).

Юқоридаги формуладан кўринадики, ростлаш бурчаги α ни ўзгартириш якорга келаётган кучланишни ўзгартириш имконини беради. Натижада двигателнинг бурчак тезлигини кенг оралиқда ўзгартиради. α нинг турли қийматлари учун ТЎ — Д системанинг механик характеристикалари Г — Д система характеристикаларига ўхшаш ва ўзаро параллел ҳолда бўлади.

14- БОБ. САНОАТ КОРХОНАЛАРИНИНГ ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ

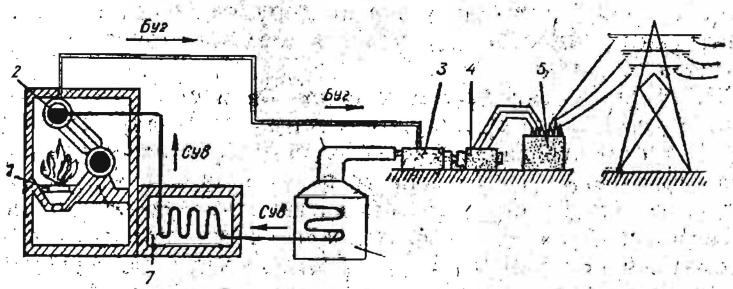
14.1. ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯНИ ИШЛАБ ЧИҚАРИШ

Электр энергия электр станцияларида бошқа турдаги энергияни электр энергиясига айлантириш орқали ишлаб чиқарилади. Электр энергиядан саноатда, транспортда, алоқада, қишлоқ хўжалигида ва кундалик турмушда кенг фойдаланилади. Электр станциялари ўзгартирилаётган энергия турига қараб иссиқлик, гидравлик, атом, шамол ва қуёш электр станцияларига бўлинади.

Иссиқлик электр станцияси (ИЭС) органик ёқилғининг ёнишида ажралиб чиқадиган иссиқлик энергиясини электр энергияга айлантириб беради. Иссиқлик электр станцияларидаги генераторлар буғ ва газ турбиналар, ички ёнув двигателлари ёрдамида айлантирилади. Буғ турбинали иссиқлик электр станциялари конденсацион ва иссиқлик таъминотли турларда бўлади.

Конденсацион электр станциясида (14.1-расм) ёқилғининг ўчоқ *1* да ёнишидан ажралиб чиққан иссиқлик энергияси қозонда буғ энергиясига айланади. Юқори температурагача қиздирилган буғ босим остида турбина *3* нинг паракларига берилади. Бу ерда буғ энергиясининг турбинани айлантирувчи механик энергияга айланиши содир бўлади. Турбина *3* синхрон генератор *4* ни айлантиради ва унда механик энергия электр энергияга айланади. Турбинада ишлатилган буғ конденсатор *6* га йўналтирилади. У ерда буғ совитилиб, қозон *2* ни таъминлаш учун суюқ конденсатга айлантирилади.

Демак, конденсацион электр станцияларида электр энергия ишлаб чиқариш уч босқичдан, яъни ёқилғининг иссиқлик энергиясини қозондаги буғ энергиясига айлантириш, буғ энергиясини турбинада механик энергияга айлантириш ва механик энергияни генераторда электр энергиясига айлантиришдан иборат. Буғнинг энергияси қанча юқори бўлса, қурилманинг фойдали иш коэффициенти шунча юқори бўлади.



14.1-расм.

Конденсацион электр станциясидаги энергия исрофларининг каттагина қисми асосий буғ — сув контурида, хусусан конденсатор *6* да юзага келади. У ерда анча катта иссиқлик энергиясига эга бўлган ишлатилган буғнинг энергияси сувга ўтади. Мазкур энергия айланма сув билан сув ҳавзасига ўтади, яъни исроф бўлади. Бу исрофлар электр станциянинг ФИК ини белгилайдиган асосий омилдир. Ҳатто энг замонавий конденсацион электр станцияларида ҳам ФИК кўпи билан 40—42% ни ташкил қилади. Замонавий буғ турбиналарининг қуввати 1300 МВт га етади. Бундай катта қувватли буғ турбиналари туфайли иссиқлик электр станцияларининг тежамлилиги қисман ошади. Буғ қозон ўчоғидан чиқиб кетаётган тутундан фойдаланиб, қурилма *7* ёрдамида сувни иситиш туфайли иссиқлик станциясининг ФИК ини қисман ошириш мумкин (14.1-расм).

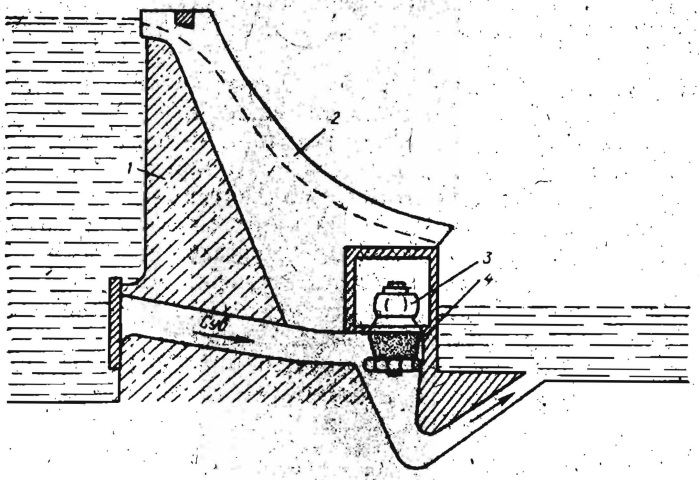
Йирик конденсацион станциялар ёқилғи (кўмир, торф) конлари яқинига қурилади. Чунки ёқилғини узоқ масофаларга транспортда ташишга қараганда электр энергияни узоқ масофага узатиш анча арзон. Электр станцияси ишлаб чиқарётган электр энергия яқин жойлашган энергосистемага 110—330 кВ, узоқдагисига эса 500—750 кВ кучланишда узатилади. Кучланишни оширишда трансформатор *5* ишлатилади.

Иссиқлик таъминотли электр марказлари (ИЭМ) бир вақтда ҳам иссиқлик, ҳам электр энергиясини ишлаб чиқаришга имкон беради. Шунинг учун иссиқлик таъминотли электр марказлари мамлакатимиз энергетикасида асосий ўринни эгаллайди. Бундай электр марказлари катта шаҳарлар атрофига қурилади. Улар шаҳардаги саноат корхоналари ва коммунал хўжаликларни электр энергиядан ташқари, иссиқ сув ва буғ билан ҳам таъминлаш имконини беради.

Турбинада ишлатилган буғ иссиқлигидан иккинчи марта фойдаланиш туфайли конденсацион станцияларга қараганда иссиқлик таъминотли электр марказлари тежамлироқ бўлиб, уларнинг ФИК 50—65% га етади.

Гидравлик электр станциялар (ГЭС) сув оқимининг энергиясини электр энергияга айлантиради. Бу станцияларда гидротурбиналар *4* ишлатилиб, улар сув оқими энергиясини гидрогенератор *3* ўқини ҳаракатга келтирувчи механик энергияга айлантиради. Гидрогенераторда эса механик энергия электр энергияга айланади.

ГЭС нинг асосий элементларидан бири сув оқимининг керакли босимини ҳосил қилувчи тўғон ҳисобланади (14.2-расм). Тўғондан олдинги ва кейинги сув сатҳларининг фарқи қанча катта бўлса, электр станциянинг қуввати шунча юқори бўлади ва ГЭС шунчалик бир маромда ва самарали ишлайди. Одатда сув эҳтиёжи баҳорда йиғиб олинади ва ундан йил давомида сув сарфини керакли миқдорда ростлаш учун фойдаланилади. Сув оқимини ростлаш суткалик давомида ҳам олиб борилиши мумкин. Одатда, тунги вақтларда кўп электр энергия талаб

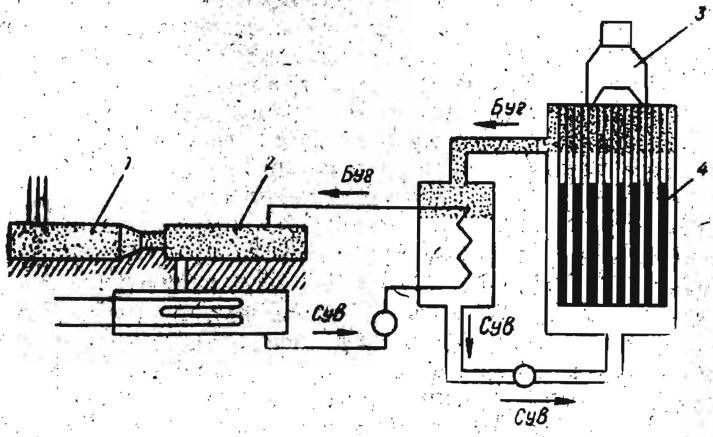


14.2- расм.

қилинмайди. Шунинг учун бундай вақтларда баъзи гидротурбиналар тўхтатилиб, сув эса захирага қолдирилади.

Гидравлик электр станциялари ёрдамида сутканинг турли вақт оралиқларидаги энергия истеъмолини ҳам меъёрида таъминлаш анча қулай. ГЭС нинг фойдали иш коэффициенти 85 — 92% ни ташкил қилади. Ундаги битта агрегатнинг қуввати 600 МВт га етади. Йирик ГЭС ларнинг қуввати эса бир неча миллион киловаттларга етади.

ГЭС лар қаторига гидроаккумуляцияловчи электр станциялар (ГАЭС) ҳам киради. Энергосистема нагрузкаси энг кам бўлган соатларда ГАЭС генераторлари двигатель режи-



14.3 расм.

мига, турбиналар эса насос режимига ўтказилади ва улар сувни қувурлар орқали пастки ҳовуздан юқориги ҳовузга ҳайдайди.

Атом электр станцияси (АЭС) атом энергиясини электр энергияга айлантириб, ўз моҳияти билан иссиқлик станцияси ҳисобланади (14.3-расм). Ядро реактори *4* дан ажралиб чиқадиган иссиқлик энергияси АЭС да буғ олиш учун фойдаланилади, буғ эса турбогенератор *1* ни айлантиради. Бундай электр станцияларнинг қуввати бир неча минг мегаваттларга етади. АЭС ларни энергия манбаларидан узоқдаги йирик саноат марказлари атрофига қуриш мақсадга мувофиқдир.

Шамол электр станциялар ва қуёш энергиясини ўзгартирувчи қурилмалар мамлакат энергобалансида кичик улушни ташкил этади. Шунингдек, сув кўтарилиш ГЭС лари ҳам бўлиб, улар денгизлардаги сув сатҳининг кўтарилиш ва пасайиш вақтидаги босим таъсирида ишлайди.

14.2. ЭЛЕКТР ТАРМОҚЛАРИ

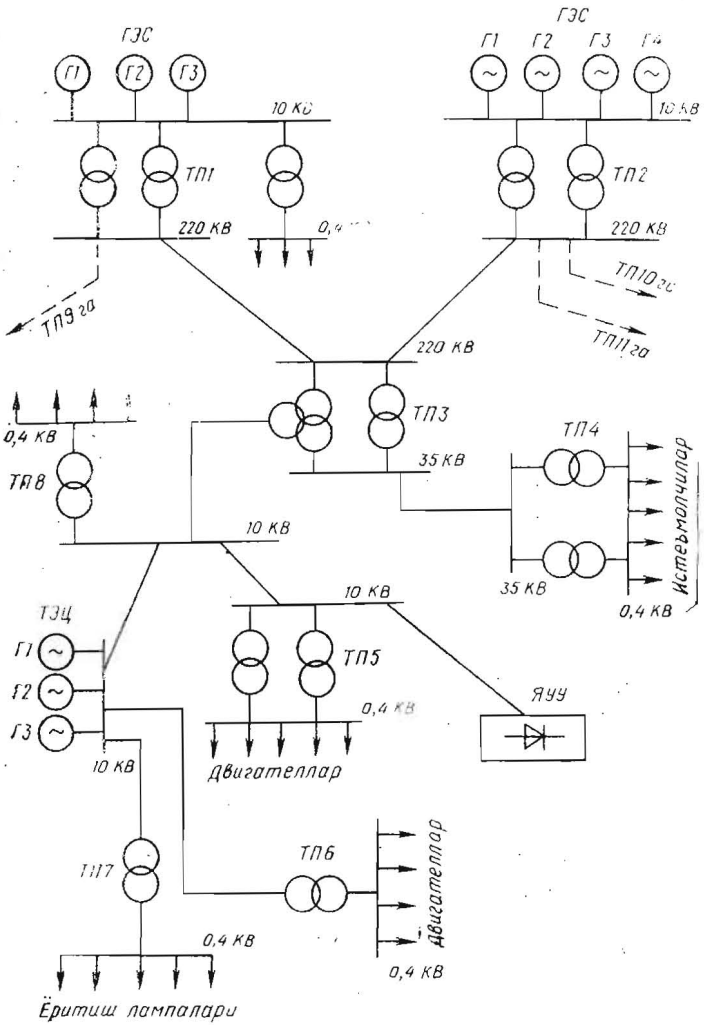
Электр энергиясини узатиш ва тақсимлашда электр тармоқлари катта аҳамиятга эга. Амалда ишлаб чиқарилаётган электр энергия истеъмолчиларга электр тармоқлари орқали узатилади. Электр тармоғининг асосий вазифаси истеъмолчиларни электр билан таъминлаш, яъни электр энергияни ишлаб чиқарилган жойдан уни қабул қилувчи жойга узатишдан иборатдир. Электр энергияни узатиш ва тақсимлашнинг ривожланган шакли электр энергетика системаси (энергосистема) ни ташкил қилади.

Энергосистема — бу электр узатиш линиялари (ЭУЛ) билан боғланган электр станциялар ва электр энергия қабул қилувчи истеъмолчиларнинг йиғиндисидир. Ягона электр энергетика системаси (ЯЭС) юқори кучланишли ЭУЛ лар билан бирлашган бир қанча электр станциялар йиғиндиси бўлиб, битта ёки бир нечта давлатлар чегарасидаги катта территорияни электр энергия билан таъминлайди.

Энергосистема халқ хўжалиги аҳамиятига эга бўлиб, истеъмолчиларни электр энергияси билан таъминлаш узлуксизлигини, турли хилдаги электр станциялар (ИЭС, ГЭС, АЭС) нинг ўзаро тежамли ишлашини оширади, электр станциялардаги зарурий резерв қувватни камайтиради.

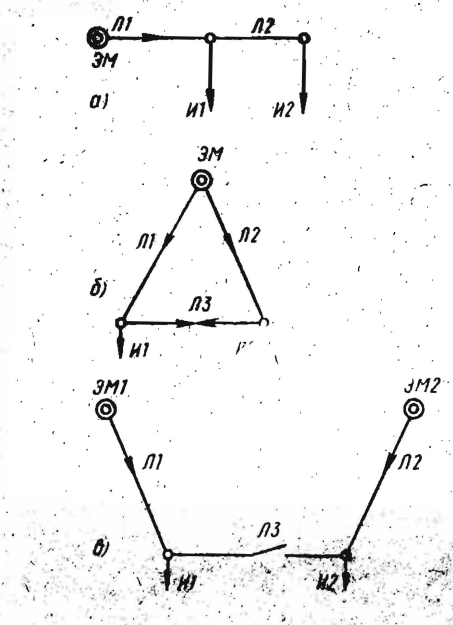
Энергосистеманинг бир қисми 14.4-расмда кўрсатилган бўлиб, унга иссиқлик, гидравлик, атом электр станциялари, пасайтирувчи район трансформатор подстанцияси (ТП), ярим ўтказгичли ўзгартиргич (ЯЎЎ) ва баъзи турдаги истеъмолчилар бирлаштирилган. Улар ўзаро бир нечта электр узатиш линиялари билан узгич ва ажратгичлар ёрдамида уланади.

Электр тармоқлари турли номинал кучланишли ўзгарувчан ва ўзгармас ток таъсирида бўлади Электр таъминоти учун, одатда, уч фазали ўзгарувчан ток тармоқларидан фойдалани-



14.4- расм.

лади. Ўзгармас ток транспорт хизматлари тармоқларида, кимё заводларида, жуда юқори кучланишли (800 — 1500 кВ) электр узатиш лииияларида ҳамда ўзгармас ток манбаига эга бўлган цехларнинг ички тармоқларида ишлатилади. Ҳар бир тармоқ ёки электр узатиш линияси ўзининг номинал кучланиши билан характерланади. Генераторлар, трансформаторлар, тармоқлар ва электр энергия истеъмолчилари 1000 В гача (паст) ва 1000 В дан ортиқ (юқори) бўлган номинал кучланишга мўл-



14.5- расм.

жалланади. Ўзгарувчан ток тармоқларида қуйидаги кучланишлар: паст кучланишли тармоқлар учун 127, 220, 380 ва 660 В ва юқори кучланишли тармоқлар учун 3,6, 10, 20, 35, 110; 150, 220, 330, 500, 750 кВ дан фойдаланилади.

Энергия истеъмолчиларининг нормал ишлаши учун тармоқдаги кучланишнинг номинал қиймати истеъмолчи кучланишининг номинал қийматидан ± 5% дан ортиқ фарқ қилмаслиги керак.

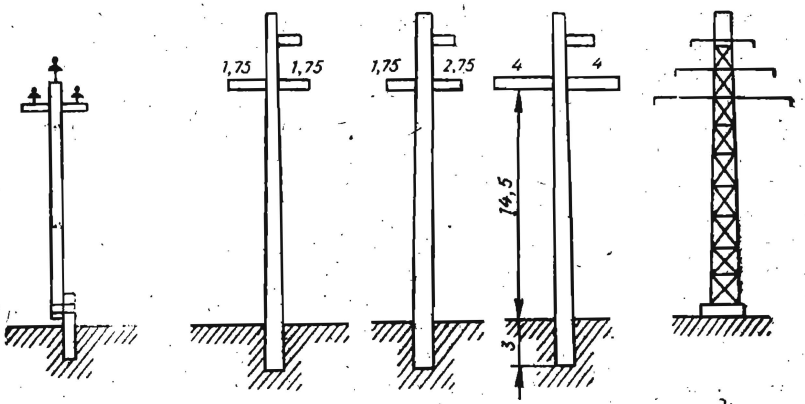
Ўзгармас ток тармоқлари учун қуйидаги кучланишлар белгиланган: 110, 220, 440, 600, 825 В. Электр хавфсизлиги мақсадларида кучланиш 100 В дан паст бўлганда қуйидаги кучланишлардан фойдаланилади: ўзгарувчан ток қурилмалари учун 12, 24, 36 ва 60 В; ўзгармас ток қурилмалари учун эса 6, 12, 24, 36, 48 ва 60 В.

Туташтириш схемаларининг тури бўйича тармоқлар: туташмаган (14.5- расм, *а*), туташган (14.5- расм, *б*) ва иккита таъминловчи манбалар орқали туташган (14.5- расм, *в*) хилларга бўлинади.

Электр тармоқлари ҳаво ва кабель линиялари, шина ўтказгич ва бошқа электр ўтказгичларидан иборат бўлиши мумкин.

Ҳаво линияси (ҲЛ) электр энергияни очиқ ҳавода жойлашган ва изоляторлар ҳамда арматуралар ёрдамида таянчларга маҳкамланган ўтказгичлар бўйича узатишни таъминлайди. ҲЛ учун, асосан, кесими 4, 6, 10 мм² (битта сим) ли ва 10 мм² дан катта (кўп симли) мис, алюминий ва пўлат-алюминий симлардан фойдаланилади. 1000 В дан юқори кучланишли ҲЛ учун кесими 35 мм² дан кичик бўлмаган алюминий ва 25 мм² дан кам бўлмаган пўлат-алюминий симлар ишлатилиши мумкин. ҲЛ учун чинни ёки шишадан ясалган штирли ёки осма изоляторлардан фойдаланилади. Штирли шиша изоляторлар 6 — 10 кВ ли тармоқларда, чинни изоляторлар эса кучланиши 35 кВ гача бўлган тармоқларда энергия узатилишини таъминлайди. Кучланиши 35 кВ дан юқори бўлган тармоқларда осма изоляторлар ишлатилади.

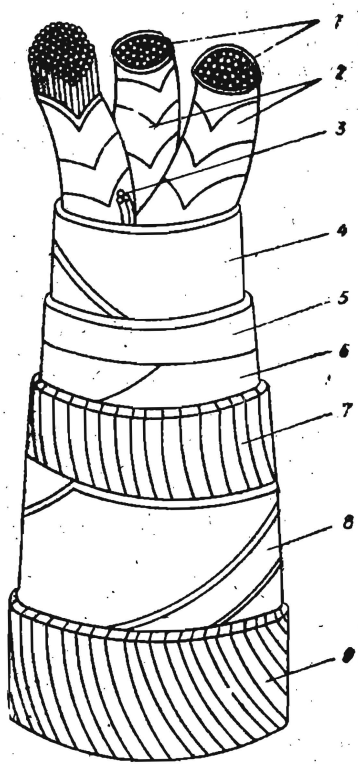
Ҳаво линияларининг таянчлари ёғочдан, металлдан ва темир-бетондан тайёрланган бўлади. Бир устунли ёғоч (10 кВ кучланишгача ишлатилади) ва темир-бетон (35 — 220 кВ та-



14.6- расм.

янчлар 14.6- расм, *а — г* ларда кўрсатилган. Юқори (330, 500, 750 кВ) кучланишли электр энергияси металл таянчлардаги тармоқлар орқали узатилади (14.6- расм, *д*).

Кабелли линиялар энергия таъминотининг электр тармоқларида кенг фойдаланилади. Кабель (уч томирли) ток ўтказувчи томирлар, изоляция ва ҳимоя қобиғидан иборат (14.7- расм). Томирлар сонига кўра куч кабеллари бир, икки, уч ва тўрт томирли қилиб тайёрланади. Томирлар *1* мис ёки алюминий симдан, изоляция *2* эса резинадан (1000 В гача кучланишли кабеллар учун) ва шимдирилган кўп қаватли қоғоздан ҳамда турли хил пластинкалардан (1000 В дан юқори кучланишли кабеллар учун) ясалади. Ҳимоя қобиғи *5* намлик, газлар ва кислоталарнинг ўтишига қаршилик қилади. У поливинилхлорид, алюминий ва қўрғошиндан ясалади. Кабелни механик таъсирлардан ҳимоя қилиш учун тасма *8* ишлатила-



14.7- расм.

ди, унинг устидан эса кабель ипи *9* ўралади.

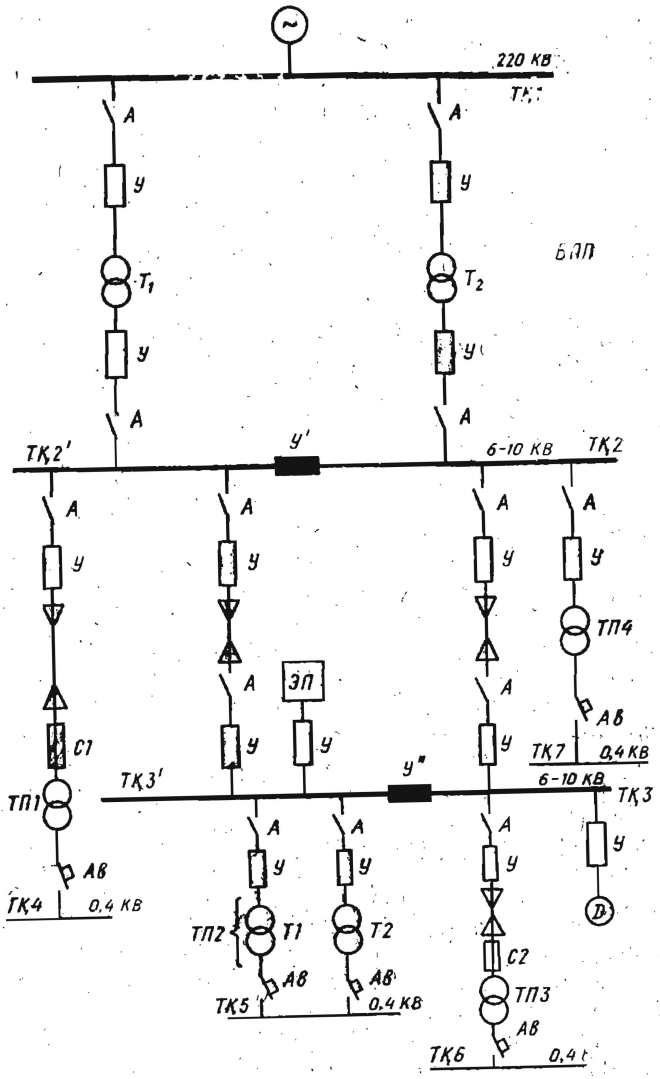
Кабеллар зовурлар, каналлар, тунеллар, блоклар, иморатлар ва иншоотларнинг деворлари бўйича ва поли остидаги ариқчаларга ётқизилади. Кабелни зовурларга ётқизиш энг содда ва арзон усулдир.

Умумий фойдаланиладиган паст кучланишли электр тармоқлари уч фазали, уч ёки тўрт симли бўлади. Уч симли тармоқдан цехдаги истеъмолчилар (уч фазали асинхрон двигателлар, қиздириш печлари ва б.) таъминланса, тўрт симли тармоқдан ёритиш лампалари таъминланади. Кичик қувватли цехлар ва маиший хизматларда фақат тўрт симли электр тармоқлари ишлатилади.

Саноат корхоналаридаги цех ички тармоқларида очиқ ва ёпиқ электр симларидан кенг фойдаланилади. Очиқ электр симлари деворлар, шиплар сирти, фермалар ва бошқа қурилиш элементлари бўйича ўтказилади. Бунда симлар ва кабеллар тросларга, изоляторларга маҳкамланади ёки трубалар, қутичалар, эгилувчан металл шланглар ичига жойлаштирилади. Ёпиқ электр симлари иморатларнинг конструктив элементлари (деворлари, поллари, тўсинлари) ичидан ўтказилади. Бунда сим ва кабеллар трубага, эгилувчан металл шлангга, қутичага, сувоқ тагига, бевосита қурилиш конструкциясига жойлаштирилади.

14.3. САНОАТ КОРХОНАЛАРИНИНГ ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ

Саноат корхоналари электр энергияни, одатда, энергосистемадан ёки ўзидаги электр станцияларидан олади. Бунда корхонанинг электр станциялари ҳам энергосистема билан бириктирилган бўлади. Йирик саноат корхонасининг энергосистемадан электр энергия билан таъминланиш схемаларидан бири 14.8-расмда кўрсатилган. Юқори кучланиш (220 кВ) ли энергия энергосистемадан ҳаво линияси ёки кабель орқали юқори кучланиш (220 кВ) ли тақсимлаш қурилмаси (ТҚ) га келади. Электр энергия тақсимлаш қурилмасидан ажратгич *А* ва узгич *У* лар орқали трансформатор T_1 ва T_2 ҳамда ажратгич ва узгичлар орқали юқори кучланиш (6 — 10 кВ) ли тақсимлаш қурилмаси ТҚ2 га келади. Трансформаторлар T_1 ва T_2 220 кВ ни 6 — 10 кВ гача пасайтиради. ТҚ2 дан 6 — 10 кВ ли юқори кучланишли энергия пасайтирувчи подстанциялар ТП1, ТП4 ва ТҚ3 орқали ТП2, ТП3 ларга ҳамда юқори кучланишли двигатель *Д* ва электр печлари ЭП га келади. Уларга таъминловчи линиялар ажратгичлар ва узгичлар орқали уланади. Пасайтирувчи трансформаторли подстанциялар (ТП1 — ТП4) 6 — 10 кВ кучланишни 0,4 кВ кучланишга айлантиради ва тақсимловчи қурилмалар (ТҚ4 — ТҚ7) га автоматлар (АВ) орқали уланади. Сақлагичлар (С1 ва С2) ТП1 ва ТП3 ларни қисқа туташув токидан ҳимоя қилади.



14.8- расм.

Трансформаторли подстанцияларда қуйидаги коммутацияловчи аппаратлар ишлатилади,

Юқори кучланишли узгич занжирни иш токида улаш ва узиш учун ҳамда уни қисқа туташув токида ва ўта юкланишда узиш учун хизмат қилади. Ёй сўндирувчи қурилма, контакт системаси, ток ўтказувчи қисмлар, корпус, изоля-

цияловчи конструкция ва ҳаракатга келтирувчи механизм узгичнинг асосий элементлари ҳисобланади. Конструкцияси ва ёй сўндириш усулига кўра узгичлар катта ҳажмдаги мойли, кичик ҳажмдаги мойли, ҳаволи, электромагнитли, элегазли, автогазли, вакуумли хилларга бўлинади. Катта ҳажмдаги мойли узгичлардаги мой ёйни сўндириш ва ток ўтказувчи қисмларни изоляциялаш учун хизмат қилади. Кам мойли узгичлардаги мой, асосан, ёйни сўндириш учун ишлатилиб, ажратилган контактлар орасида қисман изоляцияловчи муҳит бўлиб ҳам хизмат қилади. Ҳаволи узгичларда ёй сиқилган ҳаво билан сўндирилади, бунда ток ўтказувчи қисмлар чинни билан изоляцияланади. Электромагнитли узгичларда ёй магнит майдони билан сўндирилади.

Ажраткич токсиз занжирларни кучланиш остида улаш ва узиш учун ҳамда юқори кучланишли занжирларда яққол кўринадиган узилиш ҳосил қилиш учун хизмат қилади. Ажраткичлар ёй сўндириш қурилмаларига эга эмас. Шунинг учун ажраткич ёрдамида токли занжирни узиш ва нагрузкали занжирни улаш мумкин эмас. Ажраткични узишдан олдин занжир узгич ёрдамида узилган бўлиши керак.

Сақлагич электр занжирда қисқа туташув ёки ўта юкланиш бўлганида уни автоматик равишда бир марта узиш учун хизмат қилувчи аппаратдир. Занжирнинг сақлагич орқали узилиши эрувчан қўйма (сим) нинг эриши туфайли амалга ошади. Мазкур эрувчан қўйма ўзи ҳимояланаётган занжирнинг қисқа туташув ёки ўта юкланиш токи ўтганда қизиб, эрийди. Занжир узилгандан сўнг сақлагичдаги эрувчан қўйма алмаштирилиши лозим

Автомат нормал иш режимларида занжирни манбага улаш ва узиш ҳамда нормал бўлмаган режимда ишлаётган электр занжирини автоматик узувчи паст кучланишли электромагнит аппаратдир. Автоматлар бир, икки ва уч қутбли бўлади. Автоматларнинг турли хиллари бўлиб, улар 160—5000 А токларга ва кучланиши ўзгарувчан токда 660 В гача, ўзгармас токда 440 В гача мўлжаллаб ишлаб чиқарилади.

Бош пасайтирувчи подстанция (БПП) саноат корхоналари яқинига қурилади. Унинг Т1 ва Т2 трансформаторлари 3200; 5600; 7500 ва 10000 кВА қувватга эга бўлиши мумкин. Улар 220 кВ кучланишни 6 — 10 кВ кучланишга тушириб беради. Умуман, БПП трансформаторларининг бирламчи чулғамлари 35, 110, 220, 330, 500 ва 750 кВ кучланишларга мўлжалланган бўлиши мумкин. Уларнинг иккиламчи чулғамлари эса 6—10 кВ, баъзан 35 кВ га мўлжалланади.

Пасайтирувчи трансформаторли подстанция (ТП1 — ТП4) лар цехларнинг нагрузка энг кўп бўлган жойларига жойлаштирилади. Уларнинг қуввати 180, 320, 560, 750 ва 1000 кВА бўлиши мумкин. Бу қийматлар цехнинг қабул қилувчи қувватига қараб танланади. Катта қувватли ТП ларда, одатда, иккита трансформатор бўлади. Худди шундай, биринчи тоифада-

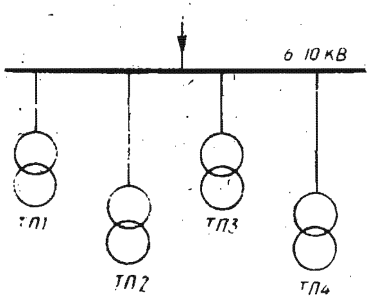
ги истеъмолчиларга ҳам иккита трансформатор ўрнатилади ва бошқа таъминловчи линия (масалан, ТП2) билан резервланади.

0,4 кВ кучланишли тақсимловчи қурилмалар (ТҚ4 — ТҚ7) га цехларнинг электр энергия истеъмолчилари уланади.

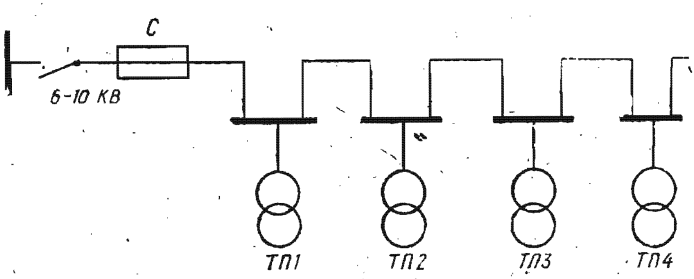
Саноат корхоналаридаги электр истеъмолчиларининг тоифаси, қабул қиладиган қуввати ва цехларнинг жойлашишига кўра бир нечта таъминлаш схемалари мавжуд. 14.9-расмда, мисол тариқасида цех ТП ларининг радиал таъминлаш схемаси келтирилган. Бу схемада ҳар бир ТП ўзининг мустақил таъминлаш линиясига эга. Радиал схема ишлатиш учун қулай ва содда ҳамда электр таъминотининг юқори ишончлилигини таъминлайди. Унинг камчилиги нисбатан кўпроқ аппаратлар ва таъминлаш симларини талаб қилишидир. 14.10-расмда эса цех ТП ларининг магистрал таъминлаш схемаси кўрсатилган. Бунда битта таъминлаш линиясига бир нечта ТП лар уланади Магистрал схема ишлатиш учун мураккаб ва ноқулай ҳамда ишончлилиги пастроқ, лекин камроқ аппаратлар ва таъминлаш симларини талаб қилади. Кўпинча ҳар иккала схеманинг комбинацияларидан ҳам фойдаланилади. Аҳолиси зич жойлашган ерларда асосан магистрал схема қўлланилиб, битта линияга 15 гача ТП лар уланади ва улар ёритиш нагрузкаларини энергия билан таъминлайди.

Мамлакатимизда ишлаб чиқарилган электр энергиянинг 80% дан кўпроғини 1000 В гача кучланишдаги истеъмолчилар қабул қилади. Бундай истеъмолчиларга завод ва фабрикалардаги электр двигателлари, электролиз ванналари, электр печлари, электр кавшарлаш аппаратлари, конвейер, кўтарма-транспорт воситалари ва бошқа қурилмалар киради. Истеъмолчиларнинг каттагина қисмини ёритиш лампалари ташкил қилади.

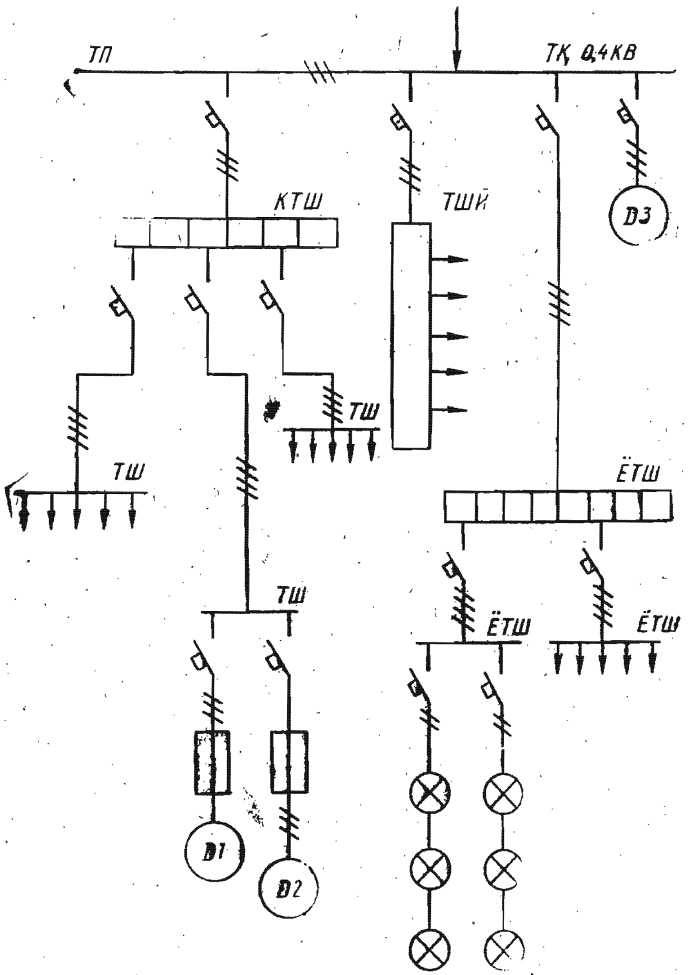
Одатда цехларнинг технологик ва ёритиш нагрузкалари битта ТП нинг паст кучланишли (380/220 В ли) тақсимлаш қу



14.9- расм.



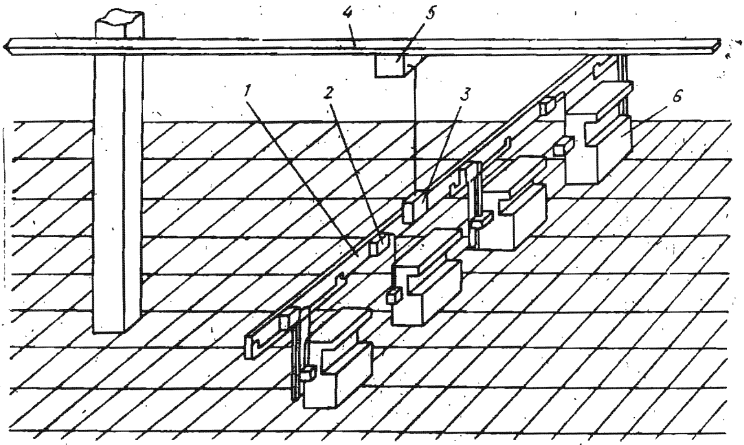
14.10- расм.



14.11- расм.

рилмасидан таъминланади (14.11- расм). Агар катта токли нагрузка (электр двигатель) тармоқ кучланишининг катта тебранишига (ўзгаришига) сабаб бўлса, бундай ҳолларда ёритиш нагрузкаси айрим ТП дан таъминланади.

ТП нинг паст кучланиш (0,4 кВ) ли тақсимлаш қурилмасининг шиналарига электр истеъмолчиларини бириктириш учун, электр тармоғи автоматлар орқали бош куч тақсимловчи шчит (КТШ) га, тақсимловчи йиғма шина (ТЙШ) га, бош ёритиш тақсимловчи шчит (ЁТШ) га ва катта қувватли истеъмолчилар (ДЗ) га уланади. Автоматлар ўрнида сақлагич ва



14.12- расм.

рубильниклар ҳам ишлатилади. Катта токли ва ёритиш (кичик токли) истеъмолчиларни таъминлаш учун бош шчитлар турли хилда бўлади. Катта токли шчитни таъминлаш учун, одатда, уч томирли кабель (учта сим) ишлатилади, чунки катта токли нагрузка текис бўлади. Ёритиш шчитини таъминлаш учун тўрт томирли кабель (учта линия ва битта нейтрал сим) ишлатилади, чунки ёритиш нагрузкаси нотекис бўлади.

Бош тақсимловчи шчитлар (ҚТШ ва ЁТШ) дан электр энергия катта токни тақсимловчи шкаф ТШ га ва ЁТШ га келади. Улардан электр энергия автоматлар ёки сақлагич, рубильник ва пакетниклар орқали электр двигателларга, ёритиш лампаларига ва бошқа электр истеъмолчиларига узатилади.

Тақсимлаш шкафлари электр энергия билан таъминланувчи электр асбоб-ускуналари ва жиҳозлари яқинидаги деворга ёки устунга маҳкамланади. Шкафдан истеъмолчиларга борадиган таъминлаш симлари полга ётқизилган пўлат найларга жойлаштирилган изоляцияланган сим ёки кабелдан ибораг бўлади.

Ҳозирги вақтда машинасозлик заводларининг дастгоҳларини, бир хил турдаги катта қувватли иш механизмларининг двигателларини ва шу кабиларни электр энергия билан таъминлаш учун шинали ўтказгичлар ишлатилади (14.12- расм). Шинали ўтказгичларнинг шинаси пўлат, алюминий ёки унинг қотишмаси мисдан уч ёки тўрт симли қилиб ясалади. Бунда тўртинчи сим нейтрал сим вазифасини бажаради.

14.12- расмдаги магистрал *4* ва тақсимловчи шина *1* ўтказгичлар бўлиб, уларда 5 — 15 тадан тармоқлатувчи қутича *2* ва *5* лар бўлади. Магистрал шина ўтказгич цех узунлиги бўйича устунларга 2,5 м баландликда, тақсимловчи шина ўтказгич эса цех эни бўйича металл конструкцияларга 1,0 м баланд-

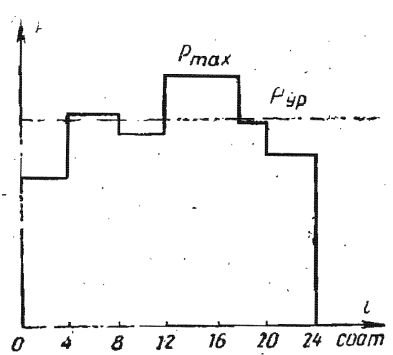
ликда маҳкамланади. Тармоқлатувчи қутича *5* га тақсимловчи шина ўтказгичнинг кириш қутичаси *3* уланади. Тармоқлатувчи қутича *2* га эса дастгоҳлар ва цехнинг бошқа иш механизмлари уланади.

14.4. ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ СИСТЕМАСИНИНГ ҲИСОБИЙ ҚУВВАТИ

Истеъмолчиларни таъминловчи манба билан бириктирувчи симларнинг кўндаланг кесимини, трансформаторларнинг ва бошқа электр асбоб-ускуналари ва жиҳозларининг қувватини тўғри танлаш учун таъминловчи манба электр таъминотининг ҳисобий қувватини, яъни жоиз максимал электр қувватини аниқлаш керак. Электр истеъмолчиларининг, тақсимлаш қурилмаларининг, ТП ва бошқаларнинг ҳисобий қуввати уларнинг нагрузка графиги ёки номинал қуввати асосида аниқланади. Ҳар бир истеъмолчининг электр нагрузкаси, бинобарин, улар ҳосил қилган энергосистемадаги жами нагрузка ҳам узлуксиз ўзгариб туради. Буни нагрузка графигида, яъни электр қурилмалар қуввати (токи) нинг вақт бўйича ўзгариш диаграммасида акс эттирилади.

Қайд қилинадиган параметрларнинг турига қараб графиклар электр қурилманинг актив, реактив ва тўла қуввати ҳамда токнинг графикларига бўлинади. Одатда, графиклар нагрузканинг маълум вақт оралиғидаги ўзгаришини кўрсатади. Улар шу жиҳати бўйича суткали, ойли, йилли ва ҳоказо графикларга бўлинади.

Ишчи механизмларини лойиҳалаш вақтида уларнинг перспектив нагрузка графиги келиб чиқади ва ҳар қайси турдаги иш механизмларнинг маълум вақт оралиғида қабул қилаётган қувват ёки токларининг қийматларини қўшиб бориш орқали тақсимлаш шкафлари ва қурилмалари, трансформаторли подстанция ва электр станцияларининг нагрузка графиклари келиб чиқади. Мисол тариқасида 14.13-расмда ТП нинг паст кучланиш шиналаридан ёки бош тақсимлаш қурилмасидан истеъмол қилинаётган актив қувватнинг суткалик графиги келтирилган. Графикдан истеъмолчиларнинг ҳисобий, яъни қабул қилинаётган максимал қуввати P_{max} ни, ўртача қувват $P_{ўр}$ ни, эквивалент қувватни ва улар қабул қилган электр энергиясини аниқлаш мумкин.



14.13- расм.

Актив қувват графигининг синиқ чизиқлари билан чегараланган юза қийматдан жиҳатдан

кўрилаётган даврда электр станцияда ҳосил бўлган ёки истеъмолчи қабул қилган энергиясига тенг:

$$W_g = \sum P_i t_i,$$

бунда P_i — графикнинг i- поғонасидаги қувват; t_i — поғонанинг давомийлиги.

Қурилманинг кўрилаётган давр (сутка, ой, йил) даги ўртача қуввати:

$$P_{ўр} = \frac{W_g}{T}$$

бунда T — кўрилаётган даврнинг давомийлиги; W_g — кўрилаётган даврга тўғри келган электр энергия.

Ишлаётган электр станцияси, трансформаторли подстанция, тақсимловчи шиналар ва истеъмолчиларнинг ҳақиқий графиги уларнинг тегишли актив қуввати ёки токининг вақт бўйича ўзгаришини қайд қилувчи асбоблар ёрдамида олиниши мумкин.

Ҳар бир истеъмолчининг ҳисобий қуввати унинг номинал (ёки белгиланган) қуввати $P_{ном}$ бўйича аниқланади. Двигателнинг номинал қуввати унинг ўқида ҳосил қилинадиган механик қувват эканлигини ҳисобга олсак, у ҳолда двигателнинг тармоқдан қабул қиладиган электр қуввати, яъни ҳисобий қуввати қуйидагича аниқланади:

$$P_х = \frac{P_{ном}}{\eta_{дв}},$$

бу ерда $\eta_{дв}$ — двигаталнинг ФИК.

Ўзгарувчан ток двигателининг ҳисобий реактив ва тўла қувватлари қуйидагича аниқланади:

$$Q_х = P_х \operatorname{tg} \varphi;\ S_х = \sqrt{P_х^2 + Q_х^2} = P_х/\cos \varphi,$$

бу ерда $\cos \varphi$ — двигателнинг номинал қувват коэффициенти.

Агар электр тармоғига бир неча истеъмолчилар уланган бўлса, электр тармоғининг ҳисобий (максимал) қуввати шу истеъмолчилар ҳисобий қувватларининг йиғиндисига тенг бўлади.

Ҳисобий қувватни аниқлаш учун, авваламбор, электр истеъмолчиларнинг б е л г и л а н г а н қ у в в а т и, яъни уларнинг номинал қувватлари йиғиндиси тўғрисидаги маълумотга эга бўлиш керак.

Актив нагрузка учун белгиланган қувват:

$$P_{бел} = \sum P_{ном}.$$

Электр тармоғининг у л а н г а н қуввати

$$P_{улан} = \sum P_{ном}/\eta_{ўр.\ ист.}$$

бунда $\eta_{ўр.\ ист.}$ — номинал нагрузкада истеъмолчилар (электр двигатели ва бошқа қурилмалар) нинг ўртача ФИК.

Истеъмолчиларнинг подстанция шиналарига уланган қуввати

$$P_{улан} = \frac{\sum P_{ном}}{\eta_{ўр.\ ист} \cdot \eta_{ўр.\ тар}},$$

бунда $\eta_{ўр.\ тар}$ — паст кучланишли тармоқнинг номинал нагрузкадаги ўртача ФИК.

