М. М. КАЦМАН

ЭЛЕКТР МАШИНАЛАРИ ва ТРАНСФОРМАТОРЛАР

Русча учинчи нашридан таржима

СССР Олий ва махсус ўрта таълим министрлиги техникумларнинг энергетика ва электротехника ихтисосликлари учун дарслик сифатида рухсат этган

„ЎҚИТУВЧИ" НАШРИЁТИ
Тошкент — 1976

31
К 31

Ушбу китобда умумий қўлланиладиган электр машиналари ва трансформаторларнинг ҳамда автоматика қурилмаларида қўлланиладиган махсус машиналарнинг (ижрочи двигателлар, тахогенераторлар, сельсинлар ва электр-машинавий кучайтиргичлар) назарияси ва ишлатилишига оид асосий маълумотлар баён қилинган.

Дарслик техникумларнинг энергетика ва электротехника ихтисослигини олишга ўқийдиган студентлари учун мўлжалланган, ундан электр машиналарнинг назарияси ва ишлатилиши масалалари билан танишиб чиқишни хоҳловчи мутахассислар ҳам фойдаланишлари мумкин.

26675
1976 ГБ УзССР 53938

© „Ўқитувчи" нашриёти, 1975 (русчадан таржима)

К $\frac{30307-149}{М\ 353(06)-76}$ 157—76

РУСЧА НАШРИГА СЎЗ БОШИ

Ушбу китоб техникумларнинг энергетика ва электротехника ихтисосликлари учун дарсликдир. Китобда электр машиналари ва трансформаторларнинг тузилиши, ишлаш принципи ва ишлашининг физикавий асосларига оид муҳим маълумотлар берилган Бунда ҳозирги энергетика ва электр юритманинг асоси бўлган, умумий мақсадларда қўлланиладиган машиналар билан бир қаторда бўлажак мутахассиснинг амалий фаолиятида учраши мумкин бўлган баъзи махсус машиналар тўғрисида ҳам маълумотлар келтирилади.

Автор китобнинг кимларга мўлжаллланганлигини (вазифасини) назарда тутган ҳолда электр машиналари ва трансформаторларда содир бўладиган процессларнинг физикавий моҳиятини иложи борича тўлиқ баён қилишга ҳаракат қилди.

Китобда масалалар ечишга, диаграммалар, графиклар ва бошқалар қуришга доир етарли миқдорда мисоллар берилган, булар ушбу курсни мустақил ўрганувчилар учун жуда фойдали бўлади. Китобхонларнинг илгариги нашрларга юборган жуда кўп фикр-мулоҳазалари материални баён қилиш методикаси мақсадга мувофиқлигини тасдиқлади. Ушбу нашрида китобга жуда оз ўзгартиш киритилди.

Автор китобни яхшилашга имкон берган фойдали фикр-мулоҳазалари учун МИИТ электр машиналари кафедрасининг мудири проф. В. Е. Доценкога миннатдорчилик билдиради. Автор қимматли маслаҳатлари учун проф. Д. В Свечарник

ва доц. Ф. М. Юферовга ташаккур билдиришни ҳам ўзининг бурчи деб ҳисоблайди.

Автор

Китоб ва унда ишлатилган терминлар ҳақида ўзларининг танқидий мулоҳазаларини қуйидаги адресга юборган китобхонлардан ғоят миннатдор бўламиз: Тошкент, Навоий кўчаси, 30- уй, *„Ўқитувчи" нашриётининг умумтехника адабиёти редакцияси.*

КИРИШ

1-§. Электр машиналарининг вазифаси ва классификацияси

Электр энергияси энергиянинг халқ хўжалигида фойдаланиладиган асосий тури ҳисобланади. Электр энергия ишлаб чиқарадиган ва уни истеъмол қиладиган электр машиналари куч электр системанинг асосий звеносини ташкил этади.

Қуввати бир неча ваттдан ўнлаб ва ҳатто юзлаб меговаттгача бўлган электр машина тайёрлаш мумкинлиги ундан саноат, транспорт ва қишлоқ хўжалигини электрлаштиришда асосий иш машинаси сифатида фойдаланишга имкон беради.

Барча электр-магнитавий механизмлар каби электр машина ҳам энергияни ўзгартирувчи ҳисобланади. Иссиқлик ва атом электр станцияларида электр энергия ишлаб чиқаришда ёқилғини ёндириш ёки ядро реакциялари натижасида олинган иссиқлик энергияси буғ турбинаси воситасида айланма механикавий энергияга айлантирилади,бу энергия эса электр машинасини—*генераторни* ҳаракатга келтиради. Гидравлик электр станцияларда электр энергияси олиш учун сатҳи муайян баландликка кўтарилган сув энергиясидан фойдаланилади. Сув гидротурбина орқали ўтиб, вали генератор вали билан боғланган ғилдиракни айлантиради. Генераторда содир бўладиган электр-магнитавий процесслар натижасида механикавий энергия электр энергияга айланади.

Хўжаликнинг турли соҳаларида истеъмол қилинадиган электр энергиясининг кўпгина қисми машина, механизм ва станокларни ҳаракатга келтириш учун яна механикавий энергияга айлантирилади. Электр энергияси *электр двигателлар* деб ата-

ладиган электр машиналар ёрдамида механикавий энергияга айлантирилади.

Электр машиналаридан асосан (бевосита), генераторлар ёки двигателлар сифатида фойдаланилади. Лекин электр машиналари бошқа мақсадларда ҳам ишлатилади. Масалан, электр энергиянинг истеъмол қилиниши, кўпинча, электр токининг турини ўзгартириш, чунончи, ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантириш ёки кучланиш катталигини ўзгартириш билан боғлиқ бўлади. Бундай ўзгартиришлар электр-машинавий ўзгартиргичлар воситасида амалга оширилади.

Электр машиналаридан электр сигналларнинг қувватини кучайтиришда ҳам фойдаланилади. Бундай ҳолларда электр машина *электр-машинавий кучайтиргич* дейилади.

Электр қурилмаларнинг қувват коэффициентини ошириш учун фойдаланиладиган электр машина *синхрон компенсатор* дейилади.

Электр машиналар вазифасига кўра бўлинишидан ташқари, ишлаш принципига кўра ҳам классификацияланади. Бу классификацияга мувофиқ, электр машиналари бир-биридан ҳам ишлаш принципи, ҳам конструкцияси жиҳатидан фарқ қиладиган коллекторли ва коллекторсиз машиналарга бўлинади (1- расм).

Коллекторли машиналар, асосан, ўзгармас токда ишлаш учун қўлланилади. Коллекторли машиналарнинг кам қувватлиларигина ҳам ўзгармас, ҳам ўзгарувчан токда ишлаш учун универсал қилиб ишланади.

1- расм. Электр машиналарининг иш принципига кўра классификацияланиши.

Коллекторсиз машиналар асинхрон ва синхрон машиналарга *бўлинади ҳамда кўп фазали ҳам, бир фазали ҳам бўлиши* мумкин.

Ишлаб чиқариш фаолиятининг ҳамма соҳаларида электр машиналарнинг кенг тарқалганлиги уларнинг турли иш шароитларига ва қўйиладиган талабларга мос келувчи кўпдан-кўп *конструктив формаларининг ишлаб чиқилишига олиб келди.* Шу сабабли, электр машиналарнинг 1- расмда келтирилган классификацияси тақрибий бўлиб, электр машиналарнинг ҳамма турларини акс эттирмайди, албатта. Шунга қарамай, бу классификация билан танишиш фойдалидир, чунки у электр машиналари курсини ўрганишга асос қилиб олинган.

Электр машиналари курси электр машиналаридан ташқари трансформаторларни ҳам ўрганишни назарда тутади.

Трансформатор ўзгарувчан ток электр энергиясининг статик ўзгартиргичи ҳисобланади. Ўзгарувчан ток кучланишини трансформатор воситасида ўзгартириш мумкинлиги ўзгарувчан токка бир қанча афзалликлар беради, шу сабабли бу ток кенг тарқалган. Ҳозирги вақтда ўзгарувчан ток электр қурилмасини трансформаторсиз тасаввур этиб бўлмайди.

