

Рижаев В.Д. (Озлик)

621.3/07

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА ВА ЭЛЕКТРОНИКА АСОСЛАРИ

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

2023643

Тошкент „Ўқитувчи“ 1995

621.3 (075)

621.3 + 621.38 (075)

Э-45

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

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

Тақризчи — доцент У. Иброҳимов

31.21
Э 45

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

31.21+32.85

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

ОНБСАКС 622052

Научная библиотека
ТИИ ИМСХ
ул. Қари-Ниязова, 80

К 2202010000 — 159 98 — 95 © „Уқитувчи“ нашриёти, 1995
353 (04) — 94

ISBN 5 — 645 — 01921

6-боб. ЭЛЕКТР ҰЛЧАШ 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. Телеметрлик ўлчашлар чуқур бурғиланадиган қудуқларда, Ернинг сунъий йўлдошларида кенг қўлланилади.

Замоनावий 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 саноаги фан-техникага керак бўлган барча текширув-ўлчаш асбоблари ишлаб чиқаришни йўлга қўйган. Ўлчаш аппаратларининг юқори сифати ва аниқлиги Давлат назорати томонидан қафолатланади.

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 (қаршилиқ ғалтаклари). Электр юритувчи куч ва кучланишларнинг ўлчовлари — нормал элементлар, индуктивликнинг ўлчови — ўз ва ўзаро индуктивлик ўлчаш ғалтаклари, электр сифмининг 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 фойдаланадиган асбоблар рақамли ўлчаш асбоблари деб аталади.

Ўлчаш маълумотларининг олиниш усулига қараб ўлчаш асбоблари қуйидагиларга бўлинади:

кўрсатувчи асбоблар (ўлчаш натижасини шкала бўйича кўриш мумкин);
қайд қилувчи асбоблар (ўлчаш натижасини тасмада акс эттиradi).

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

6.2. ЭЛЕКТР ЎЛЧАШ АСБОБЛАРИГА ҚЎЙИЛАДИГАН УМУМИЙ ТЕХНИК ТАЛАБЛАР

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

$$\gamma = \frac{\pm \Delta}{A_{\text{ном}}} \cdot 100\% = \frac{A_y - A_x}{A_{\text{ном}}} \cdot 100\%. \quad (6.1)$$

Бу ерда: A_y — ўлчанган миқдор; A_x — 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 аниқ-лик 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 ву-жудга келтиради.

Ишлатиш шароитга қараб электр ўлчаш асбоблари қуйи-даги туркумларга бўлинади: А (температура' оралиғи $+10$ дан $+35^\circ\text{C}$ гача; муҳитнинг нисбий намлиги 80% гача); Б (-30 дан $+40^\circ\text{C}$ гача; 90% гача); В₁ (-40 дан $+50^\circ\text{C}$ гача; 95% гача); В₂ (-50 дан $+60^\circ\text{C}$ гача; 95% гача), В₃ (-50 дан $+80^\circ\text{C}$ гача; 98% гача).

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

Асбобнинг сезгирлиги ўлчаш асбобининг чиқиш қисмидаги сигнал ўзгариши (ΔI) нинг кириш қисмидаги сигнал ўзгарти-рувчи (Δx) га нисбатидир:

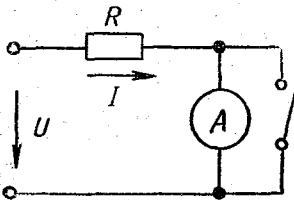
$$S = \frac{\Delta I}{\Delta x^\circ}$$

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

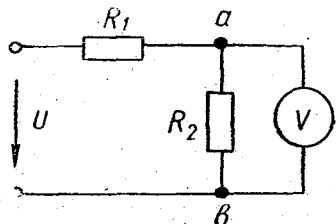
Асбобнинг ўзи истеъмол қиладиган қувват. Электр ўлчаш асбобининг ишлаши электр энергиянинг сарфланиши билан боғлиқдир. Бунда асбобнинг электр занжири қизийди. Асбоб-нинг қувват исрофи ва унинг параметрлари шундай бўлиши керакки, асбоб уланганда ўлчаш бажарилаётган занжирнинг иш режими ўзгармаслиги керак.

Юқорида айтилганларни қуйидаги иккита мисол билан тас-диқлаймиз. 1. Айтайлик, R қаршиликли занжирдаги токни ўл-чаш талаб қилинсин (6.1-расм).

Амперметр бўлмаганда занжирдаги ток $I = \frac{U}{R}$. Амперметр уланганда (рубильник ажратилган) $I' = \frac{U}{R + r_A}$. Ушбу форму-лалардан кўринадики, $I' \neq I$, яъни $I' < I$. I' ток I га тенгла-шиши учун r_A ноль қийматгача камайиши керак. Шунда $P_A =$



6.1- расм.



6.2- расм.

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

2. Кучланиши $U = 300$ В бўлган занжирга (6.2-расм) ик-кита қаршилиқ $R_1 = 20$ кОм ва $R_2 = 10$ кОм уланган. Вольт-метр уланмагандаги кучланиш $U_{ab} = 100$ В. Қаршилиги $r_v = 10$ кОм бўлган вольтметр a ва b нуқталарга кучланишни ўлчаш учун уланган. a ва b нуқталар орасидаги кучланиш аниқлансин. U ҳолда

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

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

Методик нисбий хатолик

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

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

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











Асбобнинг тез ишлай олиши. Ўлчанаётган миқдорлар ўз-гарганда асбобнинг қўзғалувчан қисми (стрелка) бирор муво-занат ҳолатдан иккинчи мувозанат ҳолатга ўтади. Стрелканинг шкала узунлиги бўйича 1% дан ошмагандаги тебраниш ам-плитудаси учун кетган вақт оралиғи тинчланиш вақти деб ата-лади. Барча ўлчаш асбоблари тинчлантиргичлар (демпферлар) билан таъминланади. Тинчланиш вақти 4—6 секунддан ошмас-лиги керак.




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





6.3. БЕВОСИТА БАҲОЛАЙДИГАН ЭЛЕКТР ЎЛЧАШ АСБОбЛАРИНИНГ ТАСНИФИ

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

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







Ўлчандиган 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	







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	

Системанинг номи	Шкаладаги шарли белгиланиши
Электродинамик	
Ферродинамик	
Индукцион	
Электростатик	

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

6-жадвал

ГОСТ 1845-59 бўйича шартли белгилар	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
	Шкала узунлигида процентлар билан нормаланган 1,5-аниқлик синфидаги асбоб
	Асбобнинг ўлчайдиган занжири унинг корпусидан изоляцияланган ва бу изоляция ушбу кучланиш (2 кВ) билан текширилган

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

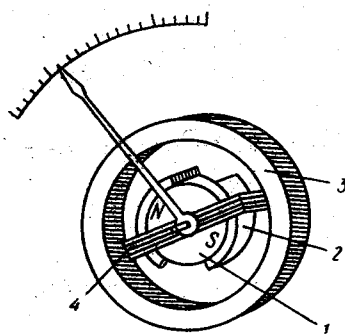
6.4. ЭЛЕКТР УЛЧАШ АСБОБЛАРИНИНГ МЕХАНИЗМЛАРИ

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

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

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

Айлантирувчи момент тескари таъсир кўрсатувчи момент $M_{\text{тес}}$ 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- рasm.

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

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

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

Ички рамали магнитли механизмларда (6.3- рasm) ўзак вази фасини 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.

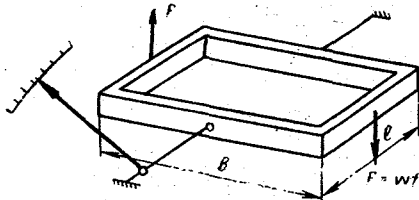
Қўзғалувчан ғалтак 4 тортқи ёки таянчларга ўрнатилган бўлиб, ўзакка нисбатан 90° га бурилиши мумкин. Ғалтак енгил алюмин каркасга ўралган ёки каркассиз изоляцияланган симдан иборат. Тескари таъсир кўрсатувчи момент ҳосил қилувчи ва қўзғалувчи ғалтакка ток ўтказувчи тортқилар (пружина ёки осмалар) чулғам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

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

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

бу ерда l — ўтказгичнинг актив узунлиги.

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



6.4- расм.

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

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

лиш бурчагига пропорционалдир:

$$M_{\text{тес}} = c_2 \cdot \alpha,$$

бунда c_2 — пруживанинг бикрлик коэффициенти.

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

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

Кўзгалувчан 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 уярма ток индукцияланиб, унинг йўналиши Ленц принципига асосан каркас (чулғам) бурилишига тескари таъсир кўрсатади. Бундай уярма тоқлар магнит оқими билан ўзаро таъсирлашиб, тинчлантирувчи моментини ҳосил қилади ва чулғамли каркасининг (чулғамнинг) тезда тинчланишини таъминлайди (магнит индукционли тинчлантиргич).

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

Кўзгалувчан 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 ўзгармае ток занжирларида қўлланилади. Стрелканинг керакли томонга бурилишини таъминлаш учун асбобни улашда кутблилиқка 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 қимматлиги турлини 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

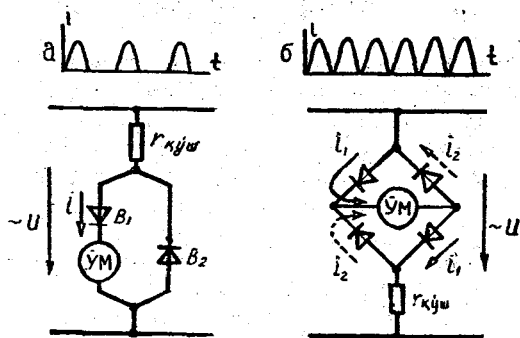
$$I_b = \frac{U}{r_b}$$

$r_b = \text{const}$ 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 (ўрмалар сони кўп бўлган ингичка сим). Бундан ташқари, ўлчаш механизми билан кетма-кет қилиб қўшимча қаршилик уланади. Вольтметрлар қаршиликларининг йиғиндисидан бир неча ўн минг Омни ташкил этади.

Асбобсозликда аниқлиги юқори (аниқлик синфи 0,1) бўлган асбоблар кўплаб ишлаб чиқарилади. Чунончи, ўлчаш чегаралари 750 мкА гача, 45 мV гача бўлган М 1150 А, М 1151 мV, М 1152 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 кўзгалувчан 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 $I_{\text{ўр}}$ га пропорционал бўлади. Иккита ярим даврли тўғрилашда айлантирувчи момент қуйидагича топилади:

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

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

Синусоидага мувофиқ, эгри чизик формалари коэффициенти

$$K_{\text{ф}} = \frac{I}{I_{\text{ўр}}} = 1,11,$$

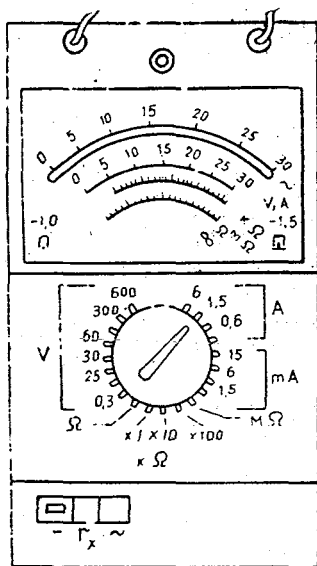
шунинг учун тўғрилагич асбоби шкаласи 1,11 га кўпайтирилган ($I = 1,11 \cdot I_{\text{ўр}}$) бўлади. Масалан, синусоидал кучланишнинг ўртача қиймати 108 В бўлганда асбоб 120 В кучланишни кўрсатади ($108 \cdot 1,11 = 120$).

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

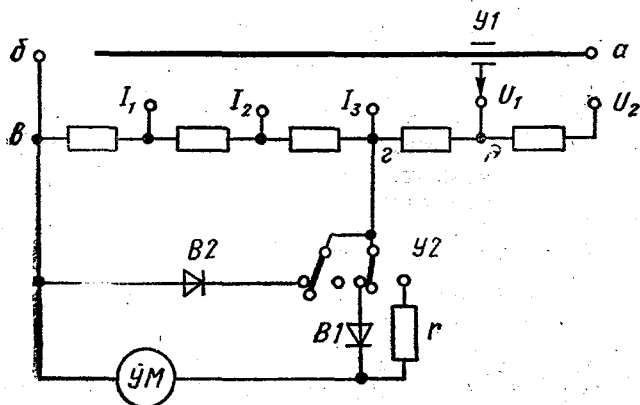
Тўғрилагич асбоблар магнито-электрик системанинг бир қатор афзалликларини (сезgirлигининг юқорилиги, ўзида кам қувват сарфлаши) сақлаб қолади. Улар кўп ўлчаш чегарали универсал асбоблар (тестерлар) сифатида қўлланилади, чунки шунтлар ва қўшимча қаршиликларни қайта улаш йўли билан уларнинг ўлчаш чегараларини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

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.

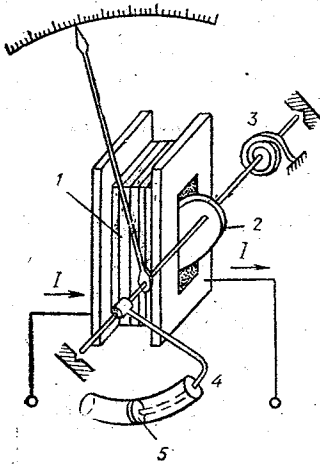
Қайта улагич У1 ток ёки кучланишнинг керакли ўлчаш чегарасини танлаш имкониятини беради. Қайта улагич У2 асбобни ўзгармас ёки ўзгарувчан токка қайта улаш учун ишлатилади (6.7-расмда ўзгарувчан ток учун кўрсатилган). Ўлча-



6.6-расм.



6.7-расм.



6.8- расм.

наётган кучланиш a ва b қисмаларга берилганда ток қўшимча қаршилик 2-г орқали ўтади. Бу ток универсал шунт $b-2$ ва $V1$ диод орқали ўлчаш механизми (ЎМ) орасида тақсимланади. Диод $V2$ диод $V1$ ни хавфли тескари ярим тўлқин кучланишидан сақлайди.

Ўзгармас токдаги ўлчашларда $V1$ диоднинг тўғри қаршилиги қаршилик билан алмаштирилади.

Электромагнит механизми. Электромагнит системасидаги асбобларнинг ишлаш принципи ўлчанаётган токни ғалтак 1 га пўлат ўзак 2 нинг торгилишига асосланган (6.8-расм). Бундай қурилмада электромагнит кучлар шундай йўналган бўлиши керакки, бунда ўзакнинг ҳолатини ўзгартириш учун механизмдаги магнит оқим энг

кўп бўлсин. Қўзғалувчан ўзак 2 япроқча кўринишида бўлиб, эксцентрик ҳолда ўққа маҳкамланган бўлади. Шу ўққа стрелкага тескари таъсир кўрсатувчи момент ҳосил қиладиган спирал пружина 3 ва тинчлантисгич 4 нинг поршени 5 маҳкамланган бўлади (6.8-расм). Ўлчанаётган ток 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 a 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:

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

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

Айлантирувчи момент ғалтакдаги токнинг квадратига пропорционал деб қабул қилинади:

$$M_{\text{айл}} = c_1 I^2.$$

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

$$M_{\text{тес}} = c_2 \alpha.$$

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

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

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

$\alpha = c I^2$ ифодадан кўринадикки, 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 нотеқислигини камайтириш учун айлантирувчи момент ток кучига пропорционал бўлиши керак. Электромагнит механизм учун

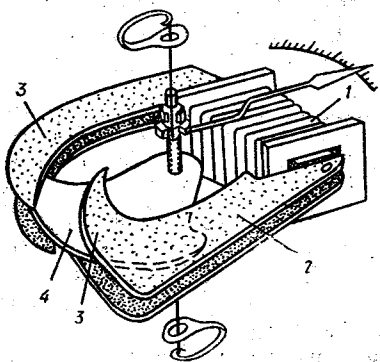
бу шартга $I \frac{dL}{d\alpha} = \text{const}$ бўлганда эришилади. Ўзакнинг шаклини танлаш ва уни ғалтакка нисбатан жойлаштириш йўли билан асбобнинг шкаласини деярли текис қилишга эришилади.

Шкаланинг бошланғич қисми учун $I \frac{dL}{d\alpha} = \text{const}$ шартни амалга

ошириб бўлмайди, чунки $I \rightarrow 0$ да $\frac{dL}{d\alpha} \rightarrow \infty$ бажарилмайди. Шунинг учун шкаланинг 10÷20% қисми сиқик бўлиб, қолган қисми анча текисдир.

Ташқи магнит майдоннинг таъсири ҳам мазкур асбобларнинг камчилиги ҳисобланади, чунки ғалтакнинг магнит майдони ҳавода тугашганлиги учун озроқ индукция билан характерланади. Ташқи магнит майдони таъсирида вужудга келган хатоликларни камайтириш учун электромагнит механизмли асбоблар пўлат филоф 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 ўрнагилган қўзғалувчан қисмнинг бурилиши те-



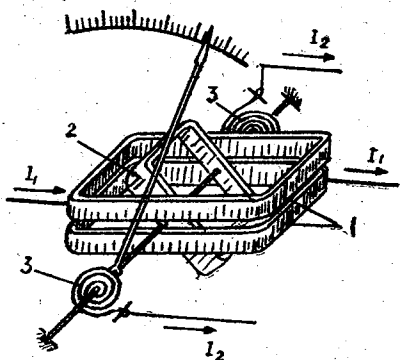
6.9- расм.

ганлигидан, у катта токка (500 А гача) мўлжалланган бўлиши мумкин.

Асбосозликда ўлчаш токи 10 мА гача бўлган кўчма Э59; 1,5 мА гача бўлган шчитли Э378 миллиамперметрлар; 500 А гача бўлган Э59/102 ва Э59/103 амперметрлар; 600 В гача бўлган Э59/106 вольтметрлар; тор 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 ғалтактан иборат.



6.10- расм.

қўзғалувчан 2 ғалтактан иборат. Қўзғалувчан ғалтакка ток I_2 иккита спирал пружина 3 орқали берилади. Бу ток тескари таъсир кўрсатувчи момент ҳосил қилиш учун ҳам хизмат қилади. Ўққа стрелка ва ҳаволи тинчлантиргич ҳам маҳкамланган бўлади (6.10-расм). Айлантирувчи момент ғалтаклардаги токларнинг кўпайтмасига тўғри пропорционалдир. Бундан ташқари, у қўзғалувчан ғалтак бурилиши би-

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

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

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

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

Ўзгарувчан токда бундай боғланиш қуйидаги кўринишни олади:

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

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

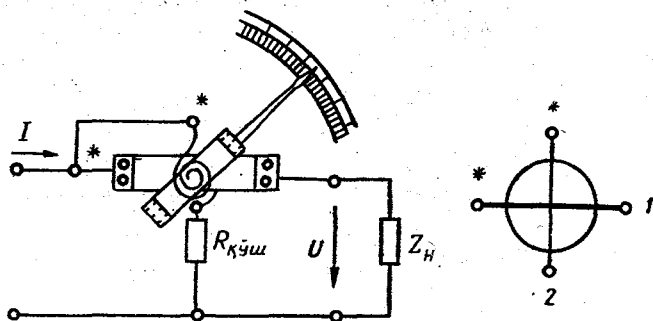
Ғалтакларнинг шаклини, уларнинг ўзаро жойлашишини ўзгартириш орқали бурчакнинг кичик ўзгаришида $\frac{dM_{12}}{d\alpha}$ га таъсир кўрсатиш, яъни $\frac{dM_{12}}{d\alpha} = \text{const}$ бўлишига эришиш мумкин. Бунда шкаланинг бирмунча текис бўлишига эришилади.

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 таъсирдан ҳимоялаш учун улар пермаллой билан икки қават қилиб ниқобланади.

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

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



6.11- расм.

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

$$I_2 = \frac{U_{\text{нагр}}}{r_v + R_k} \equiv U_{\text{нагр}}$$

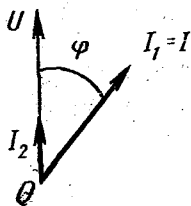
Айланувчи момент ва стрелканинг бурилиш бурчаги α , аввал кўрганимиздек,

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

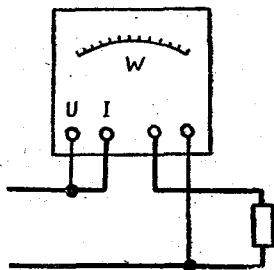
Параллел занжир ўзгармас ва реактивсиз қаршиликдан иборат бўлса, бундай ғалтакдаги ток ($I_2 = \frac{U_{\text{нагр}}}{\text{const}}$) кучланиш билан бир хил фазада бўлади. Актив-индуктив нагрузканинг вектор диаграммаси 6.12-расмда кўрсатилгандек бўлади. Бундай ҳолда бурчак $(\widehat{I_1 I_2})$ ток I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

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

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



6.12- расм.



6.13- расм.

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

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

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

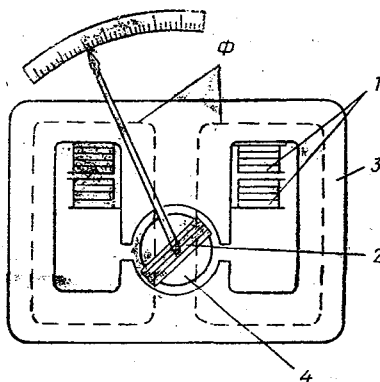
Электродинамик ваттметрлар ток ва кучланиш бўйича, одатда, бир нечта ўлчаш чегараларидан иборат (масалан, ток бўйича иккита чегара — 5А ва 10А, кучланиш бўйича учта чегара — 30,150 ва 300 В). Бундай асбоблар шартли шкалали бўлиб, ваттметрда ўлчанган катталиқнинг ҳақиқий қийматини топиш учун стрелка кўрсатаётган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

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

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

Ҳар бир 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 баргараф 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, нагжида асбобнинг айлантурувчи моменти бирмунча ошади. Ўзида кучли магнит майдонининг бўлиши ташқи магнит майдонлар таъсирини камайтиради.

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

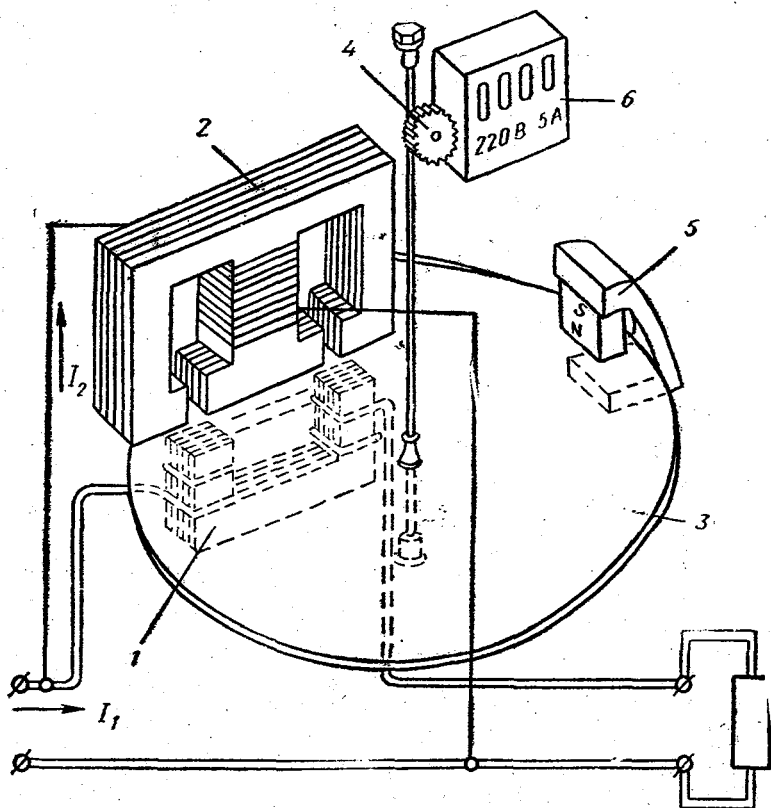
Улаш механизмида чизиқли бўлмаган элемент (пўлат магнит ўтказгич) нинг бўлиши, гистерезис, уярма тоқлар ва пўлатнинг магнитланиш эгри чизиғи чизиқли бўлмаслиғи сабабли асбобнинг аниқлик даражаси пасаяди. Ферродинамик механизмли асбобларнинг аниқлик синфлари 1,5; 2,5 бўлади.

Индукцион механизмлар. Индукцион механизмли асбобларда айлантурувчи момент қўзғалмас контурлар ҳосил қилган ўзгарувчан магнит оқимлари ва асбобнинг қўзғалувчан қисмида шу оқимлар индуктивлаган уярма тоқларнинг ўзаро таъсири нагжасида вужудга келади. Бундай асбобларнинг ишлаш принциpidан кўринадики, улар фақат ўзгарувчан тоқ занжирларида қўлланиши мумкин.

Ҳозирги вақтда индукцион ўлчаш механизмлари фақат электр энергияси сўтчиқларида қўлланилади.

Электр энегияси бир фазали сўтчиғининг $CO=1$ тури кенг тарқалган (6.15-расм). U -симон 1 ва T -симон 2 қўзғалмас электромагнитларнинг ўзгарувчан оқимлари ўққа ўрнатилган алюминийли енгил диск 3 ни кесиб ўтади. Ўзгарувчан оқимлар индукциялаган тоқлар (уярма тоқлар) билан электромагнит оқимлари ўзаро таъсирлашиб, айлантурувчи моментни ҳосил қилади. Бу момент дискка таъсир қилади ва уни айлантиради.

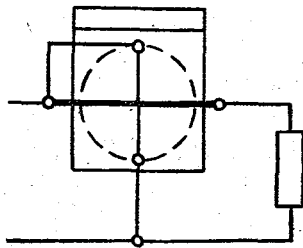
Электр энергияси сўтчиғи йиғувчи (жамловчи) асбоб бўлиб, кўрсатувчи қисми пружина билан чекланмагандир. У бирор вақт давомида (бир соатда, бир суткада, бир ойда ва ҳ. к.) сарфланган электр энергиясини ҳисобга олади. Пастки электромагнит 1 нинг чулғами сўтчиқнинг номинал тоқиға мос келадиган, кўндаланг кесими нисбатан йўғон симдан ўралган (ясалган) бўлиб, тоқ чулғами деб аталали. У занжирға амперметр каби кетма-кет уланади. Электромагнит 2 нинг чулғами эса ингичка симдан 8—12 минг ўрам қилиб ўралади ва вольтметр каби тармоққа параллел уланади. Сўтчиқ тармоққа ваттметр каби уланади (6.16-расм). Тоқ чулғамидағи I_1 тоқ магнит оқими Φ_1 ни ҳосил қилади ва у диск 3 ни икки марта кесиб ўтади. Тоқ I_2 кучланишға пропорционал ҳолда Φ_2 оқимни ҳосил қилиб, дискни бир марта кесиб ўтади (Φ_2 магнит



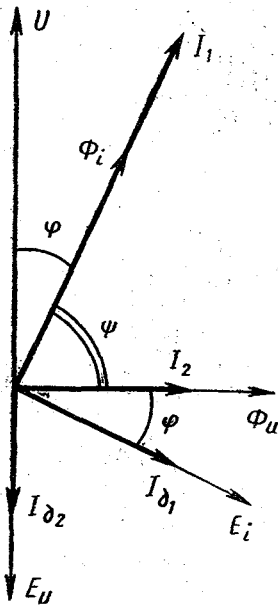
6.15- расм.

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

Иш токи I га тенг бўлган I_1 ток ва кучланиш U нагрзуканинг характери билан аниқланиб, фаза бўйича бир-бирдан 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_i ва E_u ЭЮК ларни индукциялайди. Бу ЭЮК лар дискда I_{g1} ва I_{g2} уярма тоқларни ҳосил қилади ва улар билан бир хил Ҳазада бўлади (дискнинг индуктивлигини ҳисобга олмаса ҳам бўлади). Оқимларнинг „бегона“ тоқлар билан ўзаро таъсири натижавий айлантурувчи моментни беради. Мазкур моментнинг бир даврдаги ўртача қиймати:

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

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

Шундай қилиб, айлантурувчи момент

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

яъни у нағрузка истеъмол қилаётган актив қувватга пропорционалдир

Счётчик дискнинг айланишлар сонини сарфланаётган энергияга пропорционал қилиш учун дискнинг айланиш тезлигига пропорционал бўлган тормозловчи момент бўлиши керак. Бу моментни ўзгармас магнит δ (6.17- расм) ҳосил қилади. Диск айланганда унинг Φ_m майдони (магнит оқими) дискда ўзининг уярма тоқларини индукциялайди. Ленц қондасига асосан, бу тоқлар дискнинг айланишига тескари таъсир кўраётиди. Уярма тоқлар дискнинг айланиш тезлиги n га пропорционал бўлганлиги учун тормозловчи момент:

$$M_{\text{торм}} = K_T \cdot n.$$

Барқарорлашган тезликда $M_{\text{айл}} = M_{\text{торм}}$ ёки $K_m P = K_T n$ ифода $t=0$ дан t , гача бўлган вақт оралиғида

$$\int_0^{t_1} K_m P dt = \int_0^{t_1} K_T n dt$$

ёки

$$K_m P t_1 = K_T n t_1.$$

Бунда $P t_1 = W$ — t вақт ичида қурилма истеъмол қилаётган электр энергияси, $n t_1 = N$ эса шу вақтдаги счётчик дискнинг айланишлар сони.

Демак,

$$W = \frac{K_T}{K_m} N = cN.$$

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

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

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

Уч фазали электр қурилмаларда электр энергиясининг уч фазали счётчиклари қўлланилиб, улар иккита ёки учта асосий элементлардан иборат бўлади ва уқ орқали ҳисоблаш механизмига таъсир кўрсагади.

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

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

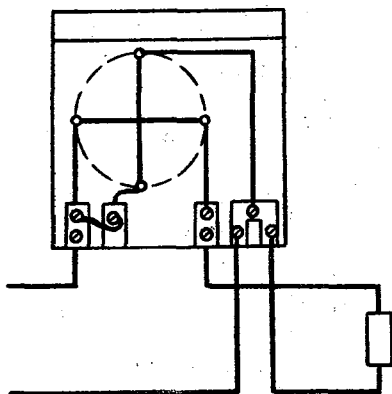
$$\frac{W_p}{W_a} = \frac{0,001 UI \sin \varphi}{0,001 UI \cos \varphi} = \operatorname{tg} \varphi.$$

$\operatorname{tg} \varphi$ бўйича $\cos \varphi$ топиллади

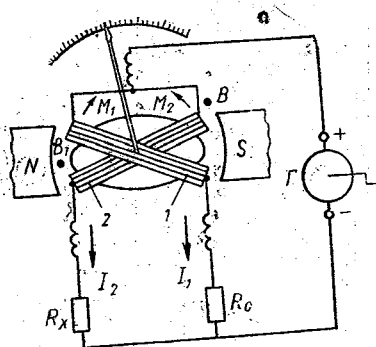
Электр қурилмаларнинг ўртача ўлчанган $\cos \varphi$ сини ҳар ойда аниқлашдан мақсад истеъмолчининг $\cos \varphi$ қийматини ҳисобга олиб, сарфланган электр энергиясига тўланадиган ҳақни белгилашдир.

6.5. ЛОГОМЕТРЛАР

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



6.18-расм.



6.19- расм.