Одатда, эксплуатация вақтида истеъмолчиларнинг ҳақиқий нагрузкаси белгиланган қувватлар йиғиндисидан кичик бўлади. Бу фарқ бир вақтлилик $K_б$ ва юкланиш $K_ю$ (бирдан кичик) коэффициентлари орқали ҳисобга олинади. Бу вақтда истеъмолчилар нагрузкаси ҳисобий қувватининг ифодаси қуйидагича бўлади:

$$P_х = \frac{K_б K_ю}{\eta_{ўр.\ ист} \cdot \eta_{ўр.\ тар}} \sum P_{ном} = K_{эҳт} \sum P_н \qquad (14.1)$$

бунда $K_{эҳт}$ — кўрилаётган истеъмолчилар тури учун эҳтиёж коэффициенти.

(14.1) формула орқали аниқланган ҳисобий (максимал) қувват йил давомида энг катта қиймат ҳисобланиб, одатда, қиш давридаги максимал нагрузкага тўғри келади.

Эҳтиёж коэффициенти бир турдаги истеъмолчиларни эксплуатация қилиш вақтида тажриба асосида аниқланади ва маълумотномада келтирилади. Саноат истеъмолчиларининг баъзилари учун эҳтиёж коэффициентининг ўртача қийматлари 8-жадвалда келтирилган.

8-жадвал

Эҳтиёж коэффициентлари

Истеъмолчи	Эҳтиёж коэффициентининг ўртача қиймати
Қора металлургия:	
домна цехи	0,6
мартен цехи	0,3
пўлатни узлуксиз қуйиш қурилмаси	0,7
прокат станлари	0,4 — 0,6
машинасозлик	0,2 — 0,6
химия саноати	0,7 — 0,9
тўқимачилик	0,7 — 0,85
Вентиляция ва кондиционер қурилмалари	0,9

Агар намунавий графиклардан истеъмолчилар нагрузкасининг вақт бўйича ўзгариши аниқланса, ҳисобий — максимал қувват асосида истеъмолчиларнинг нагрузка графигини қуриш мумкин. Нагрузка графигидан эса истеъмолчиларнинг ўртача

ва эквивалент қувватларини ҳамда қабул қилган энергияни аниқлаш мумкин. Шу усулда корхонанинг бир турдаги истеъмолчиларига тегишли ҳисобий актив ва реактив қувватлар аниқланади. Сўнгра бу гуруҳларнинг актив ва реактив қувватларини алоҳида-алоҳида қўшиб, корхонанинг жами ҳисобий актив ва реактив қувватлари аниқланади. Корхонанинг тўла ҳисобий қуввати

$$S_{кор} = \sqrt{P_{кор}^2 + Q_{кор}^2},$$

бу ерда $P_{кор}$, $Q_{кор}$ — мос ҳолда корхонанинг ҳисобий актив ва реактив қувватлари.

Корхонанинг ўртача қувват коэффициенти

$$\cos \varphi_{кор} = P_{хор}/S_{кор}.$$

Лойиҳалашда ёритиш нагрузкасининг ҳисобий қуввати, одатда, солиштирма ёритиш қуввати бўйича аниқланади. Ёритиш асбоблари қувватининг 1 м² юзага тўғри келган қиймати *солиштирма ёритиш қуввати* деб аталади. Солиштирма ёритиш қуввати ёритилганлик нормасига, ёруғлик манбаи (чўғланиш лампаси ёки газ-разрядли лампа) турига, хонанинг ўлчамларига боғлиқ. Бу маълумотлар тегишли адабиётда келтирилади.

Корхона, цех ва айрим гуруҳдаги истеъмолчиларнинг ҳисобий қувватларини тўғри аниқлаш барча электр қурилмаларининг тежамкорлиги, электр таъминотининг ишончлилиги ва электр энергиясининг сифатига боғлиқ бўлади. Агар ҳисобий қувват ошириб олинган бўлса, у ҳолда электр жиҳозларининг қуввати оширилган ҳолда танланади ва кўндаланг кесими каттароқ сим ва кабеллар ўрнатилади. Агар ҳисобий қувват камайтириб олинган бўлса, у ҳолда ҳамма электр жиҳозлар ўта юкланиш билан ишлайди, натижада улар тез емирилиши ёки бузилиши мумкин. Бу эса электр таъминотида узилиш бўлишига олиб келади.

14.5. ЎТКАЗГИЧНИНГ КЎНДАЛАНГ КЕСИМИНИ ТАНЛАШ

Симлар, кабеллар ва шиналарнинг кесимлари қуйидагича танланади:

1) қизиш шароитлари асосида узоқ муддатли энг катта жоиз нагрузка токи бўйича;

2) кучланиш исрофи бўйича;

3) тежамли ток зичлиги бўйича.

Узоқ муддатли энг катта жоиз нагрузка токи бўйича симларнинг кўндаланг кесимини танлаш. Электр токи симдан оқиб ўтганда уни маълум даражада қиздиради. Симнинг қизиш температураси ундан ажралиб чиққан электр энергияси (J^2rt) миқдори ҳамда иссиқликнинг сим сиртидан атроф-муҳитга узатилиш шароитларига боғлиқ. Агар симдан ажра-

либ чиққан иссиқлик миқдори симдан атроф-муҳитга тарқалаётган иссиқлик миқдорига тенг бўлса, сим ҳарорати ўзгармас бўлади. Изоляцияли симлар учун жоиз температура чегараси изоляция хусусиятлари билан, изоляциясиз очиқ симларда эса, асосан, контактли туташмаларнинг ишончли ишлаши билан аниқланади. Агар изоляцияли сим ва кабеллар жоиз температурадан юқори температурада узоқ муддат ишлатилса, уларнинг изоляция ва механик хусусиятларини тезда йўқотади ҳамда туташтирилган симлардаги контактларнинг мустаҳкамлиги камаяди.

Симларнинг қизишидаги узоқ муддатли жоиз температура қиймати чегаравий қийматлар (резина изоляцияли симлар ва кабеллар учун 85°С, қоғоз изоляцияли кабеллар учун 80°С, очиқ симлар ва шиналар учун 70°С) дан ошиши мумкин эмас. Симнинг кўндаланг кесими шундай танланиши керакки, бунда симнинг температураси жоиз температурадан юқори бўлмасин. Турли маркадаги очиқ ва изоляцияли симларнинг кўндаланг кесими (q_j) учун энг катта жоиз токларнинг қийматлари маълумотномаларда жадвал шаклида берилади. Бу жадваллар хона ҳарорати (25°С) учун ва чуқурлиги 0,7 м бўлган зовурга бир қатор қилиб кабель ётқизилган ҳол учун тузилади. Агар атроф-муҳит ҳарорати жадвалда кўрсатилганлардан фарқ қилса, жоиз ток миқдорига тегишлича тузатиш киритилади.

Симнинг кўндаланг кесими q_j ни танлаш ҳисобий ток қиймати асосида олиб борилади. Сим шундай кесимда танланиши керакки, бунда симнинг жоиз токи ($J_ж$) истеъмолчиларнинг ҳисобий токи $I_х$ дан катта ёки унга тенг бўлсин:

$$I_ж \geqslant I_х. \qquad (14.2)$$

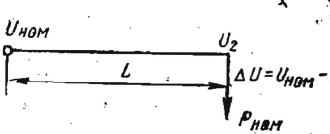
Агар истеъмолчи бир фазали икки симли тармоқнинг охирига уланган бўлса (14.14-расм), ҳисобий ток қуйидагича топилади:

$$I_х = \frac{P_{ном}}{U_{ном} \cos\varphi \eta_{ном}}, \qquad (14.3)$$

бу ерда $P_{ном}$; $U_{ном}$; $\cos\varphi$; $\eta_{ном}$ — мос ҳолда истеъмолчининг номинал қуввати, кучланиши, қувват коэффициенти ва ФИК.

Агар истеъмолчи уч фазали уч симли тармоқнинг охирига уланган бўлса, ҳисобий ток қуйидагича аниқланади.

$$I_х = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3}\, U_{ном} \cos\varphi \eta_{ном}}. \qquad (14.4)$$



14.14-расм.

Агар тақсимловчи шчитдан бир нечта истеъмолчилар таъминланса, у ҳолда таъминловчи линиянинг ҳисобий токи қуйидагича топилади:

$$I_{\text{х}} = \frac{K_{\text{эхт}} \sum P_{\text{ном}}}{\sqrt{3}\, U_{\text{ном}} \cos\varphi}, \qquad (14.5)$$

бу ерда $K_{\text{эхт}}$ — кўрилаётган истеъмолчилар тури учун эҳтиёж коэффициенти.

Бир нечта истеъмолчилар уланган тақсимланган электр тармоғини ҳисоблашда жуда юқори аниқлик талаб этилмайди (14.15-расм). Масалан, кучланиш $U_{\text{ном}}$, U_1, U_2 ва U_3 ларнинг векторлари битта фазада, деб фараз қилинади ва истеъмолчилар токлари (I'_1, I'_2, I'_3) ни аниқлашда кучланишлар ўзгариши ҳисобга олинмай, истеъмолчиларнинг номинал кучланиши ва қувватларидан фойдаланилади:

$$I'_1 = \frac{P_{1\,\text{ном}}}{\sqrt{3}\, U_{\text{ном}} \cos\varphi_{1\,\text{ном}}\, \eta_{1\,\text{ном}}};$$

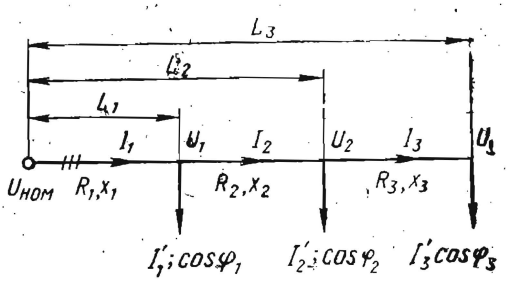
$$I'_2 = \frac{P_{2\,\text{ном}}}{\sqrt{3}\, U_{\text{ном}} \cos\varphi_{2\,\text{ном}}\, \eta_{2\,\text{ном}}}.$$

Ҳисобий ток истеъмолчиларнинг бир вақтлилик, юкланиш ва эҳтиёж коэффициентларини ҳисобга олган ҳолда аниқланади.

Симларнинг кўндаланг кесимини кучланиш исрофи бўйича танлаш. Цех тармоқларида кучланиш исрофи маълум миқдорда бўлиши керак, чунки кучланиш пасайганда ёритиш асбобларида ёруғлик оқими камаяди ва иш жойининг ёритилганлиги ёмонлашади. Двигателларга келаётган кучланиш пасайганда уларнинг максимал айлантириш моменти камаяди. Синхрон двигателларда максимал айлантириш моменти кучланишга чизиқли боғланган, асинхрон двигателларда эса кучланишнинг квадратига мутаносибдир.

Турли электр энергия истеъмолчилари кучланишининг жоиз ўзгариш чегараси қийматлари ГОСТ 13109—67 га мувофиқ белгиланади. Улар ёритиш асбоблари учун номинал кучланишнинг —2,5% идан +5% гача, двигателларда ва аппаратларда —5 дан +10% гача ва бошқа истеъмолчиларда эса ±5% гача оралиқда бўлади.

14.14-расмда кўрсатилган занжир қисми учун кучланиш исрофи $\Delta u = I_{\text{х}}(R\cos\varphi + X\sin\varphi)$ га тенг бўлади. Бу ерда R, X — линиянинг актив ва индуктив қаршиликлари. Кучланиш 1000 В дан кичик бўлганда $X \approx 0$ деб фараз қилиш мумкин. Бунда кучланиш исрофини



14.15-расм.

қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$\Delta u = I_x R \cos \varphi. \qquad (14.6)$$

Икки симли тармоқ учун актив қаршилик қуйидагича топилади:

$$R = 2L/(\gamma q), \qquad (14.7)$$

бу ерда L — линиянинг узунлиги, м; q — симнинг кўндаланг кесими, мм²; γ — симнинг солиштирма ўтказувчанлиги, м/(Ом × × мм²).

(14.6) формулага (14.3) ва (14.7) формулаларни қўйсак, қуйидагига эга бўламиз:

$$\Delta u = 2P_{ном} L/(\gamma q U_{ном} \eta_{ном}). \qquad (14.8)$$

Агар жоиз кучланиш исрофини K билан белгиласак, кучланиш исрофи қуйидагига тенг бўлади:

$$\Delta u = KU_{ном}/100\%. \qquad (14.9)$$

Бунда кўрилаётган икки симли электр тармоғидаги кучланиш исрофи $K\%$ дан ортиқ бўлмаслигини таъминлаш учун симларнинг кўндаланг кесими қуйидагига тенг бўлиши керак:

$$q_{\Delta u} = \frac{200 P_{ном} L}{K \gamma U^2_{ном} \eta_{ном}}. \qquad (14.10)$$

Симнинг шундай стандарт кесими q танланадики, у топилган иккита кесим q_1 ва $q_{\Delta u}$ нинг ҳар биридан катта ёки уларга тенг бўлсин. Шунингдек, танланган симнинг кўндаланг кесими алюминий симлар учун 2,5 мм² дан, мис симлар учун 0,5 ÷ 1 мм² дан катта бўлиши керак. Ана шундагина симларнинг механик мустаҳкамлиги таъминланади.

Агар истеъмолчилар уч фазали электр тармоғининг охирига уланган ва индуктивлик кичиклиги туфайли ҳисобга олинмаса, у ҳолда уч фазали тармоқдаги кучланиш исрофини қуйидаги формуладан аниқлаш мумкин:

$$\Delta u = \sqrt{3}\, I_x R \cos \varphi \qquad (14.11)$$

бу ерда R — линиянинг актив қаршилиги, Ом; $\cos \varphi$ — истеъмолчининг номинал қувват коэффициенти.

Уч фазали истеъмолчи уч симли электр тармоғининг охирига уланган ҳол учун ҳар бир симнинг кўндаланг кесими қуйидагича бўлиши керак:

$$q_{\Delta u} = \frac{100 P_{ном} L}{K \gamma U^2_{л} \eta_{ном}}. \qquad (14.12)$$

(14.10) формуладаги 200 рақами ўрнига (14.12) формулада 100 қўйилганлигига сабаб уч фазали тармоқда токнинг қайтиши учун бошқа фазаларнинг сими хизмат қилишидадир.

Агар истеъмолчилар бир фазали икки симли электр тармоғига тақсимлаб уланган бўлса (14.15-расм), симларнинг кўндаланг кесими қуйидагича аниқланади.

$$q_{\Delta u} \geqslant \frac{200 \sum_{i=1}^{n} P_{xi} L_i}{K \gamma U_{\phi}^2}, \qquad (14.13)$$

бу ерда $P_{xi} - i$-номерли бир фазали истеъмолчининг ҳисобий қуввати, Вт; $L_i - i$-номерли истеъмолчи билан таъминловчи манба орасидаги масофа, U_{ϕ} — манбанинг номинал фаза кучланиши, В.

Агар истеъмолчилар уч фазали электр тармоғига тақсимлаб уланган (14.15-расм) ва индуктив қаршилик ҳисобга олинмаган бўлса, у ҳолда уч фазали тармоқдаги кучланиш исрофини қуйидагича аниқлаш мумкин:

битта фазаси учун

$$\Delta u_{\phi} = I_3 R_3 \cos \varphi_3 + I_2 R_2 \cos \varphi_2 + I_1 R_1 \cos \varphi_1$$

ёки умумий ҳолда

$$\Delta u_{\phi} = \sum IR \cos \varphi.$$

Уч фазали системада фазалар орасидаги кучланиш исрофи:

$$\Delta u_{л} = \sqrt{3}\, \Delta u_{\phi}.$$

Агар уч фазали истеъмолчилар уч симли электр тармоғига тақсимлаб уланган бўлса, симлар кесими қуйидагича бўлади:

$$q_{\Delta u} = \frac{100 \sum_{i=1}^{n} P_{xi} L_i}{K \gamma U_{л}^2}, \qquad (14.14)$$

бу ерда $P_{xi} - i$-номерли уч фазали истеъмолчининг ҳисобий қуввати, Вт; $U_{л}$ — линия кучланиши, В.

Симнинг шундай стандарт кесими (q) ни танлаш керакки, у топилган кесим ($q_{\Delta u}$) дан катта ёки унга тенг бўлсин.

14.6. ЭЛЕКТР ХАВФСИЗЛИГИ АСОСЛАРИ

Электр энергиясидан барча соҳаларда кенг фойдаланилиши туфайли одамлар кундалик турмушда турли хил электр қурилмалари билан алоқада бўлади. Электр қурилмаларининг носозлиги ва уларни ишлатиш қоидаларининг бузилиши сабабли улардаги нисбатан кичик кучланиш ҳам одам соғлигига зарар келтириши, ҳатто ҳаётига хавф туғдириши мумкин. Одамнинг электр токи билан шикастланиш хавфини камайтириш учун электр қурилмаларини хавфсиз ишлатиш қоидаларини билиш керак.

Одамнинг электр токи билан шикастланиши электр жароҳати ва электр (ток) уришга фарқланади. Электр жароҳатига куйиш, электр ёй билан кўзнинг зарарланиши, электр токи билан шикастланиши оқибатида одамнинг хушини йўқотиши натижасида йиқилиши туфайли вужудга келган синиш, чиқиш ва шунга ўхшаш механик шикастланишлар киради.

Одам танасидан электр токи ўтганда уни қиздиради. Куйланиш катта ва одам танасининг электр қаршилиги қанча кичик бўлса, унинг танасидан ўтувчи ток шунча катта бўлади. Бу эса одам танасини кучли қиздиради ва оқибатда ундаги ҳужайра тўқималари қуяди. Куйиш қанча чуқур ва катта бўлса, уни даволаш шунча узоқ давом этади ва, ҳатто, кўпинча даволаб ҳам бўлмаслиги мумкин.

Электр токи урганда одамнинг ички азолари шикастланади. Электр токи уриши унча катта бўлмаган 25 — 100 мА токларда содир бўлади. 10 мА гача бўлган ток инсон ҳаёти учун хавфсиз бўлиб, ёқимсиз сезги ҳосил қилади. Агар ток 10 — 25 мА дан ошса, қўл мускуллари тортишиб қолиши мумкин. Натижада одам ўзини ток ўтказувчи қисмдан мустақил ажратиб ололмайди. Бундай ток 15 — 20 секунддан кўп таъсир қилса, одамнинг нафас олиши қийинлашиб, буткул тўхташи мумкин. Агар ток 100 мА ва ундан кўп бўлса одамни дарҳол ўлдиради.

Одам танасидан ўтувчи ток миқдори тегиб кетиш кучланиши ва ток частотасига ҳамда одам танасининг электр қаршилигига боғлиқ. Одам танасининг электр қаршилиги унинг кайфиятига, вазнига, жисмоний чиниққанлигига, терисининг ҳолати ва ҳоказоларга боғлиқ. Одам териси қуруқ ва шикастланмаган бўлганда унинг электр қаршилиги 10 — 100 кОм атрофида бўлади. Бундай терининг қалинлиги 0,05 — 0,2 мм бўлади. Одамнинг электр қаршилиги зах, чангли муҳитда ва атроф-муҳит температураси юқори бўлганда (чунки бунда тана тер билан қопланади) энг кичик қийматга эришади. Одам танасидаги ҳужайра тўқималарининг электр қаршилиги 800 — — 1000 Ом дан ошмайди. Шунинг учун хавфсиз кучланишнинг қандайдир миқдори тўғрисида гапириш жуда қийин. Электр қурилмаларни ишлатишдаги кўп йиллик тажриба шуни кўрсатдики, энг ёмон шароитли хоналар учун 12 В дан кичик ҳамда қуруқ, тоза хоналар учун 36 В дан кичик кучланишларни хавфсиз кучланишлар деб ҳисоблаш мумкин. Шунингдек, қуруқ хоналарда одам танасининг электр қаршилиги бир неча ўн минг Омга етади, шунинг учун бу ҳолда юз вольт атрофидаги кучланиш ҳам хавфсиз бўлиши мумкин. Одам танаси орқали ўтувчи токни олдиндан аниқлаш мумкин. Шу сабабли, амалда хавфсиз шарглар чегарасини белгилашда „хавфсиз ток“ га эмас, балки „жоиз кучланиш“ га мўлжал қилинади. Электр қурилмаларнинг қоидаларида атроф-муҳит шароитларига қараб қуйидаги жоиз кучланишлар белгиланган: 65 В; 36 В; 12 В. 36 ва 12 В ли электр қурилмалар

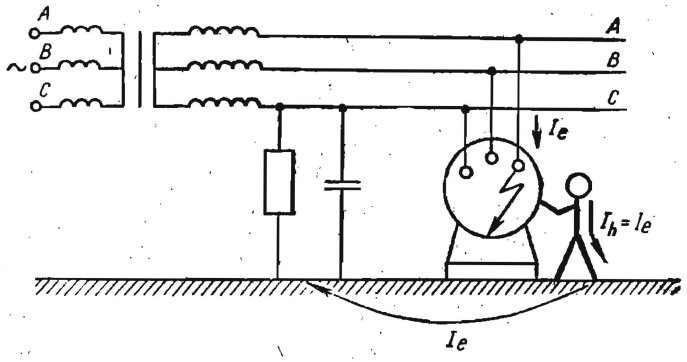
(кўчма ёритиш лампалари ва электрлаштирилган қўл асбоблари) кичик кучланишли қурилмаларга киради. 65 В ли электр қурилмалар паст кучланишли қурилмаларга киради. Агар электр қурилмаларнинг кучланиши ерга ёки электр машиналар ҳамда аппаратларнинг асосига нисбатан олганда 250 В дан кичик бўлса, бундай қурилмалар паст кучланишли электр қурилмалар деб аталади. Агар электр қурилмаларнинг кучланиши ерга ёки электр машиналар ҳамда аппаратларнинг асосига нисбатан олганда 250 В дан катта бўлса, улар юқори кучланишли қурилмалар деб аталади ва уларга юқори кучланишли қурилмаларни ишлатиш қоидалари татбиқ этилади.

Хавфсизлик техникасида кўзда тутилган қатор ҳимоя воситалари ва тадбирларини қўллаш электр қурилмаларининг хавфсиз ишлашини таъминлайди. Бундай тадбирларга ҳамма ток ўтказувчи қисмларни махсус ҳимоя тўсиқлари ёрдамида ҳимоялаш, электр қурилмаларини ҳимояли ерга ёки нолга улаш воситасига бириктириш, ҳимояловчи тагликлар, резина қалиш, қўлқоп ва бошқа ҳимояловчи воситаларни қўллаш, камайтирилган кучланишдан фойдаланиш ва ҳоказолар киради.

Одам танаси металл сиртига тегиб турадиган қурилмалар (буғ қозонлари) ҳамда жуда хавфли хоналарда ишлатиладиган электр қурилмалар кичик кучланишга, яъни 12 В дан юқори бўлмаган кучланишга мўлжалланади. Кичик кучланиш манбаи бўлиб, одатда, трансформаторлар (бунда автотрансформатор ишлатиш ман қилинади), гальваник элементлар, аккумуляторлар ва тўғрилагичлар хизмат қилади.

Саноат корхоналаридаги қурилмаларнинг ток ўтказувчи барча қисмлари яхшилаб изоляцияланади ёки ток ўтказмайдиган материал билан қопланади. Шу туфайли одам танасининг ток ўтказувчи қисмларга тегиб кетиш эҳтимоли бартараф қилинади. Корхонанинг уч фазали электр тармоғи уч симли ва тўрт симли бўлиб, электр энергияни трансформаторлардан олади Уч симли тармоқда трансформаторнинг нейтрали изоляцияланади (ер билан уланмайди). Тўрт симли тармоқда трансформатор нейтрали нейтрал (ноль) сим билан бириктирилган ва ер билан мустаҳкам уланган бўлади.

Электр қурилмаларни ерга ва нолга улаш. Электр қурилмалар нормал ҳолда кучланиш таъсирида бўлмайди, аммо изоляциянинг шикастланишида кучланиш таъсирида бўлиши мумкин бўлган барча қисмларини олдиндан электр жиҳатдан атайлаб ерга бириктириш бу ҳимояли ерга улаш деб аталади. Ҳимояли ерга улаш тасодифан кучланиш таъсири остида бўлиб қолган электр қурилмаларнинг металли қисмларига одамлар тегиб кетган ҳолларда уларни электр токи билан шикастланишдан сақлайди. Ҳимояли ерга улашнинг ишлаш принципи электр қурилманинг очилиб қолган ток ўтказувчи қисмининг корпусга уланиб қолиши ва бошқа сабаблар туфайли вужудга келувчи тегиб кетиш ва қадамдаги кучланишларнинг хавфсиз қийматларгача пасайишига асосланган.



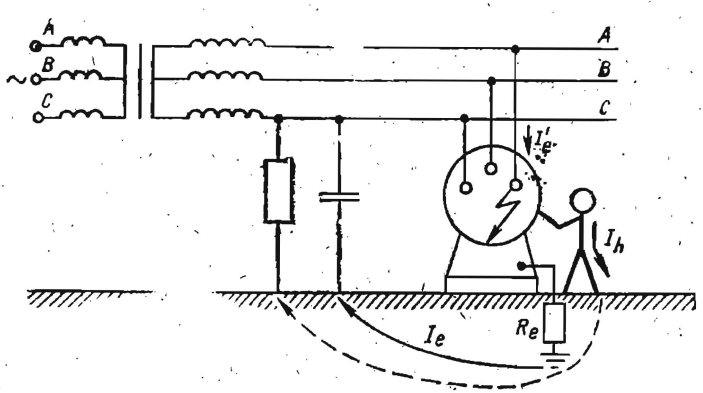
14.16-расм

Ерга уланмаган корпусга одам текканда (14.16-расм) ундан ерга ўтувчи ток I_e тўлиқ ўтади, яъни $I_h = I_e$ бўлади. Бу ҳол одам қурилма фазаларидан бирининг ток ўтказувчи қисмларига теккани билан баробардир.

Ерга уланган корпус таъминловчи фазалардан бири билан контактга эга бўлган ҳол учун унга одамнинг тегиб кетиши 14.17-расмда кўрсатилган. Ерга ўтувчи I'_e токнинг бир қисми I_h одам танаси орқали, аммо унинг катта қисми I_e ерга улаш қурилмаси орқали ўтади. Бошқача айтганда, корпус ерга улагичга уланганда у $U_e = I_e R$ кучланиш таъсирида бўлади.

Агар ерга улагич қаршилиги камайиши билан ерга ўтувчи ток кўпаймаса, у ҳолда ҳимояли ерга улаш самарали бўлади. Бу ҳол нейтрали изоляцияланган тармоқларда содир бўлади. Бунда фазалардан бири ерга мустаҳкам уланганда ёки ерга уланган корпусга текканда ток кучи ерга улагичнинг электр ўтказувчанлиги (ёки қаршилиги) га боғлиқ бўлмайди.

Кучланиши 1000 В гача бўлган, нейтрали ерга уланган тармоқларда ҳимояли ерга улаш самарали эмас, чунки фаза-



14.17-расм.

лардан бирини ерга мустаҳкам уланганда ток ерга улагичнинг қаршилигига боғлиқ бўлмайди ва уни камайтириш билан ортади.

Кучланиш таъсири остида бўлиши мумкин бўлган металли ток ўтказмайдиган қисмларни нолли ҳимоя сим билан олдиндан атайлаб электр жиҳатдан бириктириш *нолга улаш* деб аталади.

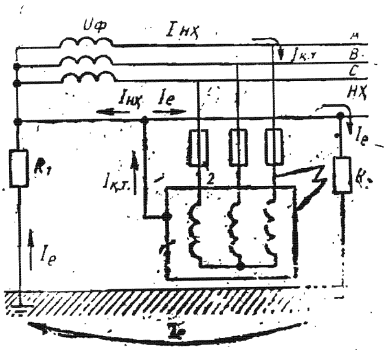
Нолли ҳимоя сим нолга уланадиган қисмларни ток манбаининг ерга мустаҳкам уланган нейтрал нуқтаси билан бирлаштиради. Ҳимояли нолга улаш схемаси 14.18-расмда кўрсатилган. Нолга улашнинг ишлаш принципи шикастланган электр қурилмани узувчи аппаратура ёрдамида тармоқдан тез узиш учун фазалардан бирини корпусга уланишини бир фазали қисқа туташувга айлантиришга асосланган. Чунки электр қурилма корпуси нолли ҳимоя сим орқали нолли ҳимоя симлар НҲ га уланиб қолади ва шикастланиш даврида ток $I_{к.т}$ вужудга келади. Қисқа туташиш токи $I_{к.т.}$ фазалардан бири корпусга улаш вақтидан бошлаб, токи ҳимоя ишга тушгунча ва қурилмани тармоқдан узгунча кетган вақт давомида мавжуд бўлади.

Шундай қилиб, электр қурилмалар корпусларини нейтрал сим орқали ерга улаш шикастланиш даврида уларнинг кучланишини ерга нисбатан пасайтиради. Нолга улаш нейтрали ерга уланган тўртсимли тармоқларда (одатда, бу тармоқ кучланиши 380/220, 220/127 ва 660/380 В бўлади) ҳамда манбанинг ўрта нуқтаси ерга уланган ўзгармас ток тармоқларида ишлатилади.

Ҳимоя воситалари. Ишлаётган электр қурилмаларига хизмат кўрсатувчи ходимнинг хавфсизлигини таъминлаш учун ҳимоя воситалари ишлатилади. Улар изоляцияловчи, тўсувчи ва сақловчи ҳимоя воситаларига бўлинади.

Изоляцияловчи ҳимоя воситалари ток ўтказувчи ёки ерга уланган қисмлардан ҳамда ердан одамни электр жиҳатдан изоляция қилади. Изоляцияловчи ҳимоя воситалари асосий ва қўшимча хилларга бўлинади.

Асосий изоляцияловчи электр ҳимоя воситалари электр қурилманинг иш кучланишини узоқ муддат ушлаб туриш ва ходим кучланиш таъсирида бўлган ток ўтказувчи қисмларга тегиб кетганда уни ток билан шикастланишдан ҳимоялаш хусусиятига эга. Асосий изоляцияловчи ҳимоя воситаларига изоляцияловчи штангалар, изоляцияловчи ва электр ўлчаш омбурлари, диэлектрик қўлқоплар, изоляция-



14.18-расм.

ловчи дастали электр монтёр асбоблари, кучланиш кўрсаткичлари (1000 В гача бўлган кучланиш учун), изоляцияловчи штангалар, изоляцияловчи ва электр ўлчаш омбури ва кучланиш кўрсаткичлари (1000 В дан юқори кучланиш учун) киради.

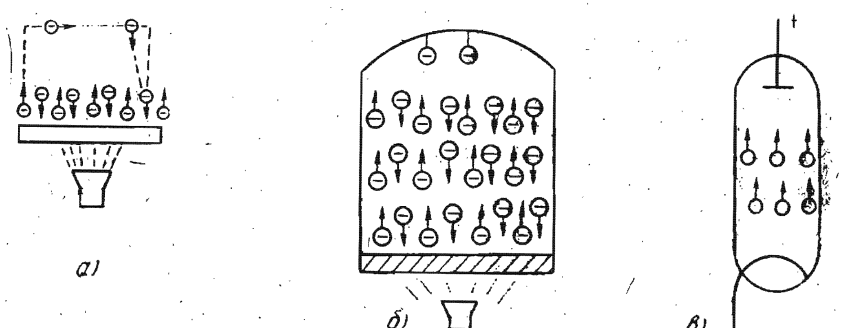
Қўшимча изоляцияловчи электр ҳимоя воситалари электр қурилманинг иш кучланишини узоқ муддат ушлаб туришга ва бу кучланишда одамни ток билан шикастланишдан ҳимоялашга қодир эмас. Улар асосий ҳимоя воситаларига қўшимча восита бўлиб хизмат қилади ҳамда тегиб кетиш кучланишидан, қадам кучланишидан ва кучланиш ёйи туфайли куйишдан ҳимоя қилади. Кучланиши 1000 В гача бўлган электр қурилмаларида қўшимча изоляцияловчи электр ҳимоя воситалари сифатида диэлектрик калишлар ва гиламчалар, изоляцияловчи тагликлар ва ёпқичлар кучланиши 1000 В дан юқори бўлган электр қурилмаларда эса диэлектрик қўлқоплар, қўнжли калишлар, гиламчалар ва изоляцияловчи тагликлар қўлланилади.

15 боб. ЭЛЕКТРОНИКА АСОСЛАРИ

15.1. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР. ОДДИЙ ЭЛЕКТРОВАКУУМ ВА ЯРИМ ЎТКАЗГИЧ АСБОБЛАРИНИНГ ИШЛАШИ

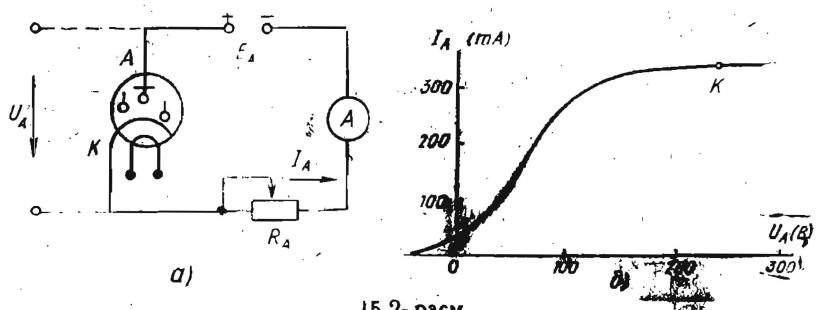
Электроника газ, қаттиқ жисм вакуум ва бошқа муҳитдаги элементар зарядланган заррачаларга (масалан, электрон, ион ва бошқалар) электромагнит майдон таъсир натижасида ҳосил бўлган электр ўтказувчанликни ўрганиш ва ундан фойдаланиш масалалари билан шуғулланадиган фан соҳасидир.

Электрониканинг ривожланишига электровакуум асбобларнинг пайдо бўлиши асос бўлди. Кўпчилик электровакуум асбобларнинг ишлаши термоэлектрон эмиссияга, яъни вакуумда қиздирилган металлардан электронларнинг учиб чиқишига асосланади. Бу ҳодиса 1833 йилда америкалик олим Т. Эдисон томонидан кашф этилган. Унинг моҳияти қуйидагидан иборат. Электр токининг ўтказгичи бўлган ҳар қандай металл

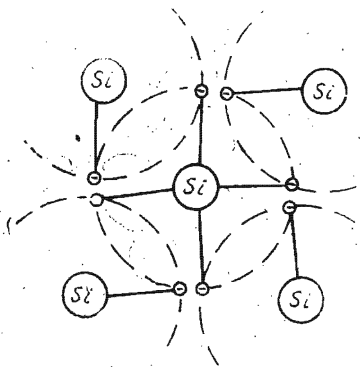


15.1- расм.

структурасида бир атомдан иккинчи атомга эркин ўтиб юрадиган электронлар бўлади. Агар металл ўтказгични икки хил ишорали q_+ ва q_- зарядлар орасига жойлаштирсак, ундан тартибланган электронлар оқими ўтади, яъни электр ўтказувчанлик токи пайдо бўлади. Агар электр токининг йўлига металл структурага эга бўлмаган кичик тўсиқ қўйилса, электронлар оқими узилади ва ток йўқолади. Электронлар ҳавода эркин электронларга эга бўлмаган бошқа муҳитда ҳаракатлана олмайди. Қиздирилганда электронлар ҳаракати тезлашади. Металли электрод ҳатто ҳаволи муҳитда қиздирилганда (15.1-расм, *а*) ҳам температура 1500—2000°С га етганда металлдаги электронлар ҳаракати кескин кўпаяди. Айрим электронлар металлнинг атом структурасини тарк этиб, ўтказгичдан маълум масофага узоқлашиши мумкин. Бироқ, улар ҳаводаги атом ва молекулалар билан тўқнашиб, ўзининг дастлабки ҳолатига, яъни металлга қайтади. Бунда электронлари чиқиб кетган электрод аввал мусбат зарядланади ва сўнгра бу электронларни яна қайтадан ўзига тортиб олади. 15.1-расмда электрон эмиссия кўрсатилган. Агар металл электрод вакуумда қиздирилса, унинг сиртидан отилиб чиққан электронлар (15.1-расм) бирламчи тезлиги туфайли ҳаводагига қараганда юз ва минг марта катта масофага узоқлашади. Бу принцип икки электродли лампа — электровакуум диодга асос қилиб олинган (15.1-расм, *в*). Асбоб, ичига икки электрод — анод ва катод жойлаштирилган, ҳавоси сўриб олинган шиша баллондан иборат. Электр токи билан бевосита ёки билвосита қиздириш натижасида катод ўзидан электронлар чиқаради. Бу электронлар анод томон ҳаракат қилади, бироқ кейин улар катодга қайтади. Агар диоднинг анодини ташқи манбанинг мусбат қутбига, катодини эса манфий қутбига уласак (15.2-расм, *а*), лампадан анод токи I_A ўтади. Бу токни амперметр A кўрсатади. ЭЮК E_A ўзгармас бўлса, лампадаги ток катоднинг қиздирилиш даражасига, яъни электронларнинг термоэмиссиясига ва анод билан катод орасидаги кучланиш U_A га боғлиқ бўлади. Бу кучланишни R_A қаршилик билан бошқариш мумкин. $I_A=f(U_A)$ боғланиш диоднинг *анод характеристикаси* дейилади ва



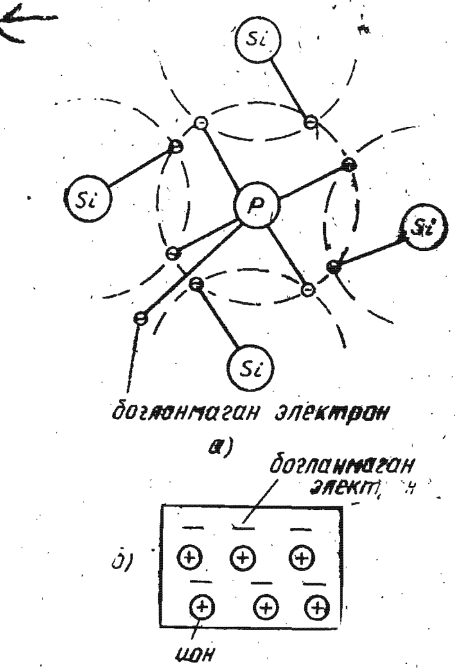
15.2-расм.



15.3- расм.

15.2- расм, *б* да келтирилган кўринишда бўлади. Кўриниб турибдики, лампанинг токи I_A маълум чегарага кўпаяди (*К* нуқтаси), шундан сўнг тўйиниш ҳолати содир бўлади. Кучланиш U_A тескари қутбланишда уланса ($U_A < 0$ бўлса), ток нолга тенг бўлиб қолади. Бунга сабаб манфий зарядланган аноднинг электронларни ўзидан узоқлаштиришидир. Электрон лампанинг токни фақат бир йўналишда ўтказаш хусусиятидан ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантиришда фойдаланилади.

Икки электродли электровакуум асбобда токнинг бир йўналишда ўтишини таъминловчи электрон жараёнлар ярим ўтказгичларда ҳам кузатилади. Ярим ўтказгичлар электроникаси солиштирма электр ўтказувчанлиги ўтказгич ва диэлектрикларнинг электр ўтказувчанликлари орасида бўлган махсус моддалар хусусиятидан фойдаланишга асосланган. Бундай моддалар *ярим ўтказгичлар* деб аталади.



15.4- расм.

Оддий температурада ярим ўтказгичлар атомларидаги электронларнинг энергияси уларнинг ядродан узоқлашиб, электр токи ҳосил қилишга етарли бўлмайди. Бироқ, потенциаллар айирмаси таъсирида бу электронлар тартибланган ҳаракатга келиб, электр токини ҳосил қила олади. Ярим ўтказгичларда бир йўналишдаги ўтказувчанликнинг ҳосил бўлишини қуйидаги кенг тарқалган моделда кўр атамиз.

Маълумки, ярим ўтказгичлар кристалл структурага эга, яъни уларнинг атомлари бир-бири билан кристалл панжара ҳосил қилиб боғланган. 15.3-расмда тўрт валентли кремнийнинг атомлараро боғланишининг модели тасвирланган.

15.4- расмда фосфор аралашган кремнийли ярим ўтказгич кристалл панжарасининг модели: 15.4- расм, *а* да панжара-

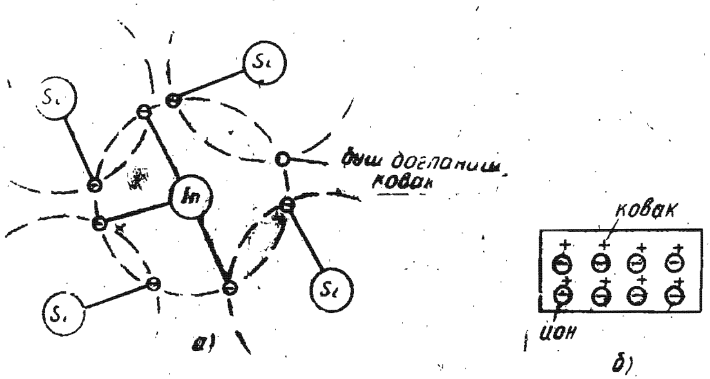
нинг структураси; 15.4-расм, *б* да эса *n* типдаги ярим ўтказгичнинг тасвири берилган.

Кремний атомининг ядроси атрофидаги орбитада жойлашган тўртта валент электрони бошқа тўртта атомнинг электронлари билан электрон жуфтлар ҳосил қилади. Атомларга ташқи таъсир (иссиқлик, нурланиш) бўлмаса, уларнинг структураси ўзгармайди ва ҳар бир атом электр жиҳатдан нейтраллигича қолади. Бундай ярим ўтказгич эса токни ўтказмайди.

Агар кремний монокристалига валент электронлари сони кремнийникидан кўп ёки кам бўлган бошқа кимёвий элемент киритилса (масалан, бешинчи ёки учинчи группа элементи), аҳвол кескин ўзгаради. 15.4-расм, *а* да беш валентли фосфорнинг тўрт валентли кремний билан ҳосил қилган крисалл панжарасининг модели кўрсатилган. Бу бирикмада электрон жуфтлар ҳосил бўлганида, ҳар бир фосфор атомида битта электрон „ортиқча" бўлиб қолади. Бу электронни бўш электрон ҳеб ҳисобласак, унга нисбатан фосфор атоми мусбат ион бўлади. Ярим ўтказгич эса ана шу электрон ҳисобига ўтказувчанликка эга бўлиб, *n*-типидаги ярим ўтказгич деб аталади. Унинг схематик белгиланиши 15.4-расм, *б* да кўрсатилган. Бундай ярим ўтказгич ташқи иссиқлик ҳамда нурланишларга таъсирчан бўлади ва агар ўзгармас кучланиш манбаига уланса, ўзидан токни ўтказади.

Ярим ўтказгичнинг электр ўтказувчанлигини, унга валент электронлари сони кам бўлган кимёвий элемент киритиш билан ҳам орттирса бўлади. 15.5-расм, *а* да уч валентли индий (I_n) қўшилган кремнийнинг кристалл панжараси кўрсатилган.

Кристалл панжарада индийнинг атрофидаги тўртта кремний атомидан бирининг электрони билан электрон жуфт ҳосил қилиш учун индийнинг электрони етишмайди. Етишмаган электрон ўрнида „ковак" ҳосил бўлади, бироқ бу ковак қўшни валент боғланишидаги электрон билан тўлатилиши мумкин. Агар шундай бўлса (масалан, ташқи иссиқлик таъсирида) индий атоми манфий ионга айланади, электронини йўқотган „валент боғланиш" эса „ковакка" эга бўлади. Бу „ковак" ўз нав-



15.5- расм.

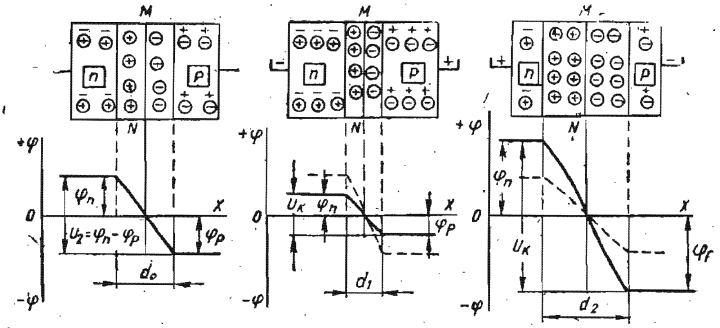
батида учинчи валент боғланишидаги электрон билан тўлдирилиши мумкин ва ҳоказо. Шундай қилиб, битта ҳосил бўлган „ковак“ ярим ўтказгич бўйлаб тартибсиз равишда ҳаракатланиб, ковакли ўтказувчанликни ҳосил қилади. Бундай ярим ўтказгич p-типидаги ярим ўтказгич дейилади, унинг тасвири 15-расм, *б* да кўрсатилган.

Электронли (n-типидаги) ва ковакли (p-типидаги) ярим ўтказгичларнинг моделини кўриб чиқиб, улардаги эркин зарядлар — электронлар ва коваклар, металлар каби электр ўтказувчанликни таъминлай олмаслигини кўрамиз. Ярим ўтказгичларда эркин заряд ташувчилар сони қўшимчаларнинг массаси билан аниқланади. Шунинг учун алоҳида олинган n ва p-типидаги ярим ўтказгичлар яхши ўтказгич ҳисобланмайди, бироқ улар диэлектрик ҳам эмас.

Амалда бирида электронли ўтказувчанлик, иккинчисида ковакли ўтказувчанлик кучли бўлган икки ярим ўтказгич контактда турганида содир бўладиган ҳодисалар катта аҳамиятга эга. Бунда (15.6-расм, *а*) туташиш чегарасида n-типли ярим ўтказгичдаги меъёрдан кўп электронлар p-типдаги ярим ўтказгичга, p-типли ярим ўтказгичдаги меъёрдан кўп коваклар n-типдаги ярим ўтказгичга ўтади. Бу $n-p$ ўтиш дейилади. Ўтган электрон ва коваклар бир-бирлари билан тўқнашиб рекомбинацияланади, яъни бир-бирини компенсациялайди. Шу туфайли MN чегара бўйлаб чапда „очилиб“ қолган мусбат ионлар (масалан, ўзининг ортиқча электронларини йўқотган фосфор атомлари), ўнгда эса „очилиб“ қолган манфий ионлар (масалан, фосфор электронлари билан ўз ковакларини тўлдирган индий атомлари) вужудга келади. Бу эса ўз навбатида φ_n ва φ_p потенциалли ҳажмий заряд ҳосил бўлишига олиб келади (15.6-расм, *а*). Бу зарядлар айирмаси $U_к = \varphi_n - \varphi_p$ контакт потенциаллар айирмаси дейилади ва зарядларнинг диффузияланишига йўл қўймайдиган потенциал тўсиқни ҳосил қилади. Натижада $p-n$ ўтишда ток ҳосил бўлмайди.

Агар ярим ўтказгичнинг p ва n қатламларига маълум қутбланишдаги кучланиш уланса, $p-n$ ўтишда кескин ўзгариш рўй беради. Ташқи кучланишнинг мусбат қутби p қатламга, манфий қутбли n қатламга уланса, бу кучланиш таъсирида p қатламнинг манфий ионлари чегара олди қатламни тарк этади, бунда манфий ҳажмий заряд ва φ_p камаяди. Худди шунга ўхшаш ташқи манбанинг манфий қутби потенциали таъсирида мусбат ҳажмий заряд ва φ_n камаяди. Натижада потенциал тўсиқ $U_к = \varphi_n - \varphi_p$ камаяди. Ҳажмий зарядлар камайиши ҳисобига $n-p$ қатлам ҳам кичраяди, яъни $d_1 < d_0$ (15.6-расм, *б*) бўлади. Ташқи кучланишнинг бундай уланиши тўғри уланиш дейилади ва у ярим ўтказгичларда тўғри ўтказувчанлик токини ҳосил қилади. Ярим ўтказгичлар эса ўтказгичлар хусусиятига эга бўлиб қолади

Ташқи кучланишнинг мусбат қутбини n қатламга, манфий қутбини эса p қатламга уламиз. Бунда эркин электронлар

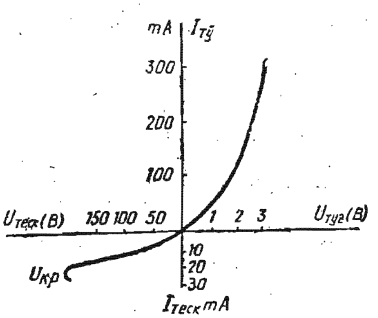


15.6- расм.