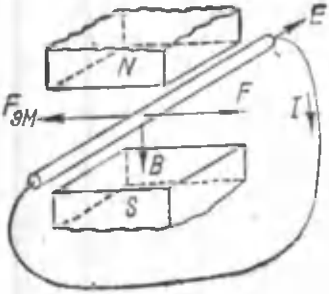
Ҳеч қандай айланувчан қисмлари йўқлиги сабабли трансформаторнинг конструктив шакли электр машинасидан тубдан фарқ қилади. Лекин трансформаторларнинг ишлаш принципи ҳам, электр машиналарнинг ишлаш принципи сингари, электромагнитавий индукция ҳодисасига асосланган. Бундан ташқари, ўзгарувчан ток электр машиналари ишлаганда бўладиган физикавий процесслар кўп жиҳатдан трансформаторлар ишлашидаги физикавий процессларга ўхшайди.

Шунинг учун ушбу курсда трансформаторлар назариясининг асосларини ўрганиш яна шу сабабли ҳам фойдалики, у ўзгарувчан ток электр машиналарига доир масалаларни янада чуқурроқ тушуниб олишга имкон беради.

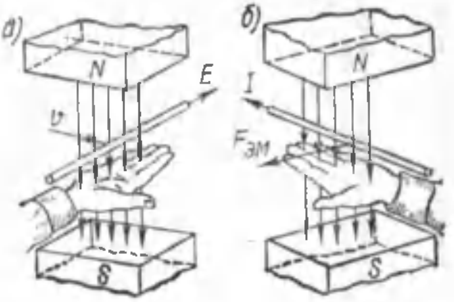
2- §. Электр машиналарида энергияни бир турдан иккинчи турга айлантириш

Электр машиналари курсининг баёни электр ва магнитавий ҳодисаларнинг қонунларини билишга асосланган. Аммо шу қонунлардан баъзилари ушбу курсда, айниқса, муҳим аҳамият касб этади, чунки электр машиналарнинг ишлаш принципи ана шу қонунларга асосланган. Шу мулоҳазаларга кўра, электр

машиналарининг ишлаш принципини ўрганишга ўтишдан олдин шу принциплар асосида ётувчи қонуниятлар ҳақида тўхталиб ўтган маъқул. Электр машинаси генератор режимида ишлаганда механикавий энергия электр энергиясига айлантирилади. Бу электр-магнитавий индукция қонуни билан тушунтирилади; бу қонуннинг моҳияти қуйидагилардан иборат: агар ўтказгични магнитавий майдонда ташқи куч F таъсирида ҳаракатга келтирсак (2- расм), масалан, магнитавий индукция вектори B га



2- расм. Ўтказгичнинг магнитавий майдонда ҳаракатланиши.



3- расм „Ўнг қўл" қоидаси (*а*) ва „чап қўл" қоидаси (*б*).

перпендикуляр равишда чапдан ўнгга ҳаракатлантирсак, ўтказгичда электр юритувчи куч (э. ю. к.) ҳосил бўлади:

$$E = Blv, \tag{1}$$

бунда E—ўтказгичда индукцияланган электр юритувчи куч, *в*;

B—магнитавий индукция, *Тл*;

l—ўтказгичнинг актив узунлиги, яъни магнитавий майдондаги қисмининг узунлиги, *м*;

v—ўтказгичнинг ҳаракатланиш тезлиги, *м/сек*.

Бу формула билан э. ю. к. катталиги аниқланади, холос. Э. ю. к. нинг йўналишини аниқлаш учун „ўнг қўл" қоидасидан фойдаланиш лозим (3- расм, *а*). Бу қоидани татбиқ этиб, ўтказгичдаги э. ю. к. нинг йўналишини („биздан") аниқлаймиз. Агар ўтказгичнинг учларини ташқи қаршиликка (истеъмолчига) уласак, у ҳолда э. ю. к. таъсирида ўтказгичда худди шу йўналишдаги ток пайдо бўлади. Шундай қилиб, магнитавий майдондаги ўтказгични бу ҳолда энг оддий генератор дейиш мумкин.

Ўтказгичдаги ток I билан магнитавий майдоннинг ўзаро таъсири натижасида ўтказгичга таъсир этувчи электромагнитавий куч $F_{эм}$ ҳосил бўлади:

$$F_{эм} = BIl. \qquad (2)$$

$F_{эм}$ кучнинг йўналишини „чап қўл" қоидасига кўра аниқлаш мумкин (3- расм, *б*). Юқорида кўриб ўтилган ҳолда бу куч ўнгдан чапга, яъни ўтказгичнинг ҳаракатланишига тескари томонга йўналган. Шундай қилиб, генераторда электромагнитавий куч $F_{эм}$ ҳаракатлантирувчи куч F га нисбатан секинлатувчи (тўхтатувчи) бўлади.

Ўтказгич бир текис ҳаракатланганда ҳаракатлантирувчи куч тўхтатувчи электромагнитавий кучга тенг бўлади, $F = F_{эм}$. Тенгликнинг иккала қисмини ўтказгичнинг ҳаракатланиш тезлигига кўпайтирамиз:

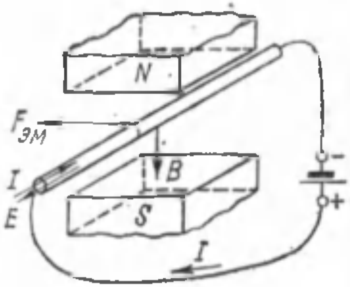
$$Fv = F_{эм}v$$

(2) формуладан $F_{эм}$ нинг қийматини келтириб қўйсак:

$$Fv = BIlv = EI$$

бўлади.

Тенгликнинг чап қисми (Fv) ўтказгичнинг магнитавий майдонда ҳаракатлантиришга сарф қилинадиган механикавий қувват катталигини белгилайди, бу тенгликнинг ўнг қисми эса (EI) ёпиқ контурда электр токи I ҳосил қилган электр қувватининг катталигини кўрсатади. Бу қисмлар орасидаги тенглик ишораси ташқи куч сарф қиладиган механикавий қувватнинг генераторда электр қувватига айланишини кўрсатади. Агар ўтказгичга ташқи куч F қўймай, унга электр энергияси манбадан шундай кучланиш U берилсаки, бунда ўтказгичдаги токнинг йўналиши 4- расмда кўрсатилганидек бўлса, у ҳолда ўтказгичга фақат электромагнитавий куч $F_{эм}$ таъсир этади, холос. Ўтказгич шу куч таъсирида магнитавий майдонда ҳаракатлана бошлайди. Бунда ўтказгичда қўйилган кучланиш U га қарама-қарши йўналган э. ю. к. индукцияланади. Шундай қилиб, бу кучланишнинг бир қисми шу ўтказгичда ҳосил бўл-



4- расм. Магнитавий майдондаги токли ўтказгич.

ган электр юритувчи куч E билан мувозанатлашади, бошқа қисми эса ўтказгичдаги кучланиш тушишини ташкил этади:

$$U = E + Ir$$

бунда r—ўтказгичнинг электр қаршилиги.

Тенгликнинг иккала қисмини ток I га кўпайтирамиз:

$$UI = EI + I^2r$$

E нинг ўрнига (1) формуладан э. ю. к. қийматини қўйсак, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$UI = BlvI + I^2r$$

ёки (2) формулага биноан,

$$UI = F_{эм}v + I^2r$$

Бу тенгликдан шундай хулоса келиб чиқади: ўтказгичга келувчи электр қуввати (UI) қисман механикавий қувват ($F_{эм}v$) га айланади, бир қисми эса ўтказгичдаги электр исрофлари (I^2r) ни қоплашга сарфланади. Бинобарин, магнитавий майдонда жойлашган токли ўтказгични энг оддий электродвигатель деб қараш мумкин.

Энергиянинг юқорида кўрсатиб ўтилган бир турдан иккинчи турга айланиш процесслари жуда муҳим хулоса чиқаришга имкон беради: электр машина ишлашининг зарурий шарти, ўтказгичлар ва магнитавий майдоннинг мавжуд бўлишидир. Бунда электр машинада энергия исталган йўналишда ўзгариши мумкин, яъни электр машина генератор сифатида ҳам двигатель сифатида ҳам ишлаши мумкин. Электр машиналарнинг бу хусусияти уларнинг қайтарлиги деб аталади.

3-§. Электр машиналари ва трансформаторларнинг ривожланиши ҳақида тарихий маълумотлар

Электр машиналари ўзининг ривожланиш даврида катта ва мураккаб бўлган такомиллашиш йўлини босиб ўтди.