хусусияти уларда механик тесқари таъсир кўрсатувчи моментнинг йўқлигидир. Бунда айлантирувчи ва тесқари 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 сөдир~~ бўлади (ё қутб учликлар шаклини йўниб ўйиш туфайли, ё ўзак шаклининг эллипсга ўхшашлиги туфайли). B_1 нуқтадаги индукция B нуқтадагига нисбатан катта бўлади (6.19- расм).

Агар ток занжири ёпиқ бўлса, у орқали I_1 ва I_2 тоқлар ўтади ва рамкаларда иккита айлантирувчи момент ҳосил бўлади:

$$M_1 = W_1 S B_1 I_1 = K I_1 f_1(\alpha);$$

$$M_2 = W_2 S B_2 I_2 = K I_2 f_2(\alpha).$$

Бу ерда: W —ғалтакнинг ўрамлар сони; S —ғалтакнинг кўндаланг кесим юзи, B —ҳаво оралиғида жойлашган ғалтакнинг магнит индукцияси.

Ғалтак соат стрелкаси йўналишида бурилганда, масалан ($M_1 > M_2$) биринчи ғалтакнинг актив томони анча кучсиз индукцияли жойга ўтади ва M_1 камаяди. Шу вақтда M_2 ошади.

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 тоқлар нисбати билан аниқланади.

Электротехник қурилмалар изоляциясининг мустаҳкамлигини аниқлашда магнитоэлектрик механизмли логометрлар (мегоомметр) ишлатилади. Бу асбобнинг қўлланилишини (R_x қаршиликни аниқлашни) кўриб чиқамиз (6.19- расм).

$$I_1 = \frac{U}{R_0 + R_1}; \quad I_2 = \frac{U}{R_x + R_2},$$

бунда R_1 ва R_2 —логометр ғалтакларининг қаршиликлари; R_0 —асбоб ичидаги ўзгармас қаршилик; U —қўл ёрдамида ҳаракатга келтириладиган генератор (манба) кучланиши.

Манба сифатида асбоб корпуси ичига жойлашган ўзгармас магнит ёрдамида уйғотиладиган генератор Γ 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.

$$\alpha = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = f\left(\frac{U}{R_0 + R_1} \cdot \frac{R_x + R_2}{U}\right) = f\left(\frac{R_x + R_2}{R_0 + R_1}\right).$$

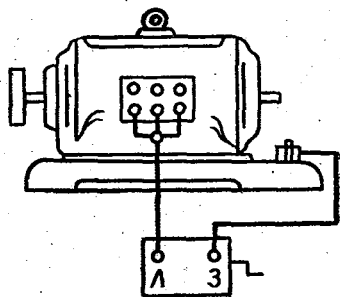
R_2 кичик бўлганлиги сабабли (R_x га нисбатан) уни эътиборга олмасак ва $R_0 + R_1 = \text{const}$ бўлишини ҳисобга олсак,

$$\alpha = f(R_x)$$

ни ҳосил қиламиз, яъни асбоб қўзғалувчан қисмининг бурилиш бурчаги ўлчанаётган қаршилик миқдори билан аниқланади. Мегоомметр шкаласи қиршилик 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.

Мегаомметрда 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 ТУҒРИСИДА 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.

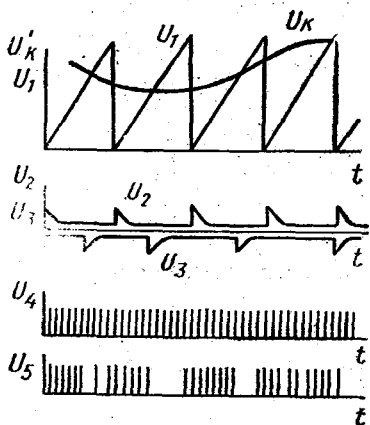
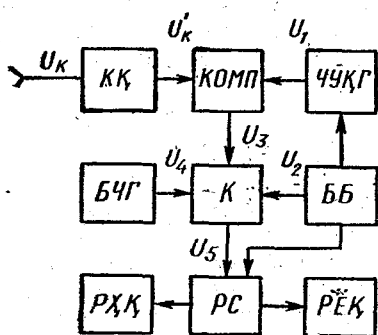
Умумий ҳолда, рақамли вольтметр кириш қурилмаси (КҚ), таққослаш-рақамли ўзгарткич (ТРЎ) ва рақамли ҳисобот қурилма (РҚҚ) дан иборат (6.21-расм).

Мисол тариқасида, кенг қўлланилиб келаётган вақт-импульсли ўзгартиришли рақамли вольтметрлар (В7-8, ВК7-10, Ф-200, Ф-220) нинг ишлаш принципини кўриб чиқамиз. Уларнинг ишлашини изоҳловчи структура схемаси ва вақтли диаграмма 6.22-расмда келтирилган.

Ўлчанаётган кучланиш u_k кириш қурилмаси КҚ га берилди. Мазкур қурилма катта қаршиликли кучланишни бўлғич ҳисобланиб, унинг чиқиш жойида маълум ораликда (масалан, 0—1 В) ўзгарадиган нормаллаштирилган кучланишни ҳосил қилиш мумкин. Бундай нормаллаштирилган кучланиш компаратор (КОМП) киришининг бирортасига берилди. *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 вақтла компаратор калит K ни беркитувчи импульс ҳосил қилади. Бар-



6.21-расм.



6.22- расм.

қарор частотали генератор БЧГ ишлаб чиқарган импульслар калит К орқали рақамли счётичк РС га келади. Счётичкнинг чиқишига рақамли ҳисоблаш қурилмаси РХҚ ва рақам ёзувчи қурилма РЕҚ уланади. Вольтметрнинг ишлашини бошқариш блоки ББ бошқаради. Ўлчаш циклининг бошланишида бошқариш блокнинг сигнали бўйича ЧҰҚГ ишлай бошлаб, u_1 кучланишни ҳосил қилади ва БЧГ (u_4) импульсларини счётичкка ўтказиб юборади. Импульс u_2 билан бир вақтда калит К очилади. Нормаллаштирилган кириш кучланиши u_k ва ЧҰҚГ кучланиши u_1 тенглашган пайтда компараторнинг u_3 сигнали бўйича калит К ёпилади. Шундай қилиб, РС га кирган импульслар миқдори u_5 ўлчаш циклининг бошланиш momenti t_1 дан мувозанат ҳолати t_2 гача бўлган вақтга пропорционал бўлади. Бу вақт ўлчанаётган кучланиш u_k га пропорционалдир.

Рақамли электрон вольтметрларнинг нисбий хатолиги 0,001% ни ташкил этади.

Ўзгарувчан кучланишли рақамли вольтметрларда кириш қурилмасидан кейин уланадиган қўшимча детектор бўлади.

Рақамли электр асбобларидан вольтметрлар, омметрлар, частотомерлар, электр энергияси счётичклари 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 сўр'атлар билан ривожланиши бу каби камчиликларни бартараф этиш имконини беради, дейиш мумкин.

7- боб. ЭЛЕКТР ЎЛЧАШЛАР

7.1. ЭЛЕКТР УЛЧАШ 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 нозлектрик 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 катталикининг қиймати олдиндан даража-лаб қўйилган ўлчаш асбобининг ҳисоблаш қурилмасидан бевосита олинган бўлса, бундай ўлчаш *бевосита баҳолаш усули* дейилади. Масалан, ток кучини ўлчаш амперметр билан, кучланишни ўлчаш-вольтметр билан, қувватни ўлчаш ваттметр билан олиб борилади ва ҳоказо.

Агар ўлчанадиган катталикининг 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 каршилиқ, сизим 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 катталикининг қиймати намуна ўлчов билан солиштиришда ҳосил бўлган фарқ нолга тенглашгунча ўзгартириб борилади. Бунга потенциометрда кучланишни, мувозанат кўприксимон занжирларда қаршилиқни ўлчашлар мисол бўла олади. Солиштириш фарқи солиштириш асбобида ёки ноль индикаторда кузагилади. Ноль ўлчаш усули жуда аниқ ўлчаш усулидир. Чунки бундай ўлчашда юқори аниқликли намуна ўлчови ва сезгирлиги юқори таққослаш асбоби, масалан гальвонометр ишлатилади.

Дифференциал усулда ўлчанаётган катталикининг қиймати намуна ўлчов билан таққосланади ва ҳосил бўлган фарқ оддий

Агар даврий хатолик тасодифий хатоликдан кичик бўлса, бир хил миқдорни ўлчашда уни бир неча бор ўлчаб, ўлчаш натижаси сифатида Уларнинг ўртача қийматини олиш мақсадга мувофиқ, яъни

$$A_{\text{ўр}} = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_n}{n},$$

бунда A_1, A_2, \dots, A_n —ҳар бир ўлчаш натижаси, n —ўлчашлар сони. Ўлчашлар сони катта бўлганда $A_{\text{ўр}}$ ўлчанаётган миқдорнинг ҳақиқий қийматига яқинлашади.

Билвосита ўлчашда иккита ва ундан ортиқ ўлчаш асбобларидан фойдаланилади. Бу ҳолда билвосита ўлчашдаги хатолик бевосита ўлчашдаги хатоликнинг алгебраик йиғиндиси шаклида ёзиб, топилади.

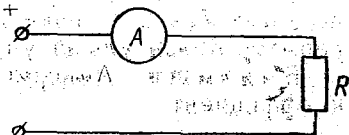
7.3. ТОК ВА КУЧЛАНИШНИ ЎЛЧАШ

Ток ва кучланишни бевосита ўлчаш. Ток ва кучланишни бевосита ўлчаш учун амперметр ва вольтметрлардан фойдаланилади. Амперметр ва вольтметрлар магнитоэлектрик (фақат ўзгармас ток занжири учун); электромагнит, электродинамик, ферродинамик (ўзгармас ва ўзгарувчан ток учун); индукцион, тўғрилагичли (ўзгарувчан ток учун) ва бошқа системаларда бўлиши мумкин.

Токни ўлчаш учун занжирни қулай жойдан узиб, амперметр A ни истеъмолчи қаршилиги R билан кетма-кет улаш керак (7.1-рasm). 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% қатта қилиб олинади. Чунки асбобнинг иккинчи ярмида нисбий ўлчаш хатолиги биринчи ярмидагига нисбатан камдир.

Текширилатган электр занжирига уланувчи асбоб унинг параметрларини мумкин қадар кам ўзгартариши лозим. Шу сабабли амперметрнинг қаршилиги нолга тенг бўлиши керак. Бу ҳолда токни ўлчаш учун занжирга уланган амперметр занжир қаршилигини ўзгартрмайди. Амалда бу шартни бажариш



7.1-рasm.

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 частотада 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.

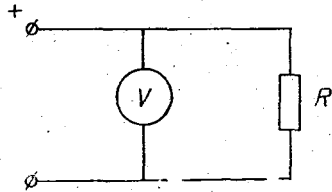
Ечилиши. Амперметрнинг ўлчаш чегарасини оширувчи коэффициент

$$m = \frac{I}{I_A} = \frac{100}{5} = 20.$$

Шунт қаршилиги

$$R_{ш} = \frac{RA}{m-1} = \frac{0,015}{20-1} = 0,0007894 \text{ Ом.}$$

Кучланишни ўлчаш учун занжирнинг исталган (кучланиши ўлчанувчи) қисмига вольтметр параллел қилиб уланади. Вольтметр деганда шкаласи вольтларда даражаланган катта қўшимча ички қаршилиги нисбатан катта милливольтметр тушўнилади (7.2- рasm).



7.2- рasm.

Ўзгармас ток занжирларида кучланишни ўлчаш учун, оdatда, юқори аниқликдаги магнитоэлектрик механизмли вольтметрлар ишлатилади. Шу билан бирга, ўзгармас ток занжирларидаги кучланишни ўлчаш учун электромагнит, электрдинамик, айлантиргич ва иссиқлик системасидаги вольтметрлардан ҳам фойдаланса бўлади, ammo 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, ақс ҳолда частота бўйича қўшимча ўлчаш хатолиги вужудга келиши мумкин.

Юқори частотали (100 мГц) ўзгарувчан ток кучланиши иссиқлик, айлантиргичли системалардаги вольтметрлар ва электрон вольтметрлар ёрдамида ўлчанади.

Кичик ўзгарувчан кучланишлар (милли ва 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 $U=3000$ В 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:

$$R_k = R_v(n - 1) = 20 \cdot (30 - 1) = 580 \text{ Ом.}$$

7.4. ҚУВВАТ ВА ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯНИ УЛЧАШ

Ўзгармас ток занжирларида қувватни амперметр ва вольтметр ёрдамида ўлчаш мумкин. Бунинг учун бир вақтда икки асбобнинг кўрсатишини ёзиб олиш ва сўнгра ўлчанган ток ва кучланиш қийматлари ўзаро кўпайтирилади. Бу ҳолда ўлчаш аниқлиги анча 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 коэффициентини $\cos\varphi$ га ҳам боғлиқдир. Демак, ўзгарувчан ток қувватини амперметр, вольтметр ва фазометр билан ўлчаш мумкин, деган хулоса чиқади. Аммо бундай ўлчаш анча ноқулайдир, чунки бир вақтнинг ўзида учта асбобнинг кўрсатишини ёзиб олиш анча қийин, иккинчи томондан қувватни ўлчашдаги хатолик учта асбоб айрим хатоликларига боғлиқ бўлади. Шунинг учун ўзгарувчан ток занжирларидаги қувват фақат электродинамик ва ферродинамик ваттметрлар билан ўлчанади.

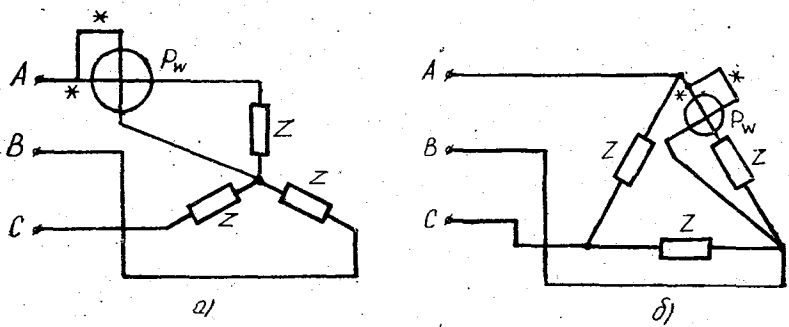
Электродинамик ваттметрларнинг аниқлиги ферродинамик ваттметрникига нисбатан юқори бўлганлиги учун уларни юқори аниқлик билан ўлчаш керак бўлганда ҳамда юқори частотали (2000 Гц гача) ўзгарувчан ток занжирларида ишлатилади. Юқори частотали қувватларни ўлчашда термоэлектрик ва электрон ваттметрлардан ҳам фойдаланиш мумкин. Ферродинамик ваттметрлар, асосан, саноат частотасида шчит асбоби сифатида ишлатилади.

Бир фазали ўзгарувчан ток занжиридаги актив қувватни ўлчаш учун ваттметрни улаш схемаси 6.11-расмда кўрсатилган.

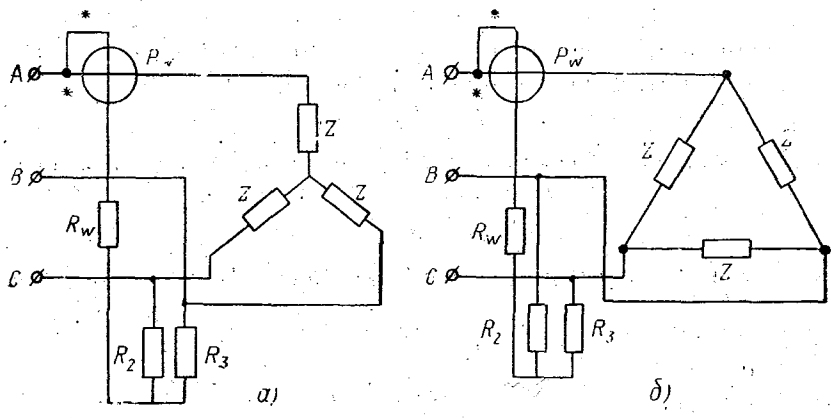
Уч фазали ток занжиридаги актив қувватни ўлчаш учун битта, иккита ва учта ваттметр усулларидан фойдаланилади.

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 жиши ва ҳар бир фазадаги актив қувват бир хил бўлади.

Истеъмолчиларнинг актив қувватини ўлчаш учун ваттметрни улаш схемаси 7.3-расмда келтирилган. Расмда ваттметр чулғамларининг бош учлари юлдузча билан белгиланган. 7.4-расмда актив қувватни ўлчаш учун ваттметрни сунъий нейтрал нуқта орқали улаш схемаси келтирилган. Чунки кўпгина ҳолларда нейтрал нуқтага улаш ва учбурчакни узиш мумкин бўлмай қолади.



7.3- расм.



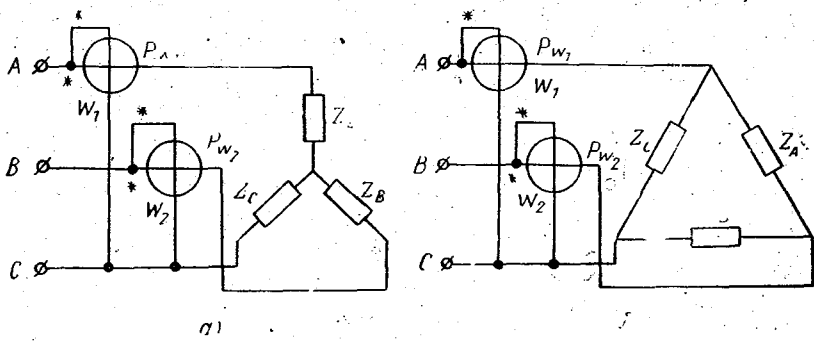
7.4- расм.

Қаршилик R_2 ва R_3 лар ваттметрдаги кучланиш чўлғамининг қаршилиги R_w га тенг бўлиши ($R_2 = R_3 = R_w$) шарт.

Уч фазали системанинг актив қувватини аниқлаш учун тўртгала схемада ҳам ваттметр кўрсатган қувват P_w ни учга кўпайтириш керак:

$$P = 3P_w.$$

Уч симли носимметрик занжирнинг актив қувватини иккита ваттметр усулида ўлчаш. Уч фазали носимметрик занжирда ҳар бир фазадаги ток, фаза силжиши ва актив қувват турлича бўлади. Ҳатто фаза ва линия кучланишлари ҳам ҳар хил бўлиши мумкин. Бундай занжирнинг қувватини иккита ваттметр усулида ўлчаш мумкин. Иккита ваттметрни уч симли занжирга улаш схемаси 7.5- расмда келтирилган. Схемадан кўринадики, ваттметрлардаги кучланиш чулғамларининг бош учлари ток чулғами уланган фазаларга, охириги учлари эса бўш қолган фазага уланади. Фақат шундагина уч фазали ток



7.5- расм.

занжирнинг қуввати иккита ваттметр кўрсатиши P_{W_1} ва P_{W_2} ларнинг алгебраик йиғиндисига, тенг бўлади, яъни:

$$P = P_{W_1} + P_{W_2}.$$

Бу ифоданинг тўғрилигини қуйидагича исботлаш мумкин. Уч фазали истеъмолчиларнинг оний қуввати

$$P = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C. \quad (7.2)$$

Агар истеъмолчилар юлдуз шаклида (7.5- расм, а) уланган бўлса,

$$i_A + i_B + i_C = 0,$$

бунда

$$i_C = -i_A - i_B. \quad (7.3)$$

(7.3) ифодани уч фазали система оний қувватининг ифодаси (7.2) га қўйсақ, 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:

$$P = U_{AC} I_A \cos(\widehat{I_A \bar{U}_{AC}}) + U_{BC} I_B \cos(\widehat{I_B \bar{U}_{BC}}) \quad (7.4)$$

Демак, иккита ваттметр кўрсатган қувватларнинг алгебраик йиғиндиси уч фазали занжирнинг актив қувватига тенг бўлади:

$$P = P_{W_1} + P_{W_2}.$$

Чунки, ваттметр W_1 кўрсатган қувват $P_{W_1} = U_{AC} I_A \cos(\widehat{I_A \bar{U}_{AC}})$ га ваттметр W_2 кўрсатган қувват эса $P_{W_2} = U_{BC} I_B \cos(\widehat{I_B \bar{U}_{BC}})$

га тенг бўлади. Худди шундай на-тижага истеъмолчилар учбурчак шаклда уланганда ва ваттметрлар B, C ҳамда A, C фазаларга уланганда ҳам келиш мумкин.

Симметрик нагрзукали истеъмолчилар юлдуз шаклида улангандаги ток ва кучланишларнинг вектор диаграммаси 7.6-расмда келтирилган. Бунда барча линия токи ва кучланишлари миқдор жиҳатдан тенг бўлиб, \vec{I}_A ва \vec{U}_{AC} векторлар орасидаги бурчак $\beta_1 (\varphi - 30^\circ)$ га, \vec{I}_B ва \vec{U}_{BC} векторлар орасидаги бурчак $\beta_2 (\varphi + 30^\circ)$ га тенг бўлади.

Шунинг учун (7.4) формулани қуйидагича ёзамиз:

$$\begin{aligned} P &= U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \beta_1 + U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \beta_2 = \\ &= U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos (\varphi - 30^\circ) + U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos (\varphi + 30^\circ) = \\ &= U_{\text{л}} I_{\text{л}} 2 \cos 30^\circ \cos \varphi = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi. \end{aligned} \quad (7.5)$$

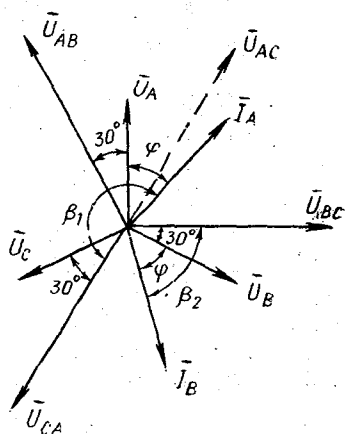
(7.5) ифодага асосан ҳар бир ваттметрнинг кўрсатиши фаза силжиши φ нинг қиймати ва ишорасига қараб манфий ёки мусбат бўлиши мумкин. Масалан, $\varphi > -60^\circ$ бўлганда биринчи ваттметрнинг кўрсатиши манфий, иккинчисиники эса мусбат ҳамда $\varphi > 60^\circ$ да аксинча бўлади. Бундай ҳолларда ваттметрнинг кучланиш чулғамидаги токнинг йўналиши ўзгартирилади ва истеъмолчининг актив қуввати ваттметрлар кўрсатишининг айирмаси сифатида аниқланади. Агар $\varphi = 0^\circ$ бўлса, истеъмолчининг актив қуввати иккала ваттметр кўрсатишларининг айирмаси сифатида аниқланади. Агар $\varphi = 60^\circ$ бўлса, иккала ваттметрнинг кўрсатиши бир хил бўлади, яъни:

$$P_{W_1} = P_{W_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} U_{\text{л}} I_{\text{л}} = 0,866 U_{\text{л}} I_{\text{л}}.$$

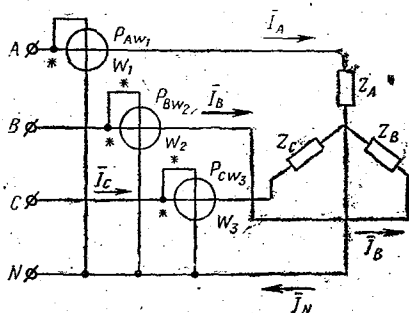
Иккита ваттметр усули тўрт симли занжирларда уч фазали қувватни ўлчаш учун яроқсиздир.

Тўрт симли занжирнинг актив қувватини учта ваттметр усулида ўлчаш. Нотекис нагрзукали тўрт симли занжирлардаги уч фазали қувватни ўлчаш учун учта ваттметрдан фойдаланилади.

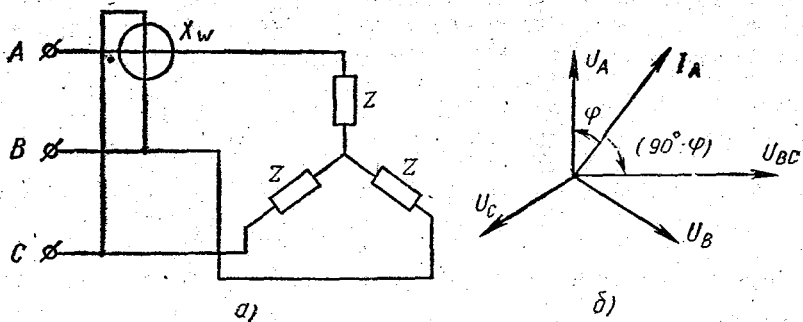
7.7-расмда ваттметрларни занжирга улаш схемаси кўр-



7.6-расм.



7.7-расм.



7.8- расм.

сатилган. Бу схемада ҳар бир ваттметр айрим фазанинг актив қувватини ўлчайди, яъни:

$$P_{AW_1} = U_A I_A \cos \varphi_A; P_{BW_2} = U_B I_B \cos \varphi_B; P_{CW_3} = U_C I_C \cos \varphi_C.$$

Уч фазали занжирнинг актив қуввати учала ваттметр кўрсатган қувватларнинг алгебраик йиғиндисига тенг:

$$P = P_{AW_1} + P_{BW_2} + P_{CW_3}.$$

Амалда бир вақтнинг ўзида иккита ёки учта ваттметрларнинг кўрсатишини кузатиш жуда қийин, шунинг учун 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 momenti 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 ваттметри занжирга 7.8-расмда кўрсатилгандек улаш керак.

7.8-расм, б даги вектор диаграммадан кўринадики, ваттметрнинг кўрсатиши қуйидагига тенг:

$$X_W = U_{BC} I_A \cos(\widehat{U_A I_{BC}}) = U_{\Delta} I_{\Delta} \cos(90^\circ - \varphi) = U_{\Delta} I_{\Delta} \sin \varphi.$$

Уч фазали симметрик занжирнинг реактив қуввати ваттметр кўрсатишини $\sqrt{3}$ га кўпайтириб аниқланади:

$$Q = \sqrt{3} X_W = \sqrt{3} U_{\Delta} I_{\Delta} \sin \varphi.$$

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):

$$P_{W_1} - P_{W_2} = U_{л.л} [\cos(30^\circ - \varphi) - \cos(30^\circ + \varphi)] = U_{л.л} \sin \varphi.$$

Демак, уч фазали система-нинг реактив қувватини аниқлаш учун ваттметрлар кўрсатишларининг айирмасини $\sqrt{3}$ га кўпайтириш керак, яъни

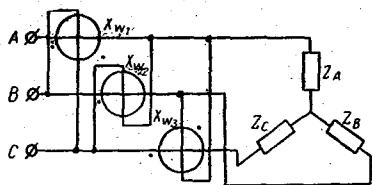
$$Q = \sqrt{3}(P_{W_1} - P_{W_2}) = \sqrt{3} U_{л.л} \sin \varphi.$$

Ушбу хулосаларнинг барчаси нагрузка текис ва линия кучланишлари симметрик бўлгандагина тўғри бўлади. Нагрузка нотекис бўлганида реактив қувватни ўлчаш учун махсус схемалардан фойдаланилади.

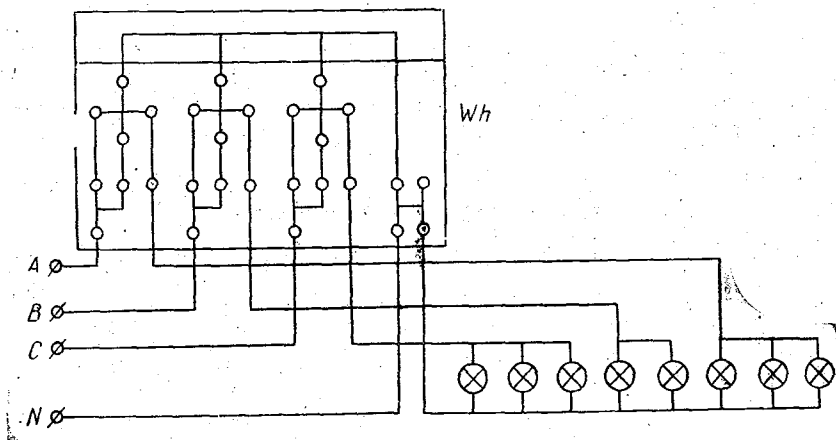
7.9-расмда кўрсатилган учта ваттметрли схема ҳар қандай уч фазали занжирлардаги реактив қувватни ўлчаш учун яроқлидир. Бунинг учун ваттметрлар кўрсатган қийматлар йиғиндисини $\sqrt{3}$ га бўлиш керак:

$$Q = \frac{X_{W_1} + X_{W_2} + X_{W_3}}{\sqrt{3}}.$$

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.



7.9- расм.



7.10- расм.

Реактив энергияни ҳам худди реактив қувватни ўлчагандагидек сўтчикларни улаб, ўлчаш мумкин. Аммо уч фазали занжирларда реактив энергияни ўлчаш учун уч фазали махсус реактив сўтчикдан фойдаланилади.

7.5. 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. Номанум қаршилик Ом қонунига асосан қуйидагича аниқланади:

$$R_x = \frac{U_V}{I_A}, \quad (7.6)$$

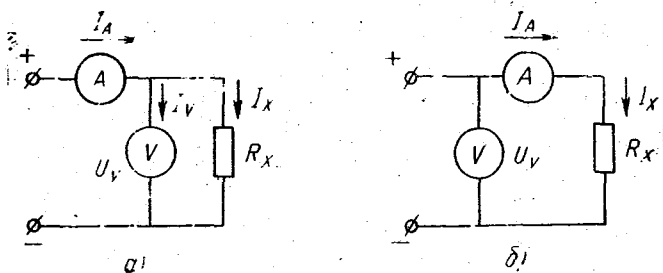
бунда U_V — вольтметр кўрсатган кучланиш; I_A — амперметр кўрсатган ток.

(7.6) формула билан ҳисобланган қаршилик қиймати ҳақиқий қийматдан фарқ қилади. Чунки 7.11-расм, а даги схемадан кўриниб турибдики, амперметрдан ўтаётган ток I_A номанум қаршиликдаги ток I_x га қараганда вольтметрдан ўтаётган ток I_V миқдорича ортиқдир. Шунинг учун 7.11-расм, а даги схема бўйича номанум қаршиликнинг ҳақиқий қийматини қуйидаги формула билан ҳисоблаш мумкин:

$$R_x = \frac{U_V}{I_x} = \frac{U_V}{I_A - I_V} = \frac{U_V}{I_A - U_V/R_V}. \quad (7.7)$$

Агар вольтметрнинг қаршилиги R_V ўлчанаётган қаршилик R_x дан кўп марта катта бўлса (масалан $R_V > 100R_x$), у ҳолда амперметр кўрсатган ток резистор қаршилиги R_x даги токка жуда яқин бўлади ва қаршиликни (7.6) формула ёрдамида осон топиш мумкин. Бу вақтда ўлчашдаги R_V нинг таъсири туфайли ҳосил бўлган нисбий хатолик 1% дан кичик бўлади.

7.11-расм, б даги схемада вольтметр кўрсатаётган кучланиш U_V номанум қаршилик R_x га қўйилган кучланиш U_x



7.11- расм.