манбанинг мусбат қутбига, коваклар эса манфий қутбига томон ҳаракатланади. Чегара олди қатламда эса „очилиб" қолган мусбат ва манфий ионлар кўпайиб, ҳажмий зарядлар, φ_n ва φ_p потенциаллар ортади. Потенциал тўсиқ $U_к = \varphi_n - \varphi_p$ ҳам ортади. $n - p$ ўтишнинг кенглиги ҳам ортади, яъни $d_1 > d_0$ (15.6- расм, *в*) бўлади. Бундай уланган кучланиш тескари кучланиш, у туфайли юзага келган жуда кичик ток – тескари ўтказувчанлик токи дейилади. Кескин ортган потенциал тўсиқ ярим ўтказгични изоляторга айлантиради.

Ярим ўтказгичли диодда юқорида кўриб ўтилган электрон-ковакли ўтишнинг айнан ўзи солир бўлади. Унинг вольт-ампер характеристикаси 15.7- расмда келтирилган. Катта бўлмаган тўғри кучланиш уланганда диоддан катта миқдордаги тўғри ток ўтади, тескари ток эса катта тескари кучланишларда ҳам кичик миқдорда бўлади. Диоднинг тўғри кучланишга қаршилиги Ом нинг улушларидан (катта қувватли асбобларда) бир неча Омгача (кичик қувватли асбобларда), тескари кучланишга қаршилиги эса юз ва минглаб Ом га тенг бўлади.

15.7- расмда ярим ўтказгичли диоднинг вольт-ампер характеристикаси ва унинг схематик белгиланиши кўрсатилган. Характеристиканинг бошланиш қисмида боғланиш чизиқли эмас. Бу тўғри кучланиш ортганида ёпувчи (чегара олди) қатлам қаршилигининг камайиши билан тушунтирилади. Тескари кучланиш катта қийматларга эришганда жуда кичик тескари ток ҳосил бўлади (15.7- расм, III вариант). Лекин тескари кучланишнинг ҳаддан ташқари ортишига рухсат этилмайди, чунки бунда диод шикастланиши (тешилиши) ва ишдан чиқиши мумкин.



15.7- расм.

Электронли ва ярим ўтказгичли диодлар ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантириш учун ишлатилади. Тўғрилаш схемалари ва занжирлари кейинроқ алоҳида кўриб чиқилади.

15.2. КЎП ЭЛЕКТРОДЛИ ЭЛЕКТРОВАКУУМ ВА ЯРИМ ЎТКАЗГИЧ АСБОБЛАР. ТРИОДЛАР ВА ТРАНЗИСТОРЛАР

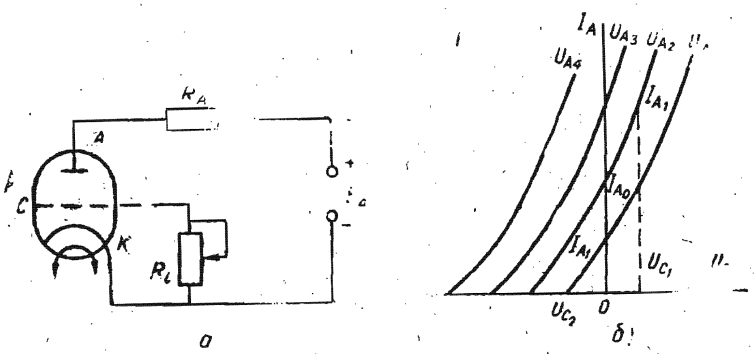
Икки электродли электрон ва ярим ўтказгичли асбоблар бошқарилмайдиган асбоблардир. Улардан ўтаётган тўғри ток берилган кучланишга ва асбоб билан кетма-кет уланган қаршиликнинг қийматига боғлиқ. Лекин электровакуум ва ярим ўтказгичли асбобларга конструктив ўзгартиришлар киритиб, уларнинг токини берилган кучланишга ва нагрузка қаршилигига боғлиқ бўлмаган ҳолда ўзгартириш мумкин. Бунинг учун учинчи (қўшимча) электрод киритилади. Электровакуум асбобларда анод токини бошқариш физик жараёнлари ярим ўтказгичлардаги тўғри токни бошқариш жараёнларидан тубдан фарқ қилади. Электровакуумли триод билан ярим ўтказгичли транзисторнинг ишлашини кўриб чиқамиз.

Уч электродли электрон лампа — триод. Анод „*А*" ва катод „*К*" орасига бошқарувчи тўр деб аталувчи қўшимча (учинчи) электрод жойлашган электровакуум лампа *триод* дейилади (15.8- расм).

15.8- расм, *а* да уч электродли электрон лампа—триоднинг уланиш схемаси, расм *б* да эса иш (бошқарув) характеристикалари кўрсатилган.

Тўр электронлар оқими чиқарувчи цилиндрсимон (трубкасимон) катодни маълум масофада қуршаб олган спирал шаклида ясалади. Анод ҳам цилиндр шаклида ясалади ва унинг диаметри тўр спиралининг диаметридан анча катта бўлади.

Катодга яқин жойлашган тўр унинг атрофида мусбат ёки манфий электр майдони ҳосил қилади ва катоддан чиқаётган электронлар оқимини ё кучайтиради, ёки кучсизлантиради. Анодга етиб борган электронлар анод токининг миқдорини



15.8- расм.

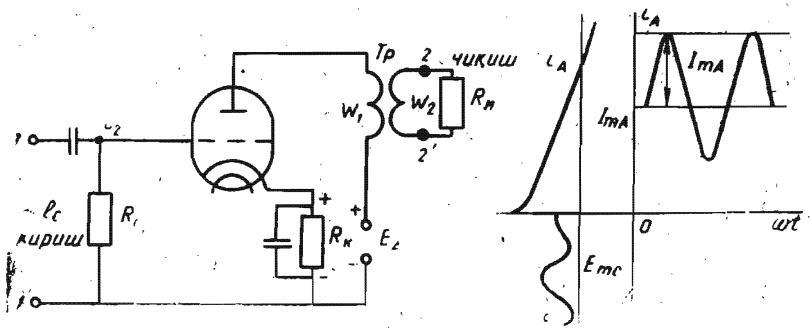
аниқлайди. Шунинг учун тўр потенциали $U_т$ асосий анод кучланиши U_A билан бирга анод токининг қийматини бошқарувчи қўшимча кучдир. Агар тўр кучланиши $U_{т_1} > 0$ бўлса, катод атрофидаги электр майдоннинг кучланганлиги ортиб, катоддан учиб чиқувчи электронлар оқими кўпаяди. Анод кучланиши U_{A_1} ортмаган ҳолда анод токи I_{A_0} қийматдан I_{A_1} гача ортади (15.8-расм, *б*). Агар тўрга манфий кучланиш берилса, $U_{т_2} < 0$ да электронлар оқими сезиларли даражада камаяди, бунда анод токи ҳам I_{A_2} қийматгача камаяди. Тўр кучланиши $U_{т_2}$ маълум қийматга эришганида, анод кучланиши U_A нинг ҳар қандай қийматида, анод токи нолга тенг бўлиб қолади ($I_A = 0$). Бунда тўрнинг электр майдони электронларнинг анод томон ҳаракатини бутунлай тўхтатади ва электронлар оқими анодга етмай, катодга қайтади.

Анод токи узлуксиз ва катта тезликда бошқарилиши мумкин. Лампадаги электронлар ҳаракатининг инерцияси бўлмайди. Шу сабабли триодлар алоқа техникасида, радиотехникада ва телевидениеда қувватли, юқори частотали сигналларни кучайтириш учун кенг қўлланади.

Ҳозирги вақтда вакуум электроникасининг ўрнини универсалроқ ва кичик ҳажмлироқ бўлган ярим ўтказгич техникаси эгаллаяпти. Лекин кўп электронли вакуум лампалар (шу жумладан, триодлар ҳам) сигналларни кучайтирувчи кўп қурилмаларда ҳанузгача ишлатилмоқда.

Ихтиёрий частотали сигналнинг электрон триод ёрдамида кучайтирилишини 15.9-расм, *а* даги схема ёрдамида кўриб чиқамиз. Тўрдаги дастлабки манфий силжиш кучланиш $E_т$ қаршилик $R_к$ ёрдамида ҳосил қилинади; бу кучланиш тўр силжиш қаршилиги $R_т$ орқали тўрга берилади. Бу қаршилик $C_т$ конденсатор билан бирга кучланиш бўлгичининг ролини ўйнайди. 15.9-расм, *б* да синусоидал $e_т = E_{mт} \sin \omega t$ сигнал кучайтирилишининг график ифодаси кўрсатилган. Сигналнинг амплитудаси тўрга берилган манфий силжиш кучланиши $E_т$ қийматидан бироз кичикдир. Сигнал триод анод-тўр характеристикасининг иккинчи квадратида жойлашган чизиқли қисмида кучайтирилади. Характеристика чизиқли бўлгани учун анод токининг қиймати катталаштирилган масштабда кучайтиргичга берилган сигнални такрорлайди. Анод токининг ўзгариш қонуни $i_A = I_{0A} + I_{mA} \sin \omega t$ кўринишда бўлади. Анод токининг фақат қиймати ўзгаради, йўналиши эса ўзгармайди, чунки лампадаги ток аноддан катодга ўтолмайди. Амплитуда жиҳатдан кучайтирилган сигналнинг ўзгарувчи ташкил этувчисини (анод токининг ўзгарувчан ташкил этувчиси) ажратиш учун кўрилаётган схемада Тр трансформатордан фойдаланилади.

Трансформаторнинг бирламчи W_1 чулғамидан i_A ток ўтади, иккиламчи W_2 чулғамига эса $R_н$ истеъмолчи уланади. Агар



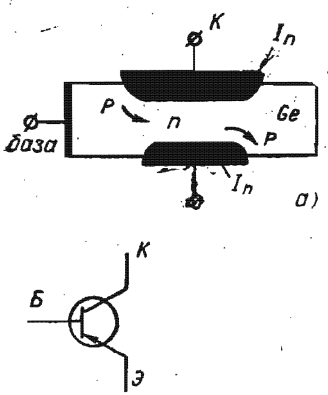
15.9- расм.

кучайтириш схемасини актив тўрт қутбли схема деб тасвирласак, унинг кириш 1—1 ва чиқиш 2—2 қисмаларининг жойланиши 15.9- расм, *а* да кўрсатилгани каби бўлади.

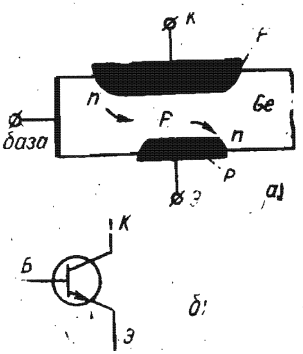
Энди электровакуум триоднинг аналоги — ярим ўтказгичли транзисторни кўриб чиқамиз.

Транзистор. Иккита электрон-кавак ўтишли, уч қатламли ярим ўтказгич асбоб транзистор деб аталади. Транзистор турли электр тебранишларни генерациялаш ёки кучайтириш учун хизмат қилади. Оддий $p-n-p$ ёки $n-p-n$ ўтишли биполяр транзистор 15.10 ва 15.11- расмларда кўрсатилган. $p-n-p$ типдаги электрон-кавак ўтишли транзистор (15.10- расм, *а*) икки томонига уч валентли элемент (масалан, индий In) қўшилган ярим ўтказгичдан, масалан, германий пластинка (Ge) дан иборат. Бу транзисторнинг схематик тасвири 15.10- расм, *б* да кўрсатилган.

$n-p-n$ типдаги электрон-кавак ўтишли транзистор икки томонига беш валентли элемент, масалан, фосфор P қўшилган



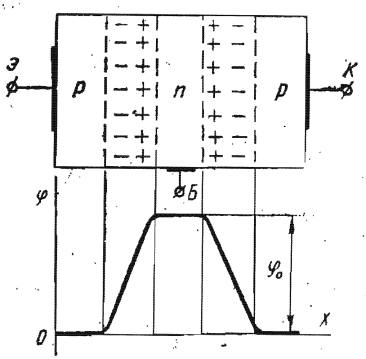
15.10- расм.



15.11- расм.

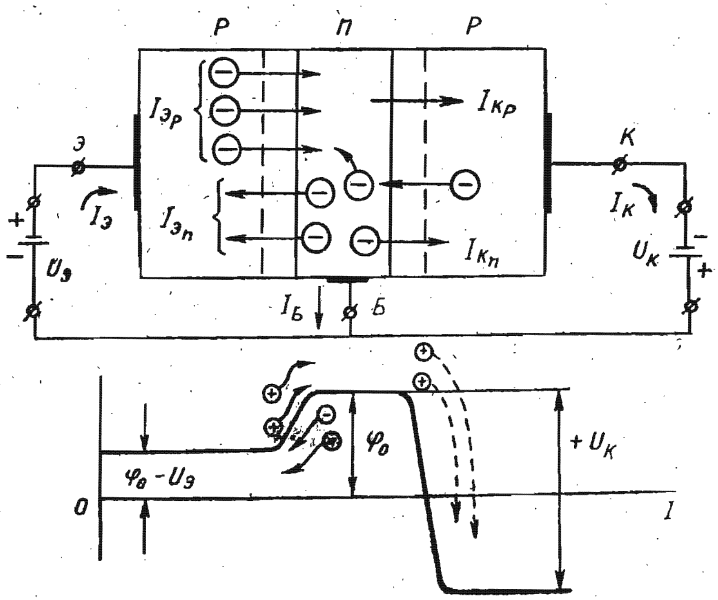
ярим ўтказгичдан, масалан, германий (Ge) пластинкадан иборат. Транзисгорнинг тузилиши 15.11-расм, *а* да, унинг схематик тасвири эса 15.11-расм, *б* да кўрсатилган.

Электродлар бўлмиш Э (эмиттер), Б (база) ва К (коллектор) лар орасидаги токлар икки хил ишорали заряд ташувчилар — эркин электронлар ва каваклар ёрдамида ҳосил бўлгани учун бундай транзистор биполяр, яъни икки қутбли транзистор дейилади.



15.12-расм.

Айрим электродларда токларнинг ҳосил бўлиши уларнинг бир-бирига таъсири ва ток кучланиш ҳамда қувватни кучайтириш эффектининг вужудга келишини *p—n—p* типдаги транзистор мисолида кўриб чиқамиз (15.12- ва 15.13-расмлар). „Тинч" ҳолатда электродларга ташқи кучланиш уланмайди, бунда *p—n* ва *n—p* қатламлар чегарасида электронлар ва каваклар қисман рекомбинацияланади. Натижада „очилиб" қолган мусбат ва манфий ионлар ҳосил бўлиб, улар потенциаллар айирмаси φ_0 бўлган потенциал тўсиқ ҳосил қилади (15.12-расм, *б*).



15.13-расм.

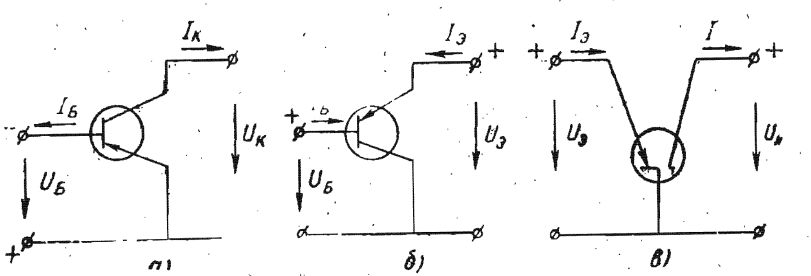
$U_э$ ва $U_к$ ўзгармас кучланишларни транзисторнинг электродларига 15.13-расм, *а* да кўрсатилгандек улаймиз. Схеманинг чап томонини тўғри кучланишга уланган диодга, ўнг томонини эса тескари кучланишга уланган диодга ўхшатамиз. Лекин заряд ташувчилар (электрон ва каваклар) $p-n-p$ қатламлар орасидан бемалол ўта олиши мураккаб физик жараёнлар ҳосил бўлишига олиб келади. Эмиттернинг валент зонасидаги электронлари $U_э$ кучланиш таъсирида ташқи занжирга ўтади, натижада ҳосил бўлган каваклар база соҳасига ўтади. Бу зарядларнинг натижавий ҳаракати эса эмиттер токи $I_э$ ни ҳосил қилади. Каваклар базада қисман германийнинг эркин электронлари билан рекомбинацияланади, асосий қисми эса $p-n-p$ ўтишнинг электр майдони таъсирида коллекторга ўтиб, унда $I_к$ токини ҳосил қилади. Эмиттердан чиқиб базадан ўтаётган каваклар коллекторга яхшироқ йиғилиши учун коллектор ўтишининг юзаси эмиттер ўтишининг юзасидан каттароқ қилинади (15.10-расм, *а*, 15.11-расм, *а*).

Эмиттер каваклари билан рекомбинацияланган электронлар ўрнига базага ташқи занжирдан янги электронлар оқиб келади ва база токи $I_б$ ҳосил бўлади:

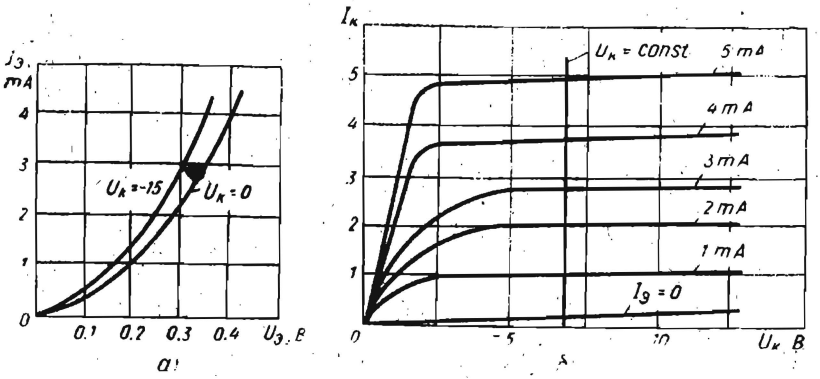
$$I_б = I_э - I_к.$$

Транзисторнинг бошқарилиш хусусияти шундаки, унча катта бўлмаган $U_э$ кучланиш таъсирида ҳосил бўлган эмиттер токи $I_э$ ўзига деярли тенг бўлган ток $I_к$ ни ҳосил қилади. Бу ток эса тескари уланган ва $U_э$ кучланишдан анча катта бўлган $U_к$ кучланишни ўзгартиради ($U_к > U_э$). Биполяр транзисторнинг ишлаши эмиттердан база орқали коллекторга заряд ташувчилар оқимининг ўтказилишидан иборат. Иккинчи томон, транзисторнинг структурасини иккита $p-n$ ўтишга: эмиттер — база ва коллектор — базага ажратсак, биринчи ўтишга электр билан таъсир этиб, иккинчи ўтишнинг қаршилигини ўзгартиришимиз мумкин. Шунга асосан, асбобнинг номи ҳам иккита инглизча сўз (*transfer*—ўзгартирмоқ, *resistor*—қаршилик) дан келиб чиқади.

Ярим ўтказгичли биполяр транзистор учта схема бўйича уланиши мумкин: а) умумий эмиттер билан; б) умумий кол-



15.14-расм.



15.15- расм.

лектор билан; в) умумий база билан (15.14- расм). Бу схемалар $p-n-p$ типдаги транзисторнинг асосий ишч характеристикаларини олиш учун қўлланилади. 15.15- расм, *а* ва *б* да умумий база (УБ) билан уланган биполяр транзисторнинг кириш [$I_э = f(U_э)$, бунда $U_к$ =const] ва чиқиш [$I_к = f(U_к)$, бунда $I_э$ = =const] характеристикалари кўрсатилган.

Кириш характеристикасидан кўринадики, кучланиш $U_э$ ўзгармаганида ҳам коллекторнинг манфий кучланишга уланиши ($U_к<0$) эмиттер токининг маълум даражада ортишга олиб келади. Бу эса электр майдонининг коллектор — база ўтишдаги эмиттер инжекциялаётган кавакларга кўрсатаётган қўшимча таъсирини билдиради.

$I_к = f(U_к)$ характеристикалар орқали токнинг узатиш коэффициенти $\alpha = \frac{\partial I_к}{\partial I_э} \approx \frac{\Delta I_к}{\Delta I_э}$ ни аниқлаш мумкин, бу коэффициент коллектор кучланишининг белгиланган ўзгармас миқдори учун аниқланади.

Характеристикаси 15·15- расм, *б* да кўрсатилган транзистор учун $\alpha = 0{,}95$.

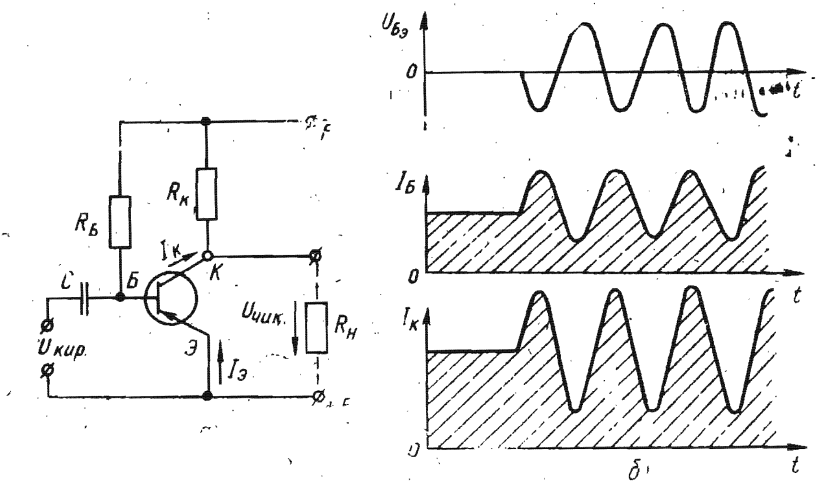
Транзистор умумий эмиттерли (УЭ) схема бўйича уланганда (15.14- расм, *а*) токнинг узатиш коэффициенти (бу схема жуда кўп қўлланилади): $\beta = \frac{\partial I_к}{\partial I_б} = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_б}$. Агар

$$\Delta I_б = \Delta I_э - \Delta I_к$$

эканлигини ҳисобга олсак,

$$\beta = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_э - \Delta I_к} = \frac{\Delta I_к / \Delta I_э}{1 - \frac{\Delta I_к}{\Delta I_э}} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

лигини аниқлаймиз.



15.16- расм.

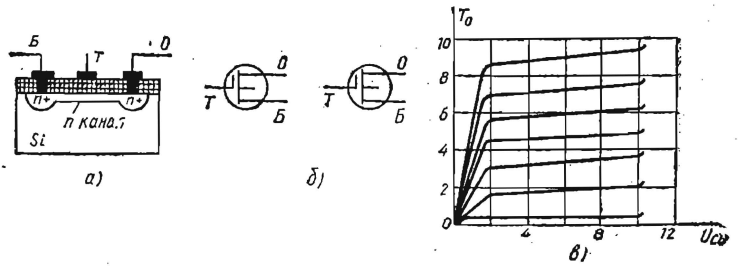
Агар $\alpha = 0{,}95 \div 0{,}98$ бўлса, $\beta = 20 \div 50$ бўлади, яъни УЭ схемаси бўйича уланганда база токига пропорционал бўлган кириш сигнали транзистор ёрдамида β марта кучайтирилиши мумкин.

Битта манба E га УЭ схема бўйича уланган $p-n-p$ типдаги транзисторда синусоидал сигналнинг кучайтирилишини кўриб чиқамиз (15.16- расм, $а$). База ва коллектор занжирлардаги $R_б$ ва $R_к$ қаршиликлар қийматлари триоднинг иш характеристикаларидаги бошланғич нуқталарни аниқлаб беради.

15.16- расм, $а$ да УЭ схемали транзисторнинг оддий схемаси, $б$ да эса сигнал кучайишининг физикавий модели кўрсатилган.

Ажратувчи конденсатор C манба E токининг бошқарув сигнал занжирига ўтишидан сақлайди. Киришдаги синусоидал кучланиш $U_{кир} = U_{бэ} = U_m \sin \omega t$ мусбат ярим даврларда эмиттернинг мусбат потенциалини камайтиради, манфий ярим даврда эса орттиради, база токи $I_б$ кучайтирилаётган сигнал билан қарама-қарши фазада бўлади. Сигналнинг кучайиш қонуни $I_к = \beta \cdot I_б$ га биноан чиқишдаги кучланиш истеъмолчининг қаршилигига боғлиқ, яъни $U_{чиқ} = I_к \cdot R_н$.

Ҳозирги вақтда электрон схемаларда биполяр, яъни икки қутбли транзисторлар билан бир қаторда майдонли ёки бир қутбли транзисторлар кенг ишлатилади. Улардаги ток фақат бир ишорали заряд ташувчилар (электронлар ёки каваклар) ҳисобига ўтади. Бундай транзисторлардан ўтаётган токнинг миқдори шу ток ўтаётган каналнинг ўтказувчанлиги билан аниқланади. Бир қутбли транзисторлар икки қутбли ларга қараганда содда ва арзон бўлади.



15.17-расм.

Бир қутбли транзисторлар биринчи марта 1952 йилда В. Шокли томонидан яратилган ва кейинчалик бир неча бор қайта ишлаб чиқилган. Улар каналининг турига қараб 1) $p—n$ ўтишли, 2) ичига ўрнатилган каналли ва 3) индукцияланган каналли транзисторларга бўлинади. Иккинчи ва учинчи турдаги транзисторлар МОП (металл-оксид-ярим ўтказгич) ёки МДП (металл-диэлектрик-ярим ўтказгич) транзисторлар деб аталади. МДП транзисторнинг тузилиши 15.17-расм, *а* да, схематик белгиланиши эса 15.17-расм, *б* да ва, ниҳоят, чиқиш характеристикалари 15.17-расм, *в* да кўрсатилган.

Транзисторнинг заряд ташувчилар ҳаракати бошланувчи электроди чиқиш, улар етиб борувчи электроди кириш электроди деб аталади. Транзисторнинг заряд ташувчилар оқиб ўтадиган қисми канал дейилади. Канал четида затвор деб аталувчи металл электрод жойлашади. Затвор ва ярим ўтказгич бир-биридан юпқа кремний оксиди қатлами билан ажратилган бўлиб, каналнинг қаршилиги каттадир. Транзистордан ток ўтишини каналдаги сув оқимига қиёслаш мумкин. Манбадан оқиб келаётган сув тўғондан ўтади. Тўғон тамбаси юқорироқ кўтарилса, тўғондан кўпроқ сув ўтади, тамба пастроқ туширилса, сув оқими камаяди, тамба бутунлай ёпиб қўйилса, сув ўтолмайди. Каналнинг қаршилигини ўзгартирувчи тамба сифатида $U_{з.и.}$ кучланиш ишлатилади.

$U_{з.и.}$ кучланиш нолга тенг бўлса, $U_{с.и.}$ кучланиш қандай бўлишидан қатъи назар, канал қаршилиги катта бўлади. Ток $I_с$ транзистордан ўтмайди. Затворга (тамбага) мусбат кучланиш берилганида каналнинг диэлектрикка яқин қисмида ток ўта бошлайди. $U_{з.и.}$ кучланиш орттирилса, каналнинг ток ўтказувчи қисми кенгаяди, транзисторнинг чиқиш қаршилиги камаяди.

Бир қутбли транзисторнинг чиқиш характеристикаси $I_с = f(U_{с.и.})$ электрон лампалар характеристикасига ўхшайди (15.17-расм). Бир қутбли транзисторнинг кириш қаршилиги $10^{12} \div 10^{14}$ Омга кириш электроди—затвор характеристикасининг тиклиги 0,3÷7 мА/В, кириш токи 50 мА ва кириш-чиқиш кучланиши 50 В гача бўлади.

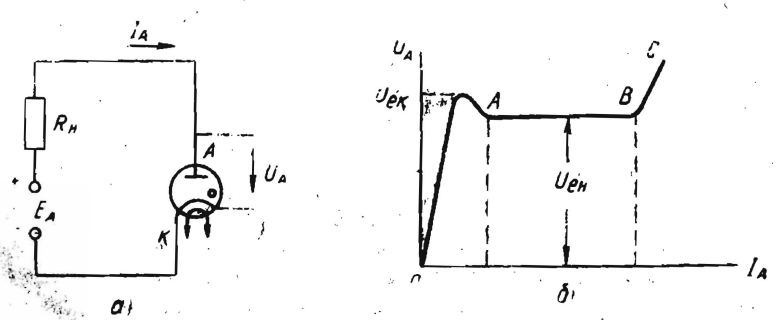
Бир қутбли транзисторлар икки қутбли транзисторлар каби уч хил схема бўйича уланади: умумий оқавали (УО), умумий бошли (УБ), умум тамбали (УТ).

15.3. ИМПУЛЬС БИЛАН БОШҚАРИЛАДИГАН ЭЛЕКТРОН ВА ЯРИМ ЎТКАЗГИЧ ДИОДЛАР. ГАЗОТРОН, ТИРАТРОН, ТИРИСТОР

Электровакуум асбобларнинг махсус категориясини ионит ёки газ тўлдирилган электрон лампалар (газотронлар, игнитронлар, тиратронлар, симоб колбалар ва б.) ташкил қилади. Термоэлектрон эмиссияли электрон асбоблардан фарқ қилиб, бу лампаларда анод ва катод орасидаги асосий заряд ташувчилар сифатида электронлар эмас, балки бу асбобларга тўлдирилган газларнинг ионлари хизмат қилади. 15.18- расм, *а* да газ тўлдирилган электрон асбоб — газотроннинг схемаси, *б* да эса вольт-ампер характеристикаси кўрсатилган.

Асбоб икки электродли лампа бўлиб, ҳавоси сўриб олинган ва ўрнига газ тўлдирилган баллонга анод ва катод киритилган. Тўлдирувчи газ сифатида симоб буғлари, ксенон, криптон, неон, гелий ва бошқалар ишлатилади.

Аноднинг ишчи токини ҳосил бўлишидан олдин унча катта бўлмаган термоэлектрон эмиссия токи ҳосил бўлади. Бу ток анод томон йўналган электронлар оқими бўлиб, ўз йўлида газ атомлари билан тўқнашади. Натижада атомлар ионланади, яъни улардан электронлар ажралиб чиқиб, мусбат ионлар ҳосил бўлади. Ҳосил бўлган ионли қалин булут анод ва катод орасидаги потенциал тўсиқни камайтириб, электрон эмиссия токидан юқори бўлган, разряд токини ҳосил қилади. Анод ва катод орасидаги бўшлиқ газнинг ҳосил бўлган мусбат ионлари ва электронлар туфайли электр ўтказувчан бўлиб қолади, яъни ток ўтказувчи плазма ҳосил бўлади. Газ йўқотган электронларнинг ўрни манфий зарядланган катод ҳисобига тўлдирилиб, катод сиртида мусбат ионлар рекомбинацияси рўй беради. Актив рекомбинация жараёни газнинг гунафша нурланиши билан содир бўлади.



15.18- расм.

Бу ҳодисалар ионли асбобнинг ёниш жараёнини аниқлаб беради. Лампа анод ва катод орасидаги кучланишнинг маълум қиймати $U_А = U_{ёқ}$ да ёнади (ионланиш жараёни бошланади). Шундан кейин кучланиш $U_А = U_{ён}$ гача камаяди (15.17-расм, *б*). Лампадаги кучланишнинг пасайиши $15 \div 20$ В га тенг бўлади. Газотронларнинг иш токлари $5 \div 10$ А лигини ҳисобга олиб, асбобнинг ички қаршилиги $-2 \div 5$ Ом эканлигини аниқлаймиз. Иш токлари ўн ва юз амперга тенг бўлган катта қувватли ионли лампалар (симобли колбалар, ингитронлар) ҳам бор.

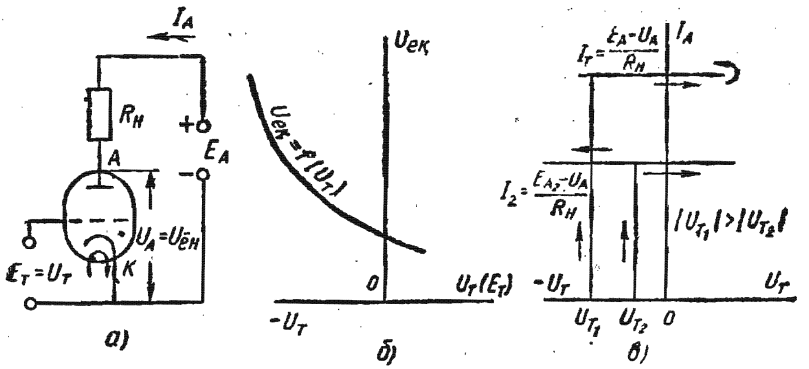
Газотрон характеристикасидан (15.18-расм, *б*) манба кучланиши $E_А$ ортиши ҳисобига ток ортади ва $U_{ён}$ бир хил бўлган оралиқ AB ҳам кенгаяди, AB оралиқдан кейин токнинг ортиши тўхтайди, чунки ионланиш жараёни тугайди, деган хулоса келиб чиқади. Токнинг кейинги ортиши анод кучланишининг анча ортиши (BC оралиқ) ва асбобнинг ички физик ҳамда химиявий структурасининг тузилиши билан боғлиқ. Ионли асбобнинг токини ЭЮК $E_А = \text{const}$ бўлганида истеъмолчи қаршилиги $R_и$ ни ўзгартириш йўли билан бошқариш мумкин.

Анод ва катоддан ташқари бошқарувчи тўрга эга бўлган уч электродли ионли асбоб *тиратрон* дейилади 15.19-расм, *а* да тиратроннинг схематик тасвири, раем *б* да ишга тушириш характеристикаси ва ниҳоят, расм, *в* да анод-тўр характеристикаси кўрсатилган. Тўр конструкцияси ва физик хусусиятлари бўйича электрон триод тўридан жуда фарқ қилади: тўр, диск ёки бўйлама тешикли қалин цилиндр шаклида қилиниб, қиздирилган катоддан чиқаётган электронлар оқимини *блокировка* қила олади; тўр фақат ионизациянинг бошланишини бошқаради ва лампа ёнганидан кейин анод токини бошқариб бўлмайди.

Тўрга $U_Т < 0$ бўлган манфий кучланиш берилади. Бу кучланиш $U_А = E$, анод кучланишида катоддан чиққан электронлар оқимини катод атрофида ушлаб қолади. Электронлар оқими анод томон ўта олмайди. Газ эса ионизацияланмайди. Анод кучланиши ўзгармаган ҳолда манфий тўр кучланишининг қиймати камайтирилганда лампа ёнади ва ундан маълум миқдордаги ток $I_А = \frac{1}{R_и}(E_А - U_{ён})$ ўтади.

Анод кучланиши $E_А$ нинг (ёниш кучланиши) ҳар бир қийматига тўр кучланиши (ишга тушириш кучланиши)нинг бирор қиймати мос тушади (15.19-расм, *б*). Расмда кўрсатилган график $U_{ёқ} = f(U_Т)$ тиратроннинг *ишга тушириш характеристикаси* дейилади.

Лампа ёнганидан кейин анод занжирида ўзгармас анод токи $I_А = \text{const}$ вужудга келади ва унинг қиймати тўр кучланиши $U_Т$ нинг ишораси ҳамда қийматига боғлиқ бўлмайди (15.19-

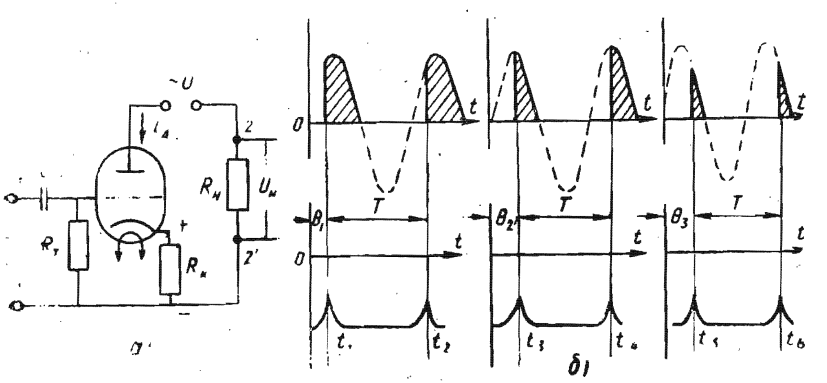


15.19- расм.

расм, *в*). Тиратрон ишга туширилганда унинг тўрини мусбат ионлар булути ўраб олади ва тўрнинг таъсирини йўқотади. Тўрнинг бошқариш хусусияти анод кучланиши узилгандан кейингина қайта тикланади. Шунинг учун тўр анод кучланиши мусбат бўлганида фақат ёқиш вақтидагина бошқарув вазифасини бажара олади. Ўзгарувчан синусоидал токни тўғрилашда тиратроннинг тўри тўғриланаётган токнинг қийматини тескис бошқара олади, чунки ҳар бир анод кучланишининг манфий ярим даврида ионлар тўлиқ рекомбинацияланиб, асбоб янги ёниш жараёнига тайёрланишга улгуради.

Тўғриланган $U_A = I_A \cdot R_н$ кучланишнинг қийматини тиратрон тўрига мусбат даврий импульслар бериш йўли билан бошқариш схемаси 15.20- расмда кўрсатилган. Тиратроннинг тўрига $U_т < 0$ кучланиш берилганда тиратронга берилаётган синусоидал кучланиш $u = U_m \sin \omega t$ нинг амплитуда қиймати ўтказмайди.

15.20- расмда тиратронга мусбат даврий импульслар бериб,



15.20- расм.

тўғриланган токни бошқариш (а) ва асбобни турли бошланғич фазалар θ_1, θ_2, θ_3 да ёндириш графиклари кўрсатилган.

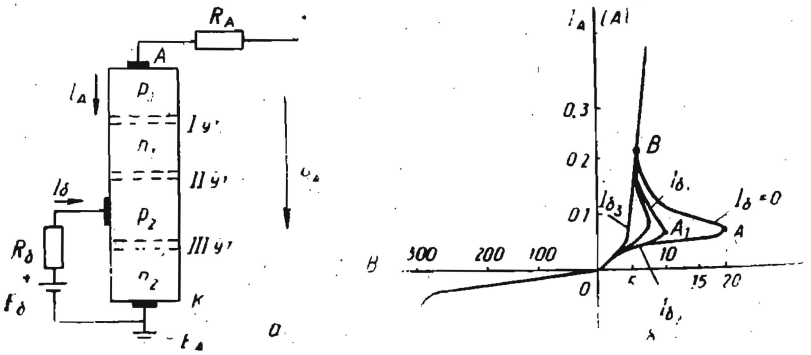
Энди белгиланган t_1 вақтда тиратроннинг тўрига мусбат кучланиш импульсини берамиз. У ёнади ва $(T/2-\theta_1)$ вақт ичида i_a анод токини ўтказади. Агар импульслар частотаси тўғриланаётган токнинг частотасига мос тушса $f=\frac{1}{T}$ бўлади, бунда $t_2=t_1+T$ вақтда тиратрон яна ёнади ва тўғриланиш жараёни такрорланади.

Тўғриланаётган токнинг талаб этилган ўртача қийматига қараб тиратронга $t_1 \div t_2$, $t_3 \div t_4$ ёки $t_5 \div t_6$ вақтларда импульс берилиши мумкин. Бу вақтда ёндиришнинг бошланғич фазалари θ_1, θ_2 ёки θ_3 га тенг бўлади. Тўғриланаётган ўзгарувчан токнинг бундай бошқарилиши импульс бошқарилиш дейилади ва ўзгармас токнинг катта импульс қувватли истеъмолчиларини текис бошқарилувчи кучланиш билан таъминлашда ишлатилади.

Ярим ўтказгичли тиристор тиратрон каби ишлайди. Тиристор—тўрт қатламли, уч „P_1-n_1“, „n_1-P_2“, „P_2-n_2“ ўтишли ярим ўтказгич асбоб (15.21-расм).

15.21-расм, *а* да бошқариладиган ярим ўтказгичли диодтиристорнинг схемаси, расм, *б* да эса вольт-ампер характеристикаси кўрсатилган. Биринчи ва учинчи ўтишларга манбанинг ЭЮК E_A си тўғри уланади ва бу ўтишлар эмиттер ёки *катод* ўтиши дейилади. Манбанинг мусбат қутбига уланган контактлар *анод* деб аталади. Ўртадаги „n_1-P_2“ (иккинчи) ўтиш коллектор ўтиши; P_2 қатламга уланган электрод *бошқарувчи электрод* деб аталади.

Анодга катодга нисбатан мусбат кучланиш уланганида биринчи ва учинчи ўтишлар очиқ бўлиб, уларнинг қаршилиги кичик. Демак, U_A кучланиш асосан „n_1-P_2“ ўтишга берилган бўлиб, бу ўтиш учун тескаридир. Ўтишнинг тескари кучланишга қаршилиги катта бўлгани учун I_A токнинг қиймати кичик. Анод кучланишини орттирсак ҳам анод токи деярли ўзгармайди (15.20-*б* расм, *OA* қисми). U_A кучланиш критик деб аталувчи маълум бир қийматга эришганида (A нуқта) „n_1-P_2“ ўтиш тешилади, заряд ташувчилар сони кўчкисимон ортади, ўтишнинг қаршилиги кескин камаяди, анод кучланиши ва ток кескин камаяди (15.21-расм. *б*, *AB* қисми), кучланиш ва токнинг қийматлари кейинчалик *BC* чизиқ бўйича ўзгаради. Тиристорларда тешилиш асбоб структурасини бузилишига олиб келмайди ва ўтишнинг қаршилиги анод кучланиши ўчирилганидан сўнг жуда тез (10—20 микросекунддан кейин) қайта тикланади. Агар „P_2-n_2“ ўтишга қўшимча $E_б$ бошқарувчи кучланиш берсак, „n_1-P_2“ ўтишнинг тешилиш шартлари ўзгаради. $E_б$ кучланиш таъсирида E_A кучланишга боғлиқ бўлмаган $I_б$ токи ўтади. Бу ток „P_1-n_1“ ўтишда электронлар ва каваклар инжекциясини кучайтиради ва „n_1-P_2“ ўтишнинг қаршилиги камайи-



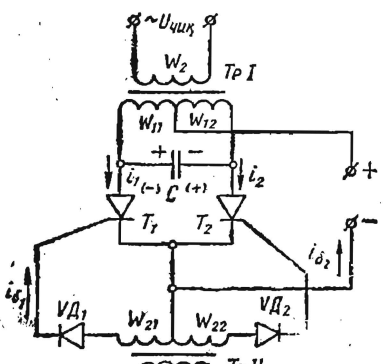
15.21-расм.

шига олиб келади. Тешилиш кучланиши камаяди ва тиристор U_A кучланишнинг кичикроқ қийматида очилади (A_1 нуқтаси, 15.21-расм, *б*). Бошқарувчи токи $I_б$ қанча катта бўлса, тиристордан ток ўтишини таъминловчи U_A кучланиш шунча кичик бўлади.

Агар тиристорга кучланишни тескари уласак (манфийсини анодга, мусбатини катодга), „$n_2 - P_2$“ ва „$n_1 - P_1$“ ўтишлар тескари, „$P_2 - n_1$“ ўтиш тўғри уланади. Икки тескари уланган ўтишнинг тешилиш кучланиши тўғри уланган ўтиш кучланишидан ўн мартага яқин катта бўлади.

Тиристорнинг қўлланишини берилган частотадаги даврий импульслар ҳосил қилувчи кучланишнинг автоном инвертори (КАИ) мисолида кўриб чиқамиз.

Ўзгармас кучланишни аниқ частотадаги ўзгарувчан синусоидал кучланишга айлантирувчи қурилма *инвертор* деб аталади. Энг оддий кучланиш инвертори иккита чулғамли трансформатор ($T_р$—1 ва T—2) орқали даврий $U_б$ кучланиш ёрдамида бошқариладиган VT_1 ва VT_2 икки тиристор ва доимий ЭЮК E_0 дан иборат (15.22-расм).



15.22-расм.

15.22-расмда кучланиш автоном инверторининг схемаси кўрсатилган.

Дастлабки ҳолатда иккала тиристор ёпиқ ва конденсатор C зарядланмаган $t = t_0$ вақтда трансформатор $T_р$ — 2 нинг W_1 бирламчи чулғамига ўзгарувчан бошқарув кучланиши $u_б = U_{бm} \sin \omega t$ берилади. Кучланишнинг ўзгариш частотасти ω. Шу сигнал биринчи ярим тўлқини VD_1 диод орқали ўтиб, $i_б$

бошқарув токини ҳосил қилади ва VT_1 тиристорни очади. Ўз навбатида, бу асосий манба E_0 дан биринчи трансформаторнинг бирламчи чулғамининг чап қисмидаги W_2 тиристор VT_1 орқали i_1 токи ўтишига олиб келади. Бу ток трансформаторнинг ўзагида магнит оқимини ҳосил қилади. Магнит оқими трансформаторнинг ҳамма чулғамлари (W_{11}, W_{12} ва W_2) да ЭЮК ни индукциялайди. W_{11} ва W_{12} чулғамларнинг натижавий ЭЮК, тахминан $2E_0$ га тенг. Очиқ тиристорнинг қаршилиги $R_T \cong 0$ лигини ҳисобга олиб, манбанинг ЭЮК E_0 W_{11} чулғамга берилганлигини кўрамиз. Шундай қилиб, конденсаторнинг қисмаларида ҳам $U_C = 2E_0$ кучланиш ҳосил бўлади. Бу кучланиш таъсирида конденсатор тиристор VT_1 очиқ бўлган вақт ичида зарядланади.

$U_б$ кучланишнинг йўналиши ўзгариши билан тиристор VT_1 ёпилади, тиристор VT_2 диод VD_2 орқали $i_{б_2}$ ток ўтиши ҳисобига очилади. Асосий манба E_0 занжирида тиристор VT_2 ва W_{12} чулғам орқали i_2 ток ўтади. W_{12}, W_{11} ва W_2 чулғамларида бу ток i_1 токини ҳосил қилган ЭЮК тескари йўналишдаги ЭЮК ни ҳосил қилади. Инверторнинг чиқишидаги $U_{чиқ}$ кучланишнинг йўналиши ҳам тескарига ўзгаради. Тескари қутбланишдаги кучланиш таъсирида конденсатор бирламчи чулғамнинг W_{11} ва W_{12} қисмлари орқали қайта зарядланиб, инвертордан кучланишни оширади. Ток $i_{б_2}$ нолга тенг бўлганида $i_{б_1}$ токи пайдо бўлиб, цикл давом этади. Чиқиш кучланишининг частотаси $f_{чиқ}$ бошқарувчи кучланишнинг частотаси билан аниқланади. $U_б$ сигнални ҳосил қилиш учун ярим ўтказгичлар асосида йиғилган кичик қувватли автогенератор ишлатиш мумкин.