Электр энергиясини механикавий энергияга айлантириш мумкинлигини дастлаб 1821 йилда электр двигателнинг биринчи моделини яратган М. Фарадей аниқлади; бу моделда мис симдан ўтаётган электр токи уни вертикал ҳолатда қўйилган доимий магнит атрофида ҳаракатга келтирди. Лекин электр двигатели яратиш устида ўн йилдан зиёдроқ вақт ичида қилинган кейинги ишлар қониқарли натижалар бермади ва фақат 1834 йилдагина рус академиги Б. С. Якоби ҳозирги электр двигателининг прототипи бўлган конструкцияни яратди.

Электр генератори яратиш имконияти М. Фарадей 1831 йилда электромагнитавий индукция қонунини кашф этгандан кейингина пайдо бўлди. Бу кашфиётдан фойдаланиб, ака-ука Пиксилар 1832 йилда айланувчи доимий магнитлари бўлган ва токни тўғриловчи коммутаторли биринчи электр генератор конструкциясини яратдилар.

Дастлабки вақтларда электр двигатель ва генераторлар бир-бирига боғлиқ бўлмаган ҳолда такомиллашиб борди.

1833 йилда Ленц электр машиналарининг принципини таърифлаб берди, 1838 йилда эса бу принципни амалга оширди.

Генераторлар такомиллашувининг кейинги босқичи доимий магнитларнинг электромагнитлар билан алмаштирилишидан иборат бўлди.

Электр машиналари ривожланишининг бошланғич даври, асосан, ўзгармас ток билан боғлиқ. Бунга сабаб шуки, электр энергиясининг истеъмолчилари фақат ўзгармас токда ишлайдиган қурилмалар (ёйли лампалар, гальванопластика қурилмалари ва бошқалар) эди. Йирик шаҳарларда электр билан ёритишнинг қўлланилиши электр генераторларининг қувватини оширишни ва уларни янада такомиллаштиришни тақозо қилди.

1867 йилда В. Сименс кетма-кет қўзғатишли генераторлар учун ўз-ўзини қўзғатиш принципини қўллади. Шу йилнинг ўзида Д. Максвелл биринчи бўлиб ўз-ўзини қўзғатишли электр машинасининг математик назариясини яратди ва шу билан электр машиналари назариясига асос солди.

1870 йилда З. Грамм ҳалқасимон якорли машинани, 1873 йилда эса Ф. Гефнер-Алтенек ва В. Сименс „барабансимон" якорли машина конструкциясини яратдилар.

Электрлаштирилган темир йўлларнинг кўпайиши натижасида электродвигателлар ва генераторларга бўлган талаб ҳам анча ошди ва бу нарса уларнинг янада такомиллашувига сабаб бўлди.

Ўтган асрнинг 80- йилларида электр энергиясини узоқ масофаларга узатиш зарурати туғилди. 1882 йилда электр энергиясини юқори кучланишли ўзгармас токда узатишга доир тажрибалар ўтказилди. Лекин ўзгармас ток генераторларидаги юқори кучланиш коллектор ишини ёмонлаштириб, кўпчилик ҳолларда аварияларга олиб келди. Буларнинг ҳаммаси ўша вақтдаги электротехникларнинг ўзгарувчан токка бўлган қизиқишини кучайтирди. Ўзгарувчан токни ривожлантиришда

рус олими П. Н. Яблочковнинг хизматлари катта, у ўзи ихтиро қилган электр шамларни таъминлаш учун ўзгарувчан токдан кенг фойдаланди. 1876 йилда П. Н. Яблочков бу шамларни таъминлаш учун туташмаган ўзакли трансформаторларни ишлатди ва бу билан трансформаторлардан амалда фойдаланишга асос солди.

Ҳозирги трансформаторларга ўхшаш туташган ўзакли трансформаторлар кейинроқ, 1884 йилда пайдо бўлди.

Электр юритма мақсадларида ўзгарувчан токдан амалда фойдаланиш 1889 йилдан бошланган деб ҳисоблаш лозим; шу йили буюк рус инженери М.О. Доливо-Добровольский амалда татбиқ этиш учун ўзгарувчан токнинг уч фазали системасини таклиф қилди ва уч фазали асинхрон двигатель ҳамда уч фазали трансформатор ясади.

Доливо-Добровольский 1891 йилда уч фазали трансформаторлар ишлатиб, узунлиги 175 *км* ва кучланиши 15 минг *в* бўлган биринчи уч фазали ўзгарувчан ток электр узатиш линиясини қурди. Бу линияни синаб кўриш натижалари анча кўп миқдордаги электр энергиясини нисбатан катта ф. и. к. билан узатиш учун уч фазали ток системасини қўллаш мумкинлигини кўрсатди. Уч фазали ток системасининг прогрессивлиги шунчалик равшан эдики, асримизнинг бошларига келиб у умум томонидан эътироф этилди ва тез ривожлана бошлади.

XX асрнинг бошларига келиб электр машиналарнинг барча асосий турлари яратилиб бўлди ва улар назариясининг асослари ишлаб чиқилди. Шу вақтдан бошлаб саноат ва транспортни электрлаштириш тез суръатлар билан амалга оширила бошланди. Шу муносабат билан электр станцияларнинг қуввати орта борди, турбогенераторлар—буғ турбинаси билан бевосита уланган машиналар яратила борди. Генератор ва трансформаторларнинг қуввати оширила борди. Агар 1900 йилда генераторнинг қуввати 5 минг *ква* дан ошмаган бўлса, 1920 йилга келиб қуввати 60 минг *ква* бўлган турбогенераторлар қурилди. Ҳозирги вақтда водород билан совитиш усулини татбиқ этиш қуввати 500 минг *ква* дан ортиқ бўлган турбогенераторлар қуришга имкон берди.

4-§. Ватанимиз электр машинасозлиги ва унинг ривожланиш истиқболлари

Революциядан аввалги Россияда бўлган, электр машиналари ишлаб чиқарадиган айрим заводлар чет эл фирмаларига қараш-

ли эди. Ватанимиз электр машинасозлиги Улуғ Октябрь социалистик революциясидан кейингина пайдо бўлди ва ривожлана бошлади. Совет Иттифоқининг халқ хўжалигини электрлаштириш, дастлаб, 1920 йилда ишлаб чиқилган ГОЭЛРО планига мувофиқ амалга оширилди. Шу планга кўра 10—15 йил ичида умумий қуввати 1 700 минг *квт* бўлган 30 та электростанция қуриш мўлжалланган эди. ГОЭЛРО плани 1931 йил 1 январда муддатидан илгари бажарилди. 1913 йилга нисбатан электр станцияларнинг қуввати 3 марта, электр энергияси ишлаб чиқариш эса 4 марта кўпайди.

Шундан кейин совет электр машинасозлиги тез суръатлар билан ривожлана бошлади ва 1940 йилга келиб Европа ҳамда Америкадаги саноат жиҳатидан энг илғор капиталистик мамлакатлар даражасига етиб олди.

Улуғ Ватан урушидан кейин электр машинасозлик заводларимизда йирик гидрогенераторлар, шу жумладан Волга ГЭСи учун 103 минг *квт* қувватли гидрогенераторлар, Братск ГЭСи учун 225 минг *квт* қувватли ҳамда Красноярск ГЭСи учун 500 минг *квт* қувватли гидрогенераторлар қурилди.

1946 йилда водород билан совитиладиган 100 минг *квт* қувватли биринчи турбогенератор, 1957 йилда эса қўзғатиш чулғами водород билан тез совитиладиган 200 минг *квт* қувватли турбогенератор қурилди. Ҳозирги вақтда 500 минг *квт* қувватли турбогенераторлар яратилган.

Ватанимиз электр машинасозлиги электр двигателлар ишлаб чиқариш бўйича ҳам кўпгина ютуқларга эришди. Умумий мақсадларда ишлатиладиган двигателларнинг ҳам, турли шароитларда ишлатиш учун мўлжалланган махсус двигателларнинг ҳам бир неча хил сериялари яратилди.

Янги материаллар, изоляциянинг янги турлари ва ниҳоятда чидамли локлар ишлатиш янада такомиллашган конструкциядаги электр машиналари яратишга имкон берди.