дан амперметрдаги кучаниш тушиши $R_A I_A$ чалик каттадир. Шунинг учун 7.11- расм, б даги схема бўйича номаълум қаршиликнинг ҳақиқий қийматини қуйидаги формула билан ҳисоблаш мумкин:

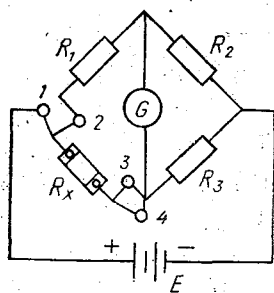
$$R_x = \frac{U_V}{I_A} = \frac{U_x + R_A I_A}{I_A}.$$

Агар амперметрнинг қаршилиги R_A ўлчанаётган қаршилик R_x дан кўп марта кичик бўлса (масалан, $R_A < 0,01 R_x$), у ҳолда вольтметр кўрсатган кучланиш номаълум қаршилик учларидаги кучланиш U_x га жуда яқин бўлади ва қаршиликни (7.6) формула ёрдамида топиш мумкин. Бу вақтда R_A нинг таъсири туфайли ҳосил бўлган нисбий хатолик 1% дан кичик бўлади.

Амалда амперметр ва вольтметр усули, асосан, электр машиналари, трансформаторлар ва бошқа электромагнит аппаратларнинг чулғам қаршиликларини ўлчашда қўлланилади. Бу усулнинг афзаллиги шундаки, ўлчанаётган қаршиликдан номинал ток ўтказилиб, иш режими ҳосил қилинади ва сўнг-ра қаршиликни ўлчаб, температура хатолиги ҳисобга олинади.

Солиштириш усули. Қаршилик юқорида кўрилган усуллар 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 погенциали ўзаро тенг ва кўприк мувозанат ҳолатида бўлади, яъни:

$$U_{AB} = U_{AD} \text{ ва } U_{BC} = U_{DC}.$$

Агар кучланиш пасайишини тегишли ток ва қаршиликлар билан ифодаланса:

$$I_1 R_1 = I_x R_x \text{ ва } I_2 R_2 = I_3 R_3,$$

аммо $I_r = 0$ бўлганда $I_1 = I_2$ ва $I_x = I_3$. Шунинг учун:

$$I_1 R_1 = I_3 R_x \text{ ва } I_2 R_2 = I_3 R_3.$$

Охириг иккита тенгламани ҳадма-ҳад биринчисини иккинчисига бўлиб, ўзгармас ток кўпригининг мувозанат шартини ҳосил қиламиз:

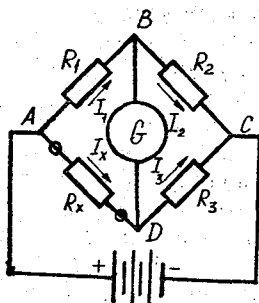
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_3} \text{ ёки } R_2 R_x = R_1 R_3.$$

Ўлчанадиган қаршилик R_x нинг сон қиймати мувозанат шартига кўра қуйидагича ҳисобланади:

$$R_x = R_1 \frac{R_3}{R_2}. \quad (7.9)$$

(7.9) формуладан кўринадики, номаълум қаршиликни ўлчаш нисбат $\frac{R_3}{R_2}$ ўзгармас бўлганда елка R_1 нинг (бу елка солиштириш елкаси дейилади) қаршилигини ростлаб ёки R_1 ўзгармас бўлганда нисбат $\frac{R_3}{R_2}$ нинг қаршилигини ростлаб, гальванометр токи I_r нолга келтирилади.

Агар ўлчанадиган қаршилик 10 Ом дан кичик бўлса, туташтирувчи симларнинг қаршилиги ўлчаш хатосига катта таъсир қилади. Бу хатони камайтириш учун R_x ни 7.13 расмдагидек қилиб улаш керак. Бу ҳолда R_x дан клемма 2 гача бўлган туташтирувчи симнинг қаршилиги елка қаршилиги R_1 га ва R_x дан клемма 3 гача бўлган симнинг қаршилиги эса R_3 га қўшилади. R_1 ва R_3 нинг қаршилиги симларнинг қаршилигидан жуда кўп марта катта. R_x дан 1 ва 4 клеммагача бўлган туташтирувчи симларнинг қаршилиги эса мос ҳолда кўприк диаго-



7.13 расм.

наlining 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 қўшалок кўприк деб аталади. Бу кўприк тўғрисидаги маълумотларни электр ўлчаш асбобларига тааллуқли адабиётлардан олиш мумкин.

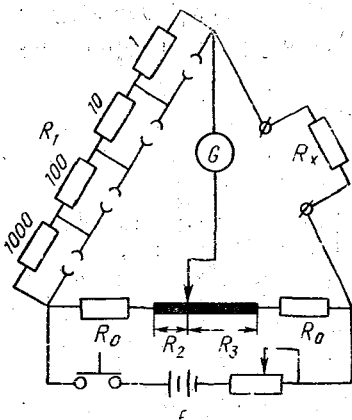
Кўприкларнинг конструкцияси турличадир. Аксарият тўрт елкали кўприкларнинг солиштириш елкаси тўрт декадали 10×1 , 10×10 , 10×100 , 10×1000 Ом қаршиликлар кўринишида тайёрланади. Улар 1 дан 11110 Ом гача бўлган оралиқда рoстлаш имкониятига эга. Бундай кўприкларда, одатда, елкалар нисбати 0,001; 0,01; 0,1; 1; 10; 100; 1000 Ом бўлади.

Солиштириш елкасидаги декадалар миқдор ва елкалар нисбатининг поғоналар сони кўприкдаги ўлчашлар чегарасини ва аниқлигини белгилайди. ГОСТ 7165—66 га асосан ўзгармас ток ўлчаш кўприклари жоиз хатолик бўйича қуйидаги аниқлик синфларига бўлинади: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 ва 5,0.

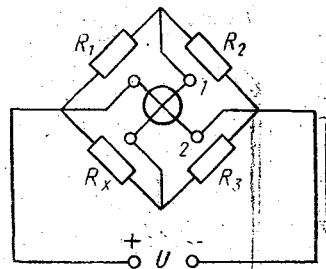
Кўприклар елкаларининг қаршиликлари конструкциясига қараб магазинли, чизиқли ёки реохордли турларда бўлади.

Магазинли кўприкларда елкаларнинг қаршиликлари штепселли ёки ричагли кўринишда бўлади.

Чизиқли (реохордли) кўприкларда солиштириш елкаси, одатда, қаршиликлар магазини кўринишида бажарилади, елкалар нисбати эса сургич (С) ёрдамида иккита рoстланувчи қисмга ажралувчи реохорд (калибрланган сим) кўринишида амалга оширилади. Чизиқли кўприкнинг схемаси 7.14-расмда кўрсатилган. Ток манбаининг қисқа туташинини 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.

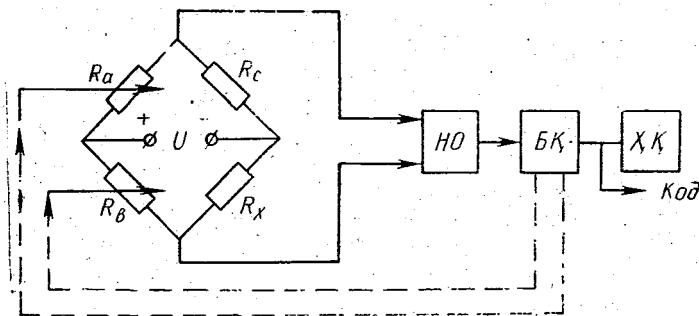
Маълумки, логометр қўзғалувчан қисмининг бурилиш бурчаги унинг қўзғалувчан рамакалари 1 ва 2 дан ўтувчи токларнинг нисбатига пропорционалдор. Шунинг учун манба кучланишининг ўзгариши (масалан, камайиши) кўприкнинг ўлчаш диагоналига уланган 1 рамка токни ўзгартирса (камайтирса), шу вақтнинг ўзида бошқа диагоналга уланган 2 рамка токни ҳам ўзгартиради (камайтиради), натижада кўприкнинг рамакаларидаги 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 содалаштирилган схемаси келтирилган.

Рақамли кўприк ноль орган НО, бошқарувчи қурилма БҚ, ҳисоблаш қурилмаси ХҚ ва бошқа қисмлардан иборат. Кўприк



7.16- расм.

риқда берилган программага асосан ва ноль органнинг сигналга қараб, бошқарувчи қурилма БҚ елка R_a (R_a йигирмата бир хил резистордан иборат) нинг резисторларини улаб ёки узиб кўприкни мувозанатлаштиради ва код ишлаб чиқарилади. R_x нинг қийматига қараб бошқарувчи қурилма БҚ R_b нинг қаршилигини ўзгартириб, кўприкнинг ўлчаш чегарасини ўзгартиради ва ўлчаш чегарасига қараб ХҚ да ўлчаш бирлигининг белгиси (Ω , $K\Omega$, $M\Omega$) ни алмаштиради.

7.16-расмдан кўринадик, ўлчанаётган қаршилик қуйдагича ифодаланди:

$$R_x = \frac{R_b \cdot R_c}{R_a} = R_b R_c G_a,$$

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. СИГИМ ВА ИНДУКТИВЛИКНИ ЎЛЧАШ. ЎЗГАРУВЧАН ТОК КЎПРИГИ

Сигим 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 шarti қуйдагича ифодаланади:

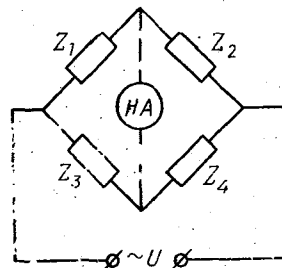
$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3. \quad (7.10)$$

Комплексли тўла қаршиликларни даража шаклида, яъни $Z = Ze^{j\varphi}$ шаклда ёзиб, ўзгарувчан ток кўпригининг мувозанатлик шартини қуйдагича ифодалаш мумкин:

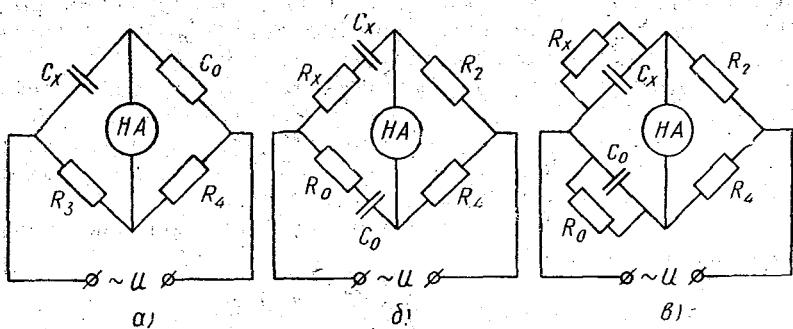
$$\left. \begin{aligned} Z_1 Z_4 &= Z_2 Z_3; \\ \varphi_1 + \varphi_4 &= \varphi_2 + \varphi_3. \end{aligned} \right\} \quad (7.11)$$

Бунда Z_1, Z_2, Z_3 ва Z_4 — тегишли елка тўла қаршиликларининг модули; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ ва φ_4 — тегишли елка кучланишлари билан елка тоқлари орасидаги фаза силжиши.

Мувозанатлик шarti (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_1 ни уласак, $\varphi_3 = \varphi_4 = 0$ бўлади ва бошқа иккита



7.17- расм.



7.18- расм.

ёндош елгага 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:

$$\frac{1}{j\omega C_x} R_4 = R_3 \frac{1}{j\omega C_0} \text{ ёки } C_x = C_0 \frac{R_4}{R_3}$$

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 қуйидагича 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 шarti (7.10) га қўямиз:

$$\left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x}\right) R_4 = R_2 \left(R_0 + \frac{1}{j\omega C_0}\right).$$

Бундан кўприкнинг иккита мувозанатлик шарти келиб чиқади:

$$C_x = C_0 \frac{R_1}{R_2}; \quad R_x = R_0 \frac{R_2}{R_1}.$$

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_1/R_2) ни ўзгартириб, ноль асбобда энг кам ток бўлишига эришилади, сўнгра R_0 ни ўзгартириб, токнинг янада кам бўлишига эришилади. Сўнгра R_1/R_2 ни ўзгартириб, кўприк мувозанатланади.

Қувват исрофи нисбатан катта бўлган конденсаторлар сифиминн ўлчаш учун актив қаршилиги параллел уланган эквивалент схемадан (7.18-расм, в) фойдаланилади. Кўприк мувозанатда бўлганда ўлчанаётган сифим ва конденсаторнинг актив қаршилиги:

$$C_x = C_0 \frac{R_1}{R_2}; \quad R_x = R_0 \frac{R_2}{R_1}.$$

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 сифими билан таққословчи кўприк схемаси келтирилган. Бунда ўлчанадиган индуктивлик ғалтаги ва намуна сифим кўприкнинг қарама-қарши елкаларига уланади. Схемда L_x ва R_x — ўлчанаётган ғалтакнинг индуктивлиги ва актив қаршилиги; C_0 ва R — намуна конденсатор ва унга параллел уланган резистор. Қолган елкаларга R_1 ва R_2 магазин қаршиликлари уланган.

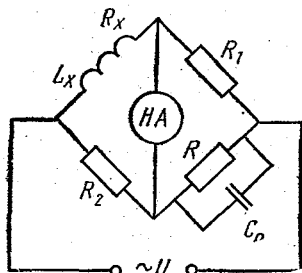
Елкаларнинг тўла қаршиликлари қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$Z_1 = R_x + j\omega L_x; \quad Z_2 = R_1; \quad Z_3 = R_2;$$

$$Z_4 = \frac{R}{1 + j\omega C_0 R}.$$

Бу ифодаларни (7.10) формулага қўйиб, ўлчанадиган ғалтакнинг параметрларини аниқлаймиз:

$$L_x = C_0 R_1 R_2; \quad R_x = \frac{R_1 R_2}{R}.$$



7.19-расм.

Саноатда универсал кўприклар ҳам ишлаб чиқарилади. Уларда сигим, индуктивлик, актив қаршилиқ ва қувват исрофи бурчагининг тангенсини ўлчаш мумкин, яъни универсал кўприк битта корпусда ҳам ўзгармас, ҳам ўзгарувчан ток кўпригини мужассамлаштиради.

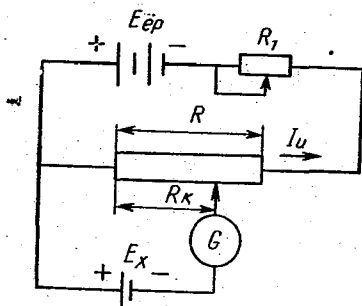
ГОСТ 9486 — 69 га асосан ўзгарувчан ток кўприклари 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 1,0; 2,0 ва 5,0 аниқлик синфларига бўлинади. Ўзгарувчан ток кўпригидаги ўлчаш аниқлиги ундаги ҳар бир диапазоннинг нисбий хатолиги билан аниқланади.

Сигим ва индуктивликни билвосита ўлчаш усуллари бўлиши гальванометр, учта вольтметр, амперметр-вольтметр-ваттметр ва бошқа усуллардан фойдаланиб ҳам ҳисоблаб топиш мумкин.

7.7. КОМПЕНСАЦИЯ ЎЛЧАШ УСУЛИ. ПОТЕНЦИОМЕТРЛАР

Номаълум ЭЮК ёки кучланишни маълум кучланиш билан солиштириб ўлчашга *компенсация ўлчаш* дейилади. Бунда солиштириш учун хизмаг қилувчи қурилма потенциометр деб аталади ва шунинг учун компенсация ўлчашни кўп ҳолларда кучланиш, ЭЮК ва қаршилиқни 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 сгелкасининг 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.

$$E_x = I_u R_k$$

бунда E_x — ўлчанадиган номаълум ЭЮК; I_u — компенсация қаршилигида кучланиш пасаювини ҳосил қилувчи маълум иш токи; R_k — аниқ, ростланувчи компенсация қаршилиги.

Кучланиш пасаювини ҳосил қилиш учун олдин юқоридаги контурда ёрдамчи батарея $E_{\epsilon p}$ таъсири остида номинал иш токи I_u ҳо-

сил қилинади ва унинг миқдори реостат R_1 , ёрдамида ростланади. Сўнгра (7.20-расм) пастки контурдаги сургич A ни тахминан ўрта ҳолатдан ўннга ва чапга шундай суршиш керакки, бунда гальванометр G нолни кўрсатсин. Бу эса ўлчанадиган ЭЮК E_x занжирида токнинг йўқлигидан далолат беради. Шу вақтда қаршилик R нинг R_k қисмидаги кучланишнинг пасаюви ўлчанаётган ЭЮК E_x га тенг бўлади, яъни

$$E_x = R_k I_u. \quad (7.12)$$

Бу формуладаги иш токи:

$$I_u = \frac{E_{\text{эп}}}{R}.$$

Ўлчаш жараёнида қаршиликлар R_k ва R маълум бўлганлиги учун, номаълум ЭЮК қуйидагича топилади:

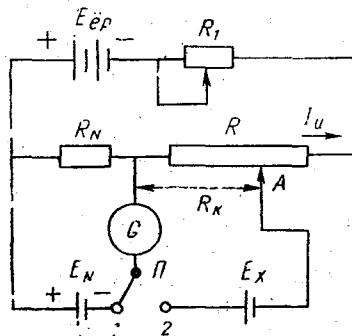
$$E_x = E_{\text{эп}} \frac{R_k}{R}.$$

Ушбу формуладан кўринадики, E_x ни топишда қаршилик R дан ўтувчи иш токи иштирок этмай, балки ёрдамчи батарея ЭЮК $E_{\text{эп}}$ иштирок этади. Бу эса ўлчаш хатолигини оширади. Чунки ЭЮК $E_{\text{эп}}$ қаршиликка улангани туфайли, у вақт ўтиши билан зарядсизланади. Мазкур камчиликнинг таъсири ни камайтириш мақсадида ҳозирги ҳамма потенциометрларда ёрдамчи батарея кучланишини барқарор ушлаб турувчи ярим ўтказгичли стабилизаторлар ишлагилади.

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 қиймагини белгилаш ва текшириш учун переключатель (узгич) Π 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_u орқали ҳосил бўлган кучланишнинг пасаюви нормал элементнинг ЭЮК ига тенг бўлади:

$$E_N = R_N I_u; \quad I_u = \frac{E_N}{R_N}. \quad (7.13)$$

Иш токининг номинал қиймати ҳосил қилингандан сўнг, номаълум ЭЮК (кучланиш) ни ўлчаш мумкин. Бунинг учун переключатель Π ни ўнгдаги 2 ҳолатга ўтказилади ва компенсация қаршилиги R_k нинг қийматини ўзгартириб (сургич A ни



7.21-расм.

ўнга ёки чапга суриш орқали), гальванометрнинг нолни кўрсатишига эришилади ва бунда (7.12) формуладаги тенглик вужудга келади.

(7.12) формуладаги I_u ўрнига унинг (7.13) формуладаги фодасини қўйсак, номаълум ЭЮК қуйидагича аниқланади:

$$E_x = E_N \frac{R_k}{R_N}. \quad (7.14)$$

Потенциометрларнинг кўрсатувчи асбобларга нисбатан асосий афзаллиги, номаълум ЭЮК (кучланиш) ни жуда юқори даражали аниқликка эга бўлган намуна ўлчови — нормал элемент ёрдамида ўлчашдан иборатдир, шунингдек ўлчашнинг ўзи ўлчанаётган ЭЮК (кучланиш) дан ток (қувват) қабул қилмаслигидадир (чунки гальванометр токи ўлчаш вақтида нолга тенг бўлади). Бу эса компенсация усулида юқори аниқликка эришиш мумкинлигини билдиради. Ҳозирги потенциометрларнинг хатолигини процентнинг юздан бир ва ҳатто мингдан бир улушигача камайтириш мумкин.

Ўзгармас ток потенциометрлари икки гуруҳга бўлинади: кичик қаршиликли ҳамда катта қаршиликли потенциометрлар.

Кичик қаршиликли потенциометрларда иш токи занжири-нинг қаршилиги бир неча ўн ёки юз Ом, иш токи 1 дан 25 мА гача бўлади. Кичик қаршиликли потенциометрлар кичик ЭЮК (масалан, термопаранинг ЭЮК) ни ўлчаш учун хизмат қилади.

Катта қаршиликли потенциометрларда иш токи занжири-нинг қаршилиги 10000 Ом га етади ва иш токи 0,1 мА 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_k 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_k нинг схемаси ва конструкцияси ни нолдан потенциометрнинг юқори чегарасига тўғри келувчи қийматигача, иложи борица, текис ростлаш имконини бериши; ўлчанадиган миқдорнинг энг кичик қийматларини ҳисоблаш имконини бериши; қаршилик қийматининг доимийлигини ва унинг миқдорига ташқи омилларнинг кам таъсир қилишини таъминлаши керак.

Компенсация қаршилиги жуда хилма-хилдир. Компенсация қаршилигининг энг оддий схемаси сургичли реохорд кўринишида бўлади. Ҳозирги замон потенциометрларида шунтловчи декадали, ўрнини босувчи декадали ва қўшалок декадали қаршиликлар схемаси кўп қўлланилади.

Потенциометрларнинг жоиз хатолиги уларнинг паспорти ва шчитида кўрсатилган махсус формулалар билан ҳисобланади.

Ўзгармас ток потенциометрлари ГОСТ 9245—68 нинг ҳамма гадабларини қониқтириши керак. Мазкур ГОСТ га асосан қуйидаги аниқлик синфлари мавжуд: 0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2.

Потенциометрда ток кучи ва қаршиликларни ҳам ўлчаш мумкин. Бунинг учун ток кучи ва қаршилик махсус схема бўйича кучланишга айлантирилиши керак.

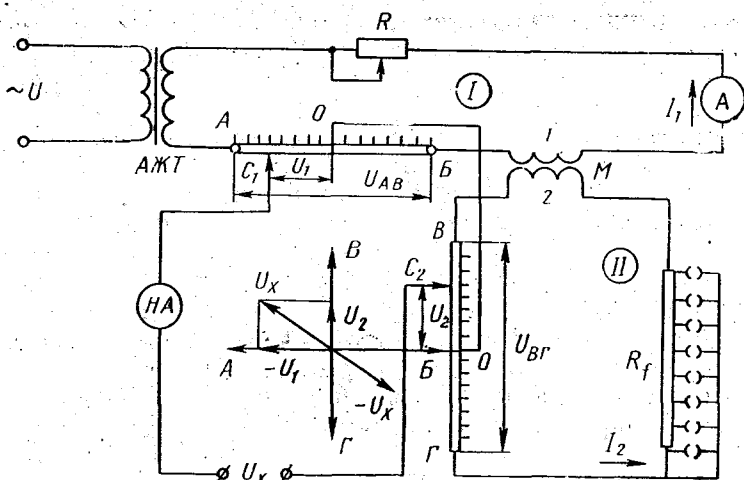
Ўзгарувчан токни ўлчашнинг компенсация усули. Ўзгарувчан ток занжирларидаги кичик ЭЮК, кучланиш, комплекс қаршилик ва бошқаларни аниқ ўлчашлар, худди ўзгармас ток занжирларидагигек, компенсация усули ёрдамида амалга оширилади. Ўзгарувчан ток потенциометрларининг ишлаши худди ўзгармас ток потенциометрлари каби бўлиб, ўлчанадиган номаълум кучланишни компенсация қаршилигида иш токи ҳосил қилган маълум кучланиш пасаюви билан мувозанатлашдан иборат. Аммо ўзгарувчан ток занжирларида мувозанатлик шарт, 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 sanoat частота учун вибрацион гальванометрлар ва юқори частоталар учун электрон асбоблар ишлатилади.

Ўзгарувчан ток ЭЮК учун намуна ўлчовининг йўқлиги ўзгарувчан ток потенциометрларининг ўлчаш аниқлигини анчагина пасайтиради. Потенциометрларда иш токи аниқлик синфи 0,2 ёки 0,5 бўлган электродинамик амперметрлар билан ростланади. Шунга қарамай, ўлчаш объектдан қувват қабул қилмай ишлаши ва ўлчанадиган кучланишнинг фазасини аниқлаш имконияти ўзгарувчан ток потенциометрларидан фойдаланишга сабаб бўлди.

Ўлчанадиган кучланишни компенсация қилиш усулига қараб ўзгарувчан ток потенциометрлари қутб координатали ва тўғри бурчак-координатали хилларга бўлинади. Ҳозирги вақтда фақат тўғри бурчак-координатали потенциометрлар ишлаб чиқарилади. Мазкур потенциометрнинг принципаал схемаси 7.22-расмда кўрсатилган. Потенциометр иккита иш занжири I ва II дан иборат. Иш занжири I калибрланган сим AB , ҳаволи трансформатор (пўлат ўзаксиз) M нинг бирламчи чулғами I , амперметр A , реостат R ва ажратувчи трансформатор AT нинг иккиламчи чулғамидан иборат. Ушбу занжирнинг токи I_1 , сим AB да кучланиш пасаюви U_{AB} ни ҳосил қилади.

Иш занжири II калибрланган сим BF , ҳаволи трансформатор M нинг иккиламчи чулғами 2 ва резистор R дан иборат. Бу занжирнинг токи I_2 биринчи занжир токи I_1 дан, фаза



7.22- расм.

жиҳатдан; деярли 90° га кечикади. Бу қуйидагича тушунтирилади. Ҳаволи трансформатор M нинг чулғамидан I_1 ток оқиб ўтиб, магнит оқимини ҳосил қилади. Магнит оқими бу ток билан бир хил фазада бўлади, чунки ҳаволи трансформаторда уярма токка ва гистерезисга қувват исроф бўлмайди. Бу оқим иккиламчи чулғамда ўздан 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 $B\Gamma$ да ҳосил қилган кучланиш пасажуви $U_{B\Gamma}$ ҳам кучланиш пасажуви U_{AB} 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 пасажувининг қийматларини ўзгартира бориб, ўлчанадиган кучланиш U_x ни компенсациялашга эришиш мумкин. Бунда номаълум кучланишнинг абсолют қиймати қуйидагига тенг:

$$U_x = \sqrt{U_1^2 + U_2^2}$$

Ўлчанадиган кучланиш U_x нинг фазаси қуйидагича аниқланади:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_2}{U_1}$$

I_1 ва I_2 лар қиймат жиҳатдан ўзгармас бўлганлиги учун бу тоқлар ҳосил қилган кучланиш пасажувлари U_{AB} ва $U_{B\Gamma}$ лар ҳам ўзгармас бўлади. Шунинг учун R_{AB} ва $R_{B\Gamma}$ ларнинг

шкаласини кучланиш бирлигида даражалаб, ўлчанадиган кучланишни компенсация қилувчи кучланишлар U_1 ва U_2 ларни осонгина ҳисоблаш мумкин. Лекин, ҳаволи трансформаторнинг иккиламчи чулғамида индукцияланган ЭЮК нинг қиймати, I_1 нинг частотаси f га боғлиқ. Шунинг учун ўзгармас ток I_1 да I_2 нинг ўзгармаслиги учун иккинчи занжирга қаршилиқ R_f уланган.

Ўлчаш натижаларига тармоқ таъсирини йўқ қилиш учун потенциомётр электр тармоғига ажратувчи трансформатор АТ орқали уланади. 7.22-расмдаги иккала иш занжирлари фазода 90° га силжитиб жойлаштирилган. Бу иш I_1 ва I_2 ҳамда кучланишлар пасаюви U_{AB} ва U_{BG} лар орасидаги 90° ли фаза силжиши яққол кўриниши учун қилинган.

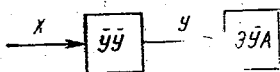
7.3. НОЭЛЕКТР КАТТАЛИКЛАРНИ ЭЛЕКТР УСУЛИДА ЎЛЧАШ

Илмий тадқиқотларда, технологик жараёнларда, янги машина ва аппаратларни яратиш ва уларни созлаш ҳамда ишлашиш жараёнида кўпгина ноэлектр катталикларни электр усулида ўлчашга тўғри келади. Ноэлектрик катталиклар бўлмиш механик, иссиқлик ва бошқа катталикларни ўлчаш учун хизмат қилувчи электр асбоблари ва усуллари бир қанча афзалликларга эга. Улар ноэлектрик катталикларнинг қийматининг на эмас, балки уларнинг сифатини ҳам аниқлаш, ўлчаш ва белгилаш имконини беради.

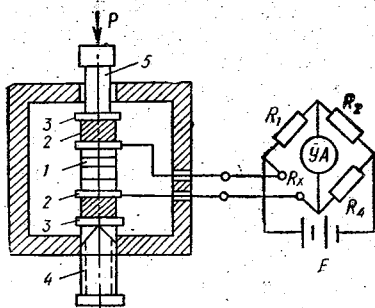
Электр ўлчаш усуллари ва асбобларининг афзалликларига асбоб сезирлигини катта оралиқда осонгина ўзгартиш; жуда тез ҳамда жуда секин ўтувчи жараёнларни ўлчаш ва ёзиб олиш мумкинлиги; олисда туриб ўлчаш ва ўлчаш натижаларини олис масофага узатиш мумкинлиги; ноэлектр асбоблар билан ўлчаш мумкин бўлмаган 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 (қаршилиқ, индуктивлик, сизим, магнит қаршилиги ва бошқалар) га айлантриб берувчи бир ёки бир нечта ўлчаш ўзгартиргичлари бўлади. Ўлчаш ўзгартиргичини, одатда, *датчик* деб аталади.



7.23-расм.



7.24-расм.

7.23-расмда нозлектр катталикни электр усулида ўлчашнинг оддий структура схемаси кўрсатилган. Ўлчанадиган нозлектр катталик x ўлчаш ўзгартиргичи (УЎ) нинг киришига берилади. Ўлчаш ўзгартиргичининг чиқишидаги электр катталик y электр ўлчаш асбоби (ЭЎА) ёрдамида бевосита ёки билвосита усулларда ўлчанади. Электр ўлчаш асбобининг шкаласи ўлчанадиган нозлектр катталик бирлигида даражаланади, бу эса ўлчашни тезлатади ва ўлчаш хатолигини камайтиради.

Ишлашига қараб ҳамма ўлчаш ўзгартиргичларини параметрли ёки генераторли турларга ажратиш мумкин.

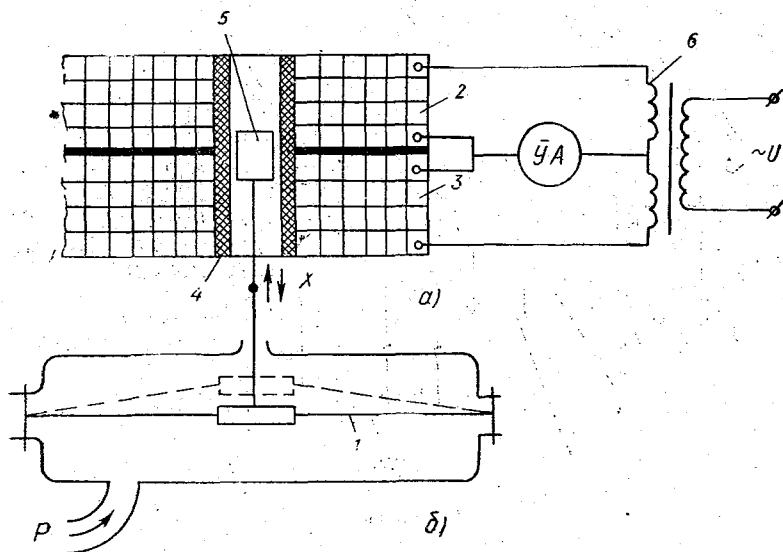
Қуйида куч, сатҳ, силжиш, тезлик, температура каби нозлектр катталикларни ўлчаш учун хизмат қилувчи схемаларни келтирамыз.