15.4. МИКРОЭЛЕКТРОНИКА ЭЛЕМЕНТЛАРИ

Ҳозирги фан-техника тараққиёти саноатда ЭҲМ, автоматлаштирилган системаларнинг ишлатилиши билан боғлиқ. ЭҲМ ва бундай системалар жуда кўп мураккаб электрон элементларни ўз ичига олади. Элементлар кўпайган сари системанинг ишончлилиги, унинг элементларининг уланиш пухталиги камая боради. Бунда системанинг ўлчамлари ҳам ортиб боради. Шу масалаларни ҳал қилиш йўлидаги изланишлар асримизнинг 60-йилларида электрониканинг яна бир соҳаси—микроэлектрониканинг вужудга келишига сабаб бўлди. Микроэлектроника ўта кичрайтирилган электрон блокларни ва қурилмаларни яратиш ва ишлатиш билан шуғулланади.

Микроэлектрониканинг асосий элементи интеграл микросхема—ИМС (*integer*—бутун, чамбарчас боғлиқ) дир.

Конструктив тугалланган, маълум функцияни бажарувчи, бир технологик жараёнда ҳосил қилиниб, бир-бири билан электр жиҳатдан оғланган элементлардан ташкил топган кичик қурилма ***интеграл микросхема*** дейилади.

ИМС (интеграл микросхема) кремний кристалл ёки пластинкасида ҳосил қилинган ва бир-бири билан схемага уланган транзистор. диод, резистор ва бошқалардан иборатдир.

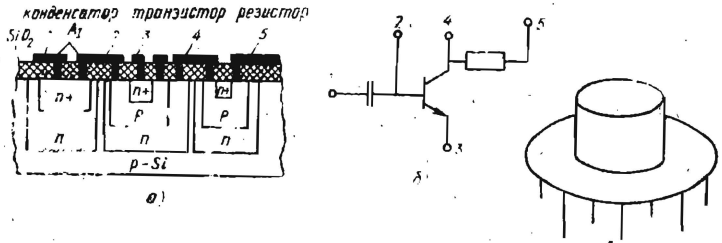
Бажарилишига қараб ИМС лар ярим ўтказгичли, гибрид ва бирлаштирилган ИМС ларга бўлинади. Ярим ўтказгичли ИМС да кремний пластинкасининг айрим жойлари турли элементлар (транзистор, резистор, конденсатор ва бошқалар) вазифасини бажаради. Актив элементлар — транзисторлар бўлиб, уларнинг турига қараб ярим ўтказгичли ИМС лар биполяр ёки МДЯ (металл, диэлектрик, ярим ўтказгич) микросхемаларга бўлинади. Биполяр микросхемада транзистор, уч қатламли диод, икки қатламли структура (конденсатор) вазифасини тескари уланган $p-n$ ўтиш, резистор вазифасини p-типдаги юпқа пояса бажаради. МДЯ микросхемаларда, асосан, индукцияланган каналли бир қутбли транзисторлар ишлатилади.

Ҳар бир элементнинг эгаллаган жойи микрометрлар билан ўлчанади. Элементлар бир-бири билан қисман пластинка ичида, қисман сиртдаги металл йўлакчалар орқали боғланади (15.23-расм).

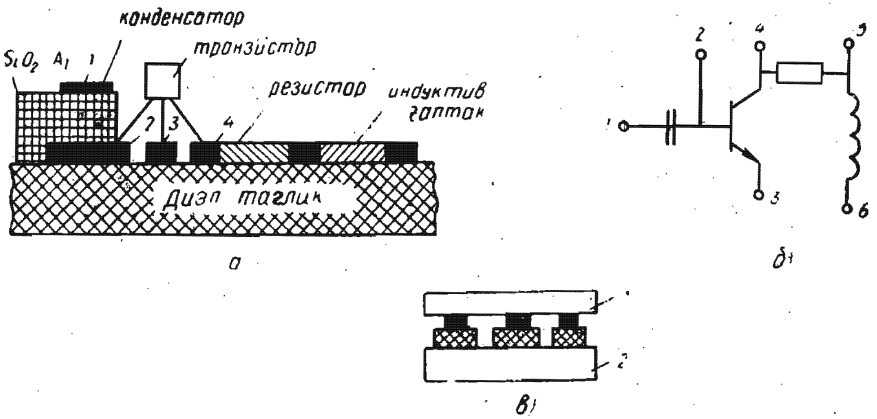
Бир технологик жараёнда бир неча минг микросхема ҳосил қилинади. Микросхема учун 0,2 — 0,3 мм қалинликдаги, диаметри 30 — 50 мм бўлган кремний пластинкаси олинади. Битта пластинка асосида 300—500 микросхема ҳосил қилинади.

15.23-расм, *а* да ярим ўтказгичли ИМС нинг конструкцияси, расм *б* да эса схемаси ва, ниҳоят, расм *в* да умумий кўриниши берилган.

Ярим ўтказгичли ИМС ларда транзистор ва диодлар яхши характеристикаларга эга. Пассив элементлар, конденсатор, резисторларнинг номинал параметрлари эса чегаралан ан (C = = 50—400 пФ гача, R=10—30 кОм гача) бўлади. Бу элементлар параметрларининг ўзгариши 20% ни ташкил қилади. Пассив элементларнинг параметрлари аниқ бўлиши учун гибрид ИМС лардан фойдаланилади. Гибрид ИМС лар плёнкали пассив элементлар ва корпуссиз транзистордан ташкил топган бўлади. Олдин диэлектрик таглик (шиша, сопол) да пуркаш йўли билан актив қаршилик, конденсатор ва элементлараро уланишлар ҳосил қилинади, бунда ҳосил бўлган плёнка қалинлиги 10^{-6} м бўлади. Сўнг термокомпрессион пайвандлаш



15.23-расм.



15.24- расм.

й ўли билан транзисторлар контакт майдончаларга пайвандланади (15.24- расм).

15.24- расм, *а* да гибридли ИМС нинг тузилиши, *б* да схемаси, *в* да эса умумий кўриниши берилган.

Бирлаштирилган МС ларда ярим ўтказгич ҳажмида актив элементлар ҳосил қилиниб, пассив элементлар пуркаш йўли билан плёнка шаклида ҳосил қилинади. Бир микросхема ўз ичига олган элементлар сонига қараб унинг интеграция даражаси аниқланади. Агар элементлар сони 100 гача бўлса, бундай ИС (интеграл схема) лар базавий элементлар сифатида кўпайтириш мантиқий операцияларни бажариш учун ишлатилади.

10^2—10^3 элементга эга бўлган ИС лар ўрта даражали (ЎДИС) интеграцияга эга. Счётчик, регистор, дешифратор ва бошқа мураккаб функционал вазифаларни бажара олади.

Элементлар сони 10^3—10^4 гача бўлса, микросхема юқори даража интеграцияли (КИС) бўлади ва турли инженерлик ҳисобларни бажара олувчи калькулятор сифатида ишлатилади.

Элементлар сони 10^4—10^6 гача бўлса, микросхема ўта юқори даражали интеграцияга эга (ЎЮДИС). Улар кўп ишловчи микропроцессорлар сифатида ишлатилади.

Иш режимига қараб ИМС лар аналогли ва рақамли ИМС ларга бўлинади.

Аналогли ИМС лар узлуксиз электр сигналларни ўзгартириш ва қайта ишлаш учун мўлжалланган. Улар генераторлар, кучайтиргичлар ва бошқа қурилмалар сифатида ишлатилади. Рақамли ИМС лар асосан мантиқий элементлар сифатида ишлатилади.

ИМС лар қуйидаги афзалликларга эга:

1) жуда ишончли; 2) ўлчамлари ва массаси кичик (бир

неча граммдан ортмайди); 3) тез ишга тушади; 4) кам қувват истеъмол қилади.

Асосий камчилиги чиқиш қуввати камлигидир.

Интеграл микросхемаларнинг ГОСТ бўйича белгиланишидаги К ҳарфи кенг қўлланишга мўлжалланганлигини кўрсатади. Бу ҳарфдан кейинги рақам ИМС нинг конструктив технологик бажарилишини кўрсатади: агар 1, 5, 7 бўлса, ярим ўтказгичли, 2, 4, 6, 8 бўлса, гибридли бўлади. Бу рақамдан кейин сериянинг номерини кўрсатувчи икки хонали рақам (00 дан 99 гача) бўлади. Рақамлардан кейинги ҳарфлар микросхеманинг функционал вазифасини кўрсатади (УН — кучланиш кучайтиргичи, ЛЭ—мантиқий элемент, УД—дифференциал кучайтиргич). Охиридаги рақам серияли ишлаб чиқариш номерини кўрсатади.

15.5. ФОТОЭЛЕКТРОН АСБОБЛАР

Электрон схемаларда фотоэлектрон асбоблардан кенг фойдаланилади. Уларнинг ишлаши фотоэффектга, яъни электромагнит нурланиш таъсирида электрон эмиссия ҳосил бўлишига асосланган. Фотоэффект 1886 йилдан бошлаб ўрганила бошлаган. Рус олими А. Г. Столетов фотоэлектрон эмиссия туфайли ҳосил бўлган ток $I_ф$ ва мазкур ток келтириб чиқарувчи нур оқими орасидаги боғланишни аниқлади:

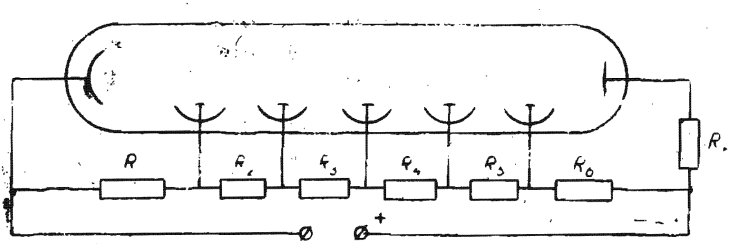
$$I_ф = S \cdot Ф,$$

бу ерда S—фотокатоднинг сезгирлиги, мкА/лм; $Ф$ — ёруғлик оқими, лм.

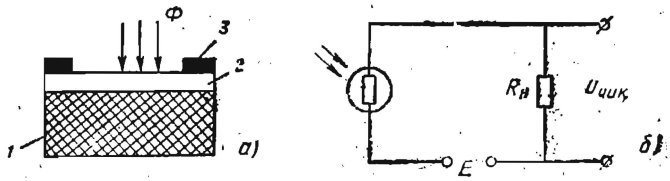
1905 йилда А. Эйнштейн фотон энергияси ($h\nu$) электроннинг чиқиш ишига сарфланган энергия (W_0) ва унинг кинетик энергияси ($0,5\ mv^2$) га сарф бўлишини аниқлади:

$$h\nu = W_0 + \frac{mv^2}{2}.$$

Фотоэлектрон асбоблар, ёруғлик таъсирида ўзидан электронларни чиқарувчи фотокатод ва анoддан иборатдир. Ташқи фотоэффект қўлланилган фотоэлектрон асбоб фотоэлектрон кучайтиргичнинг (ФЭК) ишлашини кўриб чиқамиз (15.25-расм).



15.25- расм.



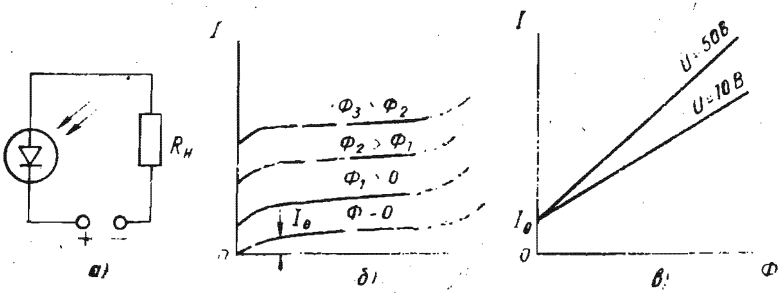
15.26- расм.

Ёруғлик оқими туфайли фотокатод (ФК) дан электронлар учиб чиқади. ФЭК да ҳосил бўлган фототок $I_ф$ иккиламчи эмиссия туфайли кучайтирилади. ФК дан учиб чиққан электронлар фотокатодга нисбатан мусбат потенциалга эга бўлган, *динод* деб аталувчи электрод ($Д_1$) томон ҳаракатланади ва фототок $I_ф$ ни ҳосил қилади. Бу ток $Д_1$ дан иккиламчи электронларни уриб чиқаради. Бу электронлар сони бирламчи электронлар сонидан σ марта каттадир (σ — диноднинг иккиламчи эмиссия коэффициенти). Иккиламчи электронлар $I_1 = \sigma I_ф$ токни ҳосил қилади. Бу ток мусбат потенциали биринчи динодникидан юқорироқ бўлган иккинчи динод (D_2) га келиб, унда яна иккиламчи эмиссия туфайли $I_2 = \sigma I_1 = \sigma^2 I_ф$ токни ҳосил қилади. Ўз навбатида, I_2 токи ўзидан юқорироқ мусбат потенциалли динод (D_3) да $I_3 = \sigma I_2 = \sigma^3 I_ф$ токни ҳосил қилади ва ҳоказо. Сўнгги n-динод ($Д_n$) дан I_n ток анод томон ўтади. Бунда анод токи $I_а = I_n = \sigma^n I_ф$ бўлади.

ФЭК ларда фототокнинг кучайтириш коэффициенти $K_i = \sigma^n$ га тенг бўлади.

ФЭК лар кам инерцион бўлиб, юқори частоталарда ишлатилиши мумкин. Улардан астрономия, фототелеграфия, телевидениеда ёруғлик нури импульсларини ҳисобга олиш, кичик ёруғлик оқимларини ўлчаш ва спектрал анализда фойдаланилмоқда.

Ярим ўтказгичларда нурланиш таъсирида заряд ташувчилар жуфти (электрон ва каваклар) нинг ҳосил бўлиши кузатилади ва бу ҳодиса *ички фотоэффект* дейилади. Фотонлар таъсирида ҳосил бўлган қўшимча ўтказувчанлик *фотоўтказувчанлик* деб аталади. Масалан, кадмий сульфиди ёки кадмий селенидидан тейёрланган ярим ўтказгичли қаршилик нурланиш таъсирида ўз қаршилигини ўзгартиради. Бундай қаршилик *фоторезистор* деб аталади. 15.26- расм, *а* да фоторезисторнинг тузилиши, *б* да уланиш схемаси, *в* да эса вольт-ампер характеристикаси кўрсатилган. Диэлектрик таглик (*1*) га ярим ўтказгич (*2*) нинг юпқа қатлами суртилган. Ярим ўтказгич контактлар (*3*) ёрдамида манбага уланади. Ёруғлик нури тушмаганда фоторезисторнинг қаршилиги катта ($R_к \leqslant 10^4 \div 10^7$ Ом) бўлиб, *қоронғилик қаршилиги* дейилади. Занжирдан эса қиймати жуда кичик бўлган қоронғилик токи ўтади. Агар шу ярим ўтказгичга ёруғлик оқими тушса, фотонлар энергияси



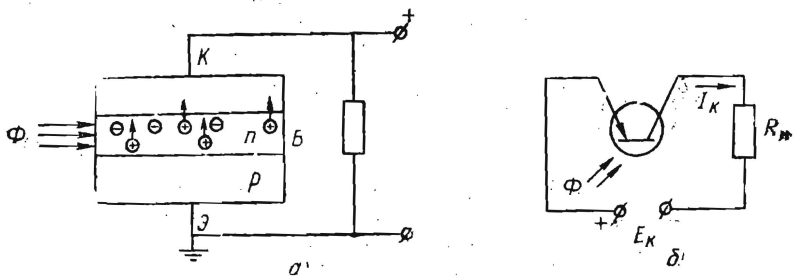
15·27- расм.

таъсирида заряд ташувчилар генерацияси юзага келиб, қаршилик камаяди ва занжирдан ўтувчи ток ортади. Фоторезисторлар вентиль хусусиятига эга эмас, яъни токни иккала йўналишда ҳам ўтказа олади. Фоторезисторлар, асосан, автоматик схемаларда ишлатилади

Фотодиод бир ($p—n$) ўтишли фотоэлектрик асбобдир (15.27-расм). Улар оддий диодлар каби токни бир йўналишда ўтказади. Лекин ёруғлик оқими ёрдамида уларнинг тескари токини ҳам бошқариш мумкин. Бунда электрон-кавакли ўтиш жойига ва унга яқин соҳага ёруғлик оқими таъсир қилади. Натижада заряд ташувчилар жуфти генерацияланиб, диоднинг тескари ўтказувчанлиги ва тескари токи ортади. Фотодиоднинг вольт-ампер характеристикаси (15.27-расм, *б*) умумий база билан уланган биполяр транзисторнинг чиқиш характеристикасини эслатади. Ёруғлик оқими йўқлигида фотодиоддан оддий бошланғич тескари ток $I_{тес}$, яъни қоронғилик токи ўтади (15.27-расм, *б — в*). Ёруғлик оқими таъсир этганда диоддаги ток ортади. Оқим қанча катта бўлса, ток ҳам шунча катта бўлади. Диодга таъсир этувчи тескари кучланишнинг ортиши токнинг қийматига деярли таъсир этмайди. Бироқ маълум кучланишида тешилиш юз беради (характеристикадаги узиқ чизиқлар). Фототокнинг қиймати, асосан, ёруғлик оқимига пропорционалдир. Кремнийли фотодиодларнинг сезгирлиги 3 мА/лм, германий фотодиодларники 20 мА/лм га етади.

Фототранзистор икки $p — n$ ўтишли, уч қатламли ярим ўтказгич бўлиб, ёруғлик энергияси таъсирида фототокни кучайтириш учун хизмат қилади. Фототранзисторнинг тузилиши оддий ясси транзисторнинг тузилишига ўхшайди (15.28-расм).

Фототранзистор икки хил (уланмаган базали ва умумий эмиттерли) схема бўйича уланиши мумкин. Ёритилган базада бўш электронлар ва каваклар ҳосил бўлади. Каваклар базада ёрдамчи ташувчи вазифасини ўтаб, коллектор ўтишида коллекторга тортиб олинади ва коллектор занжирда фототок ҳосил қилади. Электронлар эмиттер ўтишидаги потенциал тўсиқни камайтирувчи ҳажмли зарядни ҳосил қилади. Эмиттер



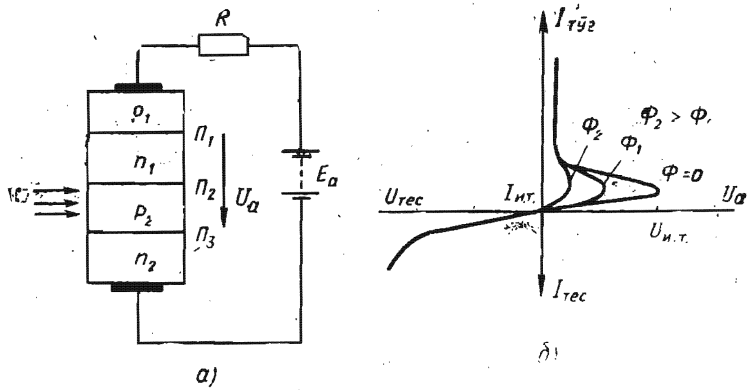
15.28- расм.

ўтиши очилиб, каваклар базадан коллекторга ўтади ва фотодиод токидан β марта катта бўлган қўшимча коллектор токини ҳосил қилади. Истеъмолчидаги умумий ток қоронғилик токи $I_{қо}$, фотодиод токи $I_ф$ ва кучайтирилган фототок $\beta I_ф$ ларнинг йиғиндисига тенг, яъни $I_и = I_{қо} + I_ф + \beta I_ф \cong (1+\beta) I_ф$. Фототранзистор УЭ схема бўйича уланганида чиқиш токи $I_и$ ни ёруғлик ва электрик сигналлар ёрдамида бошқариш мумкин. Фототранзисторлар автоматик қурилмаларда, фототелеграфияда, киноаппаратлар ва оптоэлектроникада сезгир элемент сифатида ишлатилади.

Фоторезистор учта $p-n$ ўтишли ярим ўтказгичдир. У $p_1 - n_1 - p_2 - n_2$ қатламлардан иборат бўлиб, оддий тиристор каби кремнийдан тайёрланади. Биринчи ва учинчи ўтишларга нисбатан кучланиш тўғри, иккинчисига нисбатан эса тескари уланади. Ёруғлик оқими таъсир этмаганда фототиристор оддий тиристор каби ишлайди. Ёруғлик таъсири бошқарувчи ток таъсири каби бўлиб, унинг оқими қанчалик катта бўлса, фототиристорнинг анод кучланиши шунчалик кичик бўлади (15.29-расм).

Юқорида кўриб чиқилган фотоэлектрон асбобларда ёруғлик оқими электр токининг фақат қийматига таъсир эта олади. Бу асбоблардан ташқари, ёруғлик оқимининг энергиясини ЭЮК га ва, аксинча, электр токини нурланишга айлантирувчи асбоблар ҳам мавжуддир. Вентиль ёки гальваник фотоэлемент нурланиш энергиясини электр энергиясига айлантириш учун хизмат қилади. Селен, кадмий сульфиди, кремнийдан тайёрланган диодлар ташқи кучланишсиз ишлаб, ёруғлик нури таъсирида ўз ЭЮК ни ҳосил қилади.

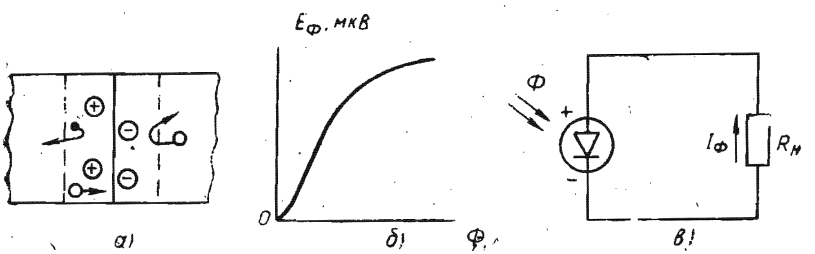
15.30-расм, *а — в* да гальваник фотоэлементнинг ёруғлик таъсирида уйғотилган заряд ташувчиларнинг $p-n$ ўтиш майдони таъсирида ажратилиши фото-ЭЮК нинг ёруғлик оқимига боғлиқлиги ва вентиль фотоэлементнинг уланиш схемаси кўрсатилган.



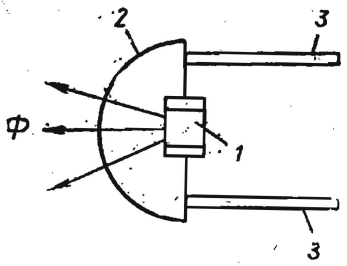
15.29-расм.

Фотонлар $p-n$ ўтиш жойи ва унга яқин соҳага таъсир этиб, заряд ташувчилар жуфтини генерациялайди. Натижада p ва n соҳаларда ортиқча асосий заряд ташувчилар йиғилиб, фото-ЭЮК деб аталувчи потенциаллар айирмаси ҳосил бўлади. Ёруғлик оқими тушиши билан фото-ЭЮК ($E_ф$) чизиқли бўлмаган қонун бўйича ўзгаради. Агар фотоэлемент занжирига истеъмолчи уланса, бу занжирдан фототок $I_ф$ ўтади. Ҳозирги вақтда ишлатиладиган кремнийли фотоэлементлар қуёш нурининг энергиясидан 0,4 — 0,5 В ли ЭЮК ни ҳосил гилади. Бундай элементларни ўзаро кетма-кет ва параллел улаш йўли билан қуёш батареялари ҳосил қилинади.

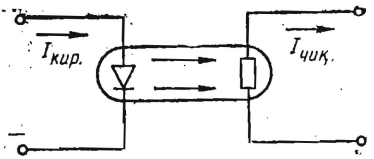
Фотогальваник элементнинг акси бўлган ёруғлик диоди электр энергиясини ёруғлик энергиясига айлантиради. Ёруғлик диоди бир нечта $p-n$ ўтишли ярим ўтказгичдир (15.31-расм). Ундаги уйғонган электронлар тўғри уланган кучланиш таъсирида нисбатан пастроқ энергетик сатҳга ўтади ва коваклар билан кўпроқ тўқнашиб, рекомбинацияланади. Рекомбинация туфайли ҳар бир ташувчи электрон ва коваклар жуфтидан фотон ҳосил бўлади. Электрон ва коваклар кўп бўлгани учун фотонлар (ёруғлик энергияси) ажралиб чиқади. Нурланиш ран-



15.30-расм.



15.31- расм.



15.32- расм.

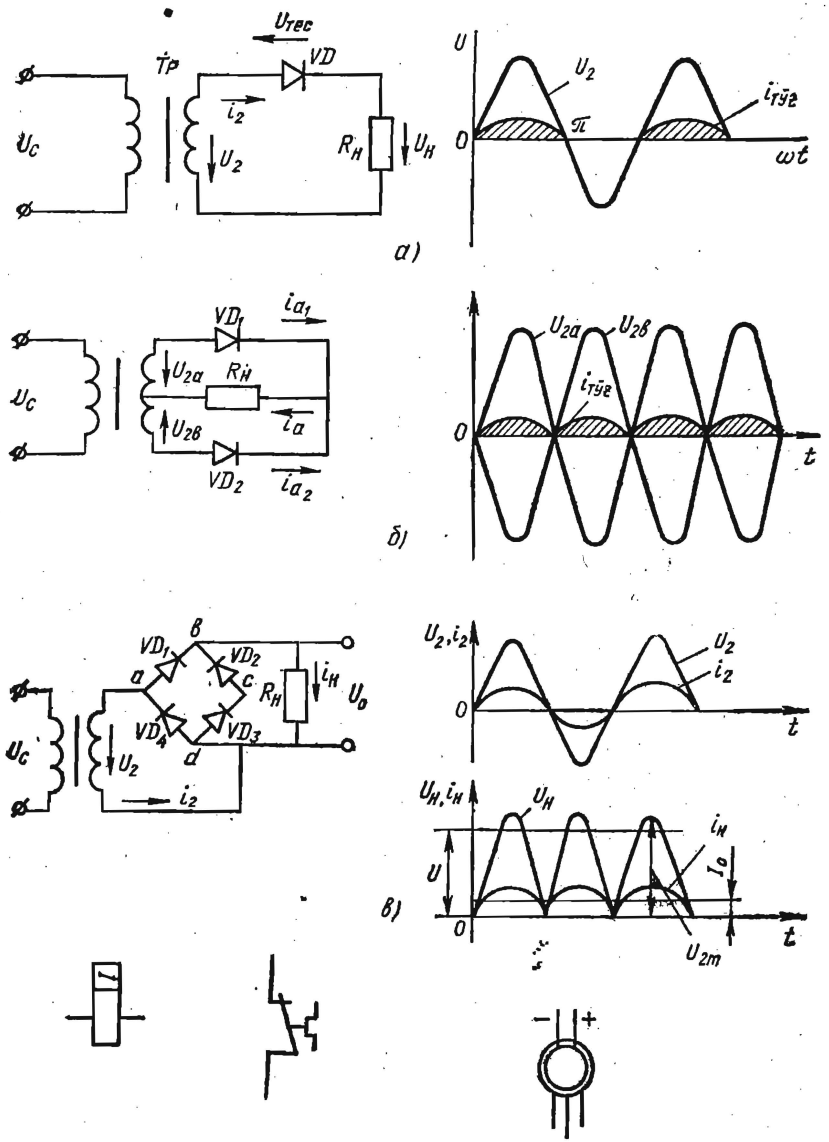
ги ярим ўтказгич (диод) қандай материалдан тайёрланганлигига, нурланиш равшанлиги эса диоддан ўтаётган токнинг миқдорига боғлиқ бўлади. Ярим ўтказгичлар электроникасининг ривожланаётган соҳаси бўлмиш оптик электроника ёруғлик диодлари асосида ишлайди. Оптик электроника электр токининг ярим ўтказгичларда нурга айланишини ва, аксинча, ёруғликнинг ярим ўтказгичларга таъсир қилиши натижасида электр сигналининг ҳосил бўлиш қонунларини ўрганади. Оптик электрониканинг асосий элементи *оптрондир*. Оптрон ўзаро оптик боғланган ёруғлик манбаи ва истеъмолчидан ташкил топган. Ёруғлик манбаи кириш занжирига, ёруғлик истеъмолчиси эса чиқиш занжирига уланган. Энг кенг тарқалган оптрон ёруғлик диод-фоторезистори ва диод-фототранзисторидир (15.32- расм).

Ёруғлик диодидан ўтаётган кириш токининг ўзгариши ёруғлик равшанлигини ўзгартиради. Ёруғлик оптик алоқа каналидан ўтиб, фоторезисторга келиб тушади. Нур оқимининг ўзгариши фоторезисторнинг қаршилигини ўзгартиради. Натижада оптроннинг чиқиш занжиридаги токнинг қиймати ўзгаради. Оптрон электрик сигналларни кириш занжири чиқиш занжиридан ажратилган ҳолда кучайтириш имконини беради. Унинг бу хусусияти оптик телефон алоқа системаларида, фототелеграфияда кенг қўлланилади.

15.6. ЎЗГАРУВЧАН ТОКНИ ТЎҒИРЛАШ ЗАНЖИРЛАРИ

Ўзгарувчан электр токидан ўзгармас ток олиниши анчадан бери маълум. Катта қувватли ўзгармас токни кимёвий, магнитогидродинамик ва бошқа қурилмалар ёрдамида ҳосил қилиш имконияти бўлмагани учун у ўзгарувчан токни ўзгармасга айлантириш йўли билан олинади. Ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантиришни мустақил манбаи ҳисобланмиш ўзгармас ток генераторларида ҳам амалга ошириш мумкин. Синусоидал ЭЮК дан ҳосил бўлган токнинг бир йўналишида ўтишини чўтка-коллектор қурилмаси таъминлаб беради.

Бир томонлама ўтказувчанликка эга бўлган электрон ва ярим ўтказгичли диодлар ихтиро қилинганидан сўнг ўзгармас



15.33- расм.

токни халқ хўжалигининг ҳамма тармоқларига саноат электроникаси етказиб бера бошлади. Тўғрилаш техникаси бошқариладиган ва бошқарилмайдиган ярим ўтказгичли диодларни такомиллаштириш, уларнинг қувватини ошириш ҳисобига янада ривожланмоқда. Ўзгарувчан токни тўғрилаш электрон зан-

жирлари ҳозирги вақтда ЭҲМ, радиотехника ва алоқа воситаларини ток билан таъминловчи манбаларнинг асосий қисмидир.

Бир ва кўп фазали ўзгарувчан токни тўғрилаш схемалари кенг тарқалган. 15.33-расм, *а* да бир фазали синусоидал токнинг ярим даврли тўғрилаш схемаси кўрсатилган. Икки чулғамли трансформатор Тр нинг W_1 ўрамли бирламчи чулғами U_1 синусоидал кучланишли занжирга уланган. Мазкур кучланиш W_2 ўрамли иккиламчи чулғамдан олинадиган U_2 кучланишга айлантирилади. Кучланиш U_2 нинг қиймати $\frac{W_1}{W_2} = \frac{U_1}{U_2}$ боғланишдан аниқланади. Кучланиш U_2 нинг тўғриланган қисми $U_{тўғ} = R_и \cdot i_{тўғ}$.

U_2 кучланиш тўғриланган ток $i_{тўғ}$ ва диоднинг параметрлари мослигини таъминлаши керак.

15.33-расм, *а* даги графиклардан ток $R_и$ қаршиликдан $U_2 = U_{2m} \sin \omega t$ кучланишнинг мусбат ярим даврларидагина, яъни 0 дан π гача, 2π дан 3π гача бўлган оралиқларда ўтишини кўрамиз. Агар диоднинг ички қаршилиги ҳисобга олинмаса ($r_д = 0$), тўғриланган кучланишнинг бир даврдаги ўртача қиймати қуйидагича бўлади:

$$U_{ўр} = U_{тўғ} = \frac{1}{T}\int_0^{T/2} u_2 dt = \frac{1}{T}\int_0^{T/2} U_{2m} \sin \omega t dt =$$

$$= \frac{U_{2m}}{\omega T}\int_0^{\pi} \sin \omega t dt = \frac{\sqrt{2}U_2}{2\pi fT}(-\cos \omega t)\Big|_0^{\pi} = \frac{\sqrt{2}U_2}{\pi} \approx 0{,}45U_2,$$

бу ерда U_2 — трансформаторнинг W_2 чулғамидаги кучланишнинг эффектив қиймати, В.

Истеъмолчининг қаршилиги $R_и$ дан ўтувчи ток (расмда штрихланган) йўналиш жиҳатдан ўзгармас, қиймат жиҳатдан пульсацияланувчи. Унинг бир даврдаги ўртача қиймати қуйидагига тенг:

$$I_{ўр} = I_{тўғ} = \frac{U_{тўғ}}{R_и} = 0{,}45\ U_2/R_и,$$

яъни $I_{ўр}$ тўғриланган кучланиш ва истеъмолчининг қаршилигига боғлиқдир.

Тўғриланган кучланиши пульсацияланувчи бўлгани учун бундай схема жуда кам қўлланилади. Ундан радиосигналларни детекторлаш, аккумуляторларни зарядлаш, магнит ўзакларни импульсли магнитлаш ва бошқа мақсадларда фойдаланиш мумкин.

Трансформаторнинг иккиламчи чулғами икки секциядан иборат бўлган, икки ярим даврли тўғрилаш схемаси мукаммалроқ ва сифатлироқдир (15.33-расм, *б*). Иккиламчи чулғам (W_2) иккита бир хил секциядан иборат $\left(W_2' = \frac{1}{2}W\right)$. Бу чулғам-

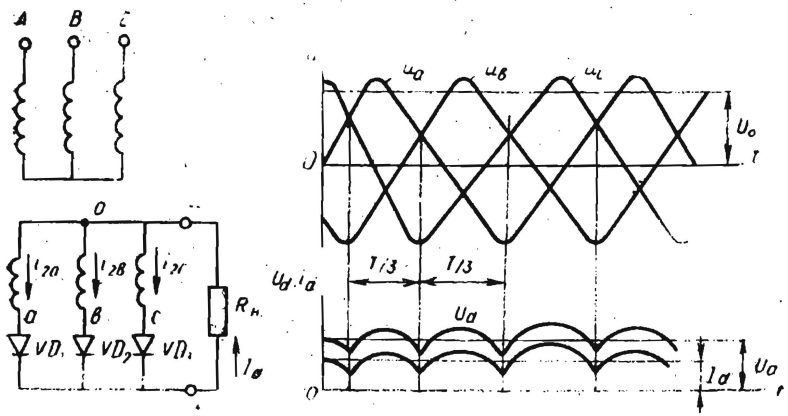
ларнинг охирги учлари бир хил диодлар (VD_1 ва VD_2) орқали $R_и$ қаршиликнинг мусбат қутбига уланади. Бош учлари эса истеъмолчининг манфий қутбига уланади. Тўғрилаш қуйидагича амалга оширилади. Трансформаторнинг кириш занжирига таъсир этувчи $U_1(t)$ кучланишнинг битта ярим даврида W_2 секцияларида индукцияланган U_2 кучланиш пастдан юқорига йўналган бўлсин. Ў ҳолда кучланишдан ҳосил бўладиган ток $W_2' - VD_1 - R_и$ занжирдан ўтади, пастдаги $W_2 - R_и - VD_2$ занжирда эса ток ўтмайди, чунки VD_2 диод бу токни ўтказмайди (токнинг йўналиши тескари бўлгани учун). $R_и$ қаршилигида ток ўнгдан чапга ўтади (15.33-расм, *б*). Иккинчи ярим даврда W_2' секцияларда $U_2 = -U_2$ кучланиш ҳосил бўлади. Бу кучланиш юқоридан пастга йўналади ва $VD_2 - R_и - W_2$ ва $R_и - VD_1 - W_2'$ контурларда соат милининг ҳаракатига қарши йўналган токни ҳосил қилади. Бунда VD_1 диоди ёпиқ бўлиб, ток фақат пастки контурдан (истеъмолчи $R_и$ да яна ўнгдан чапга) ўтади. Бир давр ичида $R_и$ қаршилик $u_2 = U_{2m} \sin \omega t$ кучланишнинг тўғри ва 180° га ағдарилган тескари ярим тўлқинлари остида икки марта бўлади (15.33-расм, *б* нинг қуйи қисми). Иккиламчи кучланишнинг қиймати $\frac{W_1}{W_2} = \frac{U_1}{U_2}$ ва тўғриланган кучланишга боғлиқ ҳолда аниқланади. Агар диодларнинг ички қаршилиги ҳисобга олинмаса ($r_д = 0$), қаршилик учларидаги кучланишнинг ўртача қиймати:

$$U_{ўр} = U_{тўғ} = \frac{2}{T}\int_0^{T/2} u^2 dt = \frac{2}{T}\int_0^{T/2} U_{2m} \sin \omega t dt =$$

$$= \frac{2U_{2m}}{\omega T}\int_0^{\pi} \sin \omega t dt = -\frac{\sqrt{2}U_{2m}}{\pi} \cos \omega t \Big|_0^{\pi} = \frac{2\sqrt{2}U}{\pi} \approx 0{,}9U_2.$$

15.33-расм, *б* даги графикдан икки ярим даврли тўғрилаш схемасига ўтилганда чиқиш кучланишининг пульсацияланиш частотаси икки марта ортиши ва пульсация чуқурлиги камайиши кузатилади.

Кўриб чиқилган схемаларда тўғрилагичлардан ташқари трансформаторлар ҳам бор. Улар ҳисобига тўғрилагичларнинг вазни ва габаритлари ортиб кетади. Трансформатор схемага манба ўзгарувчан кучланишининг қийматини тўғрилагичнинг чиқишидаги кучланиш билан мослаш учун уланади. Агар ўзгарувчан синусоидал кучланишнинг қиймати трансформация қилинмаган ҳолда тўғриланиши керак бўлса, 15.33-расм, *а* да кўрсатилган икки ярим даврли кўприк схемадан фойдаланилади. Бу схемада тўғрилашни кўприк шаклида уланган 4 та бир хил электрон ёки ярим ўтказгичли диодлар (VD_1, VD_2, VD_3, VD_4) бажаради. Кўприк диагоналларининг бирига ўзга-



15.34- расм.

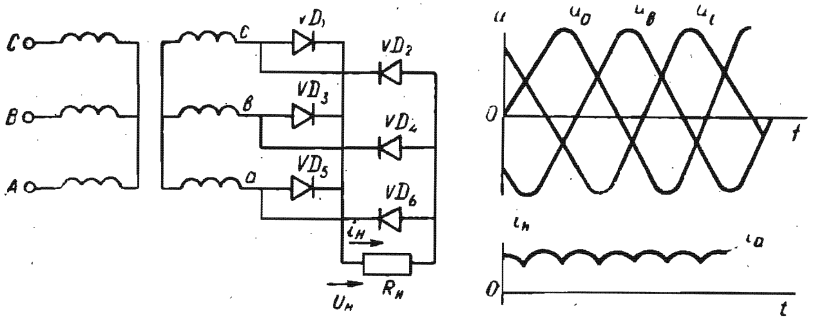
рувчан кучланиш манбаи U, иккинчисига эса истеъмолчи қаршилиги $R_н$ уланади. Ўзгарувчан токни ўзгармас токка тўғрилаш қуйидагича бажарилади. Кириш кучланишининг мусбат ярим даврида (манбанинг юқори қисмаси мусбат, пастки қисмаси манфий зарядланган) ток манбадан VD_2, $R_н$ ва VD_2 лар орқали берилган кучланишнинг мусбат қутбидан манфий қутбига ўтади. Иккинчи ярим даврда эса ток VD_3, $R_н$ ва VD_4 лар орқали ўтади. Бинобарин, токнинг ҳар бир ярим даврида тўғрилагичдаги маълум жуфтлик (масалан, VD_1 ва VD_2) ишлайди, иккинчи жуфтликка эса (масалан, VD_3 ва VD_4) тескари кучланиш берилган бўлади. Бунда тўғрилаш коэффициенти 15.33-расм, *б* да кўрсатилган схеманики каби $U_{ўр} = U_{тўғ} = \frac{2}{T}\int_0^{T/2} u_1 dt \approx 0{,}9U_1$ га тенг, чунки U_1 кучланиш бевосита тўғриланади (U_1—занжирнинг киришидаги кучланишнинг эффектив қиймати). Тўғриланган токнинг ўзгариш графиги 15.33-расм, *в* нинг ўнг томонида кўрсатилган.

15.34-расмда уч фазали ўзгарувчан токни тўғрилаш схемаси ва тўғриланган уч фазали токнинг диаграммаси кўрсатилган.

15.35-расмда уч фазали токни иккита ярим даврли тўғрилаш схемаси ва тўғриланган токнинг графиги кўрсатилган. Айрим фазалардаги ток ва кучланишларни тўғрилаш қуйидагича амалга оширилади. Трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги фаза кучланишлари бир-бирига нисбатан $2\pi/3$ бурчакка силжиган:

$$u_a = U_m \sin \omega t; \quad u_b = U_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right);$$

$$u_c = U_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right).$$



15.35- расм.

Бу синусоидаларнинг мусбат ярим тўлқинларидаги максимумлар даврнинг учдан бир қисми $\left(\frac{1}{3}T\right)$ да алмашиб туради. Шу вақт ичида бир томонлама ҳаракатланувчи i_a, i_b, i_c токлар ҳосил бўлади. Бу схемада VD_1, VD_2 ёки VD_3 диодлардан ўтувчи ток берилаётган кучланишнинг бутун мусбат ярим тўлқини даврида эмас, балки $T/3$ ичида ўтади. Масалан, i_a токи a фазада $t_1 = \frac{\pi}{6\omega}$ вақтда ҳосил бўлиб, $t_2 = \frac{5\pi}{6\omega}$ вақтда тугайди, ток i_b эса $t_2 = \frac{5\pi}{6\omega}$ вақтда ҳосил бўлиб, $t_3 = \frac{3\pi}{2\omega}$ вақтда тугайди ва ҳоказо.

Тўғриланган кучланишнинг (токнинг) ўртача қиймати қуйидагича аниқланади:

$$U_{ўр} = U_{тўғ} = \frac{1}{T/3}\int_{t_1}^{t_2} u\,dt \quad \text{ёки}$$

$$U_{ўр} = \frac{3}{T}\int_{T/12}^{5\pi/12} u\,dt = \frac{3}{\omega t}\int_{\pi/6}^{5\pi/6} U_m \sin\omega t\, d\omega t =$$

$$= \frac{3U_m}{2\pi}(-\cos\omega t)\Big|_{\pi/6}^{5\pi/6} = \frac{3\sqrt{3}U_m}{2\pi} = \frac{3\sqrt{6}U}{6{,}28} = 1{,}17U.$$

$$I_{тўғ} = \frac{U_{ўр}}{R_н} = \frac{1{,}17U}{R_н}.$$

Уч фазали схемада тўғриланган токнинг пульсацияланиш чуқурлиги бир фазалидагига нисбатан анча камдир. Тўғрилаш коэффициенти, яъни чиқишдаги тўғриланган $U_{тўғ} = U_{ўр}$ кучланишнинг киришдаги кучланиш U нинг эффектив қийматига нисбати $\left(K_{тўғ} = \frac{U_{ўр}}{U}\right)$ тўғрилагичнинг фазалар сони ортиши би-

лан ортиб боради ва фазалар сони $m \to \infty$ бўлганида $K_{тўғ} \to 1{,}41$ бўлади. Демак, идеал ҳолатда тўғриланган кучланишнинг ўртача қиймати берилган ўзгарувчан кучланиш амплитудасига тенгдир.

Уч фазали кўприк схемада уч фазали ўзгарувчан токни тўғрилаш жараёнини кўриб чиқамиз (15.35-расм). Агар $VD_1 \ldots VD_6$ диодларнинг ток ўтказаётгандаги қаршиликлари ҳисобга олинмаса, $R_и$ нинг учларидаги кучланиш уч фазали системанинг линия кучланишига тенг бўлади. Схема элементларининг уланиши U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} кучланишларнинг қиймати мусбат бўлганида ҳам, манфий бўлганида ҳам токнинг ўтишини таъминлай олади. 0 дан t_1 гача бўлган вақт ичида $U_{CB} = -U_{BC}$ кучланиш энг катта қийматга эга бўлади ва бу кучланиш таъсирида ток манбанинг C фазаси учидан VD_3, $R_и$ ва VD_5 орқали B фазанинг бошига ўтади. $t_1 - t_2$ вақт ичида ток A фазадан VD_1 ва VD_5 диодлар ва $R_и$ орқали B фазага ўтади. $t_2 - t_3$ вақт ичида VD_1 ва VD_6 диодлар ишлайди, $t_3 - t_4$ вақт ичида VD_2 ва VD_6, $t_4 - t_5$ да VD_2 ва VD_4, $t_5 - t_6$ вақт ичида VD_3 ва VD_4 диодлар ишлайди. Кейин жараён яна бошидан такрорланади.

Ҳар бир диод даврнинг учдан бир қисмида узлуксиз ишлайди, бошқа вақт эса ёпиқ ҳолатда бўлади. $t_1 - t_2$ вақт ичида VD_1 ишлайди. $t_2 - t_4$ вақт ичида VD_6 ишлайди ва ҳоказо. Тўғриланган токнинг ўртача қиймати қуйидагича аниқланади:

$$I_{тўғ} = \frac{U_{тўғ}}{R_и} = \frac{U_m(AB)}{R_и T/6} \int_{t_1}^{t_2} \sin \omega t dt = \frac{6I_m}{2\pi} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \sin \omega t d\omega t =$$

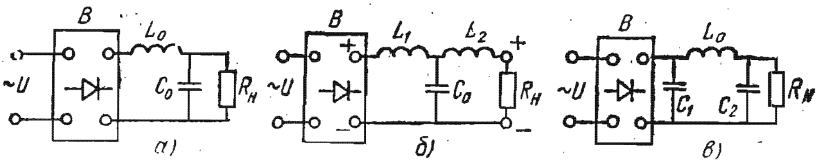
$$= \frac{3\sqrt{2}I}{\pi} (-\cos \omega t) \Big|_{\pi/3}^{2\pi/3} = 1{,}346\, I = 1{,}346 \frac{U_{AB}}{R_и}.$$

Занжирнинг чиқишидаги тўғриланган кучланишнинг қиймати:

$$U_{тўғ} = I_{тўғ} \; R_и = 1{,}346 U_{AB}.$$

Демак, олти фазали кўприк схема ток ва кучланишларни нисбатан сифатли тўғрилаб беради. Шунингдек, мазкур схема трансформаторсиз бўлиб, анча соддадир.

Тўғриланган токнинг шаклини ўзгармас ток шаклига яқинлаштириш ва, энг аввало, пульсацияланишни камайтириш ёки бутунлай йўқотиш мақсадида тўғрилагичнинг чиқишига истеъмолчидан олдин текисловчи фильтрлар ўрнатилади. Тўғриланган кучланишдаги пульсациялар эгри чизиғи Фурье қаторига ёйилганида асосий ва бир нечта юқори гармоникалардан иборат бўлгани учун юқори гармоникаларни ушлаб қолиш ёки сусайтириш мақсадида схемага уланган индуктивлик ва сиғимлардан фойдаланилади. Бундай схемалар *фильтрлар* дейилади. Оддий фильтрларнинг кенг тарқалган схемалари Г-симон,

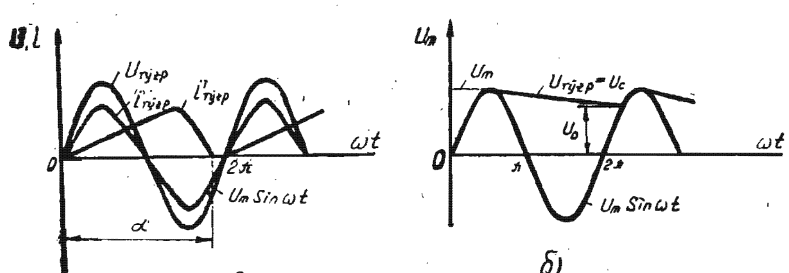


15.36-расм.