Трансформаторсозлик соҳасида ҳам анчагина ютуқларга эришилди. Трансформаторлар ишлаб чиқариш кейинги йилларда кескин кўпайди, уларнинг номенклатураси бир неча марта ортди, шу жумладан саноат, қишлоқ хўжалиги ва қурилишнинг турли-туман эҳтиёжларига мос келадиган ҳар хил характеристикали махсус трансформаторлар ишлаб чиқариш йўлга қўйилди. Трансформаторларнинг бир бирликдаги қуввати кескин ортди. Масалан, қуввати 400 минг *квт* ва юқори

кучланиши 330 *кв* бўлган уч фазали трансформаторлар ишлаб чиқариш йўлга қўйилди.

Халқ хўжалиги барча тармоқларининг жадал ривожланиши электротехника саноати олдига электроэнергетиканинг тезкор суръатлар билан ўсишини таъминлаш вазифасини қўяди. Шу муносабат билан электр станцияларнинг қувватини янада ошириш бўйича иш олиб борилмоқда.

Янги магнитавий ва электр-изоляцион материаллар ҳамда совитишнинг янги методларини татбиқ этиш билан генераторларнинг бирлик қуввати 800—1000 *Мвт* га етказилади.

Ишлаб чиқариладиган электр энергиясининг деярли 75 процентини электр двигателлари истеъмол қилишини ва мамлакатимизда йилига миллионлаб электр двигателлар ишлаб чиқарилишини ҳисобга олиб, двигателларнинг тежамли конструкцияларини яратиш ва уларнинг хизмат муддатини 1,5—2 баравар ошириш масалаларига катта эътибор берилади.

Алюминий чулғамлар, электротехникавий ва конструкцион пўлатларнинг янги маркаларини, янги изоляция материалларини ишлатиб ҳамда совитишнинг янада тезкор методларини қўллаб, асинхрон двигателлар ва ўзгармас ток машиналарининг юқори техника-иқтисодий кўрсаткичларга эга бўлган янги серияларини ишлаб чиқиш ҳамда уларни ялпи ишлаб чиқаришга жорий қилиш лозим.

Коммунистик жамиятнинг мамлакатни ёппасига электрлаштиришга асосланган моддий-техника базасини яратиш электротехника саноати ишчиларидан ва инженер-техник ходимларидан чуқур билимга эга б лишни ва бу билимларни амалиётга ижодий татбиқ эта билишни талаб қилади.

БИРИНЧИ БЎЛИМ

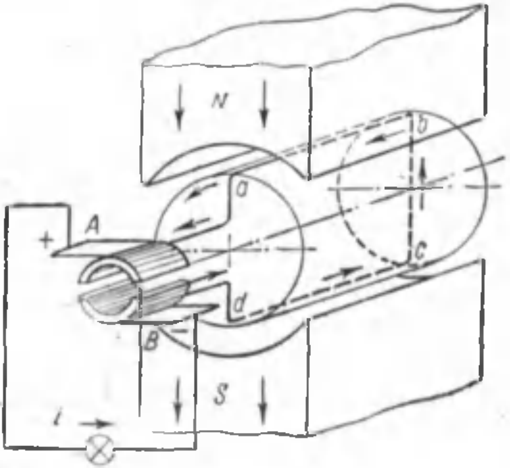
ЎЗГАРМАС ТОК КОЛЛЕКТОРЛИ МАШИНАЛАРИ

I боб

ЎЗГАРМАС ТОК КОЛЛЕКТОРЛИ МАШИНАЛАРИНИНГ ТУЗИЛИШИ ВА ИШЛАШ ПРИНЦИПИ

1. 1-§. Ўзгармас ток генераторининг ишлаш принципи

Ўзгармас ток машиналарининг асосий тури коллекторли машиналардир. Коллектор типидаги энг оддий ўзгармас ток машинасининг генератор режимида ишлаш процессини кўриб чиқамиз (1, 1-расм). Доимий магнитнинг иккала қутблари (N



1. 1-расм. Ўзгармас ток машинасининг энг оддий модели.

ва S) орасига машинанинг айланувчи қисми — якорь жойлашган. Якорни айлантириш учун бирламчи двигателнинг, масалан, турбина ёки ички ёнув двигателининг механикавий кучидан фойдаланилади. Машинанинг якори пўлат цилиндрдан иборат бўлиб, унга $abcd$ ўрам ҳолидаги чулғам жойлаштирилган; ўрамнинг учлари валга маҳкамланган ва бир-биридан изоляция қилинган иккита пластинкага (ярим ҳалқага) уланган. Бу пластинкалар машинанинг муҳим қисми — коллекторни ҳосил қилади. A ва B чўткаларга генератор нагрузкаси уланган.

Машинанинг ишлаш процессида коллектор вал билан бирга айланади, *A* ва *B* чўткалар эса қўзғалмай қолаверади.

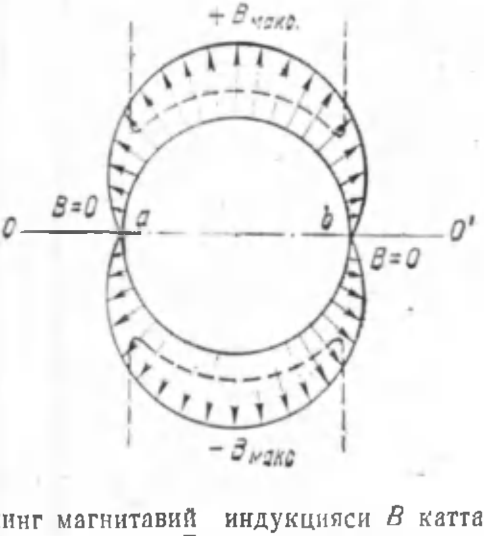
Генератор якори соат стрелкасининг ҳаракатига тескари йўналишда айланади, деб фараз қилайлик; бунда якорь чулғами ўтказгичларида йўналиши расмда стрелкалар билан кўрсатилган э. ю. к. индукцияланади. Чулғамнинг битта ўтказгичи учун бу э. ю. к. нинг оний қиймати қуйидаги формула билан аниқланади:

$$l = Blv \qquad (1.\ 1)$$

Ўтказгичнинг актив узунлиги ўзгармас катталик бўлгани учун агар генераторнинг ишлаш процессида якорнинг ҳаракатланиш тезлиги ўзгармас бўлиб қолса, (1. 1) формулада уларнинг кўпайтмаси ҳам ўзгармас катталик (const) бўлади. Бу (1, 1) формулани қуйидаги кўринишда ёзишга имкон беради:

$$l = \text{const}B$$

Бу формула якорь чулғамидаги э. ю. к. нинг катталиги ва *йўналиши фақат якорь билан қутблар оралиғидаги ҳаво зазори*-

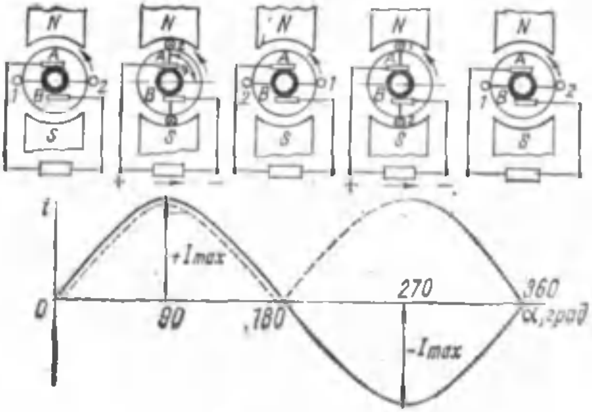


1. 2- расм. Магнитавий индукциянинг ҳаво зазорида тақсимланиш диаграммаси

нинг магнитавий индукцияси *B* катталиги билан *аниқланишини* кўрсатади. Лекин генераторнинг ҳаво зазоридаги магнитавий индукциянинг якорь айланаси бўйлаб ҳар жойда тақсимланиши бир хилда эмас: қутблар ўртасининг тагида индукция *B* максимал қийматга эга (шимолий қутб тагида мусбат, жанубий қутб тагида эса манфий), қутбларнинг четига яқинлашган сари индукция камайиб боради 1. 2- расм.