Кучни ўлчаш учун кўмир шайбали датчик ва теплотатчиклардан фойдаланилади. Ҳар иккала датчикнинг ҳам ишлаш принципи куч таъсиридан ўз қаршилиқларини ўзгартиришга асосланган.

7.24-расмда кўмир шайбали датчик ёрдамида кучни ўлчаш учун хизмат қилувчи қурилманинг принципиал схемаси кўрсатилган. Кўмир шайбали датчик 10—15 та кўмир шайбалар 1, жез шайба 2 ва изоляциядовчи слюдали шайба 3 дан иборат. Булар винт 4 ва стержень 5 билан сиқиб қўйилади. Жез шайбага ташқарига чиқарилган симлар уланган. Ўлчаш схемаси сифатида ўзгармас ток кўприги хизмат қилади.

Ташқаридан куч P таъсир этмаганда кўприк мувозанатда бўлади. Стержень 5 га P куч қўйилганда кўмир шайбалар қисилиб, қаршилиқларни ўзгартиради. Натижада кўприк мувозанат ҳолатдан чиқиб, унинг диагоналида ток ҳосил бўлади ва ўлчаш асбоби УА нинг стрелкаси бурилади. Ўлчаш асбобининг шкаласи ўлчанадиган куч бирлигида даражаланади.

Босимни ўлчаш учун суюқликли, мембранали, сифонли, пружинали ва бошқа датчиклар ишлатилади. Ушбу датчикларда босим ёки босимлар фарқи кичик механик бурчакли



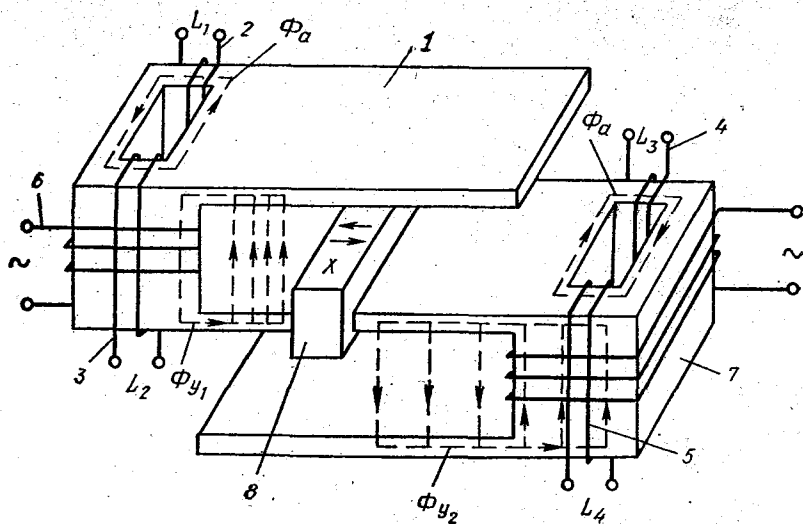
7.25-расм.

ёки чизиқли силжишга айлантирилади. Механик силжишни тўғридан-тўғри ёки механик силжиш датчиклари ёрдамида ўлчаш мумкин.

7.25-расмда босимни мембранали босим датчиги ва индуктив датчик ёрдамида ўлчаш учун хизмат қилувчи қурилманинг принципиал схемаси кўрсатилган.

7.25-расм, а да жамланган параметрли индуктив датчик берилган. Бу датчик қўзғалувчан ўзак 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 $\bar{U}A$ уланган.

7.25-расм, б да босим датчиги кўрсатилган. Ўлчанаётган босим p мембрана 1 га таъсир этиб, уни юқорига ёки пастга эзди. 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-бирдан фарқ қилмайди, натижада электр ўлчаш асбоби $\bar{U}A$ дан ўтувчи ток нолга тенг бўлади. Агар босим таъсир этса, мембрана ва унга маҳкамланган ўзак юқорида силжийди (ра мда пунктир чизиқ билан кўрсатилган). Натижада ғалтак 2 нинг индуктивлиги бирор қийматга ошади, шу



7.26- расм.

вақтда ғалтак 3 нинг индуктивлиги эса ўшанча қийматга ка-
маяди. Натижада ўлчаш асбоби УА дан механик силжиш қий-
матига, яъни ўлчанаётган босим қийматига мос ток оқиб ўта-
ди. Асбобнинг шкаласи миллиметр ёки босим бирлигида да-
ражаланади. Мазкур қурилма ёрдамида босимлар фарқини
ҳам ўлчаш мумкин. Бунинг учун мамбрананинг юқори қисми-
га P_1 босим, пастки қисмига эса P_2 берилади.

Силжишни ўлчаш учун силжиш датчикларидан фойдала-
нилади. Бунда турли физик катталиклар, чунончи, босим, тем-
пература, газ ёки суюқлик сарфи, зичлик ва бошқалар меха-
ник силжишга айлангирилади ва силжиш датчиклари ёрдами-
да ўлчанади. Силжиш датчиклари реостагли датчик, сизимли
датчик, индуктив датчик, трансформаторли датчик ва бошқа
турларга бўлинади.

Ушбу дарсликда индуктив силжиш датчикларинигина кў-
риб 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 конст-
рукцияси кўрсатилган. Катта (0,2 — 100 см ва бундан ҳам ор-
тиқ) механик силжишларни ўлчаш учун тақсимланган пара-
метрли индуктив датчикдан фойдаланилади. 7.26- расмда тақ-
симланган параметрли индуктив датчик конструкциясининг
схемаси берилган.

Чизиқли индуктив датчик S шаклидаги узайтирилган маг-
нит ўтказгич 1 дан иборат. Магнит ўтказгичнинг асосида бит-
тадан тешик бор, асосларидаги индуктивлик га тақлари 2, 3,
4 ва 5 ларни ҳосил қилишда сийлар шу тешиклардан ўткази-

лади, индуктивлиги бир хил L_1, L_2, L_3, L_4 бўлган бу ғалтаклардан ташқари, магнит ўтказгичга уйғотиш чулғамлари b ва 7 ҳам ўралган. Магнит ўтказгичнинг ўртанча ўзагида ҳаракатланувчи мис ёки алюминий экран δ 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_x ва Φ_y ҳосил бўлади, уларнинг миқдори экраннинг ҳолатига боғлиқ.

Индуктив ғалтакларнинг тўрталаси ҳам кўприк схемасида уланади. Кўприкнинг бир диагоналига ўзгарувчан кучланиш манбаи уланганда иккинчи (чиқиш) диагоналида экраннинг силжишига пропорционал равишда кучланиш ҳосил бўлади. Экрaн 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. Экрaн 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:

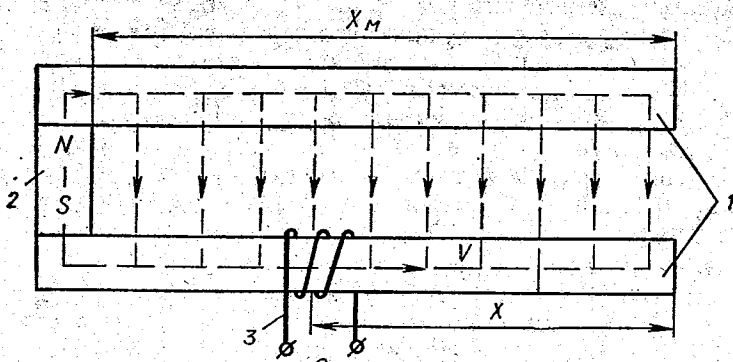
$$U_r = U_k \frac{L_1 - L_3}{L_1 + L_3} = U_k \frac{L_2 - L_4}{L_2 + L_4},$$

бу ерда U_k — кўприк диагоналига уланган ўзгарувчан ток манбаининг кучланиши.

Шундай қилиб, кўприкнинг чиқиш диагоналига милливольтметрни улаб, экран маҳкамланган объектнинг механик силжишини ўлчаш мумкин.

Тезликни ўлчаш учун тахогенератор ва тезлик датчикларидан фойдаланилади. Тахогенератор айлачиш 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 металлларни 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 Π шаклдаги қўзғалмас магнит ўтказгичдан иборат. Ўзгармас (доимий) магнит 2 магнит ўтказгичнинг асоси бўлиб хизмат қилади. Унинг узайтирилган ихтиёрий битта стерженига қўзғалувчан ўлчаш чулғами 3 ўралган. Ўзгармас магнит иккита параллел стержень орасида деярли бир хил магнит индукциясини ҳосил қилади. Қўзғалувчан ўлчаш чулғами стержень бўйича қандайдир V тезлик билан силжиса, унинг ўрамлари стерженлар орасидаги магнит куч чизиқларини кесиб ўтиши натижасида чулғамда ЭЮК ҳосил бўлади. ЭЮК нинг қиймати ўлчаш чулғамининг силжиш тезлигига пропорционалдир:

$$e = S_V \cdot V.$$

Датчикнинг сезgirлиги S_V қўзғалувчан ўлчаш чулғамининг ўрамлар сонига, стерженлар орасидаги магнит индукцияга ва 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 \square шаклидаги магнит ўтказгич 1 дан иборат бўлиб, икки ён томонига уйғотувчи чулғам 2 лар ўралган. Магнит ўтказгичнинг икки ён томони бир хилда тешилган бўлиб, ҳар бирига иккитадан индуктивлик

Ток I_0 , ўз навбатида, магнит оқими (Φ_0) ни ҳосил қилади. Бу магнит оқими \square шаклидаги магнит ўтказгич бўйича туташиб, унинг бир томонидаги асосий уйғотиш магнит оқими Φ_y га қўшилади ($\Phi_y + \Phi_0$) ва иккинчи томонидаги уйғотиш магнит оқимидан айирилади ($\Phi_y - \Phi_0$). Натижада датчикнинг бир томонидаги асоснинг магнит қаршилиги тезликка пропорционал равишда кўпаяди, иккинчи томонида эса камаяди. Шунга яраша, бир асосда ғалтак индуктивлиги камайиб, иккинчисида кўпаяди.

Шундай қилиб, ғалтак индуктивлиги (L_1, L_2, L_3, L_4) нинг текширилувчи чизиқли тезликка боғлиқ равишда ўзгариши кўприкнинг чиқиш диагоналида ўзгарувчан чиқиш кучланишининг тезликка пропорционал равишда ўзгаришига сабаб бўлади:

$$U_r = U_k \frac{L_1 - L_3}{L_1 + L_3} = U_k \frac{L_2 - L_4}{L_2 + L_4},$$

бу ерда U_k — кўприкка берилган ўзгарувчан ток манбаининг кучланиши.

Магнит-модуляцион тезлик датчиги қуйидаги афзалликларга эга:

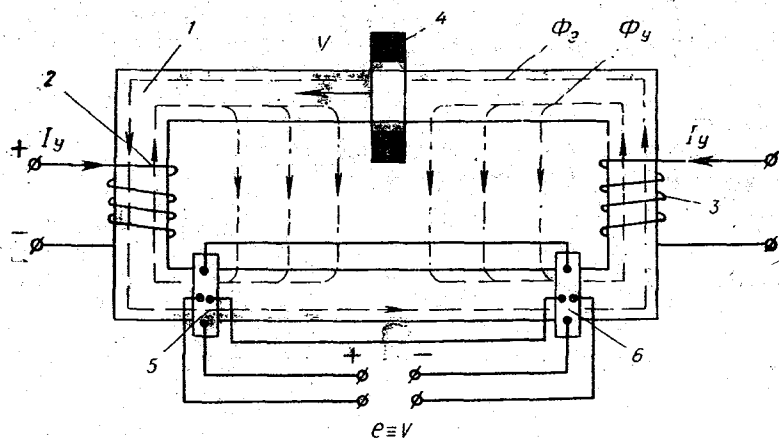
1. Датчикнинг чиқиш сигнали синусоидал ўзгарувчан ток кўринишида бўлганлигидан уни кучайтириш ва масофага узатиш анча қулай.

2. Датчикнинг кўзгалувчан 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 уланад.

Холл элементли тезлик датчиги 7.29-расмда кўрсатилган. Холл элементли чизиқли тезлик датчиги узайтирилган \square шаклидаги кўзгалмас магнит ўтказгич 1 дан иборат бўлиб, асосларига уйғотиш чулғамлари 2 ва 3 ўралган. Магнит ўтказгичнинг бир стерженига экран 4 кийгизилган, стерженнинг икки чеккасига эса Холл элементлари 5 ва 6 жойлаштирилган. Холл элементларининг ўзаро кетма-кет ва қарама-қарши уланган кириш клеммаси ўзгармас ток манбаига, чиқиш клеммаси эса ўзиёзар асбобга уланади.

Уйғотиш чулғамлари ўзгармас ток манбаига уланганда икки стержень орасида деярли бир хил магнит индукцияси ҳосил бўлади. Экран тезлиги текшириляётган объект тезлиги билан силжитилса, экранда унинг силжиш тезлигига пропорционал равишда экран токи I_0 вужудга келади. I_0 ўз навбатида, магнит оқими Φ_0 ни ҳосил қилади. Бу оқим \square шаклидаги магнит ўтказгич бўйича туташади ва экран тезлигига боғлиқ равишда асоснинг бир томонидаги асосий уйғотиш



7.29-расм.

оқимига қўшилади ($\Phi_y + \Phi_3$) ва иккинчи томонидаги уйғотиш оқимидан айирилади ($\Phi_y - \Phi_3$). Натижада Холл элементларининг бирида ЭЮК кўпайиб, иккинчисида камаяди. Демак, Холл элементларининг чиқиш клеммасида экраннинг силжии тезлигига пропорционал равишда ЭЮК лар фарқи ҳосил бўлади:

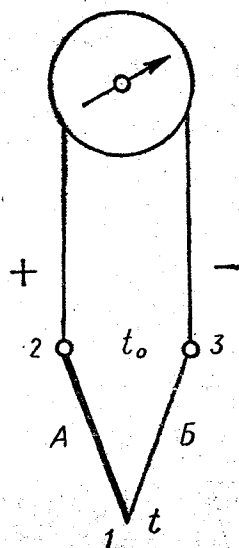
$$E = E_1 - E \equiv 2\Phi_3 \equiv V.$$

Холл элементли датчик магнит-модуляцион датчикнинг ҳамма афзалликларига эга бўлиб, унинг чиқиш сигнали ҳам ўзгармас, ҳам ўзгарувчан ток шаклида бўлиши мумкин.

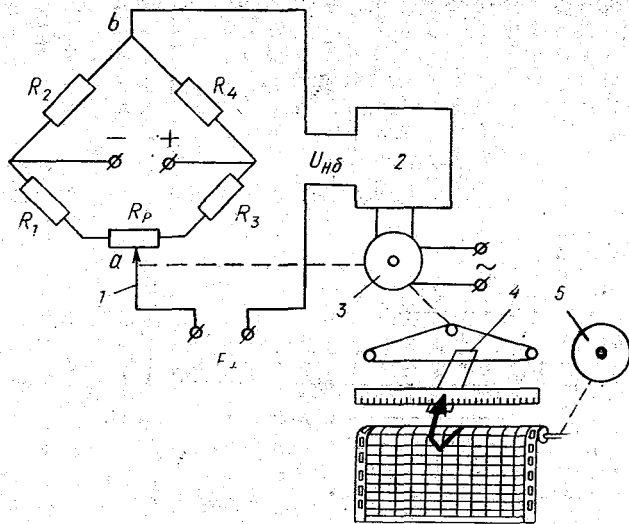
Температурани ўлчаш учун термопара ва тармоқаршиликлардан фойдаланилади. Температура энг муҳим технологик параметрdir. Термопара ва тармоқаршиликлар температуранигина ўлчаш учун эмас, балки бошқа физик катталиклар (газ таркиби, босим, зичлик ва сарфлар) ни билвосита ўлчаш учун ҳам ишлатилади.

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-рasm.

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°C гача), мис билан копель (600°C гача), хромель билан копель (800°C гача), хромель билан алюмель (1300°C гача) ва платина билан платинорадий (1600°C гача) дан ясалган термопаралар жуда кўп қўлланилади.

Термопарада ҳосил бўлган ЭЮК қиймати жуда кичик бўлиб, ҳар градусга бир неча (материалига қараб) микровольт тўғри келади. Лекин бу қиймат ўлчаш учун етарли ҳисобланади. Мазкур ЭЮК ни ўлчаш учун 7.30-расмда кўрсатилган магнитоэлектрик юқори сезгир милливольтметр ёки 7.31-расмда кўрсатилган автоматик электрон потенциометрдан фойдаланилади.

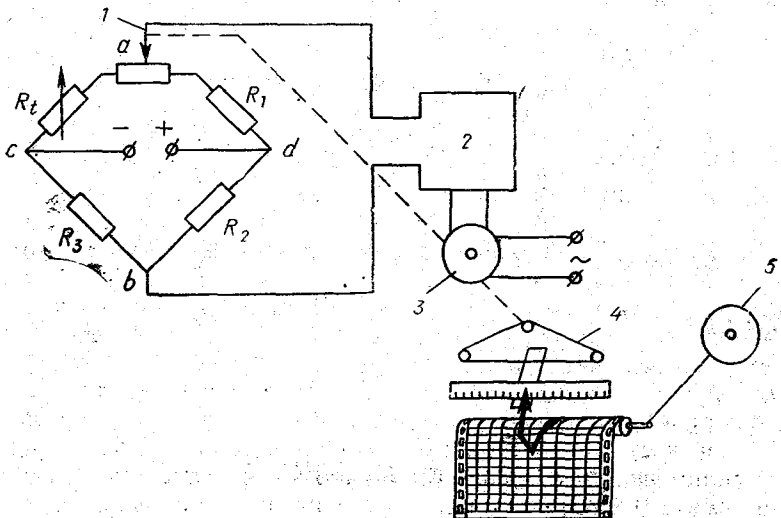
Потенциометр ёрдамида ўлчанаётган термопара ЭЮК қиймати E , билан a ва b нуқталар орасидаги потенциаллар фарқи солиштирилади. Реохорд дастаси 1 ни реверсив двигатель 3 ёрдамида суриб, нуқта a нинг ҳолати E , ва U_{ab} орасидаги

фарқ ($E_t - U_{аб}$) нолга тенглашгунча ўзгартирилади. Агар бу фарқ (у номувозанат кучланиши — $U_{нб}$ ҳам дейилади) нолга тенг бўлмаса, у кучайтиргич 2 ёрдамида ўзгарувчан токка айлантирилиб, микровольтдан бир неча вольтгача кучайтирилгандан сўнг реверсив двигатель 3 нинг бошқариш чулғамига берилади. Двигатель ишга тушиб, реохорд дастасини $U_{нб}$ нолга тенглашгунча суради. Двигателнинг айланиш тезлиги ўлчанаётган термопара ЭЮК ининг қиймати E_t га боғлиқ. Реохорд дастаси билан биргаликда унга маҳқамланган қарета 4, стрелка ва перо ҳам сурилади. Перонинг сурилиши синхрон двигатель 5 ёрдамида ўзгармас тезлик билан ҳаракаг қилувчи диаграммага ўлчанаётган қийматни ёзиб олиш имконини беради. Демак, ўлчанаётган температуранинг стрелка кўрсатиши бўйича шкаладан ёки диаграмма лентасидан олиш мумкин.

Термоқаршилиқ ўтказгич (ёки ярим ўтказгич) электр қаршилигининг температурага боғлиқлигига асосланган. Термоқаршилиқ, одатда, мис ва платинадан ясалган бўлиб, термопара каби термоэлектр юритувчи куч (ЭЮК) ишлаб чиқармайди, балки температура ўзгарганда ўз қаршилигини ўзгартиради. Металл қаршилиқларда температура билан электр қаршилиқ ўртасида мутаносиб боғланиш бор. Термоқаршилиқ температураси ўлчанадиган муҳитга жойлаштирилади ва термоқаршилиқ қаршилигининг ўзгариши автоматик кўприк схемаси ёрдамида ўлчанади.

Электр қаршилигига айлантириш мумкин бўлган ҳар қандай катталиқни ўлчаш учун хизмат қилувчи мувозанатли автоматик электрон кўприк схемаси 7.32- расмда кўрсатилган.

Автоматик потенциометрлардаги каби, ўлчаш кўприкларидан ҳам кузатиш системаси бор. Мазкур система ўлчаш система-



7.32- расм.

сидаги кўприкни узлуксиз мувозанатлаш учун хизмат қилади. Кўприк иккита (ab — ўлчаш ва cd — манба) диагоналдан ва тўртта елкадан иборат. Иккита елканинг қаршилиги R_2 ва R_3 ўзгармас, қолган иккитасиники эса ўзгарувчан

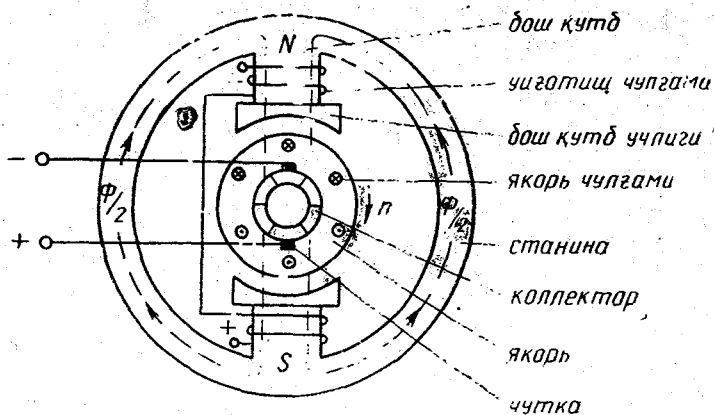
Температуранинг ўзгариши билан термоқаршилиқ қаршилиги R_4 ўзгариши кўприкни мувозанат ҳолатидан чиқаради. Бунда кўприкнинг ўлчаш диагоналида сигнал, яъни номувозанат кучланиши пайдо бўлади. Бу сигнал кучланиш ва қувват кучайтиргичи 2 ва реверсив двигатель 3 нинг бошқариш чулғамидан ўтиб, двигательни ишга туширади ва у реохорд 1 дастасини кўприк мувозанатга келгунча суради. Бу вақтда карета 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 двигательнинг (асосан, асинхрон двигательнинг, 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 чўтканинг мавжудлиги) ва қимматлиги бўлди. Шунга қарамасдан, ўзгармас токни электр энергиясидан фойдаланишнинг маълум соҳаларида ўзгарувчан ток билан алмаштириб бўлмаслиги ҳамда у бирмунча афзалликларга эга бўлгани учун шу кунда ҳам ишлатиб қелинмоқда. 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 двигательларини кўплаб ишлаб чиқариш йўлга қўйилган. Шунингдек, ўзгарувчан токни ярим ўтказгичли тўғрилагичлар ёрдамида ўзгармас токка айлантириш схемалари ҳам кенг қўлланилмоқда.



8.1-расм.

8.1. УЗГАРМАС ТОК МАШИНАСИННИНГ ТУЗИЛИШИ ВА ИШЛАШ ПРИНЦИПИ

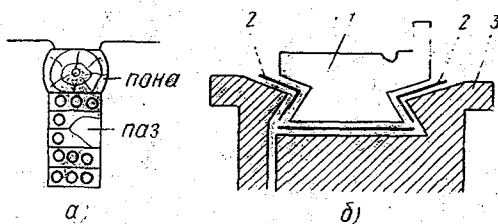
Ўзгармас ток машинаси, асосан, қўзғалмас қисм — *станина*, қўзғалувчан қисм — *якордан* иборат. Станина йирик машиналар учун пўлатдан, кичик машиналар учун чўяндан қўйиб ясалади ва унга қутбларнинг ўзақлари ўрнатилади (8.1-расм).

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 ўрнатилалади. Якорь қалинлиги 0,35 — 0,5 мм ли электротехник пўлат пластинкалар тўпламидан тайёрланади. Уярма тоқларга бўладиган қувват исрофини камайтириш мақсадида пластинкалар бир-биридан изоляция қилинади. Айланувчан якорнинг чулғамларида ўзгарувчан ЭЮК ҳосил қилиниб, коллектор ва чўткалар ёрдамида генератордан ўзгармас ток олинади.

Якорь чулғами изоляцияланган мис симдан иборат бўлиб, у алоҳида-алоҳида секция қилиниб ясалгандан сўнг якорнинг ўзагидаги пазлар орасига жойлаштирилади.

Чулғам якорнинг ўзигидан 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 манжега воситасида изоляцияланади. Корпусдаги туткичга ўрнатилган чўткалар ёрдамида коллектордан ток олинади. Чўткалар кўмир, графит, мис ёки бронзадан ясалади.

Машинанинг якори бирламчи двигатель ёрдамида ўзгармас тезлик билан айлантирилганда (генератор режими) унинг чулғам ўрамларини бош магнит куч чизиқлари кесиб ўтиши натижасида, электромагнит индукцияси қонунига биноан, ЭЮК индукцияланади, яъни

$$E = c \cdot n \cdot \Phi, \quad (8.1)$$

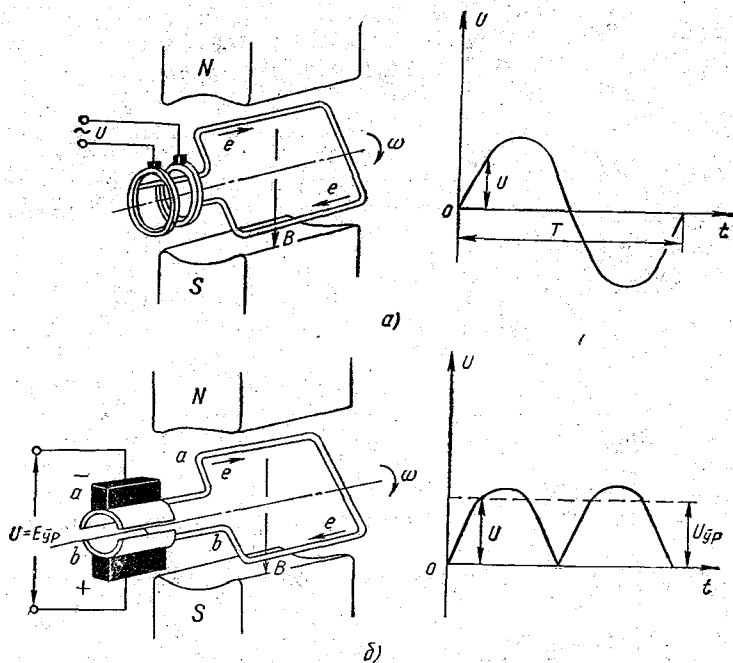
бу ерда c — ўзгармас коэффициент; n — якорнинг айланиш тезлиги, айл/мин; Φ — бош қутбларнинг магнит оқими, Вб.

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 тесқари 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 муурожаат қилайлик. 8.3-расм, а да рамка шаклидаги ўтказгич магнит майдонида айланганда унда қандай электр ҳодисалари рўй беришини кўриб чиқайлик. Рамканинг а ва б ўтказгичлари (яъни стерженлари) иккита ҳалқага бириктирилган бўлиб, а ўтказгич N қутбнинг, б ўтказгич S қутбнинг таъсирида турибди. Рамканинг айланиши мобайнида а ўтказгич S қутбнинг, б ўтказгич эса N қутбнинг таъсирига ўтади. Демак, ўтказгич қайси қутб таъсирида бўлса, у бириктирилган рамка ва чўтка ҳам шу қутб таъсирида бўлар экан. Расмдан 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 ишлатилган машина ўзгарувчан ток генераторидир.

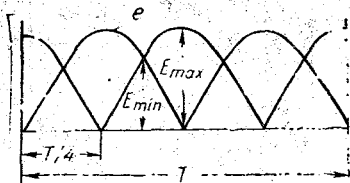
Энди юқоридаги схемани бироз ўзгартириб, рамканинг бошланиш ва охирини бир-биридан изоляция қилинган иккита ярим ҳалқага улаймиз (8.3-расм, б) ва машинанинг чўткала-



8.3- расм.

рида потенциаллар айирмасининг ўзгаришини кузатамиз. Рамканинг ярим айланиши давомида ҳар бир ўтказгичида ЭЮК, шунингдек тенг таъсир этувчи ЭЮК ҳам нолдан, максимал қийматгача ортади ва яна нолгача камаяди.

Биринчи ярим айланиш давомида қўзғалмас 1-чўтка остида N қутб таъсиридаги a ўтказгич бириктирилган ярим ҳалқа (яъни якорь) сирпанса, 2-чўтка остида эса S қутб таъсиридаги b ўтказгич бириктирилган ярим ҳалқа сирпанади. Иккинчи ярим айланиш давомида эса a ўтказгич N қутбнинг таъсиридан чиқиб, S қутбнинг таъсирига кира бошлайди. 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 пласгинкалари 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-



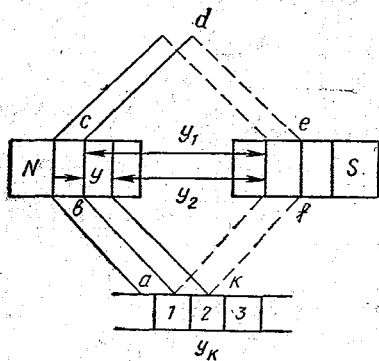
8.4- расм.

даги ўрамлар сони ва коллектор пластинкаларининг сони ортганда кучланишнинг пульсланиши қисман камаяр экан. Демак, чулғамнинг ўрамлар сонини ва коллектор пластинкаларининг сонини кўпайтириш йўли билан кучланишнинг пульсланишини камайитириш ва унинг доимий характерга эга бўлишини таъминлаш мумкин.

Демак, ўзгармас ток генератори аслида ўзгарувчан ток машинаси бўлиб, ундаги ўзгарувчан ЭЮК кейинчалик коллектор ёрдамида тўғриланиб, ташқи занжирга ўзгармас ток берилар экан. Бунда коллектор механик тўғрилагич вазифасини бажаради.

8.3. УЗГАРМАС ТОҚ МАШИНАСИНING ЧУЛҒАМЛАРИ

Дастлабки ўзгармас ток машиналарининг якори ҳалқа шаклида бўлиб, унга ҳалқасимон чулғам жойлаштирилган эди. Ҳалқасимон якорлар бир қанча камчиликларга эга бўлгани учун (чулғамни ташкил қилган ўтказгич узунлигининг ярмидан кўпи ЭЮК ҳосил қилишда қатнашмай, якор 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,



8.5- расм.

улар бирлаштирилганда ёпиқ занжир ҳосил бўлади ва уларда ҳосил бўладиган ЭЮК лар кўшилади.

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.

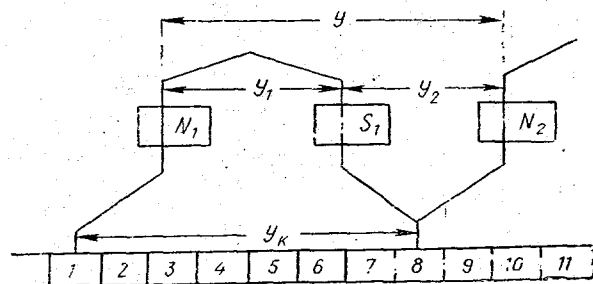
Якорь чулғамининг асосий элементи секциядир. Секция — чулғамининг схемаси "abcdefk" бўйлаб бир-бири билан кетма-кет келувчи иккита коллектор пластинкалари орасидаги чулғамнинг бир қисмидир. Ҳар бир секциянинг иккита актив томони бор бўлиб, якорь пазларининг ичига жойлаштирилгандир. Секциянинг актив томонлари якорнинг чеккасида ўзаро бирикади. Секция битта ёки бир нечта ўрамлардан иборат бўлиши мумкин. Демак, чулғам бир ёки икки қаватли бўлиши мумкин. Асосан, икки қаватли чулғам ишлатилади.