Т-симон ва П-симондир (15.36-расм, *а — в*). Улар кетма-кет уланган индуктивлик ва параллел уланган сиғим элементлардан иборатдир. Индуктивлик L_0 (15.36-расм, *а*) токнинг ўзгарувчан ташкил этувчилари (гармоникалар) га қўшимча қаршилик кўрсатади, ўзгармас токка эса қаршилик кўрсатмайди. Сиғим C_0 эса, аксинча, ўзгарувчан ташкил этувчиларга қаршилиги кичик. Шунинг учун гармоникалар истеъмолчи $R_и$ дан эмас, сиғим орқали ўтади. Конденсатор эса ўзгармас токни ўтказмайди.

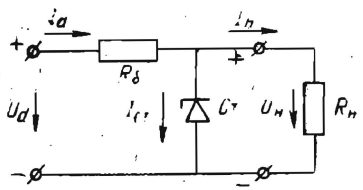
15.37-расм, *а* ва *б* да индуктив ва сиғим фильтрлар ёрдамида текисланган ток ва кучланиш графиклари кўрсатилган. $R_и$—L_0 занжирдаги ўтиш жараёни ҳисобига ток $i_{тўғ}$ нинг ярим тўлқини тўғриланган кучланиш $U_{тўғ}$ нинг ярим тўлқинидан фаза жиҳатдан орқада қолади. Шу сабабли бу токнинг оқиб ўтиш вақти фаза жиҳатдан $\alpha > \pi$ бурчакка ортади ва π дан 2π гача бўлган пауза қисман тўлатилади.

Параллел уланган сиғимнинг тўғриланган кучланишга таъсири 15.37-расм, *б* да кўрсатилган 0 дан $\pi/2$ гача бўлган фазада тўғриланган кучланиш 0 дан U_m гача ортади ва конденсаторни $U_c = U_m$ гача зарядлайди. $\pi/2$ дан π гача бўлган кейинги фазада кучланиш U_m дан 0 гача камаяди. Бу вақт ичида конденсатор истеъмолчи $R_и$ орқали зарядсизланиб улгурмайди ва π дан 2π гача бўлган фаза давомида зарядланиш давом этади. Бу вақт ичида конденсатор кучланиш U_0 гача зарядсизланади. Бу кучланишнинг қиймати конденсаторнинг вақт доимийси $\tau = R_и C$ га боғлиқдир. Шунинг ҳисобига кучланиш $U_{тўғ} = U_c$ фильтрсиз тўғриланган кучланиш ўртача қийматидан ортиб кетади.



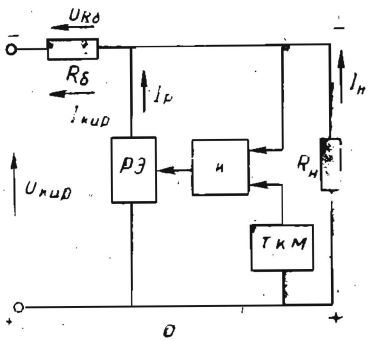
15.37-расм.

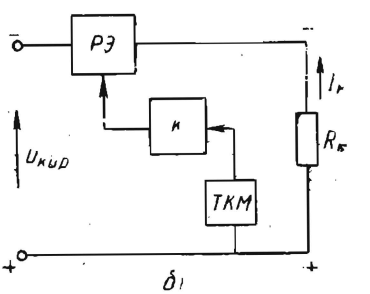
Шундай қилиб, текисловчи фильтрлардан фойдаланиш чиқишдаги токнинг (кучланишнинг) пульсациясини камайтириши билан бирга, тўғрилаш коэффициентини ҳам бир қанча орттиради (айниқса, ярим даврли схемалар учун).



15.38- расм.

Агар тўғрилагичнинг чиқишидаги кучланишнинг мўътадиллиги талаб қилинса, у ҳолда тўғрилагич билан истеъмолчининг орасига *кучланиш стабилизатори* уланади. Стабилизаторлар параметрик ва компенсацион хилларга бўлинади. Параметрик стабилизаторларда стабилитрон турдаги асбоблардан фойдаланилади. Бу асбобларда токнинг қиймати ўзгаргани билан кучланиш ўзгармайди. Компенсацион стабилизаторларда истеъмолчига берилаётган кучланишни автоматик ростлаш принципидан фойдаланилади.





15.39- расм.

Параметрик кучланиш стабилизатори балласт қаршилик $R_б$ ва стабилитрондан тузилган (15.38- расм). Манба кучланишининг ёки истеъмолчи қаршилигининг ўзгариши тўғриланган кучланиш U_d нинг ўзгаришига сабаб бўлиши мумкин. Бироқ истеъмолдаги кучланиш ($U_и$) ўзгармайди, чунки бу кучланиш стабилитроннинг тескари кучланишига боғланган. Стабилизаторни ҳисоблаш истеъмолдаги кучланишга қараб стабилитрон турини ва балласт қаршилик ($R_б$) нинг қийматини танлашдан иборатдир.

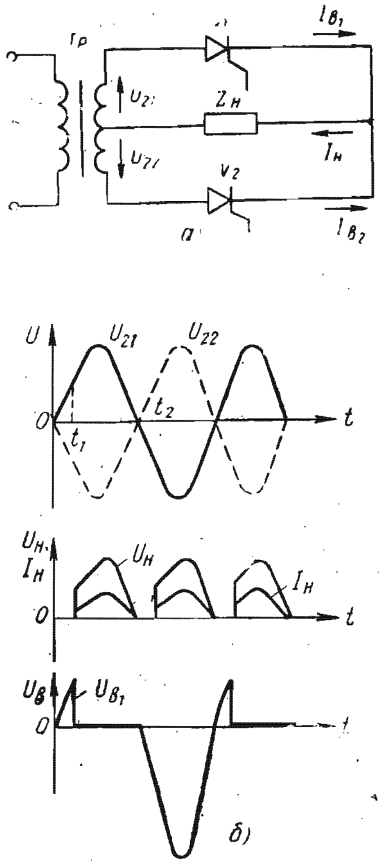
Кучланишни стабиллашнинг сифат кўрсаткичи стабиллаш коэффициентидир. Бу коэффициент чиқишдаги кучланишнинг нисбий ўзгаришини кўрсатади: $K_{ст} = \frac{\Delta U_d}{U_d} : \frac{\Delta U_н}{U_н}$. Одатда, $K_{ст} = 20 \div 50$ бўлади.

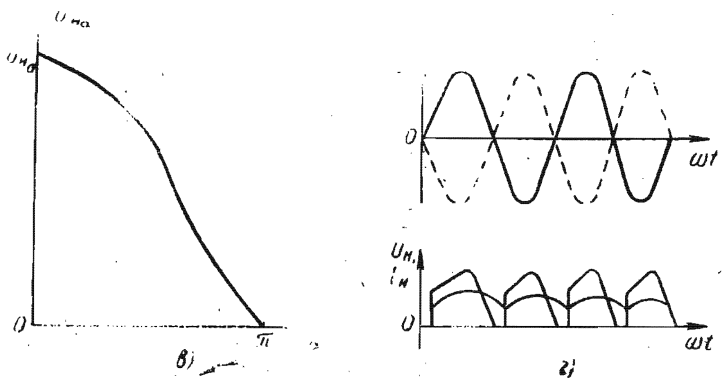
Компенсацион кучланиш стабилизатори (ККС) нинг ишлаши истеъмолчидаги кучланишнинг ўзгариши ростловчи элемент (РЭ) га узатилишига асосланган. Бу элемент кучланиш-

нинг ўзгаришига тўсқинлик қилади. 15.39-расмда компенсацион кучланиш стабилизаторининг параллел ва кетма-кет уланиш схемалари кўрсатилган. РЭ га ўзгармас ток кучайтиргичи (К) ва таянч кучланиш манбаи (ТКМ) дан ташкил топган бошқариш схемаси таъсир этади. ТКМ ёрдамида истеъмолчидаги кучланиш таянч кучланиши билан таққосланаётган кучланишларнинг айирмасини кучайтириб РЭ га узатади. 15.39-расм, *б* даги схемада РЭ истеъмолчи билан кетма-кет уланган. Бунда РЭ даги кучланишнинг ўзгариши истеъмолчи кучланишининг стабиллигини таъминлаб беради. РЭ ва истеъмолчидан бир хил ток ўтади. РЭ нинг қаршилиги кучайтиргичнинг чиқиш кучланиши таъсирида ўзгаради.

Компенсацион кучланиш стабилизаторларининг стабиллаш коэффициенти нисбатан юқори, чиқиш қаршилиги эса параметрикларникига қараганда анча кичик.

1-масала 15.33-расмда кўрсатилган бир фазали, иккита ярим даврли тўғрилагич учун тўғриланган кучланишнинг ўрта-





15.40-расм.

ча қиймати $U_d = 400$ В, тўғриланган токнинг ўртача қиймати эса $I_d = 0{,}1$ А, манба кучланишининг таъсир этувчи қиймати $U = 127$ В, частотаси 50 Гц, тўғрилагичнинг иш температураси $t \leqslant 50°C$ бўлса, қуйидагилар аниқлансин: ҳар бир вентилдан ўтаётган тўғриланган токнинг қиймати I_a; тўғриланган токнинг максимал қиймати I_{max}; вентилдаги тескари кучланишнинг максимал қиймати $U_{m\,тес}$; трансформатор иккиламчи чулғамининг бир бўлагидаги кучланишнинг таъсир этувчи қиймати U_2; трансформаторнинг иккиламчи чулғамидан ўтаётган токнинг таъсир этувчи қиймати I_2; трансформатор бирламчи чулғамининг қуввати P_1; иккиламчи чулғамнинг қуввати P_2; бирламчи чулғам токи I_1; истеъмолчи қаршилиги $R_и$.

Ечилиши. $I_a = 0{,}5\ I_d = 0{,}5\ 0{,}1 = 0{,}05$ А;

$$I_m = \frac{\pi}{2} I_d = \frac{\pi}{2} 0{,}1 = 1{,}57\ 0{,}1 = 0{,}157 \text{ А};$$

$$U_{m\,тес} = 3{,}14\ U_d = 3{,}14\ 400 = 1256 \text{ В};$$

$$U_2 = 1{,}11\ U_d = 1{,}11\ 400 = 444 \text{ В};$$

$$I_2 = 0{,}785\ I_d = 0{,}785\ 0{,}1 = 0{,}0785 \text{ А};$$

$$P_1 = 1{,}48\ P_0 = 1{,}48\ U_d I_d = 1{,}48 \cdot 40 = 59{,}2 \approx 60 \text{ Вт};$$

$$P_2 = 2U_2 I_2 = 2 \cdot 444 \cdot 0{,}9785 = 70 \text{ Вт},\ P_1 \approx P_2 = 70 \text{ Вт};$$

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{70}{127} = 0{,}55 \text{ А};$$

$$R_и = \frac{U_d}{I_d} = \frac{400}{0{,}1} = 4000 \text{ Ом}.$$

15.7. ТИРИСТОРЛИ ЎЗГАРТИРГИЧЛАР

Ҳозирги замон электр энергетикасида тиристорли ўзгартиргичлардан кенг фойдаланилади. Улар ўзгартирувчан токни тўғрилаш, ўзгармас токни инверторлаш, ток частотасини ўзгартириш учун ишлатилади. Дастлаб тиристорли ўзгартиргичлардан ўзгармас ток двигателларига ўзгармас кучланиш беришда фойдаланилган. Тиристорли ўзгартиргич ёрдамида ўзгармас ток двигателларига берилаётган кучланишни ўзгартириб двигателнинг айланиш тезлигини бошқариш мумкин. Бошқариладиган тўғрилагичлардан шу мақсадда фойдаланилади. Бу тўғрилагичларда тиристор бошқариладиган вентиль вазифасини бажаради. Бир фазали иккита ярим даврли бошқариладиган тўғрилагичнинг ишланишини кўриб чиқамиз (15.40-расм, *а*). Мазкур тўғрилагичнинг схемаси бошқарилмайдиган тўғрилагичникидан деярли фарқ қилмайди. Фақат вентиль элементи сифатида тиристордан фойдаланилган. Ток даврнинг биринчи ярмида V_1 вентилдан, иккинчи ярмида эса V_2 дан ўтади. Истеъмолчидаги ток ва кучланишнинг йўналиши ўзгармасдир. Бошқариладиган вентилларнинг қўлланиши кучланиш қийматини ростлаш имконини беради. Вентиль унга очувчи

импульс берилганидан кейингина уланади. Бу импульс вентилнинг табиий уланиш вақтида эмас, балки қандайдир кечикиш билан берилади. Вентилнинг табиий уланиш вақтидан бошлаб ҳисобланадиган кечикиш бурчаги α *бошқариш бурчаги* дейилади ва электрик градусларда ўлчанади.

Тўғрилагичга актив характерга эга бўлган истеъмолчи уланган бўлсин. $t=0$ вақтда V_1 ва V_2 вентиллар ёпиқ, истеъмолчидан ток ўтмайди. $t=t_1$ бўлганда V_1 вентилга очувчи импульс берамиз. Бунда вентиль ва истеъмолчидан ток ўтади. Истеъмолчидаги кучланиш кескин ортади ва шу лаҳзада трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги u_{21} кучланишга тенглашади (15.40-расм, *б*). Кейин истеъмолчининг кучланиши трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги кучланишнинг ўзгариш қонунига биноан ўзгаради. $t=t_2$ бўлганда u_{21} кучланиш нолга тенг бўлиб, ўз йўналишини ўзгартиради. Вентиль V_1 даги ток камайиб, нолга тенглашади ва у ёпилади. Истеъмолчидаги ток ва кучланиш нолга тенглашади ва иккинчи вентиль V_2 га оқувчи импульс берилмагунча ўзгармайди. V_2 га оқувчи импульс берилганда истеъмолчидан ток ўтади ва ундаги кучланиш трансформаторнинг шу вақтдаги иккиламчи чулғамидаги кучланиш u_{22} га тенг бўлади. Истеъмолчидаги кучланиш мазкур чулғамдаги кучланишнинг ўзгариш қонуни бўйича ўзгаради. Вентиль V_2 дан ўтаётган ток нолга тенг бўлганда истеъмолчидаги ток ва кучланиш ҳам нолга тенг бўлиб қолади. Истеъмолчидаги ток ва кучланиш тўғриланган ва пульсацияланувчидир. Тўғриланган кучланишнинг ўртача қиймати қуйидагича аниқланади:

$$U_{н\alpha}=\frac{1}{\pi}\int_{0}^{\pi}\sqrt{2}U_{21}\sin\omega t\,d\omega t=\frac{\sqrt{2}}{\pi}U_{21}(1+\cos\alpha)$$

$\frac{2\sqrt{2}U_{21}}{\pi}=U_0=0{,}9U_{21}$ эканлигини ҳисобга олсак,

$$U_{н\alpha}=\frac{U_0}{2}(1+\cos\alpha)$$

деб ёзиш мумкин.

$\alpha=0$ бўлганида истеъмолчидаги кучланиш бошқарилмайдиган тўғрилагичларникидаги каби U_0 га тенг, $\alpha=180°$ бўлганда $U_{н\alpha}=0$. α нинг қийматини 0 дан 180° гача ўзгартириб, $U_{н\alpha}$ нинг турли қийматларини олиш мумкин (15.40-расм, *в*).

Тўғриланган токнинг ўртача қиймати:

$$I_{ўр}=\frac{U_{н\alpha}}{R_и}=\frac{U_0}{R_и}\frac{1+\cos\alpha}{2}.$$

Вентилдаги тўғри кучланиш α га боғлиқдир. $\alpha=90°$ бўлганида тўғри кучланиш максимал қийматга эга. Вентилдаги максимал тескари кучланиш трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги линия кучланишининг амплитудасига тенгдир:

$$U_{тес}=\sqrt{2}U_л=2\sqrt{2}U_{21}.$$

Истеъмолчидаги кучланиш истеъмолчининг характерига боғлиқдир. Агар истеъмолчи актив-индуктив характерга эга бўлса, V_1 ва V_2 вентилларнинг ёпиқ ҳолатида ҳам истеъмолчидан ток ўтади. Индуктив истеъмолчининг магнит майдони энергияси ҳисобига ток узлуксиз бўлади.

Истеъмолчидаги кучланиш қуйидагича аниқланади:

$$U_{н\alpha} = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sqrt{2}\,U_{21} \sin \omega t\, d\omega t = \frac{\sqrt{2}\,U_{21}}{\pi},$$

$$[-\cos(\pi+\alpha)+\cos\alpha] = \frac{2\sqrt{2}\,U_{21}}{\pi}\cos\alpha = U_0\cos\alpha.$$

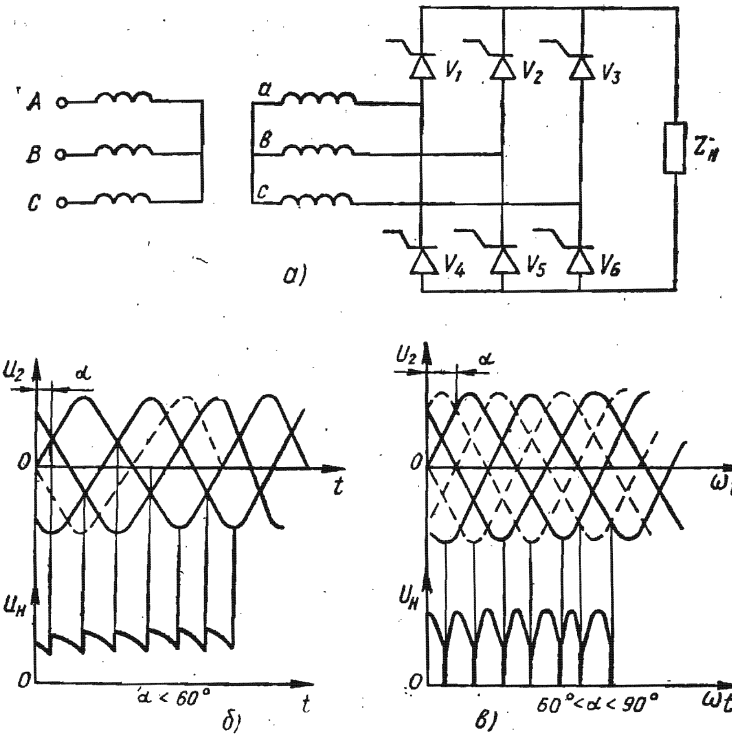
Тўғриланган кучланишнинг қиймати, истеъмолчининг характеридан қатъи назар, α га боғлиқдир. Истеъмолчи ва вентилдаги кучланишларнинг эгри чизиқлари 15.41-расмда келтирилган. Вентиль V_1 ни улашдан олдин унга трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги U_{21} тўғри кучланиш берилади. $\alpha = \omega t$ бўлганида V_1 очилади ва ундаги кучланишнинг пасаюви нолга тенг бўлади. $\omega t_2 = 180°$ бўлганида V_1 ёпилади ва трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги кучланиш остида бўлади. V_2 даги кучланиш қиймати V_1 даги кучланиш каби бўлади, фақат фаза жиҳатдан ярим даврга силжийди.

Уч фазали токни тўғрилаш учун чулғамнинг ўртасидан сим чиқарилган схема ва кўприк схемалардан фойдаланилади. Кўприк схемали бошқариладиган тўғрилагичнинг ишлашини кўриб чиқамиз (15.41-расм). Схемада уч фазали трансформатор ва олтита вентилдан фойдаланилган. Бунда ҳамма вақт жуфт вентиллар ишлайди, масалан, V_1 ва V_4, V_2 ва V_5, V_6 ва V_3 ва ҳоказо. Схеманинг нормал ишлаши учун тегишли вентилларга очувчи бошқариш импульсларини бараварига бериш лозим. Бошқариш бурчаги $\alpha < 60°$ бўлганида тўғриланган кучланиш узлуксиздир, $\alpha > 60°$ бўлганда эса узлуклидир. Кучланишнинг қиймати $\alpha < 60°$ бўлганида $U_{н\alpha} = U_0\cos\alpha$ (U_0 — уч фазали бошқарилмайдиган тўғрилагичнинг чиқишидаги кучланиш), $\alpha > 60°$ бўлганда эса

$$U_{н2} = U_0\left[1+\cos\left(\frac{\pi}{3}+\alpha\right)\right].$$

Шундай қилиб, бошқариш бурчаги α ни ўзгартириш орқали тўғрилагичнинг чиқишидаги кучланишнинг қийматини ўзгартириш мумкин. Бошқариладиган тўғрилагичлар ўзгармас ток электр юритмаларини бошқаришда ишлатилади. Г—Д системалардаги генератор ўрнига бошқариладиган тўғрилагич ўрнатиб, унинг чиқиш кучланишини бошқариш орқали электр юритманинг тезлигини бошқариш мумкин. Катта қувватли тиристорларни симобли тўғрилагичлар ўрнида ишлатиш мумкин.

Юқорида қайд этилганидек, тиристорли тўғрилагичнинг чиқишидаги кучланиш тиристорнинг бошқариш бурчагига боғлиқдир. Тиристорни очиш учун сигнал бошқариш системаси-



15.41-расм.

дан берилади. Бошқариш системасининг вазифаси қуйидагилардан иборат:

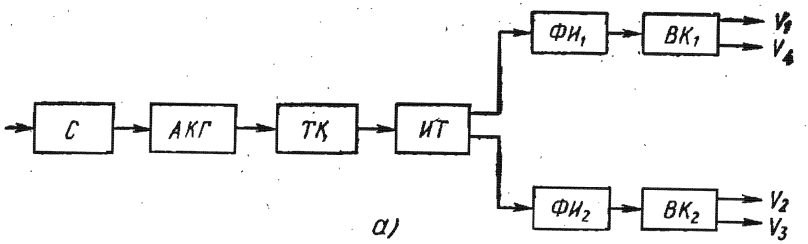
— импульснинг вентилни очишга етарли бўлган ток ва кучланиш амплитудасини таъминлаш;

— бошқариш импульсларининг тиклигани таъминлаш;

— бошқариш импульсларининг фазалар бўйича симметрик бўлишини таъминлаш;

— ростлашни кенг доирада амалга ошириш.

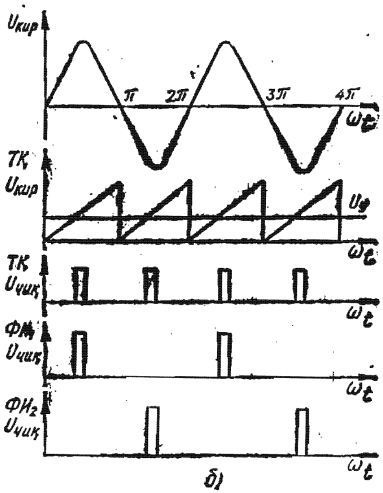
Бошқарувчи импульс тиристорнинг очилиш бурчагинигина ростлайди Тиристорнинг ёпилиши эса анод токи нолга тенг бўлганида ўз-ўзидан рўй беради. Шу сабабли, бошқариш импульслари қисқа, лекин анод токи ишлаб кетиш токига тенг бўлишини таъминлаб берадиган вақт ичида таъсир этиши керак.



а)

Қандай элементлардан тузилганлигига қараб бошқариш системаси электромагнит ва ярим ўтказгичли системаларга бўлинади. Электромагнит системаларга импульсларда ҳосил қилувчи ва фаза силжитувчи тузилмалар сифатида ферромагнит элементлар ишлатилади. Ярим ўтказгичли системалар транзисторли ёки кичик қувватли схемалардан иборатдир.

Бошқарувчи импульслар бир ёки бир неча каналда ишлаб чиқарилишига қараб бошқариш системалари бир ва кўп каналли хилларга бўлинади.



б)

15.42-расм.

Бошқариш системалари бошқарувчи импульснинг фазаси қандай ўзгаришига қараб горизонтал, вертикал ва рақамли системаларга бўлинади. Горизонтал бишқариш системасида бошқарувчи импульс синусоидал кучланиш нолга тенг бўлган вақтда ҳосил қилинади. Импульснинг фазаси синусоидал кучланишнинг фазасини ўзгартириш йўли билан ўзгартирилади. Вертикал бошқариш системасида бошқарувчи импульс ўзгарувчан ва ўзгармас кучланишларни таққослаш натижасидан келиб чиқиб ҳосил қилинади. Импульс мазкур кучланишлар ўзаро тенглашганида ҳосил бўлади. 15.42-расм, *а* да бир фазали кўприк тўғрилагични бошқарадиган вертикал бир каналли системанинг структура схемаси кўрсатилган. Тиристорлардаги кучланиш тўғри уланганда *С* синхронизаторнинг киришига $U_{кир}$ кучланиш берилади. Сигнал синхронизатордан ўзгарувчан ток генератори АКГ (аррасимон кучланишлар генератори) га узатилади. АКГ аррасимон кучланиш ишлаб чиқариб, уни таққослаш қурилмасига (ТҚ) узатади. ТҚ да бу кучланиш ўзгармас кучланиш билан таққосланади. Аррасимон ва ўзгармас кучланишлар ўзаро тенглашганида ТҚ импульс ишлаб чиқаради ва уни импульсларни тақсимловчи (ИТ) га

узатади. ИТ импульсни импульс ҳосил қилувчи ИҲҚ$_1$ ёки ИҲҚ$_2$ га узатади. Уларда импульс шаклланиб, чиқиш каскадлари ЧК$_1$ ва ЧК$_2$ орқали тиристорларга узатилади.

Рақамли бошқариш системалари, бошқарувчи импульслар фазасини рақамли код шаклида ишлаб чиқаради. Бу код вентилли ўзгартиргичнинг рақамли бошқариш системасидаги хотира қурилмасига ёзиб олинади. Сўнгра у импульслар фазасига айлантирилади. Рақамли бошқариш системаси, асосан, ўзгартиргич автоматик ростлаш системасининг бир қисми бўлганида ишлатилади.

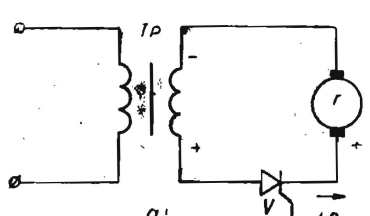
15.8. ИНВЕРТОРЛАР

Кўпинча, ўзгармас токни ўзгарувчан токка айлантириш талаб этилади. Ўзгармас токни ўзгарувчан токка айлантириб берувчи қурилма *инвертор* деб аталади.

Инверторлар ўзгармас ток занжиридаги энергияни ўзгарувчан ток занжирига узатиши мумкин. Бунда инверторнинг иши манбанинг ўзгарувчан кучланиши билан белгиланади. Инвертор эса манбага боғланган дейилади. Агар инвертор истеъмолчини манба билан боғланмаган ҳолда энергия билан таъминласа, у автоном инвертор дейилади.

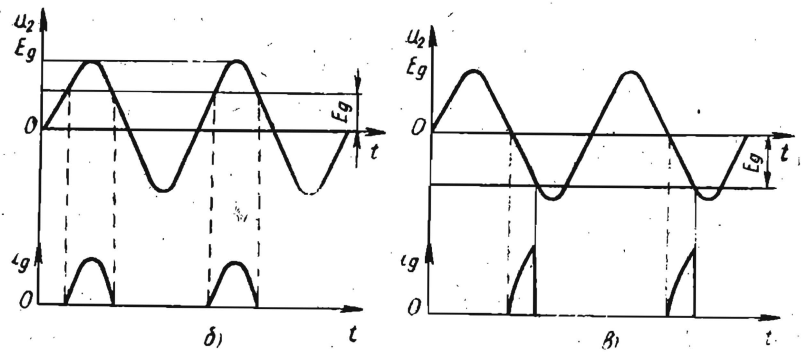
Инверторлаш жараёни тўғрилаш жараёнига тескаридир. Шу боис инверторлаш жараёнини бошқариладиган ярим даврли тўғрилагич мисолида кўриб чиқиш мумкин (15.43-расм). Ўзгармас ток генератори трансформатор ТР нинг иккиламчи чулғами билан вентиль V орқали боғланган. ТР нинг иккиламчи чулғамидаги кучланиш синусоидал қонун бўйича ўзгаради. V фақат $|u_2| > |E_g|$ бўлгандагина ишлайди. Бунда ток трансформаторнинг иккиламчи чулғамидан генератор (Г) га оқиб ўтади. Бу эса тўғрилаш режимига мос келади (15.43-расм, *а*). Агар генератор ЭЮК нинг қутбларини ўзаро алмаштирсак ва тиристорнинг бошқариш бурчагини $\alpha > 180°$ қилсак, ток генератордан трансформаторга оқиб ўтади. Мазкур ток фаза жиҳатдан трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги кучланиш билан мос тушади. Схема инвертор режимида ишлайди (15.43-расм, *б*). Бунда $E_g > U_2$.

Демак, ўзгартиргич тўғрилаш режимидан инверторлаш режимига ўтиши учун, биринчидан, генератор ЭЮК ининг йўналишини ўзгартириш ва $E_g > U_2$ бўлишини таъминлаш, иккинчидан, тиристорни бошқарув бурчаги α ни 180° дан катта қилиб олиш керак.



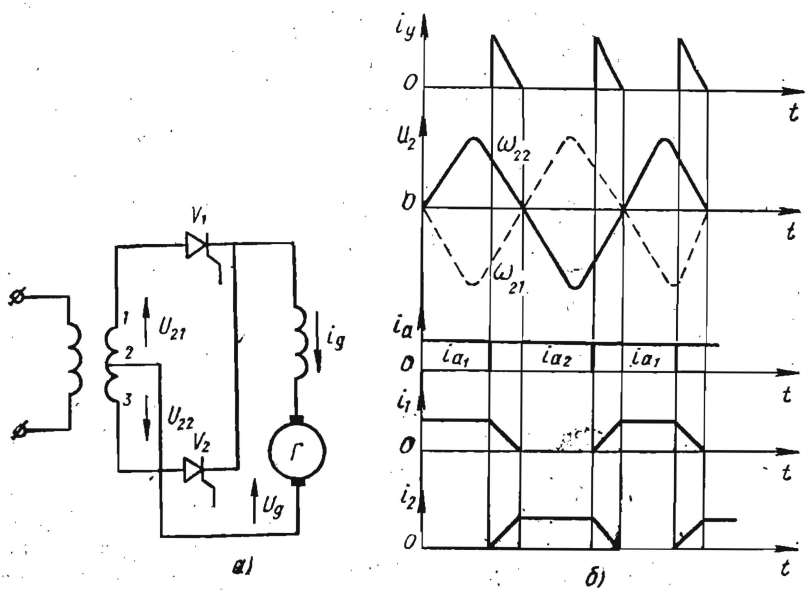
15.43- расм.

Манба билан боғланган инверторнинг ишлашини бир фазали инвертор мисолида кўриб чиқамиз (15.44-расм). Трансфор-



15.43- расм

маторнинг иккиламчи чулғамига иккита вентиль (V_1 ва V_2), генератор (Г) уланган. Вентиль V очиқ бўлиб, u_{21} кучланиш манфий қийматга эга бўлса, ток трансформаторнинг 1—2 учларига мусбат потенциалга эга бўлган учидан кириб келади. Бунда энергия генератор Г дан ўзгарувчан ток манбаига узатилади. Инвертор учун чиқиш кучланиши бўлмиш U_g вентил V_1 ёпилмагунича u_{21} нинг ўзгариш қонуни бўйича ўзгаради. Кейинги ярим давр ичида трансформаторнинг 2 — 3 учларида манфий ишорали u_{22} кучланиш бўлади. Импульс ёрдамида вентиль V_2 ни очилади. Ток вентиль V_2 дан ўтиб, трансформатор 2 — 3 чулғамининг охиридан бош учига оқиб ўтади. Бунда энергия



15.44- расм.

яна генератор Г дан манбага узатилади. Бентиль V_1 га иккиламчи чулғамнинг тўлиқ кучланиши берилган бўлиб, мазкур кучланиш V_1 учун тескаридир. Бунда вентиль V_1 ёпилади.

Ўзгартиргич инвертор режимида ишлаганида очилишни илгарилатиш бурчаги деган тушунча киритилади. Бу бурчак β билан белгиланади ($\beta = \pi - \alpha$). Ҳар бир вентилнинг очилиш бурчаги u_{21} ва u_{22} кучланишлар нолга тенг бўлган лаҳзадан бошлаб β бурчагига чапга силжиган. Бунда бир вентиль беркилганида иккинчисининг бир зумда очилиши таъминланади. Шунинг ҳисобига трансформатор чулғамларидаги ток узлуксиздир. Тиристорларнинг нормал ишлаши учун $\beta > \gamma + t_{ўч}$ шарт бажарилиши керак. Бу ерда γ — тиристорнинг коммутация бурчаги, $t_{ўч}$ — тиристор ёпилиш хоссаларининг қайта тикланиш вақти.

Инвертор кучланишининг ўртача қиймати қуйидагича аниқланади:

$$U_{и\beta} = \frac{1}{\pi} \int_{-\beta}^{\beta} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t \, d\omega t = -U_{но} \cos \beta,$$

бу ерда $U_{но} = 0{,}9U_2$ — $\beta = 0$ бўлгандаги кучланишнинг ўртача қиймати.

β ни α орқали ифодаласак:

$$U_{и\beta} = -U_{но} \cos(\pi - \alpha) = U_{но} \cos \alpha = U_{и\alpha}.$$

Кучланишнинг ўртача қиймати тўғрилагичники каби аниқланади:

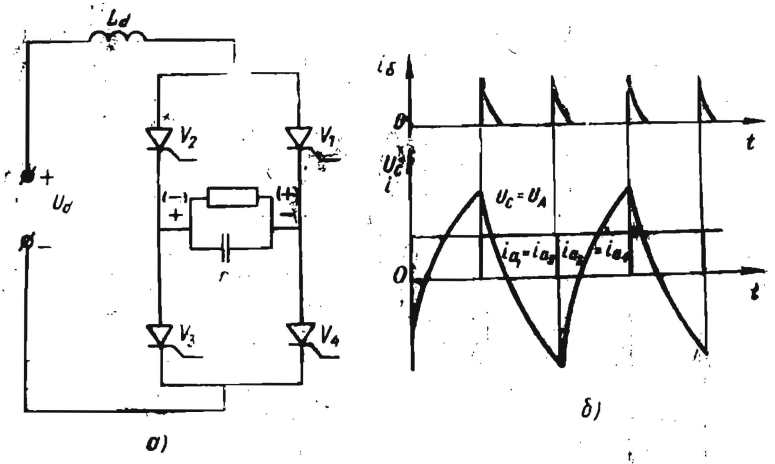
$$U_{и\alpha} = U_{но} \cos \alpha.$$

$\alpha > \frac{\pi}{2}$ бўлганда ўзгартиргич инвертор режимида ишлайди.

$\alpha < \frac{\pi}{2}$ бўлганда ўзгартиргич тўғрилаш режимида ишлайди.

$\alpha = \frac{\pi}{2}$ бўлганда, ўзгартиргич фақат реактив қувват ишлаб чиқаради ($U_{и\alpha} = 0$ бўлади).

Иккита бир хил тиристорли ўзгартиргичларнинг очилиш бурчакларини ростлаш орқали улардан бирини тўғрилагич, иккинчисини эса инвертор сифатида ишлатса бўлади. Ўзгармас ток ЭУЛ (электр узатиш линиялари) да тўғрилагич сифатида ишловчи тиристорли ўзгартиргичлар ўрнатилади, Улар уч фазали ўзгарувчан токни пульсацияланувчи ўзгармас токка айлантириб беради. ЭУЛ орқали ўзгармас ток узатилади. Линиянинг охирида инвертор режимида ишловчи тиристорли ўзгартиргич ўрнатилади. У пульсацияланувчи ўзгармас токни уч фазали ўзгарувчан токка айлантиради. Бунда тўғрилагич ҳам,



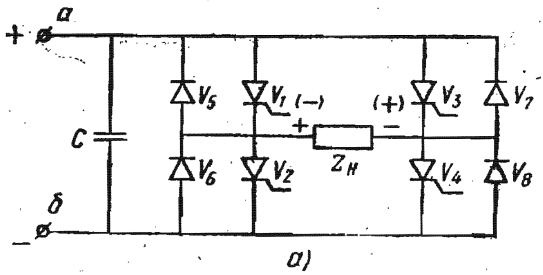
15.45- расм.

инвертор ҳам бир хил тиристорларга эга бўлиб, секциялардан йиғилади.

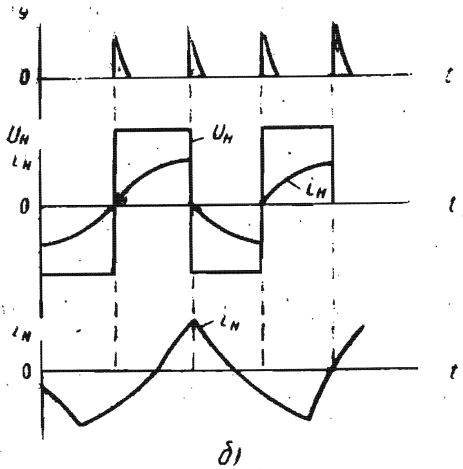
Тиристорли ўзгартиргичлар ўзгармас ток двигателларининг тезлигини бошқариш ва айланиш йўналишини ўзгартиришда кенг қўлланади.

Мустақил ишловчи инверторлар автоном инверторлар дейилади. Автоном инверторлар ток инверторлари ва кучланиш инверторларига бўлинади. Ток инверторлари ўзгармас ток манбаига катта индуктивликка эга бўлган дроссель орқали уланади. Ток инверторининг кириш занжиридаги токнинг қиймати ўзгармасдир. 15.45- расмда кўрсатилган ток инверторининг ишлаши билан танишиб чиқамиз.

Киришдаги дроссель индуктивлиги $L_d \to \infty$. Кириш токи ўзгармас ($i_d = I_d$). Вақт $t = t_1$ бўлганда V_1 ва V_3 вентиллар очиқ бўлса, ток бу вентиллар орқали Z_u истеъмолчидан ўтади. Истеъмолчига конденсатор C параллел уланган. Бунда унинг ўнг қопламаси мусбат, чап қопламаси манфий потенциалга эга бўлади. Вақт $t = t_2$ бўлганда V_2 ва V_4 вентилларга бошқариш импульси берилади. Вентиллар V_1 ва V_3 ёпилишга улгурмаганда конденсатор вентиллар орқали қисқа туташган бўлиб қолиб, зарядсизланади. Конденсаторнинг зарядланиш токининг йўналиши V_2 ва V_4 вентиллардаги токнинг йўналиши билан мос тушади, V_1 ва V_3 вентиллардан ўтувчи токка эса тескаридир. Вентиллар V_1 ва V_3 ёпилади. Бунда V_2 ва V_4 вентиллардан ўтувчи ток $i = I_d$ бўлади. Конденсатор қайта зарядланади. Энди унинг ўнг қопламаси манфий потенциалга, чап қопламаси эса мусбат потенциалга эга бўлади (15.45- расм, *б*). Конденсатор кучланиши ўзгарувчан бўлгани учун истеъмолчидаги кучланиш ҳам ўзгарувчан ва унинг



а)



б)

15.46- расм.

эффектив қиймати $U = \frac{U_d}{0{,}9\cos\psi}$ бўлади. Бу ерда ψ — инверторланган кучланиш ва инверторланган токнинг асосий гармоникалари орасидаги бурчак. Кириш кучланиши ўзгармас бўлганда чиқиш кучланиши U бурчак ψ нинг қийматига боғлиқдир. Чиқиш кучланишининг шакли истеъмолчи характерига ва C сиғимнинг қийматига боғлиқдир.

Кучланиш инверторларида кириш кучланишининг ўзгармас бўлишини таъминлаш учун улар манбага конденсатор C орқали уланади. 15.46- расмда автоном кучланиш инверторининг схемаси кўрсатилган. V_1 ва V_4 вентиллар очиқ бўлганида ток V_1 вентиль, $Z_н$ истеъмолчи ва V_4 вентиллар орқали ўтади. Бу вақтда V_2 ва V_3 вентиллар ёпиқ бўлади. Истеъмолчидаги ток V_1 вентилга уланган учликдан V_4 вентилга уланган учликка оқиб ўтади. Агар истеъмолчи актив характерга эга бўлса, ток кучланишнинг шаклини такрорлайди. Агар истеъмолчи актив-индуктив характерга эга бўлса, V_1 ва V_4 вентиллар ёпилиб, V_2 ва V_3 вентиллар очилганида ток ўз йўналишини сақлаб қолишга ҳаракат қилади. Бунда у қисман V_4 ва V_6 вентиллар, қисман V_1 ва V_7 вентиллар орқали туташади ва нолга тенглашади. Манбадан келаётган ток очилган V_2 ва V_3 вентиллар орқали истеъмолчидан ўтади. Мазкур токнинг йўналиши олдинги токникига нисбатан қарама-қаршидир. Сўнгра V_2 ва V_2 вентиллар ёпилиб, V_1 ва V_4 вентиллар очилади ва жараён такрорланади. Бошқарилмайдиган V_5, V_6, V_7 ва V_8 вентиллар бошқариладиган вентилларни шунтлаш учун ишлатилади. Истеъмолчидаги ток

ва кучланишларнинг ўзгариш графиги 15.46-расмда кўрсатилган.

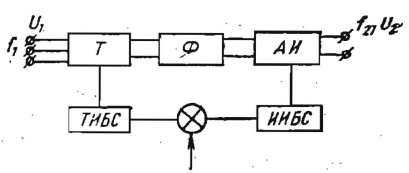
15.9. ЧАСТОТА ЎЗГАРТИРГИЧЛАР

Частота ўзгартиргичлар маълум частотали ўзгарувчан токнинг частотасини ўзгартириш учун хизмат қилади. Тиристорли частота ўзгартиргичлар икки турга: оралиқда ўзгармас ток занжири бўлган ва бевосита боғланган ўзгартиргичларга бўлинади.

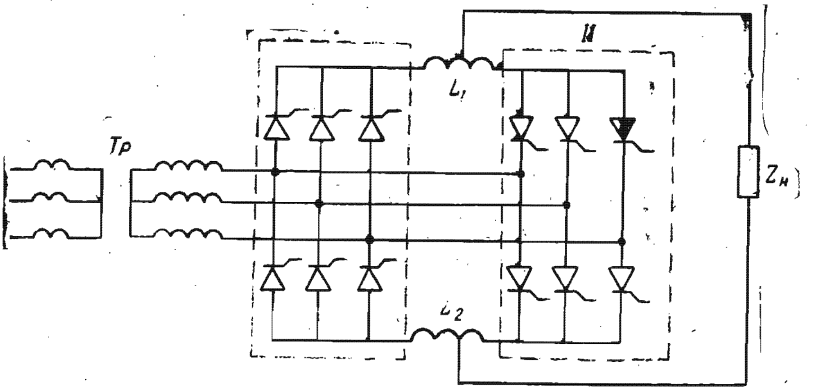
Оралиқда ўзгармас ток занжири бўлган ўзгартиргичлар иккита ўзгартиргичдан иборат. 15.47-расмда мазкур частота ўзгартгичнинг структура схемаси кўрсатилган. Частотаси f_1 бўлган ўзгарувчан кучланиш (U_1) тўғрилагич ёрдамида ўзгармасга айлантирилади ва Фильтр Ф ёрдамида текисланиб, автоном инвертор (АИ) га берилади. Мазкур ўзгармас кучланиш инвертор ёрдамида частотаси f_2 бўлган кучланиш (U_2) га айлантирилади. U_2 нинг қиймати тўғрилагич ёрдамида, частотаси эса АИ ёрдамида бошқарилади. ТИБС (тўғрилагичнинг ишлашини бошқариш системаси) ва ИИБС (инверторнинг ишлашини бошқариш системаси) частотани кенг оралиқда бошқариш имконини беради.

Частота ўзгартиргичлар айланиш частотаси катта оралиқда ўзгарадиган электр двигателларни таъминлашда ишлатилади. Бу ўзгартиргичларнинг тузилиши анча содда. Уларнинг асосий камчилиги иккита ўзгартириш бўғинининг мавжудлиги, ФИК нинг нисбатан кичиклиги ҳамда бошқариш системасининг катталиги ҳисобланади.

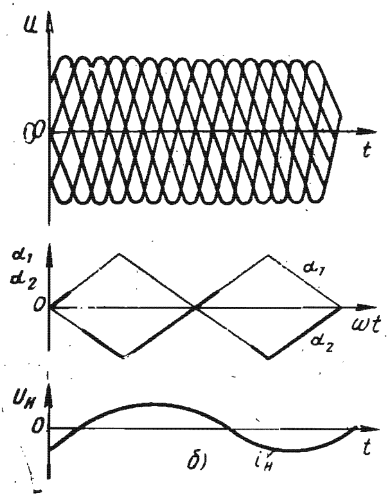
Ҳозирги вақтда бевосита боғланган ўзгартиргичлар ишлаб чиқарилмоқда. Бевосита боғланган тиристорли ўзгартгичлар чегараловчи L_1 ва L_2 реакторлар орқали параллел уланган икки гуруҳ тиристорлардан иборатдир. Ҳар бир тиристорлар гуруҳи гоҳ тўғрилагич, гоҳ инвертор режимида ишлайди. Маълум вақт ичида биринчи гуруҳ вентилларни очиш бурчаги $\alpha_1 < \frac{\pi}{2}$ бўлса, бу вентиллар тўғрилагич режимида ишлайди. Иккинчи гуруҳ вентилларнинг очилиш бурчаги $\alpha_2 = \pi - \alpha_1 = \beta_1$. Улар инвертор режимида ишлайди, кейин улар алмашади. Маълум частота билан вентилларни очиш бурчагини даврий равишда ўзгартириб, тўғрилаш ва инверторлаш режимлари бошқарилса, ўзгартгичнинг чиқишидан ўзгарувчан кучланиш олиш мумкин. Бу кучланиш асосий гармоникасининг частотаси ва амплитудаси бошқариш сигналининг частота ва амплитудасига боғлиқдир:



15.47-расм.



а



15.48- расм.

$$U_2 = U_{1\,max}\frac{m_1}{\pi}\sin\frac{\pi}{m_1}\sin\omega_2 t,$$

бу ерда: m_1 — манбанинг фазалар сони; $U_{1\,max}$ — таъминловчи кучланиш амплитудаси; ω_2 — чиқиш кучланиши асосий гармоникасининг частотаси.

15.48- расмда частота ўзгартиргичнинг схемаси ундаги кучланишнинг ўзгариш графиклари кўрсатилган. Реакторлар L_1 ва L_2 мувозанатловчи кучланиш таъсирида ҳосил бўладиган мувозанатловчи токни чегаралаш учун ишлатилади. Мувозанатловчи ёки тенглаштирувчи кучланиш бошқариш бурчаклари (α_1 ва α_2) нинг даврий равишда ўзгариши ҳисобига юзага келади.

Частота ўзгартиргичларнинг афзаллиги қуйидагилардан иборат:

1. Бошқариш системасининг нисбатан ихчамлиги.

2. Чиқишдаги кучланиш амплитуда ва частотасининг текис бошқарилиши.

3. Тиристорнинг очилиш бурчагини бошқариш орқали чиқишда синусоидал кучланиш ҳосил қилиш мумкин.