1. 2- расмда магнит қутбларининг зоналарини ажратувчи ва якорь марказидан ўтадиган *OO'* чизиқ геометрик нейтрал дейилади. Геометрик нейтралда (*a* ва *b* нуқталар) магнитавий

индукция нолга тенг. Генераторнинг ишлаш процессида якорь айланади ва унинг чулғамининг ўтказгичлари магнитавий майдонда навбатма-навбат магнитавий индукциянинг катталиклари ҳар хил бўлган ҳолатларни эгаллайди, шу сабабли генератор якорининг чулғамида узгарувчан э. ю. к. ҳосил бўлади. Бунда э. ю. к. нинг вақтга боғлиқ ҳолда ўзгариш графиги магнитавий индукциянинг ҳаво зазорида тақсимланиш диаграммасига мос келади. Масалан, магнитавий индукциянинг тақсимланиши синусоидал характерида бўлганда э. ю. к. ва демак, якорь чулғамидаги ток ҳам синусоидал бўлади. Агар машинада коллектор бўлмаганида генераторнинг ташқи занжиридаги ток ўзгарувчан бўлар эди. Лекин коллектор ҳамда *A* ва *B* чўткалар



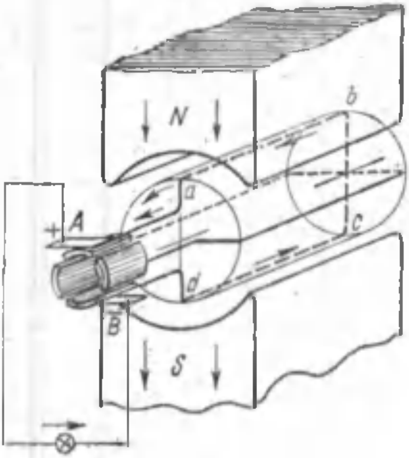
1. 3- расм. Ўзгармас ток генераторининг ишлаш принципи масаласига доир: — якорь чулғамидаги э. ю. к. ва ток; . . . генераторнинг чўткаларидаги ва ташқи занжиридаги э. ю. к ва ток.

воситасида ўзгарувчан ток пульсацияланувчи токка, яъни йўналиши ўзгармайдиган токка айланади. *abcd* ўрамнинг 1. 1-расмда кўрсатилган ҳолатида генераторнинг ташқи занжиридаги ток *A* чўткадан *B* чўткага томон йўналган. Занжирнинг ташқи қисмидаги ток мусбат клеммадан манфийга томон йўналганлигига асосланиб, чўткаларнинг қандай қутбланганлигини аниқлаймиз: *A* чўтка „мусбат", *B* чўтка эса „манфий" қутбланган.

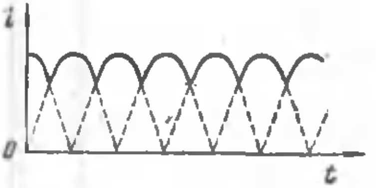
Якорь 180° га бурилгандан кейин ўрамдаги токнинг йўналиши тескари томонга ўзгаради. Лекин чўткаларнинг қутблилиги ва бинобарин, занжирнинг ташқи қисмидаги токнинг йўналиши ўзгармай қолади. Бунга сабаб шуки, ўрамдаги ток ўз йўналишини ўзгартирганда чўткалар тагидаги коллектор пластинкалари ҳам жой алмашинади. Шундай қилиб, *A* чўтка тагида ҳамма вақт шимолий қутб тагидаги ўтказгичга уланган пластинка. *B* чўтка тагида эса жанубий қутб тагидаги

1976 ГБ УзССР 53938

ўтказгичга уланган пластинка туради. Натижада чўткаларнинг қутблилиги ўрамларнинг магнитавий майдондаги ҳолатидан қатъи назар, генераторнинг ишлаш процессида ўзгармайди. Шу туфайли генераторнинг ташқи занжиридаги токнинг йўналиши ўзгармас бўлади. Бу токнинг катталигига келсак, у ўзгарувчанлигича қолаверади: чулғам ўтказгичлари қутблар тагида бўлганда токнинг қиймати максимал, улар геометрик нейтралда бўлганида эса ток нолга тенг бўлади. Бу ҳолат 1. 3- расм, *а* да тасвирланган; унда генератор якорининг битта айланганидаги ҳар хил ҳолатлари ва 1. 3- расм, *б* да якорь чулғамидаги ҳамда генераторнинг ташқи занжиридаги э. ю. к. ва токнинг графиклари тасвирланган. Шундай қилиб, ўзгармас ток генераторида якорь чулғамидаги ўзгарувчан ток коллектор воситасида занжирнинг ташқи қисмидаги пульсацияланадиган токка айлантирилади.



1. 4- расм. Якори икки урамли ўзгармас ток машинасининг модели.



1. 5- расм. 1. 4- расмда кўрсатилган генератор тўғриланган токнинг графиги.

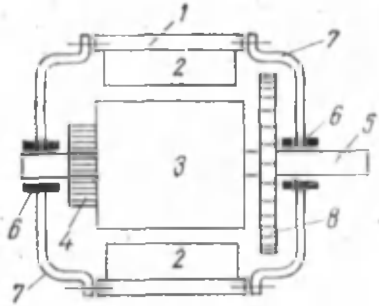
Агар ишлатиладиган якорь чулғами ҳар бири коллектор пластинкаларнинг тегишли жуфтига уланган бир неча ўрамдан иборат бўлса, у ҳолда генераторнинг ташқи занжиридаги ток пульсациясини камайтириш мумкин. Масалан, якорда иккита ўрам фазода бир-биридан 90° бурчакка силжитилган ҳолда жойлашган бўлса, (1. 4- расм), ток пульсацияси сезиларли даражада камаяди (1. 5- расм).

Якорь чулғамида ўрамлар сони кўп бўлганда токнинг пульсацияланиши янада камаяди. Амалда чулғамда 16 ўрам (коллекторда 16 пластинка) бўлгандаёқ токнинг пульсацияси сезилмай қолади ва генераторнинг ташқи занжиридаги (нагрузкадаги) токни фақат йўналиши бўйича эмас, балки катталиги бўйича ҳам ўзгармас дейиш мумкин бўлади.

1. 2-§. Ўзгармас ток коллекторли машинасининг тузилиши ва унинг асосий қисмларининг конструкцияси

Ҳозирги вақтда саноатда турли шароитларда ишлатишга мўлжалланган ўзгармас ток электр машиналари тайёрланади. Шу сабабли машиналар айрим узелларининг конструкцияси турлича бўлиши мумкин, лекин бу машиналарнинг умумий конструктив схемаси бир хилдир (1. 6-расм.)

Ўзгармас ток машинаси бир биридан ҳаво зазори билан ажралган қўзғалмас қисм – статор ва айланувчи қисм — ротордан таркиб топган. Статор ички юзасига чулғамларга эга бўлган асосий ва қўшимча қутблар маҳкамланган станинадан иборат. Асосий қутблар машинада асосий магнитивий оқим ҳосил қилиш, қўшимча қутблар эса коммутацияни яхшилаш учун хизмат қилади (3. 4-§ га қаранг).



1. 6-расм. Ўзгармас ток машинасининг асосий конструктив схемаси:

1—станина; 2—асосий қутблар; 3—якорь ўзаги; 4—коллектор; 5—вал; 6—подшипник; 7—подшипниклар шчити; 8—вентилятор.

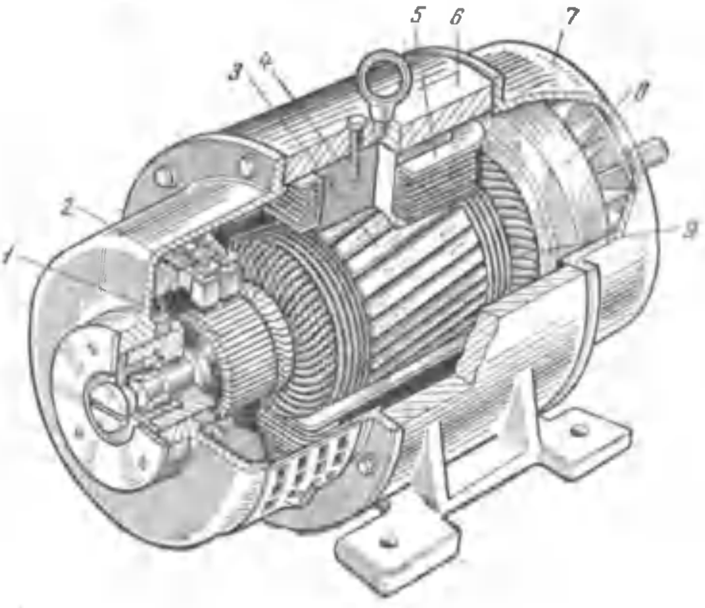
Ўзгармас ток машинасининг якори вал, ўзак, чулғам ва коллектордан таркиб топган. Валнинг учлари подшипник шчитларида жойлашган подшипникларда туради. Яхшироқ совитилиши учун кўпчилик машиналарда вентилятор ҳам бўлади.