Секциянинг актив томони битта ўтказгичдан иборат бўлса, бундай чулғам стерженли чулғам дейилади. Агар секциянинг актив томони бир нечта ўтказгичдан иборат бўлса, бундай чулғам галтакли 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. Яқунловчи одим „ y “ элементар пазлар сони билан ўлчаниб, 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 қутб остида бўлган учинчи ўтказгичнинг боши билан бириктирилади ва ҳоказо. Шундай усулда бирлаштирил-



8.6- расм.

ган барча ўтказгичлар якорь айланаси бўйлаб тўлқин шаклида жойлашади. Тўлқинсимон чулғамда якунловчи одим $u = u_1 + u_2$ га тенг.

Коллекторнинг бўйлама одими коллектор пластинкалари орасидаги масофани кўрсатиб, u_k билан белгиланади. Умуман, $u_k = u$ бўлади.

8.4. ЯКОРДА ИНДУКЦИЯЛАНГАН ЭЮК

Ўзгармас ток машинасининг якори айланганида унинг чулғам ўрамлири кутбларнинг 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 кутбли машинанинг магнит системаси кўрсатилган.

Агар бир кутбнинг магнит оқимини Φ , кутблар жуфтнинг сонини p , якорьнинг диаметрини d ва узунлигини l деб белгиласак, у ҳолда якорь юзасига тўғри келган ўртача магнит индукция

$$B_{\text{ўр}} = \frac{\Phi p}{\pi \cdot d \cdot l}.$$

Якорь n [айл/мин] тезлик билан айланаётганда якорь чулғамининг ҳар бир стерженеида индукцияланган ЭЮК нинг ўртача қиймати:

$$E_{\text{ўр}} = B_{\text{ўр}} l v = \frac{\Phi p}{\pi d l} \cdot l \cdot \frac{\pi d n}{60} = p \Phi \frac{n}{60}.$$

Генераторнинг электр юритувчи кучи якорь чулғамининг битта параллел тармоғидаги тенг таъсир этувчи ЭЮК га тенг.

Агар якорь чулғамидаги умумий стерженлар сонини N деб, параллел тармоқлар сонини a орқали белгиласак, якорда индукцияланган ЭЮК:

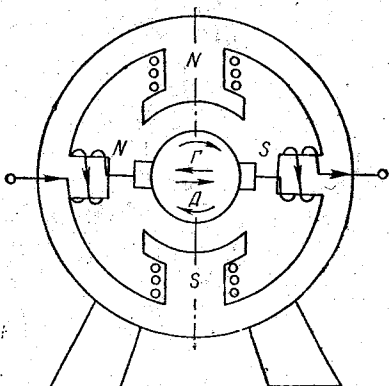
$$E = E_{\text{ўр}} \frac{N}{a} = \frac{N}{a} \cdot p \Phi \frac{n}{60} = \frac{PN}{60a} \cdot n \cdot \Phi = c \cdot n \cdot \Phi.$$

ёки

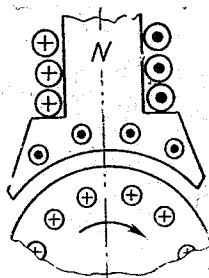
$$E = c \cdot n \cdot \Phi,$$

бў ерда: c — ўзгармас коэффициент бўлиб, машинанинг конструкциясига боғлиқ катталикларни ўз ичига олади.

Демак, p , N , a ларнинг қиймати ўзгармасдир. Φ нинг қийматини эса уйғоғиш чулғамидаги токни бошқариш йўли билан ўзгартириш мумкин. Бинобарин, машинанинг электр юритувчи кучи магнит оқим билан якорьнинг айланиш тезлигига пропорционалдир.



8.9- расм.



8.10- расм.

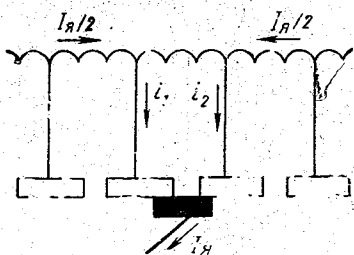
ўраладики, бунда унинг магнит майдони якорнинг магнит майдонига қарама-қарши йўналади.

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 бир-мунча 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 айланганда коллектор пластинкалари чўткага навбатма-навбат тегиб ўтади. Жуда қисқа вақт ичида чўтка коллекторнинг бир пластинкасида иккинчи пластинкасига ўтиши натижасида секциядаги ток $+ \frac{I_a}{2}$ дан $- \frac{I_a}{2}$ гача ўзгариши



8.11- расм.

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:

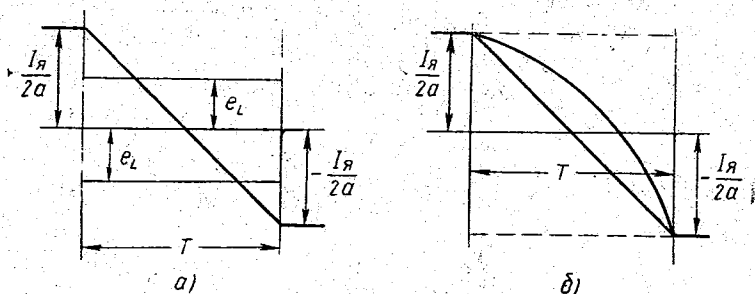
$$T = \frac{b_r}{v_k},$$

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 қаршилиқ орқали аниқланиши мумкин. Бу қаршилиқ *коммутация қаршилиги* дейилади. Бу ҳодиса якорь бирмунча секин айланганда содир бўлади.

Ўзиндукция ЭЮК e_L ни компенсация қилиш учун қўшимча қутблар ҳосил қилган коммутацияловчи ЭЮК e_k дан фойдаланилади. Бу қутбнинг чулғами якорга кетма-кет уланади.

Соф коммутация $e_L + e_k = 0$ бўлганда, яъни $e_k = e_L$ ни тўла компенсация қилганда содир бўлади. Коммутацияланувчи секциядаги ток $+\frac{I_я}{2}$ дан $-\frac{I_я}{2}$ гача (8.12- расм, а) ўзгаргани учун коммутация чизиқли ҳисобланади. Агар коммутация даврида



8.12- расм.

$e_L > e_k$ бўлса, ўзиндукция ЭЮК e_L токнинг ўзгаришини секинлаштиради. Шунинг учун коммутация даври ортиб, у секинлашган коммутация ҳисобланади (8.12- расм, б).

Коммутациянинг яхши кечиши (учқуннинг кам бўлиши) учун:

1. Чўтка ва коллекторнинг ҳолатини доимо кузатиб туриш керак.

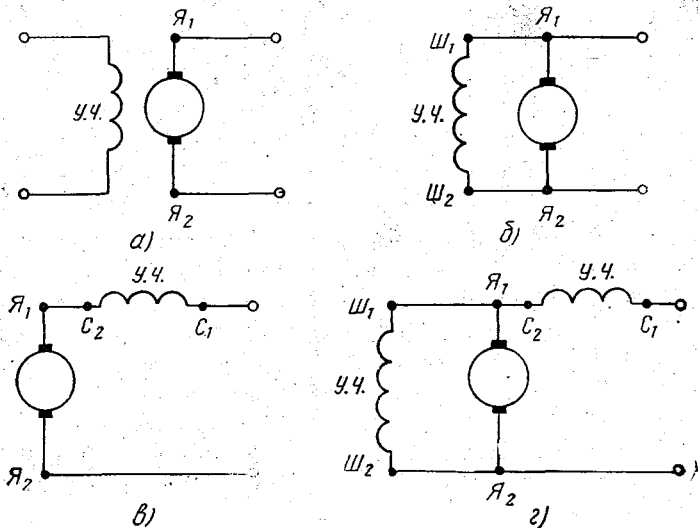
2. Қуввати 1 кВт дан юқори бўлган ўзгармас ток машиналарига қўшимча қутблар ўрнатиш керак.

3. Ана шундай ҳодисани кичик қувватли машиналарда ҳам ҳосил қилиш учун чўткани физик нейтрал ҳолатидан генераторларда якорнинг айланиш йўналиши бўйича, двигателда эса тескарисига буриш керак.

8.8. МАГНИТ МАЙДОНИНИ УЙҒОТИШ УСУЛИГА ҚУРА ЎЗГАРМАС ТОК ГЕНЕРАТОРЛАРИНИ ТАСНИФЛАШ

Ўзгармас ток генераторларининг хусусиятлари уларнинг уйғотиш схемасига қараб, яъни ток бош қутбнинг уйғотиш чулғамларига қандай юборилишига қараб турлича бўлади.

Ўзгармас ток генераторлари магнит майдонини уйғотиш усулига қараб, мустақил уйғотишли ва ўз-ўзидан уйғотишли бўлади. Мустақил уйғотишли генераторларнинг уйғотиш чулғамларига юбориладиган ток ташқи манба (аккумулятор батареяси ёки бошқа генератор) дан олинади (8.13- расм, а). Ўз-ўзидан уйғотишли генераторларнинг уйғотиш чулғамларига юбориладиган ток бевосита генераторнинг ўзидан (якоридан) олинади. Ўз-ўзидан уйғотишли генераторлар уч хил бўлади:



8.13- расм.

- а) параллел уйғотишли ёки шунт уйғотишли генераторлар;
- б) кетма-кет уйғотишли ёки серияс генераторлар;
- в) аралаш уйғотишли ёки компаунд генераторлар.

Параллел уйғотишли генераторларда уйғотиш чулғами якорь чулғамига параллел қилиб уланади (8.13-расм, б). Кетма-кет уйғотишли генераторларда эса уйғотиш чулғами якорь чулғамига кетма-кет уланади (8.13-расм, в). Аралаш уйғотишли генераторларнинг уйғотиш чулғами иккита бўлади. Улардан бири якорь чулғамига параллел, иккинчиси эса ташқи якорь шохобчасига кетма-кет қилиб уланади (8.13-расм, г). Агар ушбу генераторнинг параллел чулғамидан ўтувчи озгина ток ҳисобга олинмаса, кетма-кет уйғотиш чулғамини ҳам якорь чулғамига кетма-кет уланган, деб ҳисобласа бўлади.

8.9. УЗГАРМАС ТОҚ ГЕНЕРАТОРЛАРИНИНГ УЗ-ЎЗИДАН УЙҒОТИЛИШИ

Ўзгармас ток генераторларининг ўз-ўзидан уйғотиш занжирида ишлатиладиган қуввати жуда кичик (якорда истеъмол қилинадиган қувватнинг 3 ÷ 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

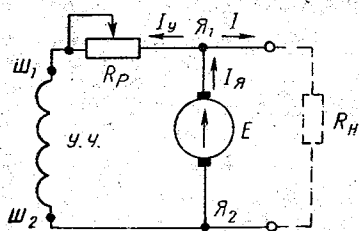
$$U_{я} = E - I_{я}R_{я} = U, \quad (8.3)$$

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

$$I_{я} = I + I_{у}. \quad (8.4)$$

Генератор нормал ишлаганида унинг уйғотиш чулғамидан ўтадиган токнинг миқдори:



$$I_{у} = \frac{U_{у}}{R_{у} + k_p} = \frac{U_{я}}{R_{у} + R_p}, \quad (8.5)$$

бу ерда $U_{у}$ — уйғотиш кучланиши (у якорь қисмаларидаги кучланишга тенг); $R_{у}$ — уйғотиш чулғамининг қаршилиги; R_p — ростлаш реостатининг қаршилиги.

Нагрузка бўлмаганида, яъни $I = 0$ да

$$I_{я} = I_{у}.$$

8.14- расм.

Уйғотиш токи якорнинг номинал токига нисбатан жуда оз бўлганлиги учун якорь кучланишининг пасайишини эътиборга олмаса ҳам бўлади, яъни $U_y \approx E = cn\Phi$ бўлади. Бунда

$$\Phi = \frac{I_y \omega_y}{R_m}. \quad (8.6)$$

Якорнинг айланиш тезлиги ўзгармас бўлганида якорь қисмаларидаги кучланиш уйғотиш токигагина боғлиқ бўлади, яъни

$$U_y = E = f(I_y). \quad (*)$$

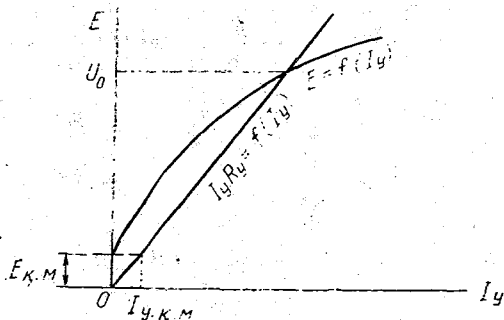
(8.7) ифодага мувофиқ уйғотиш токини ҳосил қилиш учун якорь қисмаларида кучланиш бўлиши керак. (*) ифодага кўра якорь қисмаларида кучланиш ҳосил қилиш учун уйғотиш токи бўлиши керак.

Дастлаб якорь бирламчи двигатель воситасида айлантирила бошлаганда уйғотиш токи ва уйғотиш токини ҳосил қилувчи якорь қисмаларида ҳеч қандай кучланиш бўлмайди. Шундай бўлса, машинада кучланиш ва ток қандай ҳосил бўлади? Бундай генераторда ЭЮК пайдо бўлиши ўз-ўзидан уйғотиш принципага асосланган.

Генератор ишлаши ёки ўз-ўзидан уйғониши учун унинг магнит системаси (қутблар ва станина) да қолдиқ магнетизм $\Phi_{к.м}$ бўлиши шарт. Машинада бундай қолдиқ магнетизм дастлаб заводнинг ўзида ташқи ток манбаи ёрдамида вужудга келтирилади. Қолдиқ магнетизм $\Phi_{к.м}$ якорь чулғамларида бироз бўлса ҳам ЭЮК $E_{к.м}$ ни индукциялайди (8.15-расм). Шу ЭЮК уйғотиш чулғамларида $I_{у.к.м}$ токини ҳосил қилади.

$$I_{у.к.м} = \frac{E_{к.м}}{R_x + R_y + R_p} = \frac{E_{к.м}}{r_y + R_p}, \quad (8.7)$$

бунда якорнинг қаршилиги эътиборга олинмайди, чунки у уйғотиш чулғамининг қаршилигига қараганда анча кичик бўлади. $I_{у.к.м}$ уйғотиш токи магнит майдонини ҳосил қилади. Ушбу магнит майдони қолдиқ магнетизмнинг магнит майдони 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.

чулгамларига уланган учларини алмаштириш керак.

Уйғотиш токини ҳосил қилувчи магнит майдони қолдиқ магнетизмнинг магнит майдони томон йўналган бўлса, жами магнит майдони ва индукцияланувчи ЭЮК оша боради. ЭЮК орта борган сари уйғотиш токи ҳам кучая боради. Бу жараён уйғотиш занжиридаги кучланиш индукцияланувчи ЭЮК ни мувозанатлагунга қадар давом этади (8.15-расмдаги a 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 учидagi кучланиш, якорь токи ва уйғотиш токи эса ўзгарувчан катталиклар ҳисобланади. Параллел уйғотишли ўзгармас ток генераторини текширганда унинг учта асосий характеристикаси олинади.

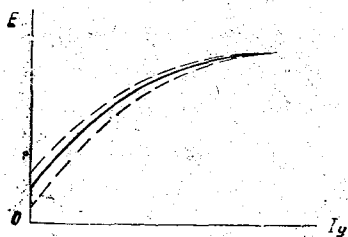
1. Салт ишлаш характеристикаси. Ушбу характеристика якорь қисмаларидаги кучланишнинг (якорнинг ташқи занжири очиқ бўлганда) уйғотиш токига қандай боғлиқ бўлишини кўрсатади. Бунда $I_a = 0$ ва $n = \text{const}$ бўлади. Салт ишлаш характеристикасининг аналитик ифодаси

$$U = f(I_y); \quad I_a = 0; \quad n = \text{const}.$$

~~$I_a = 0$ бўлганда $U = E$ бўлади, бинобарин $E = f(I_y)$ бўлади. $n = \text{const}$ бўлганлиги учун $E = cn\Phi$ формуласини $E = K\Phi$ кўринишида, $E = f(I_y)$ аналитик ифодани~~

$$\Phi = f(I_y \psi_y) \text{ ёки } B = f(H)$$

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.

Одагда, 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 кучланишнинг ростилаш қулайроқ.

Ташқи характеристика. Уйғотиш занжирининг қаршилиги ва айланиш тезлиги ўзгармас бўлганида генератор яқори қисмаларидаги кучланишнинг нагрузка токи билан қандай боғланганлигини кўрсатувчи эгри чизиқ ташқи характеристика бўлади:

$$U = f(I_a), \quad R_y = \text{const}, \quad n = \text{const}.$$

Параллел уйғотишли генераторнинг ташқи характеристикасини олишда уйғотиш занжирининг қаршилиги $R_y = \text{const}$ бўлади. Нагрузка токи I ортганда якордаги ток I_a ҳам ортади. Бу эса якордаги кучланиш пасайиши ($I_a R_a$) ҳамда якорь реакцияси туфайли якорь қисмаларидаги кучланишнинг пасайишига сабаб бўлади. Демак, уйғотиш токи

$$I_y = \frac{U}{R_y} \quad (8.8)$$

камаяди. Бу эса магнит оқими

$$\Phi = \frac{I_y \omega_y}{R_m} \quad (8.9)$$

нинг ҳамда индукцияланувчи ЭЮК

$$E = c\Phi n$$

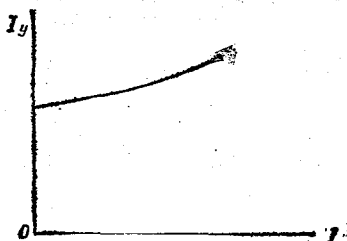
ва якорь қисмаларидаги кучланиш

$$U = E - I_a R_a$$

нинг камайишига сабаб бўлади.

Шундай қилиб, параллел уйғотишли генератор кучланишнинг пасайишига таъсир кўрсатувчи сабаблар қуйидагилардан иборат:

Ўзгармас ток генератори са-
ноат қурилмаларининг (электролиз
ва гальваник қурилмалар) паст
кучланишли ўзгармас ток истеъмол
қиладиган манбалари ҳисобланади.
Ундан синхрон генераторнинг уй-
ғоткичи сифатида ҳам фойдалани-
лади. Айниқса, махсус ўзгармас
ток генераторлари (пайвандлаш-
да, поездларни ёритиш учун иш-
латиладиган генераторлар, ўзгар-
мас ток кучайтиргичлари, акку-
муляторларни зарядлаш учун генераторлар) кенг тарқалган.



8.18- расм.

8.11. КЕТМА-КЕТ УЙҒОТИШЛИ ГЕНЕРАТОР

Кетма-кет уйғотишли генераторда магнит оқими ҳосил қи-
лиш учун нағрузка 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 нағрузка токига тенг бўлади,
яъни:

$$I_{я} = I_y = I.$$

Демак, генераторни фақат нағрузка бўлган ҳолдагина уй-
ғотиш мумкин. Шунинг учун бундай генераторларнинг салт
ишлаш характеристикасини олиб бўлмайди. Генераторда нағ-
рузка 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 па-
сайиши миқдорича кичик бўлади:

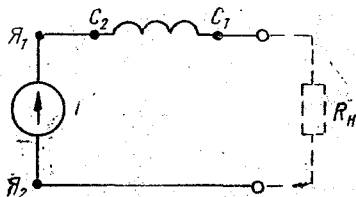
$$U = E - I_{я}(R_{я} + R_y) \quad (8.12)$$

бунда

$$E = c\Phi n;$$

$$\Phi = \frac{I_y w_y}{K_m}.$$

Кучланишнинг нағрузкага қа-
раб ўзгариши ферромагнит ма-
териалларнинг магнитланиш қо-
нунига яқин бўлади, чунки маг-
нит оқими Φ нинг уйғотиш
токи I_y га қараб ўзгариши маг-
нитланиш характеристикаси $B =$
 $= f(H)$ дан иборат.



8.19- расм.

Нагрузка токи ортиши билан магнит оқими кўпаяди, кучланиш ортали. 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.

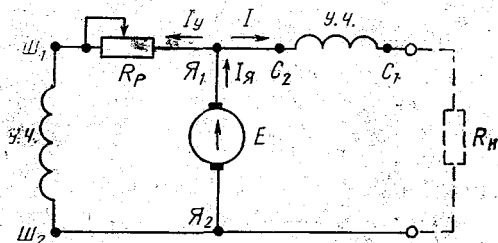
8.12. АРАЛАШ УЙҒОТИШЛИ ГЕНЕРАТОР

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 сўсайтиради, 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.

$$U = f(I); \quad R_{\text{пар. у}} = \text{const}; \quad n = \text{const}.$$

Нагрузка токини кўпайтирганда якорь токи ортади, бунда якорь занжиридаги кучланиш кўпроқ пасаяди, у

$$I_{я}R_{я} + IR_{у\text{кк}}$$

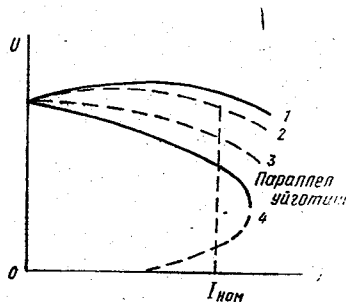
га тенг бўлади. Шунингдек, ЭЮК ни камайтирувчи якорь реакциясининг магнитсизланиш таъсири кўпаяди. Бу эса генератор қисмаларидаги кучланишни камайтиради:

$$U = E - I_{я}R_{я} - IR_{у}$$

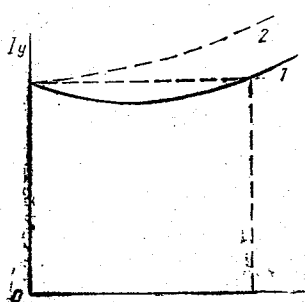
Аммо шу билан бирга тенг таъсир этувчи магнит оқими кўпаяди, чунки кетма-кет уйғотиш чулғамидан ўтган нагрузка токи қўшимча магнит юритувчи куч ҳосил қилади. Бу эса генератор қисмаларидаги кучланишни кўтареди. Кетма-кет уланган чулғамнинг ўрамлар сонига қараб кучланиш кўпроқ ёки озроқ кўтарилади (8.21-расм). 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 шаройтига дуч келганда шундай характеристика зарурдир.

Ростлаш характеристикаси. Генератор қисмаларидаги кучланишни ўзгармайдиган қилиб сақлаш учун параллел уйғотишли генератордаги ЭЮК ни ўзгартиш лозим. Бу параллел уйғотиш чулғамидаги токни ўзгартиш йўли билан бажарилади. Кучланиш ўзгармай туриши учун уйғотиш токини қандай ўзгартиш лозимлигини кўрсатувчи эгри чизиқ ростлаш характеристикаси деб аталади:



8.21- расм.



8.22- расм.

$$U = \text{const}; \quad n = \text{const}; \quad I_y = f(I).$$

Нагрузка ўзгарганда параллел уйғотишли генератордагига қараганда аралаш уйғотишли генераторда кучланиш камроқ пасайганлиги учун аралаш уйғотишли генераторларда уйғотиш токи камроқ ўзгартирилади (8.22-расм).

8.13. УЗГАРМАС ТОК ДВИГАТЕЛЛАРИ

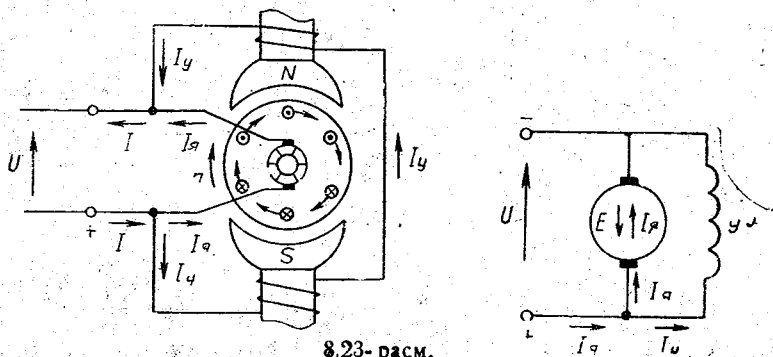
Ўзгармас ток электр машиналари бошқа электр машиналари каби қайтувчанлик хусусиятига эга бўлиб, ҳам генератор, ҳам двигатель режимларида ишлай олади. Шунинг учун двигателнинг тузилиши ўзгармас ток генераторининг тузилишидан фарқ қилмайди. Генераторга ўхшаб двигателлар ҳам уйғотиш чулғамининг якорга улаиш 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 кёракки, 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 айлантурувчи моментни юзага келтиради:

$$M = k\Phi I_a.$$



8.23-расм.

Натижада якорь айлана бошлайди. Электромагнит момент M валнинг қаршилиқ momenti M_k 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 қويدасидан фойдаланиб, ҳар бир ўрамда индукцияланган бу ЭЮК нинг ундан ўтаётган токка тескари йўналганлигига ишонч ҳосил қилиш мумкин.

Демак, якорь чулғамида индукцияланган ЭЮК унга берилган ташқи кучланишга қарама-қарши йўналган. Шунинг учун бу ЭЮК тескари ЭЮК (E_T) номини олган.

Кучланиш U ва E_T нинг қарама-қарши йўналганлигини ҳисобга олиб, якорь занжиридаги ток учун қуйидаги ифодани ёзиш мумкин:

$$I_a = \frac{U - E_T}{R_a} = \frac{U - c\Phi n}{R_a}$$

ёки

$$U = E + I_a R_a.$$

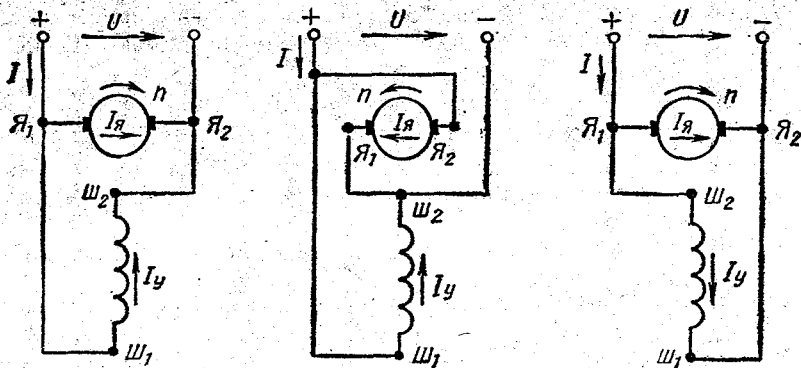
Двигатель қисмаларига берилган кучланиш U тескари ЭЮК ни ва кучланишнинг якорь чулғамининг қаршилиғи R_a даги пасаювини компенсация қилади. Двигатель нормал ишлаганда $I_a R_a$ нинг қиймати нисбатан кичик ва тескари ЭЮК тармоқ кучланиши U нинг 90—95% ни ташқил этади.

Параллел уйғотишли двигательнинг тармоқдан истеъмол қилаётган токи якорь ва уйғотиш чулғамларидан ўтаётган тоқларнинг йиғиндисига тенг, яъни $I = I_a + I_y$.

Двигателни ишга тушириш. Ўзгармас ток двигателининг якоридаги ток

$$I_a = \frac{U - E_T}{R_a} = \frac{U - c\Phi n}{R_a}$$

формула билан ифодаланган эди. Агар двигательни кучланиши U оўлган тармоққа уласак, ишга туширишнинг бошланғич лаҳзасида якорь ўзининг тинч ҳолатдаги инерциясини сақлаши ($n=0$) туфайли $E_T=0$ бўлиб, двигательнинг токи якорьнинг қаршилиғи билан чекланади, яъни $I_{и.т} = I_{к.т} = \frac{U}{R_a}$. Бу ток якорьнинг қисқа туташуш токи $I_{к.т}$ ҳам дейилади. U (18—20) $I_{а ном}$ 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). U ҳолда ишга туширишнинг бошланғич лаҳзасида якорьдаги ток $I_a = U/(R_a + R_{и.т})$. Ишга тушириш вақти қисқа бўлиши учун ишга тушириш тоқининг жоиз қиймати $I_{и.т} = (1,5 - 2) I_{а ном}$ бўлиши керак. Шу билан бир вақтда, ишга тушириш momenti $M_{и.т}$ ҳам номинал момент $M_{ном}$ дан 1,5÷2 марта катта бўлади. Двигательнинг айлануш тезлиги орта борган сари тескари ЭЮК E_T нинг ҳам



8.24- расм.

қиймати орта бориб, якордаги ток ва айлантурувчи момент камайа боради. Айлантурувчи моментни бир меъёрда ушлаб туриш учун ишга тушириш реостатининг қаршилиги бир текис камайтира борилади ва двигатель номинал тезликка эришганда ($R_{н.т} = 0$ да) якорь занжиридан узиб қўйилади. Демак, двигательни ҳар гал тармоқдан ажратганда ишга тушириш реостатини қайта бошланғич ҳолатга келтириб қўйиш керак.

Двигателнинг ўз-ўзидан ростланиш принципи. Двигателнинг ўз-ўзидан ростланиш принципини тушунтириш учун якорь занжирдаги ток формуласига мурожаат қиламиз:

$$I_{я} = \frac{U - E_{т}}{R_{я}} = \frac{U - c\Phi n}{R_{я}}$$

Агар қаршилиқ momenti $M_{к}$ ортса, двигательнинг айланиш тезлиги n ва тескари ЭЮК $E_{т} = c\Phi n$ камайди. Натижада якорь токи $I_{я}$ ва у билан биргаликда айлантурувчи момент $M = k\Phi I_{я}$ янги қаршилиқ momenti билан тенглашгунча ортади. Аксинча, қаршилиқ momenti $M_{к}$ камайса, двигательнинг тезлиги ва у билан биргаликда тескари ЭЮК $E_{т}$ ортади, натижада якорь токи $I_{я}$ ва айлантурувчи момент M янги қаршилиқ momenti $M_{к}$ билан тенглашгунга қадар камайди. Демак, ўзгармас ток двигатели нагрузка ўзгарганда ташқи таъсирсиз ўз-ўзидан ростланиш хусусиятига эга экан. Бу жараённи қуйидагича ифода-лаш ҳам мумкин:

$$\rightarrow M_{к} \uparrow \rightarrow n \downarrow \rightarrow E_{т} \downarrow \rightarrow I_{я} \uparrow \rightarrow M \uparrow \leftarrow$$

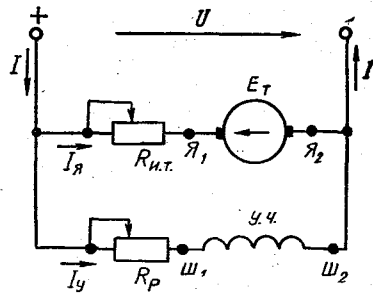
ёки

$$\rightarrow M_{к} \downarrow \rightarrow n \uparrow \rightarrow E_{т} \uparrow \rightarrow I_{я} \downarrow \rightarrow M \downarrow \leftarrow$$

Двигателни реверслаш. Ўзгармас ток двигателининг айланиш йўналишини ўзгартириш (реверслаш) учун якорь ёки уйғотиш занжирдаги 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-рasm, *a* да ўзгармас ток двигателининг чулғамларини улашнинг принципиал схемаси (реверслагунга қадар), 8.25-рasm, *б* ва *в* ларда эса двигателнинг айланиш йўналишини ўзгартиришнинг схемалари кўрсатилган.