Частота ўзгартиргичларнинг камчилиги сифатида реактив қувват кўпроқ истеъмол қилинишини, иш частоталарининг юқори қиймати чегараланганлигини, частота фақат камайтирилишини кўрсатиш мумкин.

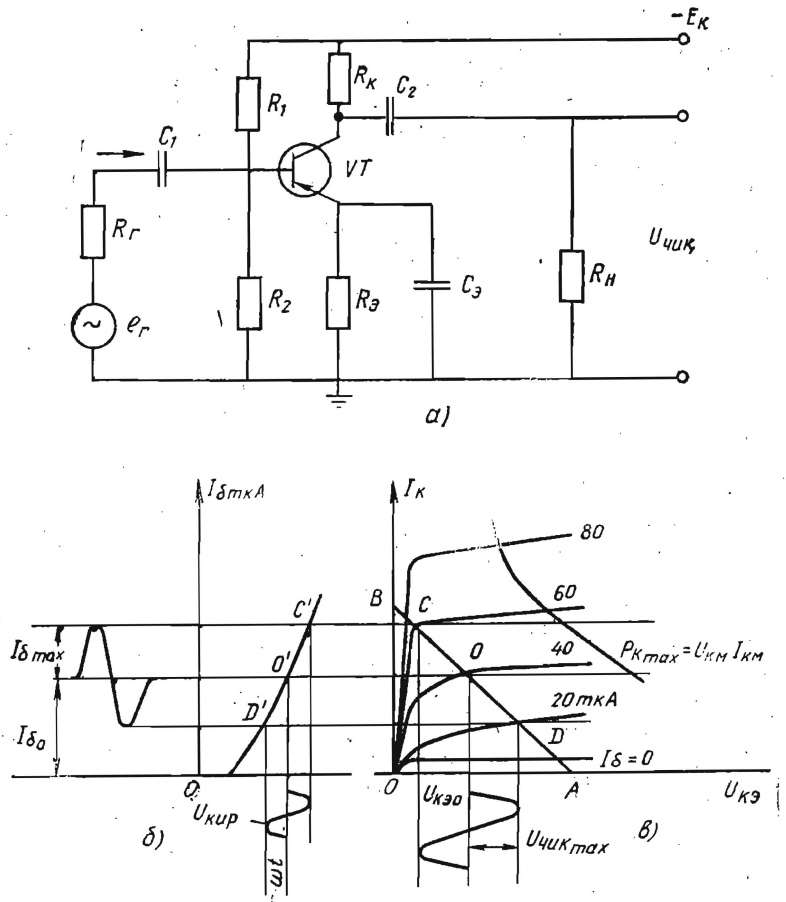
Автоматик бошқариш системалари, радиотехника, радиолокация ва бошқа системаларда кичик қувватли сигналларни кучайтириш учун кучайтиргичлардан фойдаланилади. Кичик қувватли ўзгарувчан сигналнинг параметрларини бузмасдан доимий кучланиш манбаининг қуввати ҳисобига кучайтириб берувчи қурилма кучайтиргич деб аталади.

Кучайтиргич қурилмаси кучайтирувчи элемент, резистор, конденсатор, чиқиш занжиридаги доимий кучланиш манбаи ҳамда истеъмолчидан иборат. Битта кучайтирувчи элементи бўлган занжир каскад деб аталади. Кучайтирувчи элемент сифатида қандай элемент ишлатилишига қараб кучайтиргичлар электрон, магнитли ва бошқа хилларга бўлинади. Иш режимига кўра улар чизиқли ва ночизиқли кучайтиргичларга бўлинади. Чизиқли иш режимида ишловчи кучайтиргичлар кириш сигналини унинг шаклини ўзгартирмасдан кучайтириб беради. Чизиқли бўлмаган иш режимида ишловчи кучайтиргичларда эса кириш сигнали маълум қийматга эришганидан сўнг чиқишдаги сигнал ўзгармайди.

Чизиқли режимда ишлайдиган кучайтиргичларнинг асосий характеристикаси амплитуда частота характеристикаси (АЧХ) дир. Ушбу характеристика кучланиш бўйича кучайтириш коэффициентининг модули частотага қандай боғлиқлигини кўрсатади. АЧХ сига кўра чизиқли кучайтиргичлар товуш частоталар кучайтиргичи (ТЧК), қуйи частоталар кучайтиргичи (ҚЧК), юқори частоталар кучайтиргичи (ЮЧК), секин ўзгарувчан сигнал кучайтиргичи ёки ўзгармас ток кучайтиргичи (ЎТК) ва бошқаларга бўлинади.

Ҳозирги вақтда энг кенг тарқалган кучайтиргичларда кучайтирувчи элемент сифатида икки қутбли ёки бир қутбли транзисторлар ишлатилади. Кучайтириш қуйидагича амалга оширилади. Бошқариладиган элемент (транзистор) нинг кириш занжирига кириш сигналининг кучланиши ($u_{кир}$) берилади. Бу кучланиш таъсирида кириш занжирида кириш токи ҳосил бўлади. Бу кичик кириш токи чиқиш занжиридаги токда ўзгарувчан ташкил этувчини ҳамда бошқариладиган элементнинг чиқиш занжирида кириш занжиридаги кучланишдан анча катта бўлган ўзгарувчан кучланишни ҳосил қилади. Бошқариладиган элементнинг кириш занжиридаги токнинг чиқиш занжиридаги токка таъсири қанча катта бўлса, кучайтириш хусусияти шунча кучлироқ бўлади. Бундан ташқари, чиқиш токининг чиқиш кучланишига таъсири қанча катта бўлса (яъни $R_и$ катта), кучайтириш шунча кучлироқ бўлади.

15.49-расмда умумий эмиттерли (УЭ) кучайтириш каскадининг схемаси ҳамда кириш ва чиқиш характеристикалари кўрсатилган. Кучайтириш каскадлари УЭ, УБ, УК схемалар бўйича йиғилади. Умумий коллекторли (УК) схема ток ва қувват бўйича кучайтириш имкониятига эга. Бунда $K_u \leqslant 1$. Схе-



15.49- расм.

ма, асосан, каскаднинг юқори чиқиш қаршилигини кичик қаршиликли истеъмолчи билан мослаш учун ишлатилади ва эмиттерли такрорлагич деб аталади. Умумий базали (УБ) схема бўйича йиғилган каскаднинг кириш қаршилиги кичик бўлиб, кучланиш ва қувват бўйича кучайтириш имкониятига эга. Бунда $K_i \leqslant 1$. Чиқишдаги кучланишнинг қиймати катта бўлиши талаб этилганда, мазкур каскаддан фойдаланилади. Кўпинча, умумий эмиттерли (УЭ) схема бўйича йиғилган каскадлар ишлатилади (15.49-расм, *а*). Бундай каскад токни ҳам, кучланишни ҳам кучайтириш имкониятига эга. Кучайтириш каскадининг асосий занжири транзистор (VT), қаршилик $R_к$ ва манба $E_к$ дан иборат. Қолган элементлар ёрдамчи сифатида ишлатилади. C_1 конденсатор кириш сигналининг ўзгармас ташкил

этувчисини ўтказмайди ва базанинг тинч ҳолатидаги $U_{бл}$ кучланишнинг $R_г$ қаршиликка боғлиқ эмаслигини таъминлайди. Конденсатор C_2 истеъмолчи занжирига чиқиш кучланишининг доимий ташкил этувчисини ўтказмай ўзгарувчан ташкил этувчисинигина ўтказиш учун хизмат қилади. R_1 ва R_2 резисторлар кучланиш бўлгич вазифасини ўтаб, каскаднинг бошланғич ҳолатини таъминлаб беради.

Коллекторнинг дастлабки токи ($I_{кд}$) базанинг дастлабки токи $I_{бл}$ билан аниқланади. Резистор R_1 ток $I_{бл}$ нинг ўтиш занжирини ҳосил қилади ва резистор R_2 билан биргаликда манба кучланишининг мусбат қутби билан база орасидаги кучланиш $U_{бл}$ ни юзага келтиради.

Резистор $R_э$ манфий тескари боғланиш элементи бўлиб, дастлабки режимнинг температура ўзгаришига боғлиқ бўлмаслигини таъминлайди. Каскаднинг кучайтириш коэффициенти камайиб кетмаслиги учун қаршилик $R_э$ га параллел қилиб конденсатор $C_э$ уланади. Конденсатор $C_э$ резистор $R_э$ ни ўзгарувчан ток бўйича шунтлайди.

Синусоидал ўзгарувчи кучланиш ($u_{кир} = U_{кир\ max} \sin \omega t$) конденсатор C орқали база — эмиттер соҳасига берилади. Бу кучланиш таъсирида, бошланғич база токи $I_{бл}$ атрофида ўзгарувчан база токи ҳосил бўлади. $I_{бл}$ нинг қиймати ўзгармас манба кучланиши $E_к$ ва қаршилик R_1 га боғлиқ бўлиб, бир неча микроамперни ташкил қилади. Берилаётган сигналнинг ўзгариш қонунига бўйсунадиган база токи исгеъмолчи ($R_и$) дан ўтаётган коллектор токининг ҳам шу қонун бўйича ўзгаришига олиб келади. Коллектор токи бир неча миллиамперга тенг. Коллектор токининг ўзгарувчан ташкил этувчиси истеъмолчида амплитуда жиҳатдан кучайтирилган кучланиш пасаюви $U_{(чиқ)}$ ни ҳосил қилади. Кириш кучланиши бир неча милливольтни ташкил этса, чиқишдаги кучланиш бир неча вольтга тенгдир.

Каскаднинг ишини график усулда таҳлил қилиш мумкин. Транзисторнинг чиқиш характеристикасида AB нагрузка чизиғини ўтказамиз (15.49-расм, *б*). Бу чизиқ $U_{кэ} = E_к$, $I_к = 0$ ва $U_{кэ} = 0$, $I_к = \frac{E_к}{R_н}$ координатали A ва B нуқталардан ўтади. AB чизиқ $I_{к\ max}$, $U_{кэ\ max}$ ва $P_к = U_{к\ max} \cdot I_{к\ max}$ билан чегараланган соҳанинг чап томонида жойлашиши керак. AB чизиқ чиқиш характеристикасини кесиб ўтадиган қисмда иш участкасини танлаймиз. Иш участкасида сигнал энг кам бузилишлар билан кучайтирилиши керак. Нагрузка чизиғининг C ва D нуқталар билан чегараланган қисми бу шартга жавоб беради. Иш нуқтаси O, шу участканинг ўртасида жойлашади. DO кесманинг абсциссалар ўқидаги проекцияси коллектор кучланиши ўзгарувчан ташкил этувчисининг амплитудасини билдиради. CO кесманинг ординаталар ўқидаги проекцияси коллектор токининг амплитудасини билдиради. Бошланғич коллектор токи ($I_{ко}$) ва кучланиши ($U_{кэо}$) O нуқтанинг проекциялари билан

аниқланади. Шунингдек, O нуқта бошланғич ток $I_{б0}$ ва кириш характеристикасидаги O иш нуқтасини аниқлаб беради. Чиқиш характеристикасидаги C ва D нуқталарга кириш характеристикасидаги C' ва D' нуқталар мос келади. Бу нуқталар кириш сигналининг бузилмасдан кучайтириладиган чегарасини аниқлаб беради.

Каскаднинг чиқиш кучланиши

$$u_{чиқ} = i_к \cdot R_н.$$

Каскаднинг кириш кучланиши

$$u_{кир} = i_б \cdot R_{кир};$$

бу ерда $R_{кир}$ — транзисторнинг кириш қаршилиги.

Ток $i_и \gg i_б$ ва қаршилик $R_и \gg R_{кир}$ бўлгани учун схеманинг чиқишидаги кучланиш кириш кучланишидан анча каттадир. Кучайтиргичнинг кучланиш бўйича кучайтириш коэффициенти $K_и$ қуйидагича аниқланади:

$$K_и = \frac{U_{чиқ\,max}}{U_{кир\,max}},$$

ёки гармоник сигналлар учун

$$K_и = \frac{U_{чиқ}}{U_{кир}}.$$

Каскаднинг ток бўйича кучайтириш коэффициенти:

$$K_I = \frac{I_{чиқ}}{I_{кир}},$$

бу ерда: $I_{чиқ}$ — каскаднинг чиқиш томонидаги токнинг қиймати; $I_{кир}$ — каскаднинг кириш томонидаги токнинг қиймати. Кучайтиргичнинг қувват бўйича кучайтириш коэффициенти:

$$K_р = \frac{P_{чиқ}}{P_{кир}},$$

бу ерда $P_{чиқ}$ — истеъмолчига бериладиган қувват; $P_{кир}$ — кучайтиргичнинг кириш томонидаги қувват.

Кучайтириш техникасида бу коэффициентлар логарифмик қиймат — децибеллда (америкалик инженер Белл шарафига қўйилган) ўлчанади.

$$K_и\,(дБ) = 20 \lg K_и \quad ёки \quad K_и = 10^{\frac{K_и\,(дБ)}{2}};$$

$$K_I\,(дБ) = 20 \lg K_I \quad ёки \quad K_I = 10^{\frac{K_I\,(дБ)}{2}};$$

$$K_р\,(дБ) = 10 \lg K_р \quad ёки \quad K_р = 10^{K_р\,(дБ)}.$$

Одамнинг эшитиш сезгирлиги сигналнинг 1 дБ га ўзгаришини ажрата олгани учун ҳам шу ўлчов бирлиги киритилган.

Ҳар бир кучайтиргич кучайтириш коэффициентларидан ташқари қуйидаги параметрларга ҳам эгадир.

Кучайтиргичнинг чиқиш қуввати (истеъмолчига сигнални бузмасдан бериладиган энг катта қувват):

$$P_{\text{чиқ}} = \frac{U^2_{\text{чиқ max}}}{R_{\text{и}}}.$$

Кучайтиргичнинг фойдали иш коэффициенти

$$\eta = \frac{P_{\text{чиқ}}}{P_{\text{ум}}},$$

бу ерда $P_{\text{ум}}$ — кучайтиргичнинг ҳамма манбалардан истеъмол қиладиган қуввати. Кучайтиргичнинг динамик диапазони кириш кучланишининг энг кичик ва энг катта қийматларининг нисбатига тенг бўлиб, дБ да ўлчанади:

$$D = 20 \lg \frac{U_{\text{кир max}}}{U_{\text{кир min}}}.$$

Частотавий бузилишлар коэффициенти $M(f)$ ўрта частоталардаги кучланиш бўйича кучайтириш коэффициенти K_{u0} нинг ихтиёрий частотадаги кучланиш бўйича кучайтириш коэффициентига нисбатидир:

$$M(f) = \frac{K_{uo}}{K_{uf}}.$$

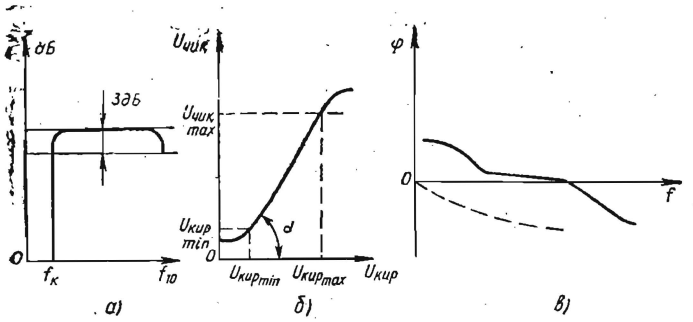
Чизиқли бўлмаган бузилишлар коэффициенти γ юқори частоталар гармоникаси ўрта квадратик йиғиндисининг чиқиш кучланишининг биринчи гармоникасига нисбатидир:

$$\gamma = \frac{\sqrt{U^2_{m_2\text{чиқ}} + U^2_{m_3\text{чиқ}} + \ldots + U^2_{m_n\text{чиқ}}}}{U_{m\ \text{чиқ}}}.$$

Сифатли кучайтиргичлар учун $\gamma \leqslant 4\%$, телефон алоқаси учун $\gamma \leqslant 15\%$.

Кучайтиргичнинг шовқин даражаси — шовқин кучланишининг кириш кучланишига нисбатини кўрсатади. Булардан ташқари, кучайтиргичлар амплитуда, частота ва амплитуда-частота характеристикалари билан ҳам баҳоланади.

Амплитуда характеристикаси чиқиш кучланишининг кириш кучланишига қандай боғланганлигини кўрсатади ($U_{\text{чиқ}} = f \times (U_{\text{кир}})$). 15.50-расмда кучайтиргичнинг амплитуда, амплитуда-частота ва фаза-частота характеристикалари кўрсатилган. Бу характеристикалар ўрта частоталарда олинади. Ҳақиқий кучайтиргичнинг амплитуда характеристикаси идеал кучайтиргичникидан шовқин мавжудлиги (A нуқтанинг чап қисмидаги участка) ва чиқиш кучланишининг чизиқли эмаслиги (B нуқтанинг ўнг қисмидаги участка) билан фарқ қилади (15.50-расм, *а*).

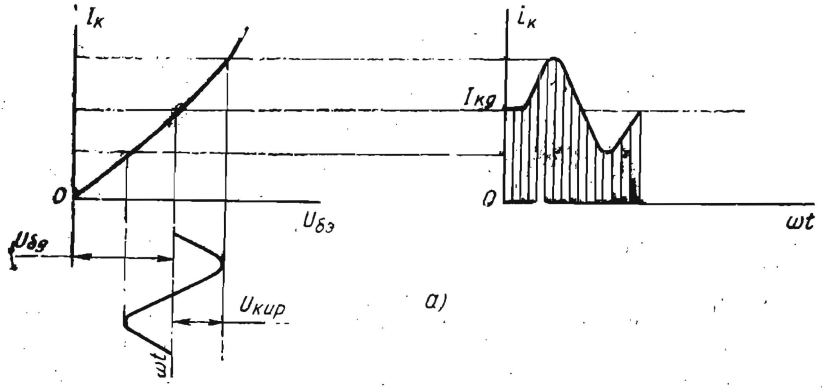


15.50- расм.

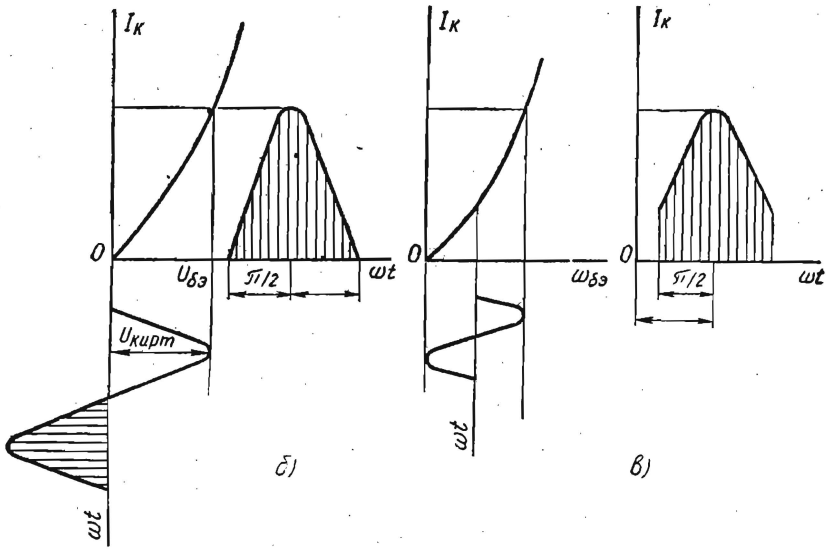
Кучайтиргичнинг частота характеристикаси кучайтириш коэффициентининг частотага боғлиқлигини кўрсатувчи эгри чизиқдир. Мазкур характеристика логарифмик масштабда қурилади (15.50 расм, *б*).

Кучайтиргичнинг фаза-частота характеристикаси кириш ва чиқиш кучланишлари орасидаги силжиш бурчаги φ нинг частотага қандай боғланганлигини кўрсатади (15.50- расм, *в*). Бу характеристика кучайтиргич томонидан киритилган фазавий бузилишларни баҳолайди.

Иш нуқтасининг кириш характеристикасида қандай жойлашишига қараб кучайтиргичлар *А*, *В* ва *АВ* режимларда ишлаши мумкин. 15.51- расмда кучайтиргичнинг иш режимларига оид графиклар кўрсатилган. *А* режимда, асосан, бошланғич кучайтириш каскадлари ва кичик қувватли чиқиш каскадлари ишлайди. Бу режимда ишлайдиган каскаднинг базага берилган силжиш кучланиши ($U_{бэо}$) иш нуқтасининг динамик ўтиш характеристикаси чизиқли қисмининг ўртасида жойлашишини таъминлаб беради. Бундан ташқари, кириш сигналининг амп-



15.51- расм.



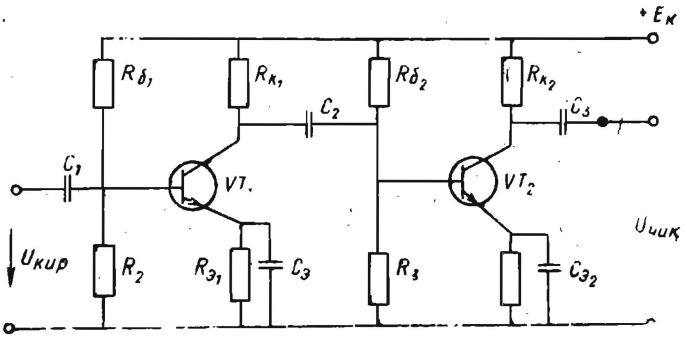
15.51- расм.

литудаси силжиш кучланишидан кичик ($U_{кирт} < U_{бэо}$) бўлиши ва бошланғич коллектор токи $I_{ко}$ чиқиш токи ўзгарувчан ташкил этувчисининг амплитудасидан катта ёки тенглиги ($I_{ко} \geqslant I_{кт}$) шартига амал қилинади. Натижада каскаднинг киришига синусоидал кучланиш берилганда чиқиш занжиридаги ток ҳам синусоидал қонун бўйича ўзгаради. *А* режимда сигналнинг чизиқли бўлмаган бузилишлари энг кам бўлади. Аммо кучайтиргич каскадининг мазкур режимдаги фойдали иш коэффициенти 20 — 30% дан ошмайди.

В режимда иш нуқтаси шундай танланадики, бунда *осойишталик токи* нолга тенг бўлади ($I_{ко} = 0$). Кириш занжирига сигнал берилганда чиқиш занжиридан сигнал ўзгариш давринининг фақат ярмидагина ток ўтади. Чиқиш токи импульслар шаклида бўлиб, ажратиш бурчаги $\Theta = \frac{\pi}{2}$ бўлади. *В* режимда чизиқли бўлмаган бузилишлар кўп бўлади. Лекин бу режимда каскаднинг ФИК 60 — 70% ни ташкил қилади. Мазкур режимда, асосан икки тактли катта қувватли каскадлар ишлайди.

АВ режими *А* ва *В* режимлар оралиғидаги режим бўлиб, чиқишда катта қувват олиш, шунингдек чизиқли бўлмаган бузилишларни камайтириш мақсадида қўлланилади.

Кучайтиргичлар $U = 10^{-7}$ В кучланиш ва $I = 10^{-14}$ А токларни кучайтира олади. Бундай сигналларни кучайтириб бериш учун битта каскад етарли бўлмагани учун бир нечта кас-



15.52- расм.

кад ишлатилади. Улар бир нечта дастлабки кучайтириш каскади (каскад кучланишни кучайтириб беради) ва қувватни кучайтирувчи чиқиш каскадларидан иборатдир. Каскадлар бир-бири билан резистор (резистив боғланиш), трансформатор (трансформаторли боғланиш), сиғим ва резистор (резистив-сиғим боғланиш) ва бошқа элементлар ёрдамида уланиши мумкин.

Резистив-сиғим боғланишли каскадларнинг ишлаши билан танишиб чиқамиз. Бу каскадлар кенг тарқалган бўлиб, микросхема шаклида ҳам ишлаб чиқарилади (15.52- расм). Кучайтиргич иккита умумий эмиттерли (УЭ) кучайтириш каскадидан иборат. Бу каскадлар C конденсатор орқали ўзаро боғланган. Мазкур конденсатор транзистор VT_1 нинг коллектор занжирига, транзистор VT_2 нинг база занжирига уланган. Биринчи транзистордан чиқаётган сигналнинг ўзгармас ташкил этувчисини иккинчи транзисторга ўтказмайди. Транзисторларнинг иш нуқталарини $R_{б_1}$ ва $R_{б_2}$ қаршиликлар таъминлаб беради. Иш нуқталарининг стабиллигини резистор ва конденсаторлар ($R_{э1}$, $C_{э1}$ ва $R_{э2}$, $C_{э2}$) таъминлаб беради.

Бир нечта каскадли кучайтиргичнинг кучайтириш коэффициенти ҳар бир каскад кучайтириш коэффициентларининг кўпайтмасига тенг:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \ldots \cdot K_n.$$

Керакли кучайтириш коэффициентига кўра ва ҳар бир УЭ ли каскад кучланиш бўйича 10 — 20 марта, қувват бўйича эса 100 — 400 марта кучайтириб беришини ҳисобга олиб, каскадлар сони аниқланганидан кейин ҳар бир каскад алоҳида ҳисобланади. Дастлабки кучайтириш каскадлари A режимда ишлайди. Каскадни ҳисоблаш қуйидаги тартибда бажарилади. Манба кучланиши $E_к$ ва истеъмолчининг қаршилигига қараб

$$U_{кэ.ж} \geqslant (1{,}1 \div 1{,}3)\, E_к;$$

$$I_{хж} > 2I_{н\,max} = 2\frac{U_{чиқ\,max}}{R_н},$$

бу ерда: к. э. ж — коллектор — эмиттер ўтишдаги кучланишнинг жоиз қиймати; $I_{к.ж}$ — коллектор занжиридаги токнинг жоиз қиймати.

Юқоридаги шартларни қаноатлантирадиган транзистор танланади. Унинг чиқиш характеристикасида иш нуқтаси аниқланади. Шу дастлабки иш нуқтасини таъминлаб берувчи база токи $I_{бо}$ ўтиш характеристикасидан аниқланади ва $R_б$ қаршиликка боғлиқ бўлади. Бу қаршилик қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$R_{б1} = \frac{U_{кэ} - (I_{ко} + I_б) R_э}{I_{бо}}.$$

$R_к$ ва $R_э$ қаршиликларни аниқлаш учун чиқиш характеристикалардан $R_{ум} = R_к + R_э$ аниқланади. $R_{ум} = \frac{E_к}{I_к}$, $R_э = (0{,}15 - 0{,}25) R_к$ деб ҳисоблаб,

$$R_к = \frac{R_{ум}}{1{,}1 \div 1{,}25},$$

$$R_э = R_{ум} - R_к.$$

Каскаднинг кириш қаршилиги

$$R_{кир} = \frac{2U_{кир\ max}}{2I_{б\ max}}.$$

Агар база токи кучланиш бўлгичи орқали бериладиган бўлса, бўлгичнинг R_1 ва R_2 қаршиликлари қуйидагича аниқланади.

$R_{12} \geqslant (8 \div 12) R_{кир}$ ва $R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ шартлардан

$$R_1 = \frac{E_к R_{12}}{I_{ко} R_э}; \quad R_2 = \frac{R_1 \cdot R_{12}}{R_1 - R_{12}}$$

ларни аниқлаймиз.

Ажратувчи конденсаторнинг сиғими қуйидагича аниқланади:

$$C = \frac{1}{2\pi f_к R_{чиқ} \sqrt{M_к^2 - 1}},$$

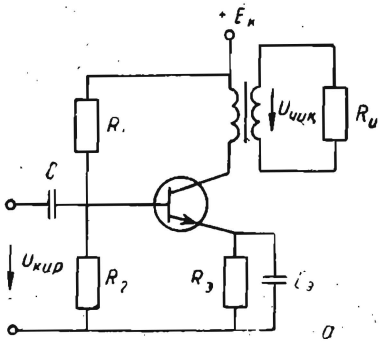
бу ерда: $M_к$ — қуйи частоталардаги частотали бузилишлар коэффициенти; $f_к$ — қуйи частоталар чегараси; $R_{чиқ} = R_к + R_и$.

Конденсаторнинг сиғими қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$C_э \geqslant \frac{10}{2\pi f_к R_э}.$$

Каскаднинг кучланиш бўйича кучайтириш коэффициенти:

$$K_u = \frac{U_{чиқ\ max}}{U_{кир\ max}}.$$



15.53- расм

Кучайтиргичнинг охирги каскади чиқиш каскадидир Чиқиш каскади, асосан, қувватни кучайтириб беради ва бир тактли ёки икки тактли бўлади (15.53- расм).

Каскаднинг чиқишидаги сигнал трансформатор орқали кичик қаршиликка эга бўлган истеъмолчига узатилади. Коллектордаги кучланиш ўзиндукция ЭЮК ҳисобига $E_{кэ}$ дан икки марта катта бўлиши мумкин. Шунинг учун

$$E_{кэ} \leqslant U_{кэ.ж}/2$$

қилиб олинади.

Каскаднинг чиқишидаги қувват:

$$P_{чиқ\ max} = 0{,}5 U_{к\ max} \cdot I_{к\ max} \cdot \eta_{тр},$$

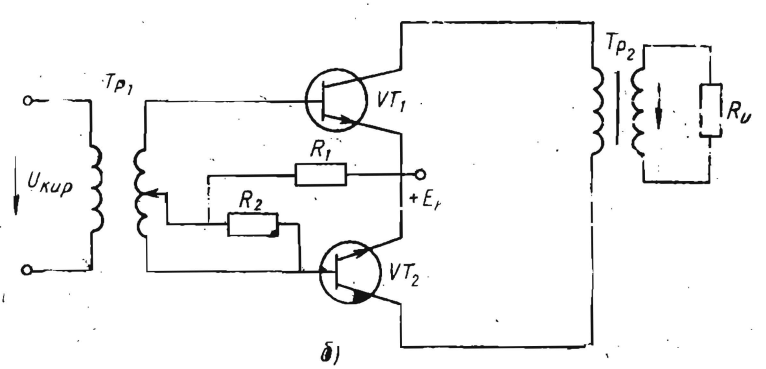
бу ерда $\eta_{тр}$ — трансформаторнинг фойдали иш коэффициенти.

Кириш занжиридаги қувват ва кучайтириш коэффициенти: $P_{кир} = 0{,}5 I_{б\ max} U_{бэ\ max}$;

$$K_р = \frac{P_{чиқ}}{P_{кир}}.$$

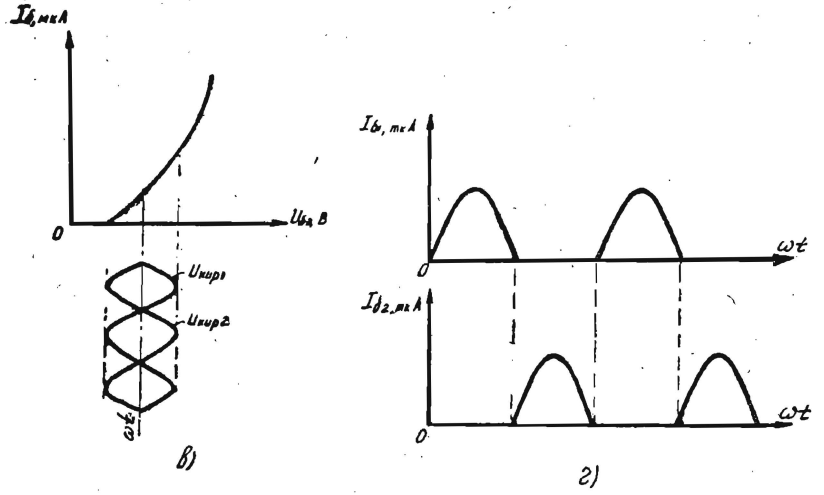
Трансформатор каскад чиқиш қаршилигининг истеъмолчининг кириш қаршилигига яхши мос тушишини ва қувватнинг узатилиши учун энг яхши шароит яратилишини таъминлайди. Трансформаторнинг трансформация коэффициенти қуйидагича аниқланади:

$$n = \sqrt{\frac{R_{чиқ}}{R_н}}.$$



б)

15.53- расм.



1с.53- расм.

Агар кучайтиргичнинг чиқишидаги қувват 20 Вт дан ортиқ бўлса, икки тактли симметрик схемалардан фойдаланилади. Бу схемадаги икки транзисторнинг ҳар бири *B* режимда ишлайди. Бундай схемаларнинг фойдали иш коэффициенти (70—75)% га етади. Тинч ҳолатда $I_б = 0$ ва бошланғич ҳолатда схема истеъмол қиладиган қувват

$$P_0 = 2E_{кэ} I_{б0}.$$

Биринчи ярим даврда биринчи транзистор, иккинчи ярим даврда эса иккинчи транзистор ишлайди. Битта транзисторнинг чиқишидаги қувват:

$$P'_{чиқ} = \frac{U_{к\,max} \cdot I_{к\,max}}{2} = \frac{(I_{к\,max} - I_{к0})\, E_{кэ}}{4}.$$

Икки тактли каскаднинг чиқишидаги қувват:

$$P_{чиқ} = 2P'_{чиқ} = \frac{E_{кэ}\,(I_{к\,max} - I_{к0})}{2}.$$

Кўпинча, кучайтиргичнинг барқарор ишлашини таъминлаш учун тескари боғланишдан фойдаланилади. Чиқиш занжиридаги сигнал маълум қисмининг кириш занжирига узатилиши *тескари боғланиш* деб аталади. Тескари боғланиш манфий ва мусбат бўлиши мумкин. Мусбат тескари боғланиш генератор каскадларида қўлланади. Кучайтириш каскадларида манфий тескари боғланишдан фойдаланилади (мусбат тескари боғланиш кучайтиргичлар учун зарарлидир). Тескари боғланиш кучланиши чиқиш кучланишининг маълум қисмини ташкил қила-

ди ва тескари боғланиш коэффициенти (β) билан характерланади. Тескари боғланишли кучайтиргичларда:

$$K = \frac{u_{чиқ}}{u_{сигн}};$$

$$u_{сигн} = u_{кир} - u_{тБ} = u_{кир} - \beta u_{чиқ} = u_{кир}(1 - \beta K).$$

Демак,

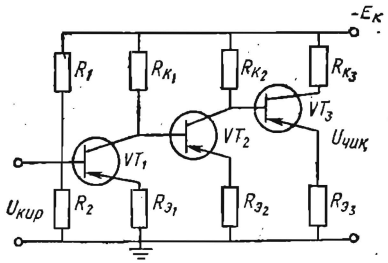
$$K_{тБ} = \frac{K u_{кир}}{u_{сигн}} = \frac{K u_{кир}}{u_{кир}(1 - \beta K)} = \frac{K}{1 - \beta K}.$$

Тескари боғланиш манфий бўлганида $\beta < 0$ бўлади ва $K_{тБ} = \frac{K}{1 + \beta K}$, яъни кучайтириш коэффициенти камаяди. Лекин кучайтиргичнинг частота ва фаза бузилишлари камаяди.

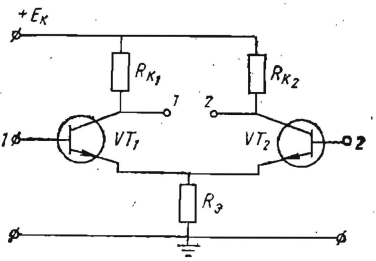
$R_э$ қаршилиги тескари боғланиш занжири бўлиб, чиқиш занжиридаги кучланишни қисман кириш занжирига узатади. Шунинг ҳисобига бошланғич иш нуқтасининг параметрлари стабиллашади. Юқорида кўриб чиқилган каскадларнинг барчаси синусоидал ўзгарувчан кучланишни кучайтириб беради. Айрим ҳолларда йўналиш жиҳатдан ўзгармай, фақат қиймати секин ўзгарувчи сигналларни ҳам кучайтириш талаб қилинади. Бундай ҳолларда гальваник боғланган ўзгармас ток кучайтиргичларидан фойдаланилади. 15.54-расмда аста-секин ўзгарувчи сигналлар кучайтиргичи кўрсатилган. Кучайтиргич уч каскаддан иборат. Ҳар бир каскад УЭ схема бўйича йиғилган. Ажратувчи конденсаторлар бўлмагани учун ҳар бир каскаднинг ўзгармас ташкил этувчиси кейинги каскаднинг базасига узатилади ва шунинг учун мазкур ташкил этувчи компенсацияланиши керак. Олдинги каскаднинг ўзгармас ташкил этувчисини компенсациялаш учун кейинги каскаднинг $R_э$ қаршилигидан олинувчи ўзгармас кучланишдан фойдаланилади. Транзисторлар (VT_2 ва VT_3) нинг база-эмиттер нормал кучланишларини $R_{э_2}$ ва $R_{э_3}$ қаршиликлар таъминлаб беради. Транзистор VT_1 нинг осойишталик режимини R_1 ва R_2 кучланиш бўлгич ва $R_{э1}$ қаршиликлар таъминлайди.

$R_{э1}$, $R_{э2}$ ва $R_{э3}$ қаршиликлар ток бўйича манфий тескари боғланишни ҳосил қилиб, кучайтиргич нолининг кўчишини камайтиради. Кучайтиргич нолининг кўчиши деб чиқиш сигнали кириш сигналига боғлиқ бўлмаган ўзгаришига айтилади. Кўчишнинг асосий сабаби манба кучланишининг, атроф-муҳитнинг ҳарорати ва схема параметрларининг ўзгаришидир. Кўчиш кучланиши сигнал кучланиши билан тенглашиб сигналнинг анча бузилишига олиб келиши мумкин. Ноль кўчишини камайтириш мақсадида параллел-баланс ёки дифференциал каскадлардан фойдаланилади.

Икки сигнал фарқини кучайтирувчи қурилма ***дифференциал кучайтиргич*** деб аталади. Чиқишдаги сигнал ҳар бир ки-



15.54- расм.

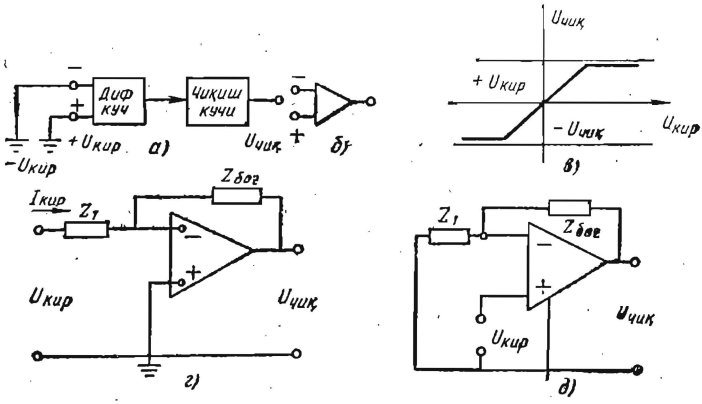


15.55- расм.

риш сигналига эмас, балки уларнинг айирмасига боғлиқдир. Энг оддий дифференциал кучайтиргич умумий эмиттер қаршилик уланган иккита бир хил транзистор асосида қурилади (15.55-расм) Кириш кучланишлари транзисторлар (VT_1 ва VT_2) нинг база-эмиттер ўтишига берилади. Бу кучланишларнинг айирмаси бир неча милливольтдан ортмаса, кучайтиргич ВАХ нинг чизиқли қисмида ишлайди. Унинг кучайтириш коэффициенти 100 га яқиндир. Чиқиш қисмалари 1′ ва 2′ дан чиқиш кучланиши олинади. Кучайтиргичнинг узатиш коэффициенти:

$$K(p) = \frac{U_{\text{чиқ}\,1'2'}}{U_{\text{кир}\,1} - U_{\text{кир}\,2}}.$$

Кучайтиргичларда бир хил транзисторларни топиш жуда қийин. Шу сабабдан микросхема асосида тузилган дифференциал кучайтиргич каскадларидан фойдаланилади. К118УЛ1 шундай схемаларнинг намунаси бўла олади. Ўзгармас ток кучайтиргичлари асосида турли математик операцияларни бажарувчи операцион кучайтиргичлар қуриш мумкин. Операцион кучайтиргичлар (ОК) юқори кучайтириш коэффициенти, катта кириш ва кичик чиқиш қаршилиги билан характерланади. ОК



15.56- расм.

кириш дифференциал кучайтиргичлардан иборатдир (15.56-расм). Кучайтиргич инверторловчи (—) ва инверсион (+) киришга эгадир. Схемаларда ОК учбурчак шаклида тасвирланади (15.56-расм, *а*). Сигнал қайси киришга берилганига қараб ОК инверторловчи ва ноинверсион усулларда уланади.

Инверторловчи усулда кириш кучланиши ОК нинг инверсион киришига берилади (15.56-расм, *в*), ноинверсион кириш эса ноль потенциалга эгадир.

Кириш токи:

$$I'_{кир} = \frac{(U'_{кир} - 0)}{Z_1}.$$

Чиқиш кучланиши:

$$U'_{чиқ} = -I'_{кир} Z_{боғ}.$$

Кучланишни узатиш коэффициенти:

$$K(p) = \frac{U_{чиқ}}{U_{кир}} = \frac{-I'_{кир} Z_{боғ}}{I'_{кир} Z_1} = -\frac{Z_{боғ}}{Z_1}.$$

Бундай узатиш коэффициенти идеаллаштирилган ОК га хосдир. $R_{кир} = \infty$, $R_{чиқ} = 0$ ва кучланишни кучайтириш коэффициенти $K = \infty$ деб ҳисобласак, ОК идеаллаштирилган бўлади. Аслида, реал ОК ларнинг узатиш коэффициенти $K(p)$ идеал ОК нинг $K(p)$ идан тахминан 0,03% га фарқ қилади.

ОК ноинверсион усулда уланганда кириш кучланиши унинг ноинверсион киришига берилади (15.56-расм, *г*). Чиқишдан кучланиш инверсион киришга берилади. Бунда тескари боғланиш кучланиши:

$$u_{тб} = \beta u_{чиқ}, \quad \beta = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_{боғ}}.$$

ОК нинг киришидаги кучланиш:

$$u_{кир} = u'_{кир} - u_{тб}.$$

Чиқишдаги кучланиш:

$$u_{чиқ} = K(u'_{кир} - \beta u_{чиқ})$$

ёки

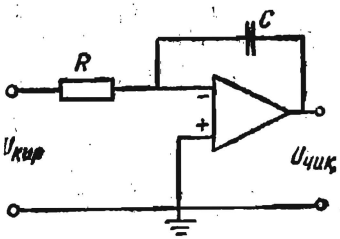
$$u_{чиқ} = \frac{K u_{кир}}{1 + \beta K}.$$

Кучайтириш коэффициенти:

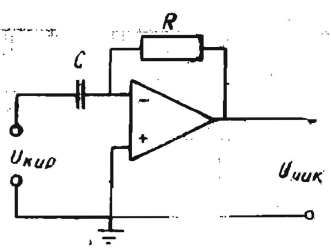
$$K = \frac{u_{чиқ}}{u_{кир}} = \frac{K u'_{кир}}{(1 + \beta K) u'_{кир}} = \frac{K}{1 + \beta K} = \frac{1}{\frac{1}{K} + \beta} = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{\beta K}}$$

$\beta K \gg 1$ бўлганида

$$K' = \frac{1}{\beta}.$$



15.57- расм.



15.58- расм.

ОК лар ёрдамида сигналларни қўшиш, дифференциаллаш, интеграллаш ва улар устида бошқа математик операциялар бажариш мумкин. Кириш сигналини интегралловчи схемани кўриб чиқамиз (15.57- расм). Кириш сигнали инверторловчи киришга берилади. Кириш занжирига резисторни, тескари боғланиш занжирига эса конденсатор улаймиз. Резисторидан ўтаётган ток:

$$i = u'_{кир}/R.$$

Бу ток конденсатордан ўтиб, уни зарядлайди ва u_c кучланишни ҳосил қилади (ушбу кучланиш чиқиш кучланишидир):

$$u_c = -\frac{1}{RC}\int_0^t u'_{кир}\,dt.$$

Дифференциалловчи кучайтиргичда кириш занжирига конденсатор C ни, боғланиш занжирига эса резистор R ни улаймиз (15.58- расм). Кириш кучланиши конденсаторни зарядлайди ва ундаги кучланиш кириш кучланишига тенг бўлади: $u_c = u'_{кир}$. Конденсатордан ўтаётган ток

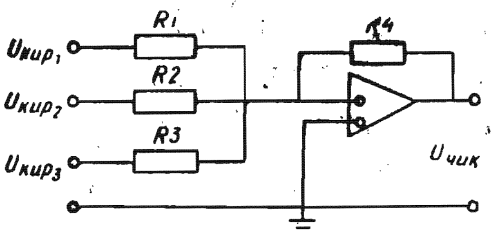
$$i = C\frac{du'_{кир}}{dt}.$$

Бу ток кучайтиргичга бормай, R қаршиликдан ўтиб, унда кучланиш пасаювини ҳосил қилади:

$$u_{чиқ} = -iR = -RC\frac{du'_{кир}}{dt}.$$

ОК сумматор сифатида ишлатилганда бир нечта кириш кучланишларининг йиғиндисини аниқлаш операциясини бажаради. Бунда ОК нинг инверторловчи киришига қўшиладиган сигналлар берилади, чиқишидан эса уларнинг йиғиндиси олинади. 15.59- расмда жамловчи ОК нинг схемаси кўрсатилган. Кирхгофнинг биринчи қонунига биноан A тугундаги токлар йиғиндиси нолга тенг:

$$i_{кир\,1} + i_{кир\,2} + i_{кир\,3} - i_4 = 0.$$



15.59- расм.

Токларни кучланишлар орқали ифодаласак,

$$\frac{u_{кир\,1}}{R_1}+\frac{u_{кир\,2}}{R_2}+\frac{u_{кир\,3}}{R_3}=-\frac{u_{чиқ}}{R_4}=0.$$

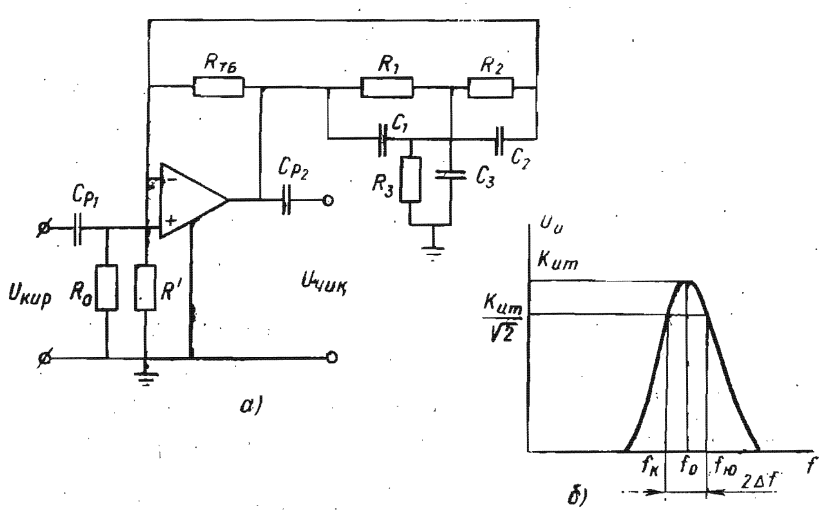
Бундан

$$u_{чиқ}=-\frac{u_{кир\,1}}{R_1}\cdot R_4+$$

$$+\frac{u_{кир\,2}}{R_2}\cdot R_4+\frac{u_{кир\,3}}{R_3}\cdot R_4.$$

Булардан ташқари, ОК лар логарифмлаш, потенцирлаш ва бошқа операцияларни ҳам бажара олади. Улар радиоэлектроника схемаларида ҳам кенг қўлланади.