1. 7-расмда ўзгармас ток электр машинасининг тузилиши кўрсатилган.

Қуйида ўзгармас ток машинаси айрим узелларининг конструкцияси баён қилинади.

Станина. Ўзгармас ток машинасининг станинаси (1. 8-расм) қутбларни ва подшипник шчитларини маҳкамлиш учун хизмат қилади. Бундан ташқари, станина магнит ўтказгич ҳамдир, чунки машинадаги асосий магнит оқими станина орқали туташади. Шунинг учун ўзгармас ток машинасининг станинаси пўлатдан — етарли даражада механикавий мустаҳкамликка ва катта магнит сингдирувчанликка эга бўлган материалдан тайёрланади. Машинани пойдеворга маҳкамлаш учун станинанинг маҳкамловчи болтлар ўтадиган тешикчали қуйма ёки пайвандланган оёқчалари бўлади. Асосий ва қўшимча қутбларни маҳкамлаш учун станинада унинг айланаси бўйлаб тешикчалар бўлади. Станинанинг юқори қисмида кўтариш ҳалқаси (рим-болт) бор, у машинани йиғиш ва монтаж қилишда кўтариш учун хизмат қилади.

Кичик ва ўрта қувватли машиналарда станина пўлатдан қуйилган ёки пўлат листлардан пайвандлаб ясалган яхлит конструкциядан иборат бўлади. Йирик машиналарда станина қисмларга ажраладиган қилиб ясалади, бу уларни монтаж қилиш ва ташишни осонлаштиради.



I. 7- расм. *Ўзгармас ток электр машинасининг тузилиши:*

1— коллектор; *2*—чўткалар; *3*— якорь ўзаги; *4*—асосий қутб ўзаги; *5*— қутб ғалтаги; *6*— станина; *7*- подшипниклар шчити; *8*—вентилятор; *9*—якорь чулғами.

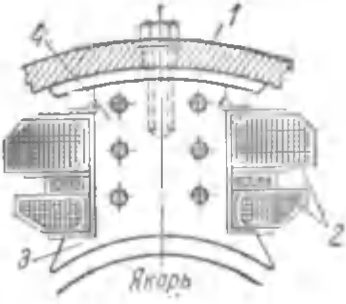
Асосий қутблар. Ўзгармас ток машинасида магнитавий майдон асосий қутбларнинг [I. 9- расм] ўзагига кийгизилган қутб ғалтаклари шаклидаги қўзғатиш чулғамининг магнитловчи кучи таъсирида ҳосил бўлади. Ўзакнинг якорга қараган томони қутб учлиги билан тугалланади, бу учлик магнитавий оқимнинг якорь юзасида зарурий даражада тақсимланишини таъминлайди.

Асосий қутбларнинг ўзаклари қалинлиги 1 дан 2 *мм* гача бўлган пўлат лист пакетлари ҳолида тайёрланади. Пакет прессланади ва шпилькалар билан тортиб маҳкамланади. Бундай конструкция билан қутб ўзагидаги уюрма токлар камайтирилади; уюрма токлар тишли юзага эга бўлган якорь айланганда қутб учликларида магнитавий индукциянинг ўзгариши (пульсацияси) натижасида пайдо бўлади.

Қутблар станинага болтлар ёки шпилькалар ёрдамида маҳкамланади. Қутб ғалтаклари изоляцияловчи материалдан ясал-

ган каркасга мис сим ўраб тайёрланади. Баъзан ғалтакни баландлиги бўйича ораларида ҳаво ўтиб турадиган каналлар қолдириб бир неча қисмга бўлинади. Бундай конструкция ғалтакнинг яхшироқ совишини таъминлайди.

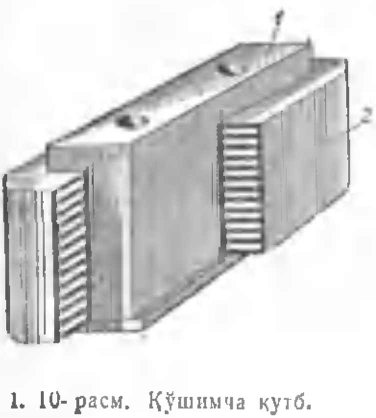
1. 8- расм. Ўзгармас ток машинасининг станинаси.



1. 9- расм. Асосий қутб:
1—станина; *2*—қутб ғалтаги; *3*—қутб учлиги; *4*—қутб ўзаги.

Қўшимча қутблар. Қўшимча қутблар қуввати 1 *квт* дан ортиқ бўлган машиналарда чўткалардаги учқун чиқишини камайтириш мақсадида қўлланилади.

Қўшимча қутб [1. 10- расм] ўзак *1* ва изоляцияланган мис симдан ясалган ғалтак *2* дан иборат; қўшимча қутбларнинг ғалтаклари якорь чулғами билан кетма-кет уланиши сабабли ғалтак мис симининг кесими машинанинг ишлаш токига мўлжалланган бўлади. Қўшимча қутбнинг ўзаги пўлатдан ясалади ва оддий яхлит конструкцияга эга. Қўшимча қутбларнинг ўзакларида магнит индукциясининг қиймати кичик бўлганлиги сабаб-



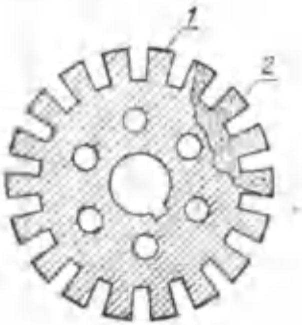
1. 10- расм. Қўшимча қутб.

1. 11- расм. Чулғамсиз якорь

ли уларда уюрма токлар деярли индукцияланмайди. Қўшимча қутблар асосий қутблар оралигининг ўртасига ўрнатилади ва станинага болтлар ёрдамида маҳкамланади.

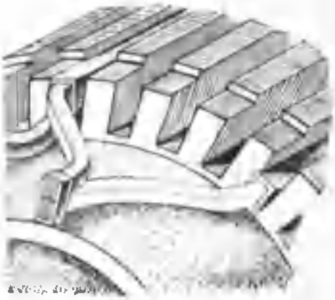
Якорь Ўзгармас ток машинасининг якори вал, ўзак, чулғам ва коллектордан таркиб топган.

Якорнинг ўзаги (1. 11-расм) қалинлиги 0,35 ёки 0,5 *мм* ли штампланган электротехникавий пўлат листлардан йиғилган (1. 12-расм) цилиндрдан иборат. Листлар бир биридан лак ёки



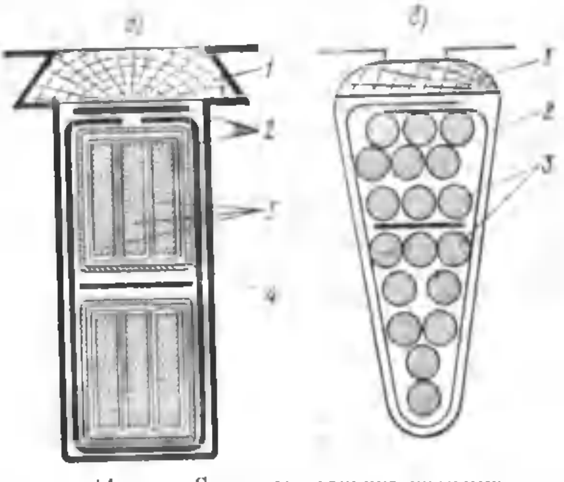
1. 12-расм. Якорнинг пўлат листи:

1- пўлат; *2*—изоляция.



1. 13-расм. Якорь чулғамини ўзак пазларига жойлаштириш.