8.25-рasm.

Двигателнинг айланиш тезлиги. Двигателнинг якорь токи формуласи $I_я = \frac{U - E_T}{R_я} = \frac{U - c\Phi n}{R_я}$ дан унинг айланиш тезлигини ифодаловчи формула

$$n = \frac{U - I_я R_я}{c\Phi} = \frac{E}{c\Phi} \quad (8.14)$$

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_y нинг $\Phi = I_y \omega_y / R_m$ боғланишини ҳисобга олсак, двигателнинг айланиш тезлиги уйғотиш занжирининг параметрларига боғлиқ бўлади. Одатда, двигатель учун W_y ва R_m лар ўзгармас бўлгани учун унинг айланиш тезлиги уйғотиш токигагина боғлиқ бўлади.

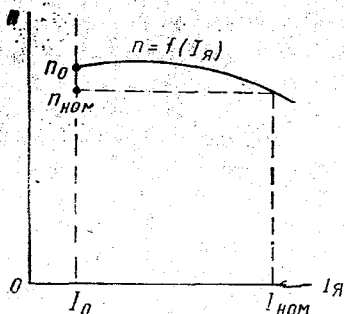
8.14. ПАРАЛЛЕЛ УЙҒОТИШЛИ ЎЗГАРМАС ТОК ДВИГАТЕЛИНИНГ ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

Параллел уйғотишли ўзгармас ток двигателининг хусусиятларини бағафсил 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 $n = f(I_y)$

Двигателнинг айланиш тезлиги ва магнит оқими формулаларига мувожаат қиламиз:

$$n = \frac{U - I_я R_я}{c\Phi} = \frac{E}{c\Phi}; \quad \Phi = \frac{I_y \omega_y}{R_m}$$



8.26- расм.

Ушбу ифодалардан кўришиб турибдики, двигателнинг айланиш тезлиги магнит оқими Φ га, у эса ўз навбатида, уйғотиш токи I_y га боғлиқ. Уйғотиш токининг дастлабки қийматларида машинанинг магнит системаси тўйинмаган бўлиб, магнит оқими уйғотиш токига тўғри пропорционалдир.

Агар уйғотиш токи кучли бўлса, машинанинг магнит системаси тўйинган бўлади ва уйғотиш токининг бундан кейинги

ортиши магнит оқимини янада камайтиради. Магнит тўйиниши туфайли $n = f(I_y)$ кучли уйғотиш токларида абсцисса ўқига деярли параллел ҳолда бўлади. $n = f(I_y)$ гиперболик характерга эга. Двигателнинг салт ишлаш характеристикаси 8.26-расмда кўрсатилган.

Характеристикадан кўришиб турибдики, двигателнинг тезлигини кенг доирада бошқариш мумкин. Бу режимда уйғотиш занжирининг ишончлилигига алоҳида эътибор бериш керак. Чунки двигатель ишлаётганда уйғотиш занжирида узилиш содир бўлса, $I_y = 0$ ва у билан боғлиқ магнит оқими Φ ва тескари ЭЮК E_r ҳам нолга тенглашиб, двигатель учун хавfli бўлган ўта катта айлантирувчи момент юзага келади.

Ташқи (юкланиш) характеристикаси уйғотиш токи (аниқроғи $R_p = \text{const}$) ва кучланиш ўзгармас бўлганда, двигатель айланиш тезлигининг якорь токига боғлиқлигини кўрсатувчи эгри чизиқдир. Бинобарин, $I_y = \text{const}$ ($R_p = \text{const}$), $U = U_{\text{ном}} = \text{const}$ бўлганда $n = f(I_a)$.

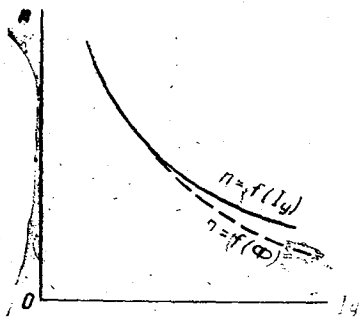
Юкланиш ўзгарганда якорнинг айланиш тезлиги қандай ўзгаришини кўриш учун двигателнинг айланиш тезлигини ифодаловчи формулага мурожаат қиламиз:

$$n = \frac{U - I_a R_a}{c\Phi}$$

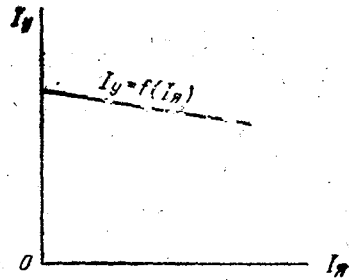
Ушбу ифодадан кўринадики, юкланиш ортиши билан якордаги кучланишнинг пасаюви ($I_a R_a$) ортади. Бу эса якорнинг айланиш тезлигини камайтиради, шунингдек якорь реакциясининг ортишига сабаб бўлади. Натижада тенг таъсир этувчи магнит оқими бироз камайиб, двигателнинг тезлиги ортади. 8.27-расмда двигателнинг ташқи характеристикаси кўрсатилган.

Якордаги кучланишнинг пасаюви якорь реакциясининг магнитсизлаш таъсиридан кучли бўлгани учун двигателнинг айланиш тезлиги бироз камаяди. Айланиш тезлигининг ўзгариши қуйидагича аниқланади:

$$\Delta n \% = \frac{n_0 - n_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} \cdot 100$$



8.27- расм.



8.28- расм.

бу ерда $n_{\text{ном}}$ — двигателнинг номинал нагрузка билан айланиш тезлиги; n_0 — двигателнинг салт ишлашдаги айланиш тезлиги.

Параллел уйғотишли двигателларда $\Delta n = (2 \div 5)\%$ ни ташкил этади. Нагрузка ўзгарганда айланиш тезлигининг озгина қийматга ўзгариши, параллел уйғотишли двигателнинг ўзига хос хусусияти бўлиб, унинг характеристикаси „қаттиқ“ ҳисобланади.

Ростлаш характеристикаси двигателнинг айланиш тезлиги ва тармоқ кучланиши ўзгармас бўлганда уйғотиш токининг якорь токига боғлиқлигидир, яъни $n = \text{const}$, $U = \text{const}$ бўлганда $I_y = f(I_a)$.

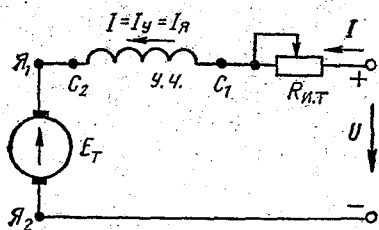
Ушбу характеристика (8.28- расм) двигателнинг салт ишлашидан то номинал нагрузкагача бўлган оралиқда унинг айланиш тезлиги ўзгармас бўлишини таъминлаш учун уйғотиш токини қай даражада ўзгартириш кераклигини кўрсатади. Ҳақиқатан ҳам, нагрузка ортганда двигателнинг айланиш тезлиги камайди, аммо $n = \text{const}$ шартини бажариш учун магнит оқими Φ ни, яъни уни ҳосил қилувчи уйғотиш токи I_y ни бироз камайтириш керак бўлади.

8.15. КЕТМА-КЕТ УЙҒОТИШЛИ ЎЗГАРМАС ТОК ДВИГАТЕЛИНИНГ ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

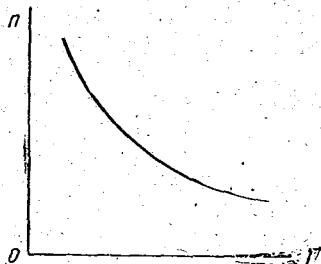
Кетма-кет уйғотишли ўзгармас ток двигателида уйғотиш чулғами билан якорь чулғами ўзаро кетма-кет улангани учун $I_y = I_a = I$ бўлади. Барча ток уйғотиш чулғамидан ўтганлиги учун унинг кесими катта ва ўрамлари сони оз бўлади.

Двигатель салт ишлаганда ёки нагрузка кам бўлганда унинг тармоқдан истеъмол қиладиган токи I_y ва у ҳосил қиладиган мистит оқими Φ кичик бўлади:

$$n = \frac{E}{c\Phi} = \frac{U - I_a(R_a + R_y)}{c\Phi}$$



8.29- расм.



8.30- расм.

Бунда двигателнинг айланиш тезлиги номиналдагидан 3 — 4 марта ортиқ бўлади. Шунинг учун бундай двигателни юксиз ишлатиш ва ўзгарувчан нагруккага улаш мумкин эмас.

Кетма-кет уйғотишли двигателнинг электр тармоғига улаш схемаси 8.29- расмда кўрсатилган.

Уйғотиш токи нагрукка токига тенг $I_y = I_a$ бўлгани учун мазкур двигателнинг салт ишлаш ва ростлаш характеристикаларини олиб бўлмайди. Фақат $U = \text{const}$ бўлганда ташқи характеристикаси $n = f(I_y)$ ни олиш мумкин. Бу боғланиш қуйидаги формула билан ифодаланади:

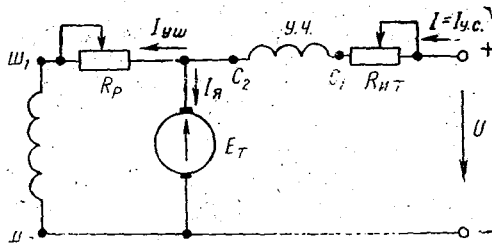
$$n = \frac{U - I_a(R_a + R_y)}{c\Phi}; \quad \Phi = f(I_y) = f(I).$$

Демак, нагрукка токи ортиши билан магнит оқими Φ ортади, тезлик эса камаяди. Бу боғланиш машинанинг магнит системаси тўйинмаган ҳолатда параллел уйғотишли двигателни кига ўхшаш бўлиб, гиперболикдир. Двигателнинг ташқи характеристикаси 8.30- расмда кўрсатилган. Катта нагруккада машинанинг магнит системаси тўйинган бўлиб, магнит оқими Φ нинг ва айланиш тезлиги n нинг ўзгариши кам бўлганидан характеристика абсциссалар ўқиға деярли параллелдир.

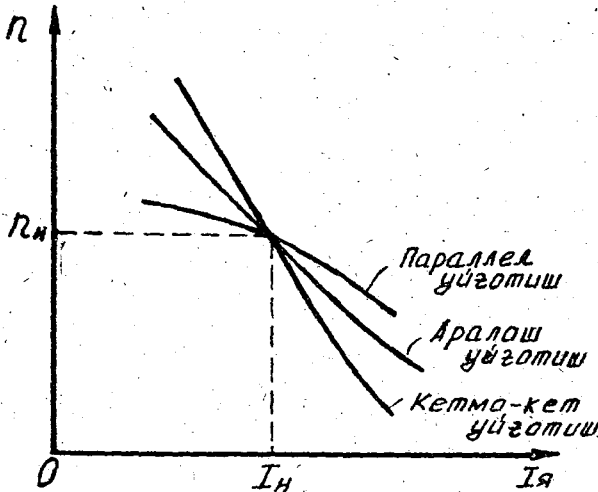
Кетма-кет уйғотишли двигателлар характеристикасининг „юмшоқ“лиги билан ажралиб туради. Бу двигателлар кўпроқ электр транспортда ва кранларда ишлатилади.

8.16. АРАЛАШ УЙЎТИШЛИ ЎЗГАРМАС ТОК ДВИГАТЕЛИНИНГ ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

Бундай двигателларда иккита уйғотиш чулғами бўлиб, улардан бири якорға кетма-кет уланса, иккинчиси параллел уланади. Мазкур двигателнинг принцинал 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. U ҳолда двигатель параллел уйғотишли двигательнинг салт ишлаш характеристикасидан фарқ қилмайди.

Ташқи (юкланиш) характеристикаси кучланиш ва параллел уйғотиш занжиридаги ток $I_{у.ш}$ (аниқроғи, шу занжирдаги ростлаш реостатининг қаршилиги R_p) 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:

$$n = \frac{E}{c\Phi} = \frac{U - I_я(R_я + R_c)}{c(\Phi_ш + \Phi_c)} \quad (8.15)$$

$$\Phi_ш = \frac{I_{у.ш} w_m}{R_m}; \quad \Phi_c = \frac{I_я c w_c}{R_m}$$

бу ерда $\Phi_{ш}$ ва Φ_c — тегишлича параллел (шунтли) ва кетма-кет (сериесли) чулғамнинг ҳосил қилган магнит оқими.

Нагрузка ортганда якорь токи ва кетма-кет уйғотиш чулғамининг токи ($I_{кк.} = I_{у.с}$ ва u билан биргаликда Φ_c ҳам) ортиб, двигателнинг айланиш тезлиги камаяди. Двигателнинг ташқи характеристикаси 832-расмда кўрсатилган.

Ростлаш характеристикаси. Ушбу характеристика двигателнинг айланиш тезлигини ростлаш керак бўлган жойлардагина ишлатилади. Шунинг учун мазкур двигателнинг ростлаш характеристикаси олинмайди.

Аралаш уйғотишли двигателлар электр поездларда, компрессорларда, насосларда, йўниш дастгоҳларида, прокат станларида, умуман катта момент ва тезланиш керак бўлган жойларда ишлатилади.

8.17. УЗГАРМАС ТОК ДВИГАТЕЛЛАРИНИНГ НОМИНАЛ КАТТАЛИКЛАРИ ВА ФИК

Бундай двигателнинг номинал катталикларига қуйидагилар киради:

$P_{ном}$ — номинал қувват, кВт;

$U_{ном}$ — номинал кучланиш, В;

$I_{ном}$ — номинал ток, А;

$n_{ном}$ — номинал айланиш тезлиги, айл/мин.

Номинал қувват $P_{ном}$ двигателни ишлаб чиқарган завод томонидан нормал шароитлар учун белгиланади. Двигателнинг ҳақиқий қуввати унинг валидаги қаршилик momenti билан аниқланади.

Двигателнинг қуввати P (кВт), айлантирувчи momenti ($H \cdot m$) ва айланиш тезлиги (айл/мин) ўзаро қуйидагича боғланган:

$$P_m = \frac{M \cdot n}{9550} \quad (8.16)$$

Двигатель ишлаганда қуйидаги қувват исрофлари бўлади: якорь чулғамидagi қувват исрофи ($\Delta P_a = I_a^2 R_a$; уйғотиш занширидаги қувват исрофи ($\Delta P_y = I_y^2 R_y$); магнит майдони ҳосил қилишдаги (пўлатдаги) қувват исрофи (ΔP_n); 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

$$P_0 = P_m + \sum \Delta P = P + \Delta P_a + \Delta P_y + \Delta P_n + \Delta P_{мех}.$$

У ҳолда двигателнинг фойдали иши коэффициенти қуйидагича ифодаланади:

$$\eta = \frac{P_a}{P_0} \cdot 100\% = \frac{P_m}{P + \sum \Delta P} \cdot 100\%.$$

Умуман, ўзгармас ток машинасининг қуввати орган сарм унинг фойдали иш коэффициенти ҳам ортади. Ута кичик қувватли машиналарнинг ФЭИК 30 — 40% бўлса, катта қувватлилариники 83÷96 атрофидадир.

9-бо б. АСИНХРОН МАШИНАЛАР

Асинхрон машина ўзгарувчан ток машинаси бўлиб, унинг ишлаш принципи айланувчан магнит майдони ҳодисасига асослангандир. Асинхрон машиналар ҳам генератор, ҳам двигател сифатида ишлатилиши мумкин.

Асинхрон двигателнинг тузилиши оддий, ишлатиш қулай, энергетик ва механик характеристикалари яхши бўлгани учун саноатда ишлатилаётган электр двигателларининг 80 фоиздан 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.

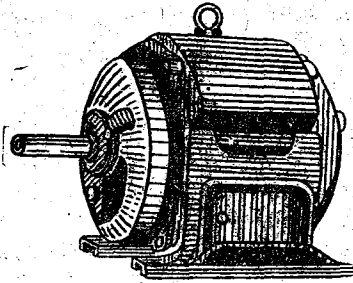
Бир фазали асинхрон двигателларнинг қуввати, одатда 0,5 кВт дан ошмайди. Ундан автоматик бошқариш системаларида, турли асбобларнинг электр юритмаларида, уй-рўзгор машиналарида фойдаланилади. Кичик қувватли асинхрон машиналар валларнинг айланиш тезликларини ўлчашда генератор (тахогенератор) сифатида ҳам ишлатилади.

Асинхрон машиналар частота ўзгартиргич, кучланиш ўзгартиргич ва фаза ўзгартиргич сифатида ҳам кенг қўлланади.

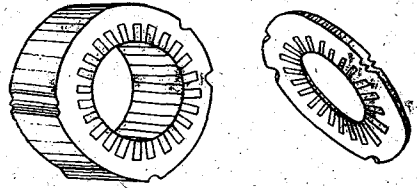
9.1. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ТУЗИЛИШИ

Барча электр машиналари каби асинхрон двигателлар ҳам икки асосий қисм; қўзғалмас қисм статор ва қўзғалувчан (айланувчи) қисм: ротордан иборат.

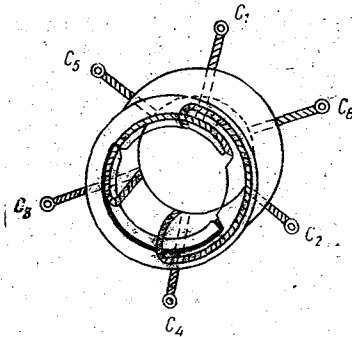
Статор станина, пулат узак ва статорнинг пазларига жойлаштирилган уч фазали чулғамлардан иборат. Станина чуяндан ёки алюминийдан цилиндрсимон шаклда ясалган бўлиб, унинг ичига статорнинг пулат узаги маҳкамланади. Шунингдек, станина машинани ташқи механик таъсирлардан сақлаш учун ҳам хизмат қилади. Станинада статор чулғамларини электр энергия манбаига улаш учун шу чулғамларнинг учлари чиқарилган „клеммалар қутчаси“ бор. Асинхрон двигател ишлаётганида уни яхшироқ совитиш мақсадида станина қобирғали қилиб ясалади. Чуяндан қуйилган станинали электр



9.1- расм.



9.2- расм.

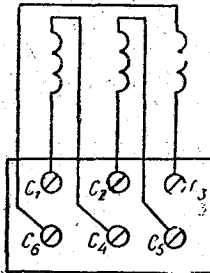


9.3- расм.

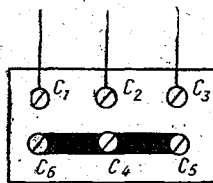
Машиналар кўтариш учун мўлжалланган винтли илгакка эга бўлади (9.1- расм).

Статорнинг цилиндрсимон пўлат ўзаги қалинлиги 0,35 ёки 0,5 мм ли, ўзаро махсус ток билан (трансформатор ўзаги каби) изоляцияланган электротехник пўлат пластиналар тўпламидан иборат. Статор пўлат ўзагининг ички сиртида статор узунлиги бўйича четган пазларга статор чулғамлари жойлаштирилган (9.2- расм).

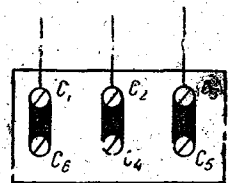
Статор чулғами изоляцияланган мис симлардан ясалган бўлиб, статор пазларига $2\pi/3$ бурчак остида жойлаштирилади (9.3- расм). Чулғамларнинг бош ва охири учлари юқорида айтилгандек, „клеммалар қутчасига“ чиқарилган бўлади. 9.4- расм, а — в да чулғамларнинг уланиши кўрсатилган. Чулғам учларининг очиқ қолдирилиши уни тармоқ кучланишининг қийматига қараб „юлдуз“ ёки „учбурчак“ схемада улашга имкон беради.



а)

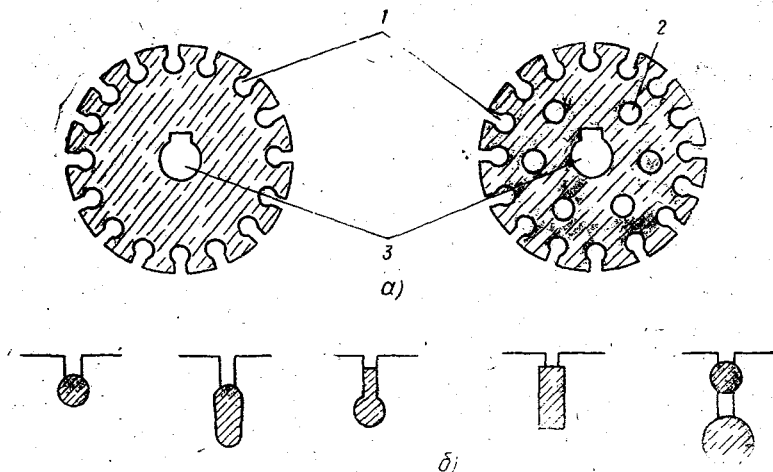


б)



в)

9.4- расм.



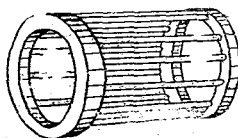
9.5- расм.

Ротор двигателнинг айланиш ўқиға маҳкамланган бўлиб, унинг нўлат 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, *a* ва *b*), уларнинг конфигурацияси турлича бўлиши мумкин. Пўлат ўзак двигателнинг ўқиға маҳкамланади. Пўлат ўзак пластинкаларидаги пазлар ротор ариқчаларини ташкил этиб, унга ротор чулғамлари жойлаштирилади. Асинхрон двигателлар ротор чулғамларининг тузилишига қараб иккига бўлинади, двигателнинг номига эса шу чулғам номи қўшиб айтилади.

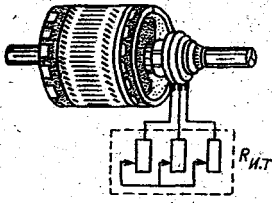
Агар пўлат ўзак ариқчаларига алюминийдан ясалган стерженлар жойлаштирилиб, уларнинг учлари алюминий ҳалқалар билан бириктирилса, бундай ротор чулғамлари қисқа туташтирилган ротор дейилади (9.6- расм). Бундай двигатель эса қисқа туташтирилган роторли асинхрон двигатель деб номланади. Иссиқ шароитларда ишлатиладиган двигателларнинг совитилишини яхшилаш мақсадида ротор ўқиға шамоллатиш парракчалари ўрнатилади. Қуввати 100 кВт гача бўлган қисқа туташтирилган роторли асинхрон двигателларнинг ротор (чулғамлари) стерженлари алюминийдан қуйиб тайёрланади. Ротор стерженлари (чулғамлари) ўзаксиз ҳолда „олмаҳон филдираги“ (9.7- расм) кўринишига эга.



9.6- расм.



9.7- расм.



9.8- расм.

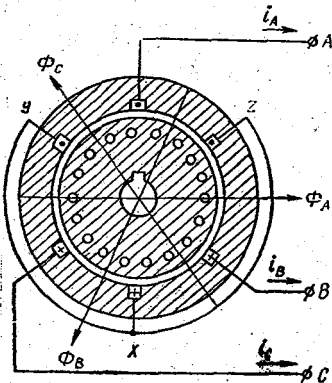
Ёрдамида двигателдан ташқарига ўрнагилган уч фазали юргизиш реостати билан бириктирилади (9.8- расм). Юргизиш реостати $R_{юр}$ двигатель ишлаганда ротор чулғамининг қаршилигини ва шу билан биргаликда ротор токини бошқариш учун хизмат қилади.

9.2. УЧ ФАЗАЛИ ТОК СИСТЕМАСИ ЁРДАМИДА АЙЛАНУВЧАН МАГНИТ МАЙДОНИНИНГ ҲОСИЛ БЎЛИШИ

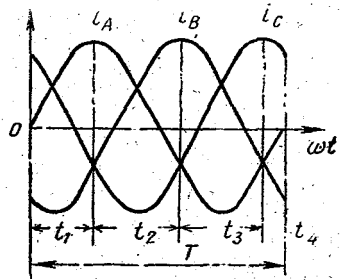
Айланувчан магнит майдоннинг ҳосил бўлишини статорнинг пазларига уч фазали чулғам жойлаштирилган асинхрон машинаси мисолида кўриб чиқамиз. 9.9- расмда асинхрон двигателнинг уч фазали чулғами яқка чулғам сифатида кўрсатилган.

Агар статор чулғами уч фазали кучланиш манбаига уланса, чулғам орқали уч фазали ток ўта бошлайди (9.10- расм):

$$\begin{aligned} i_A &= I_m \sin \omega t; \\ i_B &= I_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right); \\ i_C &= I_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right). \end{aligned} \quad (9.1)$$



9.9- расм.



9.10- расм.

Ҳар бир чулғамдан ўтаётган ток вақт бўйича синусоидал 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 тоқларнинг 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 тоқлари ҳосил қилган МЮК ларнинг қийматлари: $F_A = F_m$, $F_B = F_C = -\frac{F_m}{2}$.

Фаза чулғамларида ҳосил бўлган МЮК нинг йўналиши ўн қўл қондаси бўйича аниқланади. 9.11-расм, *a* да магнит майдонининг $t = t_1$ вақтдаги йўналиши кўрсатилган. Уч фазали ток ҳосил қилган умумий МЮК нинг қиймати ҳар бир фаза тоқлари ҳосил қилган МЮК ларнинг геометрик йиғиндисига тенг, яъни

$$\vec{F}_z = \vec{F}_A + \vec{F}_B + \vec{F}_C = \frac{3}{2} \vec{F}_m.$$

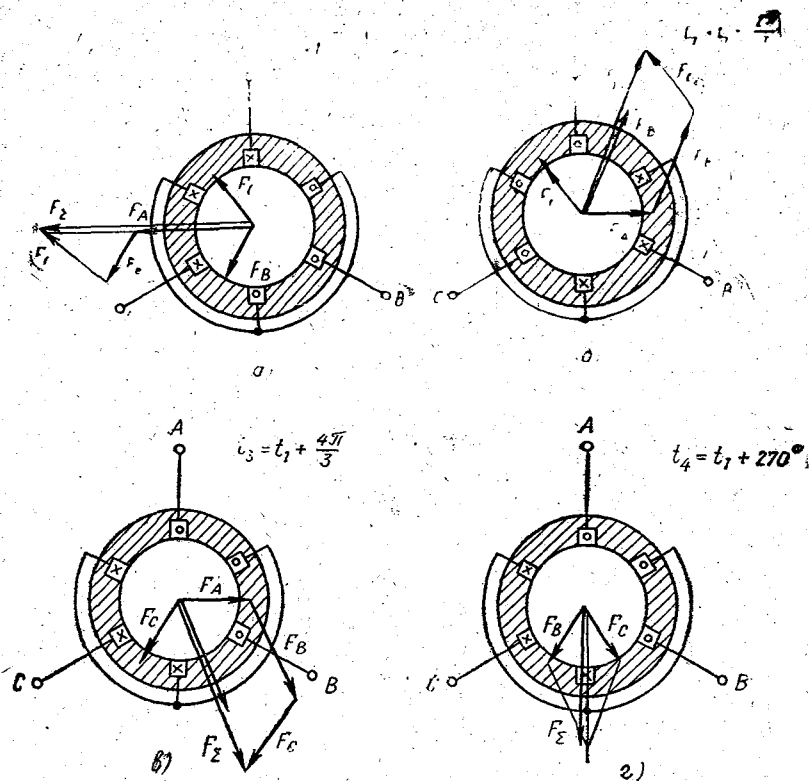
Вақт $T/3$ қиймати ўзгаргандан кейин, яъни $t_2 = t_1 + \frac{2\pi}{3}$ да (9.10-расм) фаза чулғамлари орқали ўтаётган тоқларнинг қиймати ва йўналиши ўзгариб, $i_A = i_C = -\frac{I_m}{2}$ ва $i_B = I_m$ бўлади.

Шу вақтдаги умумий магнит майдони оқимининг йўналиши ва қиймати 9.11-расм, *b* да кўрсатилгандек аниқланади. Бунда $\vec{F}_z = \vec{F}_A + \vec{F}_B + \vec{F}_C = \frac{3}{2} \vec{F}_m$ бўлиб, унинг йўналиши $B-U$ чулғам ўқига перпендикуляр эканлигига ишонч ҳосил қилиш мумкин.

9.11-расм, *b* да $t_3 = t_1 + \frac{4\pi}{3}$ лаҳзадаги магнит майдони оқимларининг чулғам атрофида тарқалиши ва умумий магнит майдони оқимининг йўналиши кўрсатилган, бу ҳолда ҳам

$$\vec{F}_z = \vec{F}_A + \vec{F}_B + \vec{F}_C = \frac{3}{2} \vec{F}_m$$

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.



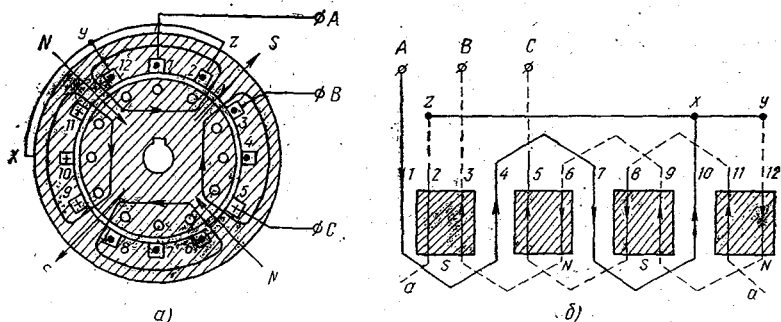
9.11-расм.

Шундай қилиб, айланувчан магнит майдонини ҳосил қилиш учун, бири нчидан, чулғамлар фазада ўзаро маълум бир бурчакка силжиган, иккинчидан эса шу чулғамлар орқали ўтаётган тоқлар ҳам маълум бир фаза силжиш бурчагига эга бўлиши керак.

Юқорида келтирилган шартлардан бирортаси бажарилмаса, айланувчан магнит майдони ҳосил бўлмайди.

Айланувчан магнит майдонининг тезлиги. Маълумки, чулғамлардан уч фазали ток ўтганда бир жуфт қутбли ($p=1$) магнит майдони ҳосил бўлади. Бундай магнит майдони ўзгариувчан токнинг бир даври манбайнида бир марта тўлиқ айланади. Чулғамлар соини шундай танлаш мумкинки, бунда жуфт қутблар сони икки, уч ($p=2, 3 \dots$) ва ҳоказо бўлиши мумкин.

9.12-расмда икки жуфт қутбли магнит майдони кўрсатилган. Бу ерда чулғамлар сони аввалгига нисбатан икки марта кўп бўлиб, махсус схема бўйича уланган. Агар статорнинг чулғамлари билан биргаликда сиртини ёйиб (9.12-расм, б),



9.12- расм.