ОК нинг тескари боғланиш занжирига иккиланган T-симон RC кўприкли занжир ўрнатилса, схема юқори частота ажратиш хусусиятига эга бўлади. 15.60-расмда частота кучайтиргичнинг схемаси ва амплитуда-частота характеристикаси кўрсатилган. Созлаш частотаси деб аталувчи $f_0=\frac{1}{2\pi RC}$ частотада кучланишни узатиш коэффициенти $\beta=\frac{u_{чиқ}}{u_{кир}}$ камайиб кетади. Бунда тескари боғланиш таъсири камайиб, кучайтиргичнинг кучайтириш коэффициенти ($K_{u\,тб}$) шу каскаднинг тескари боғланишда бўлмагандаги коэффициенти ($K_{u\,max}$) га тенг-



15.60- расм.

лашади. Созлаш частотаси (f_0) дан фарқ қилувчи частоталарда тескари боғланиш коэффициенти бирга яқинлашиб, чиқишдаги сигнал бутунлай киришга берилади. Кучайтиргичнинг кучайтириш коэффициенти жуда кичик бўлади. Айрим частоталар ва частоталар доирасида кучайтирувчи кучайтиргичлар *частота ажратувчи кучайтиргичлар* дейилади. Бундай кучайтиргичларнинг юқори ва қуйи частоталар нисбати $f_{ю}/f_{қ}$ бирга яқин, яъни 1,001 дан 1,1 гача бўлади (15.49-расм, *б*). Частота ажратувчи кучайтиргичлар радиотехника, телевидение, кўп каналли алоқа системаларида кенг қўлланилади.

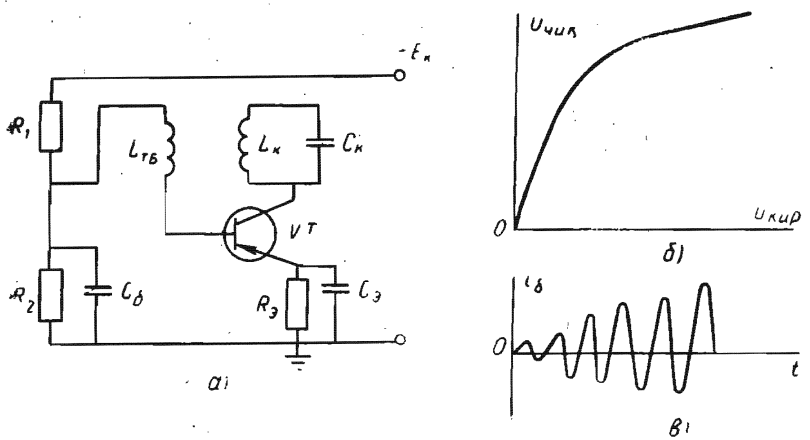
Манбадан тарқаладиган электр сигналлар (товуш, видеоимпульслар) частотасига созланган частота ажратувчи кучайтиргич фақат шу частотадаги сигналнигина кучайтириб беради. Юқорида кўриб чиқилган схемамиз товуш ва саноат частоталарида ишлайди ва частота ажратиш учун унинг RC занжири параметрлари $R_1 = R_2 = R$, $R_3 = \frac{R}{2}$, $C_1 = C_2 = C$ ва $C_3 = 2C$ шартларни қаноатлантириши керак.

Юқори частотали ажратувчи кучайтиргичларда оддий кучайтиргичнинг коллектор занжирига LC контур уланади. LC контур резонанс режимида ишлайди. $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ частотада кучайтиргичнинг кучайтириш коэффициенти максимал қийматга эга бўлади.

15.11. ЭЛЕКТРОН ГЕНЕРАТОРЛАР

Электрон генераторлар ўзгармас кучланиш (ток) манбаидан фойдаланиб, маълум частота ва шаклдаги электр тебранишларни ҳосил қилади. Улар радио аппаратлар, ўлчов техникаси, автоматика қурилмалари ва ЭҲМ ларда кенг қўлланилади ва тебранишлар шаклига, частотаси ва уйғотиш турига қараб бир неча хилга бўлинади.

Электрон генераторлар мусбат тескари боғланишли кучайтиргичлар асосида қурилади. Мусбат тескари боғланиш берилган частотада схеманинг ўз-ўзидан уйғотилишини таъминлайди. Бундай схемаларда ўз-ўзидан уйғотиш юзага келиши учун икки шарт бажарилиши керак. Биринчидан, кучайтиргичнинг кучайтириш коэффициенти ва тескари боғланиш коэффициенти модулларининг ўзаро кўпайтмаси бирдан катта бўлиши керак, яъни $|K| \cdot |\beta| > 1$. Иккинчидан, кучайтиргич ва тескари боғланиш занжиридан киритилган фазовий силжиш бурчакларнинг йиғиндиси 2π га каррали бўлиши керак, яъни $\varphi_к + \varphi_{тб} = 2\pi n$. Шунда кучайтиргичнинг чиқишидаги кучланиш мусбат тескари боғланиш занжири орқали киришига берилади. Киришдаги кучланиш билан қўшилиб, янада кучаяди. Мисол учун LC типдаги синусоидал кучланишлар генераторининг ишлашини кўриб чиқамиз (15.61-расм). Тебраниш контурида



15.61- расм.

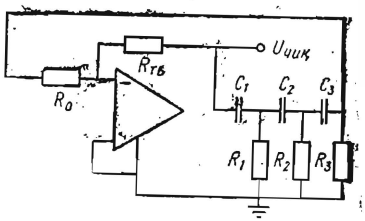
керакли частотадаги тебранишлар ҳосил бўлади. Транзистор тескари боғланиш занжири орқали киришга берилган кучланишни кучайтиради. Мусбат тескари боғланиш занжири схемасининг чиқишидаги кучланишни керакли миқдор ва фазада киришга узатади. Ўзгармас ЭЮК манбаининг энергияси контурининг тебранма энергиясига айланади. Контурдаги конденсатор $C_к$ манба E га уланганда резистор $R_э$, транзисторнинг эмиттери, базаси, коллектори $C_к - E$ занжир орқали зарядланади. Конденсатор $C_к$ ва индуктив ғалтак ўзаро параллел бўлган тебраниш контурини ҳосил қилади. Конденсатор $C_к$ маълум энергияга эга бўлганидан кейин f_0 частотали эркин тебранишлар ҳосил бўлади. Частота f_0 контурнинг параметрларига боғлиқдир:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_к C_к}}.$$

$L_к$ ва $L_{тб}$ ғалтаклар ўзаро индуктив боғланган. Ғалтак $L_{тб}$ да контур частотасидаги ўзгарувчан кучланиш ҳосил бўлади. Бу кучланиш транзисторнинг эмиттер-база участкасига берилади. Коллектор токи ҳам частота f_0 билан ўзгаради. Тескари боғланиш мусбат бўлгани учун коллектор токининг ўзгарувчан ташкил этувчиси контурдаги тебранишларни кучайтиради. Натижада транзистор киришидаги ўзгарувчан кучланиш амплитудаси ортади, коллектор токи эса яна ортади ва ҳоказо. Коллектор токи ўзгарувчан ташкил этувчисининг ортиши чегараланган, чунки транзисторнинг кириш ва чиқиш кучланишлари автогенераторнинг тебраниш характеристикаси билан аниқланади.

Контурда сўнмас тебранишлар ҳосил қилиш учун мусбат тескари боғланишни таъминлаш кифоя қилмайди. Контурдаги

энергия исрофи манба энергияси ҳисобига тўла компенсацияланган бўлиши керак. Демак, контурла сўнмас тебранишлар ҳосил бўлиши учун икки шарт бажарилиши зарур (бу икки шарт *ўз-ўзидан уйғониш шарти* деб аталади):



15.62- расм.

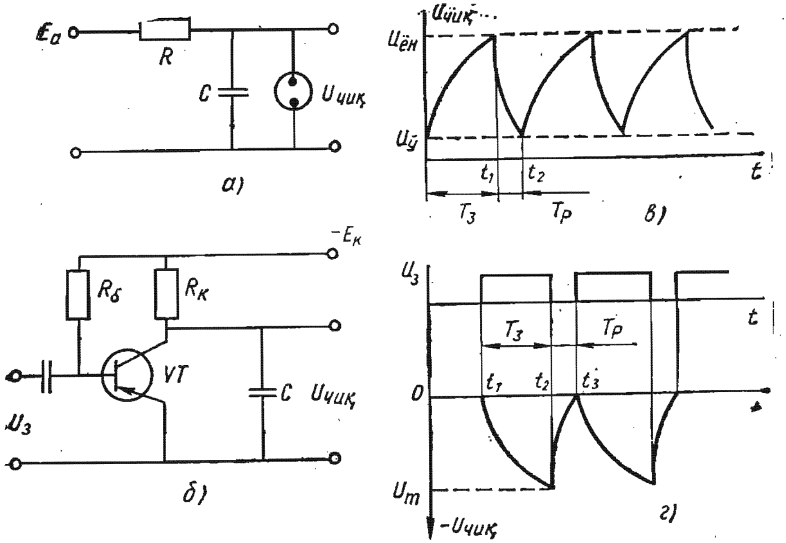
1. Фазалар балансининг шарти (мусбат тескари боғланиш орқали таъминланади).

2. Амплитудалар балансининг шарти (тескари боғланиш коэффициенти β га боғлиқ).

LC типдаги автогенераторлар юқори частоталарда ишлатилади, паст частоталарда ишлатилганда эса тебраниш контурининг конструкцияси қўпол бўлади. Қуйи частотали синусоидал тебранишлар ҳосил қилиш учун анча содда ва арзон, *RC* типидаги автогенератордан фойдаланилади. 15.62-расмда учта *RC* занжирли генераторнинг схемаси кўрсатилган. Схемага тебранма контур ўрнига резистор *R* уланади. Мусбат тескари боғланиш учта *RC* бўғиндан ташкил топган фаза бургичдан иборат. Схеманинг чиқиш учини унинг кириш учи билан бевосита боғлаб, ўз-ўзидан уйғониш шартлари бажарилса, генерацияланаётган тебранишлар синусоидал бўлмайди. Ҳосил бўладиган тебранишлар синусоидал бўлиши учун мусбат тескари боғланиш косинусоидал тебранишларнинг аниқ бир гармониясига мўлжалланади. Шу функцияни фазабургич *RC* занжири бажаради. Занжир параметрлари шундай танланадики, коллектор токи ва коллектор потенциали ортганда база потенциали камаяди. Бошқача қилиб айтганда, коллектор ва базадаги кучланишлар қарама-қарши фазада бўлиши керак. Фазалар баланси шарти шундан иборатдир.

Уч звеноли *RC* занжирнинг тескари боғланиш коэффициентини аниқлаймиз. Агар $R_1 = R_2 = R_3 = R$ ва $C_1 = C_2 = C_3 = C$, кириш ва чиқиш кучланишлари орасидаги бурчак 180° бўлса, ўз-ўзидан уйғониш $f_0 = \frac{1}{15{,}4RC}$ частотада содир бўлади. Узатиш коэффициентининг модули β эса тахминан 1/29 га тенг. Амплитудалар баланси кучайтиргичнинг коэффициенти 29 дан кам бўлмаганида бажарилади.

RC автогенератор бир неча камчиликларга эга. Чунончи, тескари боғланиш кучайтиргич каскадини шунтлайди ва кучайтириш коэффициентини камайтиради. Натижада, ҳосил бўлган тебранишлар беқарор бўлади. Бунинг олдини олиш мақсадида чиқиш ва тескари боғланиш занжирларининг орасига электр такрорлагич қўйилади. Шунингдек, генерацияланган тебранишларнинг шакли бузилган ҳамда ўз-ўзидан уйғотиш шартлари фақат частота f_0 га яқин бўлган гармоникалар учун бажарилади.



15.63- расм.

Генерацияланган тебранишлар шаклининг бузилишини йўқотиш учун кучайтиргичга манфий тескари боғланиш киритилади. Бунинг учун эмиттер занжирига $R_э$ резистор уланади.

Чизиқли ўзгарувчи (аррасимон) кучланиш генератори 15.63-расм, *б* да кўрсатилган шаклидагидек кучланишни ҳосил қилади. Бу кучланиш осциллографларда, телевизион ва радиолокацион индикаторларда электрон нурни ёйиш учун ишлатилади.

Чизиқли ўзгарувчи кучланиш (ЧЎК) конденсаторнинг зарядланиши ёки зарядсизланиши ҳисобига ҳосил бўлади. Оддий аррасимон кучланиш генератори неонли лампа асосида қурилади (15.63- расм, *а*). Схема $E_а$ манбага уланганда конденсатор C резистор R орқали зарядланади ва ундаги кучланиш ортиб боради ($T_з$ давр ичида). Вақт $t = t_1$ бўлганида (15.63-расм, *б*) конденсатордаги кучланиш неонли лампанинг ёниш кучланиши $u_{ён}$ га тенглашади. Лампанинг қаршилиги кескин камаяди ва C конденсатор қисқа муддат ичида лампанинг ўчиш кучланиши $U_{ўч}$ гача зарядсизланади ($T_р$ вақт ичида). Вақт $t = t_2$ бўлганида лампалардаги газ разряди тугаб, лампанинг қаршилиги кескин ортади. Сўнгра конденсатор яна $U_{ён}$ кучланишигача зарядланади ва ҳоказо. Схеманинг чиқишидан эса аррасимон кучланиш олинади. Конденсаторнинг зарядланиши экспоненциал қонун бўйича ўзгаради. Резистор R орқали C конденсатор $\tau_з = RC$ вақт ичида зарядланади. $t_з = (3 \div 4)\tau_з$ вақт ичида бу жараён тугайди. Зарядланганда конденсатордаги кучланиш асимптотик равишда $E_а$ га, зарядсизланганда эса

нолга яқинлашади. Бу схеманинг асосий камчилиги лампанинг ёниш ва ўчиш кучланишларининг барқарор эмаслиги ҳамда резистор R ва конденсатор C параметрларининг тарқоқлигидир. Бу эса конденсаторнинг зарядланиш $T_з$ ва зарядсизланиш $T_р$ вақтларининг ўзгаришига олиб келади.

$$\tau_з = RC, \quad \tau_р = R_l C,$$

бу ерда R_l — лампанинг зарядсизланиш вақтидаги ички қаршилиги.

ЧЎК генераторининг стабиллигини таъминлаш учун ташқи уйғонишли генераторлардан фойдаланилади. Транзистор асосида тузилган ЧЎК нинг схемаси 15.63-расм, *в* да кўрсатилган. Бошланғич ҳолатда транзистор очиқ ва тўйинган. Унинг коллекторидаги ва конденсатордаги кучланиш нолга яқин. Вақт $t = t_1$ бўлганида VT транзисторнинг базасига ишга туширувчи мусбат импульс берилади. Бунда транзистор ёпилади. Конденсатор эса $+E_к$, C, R, $-E_к$ занжир орқали зарядланади. Демак, ишга туширувчи импульс таъсир этаётган вақт ($T_з$) ичида конденсатордаги кучланиш ортиб боради. Бу импульс таъсири йўқолганидан кейин ($t = t_2$) транзистор очилиб, конденсатор транзистор VT орқали тез зарядсизланади. Вақт $t = t_з$ бўлганида конденсатор яна зарядланади ва жараён такрорланади. Бу ерда кучланиш чизиқли бўлиши учун конденсатор $E_к$ (манба) кучланишидан анча кичик бўлган U_m кучланишгача зарядланади. Бунда манба кучланишининг тўлиқ ишлатилмаслиги мазкур схеманинг асосий камчилигидир. Мукаммалроқ схемаларда конденсатор зарядланиш токининг барқарорлигини таъминлаб берувчи элементлардан фойдаланилади.

15.12. ИМПУЛЬСЛИ ВА РАҚАМЛИ ТЕХНИКА

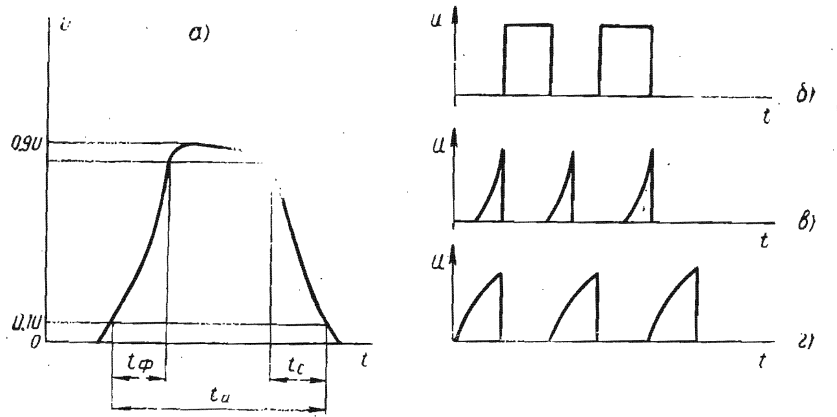
Радиотехника, автоматика, телемеханика ва ЭҲМ ларда импульсли режимда ишлайдиган импульс қурилмалар кенг қўлланилади. Бу қурилмаларнинг ишида қисқа муддатли сигналлар паузалар билан алмашиб туради. Импульсли иш режими узлуксиз иш режимига қараганда бир қанча афзалликларга эга:

1. Импульсли режимда ишлаганда кичик қувватли қурилма ёрдамида импульс таъсир этаётган қисқа муддат ичида катта қувватга эришиш мумкин.

2. Импульсли режимда ишлаганда ярим ўтказгичли схемалар „калит“ режимида ишлайди, яъни қурилма икки ҳолатдан („уланган“ ёки „узилган“) бирида бўлади. Натижада ярим ўтказгичли асбоблар параметрларининг ўзгаришига ҳароратнинг таъсири камаяди.

3. Импульсли режимда сигнални халақитлардан (бузилишлардан) ажратиш осонроқдир.

Мураккаб импульс қурилмалар интеграл микросхемаларга жамланган элементлардан тузилади.



15.64- расм.

Электр импульси деб қисқа вақт ичида ўзгармас қийматдан фарқ қилувчи ток ёки кучланишга айтилади. Импульс қуйидаги параметрлар билан характерланади: импульс амплитудаси (A); импульс давомийлиги $t_и$. Импульс қиймати 0,1 А га тенг бўлган қийматдан аниқланади (15.64- расм, *а*). Бунда $t_ф$ — импульс қийматининг 0,1 А дан 0,9 А гача ўсиш вақти t_c — импульс қийматининг 0,9 А дан 0,1 А гача камайиш вақти, ΔA — импульс чўққисининг пасайиши.

Агар импульслар бир хил вақт оралиғи билан кетма-кет келса, бундай импульслар *даврий кетма-кетликдаги импульслар* дейилади.

Бир секунд ичидаги импульслар сони *импульс частотаси* (F) дейилади:

$$F = \frac{1}{T},$$

бу ерда T — импульс даври.

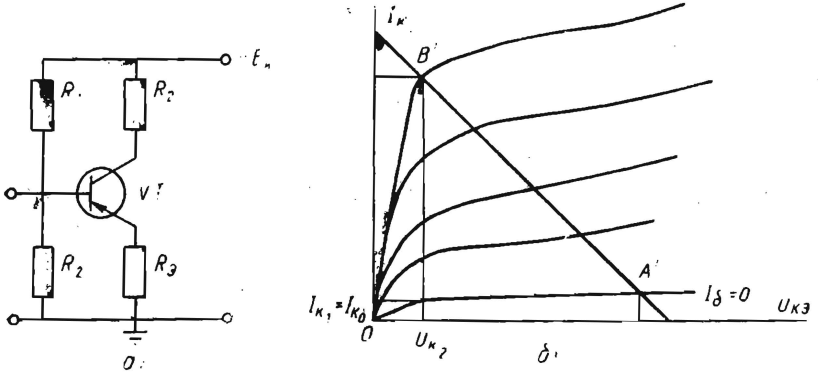
Даврнинг импульс давомийлигига нисбати *импульснинг чуқурлиги* дейилади:

$$q = \frac{T}{t_и}.$$

$2 \leqslant q \leqslant 10000$ бўлиши мумкин.

Шаклига қараб импульслар тўғри бурчакли, трапециадал, экспоненциал, аррасимон ва бошқа турларга бўлинади (15.64-расм, *б*, *в* ва *г* лар).

Аксарият импульс қурилмалари таркибига электрон калитлар, яъни „калит" режимида ишловчи элементлар киради. Электрон калит сифатида диодлар, электрон лампалар, транзисторлар ишлатилиши мумкин. Бунда элемент фақат („уланган" ва „узилган") ҳолатда бўлиши мумкин. „Уланган" ҳолатда элементнинг қаршилиги $R = 0$, „узилган" ҳолатда эса $R =$

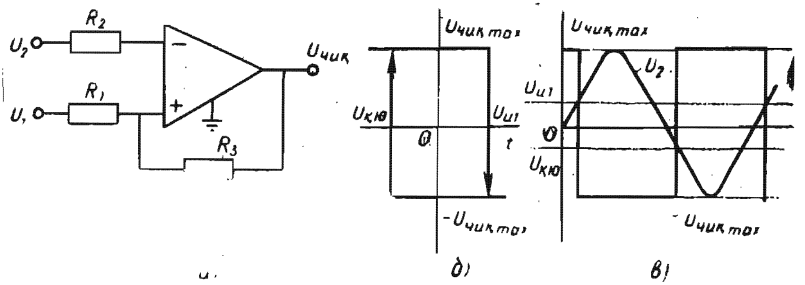


15.65- расм.

$= \infty$ деб ҳисобланади. Шунга қараб чиқишда сигнал „бор" ёки „йўқ" дейиш мумкин. Аслида қаршилик R нолдан ҳам, чексизликдан ҳам фарқ қилади. Калитнинг сифати „уланган" калитдаги кучланиш пасаюви $u_а$, „узилган" калитдаги ток $i_р$ ва калитнинг бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтиш вақти $t_{ўт}$ билан характерланади. Бу қийматлар қанча кичик бўлса, калитнинг сифати шунча яхшидир. Транзисторли калитнинг ишлашини кўриб чиқамиз (15.65- расм). Транзисторнинг уланиш схемаси кучайтиргич каскадидаги каби бўлиб, VT транзистор „калит" режимида ишлайди. Бу режим транзистор ёки узиш, (отсечка) ёки тўйиниш режимида бўлиши мумкинлиги билан характерланади. Узиш режимида база токи $I_{б1} = 0$, потенциали эса манфий бўлиб, коллектор токи катта эмас ($I_{к1} = I_{к0}$). $R_к$ қаршиликдаги кучланишнинг пасаюви жуда кичик ва коллектордан олинаётган кучланиш $U_{к1} \approx E_к$ (характеристикадаги A нуқта) бўлади.

Тўйиниш режимида базага мусбат потенциал берилади, база токи $I_{б2} = \frac{u_{кир}}{R_б}$, коллектор токи $I_{к2} = \frac{E_к}{R_к}$, коллектор потенциали эса $U_{к2} \approx 0$. Узиш режимидан тўйиниш режимига ўтиш тез рўй беради ва база потенциали (кириш кучланиши $U_{кир}$) нинг ортиши коллектор потенциали (чиқиш кучланишини) нинг камайишига олиб келади. Бундай „калит" *инверторловчи* дейилади. Эмиттер такрорловчилардан такрорловчи „калит" ясаш мумкин. Бундай калитларда кириш сигналининг ортиши, чиқиш сигналининг ортишига олиб келади.

Электрон калитлар турли ўзгартиргичларда кенг қўлланади. Импульсли режимда ишловчи қурилмалардан бири компаратордир. Компаратор икки сигнални ўзаро таққослаш учун ишлатилади (15.66- расм). Компаратор импульсли режимда ишлайдиган ОК лар асосида қурилади. Бу режимда ОК амплитуда характеристикасининг чизиқсиз қисмида ишлайди ва ку-



15.66- расм.

чайтиргичнинг чиқиш кучланиши $+U_{чиқ\,max}$ ва $-U_{чиқ\,max}$ қийматларга эга бўла олади. Компараторнинг киришига икки (таянч ва ўлчанадиган) кучланиш берилади. Таянч кучланиш ўзгармас бўлади. Кириш кучланишининг қиймати таянч кучланишга тенглашганда ОК нинг чиқишидаги кучланиш ўз қутбланишини ўзгартиради. Компараторнинг оддий схемаси билан танишиб чиқамиз (15.66- расм, *а*). Компараторнинг ноинверсион киришига мусбат тескари боғланиш берилган. ОК дан иборат узатиш характеристикаси гистерезис характеристикасига ўхшайди. Компараторнинг чиқишидаги кучланиш $+U_{чиқ\,max}$ ва $-U_{чиқ\,max}$ қийматларга эга бўлиб, унинг характеристикасида ишга тушиш $U_{и.т}$ ва қўйиб юбориш $U_{к.ю}$ бўсағалари мавжуддир. $u_{кир}$ кучланишни нолга тенг, деб ҳисоблаб, ишга тушиш бўсағасини аниқлаймиз:

$$U_1 \frac{R_3}{R_1+R_3} + U_{чиқ} \frac{R_1}{R_1+R_3} = 0;$$

$$U_1 = -U_{чиқ} \frac{R_1(R_1+R_3)}{(R_1+R_3)R_3} = -U_{чиқ} \frac{R_1}{R_3}.$$

Бинобарин,

$$U_{и.т} = -\frac{R_1}{R_3}(-U_{чиқ\,max}) = \frac{R_1}{R_3} U_{чиқ\,max};$$

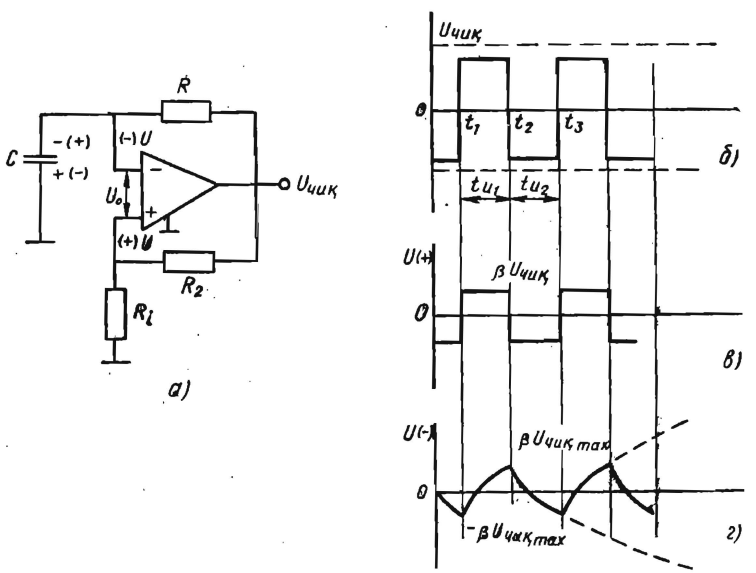
$$U_{к.ю} = -\frac{R_1}{R_3} U_{чиқ\,max}.$$

Компараторнинг ишлашини тушунтирувчи диаграмма (15.66-расм, *в*) таянч кучланиши ўзгармас ва нолга тенг бўлган ҳолат учун қурилган. Таққосланаётган кучланиш U_2 модуль жиҳатдан таянч кучланиш ва нолдан катта, яъни $|U_2| > |U_1|$, $U_2 > 0$ бўлса, чиқиш кучланиши $+U_{чиқ\,max}$ да $-U_{чиқ\,max}$ га уланади. Агар $U_2 < 0$ бўлса, $-U_{чиқ\,max}$ дан $+U_{чиқ\,max}$ га қай-

та уланади. Гистерезис соҳаси $U_2 = U_{и.т} - U_{қ.ю} = 2\frac{R_1}{R_3}U_{чиқ}$ га тенг бўлиб, тескари боғланишнинг чуқурлиги билан аниқланади. Демак, компаратор икки барқарор ҳолат ($+U_{чиқ\,max}$ ва $-U_{чиқ\,max}$) га эга бўлади ва бу ҳолатларнинг бири кириш кучланишлар айирмаси ишга тушиш кучланишидан кичик ва қўйиб юбориш кучланишидан катта бўлган оралиқда сақланиб қолади. Компараторлар ЭҲМ ларда, турли ўзгартиргичларда сигналларни таққослаш учун ишлатилади.

Компараторлар асосида мультивибраторлар қурилади. Мультивибратор деб тўғри бурчакли носинусоидал тебранишлар генераторига айтилади. Тўғри бурчакли тебранишлар кўп сонли оддий гармоник тебранишлар йиғиндисидан иборатдир. Мультивибраторлар импульс техникасида, ЭҲМ ва автоматик қурилмаларда бошқарувчи, ишга туширувчи генератор сифатида ишлатилади.

Мультивибраторлар симметрик, носимметрик вибраторларга бўлинади. Мультивибраторлар ўз-ўзини уйғотиш режимида ишлайди. Симметрик мультивибраторнинг ишлашини кўриб чиқамиз (15.67-расм). Компаратор сифатида ишлаётган ОК нинг инверторловчи киришига RC занжирни киритиш йўли билан компараторнинг чиқишидаги сигналнинг давомийлиги бошқарилади Вақт $t = t_1$ бўлганда ОК нинг киришларидаги сигнал $u_e > 0$ бўлса, чиқиш кучланиши $u_{чиқ} = -U_{чиқ\,max}$, ноинверсион киришдаги кучланиш $u_+ = -\beta U_{чиқ\,max}$ бўлади. Бу



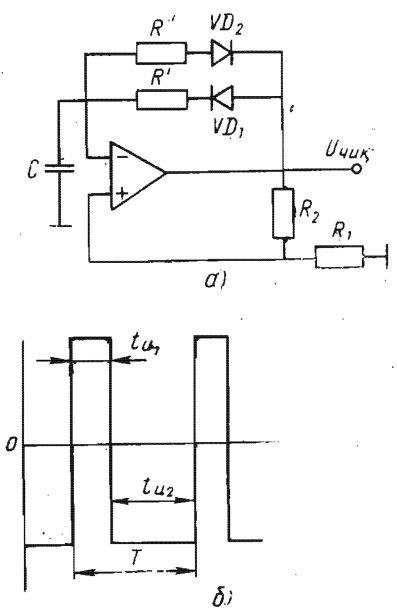
15.67- расм.

ерда $\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_3}$ — мусбат тескари боғланиш коэффициенти. Чиқишдаги кучланиш таъсирида конденсатор C резистор R орқали зарядланади. Инверторловчи киришдаги кучланиш конденсатордаги кучланишга тенг ва $u_2 = -\beta U_{чиқ\,max}$ қийматга эришганда $u_0 = 0$ бўлиб қолади. Натижада ОК нинг чиқишидаги кучланишнинг қутбланиши ўзгаради ва $u_{чиқ} = +U_{чиқ\,max}$, $u_+ = \beta U_{чиқ\,max}$ бўлади. Чиқиш кучланиши $u_{чиқ} = U_{чиқ\,max}$ бўлгани учун конденсатор қайта зарядланади ва инверторловчи киришдаги кучланиш яна ноинверсион киришдаги кучланиш (u_+) га тенг бўлиб қолганида $u_0 = 0$ бўлиб, чиқишдаги кучланишнинг қутбланиши $u_{чиқ} = +U_{чиқ\,max}$ дан $u_{чиқ} = -U_{чиқ\,max}$ га ўзгаради. Жараён бир маромда такрорланиб туради. Мусбат импульслар давомийлиги манфий импульслар давомийлиги билан тенглашади. Импульслар частотаси қуйидагича бўлади:

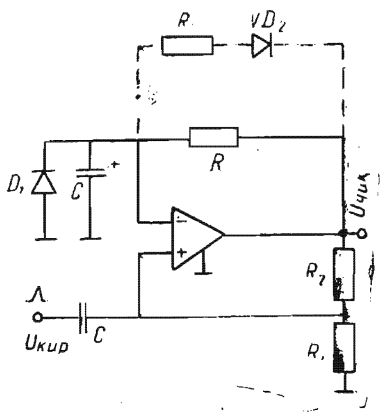
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{tu_1 + tu_2} = \frac{1}{2tu}.$$

Импульснинг давомийлиги занжирга уланган R_1 қаршиликлар ва C конденсаторнинг сиғимига боғлиқ.

ОК нинг инверторловчи киришига кетма-кет уланган резистор ва диоддан иборат икки шохобчани ўзаро параллел конденсатор билан кетма-кет улаш орқали носимметрик мультивибратор ҳосил қилиш мумкин (15.68- расм). Конденсатор C



15.68- расм.



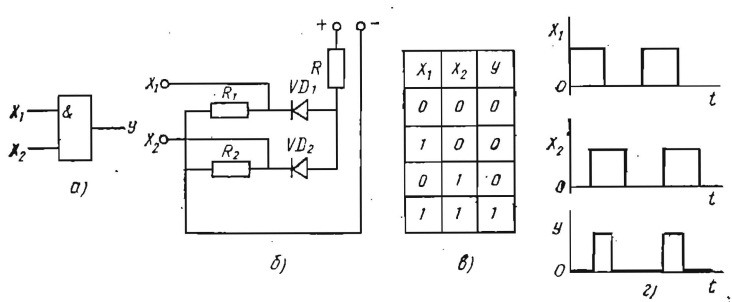
15.69- расм.

чиқишдаги кучланишнинг бир қутбланишида резистор R_1 ва диод VD_1 орқали зарядланади. Кучланиш тескари қутбланганда конденсатор резистор R_2 ва диод VD_2 орқали зарядланади. Диодлар қаршилигини ҳисобга олмасак, мусбат ва манфий импульсларнинг давомийлиги R_1 ва R_2 қаршиликларга пропорционал бўлади (15.68-расм, *б*). ОК нинг инверторловчи киришидаги конденсаторга параллел диод бириктириб бир импульсли вибратор ҳосил қилиш мумкин (15.69-расм). Бир импульсли вибратор кутувчи режимда ишловчи мультивибратордир. Мультивибратор иккита беқарор ҳолатга эга бўлса, бир импульсли вибратор битта беқарор ва битта барқарор ҳолатга эга. Барқарор ҳолатда вибраторга қисқа ишга туширувчи импульс берилса, у беқарор ҳолатга ўтади. Чиқиш занжирида тўртбурчак импульс ҳосил бўлади. Конденсаторнинг зарядланиши тугаши билан бир импульсли вибратор яна барқарор ҳолатга ўтади.

15.13. МАНТИҚИЙ ФУНКЦИЯЛАР ВА ЭЛЕМЕНТЛАР

Рақамли ахборотдан фойдаланувчи қурилмалар мантиқий ва хотира элементлари асосида қурилади. Мантиқий элементнинг кириш ва чиқишидаги сигнал фақат икки қийматга эга бўлиши мумкин. Бу қийматлар „1“ ва „0“ тарзда белгиланади. Мантиқий элементнинг киришидаги миқдор мантиқий алгебра ёки Буль алгебраси қоидалари асосида чиқишдаги миқдорга айлантирилади. Буль алгебраси ахборотнинг физик хусусиятларини ҳисобга олмай, унинг фақат „тўғри“ (мантиқий „1“) ёки „нотўғри“ (мантиқий „0“) лиги томонидан қарашга имконият беради. Мантиқий элементлар ёрдамида бир неча оддий мантиқий функциялар бажарилиши мумкин.

Асосий мантиқий функциялар — дизъюнкция (мантиқий қўшиш функцияси), конъюнкция (мантиқий кўпайтириш), инверсия (мантиқий инкор этиш) функцияларидир. Мантиқий қўшиш функцияси „ЁКИ“ деб аталади. Функционал схемаларда эса 15.71-расм, *а* да кўрсатилгандек тасвирланади. Унинг бажарилиш қоидаси қуйидагича. Киришга берилган сигналлардан

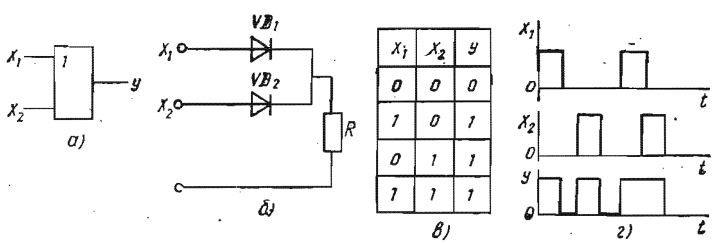


15.70-расм.

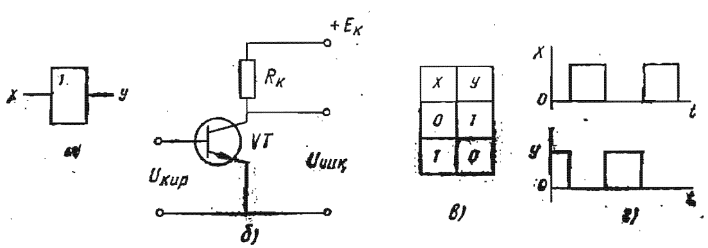
лоақал биттаси мантиқий „1“ га тенг бўлса, чиқишдаги сигнал ҳам „1“ га тенг. „ЁКИ“ операциясини бажариш қоидаси 15.71-расм, *в* ва диаграммаси 15.71-расм, *г* да кўрсатилган. Шу функцияларни бажариб берувчи оддий схема бўлиниш схемаси бўлиб, 15.71-расм, *б* да кўрсатилган. VD_1 ёки VD_2 диоддан ёки иккала диоддан ток ўтгандагина қаршилик $R_к$ да кучланиш ҳосил бўлади.

Конъюнкция ёки мантиқий кўпайтириш функцияси „ҲАМ“ операцияси деб аталади. 15.70-расмда унинг функционал схемаси, бажарилиши қоидаси ва диаграммалари кўрсатилган. Иккала киришда ҳам мантиқий „1“ бўлгандагина чиқишда ҳам „1“ бўлади. Киришдаги бирор сигнал мантиқий „0“ га тенг бўлса, чиқишдаги сигнал ҳам „0“ га тенг бўлади. Шу операция 15.70-расм, *б* да кўрсатилган схема бўйича бажарилади. Иккала диоднинг киришига „0“ сигнал берилса, диодлар очиқ бўлиб, резистор ва диодлардан ток ўтади. Манба кучланишининг каттагина қисми қаршилик R даги кучланиш пасаюви билан мувозанатлашиб, чиқишдаги сигнал жуда кичик, яъни „0“ бўлади. Агар иккала диоднинг киришига „1“ сигнал берилса, диодлар ёпилади, резистор R дан ток ўтмайди ва чиқишдаги кучланиш манба кучланишига тенглашади.

Инверсия ёки мантиқий инкор этиш функцияси „ЙЎҚ“ операцияси деб аталади. Бу операциянинг функционал тасвири, бажарилиш қоидаси ва диаграммалари 15.72-расмда кўрсатилган. Мазкур операцияни бажариш қоидаси қуйидагича. Киришдаги сигнал „1“ бўлса, чиқишда „0“ бўлади, киришда „0“ бўлса, чиқишда „1“ бўлади. 15.72-расм, *б* да кўрсатилган



15.71-расм.



15.72-расм.

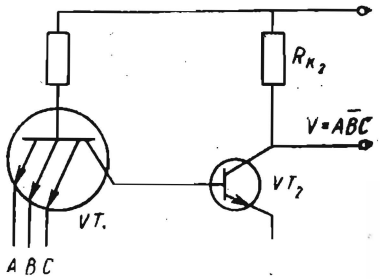
схема „ЙЎҚ“ операциясини бажаради. Киришдаги кучланиш „0“ га тенг бўлганда транзистор ёпиқ, $E_к$ кучланиш чиқишдаги кучланишга тенг, яъни „1“ бўлади. Киришга сигнал берилганда транзистор очилиб, ундан ва қаршилик $R_к$ дан ток ўтади ва $R_к$ қаршиликда кучланиш пасаюви ҳосил бўлади. Чиқишдаги кучланиш $U_{чиқ} = E_к - I_к R_к$ нинг қиймати кичик, яъни „0“ бўлади.

Шу уч асосий мантиқий элемент ёрдамида ҳар қандай мантиқий функцияларни бажариш мумкин. Бу элементлар энг оддий элементлар ҳисобланади. Шунингдек, комбинацияланган, яъни 2 ва ундан ортиқ операция бажара оладиган (масалан ЁКИ — ЙЎҚ, ҲАМ — ЙЎҚ ва бошқалар) элементлар ҳам бор.

Ҳозирги вақтда ЭҲМ ларда мантиқий элементлар системасидан кенг фойдаланилади. Функционал тўлиқ бўлган мантиқий элементлар тўплами *мантиқий элементлар системаси* деб аталади. Бу тўпламдаги элементлар умумий эмпирик, конструктив ва технологик параметрларга эгадир. Уларнинг ахборотни тасвирлаш усули ҳам бир хил бўлади.

Қандай элементлардан ҳосил қилинганлигига қараб мантиқий элементлар резистор-транзисторли мантиқ (РТМ), диод-транзисторли мантиқ (ДТМ), транзистор-транзисторли мантиқ (ТТМ) ва МОЯ (металл, оксид, ярим ўтказгич)-транзисторли мантиқ (ТМ) ларга бўлинади. 15.73-расмда кўрсатилган ТТМ элементнинг схемасини кўриб чиқамиз. Бу элемент ҲАМ—ЙЎҚ операциясини бажаради.

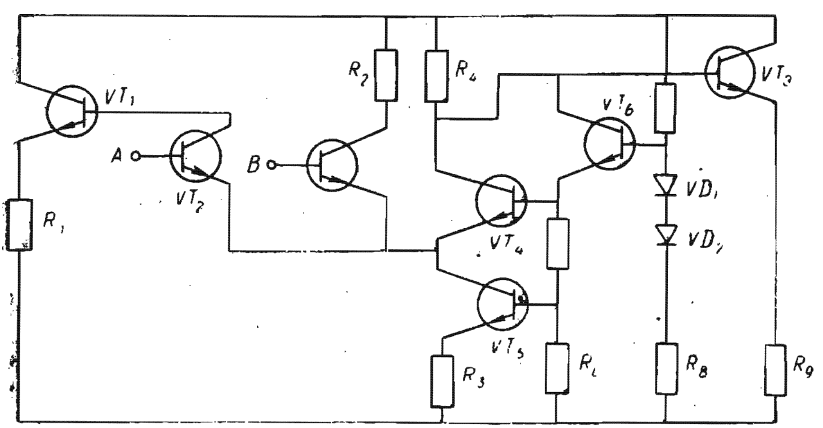
15.73-расмда кўп эмиттерли транзистор асосида қурилган ТТМ элементнинг схемаси кўрсатилган. Схема кўп эмиттерли VT_1 транзистор ва VT_2 транзистордан иборат. VT_1 транзисторнинг A, B, C киришларига 0 ёки 1 қийматга эга бўлган сигналлар берилади. „0“ деб тўйиниш режимида ишлаётган транзисторнинг $U_{кэ}$ кучланишига тенг бўлган кучланиш қиймати тушунилади. Агар схеманинг бирор киришига „0“ сигнал берилса, база манба кучланиши $E_к$ билан резистор $R_{б1}$ орқали уланган учун транзистор VT_1 тўйиниш режимига ўтади. Бунда $I_{к1}$ коллектор токи катта эмас ва $I_{б2}$ токига тенгдир. $U_{бэ2}$ кучланиш эса VT_2 транзисторни ишга тушириш учун етарли эмас. Элементнинг чиқишидаги кучланиш $E_к$ га, яъни чиқишдаги сигнал „1“ га тенгдир. Агар кириш занжирларининг барчасига „1“ га тўғри келадиган сигнал, яъни $E_к$ тенг бўлган кучланиш берилса, VT_1 транзистор инверсион режимда ишлай бошлайди. Транзистордаги коллектор ва эмиттернинг вазифалари ўзаро ўрин



15.73-рас...

алмашади. Инверсион режимда транзисторнинг узатиш коэффициенти ва эмиттер токининг вазифасини бажарувчи коллектор токи кичикдир. Резистор $R_{б1}$ ва VT_2 транзисторнинг эмиттер ўтишидан ўтаётган ток VT_2 транзисторни тўйиниш режимига ўтказади. Чиқиш кучланиши транзистор VT_2 нинг $U_{кэ}$ кучланишига, яъни чиқишдаги сигнал „0“ га тенгдир. ТТМ типидаги схемалар ўртача тезкорликка эгадир. Улардаги сигналнинг кечикиш вақти 10—30 нс га тенг. ТТМ типдаги ҳар бир элементнинг чиқишига 10 тадан мантиқий схема улаш мумкин. ТТМ элементлари микросхемаларда бажарилган бўлиб, белгиланишидаги ЛИ ҳарфлар унинг функционал вазифасини мантиқий „ҲАМ“. Бу элементлар манба кучланиши 5 вольт бўлганда ишлайди. Улар учун „1“ нинг қиймати $U^1 \approx 2{,}4$ В; „0“ нинг қиймати $U^0 = 0{,}4$ В.

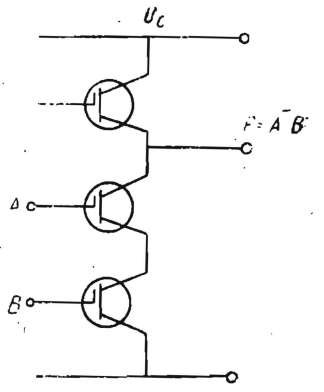
Эмиттер боғланишли мантиқий (ЭБМ) элементларнинг ишлаш принципи кириш кучланиши бироз ўзгарганда токларнинг қайта уланишига асосланади. “ЁКИ“ ёки „ЁКИ—ЙЎҚ“ операциясини бажарувчи ЭБМ типидаги элементнинг ишлашини кўриб чиқамиз (15.74-расм). Кириш сигналлари A ва B транзисторлар VT_2 ва VT_3 нинг киришига берилади. Транзисторлар VT_2, VT_3 ва VT_4 дифференциал кучайтиргични ҳосил қилади ва схеманинг кириш қаршилиги катта бўлишини таъминлайди. Транзистор VT_5 токнинг барқарор бўлишини таъминлайди. Транзистор VT_4 нинг базасидаги ўзгармас таянч кучланишни транзистор VT_6 ва қаршиликлар (R_7, R_8) даги кучланиш бўлгичларни ҳосил қилади. Диодлар VD_1 ва VD_2 таянч кучланишининг температуравий барқарорлигини таъминлаб беради. Транзисторлар VT_1 ва VT_7 чиқиш қаршиликларининг кичик бўлишини таъминлайди. Агар транзистор VT_5 нинг кириш занжирига „0“ га мос тушадиган сигнал берилса, VT_2 ва VT_3 транзисторлар узиш режимида бўлиб, VT_6 транзистор-



15.74-расм.

нинг токи VT_4 транзистор орқали ўтади. Бунда коллектор занжири учун нагрузка бўлган R_4 резисторда кучланиш ҳосил бўлади. Бу кучланиш эмиттерли такрорлагич бўлмиш VT_7 транзистор ёрдамида такрорланади.

Агар кириш занжирига „1“ сигнали берилса, VT_4 транзисторнинг токи VT_2 ва VT_3 транзисторлар занжирига қайта уланади. Транзистор VT_4 эса ёпилади, R_2 қаршиликда ҳосил бўлган кучланиш VT_1 эмиттерли такрорлагич орқали чиқишга берилади. Схема ЁКИ — ЙЎҚ операциясини бажаради. ЭБМ типидаги элемент юқори тезкорликка эгадир. Ушбу элементнинг икки чиқиши (тўғри ва инверсион) бўлиб, уларга 25 — 30 та элемент улаш мумкин. Бироқ бу элементларга халақитлар таъсири кучли бўлади. Ундан ташқари, истеъмол қиладиган қуввати ҳам катта. ЭБМ типидаги элементларда сигналнинг кечикиш вақти 1 — 5 НС (наносекунд). Шу сабабдан улар, асосан, тезкор системаларда кенг қўлланилади.