қоғоз билан изоляция қилиниб, умумий пакет тарзида йиғилади ва якорь валига ўрнатилади. Пакет сиқиш шайбалари ёрдамида сиқилган ҳолатда туради. Якорь ўзагининг бундай конструкцияси якорь магнитавий майдонда айланганда ўзакнинг ўта



1. 14-расм. Якорь пазларининг қирқими:

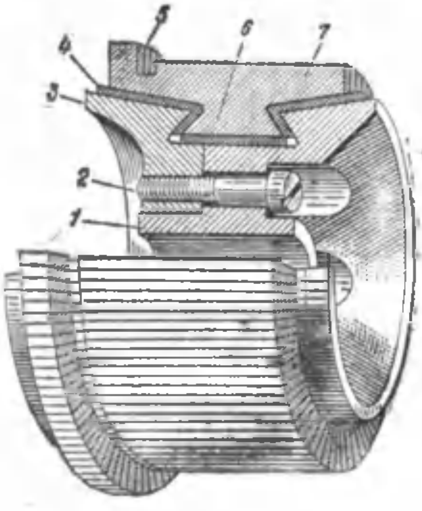
1—ёғоч пона; *2*- электрокартон; *3*- чулғам ўтказгичлари; *4*—миткаль лента.

магнитланиб кетиши натижасида ҳосил бўладиган уюрма токлар таъсиридаги энергия исрофини камайтиришга имкон беради. Машина яхши совиши учун, одатда, якорь ўзакларида совитувчи ҳаво ўтадиган вентиляцион каналлар қилинади. Ўзакнинг сиртқи томонида якорь чулғамини жойлаштириш учун бўйлама пазлар қилинган бўлади (1. 13- расм).

Якорь чулғами кўндаланг кесими доира ёки тўғри бурчаклик шаклида бўлган мис симдан ясалади ва ўзакдан яхшилаб изоляциялаб, ўзакнинг пазларига жойлаштирилади. Ўзак пазлари очиқ (1. 14- расм, *а*) ва ярим ёпиқ (1. 14- расм, *б*) бўлиши мумкин. Очиқ пазлар ўрта ва катта қувватли машиналарда, ярим ёпиқ пазлар эса кичик қувватли машиналарда қўлланилади.

Якорь чулғами учлари коллектор пластинкаларига кавшарланган секциялардан таркиб топган.

Якорь чулғамининг симларини пазларда мустаҳкам жойлаштириш учун ёғоч, гетинакс ёки текстолитдан қилинган поналар ишлатилади. Ёғоч поналар ишлатилганда мустаҳкамлик жуда ишончли бўлмайди, чунки улар қуригандан кейин бўшаб қолади ва паздан тушиб кетиши мумкин. Кам қувватли машиналарда пазларга пона қоқилмайди, балки устидан бандаж (боғич) билан қоплаб қуйилади. Бандаж якордан чиқиб қолмаслиги учун бандаж қопланадиган жойнинг диаметри бир оз кичикроқ қилинади (1. 11- расмга қаранг).



1. 15- расм. Коллекторнинг тузилиши:

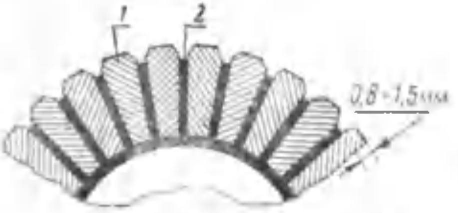
1—коллектор корпуси; *2*—тортиш (таранглаш) болти; *3*—сиқиш ҳалқаси; *4*—изоляция (миканит); *5*—„тож"; *6*—„қалдирғоч думи"; *7*—пластинкалар

Бандаж пўлат ёки бронза симдан тайёрланиб бевосита якорь пўлатига ўралади.

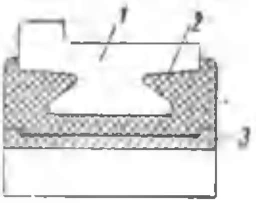
Чулғамнинг олд қисмлари ҳам чулғамтутқичга сим бандаж воситасида маҳкамланади.

Машинанинг коллектори (1. 15- расм) совуқ ҳолда ишлов берилган мис (коллектор миси) пластинкаларидан ясалади, улар бир-биридан орасига коллектор миканитидан қистирмалар қўйиб изоляция қилинади. Коллектор пластинкасининг чиқиқ (дўнг) жойи „тож" („петушок") дейилади ва унга якорь чулғамининг симлари кавшарлаб қўйилади. Пластинканинг пастки учи „қалдирғоч думи" шаклида бўлади. Коллектор йиғилган-

дан сўнг бу учлар коллектор пластинкаларидан миканит конуслар ва цилиндрлар билан изоляцияланган иккита қисиш шайбалари орасида сиқилган бўлади. Коллектор пластинкалари ишлаганида миканит қистирмалар пластинкалар устига чиқиб қолиб чўткаларнинг вибрацияси, учқунланиши ва тез едирилишига



I. 16-расм. Коллекторда коллектор пластинкалари *1* ва изоляция қистирмалари *2* нинг жойлашуви.



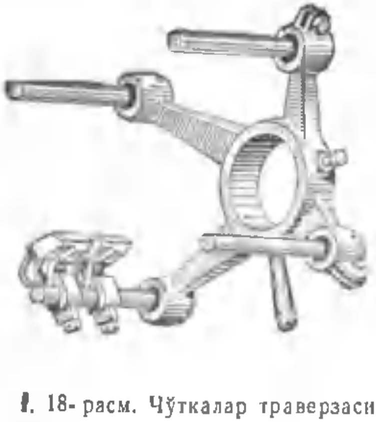
I. 17-расм. Пластмассага жойлаштирилган коллектор:

1—коллектор пластинкаси; *2*—пластмасса; *3*—пўлат втулка.

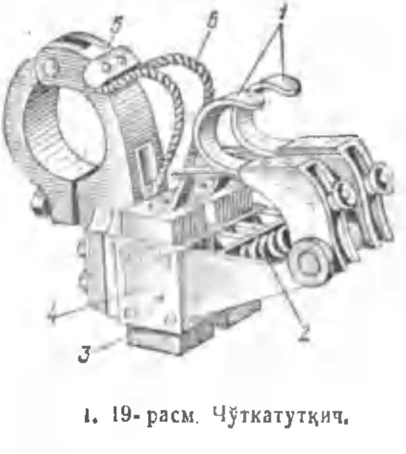
олиб келмасин учун коллектор пластинкалари орасига 1,5 *мм* гача чуқурликда пазлар (йўллар) ўйилади (I. 16-расм).

Кичик қувватли электр машиналарининг коллекторлари, кўпинча, мис пластинкаларни пластмассага пресслаб тайёрланади (I. 17-расм). Бу ҳолда пластмасса маҳкамловчи ва изоляцияловчи материал бўлиб хизмат қилади. Коллекторнинг бундай конструкцияси тайёрланиш жиҳатдан оддий, лекин ундан айланиш тезлиги фақат 10000 *айл/минут* гача бўлгандагина фойдаланиш мумкин.

Чўткалар қурилмаси. Ўзгармас ток машинасида коллектор юзаси билан электр контакти ҳосил қилиш учун чўткалар бўлади. Чўтка қурилмаси чўткаларни машинада ўрнатиш учун



I. 18-расм. Чўткалар траверзаси.



I. 19-расм. Чўткатутқич.

хизмат қилади, у чўтка траверзаси (1. 18-расм), бармоқлар ва чўткатутқичлардан таркиб топган (1. 19-расм).

Чўтка траверзаси, одатда, подшипник шчитига ва фақат катта қувватли машиналарда станинага маҳкамланади. Чўтка траверзаси бармоқлардан изоляция қавати билан ажратилган бўлади. Ҳар қайси бармоққа чўткатутқичлар комплекти ўрнатилади. Бармоқлар сони, одатда, машинадаги асосий қутблар сонига тенг бўлади. Чўткатутқич (1. 19-расм) чўтка *3* жойлашадиган обойма *4* ва пружина *2* нинг босимини чўткага узатадиган кўтарма деталь — илгак *1* дан ташкил топган. Чўткатутқич бармоққа қисқич *5* воситасида маҳкамланади. Машина электр занжирининг элементларини чўткага улаш учун чўткада эгилувчан трос сим *6* бўлади. Бир хил қутбли барча чўткатутқичлар ўзаро йиғма шиналар орқали уланади; бу шиналар машинанинг ташқи занжирга уланадиган учларига туташтирилган бўлади. Электр машинасининг тўхтовсиз ишлаш шартларидан бири чўтка билан коллектор орасида маҳкам ва ишончли контакт бўлишидир. Бинобарин, чўтка қурилмаси машинанинг муҳим қисми ҳисобланади: чўтка коллектор билан ишончли контактга эга бўлиши, чўткага тушадиган босим ростланган бўлиши керак, чунки босим жуда катта бўлса, чўткалар тез едирилиб ишдан чиқади ва коллектор ўта қизиб кетади, босим етарли бўлмаганда эса коллекторда учқун чиқа бошлайди.