чулғамларнинг уланиш схемасини ва чулғамлардаги тоқларнинг йўналишини кўрадиган бўлсак ($t=t$, вақт учун), у ҳолда қўшни ҳар уч ўтказгичдаги (яъни 3, 4, 5; 6, 7, 8; 9, 10, 11; 12, 1, 2) тоқларнинг йўналиши мос тушади ва бу тоқлар ҳосил қилган магнит майдони тўрт қутбли (ёки икки жуфт қутбли) бўлади (9.10-раем). 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 $\omega_1 = \frac{2\pi}{T_p}$. Агар $T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$ эканлиги ҳисобга олинса,

$$\omega_1 = \frac{2\pi\omega}{2\pi p} = \frac{\omega}{p}.$$

Агар айланувчан магнит майдонининг бурчак тезлиги 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 (реверс-лаш) учун фазалар кетма-кетлигининг тартиби ўзгартирилади, яъни статор чулғамларининг манбага уланадиган C_1, C_2, C_3 бош учларидан исталган иккитасининг ўрни алмаштирилади.

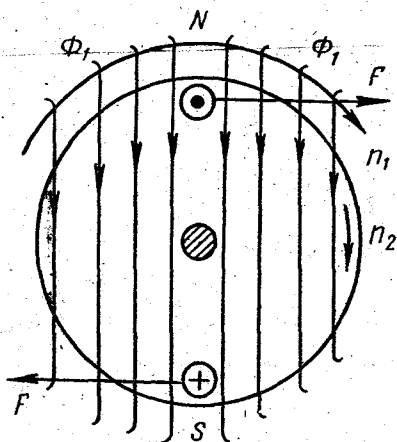
Самоат частотаси ($f_1 = 50$ ГЦ) да айланувчан магнит майдонининг айланиш тезлиги $n_1 = \frac{3000}{p}$ бўлади. Агар $p = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ бўлса, айланувчан магнит майдонининг айланишлар тезлиги (сони) мос ҳолда 3000, 1500, 1000, 750, 600, 500 айл/мин ни ташкил этади.

Одатда, двигателнинг паспортида роторнинг номинал айланишлар сони ($n_2 = n_{\text{ном}}$) кўрсатилган бўлади. Айланувчан магнит майдонининг синхрон тезлик қийматини билиш учун $n_{\text{ном}}$ га энг яқин катта тезлик қиймати қабул қилинади. Масалан, $n_{\text{ном}} = 2860$ айл/мин га, $n_1 = 3000$ айл/мин, $n_{\text{ном}} = 1460$ айл/мин га, $n_1 = 1500$ айл/мин мос келади.

9.3. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ИШЛАШ ПРИНЦИПИ

Статорда n_1 тезлик билан айланаётган айланувчан магнит майдонининг оқими Φ_1 , ротор чулғамларини кесиб ўтиб, электромагнит индукция қонунга асосан, ротор чулғамларида ЭЮК индукциялайди. ЭЮК, ўз навбатида, ротор токини ҳосил қилади.

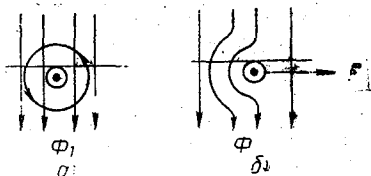
9.13-расмда айланувчан магнит майдонининг ўқ чизиғида жойлашган ротор чулғамидаги токнинг йўналиши кўрсатилган. Ротор токи, ўз навбатида, ротор чулғами атрофида Φ_2 магнит оқимини ҳосил қилади. Унинг йўналиши эса „парма“ қоидаси бўйича аниқланади (9.14-расм, а). Ротор чулғамининг магнит оқими Φ_2 статорнинг 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 қоида-сига 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 роторда ЭЮК индукцияланмайди. Бунда ротор токи i_2 ва куч F нолга тенг бўлади. Бундай шароитда ротор инерцияси бўйича ҳаракатни давом эттириб, подшипникларидаги ва ҳаво билан ишқаланиш туфайли роторнинг тезлиги кичик-риқ, 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:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\% \quad (9.2)$$

(9.2) ифодадан двигатель роторининг айланиш тезлиги $n_2 = n_1 (1 - S)$ ни аниқлаш мумкин. Тезликлар фарқига роторнинг сирпаниш тезлиги дейилиб, қуйидагича ифодаланади:

$$n_s = n_1 - n_2.$$

Двигателнинг ишлаш жараёнида сирпаниш қиймати 0 дан 1 гача ўзгаради, двигателни ишга тушириш пайтида роторнинг айланиш тезлиги $n_2 = 0$ бўлгани учун $S = 1$ бўлади. Двигателларнинг номинал сирпаниши $S_{\text{ном}} = 0,03 - 0,06$ қийматни 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 ТОҚЛАР

Қўзғалмас ротор чулғамидаги ток частотаси. Қўзғалмас ротор чулғамида индукцияланган ЭЮК нинг частотаси айланувчан магнит майдонининг айланишлар тезлиги билан аниқланади:

$$f_2 = \frac{n_1 p}{60} \quad (9.3)$$

Айланувчан магнит майдонининг айланишлар сони $n_1 = \frac{60f_1}{p}$ эканлигини ҳисобга олсак, $f_2 = f_1$ бўлади, яъни қўзғал-

мас ротор чулгамида индукцияланган ЭЮК нинг частотаси электр энергия манбаининг частотасига тенг бўлар экан. У ҳолда айланувчан магнит майдонининг статор ва ротор чулгамларида индукцияланган ЭЮК лари:

$$E_1 = 4,44 \omega_1 f_1 K_r \Phi_m; \quad (9.4)$$

$$E_2 = 4,44 \omega_2 f_2 K_r \Phi_m. \quad (9.5)$$

Агар $f_2 = f_1$ эканлигини ҳисобга олсак, ротор чулгамидаги ЭЮК $E_2 = 4,44 \omega_2 f_1 K_r \Phi_m$ га тенг бўлади.

Тормозланган ротор ва статор ЭЮК ларининг нисбати асинхрон двигатель ЭЮК ларининг трансформация коэффициентини деб аталади:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1 K_{r1}}{\omega_2 K_{r2}} = K_E. \quad (9.6)$$

Бу ерда K_{r1} ва K_{r2} — статор ва ротор чулгалари коэффициентини 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 двигательнинг ротори айланмаса (ротор чулгами узилган бўлса), мазкур двигатель трансформатор режимида ишлайди.

Айланувчан роторнинг ЭЮК ва токи. Айланаётган роторнинг чулгамларида индукцияланаётган ЭЮК нинг частотаси f_{2s} роторнинг сирпаниш тезлиги n_s га боғлиқ бўлади, яъни:

$$f_{2s} = \frac{pn_s}{60} = \frac{p(n_1 - n_2)}{60}. \quad (9.7)$$

(9.7) ифодага қуйидагича ўзгариш киритиб, айланувчан ротор ЭЮК частотасининг сирпанишга боғлиқлигини ҳосил қиламиз:

$$f_{2s} = \frac{p(n_1 - n_2)}{60} \cdot \frac{n_1}{n_2} = f_1 s. \quad (9.8)$$

Демак, айланувчан ротор ЭЮК ининг частотаси ротор сирпанишига тўғри пропорционал экан.

Двигатель саноят частотаси ($f_1 = 50$ Гц) ва номинал нагрузкада ишлаганда $S_{\text{ном}} = (2 \div 6)\%$ 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:

$$E_{2s} = 4,44 \omega_2 K_r f_{2s} \Phi_m = 4,44 \omega_2 K_r f_1 \cdot S \Phi_m = E_2 \cdot S. \quad (9.9)$$

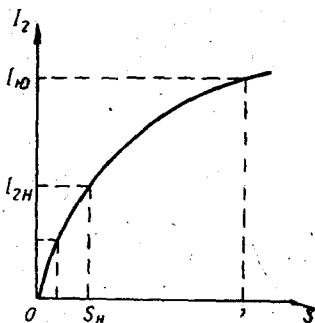
У ҳолда рстор токи қуйидагича аниқланади:

$$I_{2s} = \frac{E_{2s}}{Z_2} = \frac{E_2 \cdot S}{\sqrt{R_2^2 + X_{2s}^2}}, \quad (9.10)$$

бу ерда: $X_{2s} = X_2 \cdot S$ — айланувчан ротор чулгамининг индуктив қаршилиги.

9.15-расмда ротор токининг сирпанишга боғлиқлик графиги келтирилган. Роторни ишга тушириш пайтида ($S = 1$) унда максимал ЭЮК индукциялангани учун ротор чулгамидан катта ток оқиб ўта бошлайди. Бу эса ўз навбатида, статор чулгамидан ҳам катта ток оқиб ўтишига сабаб бўлади (трансформаторга ўхшаш). Бу ток асинхрон двигателни ишга тушириш токи $I_{н.т}$ деб аталиб, қиймат жиҳатдан $I_{н.т} = (5 \div 7) I_{ном}$ га тенг бўлади.

Ўрта ва катта қувватли асинхрон двигателларни бундай катта ишга тушириш токидан сақлаш учун улар ишга тушириш қурилмалари ёрдамида ишга туширилади.



9.15-расм.

9.4. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЬ МАГНИТ ЮРИТУВЧИ КУЧНИНИГ ТЕНГЛАМАСИ

Асинхрон двигатель салт ишлаганда роторнинг МЮК нолга тенг бўлади. Айланувчи магнит майдони эса статорнинг МЮК туфайли ҳосил қилинади, яъни

$$\bar{F}_0 = m_1 \bar{I}_0 \omega_1, \quad (9.11)$$

бу ерда: m_1 — статор фазаларининг сони; ω_1 — статор фаза чулгамларининг ўрамлар сони; I_0 — салт ишлаш токи.

Агар асинхрон двигателнинг валидаги нагруканинг 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

$$m_1 \omega_1 \bar{I}_1 k_1 + m_2 \omega_2 \bar{I}_2 k_2 = m_1 \omega_1 \bar{I}_0 k_1,$$

бундан

$$\bar{I}_1 + \bar{I}_2 = \bar{I}_0, \quad (9.12)$$

бу ерда: $\bar{I}_2 = \bar{I}_0 \frac{m_2 \omega_2 \cdot k_2}{m_1 \omega_1 \cdot k_1}$ — ротор токининг келтирилган қиймати.

Статор токи (9.12) дан

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_0 - \bar{I}_2 \quad (9.13)$$

Шундай қилиб, статор токи салт ишлаш токидан ва қаршилик (тормозлаш) моменти туфайли вужудга келадиган \bar{I}_2 дан иборат экан. Асинхрон двигателларда салт ишлаш токи номинал токнинг 40 — 60% ини ташкил этишига сабаб ротор билан статор орасидаги ҳаво бўшлиғининг мавжудлигидир.

9.5. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ АЛМАШТИРИШ СХЕМАСИ ВА ВЕКТОР ДИАГРАММАСИ

Трансформатордаги каби асинхрон двигателнинг ҳам иш режимини таҳлил қилишда унинг алмаштириш схемасидан фойдаланиш қулайдир. Умуман, асинхрон двигателнинг ҳам трансформатордаги каби статор ва ротор чулғамларини тегиш-лича бирламчи ва иккиламчи чулғам деб қараш мумкин. Бу чулғамлар орасидаги боғланиш трансформатордагидек магнит ҳодисасига асослангандир. Юкланган асинхрон двигателнинг алмаштириш схемасини қуриш учун айланаётган ротор электр занжирини унга эквивалент бўлган қўзғалмас ротор занжири билан алмаштириш керак.

Эквивалент ротор занжирининг параметрлари шундай танланиши керакки, двигателнинг майдан 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:

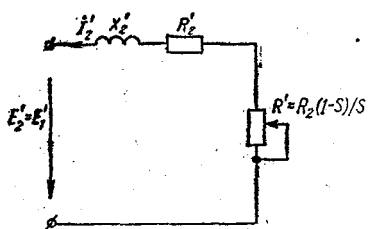
$$E_2' = E_2 \cdot S \quad \text{ва} \quad I_2' = \frac{E_2'}{\sqrt{(R_2'/S)^2 + (X_2')^2}}$$

9.16- расмда эквивалент қўзғалмас роторнинг алмаштириш схемаси кўрсатилган. Бу ерда роторнинг актив қаршилиги R_2'/S иккита ташкил этувчи сифатида берилган.

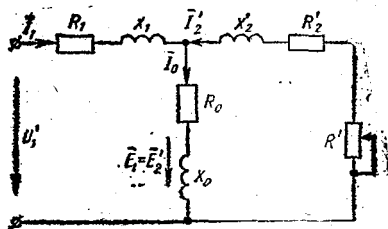
$$\frac{R_2'}{S} = R_2' + R_2' \cdot \frac{1-S}{S}$$

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' қаршилиқлардаги қувват исрофи статор ва ротор чулғамларидаги электрик қувват исрофига тенг эканлиги келиб чиқади:

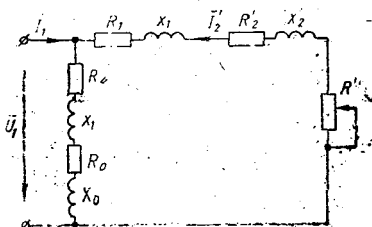
$$\Delta P_{1s} = 3I_1^2 R_1 \quad \text{ва} \quad \Delta P_{2s} = 3I_2'^2 R_2'$$

R_0 қаршилиқдаги қувват исрофи статорнинг пўлат ўзагидаги магнит қувват исрофига тенг, яъни $P_0 = 3I_0^2 R_0$.

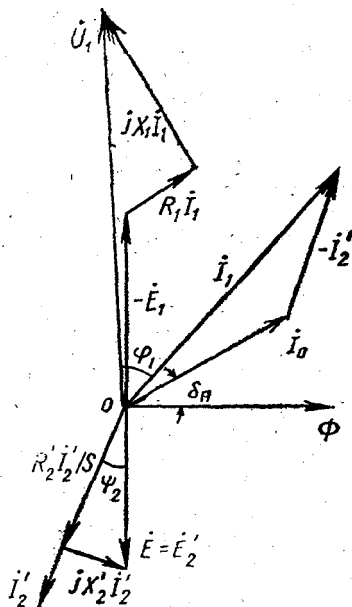
Асинхрон двигателнинг "Г" шаклидаги алмаштириш схемаси 9.18-расмда кўрсатилган.

Асинхрон двигателнинг вектор диаграммаси магнит оқим 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 оқимдан $\pi/2$ 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 чулғамларидаги номинал токнинг 40—60% ини ташкил этади. Салт ишлаш токининг вектори магнит оқими векторидан δ_n бурчакка, пўлат ўзакдаги ис-



9.18- расм.



9.19- расм.

рофлар туфайли, силжиган бўлади. Одатда, $\delta_n = 3^\circ \div 5^\circ$ бўлади.

Асинхрон двигателни тормозловчи моментнинг ротордаги ток қийматига ва фазасига таъсири, ротор чулғами актив қаршилиги $\frac{R_2}{S}$ нинг ўзгариши билан аниқланади. Шунинг учун қўзғалмас роторнинг чулғамидаги ток I_2' ЭЮК E_2' дан $\varphi = \arctg \frac{X_2'}{R_2'}$ бурчакка кечикади. Бу бурчак асинхрон двигателнинг юкланганлигини кўрсатади ва сирпанишнинг камайиши билан камайиб боради.

9.16-расмда келтирилган роторнинг алмаштириш схемаси учун қуйидаги тенгламани ёзиш мумкин:

$$\bar{E}_2' = \bar{I}_2 \frac{R_2'}{S} + j\bar{I}_2 X_2'. \quad (9.14)$$

Статорнинг фаза чулғамлари орқали ўтаётган ток қуйидаги ифода ёрдамида аниқланиши мумкин:

$$I_1 = I_0 - \bar{I}_2.$$

Статор чулғамларини алмаштириш схемаси учун ёзилган тенглама бўйича манба кучланиши векторининг қиймати топилиши мумкин, яъни

$$\bar{U}_1 = -\bar{E}_1 + I_1(R_1 + jX_2). \quad (9.15)$$

Асинхрон двигателларда салт ишлаш токининг қиймати нисбатан катта бўлгани учун фаза силжиш бурчаги φ нинг қиймати ҳам катта бўлади. Бунда двигателнинг номинал қувват коэффициентини $0,7 \div 0,8$ га тенг бўлади.

9.6. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ЭЛЕКТРОМАГНИТ ҚУВВАТИ ВА АЙЛАНТИРУВЧИ МОМЕНТИ

Маълумки, айлантирувчи моментнинг бурчак тезлигига кўпайтмаси қувватни беради, яъни

$$P = M \cdot \omega. \quad (9.16)$$

Асинхрон двигателларда эса электромагнит моментни статор магнит майдонининг бурчак тезлигига кўпайтмаси электромагнит қувват дейилиб, қуйидагича аниқланади:

$$P_{эм} = M_{эм} \cdot \omega_0, \quad (9.17)$$

бу ерда 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 механик қувват ротор бурчак тезлигининг электромагнит моментга кўпайтмасига тенгдир:

$$P_{эм} = M_{эм} \cdot \omega. \quad (9.18)$$

Агар роторнинг пўлат ўзагида магнитлаш учун сарф бўлаётган қувват исрофи ротор чулғамларидаги қувват исрофидан анча кичик бўлганлиги учун ҳисобга олинмаса, у ҳолда:

$$P_{эм} - P_{мех} = \Delta P_{чвлр} = 3I_2^2 R_2 \quad (9.19)$$

ёки

$$M_{эм} (\omega_0 - \omega) = 3I_2^2 R_2.$$

Бундан электромагнит момент қуйидагича аниқланади:

$$M_{эм} = \frac{3I_2 R_2}{\Delta \omega_0}, \quad (9.20)$$

бу ерда: I_2 — ротор токи, А; R_2 — ротор чулғамининг қаршилиги, Ом.

У ҳолда электромагнит қувват

$$P_{эм} = \frac{3I_2^2 R_2}{S}. \quad (9.21)$$

Агар $3I_2^2 R_2 = 3E_2 I_2 \cos(\widehat{E_2 I_2}) = 3E_2 I_2 \cos \psi_2$ эканлигини ҳисобга олсак, у ҳолда ишқаланиш моментини ҳисобга олмаган ҳолда

$$M_{эм} = \frac{3E_2 I_2 \cos \psi_2}{\omega_0 S}$$

ёки

$$M_{эм} = \frac{3 \cdot 4,44 \omega_2 f_2 K_{r2} \Phi_m I_2 \cos \psi_2}{S} = C \Phi_m I_2 \cos \psi_2, \quad (9.22)$$

бу ерда $C = 3 \cdot 4,44 \cdot f_2 \omega_2 \frac{K_{r2}}{\omega}$ — ўзгармас коэффициент.

Демак, асинхрон двигателнинг айлантирувчи momenti ротор токига, магнит оқимининг амплитуда қийматига ҳамда ротор токи билан ЭЮК орасидаги бурчак косинусига тўғри пропорционал экан. (9.22) даги $I_2 \cos \psi_2 = I_{2a}$ ифода ротор токнинг актив ташкил этувчиси эканлигини ҳисобга олсак, $M_{эм} = C \cdot \Phi_m \cdot I_{2a}$ бўлади, яъни асинхрон двигателда айлантирувчи момент ротор токнинг 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 айлантурувчи моменти. Агар механик ишқаланишлар туфайли вужудга келадиган қаршилиқ моменти $\Delta M_{\text{мех}}$ ни ҳисобга олмасак, $M_{\text{эм}} = M$ дейиш мумкин, у ҳолда

$$M = C \Phi_m I_2 \cos \psi_2. \quad (9.23)$$

Агар

$$\Phi_m = \frac{E_1}{4,44 \omega_1 f_1 K_{r1}}; \quad I_2 = \frac{E_1 S}{K \sqrt{R_2^2 + (X_2 S)^2}};$$

$$E_2 = \frac{E_1}{K}; \quad \cos \psi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (X_2 S)^2}}$$

эканлигини ҳисобга олиб, уларни (9.23) га қўйсақ, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$M = C_1 E_1^2 S \frac{R_2}{R_2^2 + (X_2 S)^2}. \quad (9.24)$$

Стагор чулғамларида кучланишнинг пасайишини ҳисобга олмасак ($E_1 \approx U_1$), қуйидагини ёзиш мумкин:

$$M = C_1 U_1^2 S \frac{R_2}{R_2^2 + (X_2 S)^2}$$

ёки

$$M = C_1 U_1^2 S \frac{R_2'}{R_2'^2 + X_2'^2}, \quad (9.25)$$

бу ерда

$$R_2' = \frac{R_2}{S}.$$

(9.25) ифодадан кўрииб турибдики, асинхрон двигателнинг валидаги айлантурувчи моментнинг қиймати манба кучланишнинг 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 айлантурувчи момент *ишга тушириш моменти* дейилади:

$$M_{\text{н.т}} = C U_1^2 \frac{R_2'}{R_2'^2 + X_2'^2}. \quad (9.26)$$

Асинхрон двигателнинг ҳосил қилиши мумкин бўлган максимал (критик) моментини топиш учун (9.25) ифодадан сирпаниш S бўйича ҳосила олиб, уни 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

$$S_{кр} = \pm \frac{R_2}{X_2} \quad (9.27)$$

Асинхрон машина двигателъ режимда ишлаганда $S_{кр} > 0$ бўлади. Критик сирпаниш қийматини ҳисобга олган ҳолда двигателнинг максимал моментини аниқлаш мумкин:

$$M_{кр} = C_1 U_1^2 \frac{1}{2X_2} \quad (9.28)$$

Агар асинхрон двигателда $X_2 \approx 5 R_2$ эканлигини ҳисобга оладиган бўлсак, $S_{кр} = 0.2$ бўлади. (9.26), (9.27) ва (9.28) ифодаларни биргаликда ечиб, двигателнинг айлантирувчи моментининг қуйидаги соддалаштирилган ифодасини ёзиш мумкин:

$$M = \frac{2M_{кр}}{\frac{S}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S}} \quad (9.29)$$

Ушбу ифодадан сирпанишнинг номинал қийматини ҳисобга олган ҳолда критик сирпанишни аниқлаш мумкин:

$$S_{кр} = S_{ном} (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}), \quad (9.30)$$

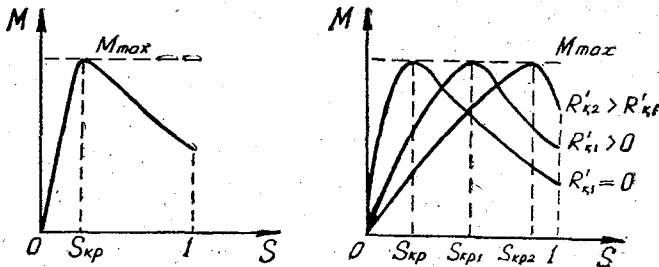
бу ерда: $S_{ном} = \frac{n_1 - n_{ном}}{n_1}$ — сирпанишнинг номинал қиймати;

$\lambda = \frac{M_{кр}}{M_{ном}}$ — юклаш коэффициенти.

Фаза роторли асинхрон двигателларда ротор чулғамига қўшимча қаршилик улангани учун, айлантирувчи момент қуйидагича аниқланади:

$$M = C_1 U_1^2 S \frac{R_2 + R_p}{(R_2 + R_p)^2 + (X_2 S)^2} \quad (9.31)$$

9.20-расмда ротор чулғами актив қаршилигининг турли қийматларида айлантирувчи моментнинг сирпанишга боғлиқлик эгри чизиқлари кўрсатилган. Чулғамнинг актив қаршилигинигина ҳисобга олиб қурилган характеристика *табiiй характеристика*, қўшимча қаршилик қийматини ҳисобга олиб қурилган характеристика *сунъий ёки реостат характеристика* дейлади.

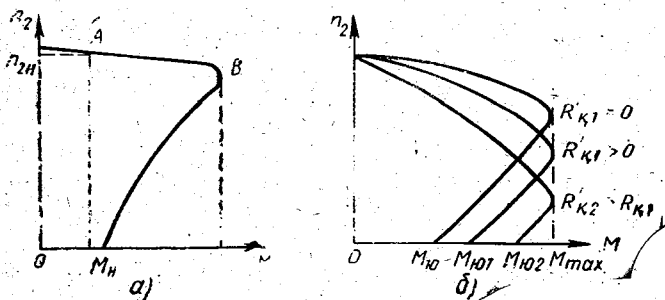


9.20-расм.

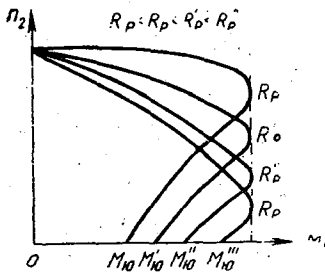
9.7. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ МЕХАНИК ХАРАКТЕРИСТИКАСИ

Манба кучланиши ўзгармас ($U_1 = \text{const}$) бўлганда ротор айланушлари сони (n_2) нинг айлантирувчи моментга боғлиқлик эгри чизиғи $n_2 = f(M)$ асинхрон двигателнинг *механик хара­к­те­ри­сти­ка­си* дейилади. 9.21-расмда асинхрон двигателнинг механик хара­к­те­ри­сти­ка­си кўрсатилган. Ушбу хара­к­те­ри­сти­ка­ни 9.20-расмда кўрсатилган $M = f(S)$ эгри чизиғи ёки (9.20) ифода ёрдамида $n_2 = n_1(1 - S)$ эканлигини ҳисобга олган ҳолда қуриш мумкин. Механик хара­к­те­ри­сти­ка ҳар қандай дви­га­те­л­ни­нг асосий хара­к­те­ри­сти­ка­ла­ри­дан бири бўлиб, дви­га­те­л­ни­нг иш қобилятини белгилайди. Маълумки, статор айланувчан магнит майдон тезлиги ўзгармас ($n_1 = \text{const}$) бўлган учун роторнинг айланиш тезлиги билан сирпаниш орасидаги боғланиш чиқиқлидир. 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 momenti $M_{\text{ит}}$ — асинхрон двигателни ишга тушириш (қўзғатиш) учун керак бўладиган момент қиймати; номинал момент $M_{\text{ном}}$ — асинхрон двигателнинг номинал иш режими (номинал кучланиш $U_{\text{ном}}$, номинал частота $f_{\text{ном}}$, номинал на­гру­з­ка) даги айлантирувчи momenti.

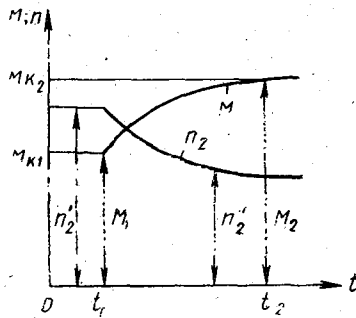
Юқланиш остидаги асинхрон двигателни ишга тушириш учун унинг ишга тушириш momenti иш механизмининг қар­ши­лик momenti $M_{\text{к}}$ дан катта бўлиши керак, яъни $M_{\text{ит}} > M_{\text{к}}$. Акс ҳолда двигателни ҳаракатга келтириб бўлмайди. Асинхрон двигатель айланишлари сонининг ўзгариши механик хара­к­те­ри­сти­ка­ни­нг C нуқтасидан бошланиб, B нуқта орқали ўтади. Хара­к­те­ри­сти­ка­ни­нг $A - B$ қисмидаги $M_{\text{ном}} = M_{\text{к}}$ нуқтада двигателнинг вали $n_{2\text{ном}}$ тезлик билан айлана бошлайди. Шундай қилиб, механик хара­к­те­ри­сти­ка­ни­нг $C - B$ қисми тез­ла­ниш қисми, $A - B$ эса иш қисми ҳисобланади. Асинхрон двигатель хара­к­те­ри­сти­ка­ни­нг иш қисмида барқарор тезлик билан айланади. Агар бирор сабабга кўра $t = t$, пайтда қарши-



9.21-расм.



9.22- расм.



9.23- расм.

лик momenti M_{K1} дан M_{K2} га ўзгарса (9.22- расм), у ҳолда $M_K > M$ бўлиб, двигатель тормозлана бошлайди. Натижада сирпаниш S ортади. Бў эса, ўз навбатида ЭЮК, ротор токи ва айлантурувчи момент қийматининг ўзгаришига олиб келади. Бундай жараён $M_K = M$ бўлгунча давом этиб, двигательнинг ўз-ўзини бошқариш жараёни деб аталади. Двигатель ўқига қўйилган қаршилик momenti қийматининг камайиши эса ўз-ўзини бошқариш жараёнига кўра, ротор айланишлар сонининг ортишига олиб келади. Одатда, двигательларда ўз-ўзини бошқариш жараёни секунднинг ўндан ёки юздан бир улуши мобайнида тугайди.

Механик характеристиканинг $C - B$ қисмида эса тезликнинг ҳар қандай ўзгариши (камайиши) айлантурувчи моментнинг камайишига олиб келади, натижада двигатель тўхтайдди. Шунинг учун $n = f(M)$ эгри чизиқнинг $C - B$ қисми механик характеристиканинг *беқарор қисми* дейилади. Айрим ҳолларда максимал момент қиймати двигателни тўхтатиш momenti 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 камайдди. Одатда, чулғами актив қаршилиқнигина ҳисобга олиб қурилган механик характеристика „қаттиқ“ механик характеристика деб номланган.

9.8. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ПАСПОРТИДАГИ МАЪЛУМОТЛАРИ БУИИЧА МЕХАНИК ХАРАКТЕРИСТИКАСИНИ ҚУРИШ

Одатда, асинхрон двигателнинг паспортида қуйидаги маълумотлар кўрсатилади:

$U_{ном}$ — номинал кучланиш, [В];

$P_{\text{ном}}$ — номинал қувват, [Вт, кВт];

$n_{\text{ном}}$ — роторнинг номинал айланишлар сони, [айл/мин];

$\lambda = \frac{M_{\text{мах}}}{M_{\text{ном}}}$ — двигателнинг ўта юкланиш коэффициенти (қис-

қа туташтирилган роторли асинхрон двигателлар учун $\lambda = 1,7 \div 2,5$, фаза роторли двигателлар учун $\lambda = 1,5 \div 3,4$);

$\delta = \frac{M_{\text{и.т}}}{M_{\text{ном}}}$ — ишга тушириш коэффициенти.

Юқориди кўрсатилган маълумотлар бўйича двигателнинг механик характеристикасини қуриш мумкин. Бунинг учун дастлаб айланувчи магнит майдонининг айланиш тезлигини аниқлаймиз. Бу тезлик қўйматини аниқлашда синхрон тезликлар шкаласи (9.2-§ да келтирилган) дан фойдаланамиз. Сўнгра двигателнинг номинал моменти аниқланади:

$$M_{\text{ном}} = 975 \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} \text{ [кГ} \cdot \text{м]}; \quad M_{\text{ном}} = 9550 \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} \text{ [Н} \cdot \text{м]}.$$

Паспортида кўрсатилган коэффициентлар ёрдамида двигателнинг максимал $M_{\text{мах}}$ ва ишга тушириш моменти $M_{\text{и.т}}$ аниқланади. Аниқланган катталиклар бўйича координата ўқларида мос ҳолда a , b , c нуқталар белгиланади. Критик сирпаниш миқдори эса $S_{\text{кр}} = S_{\text{ном}} (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$ ифода ёрдамида аниқланади (9.12-расм, a). Бунда $S_{\text{ном}} = \frac{n_1 - n_{\text{ном}}}{n_1}$ бўлади. Характе-

ристиканинг 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) ифодадан фойдаланиб, сунъий реостат характеристикаси қурилади.