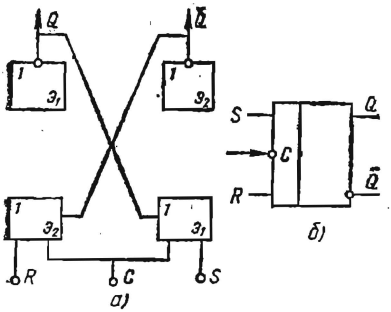


15.75- расм.

МОП транзисторлар асосида қурилган интеграл схемалар ТТМ ва ЭБМ элементларга қараганда секинроқ ишлайди. Сигналнинг кечикиш вақти 50—100 нс. Бу элементлар истеъмол қиладиган қувватнинг нисбатан кичиклиги, чиқишига уланадиган элементлар сонининг кўплиги билан фарқ қилади. Шунингдек микросхемада эгаллайдиган юзаси ҳам кичикдир. ҲАМ — ЙЎҚ операциясини бажарувчи МОЯ элементининг ишлашини кўриб чиқамиз. 15.75- расмда бир қутбли транзисторлар асосида қурилган мантиқий элементнинг схемаси кўрсатилган. Схема учта бир қутбли транзистордан иборат. VT_1 ва VT_2 транзисторларга кириш сигнали берилади. Транзистор VT_3 эса истеъмолчи транзистордир. Кириш сигналлари яъни VT_1 ва VT_2 транзисторларга берилади. Агар иккала киришга, VT_1 ва VT_2 ларнинг тамбасига (затворига) „1“ сигнали (тамбалар потенциали манфий) берилса, VT_1 ва VT_2 транзисторлар очиқ, VT_3 транзисторда кучланиш пасаяди, чиқишда эса „0“ сигнал бўлади. „0“ сигналнинг қиймати U_u кучланишга яқин бўлиши учун VT_1 ва VT_2 очиқ транзисторларнинг натижавий қаршилиги VT_3 транзисторнинг қаршилигидан анча кичик бўлиши керак. Схеманинг чиқишига 10 тадан 20 тагача элемент улаш мумкин.

15.14. ЭЛЕКТРОН ҲИСОБЛАШ МАШИНАЛАРИНИНГ АЙРИМ ЭЛЕМЕНТЛАРИ

Триггер икки барқарор ҳолатга эга бўла оладиган импульсли режимда ишловчи қурилмадир. Триггер бир барқарор ҳо-

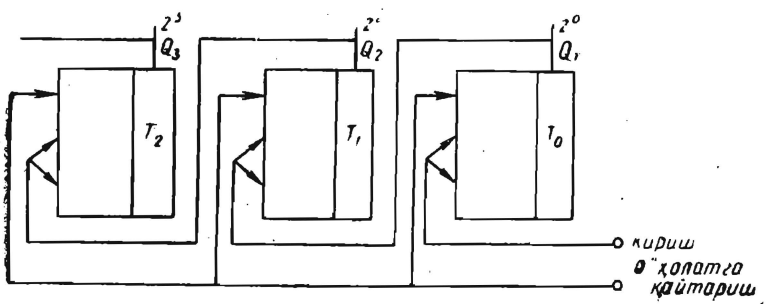


15.76- расм.

латдан иккинчисига ташқи кучланишлар таъсирида ўтади. Ташқи таъсир этувчи кучланишлар узилгандан сўнг триггер узоқ муддат (янги сигнал келгунча) ичида шу барқарор ҳолатини сақлаб қолади. Янги сигнал келганида триггер янги барқарор ҳолатга ўтади. Триггерлар бошқарилиш турига қараб асинхрон ва тактли хилларга бўлинади. Вазифасига қараб триггерларни $R-S$, D, T, $J-K$ турларга бўлиш мумкин. Триггерлар асосан ҲАМ — ЙЎҚ ёки ЁКИ — ЙЎҚ мантиқий элементлардан иборат бўлади. ЁКИ — ЙЎҚ мантиқий элементлардан қурилган тактли $R-S$ триггернинг ишлашини кўриб чиқамиз (15.76-расм). Триггер учта кириш R, S, Q ($\overline{Q}$) ва иккита чиқиш Q, $\overline{Q}$ га эга. Киришга „1“, „0“ ва ҳисоблаш (такт) импульси берилади, чиқишдан „ноль“ ёки „бир“ ни олиш мумкин. Агар триггернинг S киришига „1“ R киришига „0“ берсак, ноинверсион чиқиш Q да „1“ сигнали ҳосил бўлади ва бу ҳолат тескари боғланиш туфайли узоқ муддат сақланиб қолади. Триггерни бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга тактли киришига берилган сигнал ёрдамида ҳам ўтказиш мумкин.

Интеграл микросхемаларда триггер ва унинг киришларини бошқарувчи схема корпусга жойлаштирилган ягона кремний пластинкасида бажарилади ва ТТ, ТР, ТЛ ҳарфлар билан белгиланади.

Триггерлар асосида импульс ҳисоблагичлар қурилади. Ҳисоблагич кириш сигналларни ҳисоблаб беради. Ҳисоблагичлар жамловчи, айирувчи ва реверсив турларга бўлинади. Триггер асосида тузилган жамловчи ҳисоблагичнинг ишлашини кўриб чиқамиз (15.77-расм). Бошланғич ҳолатда барча триггерлар



15.77- расм.

„0“ ҳолатда бўлади. Триггер T_0 нинг киришига импульс берилади ва триггер „1“ ҳолатга ўтади. Бунда триггерлар T_1, T_2 дастлабки ҳолатда бўлади. Кейинги импульсдан сўнг триггер $T0$ нинг чиқишида триггер T_1 га импульс узатилади, триггер T_0 эса „0“ ҳолатга ўтади. Учинчи импульс T_0 триггерни „1“ ҳолатга ўтказади, триггер T_1 „1“ ҳолатда, триггер T_3 „0“ ҳолатда бўлади. Тўртинчи импульс триггер T_0 ни „0“ ҳолатга ўтказади, унинг чиқишидаги импульс триггер T_1 ни „0“ ҳолатга ўтказади, триггер T_1 нинг чиқишидан импульс триггер T_2 га ўтиб, уни „1“ ҳолатга ўтказади ва ҳоказо. Триггерлар ҳолатини 9-жадвал кўринишида ифодалаш мумкин.

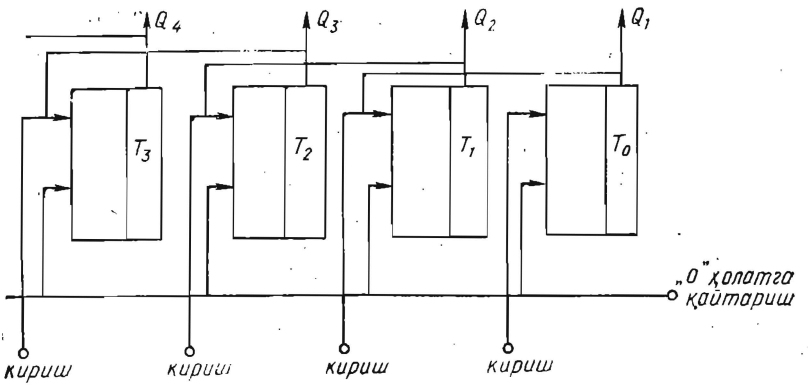
Демак, триггерларнинг ҳолати иккили саноқ системасидаги импульс ар сонининг ёзилишига мос тушади. Триггерлар сонига қараб ҳисобланиши мумкин бўлган импульслар сони аниқланади. Агар триггерлар сони $n = 3$ бўлса, импульслар $N = 2^n = 2^3 = 8$. Ҳисоблагичлар (счётчиклар) 4, 8, 12 разрядли бўлади. Иккили саноқ системада ишлайдиган ҳисоблагичлардан ташқари ўнли ва бошқа саноқ системаларида ишлайдиган ҳисоблагичлар ҳам бор. Улар иккили саноқ системасида ишлайдиган ҳисоблагичлардан триггерлар сони ҳамда инвертор-

9-жадвал

Импульсларнинг тартиб №	Триггерларнинг ҳолати		
	T_1	T_2	T_0
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1
8	0	0	0

ловчи чиқиши ва кириш занжири орасида тескари боғланишнинг мавжудлиги билан фарқ қилади.

Регистр деб ахборотни ёзиб олувчи, сақловчи ва чиқариб берувчи қурилмага айтилади. Регистрлар асосан иккита рақамни хотирага олиш учун ишлатилади. Бир сон ёзилганидан кейин иккинчи сон ёзилмагунча регистр биринчи сонни эслаб туради. Регистрлар ҳам триггерлар асосида қурилади (15.78-расм). Иккили сонининг ҳар бир разряди ўз триггерига ёзилади. Триггерлар сони регистрнинг разрядларини аниқлаб беради. Тўрт разрядли сурувчи регистрнинг ишлашини кўриб чиқамиз (15.78-расм). Масалан, регистрга 3 рақамини ёзиш керак бўлсин. Бу рақам иккили саноқ системасида 0011 деб ёзилади. Дастлабки ҳолатда ҳамма триггерлар „0“ ҳолатда бўлади. Кириш занжирига 0011 рақамига мос келувчи импульс-



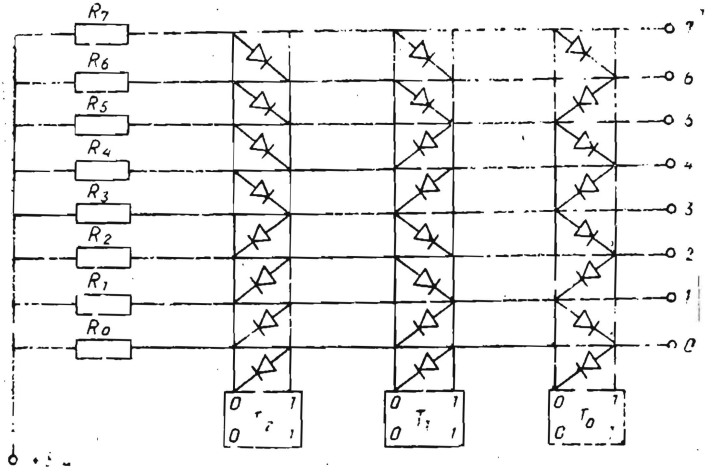
15.78- расм.

лар серияси берилади. „Сурувчи" киришига сурувчи импульслар берилади. Сурувчи импульслар кичик разрядли триггердан юқори разрядли триггерга импульс ўтиши учун рухсат беради ва кичик разрядли триггерни яна „0" ҳолатга ўтказади. Триггерлар ҳолати 3 рақами ёзилганида қуйидагича ифодаланади (10- жадвал).

10- ж а д в а л

Сурувчи импульслар сони	Триггерларнинг ҳолати			
	T_3	T_2	T_1	T_0
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	1	1

Керак бўлган сон ёзилгандан кейин сурувчи импульсларни бериш тўхтатилади ва ахборот ёзилиб қолади. Регистр ахборотни кетма-кет қабул қилиб олади. Мазкур ахборотни триггердан кетма-кет ва параллел ҳолда чиқариб олиш мумкин. Ахборот параллел ҳолда чиқариб олинганида у ҳамма триггерларнинг чиқишидан бирваракайига олинади. Регистрда ахборотни ўнгга ёки чапга суриб, иккили саноқ системасида ёзилган рақамни 2 га бўлиш ёки кўпайтириш мумкин. Бундан ташқари, регистрларда иккили кодда ёзилган иккита сонни кўпайтириш ёки бўлиш мумкин. Кўпайтириш операцияси разрядлар бўйича сурилган сонларни қўшиш операцияси билан алмаштирилади. Бўлиш операцияси эса айириш операцияси билан алмаштирилади.

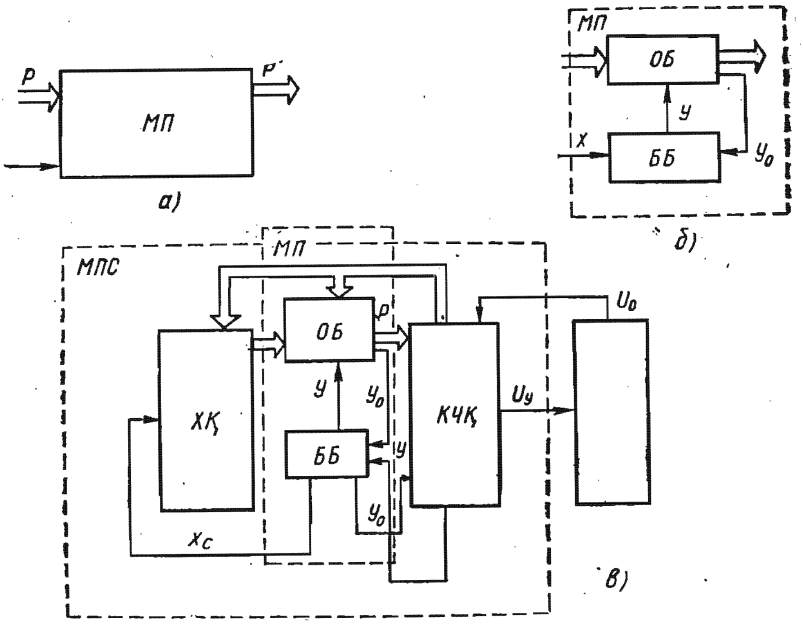


15.79- расм.

Дешифратор деб турли кодли ахборотни ажрата олувчи қурилмага айтилади. Уч элементли кодни ажрата оладиган дешифраторнинг тузилиш принципини кўриб чиқамиз. Киришдаги занжирлар сони $n=3$ бўлгани учун чиқишда $N=2^3=8$ шина бўлиши керак. Уловчи линиялар тўплами *шина* деб аталади. Ахборотни ёзиб олиб, сақлаш учун учта триггер ва бир нечта „ҲАМ" элементлари керак (15.79- расм). Триггерларнинг ҳар бир чиқиш шинаси диод ва резистордан ташкил топган „ҲАМ" элементининг чиқиш шиналари узининг кириш шиналари билан кесишиб ўтиб, матрица шаклида бўлади ва бундай дешифратор диодли-матрицали деб аталади. Триггернинг кириш занжирига 4 рақами (100) берилса, фақат тўртинчи чиқиш шинаси $u=E$ кучланишни олиш мумкин. 7 сигнали (111) берилганда еттинчи шинадаги кучланиш E га тенг бўлади ва ҳоказо. Дешифратор тезкор бўлиб, асосий камчилиги нисбатан кўп элемент талаб этишидадир.

15.15. МИКРОПРОЦЕССОРЛАР

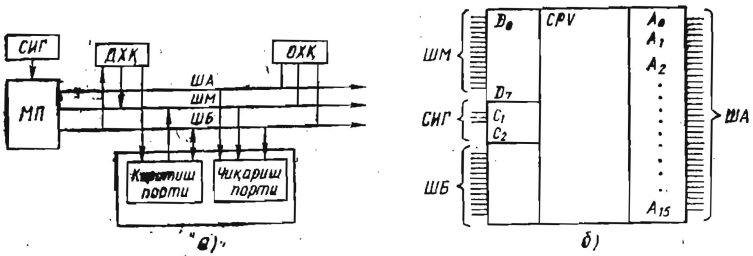
Ҳозирги замон илм-техника тараққиёти КИС — микропроцессорларнинг ишлаб чиқилиши билан боғлиқдир. Ахборот устида арифметик ва мантиқий операцияларнинг тугалланган кетма-кетлигини бажарадиган қурилма *микропроцессор* деб аталади. Шунингдек, микропроцессор ахборотни хотирада сақлаб, уни ташқи қурилма билан алмашиб туради. Унинг вазифаси ЭҲМ процессорининг вазифасига ўхшайди, лекин имкониятлари уникидан камроқ.



15.80- расм.

Микропроцессор (МП) нинг функционал тузилиши ва ишлаш принципи билан танишиб чиқамиз (15.80-расм). МП нинг киришига маълумотлар массиви D берилиб, бу массивга маълум (x) программа асосида ишлов берилади ва чиқишда D' маълумотлар массиви олинади. D массивга ишлов бериш учун МП га иккита асосий қисм: операциялар блоки (ОБ) ва бошқарув блоки (ББ) киритилади. ОБ берилган маълумотлар устида турли операциялар (қўшиш, айириш, кўпайтириш ва ҳоказо) ни бажаради. ОБ нинг тўғри ишлашини ББ таъминлаб туради. Бунинг учун ББ да x программанинг бажарилиш кўрсатмалари бошқарувчи сигнал y га айлантирилади. ОБ нинг ҳолатини текшириш учун y_0 сигнали ҳосил бўлиб, у ББ томонидан кузатилади.

МП нинг асосий вазифаси бирор объектни (масалан, дисплей, шахсий ЭҲМ клавиатураси, дастур асосида бошқариладиган дастгоҳлар ва бошқаларни) бошқаришдан иборат бўлиб, бошқариш объекти (БО) билан боғланиш учун киритиш-чиқариш қурилмаси (КЧК) га эга. Дастур ва дастлабки маълумотлар хотира қурилмаси (ХҚ) да сақланади. БО дан КЧҚ га узлуксиз сигнал берилади. КЧҚ да сигнал рақамли ахборотга айлантирилади ва ББ га узатилади. Хотирловчи қурилмаси, микропроцессор ва киритиш-чиқариш қурилмасидан иборат система *микропроцессор системаси* (МПС) деб аталади. МПС системада ахборот ҚЧҚ дан МП га ва ҲК га берилиши мум-



15.81- расм.

кин. Бунда ахборот алмашуви мавжуд бўлиб, у сақланиб қолиши ҳам мумкин. МПС даги барча блок ва қурилмаларнинг созланишини бир хил частоталар генератори ишлаб чиқарадиган синхронлаш импульслари таъминлаб беради.

Дастур асосида ишлайдиган қурилмаларнинг барчасини (бир кристалли микроконтролердан тортиб, микро ЭҲМ гача) 15.81-расм, *а* даги структура схемаси тарзида ифодалаш мумкин. Бунда СИГ — стандарт импульслар генератори; ДХҚ — доимий хотира қурилмаси; ОХҚ — оператив хотира қурилмаси; АШ — адреслар шинаси; МШ — маълумотлар шинаси; БШ — бошқарув шинаси.

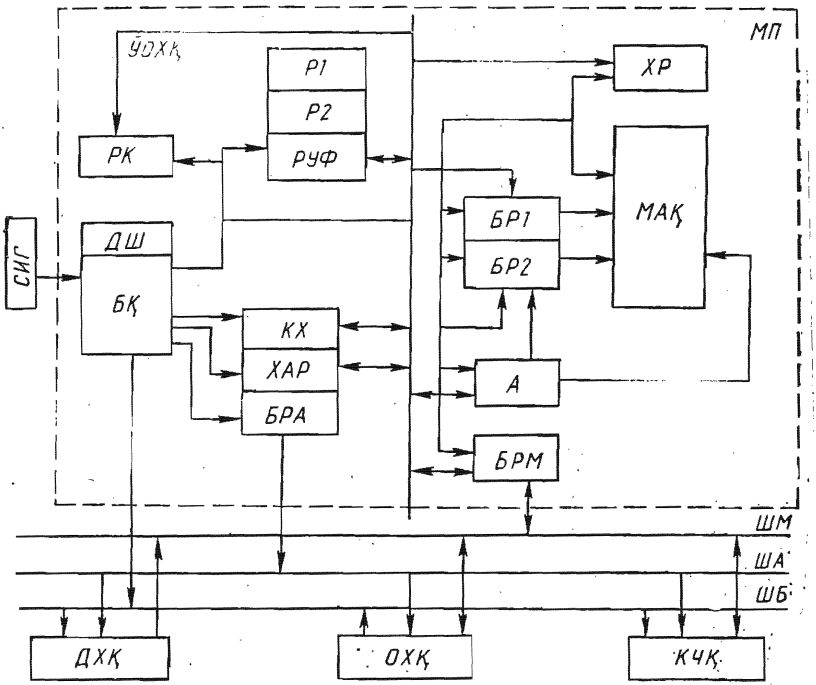
МШ информацияни МП дан ташқи қурилмаларга ва, аксинча, ташқи қурилмалардан МП га узатиш учун хизмат қилади.

БШ бошқарув сигналларни узатиш учун хизмат қилади.

Шиналардаги линия (сим) лар сони МП нинг турига боғлиқ. Масалан, кенг тарқалган микропроцессор К580 да АШ16 та адрес линияси (А0 — А15), МШ да 8 та маълумот линияси ва БШ да 12 бошқарув линияси бор. 15.81-расмда К580 микропроцессоридаги чиқиш симларининг схемаси кўрсатилган. Киритиш-чиқариш схемаларида (улар портлар деб аталади) ахборотни вақт бўйича кетма-кет ёки параллел узатиш мумкин.

МП, ХҚ ва КЧҚ лар орасида ахборот алмашувини таъминлаб берувчи қўшимча қурилмалар ва шиналар *ЭҲМ интерфейсини* ташкил қилади.

МП да маълумотлар қуйидаги тартибда ёзилади. $t = t_0$ вақтда АШ га МП маълумотлар ёзилиши керак бўлган ОХҚ катагининг адресини „олиб чиқади". Δt_1 вақтдан сўнг кўрсатилган адрес бўйича ОХҚ га ёзилиш керак бўлган МП маълумотлари МШ га узатилади. Δt_2 вақтдан сўнг БШ га ёзиш линиясига рақам ёзишни рухсат этувчи сигнал берилади. Δt_3 вақт ичида рақам ОХҚ га ёзилади ва ёзиш линиясига тақиқлаш сигнали берилади. Ахборотни ўқиш ҳам шу тартибда ўтказилади, фақат рухсат сигнали ўқиш линиясига берилади. МП учта режим (синхрон, асинхрон ва хотирага тўғри мурожаат этиш) да ишлаши мумкин. Синхрон режимда МП нинг



15.82-расм.

мурожаатлари орасидаги вақт бир хил ва энг катта қийматга эга. Асинхрон режимда олдинги операция тугаши билан маълумот алмашуви давом этади. Хотирага тўғри мурожаат этиш режими бажарилаётган операцияни тугамасидан тўхтатиб, хотирага мурожаат этиш имкониятини беради.

МП нинг структура схемасини (15.82-расм) батафсилроқ кўриб чиқамиз. МП нинг таркибига уч гуруҳ регистрлар киради. Аккумулятор *А*, буфер регистрлар БР1, БР2. БРМ ва аломатлар регистри РА дан иборат бўлган маълумотларга ишлов бериш жараёнини таъминлаб берувчи регистрлардан иборат гуруҳ кўрсатмалар регистри КР, кўрсатмалар ҳисоблагичи КХ, хотира адреси регистри ХАР, адреснинг буфер регистри АБР дан иборат бўлган маълумотларга ишлов бериш жараёнини бошқарувчи гуруҳ ва умумий фойдаланишдаги регистрлар (УФР) гуруҳи.

Операциялар блоки (ОБ) нинг асосини мантиқий арифметик қурилма (МАҚ) ҳосил қилади. МАҚ икки рақамга ишлов беради. Бу рақамларнинг бири БР1 регистрда иккинчиси *А* аккумуляторда жойлашади. Ишлов натижаси аккумуляторга киритилади. МП нинг ишончлилигини БР2 регистр таъмин-

лайди. Аккумулятордаги рақам операция бошланишидан лодин БР2 га ўтказилади. Рақамлар устидаги операциялар натижаси АР томонидан баҳоланади. БРМ ва БРА регистрлар кучайтиргичлар бўлиб, АШ ва МШ шиналар истеъмолчиларини МП билан мослаштириш учун хизмат қиладилар.

ББ да бошқарув сигналлари ишлаб чиқарилади. Кўрсатмалар регистридан дешифратор (ДШ) га кўрсатмалар берилиб, бошқарув сигналлари аҳамиятини очади.

$Y=|(X_1+X_2)\cdot X_3+X_1|\cdot X_3$ мантиқий операцияни бажариш мисолида МП нинг ишлашини кўриб чиқамиз.

$+$ мантиқий қўшишни, $\cdot$ мантиқий кўпайтиришни

билдиради. Операцияни бажариш учун ЁКИ ва ҲАМ элементлари керак бўлади. Операция бажарилишидан олдин $X_1\to P_1$, $X_2\to P_2$, $X_3\to P_3$ га киритилади. Дастур АХК га ёзилади. Уни аниқлаш учун қуйидаги дастур бажарилиши керак:

$П_pA$ Р1; МҚA ва Р2; МКA ва Р3; МҚA ва Р1;
МКA ва Р3; ЧиқA КЧҚ$_i$ га.

Бу ерда $П_p$ — регистр даги маълумотни аккумуляторга узатишни билдиради; МҚ — мантиқий қўшиш; МК — мантиқий кўпайтириш. ЧиқA КЧҚ$_i$ га — i- номердаги чиқишга аккумулятор ичидаги маълумот чиқарилишини кўрсатади.

Бошланғич ҳолатда КХ га ОХҚ даги биринчи кўрсатма адреси ёзилади. Биринчи кўрсатма 0 адрес бўйича ёзилган бўлса, $KX:=0$. МП нинг ишлашига рухсат этувчи сигнал келса, 0 адресдаги кўрсат ма коди ОХҚ дан KX га МШ БРМ, Ш занжир орқали ўтади. Бу оралиқда регистрлар ҳолати қуйидагича бўлади:

$$KX:=0;\quad XAP:=0;\quad KX:=П_pAP1.$$

Кейинги лаҳза ДШ ёрдамида кўрсатма коди очилиб, ББ бошқарув импульсларни ишлаб чиқади. Регистрлар тўлатилган ҳолатга келади:

$$KX:=KX+1;\quad ҲAP:=P1;\quad A:=P1.$$

Кўрсатмалар ҳисоблагичи 1 га ортиб кейинги кўрсатма адресини аниқлайди. ХАР га X соннинг адреси берилади (Р1). Кейин аккумулятор A га киритилади. Шу иккала оралиқ „танлаш — бажариш" машина циклини ҳосил қилади. Бу цикл СИГ дан импульс берилиши билан бошланади. Иккинчи циклда регистрлар қуйидаги ҳолатда бўлади.

1) $KX:=1$; ХАР $:=1$; РК $:=$ (МҚА ва Р2) — „танлаш";
2) $KX:=KX+1=2$; ХАР $:=$ Р2; БР1 $=$ Р2; БР2 $=$ А
$A:=$ (БР1) $\vee$ (БР2) — бажариш.

Олтинчи цикл

$KX:=5$; ХАР $:=5$; РК $:=$ (чиқ А — КЧҚ$_i$ га) — „танлаш"
$KX:=KX+1=6$; ХАР $:=$ КЧҚ$_i$; КЧҚ$_i:=$ А — „бажариш"

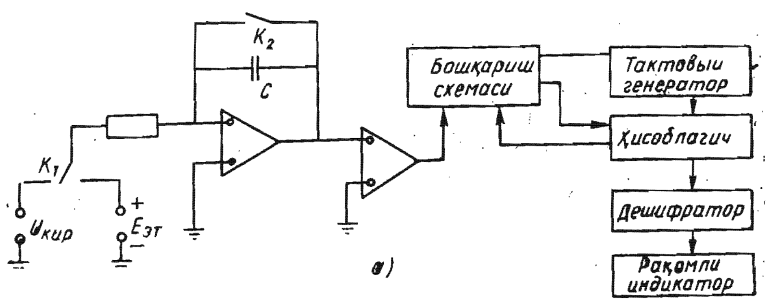
Олтинчи цикл натижасида i- номерли чиқариш қурилмасида аккумуляторнинг ичидаги ахборот пайдо бўлади.

15.16. ЭЛЕКТРОН ВОЛЬТМЕТР

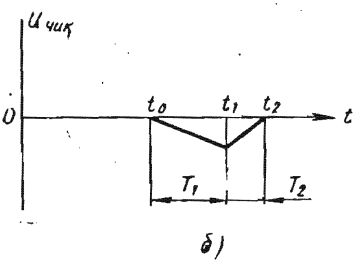
Аналог рақамли ўзгартиргич. Кўпинча температура, босим ва шунга ўхшаш бошқа катталикларни ЭҲМ да ишлов бериш учун рақамли миқдорларга айлантириш зарур бўлади. Бу вазифани аналог-рақамли ўзгартиргичлар (АРЎ) бажаради.

АРЎ лар ўзгартириш тезлигига қараб параллел кодлаш АРЎ ҳамда икки тактли интеграллаш АРЎ ва бошқаларга бўлинади. Агар тезкорлик талаб қилинмаса, икки тактли интеграллаш АРЎ дан фойдаланилади. Бундай АРЎ ларда кучланиш вақт оралиғига айлантирилади.

АРЎ нинг схемаси 15.83- расмда келтирилган. Бошланғич ҳолатда K калит очиқ, K калит ёпиқ бўлади. $t=t_0$ вақт ичида калит K_1 схемани кириш кучланиши $u_{кир}$ га улайди. Калит очилади ва ОК (операцион кучайтиргич) интегратор сифатида ишлайди. Кириш кучланиши интегралланиб, аррасимон манфий чиқиш кучланишига айлантирилади. $t=t_1$ вақтда калит K интеграторни $E_{эт}$ кучланишга улайди. $|E_{эт}|<|U_{кир}|$ ва $E_{эт}$ нинг ишораси манфий бўлгани учун чиқишдаги кучланиш мусбат нишабга эга. $T_2=t_2-t_1$ вақтда нишабнинг тиклиги



$T_1=t_1-t_0$ вақтдагидан каттароқ. Интегратор нинг чиқишидаги кучланиш $U_{чиқ}=0$ бўлганида компаратор режимида ишловчи иккинчи операцион кучайтиргич чиқиш кучланишининг қутбланишини ўзгартиради. Бу кучланиш бошқариш схемасига узатилади. Бу схема эса, ўз навбатида K_1 ва K_2 калитларнинг ҳолатини бошқаради, сўнг жараён давом этади.



15.83- расм.

Чиқиш кучланишини аниқлаймиз:

$$u_{чиқ}(t_1) = -\frac{1}{RC}\int_{t_0}^{t_1} u_{кир}\,dt$$

$$u_{чиқ}(t_2) = -\frac{1}{RC}\int_{t_0}^{t} u_{кир}\,dt + \frac{1}{RC}\int_{t_1}^{t_2} E_{эт}\,dt$$

Интегралашдан сўнг

$$-U_{кир}T_1 + E_{эт}T_2 = 0$$

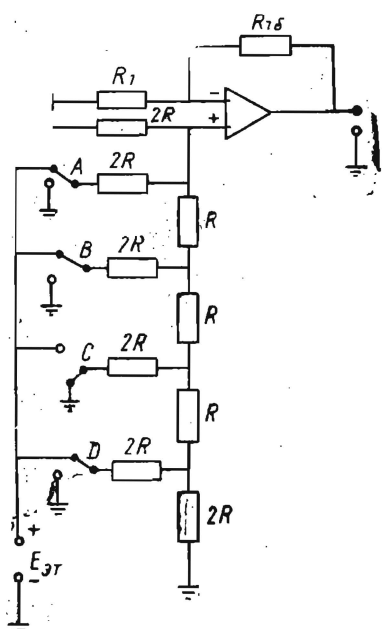
ҳосил бўлади. Бундан

$$U_{кир} = \frac{E_{эт}T_2}{T_1}$$

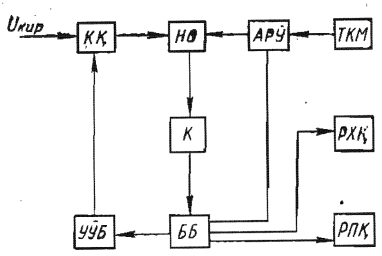
келиб чиқади.

Агар T_1 ва $E_{эт}$ — ўзгармас миқдорлар бўлса, $U_{кир} = kT_2$. T_2 нинг қийматини эса ҳисоблагичга дешифратор орқали уланган рақамли индикатор кўрсатади. Ҳисоблагичнинг ишини бошқариш схемаси ростлайди. Бундан ташқари, бошқариш схемаси тактли генератор ва ҳисоблагичнинг ишини шундай ростлайдики, T_1 вақт ичида ҳисоблагич тактли импульслар ҳисобининг тўла циклини тугаллайди. Вақт t_1 да ҳисоблагич „0“ ҳолатдадир. t_2 вақт ичида эса ҳисоблагичнинг чиқишида T_2 оралиққа пропорционал бўлган N_2 сон бўлади. Кириш кучланиши ўзгарувчан бўлгани учун интеграллаш натижасида кириш кучланишининг ўртача қиймати олинади.

Рақам-аналогли ўзгартиргич. Рақамли ахборотни аналогли ахборотга айлантиришда рақам-аналогли ўзгартиргичлар кенг қўлланади. Бундай ўзгартиргичларнинг тури кўп бўлиб, улардан кенг тарқалгани операцион кучайтиргич ҳамда $R-2R$ типидаги „нарвонсимон“ бўлувчи асосида қурилган ўзгартиргичдир (15.84-расм). A, B, C, D калитлар $2R$ резисторларни ё эталон кучланиш манбаига, ё ноль потенциалга (ерга) улайди. Агар иккили соннинг мос разряди *1* га тенг бўлса, $2R$ резистор эталон кучланишга, агар „0“ га тенг бўлса ноль потенциалга уланади. Масалан, агар ўзгартиргичнинг кириш занжирига 1101 сигнал бе-



15.84-расм.



15.85- расм.

рилса, A, B, D калитлар $E_{эт}$ кучланишга уланади, C калит эса „ер“ га уланади. Операцион кучайтиргичнинг тўғри киришига $\frac{E_{эт}}{3}+\frac{E_{эт}}{6}+\frac{E_{эт}}{24}$ кучланиш берилади, яъни B калитнинг $E_{эт}$ кучланишга уланиши A калитнинг уланишидан 2 марта, C калитнинг уланишидан 4 марта, D калитнинг уланишидан 8 марта кичик кучланишни ҳосил қилади.

Чиқиш кучланиши ўзгартирилиши керак бўлган иккили кодга тўғри пропорционалдир. Келтирилган мисолдаги 1101 коди 13 сонга тўғри келади.

$$u_{чиқ}=\frac{E_{эт}}{24}(1\cdot 2^3+1\cdot 2^2+0\cdot 2^1+1\cdot 2^0)=\frac{E_{эт}\cdot 13}{24}.$$

Демак, чиқиш кучланиши 13 га пропорционалдир.
Умуман,

$$u_{чиқ}=\frac{E\cdot R}{R_{\Sigma}}X,$$

бу ерда X — берилган код.

Электрон вольтметрлар ўзгармас ва турли частотадаги кучланишларни, айрим ҳолларда қаршиликни улаш учун ишлатилади. Ҳозирги пайтда код-импульсга ўзгартгичли рақамли вольтметрлар кенг қўлланилади. 15.85- расмда электрон вольтметрнинг структура схемаси келтирилган. Ўлчанаётган кучланиш $u_{кир}$ кириш қурилмасига берилади. Кириш қурилмасининг чиқишидан, кириш кучланишининг қийматидан қатъи назар, маълум чегарада ўзгарувчи (масалан, $0\div 1$ В) кучланиш олинади. Бу кучланиш ноль органга (НО) узатилади. НО нинг иккинчи киришига АРЎ дан кучланиш узатилади. АРЎ эса таянч кучланиш манбаи (ТКМ) дан таъминланади. Нормаллаштирилган, ўлчанаётган ва АРЎ дан берилаётган компенсацион кучланишлар айирмаси кучайтиргич K нинг киришига берилади ва кучайтирилиб бошқариш блоки (ББ) га узатилади. У, ўз навбатида, сигнални чегараларни ўзгартириш блоки (ЧЎБ) ва АРЎ га узатади.

Қурилмада ўлчанаётган қийматнинг миқдорига қараб ўлчаш чегарасини автоматик равишда ўзгартириш имконияти бор. Ўлчанаётган кучланиш таъминланган чегаранинг ичида бўлганида бошқариш қурилмаси сигнални ҳисоблаш ёки чоп этиш қурилмасига узатади.

МУНДАРИЖА

Сўз боши 3

Кириш 4

1- боб. Ўзгармас ток электр занжирлари

1.1. Умумий тушунчалар 6
1.2. Электр занжирининг асосий қонунлари 9
1.3. Манба ва истеъмолчи қисмларидаги кучланишлар 11
1.4. Электр токининг иши ва қуввати 12
1.5. Электр токининг иссиқлик таъсири 13
1.6. Электр занжирида қувватлар мувозанати 14
1.7. Электр занжиридаги қаршиликларни улаш схемалари 15
1.8. Электр занжирининг иш режимлари 19
1.9. Электр занжирларини ҳисоблаш усуллари 21

2-боб. Бир фазали ўзгарувчан ток занжирлари

2.1. Ўзгарувчан ток турлари 35
2.2. Синусоидал ўзгарувчан ЭЮК ни ҳосил қилиш 36
2.3. Синусоидал ўзгарувчан функцияни характерловчи катталиклар . . . 39
2.4. Синусоидал ўзгарувчан функциянинг таъсир этувчи ва ўртача қийматлари 41
2.5. Синусоидал ўзгарувчи катталикларни айланувчан векторлар ёрдамида ифодалаш 43
2.6. Актив қаршилик, индуктив ғалтак ва конденсатор уланган ўзгарувчан ток занжири 46
2.7. Актив ва реактив қаршиликлари ўзаро кетма-кет уланган занжир . 50
2.8. Актив ва реактив қаршиликлари ўзаро параллел уланган занжир . 52
2.9. Ўзгарувчан ток занжирларидаги энергетик жараён 54
2.10. Ўзгарувчан ток занжирининг қуввати ва қувват коэффициенти . 57
2.11. Қучланишлар резонанси 58

3- боб. Уч фазали ўзгарувчан ток занжирлари

Умумий тушунчалар 62
3.1. Уч фазали ЭЮК, кучланиш ва ток системасини ҳосил қилиш . . 63
3.2. Манба ва истеъмолчиларни тўрт симли юлдуз усулида улаш . . . 65
3.3. Манба ва истеъмолчиларни уч симли юлдуз усулида улаш . . . 68
3.4. Истеъмолчиларни учбурчак усулида улаш 69
3.5. Уч фазали занжирларнинг қуввати 71

4- боб. Магнит занжирлари ва электромагнит курилмалар

4.1. Умумий тушунчалар 73
4.2. Ферромагнит материаллар ва уларнинг хусусиятлари 75

4.3. Ўзгармас МЮК таъсиридаги магнит занжирлари 77
4.4. Ўзгарувчан МЮК таъсиридаги магнит занжирлари 80
4.5. Феррорезонанс ҳодисаси 81
4.6. Магнит кучайтиргичлар 83

5- боб. Трансформаторлар

5.1. Умумий тушунчалар 85
5.2. Трансформаторнинг тузилиш ва ишлаш принципи 87
5.3. Трансформаторнинг иш режимлари 88
5.4. Трансформаторни салт ишлаш ва қисқа туташув режимларида ишлатиш тажрибалари 93
5.5. Трансформатордаги қувват исрофлари ва унинг фойдали иш коэффициенти 95
5.6. Трансформаторнинг номинал катталиклари 96
5.7. Трансформаторнинг ташқи характеристикаси ва ундаги қучланишнинг ўзгариши 96
5.8. Уч фазали трансформаторлар 97
5.9. Уч фазали трансформаторларнинг чулғамларини улаш схемалари ва турқумлари 98
5.10. Трансформаторларнинг параллел ишлаши 101
5.11. Автотрансформаторлар 102
5.12. Ўлчаш трансформаторлари 103
5.13. Пайвандлаш трансформатори 105

6- боб. Электр ўлаш асбоблари

6.1. Асосий тушунчалар 106
6.2. Электр ўлчаш асбобларига қўйиладиган техник талаблар . . 107
6.3. Бевосита баҳолайдиган электр ўлчаш асбобларининг таснифи . 109
6.4. Электр ўлчаш асбобларининг механизмлари 112
6.5. Логометрлар 127
6.6. Рақамли электр ўлчаш асбоблари тўғрисида асосий тушунчалар . 130

7-боб. Электр ўлчашлар

7.1. Электр ўлчаш усуллари 132
7.2. Ўлчаш хатолиги 133
7.3. Ток ва кучланишни ўлчаш 135
7.4. Қувват ва электр энергияни ўлчаш 135
7.5. Қаршиликни ўлчаш. Ўзгармас ток кўприги 144
7.6. Сиғим ва индуктивликни ўлчаш. Ўзгарувчан ток кўприги . . . 149
7.7. Компенсация ўлчаш усули. Потенциометрлар 152
7.8. Ноэлектр катталикларни электр усулида ўлчаш 157

8- боб. Ўзгармас ток машиналари

Умумий тушунчалар 168
8.1. Ўзгармас ток машинасининг тузилиши ва ишлаш принципи . . . 169
8.2. Ўзгармас ток ҳосил қилишда коллекторнинг аҳамияти 170
8.3. Ўзгармас ток машинасининг чулғамлари 172
8.4. Якорда индукцияланган ЭЮК 174
8.5. Тормозловчи ва айлантирувчи моментлар 175
8.6. Якорь реакцияси 176
8.7. Якорь коммутацияси 178
8.8. Магнит майдони уйғотиш усулига кўра ўзгармас ток генераторларини таснифлаш 179
8.9. Ўзгармас ток генераторларининг ўз-ўзида уйғотилиши 180
8.10. Параллел уйғонишли ўзгармас ток генераторининг характеристикалари 182
8.11. Кетма-кет уйғотишли генератор 185
8.12. Аралаш уйғотишли генератор 186

8.13. Ўзгармас ток двигателлари 188
8.14. Параллел уйғотишли ўзгармас ток двигателининг характеристикалари 191
8.15. Кетма-кет уйғонишли ўзгарма ток двигателининг характеристикалари 193
8.16. Аралаш уйғотишли ўзгармас ток двигателининг характеристикалари 194
8.17. Ўзгармас ток двигателларининг номинал катталиклари ва ФИК 196

9- боб. Асинхрон машиналар

9.1. Асинхрон двигателнинг тузилиши 197
9.2. Уч фазали ток системаси ёрдамида айланувчан магнит майдонининг ҳосил бўлиши 200
9.3. Асинхрон двигателнинг ишлаш принципи 204
Ротор ва отатор чулғамларидаги электр юрутувчи куч ва токлар 205
9.4. Асинхрон двигатель магнит юрутувчи кучининг тенгламаси . . 207
9.5. Асинхрон двигателнинг алмаштириш схемаси ва вектор диаграммаси 208
9.6. Асинхрон двигателнинг электромагнит қуввати ва айлантирувчи моменти 210
9.7. Асинхрон двигателнинг механик характеристикаси 214
9.8. Асинхрон двигателнинг паспортидаги маълумотлар бўйича механик характеристикаси қуриш 215
9.9. Асинхрон двигателнинг энергетик диаграммаси ва фойдали иш коэффициенти 216
9.10. Асинхрон двигателнинг иш характеристикаси 218
9.11. Асинхрон двигателларни ишга тушириш 219
Чуқур пазли ва қўш чулғамли асинхрон двигателларни ишга тушириш 223
9.12. Асинхрон машинанинг генератор ва электромагнит тормоз режимлари 226
9.13. Асинхрон двигателнинг айланиш тезлигини ростлаш ва айланиш йўналишини ўзгартириш (реверслаш) 227
9.14. Асинхрон двигателларнинг қувват коэффициентини ошириш . . 230
9.15. Асинхрон двигателларнинг турлари 231

10- боб. Синхрон машиналар

10.1. Умумий тушунчалар. Синхрон машиналарнинг ишлаш принципи 233
10.2. Синхрон генераторнинг салт ишлаши. Нагрузкали иш режими. Якорь реакцияси 236
10.3. Синхрон генераторнинг электр ҳолати тенгламаси ва соддалаштирилган вектор диаграммаси 238
10.4. Синхрон генераторнинг тармоқ билан параллел ишлаши . . . 240
10.5. Синхрон машинанинг электр тармоғи билан параллел ишлаши . 243
10.6. Синхрон машинанинг айлантирувчи моменти 245
10.7. Синхрон машинанинг двигатель режимида ишлаши. Двигателни синхрон қилиб ишга тушириш 248
10.8. Синхрон двигателдаги уйғотувчи токнинг тармоқ токига таъсири. Двигателнинг U симон характеристикалари 250
10.9. Синхрон двигателнинг иш характеристикаси ва асосий солиштирма кўрсаткичлари 252
10.10. Синхрон компенсатор 254

11- боб. Кичик қувватли электр машиналар

11.1. Бир фазали асинхрон двигателлар 261
11.2. Икки фазали ижрочи асинхрон двигателлар 267

11.3. Асинхрон тахогенераторлар 270
11.4. Бурилиш трансформаторлари 272
11.5. Асинхрон боғланган индукцион машиналар 274
11.6. Синхрон микромашиналар 278
11.7. Ўзгармас ток ижроси двигателлар 282
11.8. Универсал коллекторли двигателлар 284

12- боб. Бошқариш ва ҳимоя аппаратлари. Электр юритмани бошқариш

12.1. Умумий тушунчалар 285
12.2. Қўл билан бошқариладиган аппаратлар 285
12.3. Электромагнит контакторлар, магнитли ишга туширгичлар . . 290
12.4. Тиристорли контакторлар 298
12.5. Ҳимоя аппаратлари 300
12.6. Электр тузилма ва элементларнинг схемада тасвирланиши . . 311
12.7. Электр двигателларнинг автоматик бошқариш, схемаларидан намуналар 315

13- боб. Электр юритма асослари

13.1. Умумий тушунчалар 322
13.2. Электр юритманинг ҳаракат тенгламаси 323
13.3. Электр юритманинг механик характеристикалари 326
13.4. Электр юритмадаги ўтиш жараёнлари 328
13.5. Электр юритманинг нагрузка диаграммаси 332
13.6. Двигателларнинг қизиши ва совиши 334
13.7. Электр двигателларнинг қувватини танлаш 337
13.8. Электр юритма учун двигатель турини танлаш 341
13.9. Электр юритмани тиристор билан бошқариш 344

14- боб. Саноат корхоналарининг электр таъминоти

14.1. Электр энергияни ишлаб чиқариш 347
14.2. Электр юкламалари 350
14.3. Саноат корхоналарининг электр таъминоти 354
14.4. Электр таъминоти системасининг ҳисобий қуввати 360
14.5. Ўтказгичнинг кундаланг кесимини танлаш 363
14.6. Электр хавфсизлиги асослари 367

15- боб. Электроника асослари

15.1. Умумий тушунчалар. Оддий электровакуум ва ярим ўтказгич асбобларининг ишлаши 372
15.2. Кўп электродли электровакуум ва ярим ўтказгич асбоблар. Триодлар ва транзисторлар 378
15.3. Импульс билан бошқариладиган электрон ва ярим ўтказгич диодлар. Газотрон, тиритрон, тиристор 386
15.4. Микроэлектроника элементлари 391
15.5. Фотоэлектрон асбоблар 394
15.6. Ўзгарувчан токни тўғрилаш занжирлари 399
15.7. Тиристорли ўзгартиргичлар 409
15.8. Инверторлар 414
15.9. Частота ўзгартиргичлар 419
15.10. Қучайтиргичлар 421
15.11. Электрон вольтметр 437
15.12. Импульсли ва рақамли техника 441
15.13. Мантиқий функциялар ва элементлар 447
15.14. Электрон ҳисоблаш машиналарининг айрим элементлари . . 451
15.15. Микропроцессорлар 455
15.16. Электрон вольтметр 460