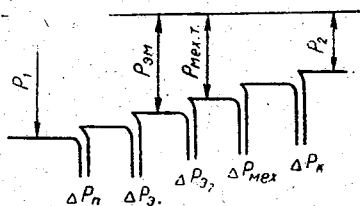
9.9. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ЭНЕРГЕТИК ДИАГРАММАСИ ВА ФОЙДАЛИ ИШ КОЭФФИЦИЕНТИ

Бошқа электр машиналардаги каби асинхрон двигателларда ҳам электр энергиясининг механик энергияга айлантирилиши энергия исрофи билан боғлиқ. Двигателга электр тармоқидан берилётган P_1 қувватнинг қандай тақсимлини 9.24-расмдаги асинхрон двигателнинг энергетик диаграммасида кўрсатилган.

Асинхрон двигателга тармоқдан берилётган қувват:

$$P_1 = 3U_{1\phi} I_{1\phi} \cos \phi.$$

Бу қувватнинг бир қисми статор-



9.24-расм.

нинг пўлат ўзагидаги қувват исрофи $\Delta P_{\text{п}}$ ва статор чулғамининг қизишига сабаб бўлган $\Delta P_{\text{э1}}$ электр қуввати исрофларини қоплашга сарфланади:

$$\Delta P_{\text{э1}} = 3I_{\text{ф}}^2 r_1.$$

Қувватнинг қолган қисми магнит оқими ёрдамида роторга узатилади ва шу сабабли электромагнит қувват деб аталади:

$$P_{\text{эм}} = P_1 - (\Delta P_{\text{э1}} + \Delta P_{\text{п}}).$$

Электромагнит қувватнинг бир қисми ротор чулғамидаги электр қувват исрофларини қоплашга сарфланади:

$$\Delta P_{\text{э2}} = 3I_{\text{2ф}}^2 \cdot r_2.$$

Электромагнит қувватнинг қолган қисми двигателнинг механик қувватига айланади ва *тўла механик қувват* дейилади:

$$P'_{\text{т. мех}} = P_{\text{эм}} - \Delta P_{\text{э2}}.$$

Тўла механик қувватнинг бир қисми механик исроф ($\Delta P_{\text{мех}}$) га, бошқа бир қисми қўшимча исроф ($\Delta P_{\text{к}}$) га сарфланади, қолган қисми эса двигателнинг валидаги фойдали ($P_2 = P_{\text{м}}$) қувватни беради:

$$P_2 = P'_{\text{т. мех}} - (\Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{к}}).$$

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 ($\Delta P_{\text{к}}$) 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

$$\sum \Delta P = \Delta P_{\text{п}} + \Delta P_{\text{э1}} + \Delta P_{\text{э2}} + \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{к}}.$$

Асинхрон двигателнинг фойдали иш коэффициенти қуйидагича аниқланади

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum \Delta P}{P_1}.$$

Двигателнинг юкланиши номиналга яқин бўлганда фойдали иш коэффициенти энг катта қийматга етади. Кичик ва ўр-

та қувватли (1 — 100 кВт) двигателларда $\eta_{\text{ном}} = 70 \div 90\%$ ни, кагга қувватли (100 кВт ва ундан кагга) двигателларда $\eta_{\text{ном}} = 90 \div 94\%$ ни ташкил этади.

9.10. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ИШ ХАРАКТЕРИСТИКАСИ

Электр тармоғидаги кучланиш U_1 ва частота f_1 ўзгармас бўлганда двигателнинг айланиш тезлиги n_2 , сирпаниш S , айлантириш моменти M , фойдали иш коэффициенти η , статор чулғамидаги ток I_1 ва қувват коэффициенти $\cos \varphi$ нинг двигател валидаги фойдали қувват P_2 га боғлиқлик графиклари асинхрон двигателнинг иш характеристикалари дейлади (9.25-расм).

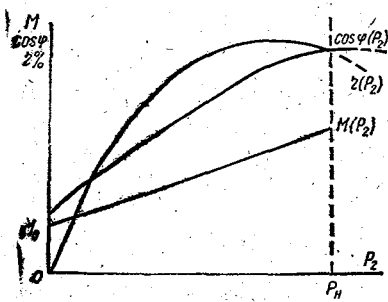
Двигател салт ишлаганда ($P_2 = 0$) $S \approx 0$ бўлиб, сирпаниш формуласи $n_2 = n_1 (1 - S)$ да $n_2 \approx n_1$ деб қабул қилиш мумкин. Юкланишнинг ортиши билан сирпаниш S орта боради, роторнинг айланиш тезлиги n_2 эса камай боради. Номинал юкланишда $P_2 = P_{2\text{ном}}$ бўлиб, сирпаниш номинал қийматга эришади.

Двигателнинг валидаги фойдали момент M нинг фойдали қувватга боғлиқлиги қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$M = 975 \frac{P_2}{n_2}$$

Двигател P_2 нинг ортиши билан айланиш тезлиги камайди, шу сабабли фойдали момент M юкланиш кўпайганда P_2 га караганда 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 $\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum \Delta P}$. Двигател 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 коэффициенти нинг камайишига олиб келади.



Статор токи I_1 (9.13) формуладан аниқланади. U ўзгармас I_0 ва ўзгарувчан I_2 ташкил этувчилардан иборат бўлиб, юкла-

9.25- расм.

нишга боғлиқдир. Двигатель салт ишлаганда $I_2 = 0$ десак, $I_1 = I_0$ бўлади, яъни статор токи салт ишлаш тоқига тенг бўлади ва унинг қиймати асинхрон двигателларда статор чулғами номинал токи ($I_{1\text{ном}}$) қийматининг $40 \div 60\%$ ини ташкил этади. P_2 нинг ортиши ток I_2 ва I_1 ларнинг ортишига олиб келади.

Двигатель салт ишлаганда унинг қувват коэффиценти энг кичик қиймагга ташкил этади. Двигателнинг валига тушадиган юкланиш ортганда токнинг актив ташкил этувчиси ортади. Бу ҳолда қувват коэффиценти ҳам орта бориб, $P_2 = P_{\text{ном}}$ бўлганда энг катта қийматга эришади. Юкланиш яна ҳам кўпайибга $\cos \varphi$ камаяди. Бу ҳол сирпанишнинг кўпайиши ҳисобига ротор чулғамининг индуктив қаршилиги ($X_2 \cdot S$) ортиши билан изоҳланади. Қувват коэффиценти катта бўлиши учун двигатель доимо ёки, ҳеч бўлмаганда, кўпроқ вақт номинал юкланишда ишлаши муҳимдир.

Номинал юкланишда ўрта қувватли (1 — 100 кВт) двигателларнинг қувват коэффиценти $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,7 - 0,9$ катта қувватли (100 кВт дан ортиқ) двигателларда $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,8 - 0,92$.

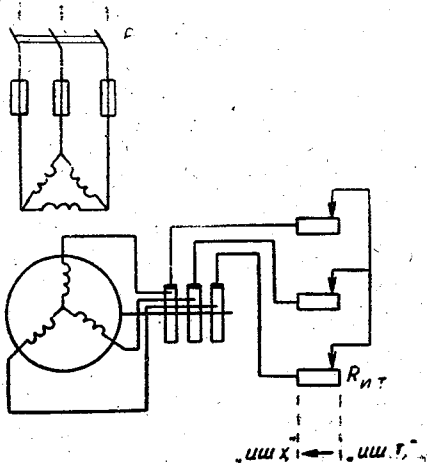
9.11. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЛАРНИ ИШГА ТУШИРИШ

Роторли қисқа туташтирилган асинхрон двигателларни электр тармоғига улаганда унинг ротор ва статор чулғамлари орқали номинал қийматидан $5 - 7$ марта ортиқ бўлган ток ўтади. Ишга туширишнинг бошланғич пайтида сирпаниш $S = 1$ бўлиб, ишга тушириш токи энг катта қийматга эришади.

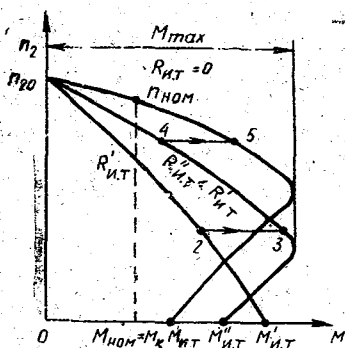
Двигателларни ишга туширишда, иложи борица, қуйидаги асосий талаблар бажарилиши керак: ишга тушириш жараёнида мураккаб бўлмаган қурилмалардан фойдаланиш; ишга тушириш моменти қаршилиқ моментидан катта бўлиши; ишга тушириш токининг кичик бўлиши; ишга тушириш вақти қисқа бўлиши.

Амалда қуйидаги ишга тушириш усулларида фойдаланилади: ротор чулғамига юргизиш реостатларини улаш; статор чулғамини электр тармоғига (бевосита) улаш; ишга тушириш пайтида статор чулғамларига пасайтирилган кучланиш бериш.

Фаза роторли двигателнинг ишга тушириш токини камайтириш учун роторнинг фаза чулғамига уч



9.26-расм.



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 ортшига 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 momenti $M_{и.т}$ пастки характеристиканинг 1 нуқтасига тўғри келади. Двигатель ишга тушиб, маълум тезликка эриша бориши билан унинг momenti пастки характеристиканинг 1—2 қисми бўйича камайд. Реостат дастаси реостатнинг камроқ қаршилигига мос келадиган иккинчи босқичга сурилса, шу қисқа вақт ичида роторнинг айланиш частотаси бир хил қолиб, ишга тушириш momenti иккинчи характеристиканинг 3 нуқтасига мос ҳолда ортади. Худди шу йўл билан реостат дастаси учинчи босқичга ўтказилади; бунда айлангирувчи 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)

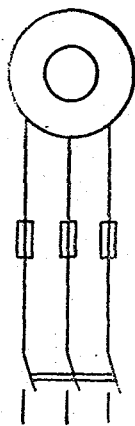
кeнг қўлланилади. Лекин двигателни тармоққа улаш пайтида жуда қисқа вақт бўлса ҳам, номинал токдан 5 : 7 марта катта бўлган ишга тушириш токи $I_{и.т}$ пайдо бўлади. Двигатель ишга туширилганда унинг айланиш тезлиги номинал қийматгача жуда тез ортади ва ишга тушириш токи камайиб, номинал юкланишга мос келадиган қийматга эришади.

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.

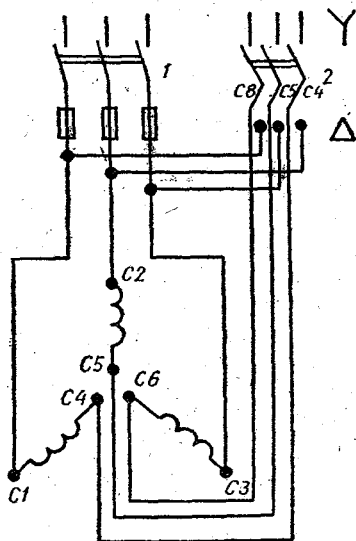
Аmmo ҳозирги энергетик системаларнинг қуввати етарли даражада катта бўлганлиги туфайли кичик ва ўрта қувватли асинхрон двигателларни электр тармоғига бевосита улаб ишга туширилганда ишга тушириш токининг таъсири деярли сезилмайди. Бунда ишга тушириладиётган двигателларнинг қуввати электр тармоғи (генератор 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 схемادا 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-



9.28- расм.



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:

$$I_{н.т\lambda} = \frac{U_{\phi\lambda}}{Z_{\phi}} = \frac{U_{\lambda}}{\sqrt{3} Z_{\phi}},$$

бу ерда $I_{н.т\lambda}$ — юлдуз схемада уланган двигательнинг ишга тушириш токи; U_{λ} — электр тармоғининг линия кучланиши; Z_{ϕ} — статордаги фаза чулғамининг қаршилиги.

Рубильник 2 „иш“ ҳолатига ўтказилганда, яъни статор чулғамлари „учбурчак“ схемада уланганда фазадаги ишга тушириш токи:

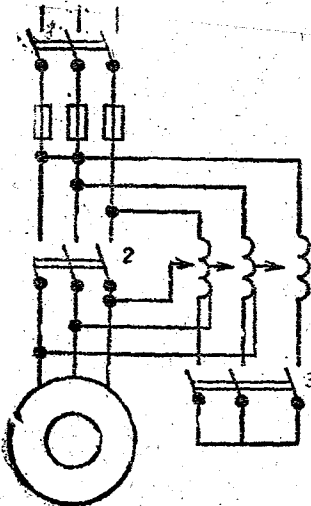
$$I_{н.т\phi} = \frac{U_{\phi\Delta}}{Z_{\phi}} = \frac{U_{\lambda}}{Z_{\phi}}$$

ва линиядаги ишга тушириш токи

$$I_{н.т\Delta} = \frac{\sqrt{3} U_{\lambda}}{Z_{\phi}}$$

$I_{н.т\lambda}$ ва $I_{н.т\Delta}$ ни таққосласак:

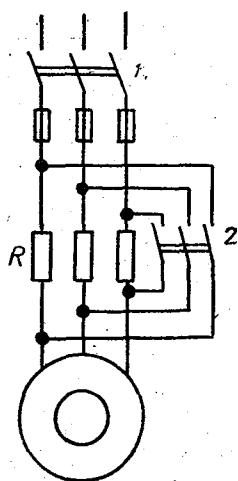
$$\frac{I_{н.т\lambda}}{I_{н.т\Delta}} = \frac{1}{\sqrt{3}}.$$



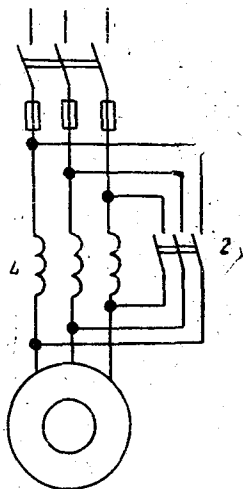
9.30- расм.

Шундай қилиб, двигательнинг 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 двигательнинг айлантирувчи моменти уч марта камаяди. Демак, бу усулдан двигательни фақат салт ишлатиш ёки валга қўйилган юкланиш кичик бўлганда фойдаланиш мумкин.

Ишга тушириш токини камайтириш мақсадида двигательнинг статор чулғамларига бериладиган кучланиш қийматини автотрансформатор ҳамда актив ёки индуктив қаршилик билан ҳам пасайтириш мумкин.



9.31- расм.



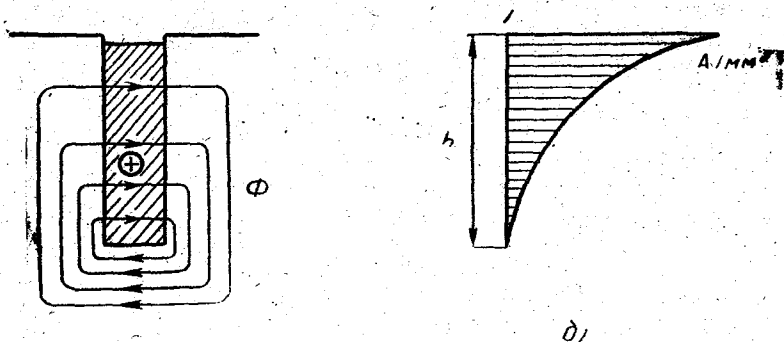
9.32- расм.

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 орттирилади. 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.



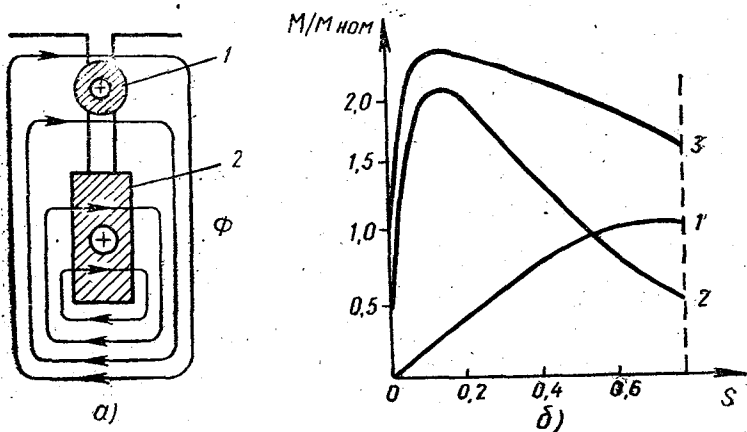
9.33- расм.

Чуқур пазли двигатель роторидаги пазнинг баландлиги энга нисбатан бир неча марта каттадир (9.33- расм, *a*). 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, *b* да кўрсатилгандек бўлади. Бундан кўринадики, ротор токининг кўп қисми, асосан, чулғамнинг юқори қисми орқали утади, бу қисмининг кўндаланг кесими нисбатан кичик бўлгани туфайли ротор чулғами актив қаршилигининг ортишига олиб келади. Ротор чулғами актив қаршилигининг ортиши ишга тушириш токининг камайишига ва ишга тушириш 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 двигательнинг роторида қисқа таштирилган иккита чулғам бўлади (9.34- расм, *a*). Чулғамлардан бири роторнинг ташқи юзасига яқин жойлашган бўлиб, кўндаланг кесими кичик, актив қаршилиги эса катта жез ёки бронза стерженлардан (9.34- расм, *a* даги 1), иккинчиси ундан чуқурроқда, кўндаланг кесими катта, актив қаршилиги камроқ бўлган мис стерженлардан (9.34- расм, *a* 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 двигателъ режимда 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 двигателънинг роторини тез тўхтатиш зарур бўлган ҳолларда қўлланилади. Агар ишлаётган асинхрон двигателънинг айланувчан магнит майдони йўналиши махсус улаш йўли билан ўзгартирилса, двигателънинг айланувчан қисмлари билан ижрочи механизмнинг инерция кучлари роторнинг аввалги йўналишида айланишини давом эттиради. Бунда айлантирувчи момент, машинанинг айнан двигателъ режимдаги каби, айланувчан магнит майдони йўналишида бўлиб, роторнинг айланишига тескари таъсир қилади. Натижада ротор тормозланиб, машина электромагнит тормоз режимда ишлайди, сирпаниш эса $S > 1$ бўлади (9.36-расм, а). Масалан, лифт, эскалатор, кўтарма кран ва бошқаларда юкларни туширишда юкдан ҳосил бўлган момент G двигателънинг роторини айланувчан магнит майдони йўналишига тескари йўналишида айланишига мажбур қилади.

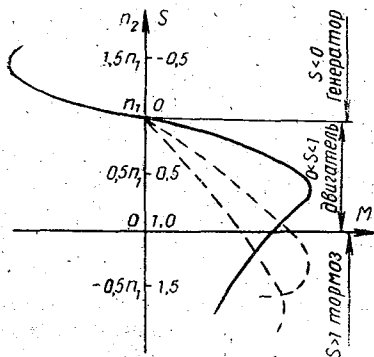
Электромагнит тормоз режимида фаза роторли асинхрон двигателъларнинг ротор занжирига қўшимча актив қаршилик улаш йўли билан, 9.35-расмда штрих чизиқларда кўрсатилган механик характеристикалардан бирортасини олиш мумкин. 9.35-расмдан кўринадики, характеристиканинг $S > 1$ қисмида максимал момент ва шунинг билан бирга барқарор электромагнит тормоз таъминланади.

Электромагнит тормозлашнинг асосий афзаллиги — кичик тезликларда, ҳатто $n_2 = 0$ да ҳам катта тормозловчи момент ҳосил қилишидир.

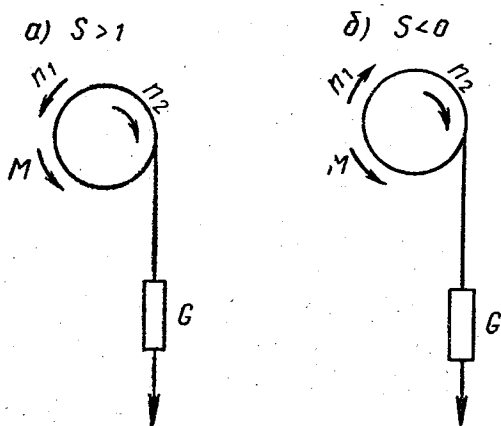
Агар ишлаётган асинхрон двигателъ бирламчи двигателъ ёрдамида статор магнит майдонининг айланиш тезлигидан катта тезлик билан айлантирилса, сирпаниш манфий бўлади, яъни

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} < 0.$$

Бундай статор чулғамида ҳосил қилинган ЭЮК ва токнинг йўналиши тескари томонга ўзгаради. Натижада роторнинг айлантирувчи моменти ҳам ўз йўналишини ўзгартиради ва айлантирувчи момент ҳолда (двигателъ режимда) тескари таъсир этувчи моментга (бирламчи двига-



9.35-расм.



9.36- расм.

телнинг айлантурувчи моментига нисбатан) айланиб қолади. Бундай ҳолда асинхрон машина двигаталь режимдан генератор режимига ўтиб, бирламчи двигателнинг механик энергиясини электр энергияга айлантиради (9.36- расм, б).

Асинхрон машина генератор режимда айланувчан магнит майдонини ҳосил қилиш учун электр тармоғидан зарурий реактив энергияни олади, лекин тармоққа, бирламчи двигателни механик энергиясининг ўзгариши натижасида, олинган актив энергияни истеъмолчига беради. Шунга эътибор бериш керакки, асинхрон генераторлар фақат синхрон генераторлар билан биргаликдагина ишлаши мумкин, бунда синхрон генераторлар реактив энергия манбаи вазифасини ўтайди.

Асинхрон генератор алоҳида ҳам ишлаши мумкин. Лекин бу ҳолда генераторни магнитлашга зарурий реактив қувватни олиш учун, унга параллел қилиб, уланган конденсаторлар 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 чеклангандир.

9.13. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ АЙЛАНИШ ТЕЗЛИГИНИ ОСТАТЛАШ ВА АЙЛАНИШ ЙУНАЛИШИНИ ЎЗГАРТИРИШ (РЕВЕРСЛАШ)

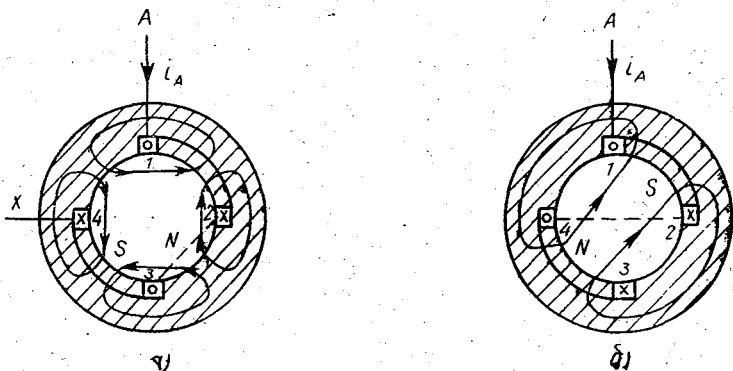
Асинхрон двигателнинг айланишлар тезлиги $n_2 = \frac{60f_1}{p} (1 - S)$ бўлгани учун унинг тезлигини статор тоқининг частота-

си J_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, ammo бунда махсус частота ўзгартиргич бўлиши керак. Натижада бундай қурилма мураккаблашади ва двигательнинг фойдали иш коэффициентини камайтиради. Амалда бундай усул электр тармоғига уланган бир нечта асинхрон двигательларнинг тезликларини ростлашда қўлланилади. Частота ўзгартиргичлардан энг истиқболлиси тиристорли частота ўзгартиргичдир. Бу усул билан айланишлар сони катта бўлган асинхрон двигателларнинг тезлиги бошқарилади.

Статор чулғамининг жуфт қутблар токини ўзгартириш билан двигательнинг 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, двигательнинг 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.

кутблар сонини ўзгартириш кўрсатилган. Бунда фаза ғалтаклари кетма-кет улашдан параллел улашга ўтгазилганда жуфт кутблар 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.

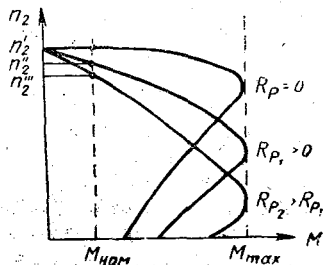
Уч тезликли ва тўрт тезликли двигателларнинг статорида иккитадан мустақил чулғамлар бўлиб, уларнинг биринчисида иккита тезлик ҳосил қилинса, иккинчисида битта (уч тезликли двигателда) ёки иккита (тўрт тезликли двигателда) тезлик ҳосил қилинади. Бундай двигателлар қуйидаги синхрон тезликларга эга бўлиши 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 кутблар 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 реостатларидан фарқли равишда узоқ вақт ишлашга мўлжалланган бўлиб, бошқариш реостати деб аталади. Мазкур реостатнинг уланиш схемаси 9 26-расмда кўрсатилган схемадан фарқ қилмайди.

Асинхрон двигательнинг ротор занжири актив қаршилигининг турли қийматлари учун қурилган $n = f(M)$ механик характеристикаси (9 38-расм) шуни кўрсатадики, ротор занжирининг актив қаршилиги ортиб бориши билан сирпанишнинг берилган юкланиш моментига тўғри келадиган қиймати катталашади, яъни двигательнинг айланишлар тезлиги камаяди. Агар реостат қаршилиги нолга тенг бўлса, двигатель синхрон тезликка яқин бўлган n_2' айланишлар тезлигига эга бўлади. Агар реостат қаршилиги нолдан катта бўлса, $n_2 < n_2'$ бўлади ва ҳоказо.



Одатда, ростлаш реостатининг

9.38-расм.

қаршилиги поғонали тарзда ўзгартирилади. Бинобарин, двигателнинг айланишлар тезлиги ҳам шунга мос равишда ўзгаради. Ростлаш реостатларининг қизишга сарфланадиган қувват исрофи кўпайиши билан двигателнинг фойдали иш коэффициентини камаяди. Булардан ташқари, юкланиш моментининг озгина ўзгариши ҳам двигател 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, двигател ўқидаги юкланишнинг ўзгаришига боғлиқдир. Бунда $\cos \varphi$ қувват коэффициентини деб аталади ва актив қувват тўла қувватнинг қандай қисмини ташкил этишини кўрсатади. Реактив қувват (Q) двигател 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

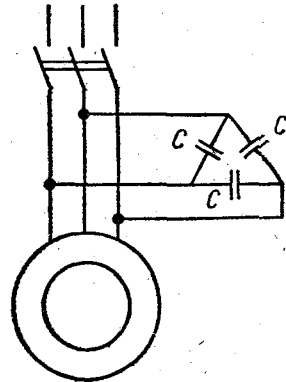
$$I = \frac{P}{U \cos \varphi}.$$

Шундай қилиб, двигател 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 $0,75 \div 0,85$ бўлса, кичик юкланишда $\cos \varphi$ камайиб кетади. Шунинг учун $\cos \varphi$ 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, $\cos \varphi$ кичик бўлади. Кам юкланиш билан ишлаётган двигателларни кичик қувватли двигателлар билан алмаштириш ва, иложига борица, двигателларнинг салт ишлаш вақтини камайтириш лозим.

Агар двигатель қувватини тўғри танлаш орқали қувват коэффициенти керакли қийматга ошириш имконияти бўлмаса, махсус усуллардан фойдаланилади. Директив $\cos \varphi$ нинг қиймати $0,9 \div 0,92$ оралиқда бўлади. $\cos \varphi < 0,9$ бўлганда реактив қувватни компенсациялаш учун махсус компенсациялаш қурилмаси — статик конденсатор багареяларидан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Конденсаторлар двигателларга (уч фазали истеъмолчиларга) параллел қилиб учбурчак схемада уланади (9.39-расм). Конденсаторларнинг сиғимий реактив қуввати двигателнинг индуктив қувватини қисман компенсациялайди. Натижада реактив қувват камаяди, қувват коэффициенти эса ортади:



9.39- расм.

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}}$$

бу ерда Q_C — компенсацияловчи қурилманинг реактив қуввати.

9.15. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЛАРНИНГ ТУРЛАРИ

Умумий мақсадларда ишлатиладиган асинхрон двигателлар саноатда ягона серияда ишлаб чиқарилади. Бинобарин, қуввати ва айланишлар сони (тезлиги) бир хил бўлган битта сериядаги двигателлар қаерда ишлаб чиқарилишидан қатъи назар, умумий конструкция ва бир хил ўлчамларга эга бўлади.

Уч фазали асинхрон двигателларни дастлабки ягона серияси бўлмиш А, АО сериялар 50-йилларда қўлланган. Бу сериядаги двигателларнинг қуввати 0,6 дан 100 кВт гача, габарит ўлчамлари етти хил бўлган. Асинхрон двигателларнинг биринчи сериясини иккинчи ягона серияга (АО2, А2) алмаштириш саноатда 1961 — 1965 йилларда ўзлаштирилди. Иккинчи серия двигателларининг қувват диапазони биринчи сериядагидек бўлиб, статор ўзаги ташқи диаметрининг ўлчамлари билан фарқ қиладиган, тўққизта габарит ўлчамга эга. АО2 ва

А2 сериядаги учфазали асинхрон двигателлар А ва АО сериялардан энергетик ва эксплуатацион кўрсаткичларининг анча юқорилиги билан фарқ қилади. I—V габаритли двигателлар механик ҳимояланган ва ёпиқ ҳолда совитиладиган (АО2), VI—XI габаритли двигателлар эса ҳимояланган (А2) ва ёпиқ ҳолда совитиладиган (АО2) двигателлардан таркиб топган.

Қуввати 100 кВт гача бўлган, А2 ва АО2 ягона сериядаги асинхрон двигателлар қуйидагича белгиланади:

А2 — ҳимояланган, умумий қўлланадиган, ишга тушириш 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 двигател, габарити V, статорининг узунлик номери биринчи, қутблар сони олтига.

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 двигател 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 тебрианиш 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 — двигательнинг хили (асинхрон); Н — двигатель ташқи муҳит таъсиридан ҳимояланган (бу ҳарфнинг бўлмаслиги двигатель ёпиқ ҳолда совитилишини билдиради); А ёки Х — двигательнинг станина ва қалқони қандай материалдан ясалганлигини (биринчи ҳарф станина ва қалқоннинг алюминийдан ясалганлигини, иккинчи ҳарф станинанинг алюминийдан, қалқоннинг эса чўяндан ясалганлигини, агар ҳарф бўлмаса станина ва қалқоннинг чўян ёки пўлатдан ясалганлигини) билдиради; иккита ёки учта рақам — двигатель айланиш ўқининг баландлиги; S, M, L — станинанинг узунлиги бўйича ўлчами (ушбу ҳарфлар иккита ёки учта рақамдан кейин туради); А ёки В — статор ўзагининг узунлиги; 2, 4, 6, 8, 10 ёки 12 — қутблар сони, V — қандай иқлимда ишлатишга мўлжалланган; 3 — ўрнатилиш категорияси.

4А сериядаги двигателларнинг хили ва ўлчамларини белгилашнинг янги системаси қабул қилинган. Масалан, 4АН200М4У3 қуйидагини англатади: уч фазали қисқа туташтирилган роторли асинхрон двигатель, ҳимояланган IV серия, станина ва қалқони чўяндан ясалган, айланиш ўқининг баландлиги 200 мм, станина узунлиги бўйича ўрнатилган ўлчами M, тўрт қутбли, иқлим шароитига мослаб ясалган V (мўътадил иқлим), учинчи категория.

Сирпаниши оширилган двигателларда серия белгисидан кейин қўшимча „С“ белгиси қўйилади (4АС200 6У3). Кўп тезликли двигателларнинг белгиланишида қутблар сони келтирилган бўлади (4А200М12/8/2/6/4У3). Фаза роторли двигателларда 4А ёки 4АН, кейин „К“ белгиси қўйилади (4АНК280М4У3). Кам шовқинли 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.