Юқорида кўрсатилган қисмлардан ташқари, машинада иккита: олдинги (коллектор томонидан) ва орқа подшипник шчитлари бўлади. Шчитлар болтлар ёрдамида станинага маҳкамланади. Шчитнинг марказий қисмида расточка (ичидан йўниб очилган жой) бўлиб, унда подшипник жойлашади. Машиналарда, одатда, шарикли ёки роликли думалаш подшипниклари ишлатилади; баъзи машиналардагина шовқинсиз ишлашини таъминлаш мақсадида сирпаниш подшипниклари ишлатилади.

Машинанинг чулғамларини электр тармоғига улаш учун машинада клеммалар қутиси бўлади, бу қутида изоляцияланган панелда чулғамларнинг учлари чиқарилган клеммалар жойлаштирилади. Клеммалар панели, одатда, станинага, кам қувватли баъзи машиналарда эса олдинги подшипник шчитига жойлаштирилади.

Ўзгармас ток машиналари чулғамларининг клеммалари (учлари) ГОСТ 183—66 га мувофиқ қуйидагича белгиланади:

Якорь чулғами	Я1 ва Я2
Қўшимча қутблар чулғами	Д1 ва Д2
Компенсацион чулғам	К1 ва К2
Параллел қўзғатиш чулғами (шунт чулғам)	Ш1 ва Ш2
Кетма-кет қўзғатиш чулғами (сериес чулғам)	С1 ва С2

1 рақами билан чулғам боши, 2 рақами билан эса чулғам охири белгиланади.

ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАЛАРИ ЯКОРЛАРИНИНГ ЧУЛҒАМЛАРИ

2. 1-§. Асосий тушунчалар

Ўзгармас ток коллекторли машиналарининг ишлаш принципи ва тузилишига доир биз ўрганиб чиққан масалалар машинанинг ишлаши учун унда иккита чулғам: қўзғатиш чулғами ва якорь чулғамининг бўлиши зарур эканлигини аниқлашга имкон беради. Қўзғатиш чулғами машинада магнитавий майдон ҳосил қилишга, яъни уни қўзғатишга хизмат қилади, якорь чулғами ёрдамида эса энергия бир турдан иккинчи турга айлантирилади. Ўзгармас ток магнитоэлектр система машиналари бундан мустасно, уларда фақат битта чулғам (якорь чулғами) бўлади, чунки бундай машиналарда магнитавий майдонни (қўзғатиш) доимий магнитлар ҳосил қилади.

Ўзгармас ток машинаси якорининг чулғами якорь ўзагида маълум тарзда жойлаштирилган ва коллекторга уланган ўтказгичларнинг ёпиқ системасидан иборат.

Якорь чулғамининг элементи битта ёки бир неча ўрамга эга бўлган ҳамда коллектор пластинкаларининг иккитасига уланган секциядир. Секция якорь ўзагининг пазларига жойлаштириладиган актив томонлардан ва шу томонларни бирлаштирувчи олд қисмлардан иборат. Якорь айланганида актив томонларнинг ҳар бирида э. ю. к. индукцияланади. Секциянинг олд қисмларида эса э. ю. к. индукцияланмайди.

Якорь юзасининг битта қутбга тўғри келадиган қисми *қутбий бўлинма* деб аталади (2. 1-расм) ва қуйидаги формула билан ифодаланади:

$$\tau = \frac{\pi D}{2p} \qquad (2.\ 1)$$

бунда τ — қутбий бўлинма;

D — якорнинг диаметри;

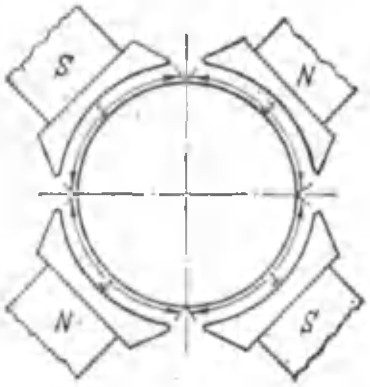
$2p$ — машинадаги асосий қутблар сони.

Секциянинг актив томонларида индукцияланадиган э. ю. к. лар қўшилиши, яъни бир томонга йўналиши учун секцияни якорь ўзагининг пазларида шундай жойлаштириш керакки, бунда секциянинг кенглиги қутбий бўлинмага тенг ёки ундан салгина фарқ қилинадиган бўлсин (2. 2-расм).

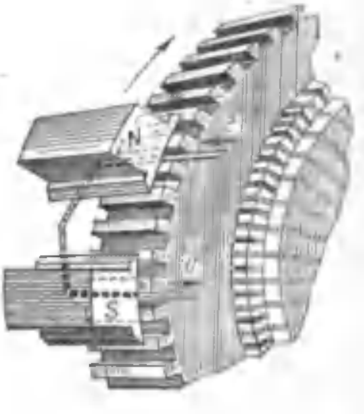
Секциялар якорь ўзагининг пазларида икки қават қилиб жойлаштирилади. Бунда агар секциянинг актив томонларидан бири битта пазнинг остки қисмида бўлса, унинг иккинчи томони бошқа пазнинг устки қисмида бўлади (1. 13-расмга қаранг). Битта пазга жойлаштирилган бир секциянинг устки томони билан иккинчи секциянинг остки томони *элементар паз* ($Z_э$) ни ҳосил қилади. Реал пазда иккитадан ортиқ, масалан, тўртта, олтита, саккизта ва ҳоказо актив томонлар бўлиши

мумкин эмас. Бу ҳолда реал паз бир неча элементар пазлар дан иборат бўлади (2. 3- расм).

Секциянинг иккита актив томони бўлганлиги сабабли ҳар қайси секцияга битта элементар паз тўғри келади. Секциянинг учлари коллектор пластинкаларига уланади, бунда ҳар қайси



2. 1- расм. Кутбий бўлинма.



2. 2- расм. Якорь ўзагида секция актив томонларининг жойлашуви

пластинкага бир секциянинг боши ва иккинчи секциянинг охири уланади; яъни ҳар қайси секцияга битта коллектор пластинкаси тўғри келади. Шундай қилиб, якорь чулғами учун қуйидаги тенгликни ёзиш мумкин:

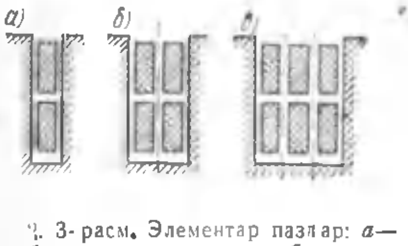
$$S = Z_э = K$$

бунда S — якорь чулғамидаги секциялар сони;

$Z_э$ — элементар пазлар сони;

K — коллектор пластинкалари сони.

Якорь чулғамларининг схемаларини энг қулай кўринишда ва яққол тасвирлаш учун якорнинг цилиндрсимон юзаси чулғам билан биргаликда шартли равишда текисликда ёйилади ва



2. 3- расм. Элементар пазлар: *а*— битта элементар паз; *б*—иккита элементар паз; *в*—учта элементар паз.

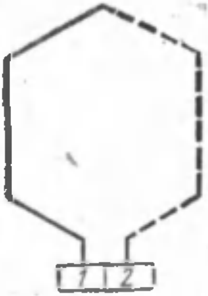
2. 4- расм. Секциянинг ёйиқ схемада тасвирланиши.

ўтказгичларнинг барча туташмалари чизма текислигида тўғри чизиқлар билан тасвирланади (2. 4- расм). Чулғамнинг ана шу кўринишда чизилган схемаси *ёйилган* схема дейилади.

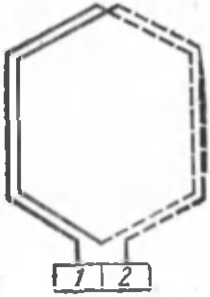
Секцияларнинг шаклига ва уларнинг коллекторга уланиш усулига қараб, якорь чулғамларининг қуйидаги типлари бўлади: оддий калава чулғам, мураккаб калава чулғам, оддий тўлқинсимон чулғам, мураккаб тўлқинсимон чулғам ва аралаш чулғам.

2.2- §. Оддий калава чулғам

Якорнинг оддий калава чулғамида ҳар қайси секция ёнма-ён жойлашган иккита коллектор пластинкаларига уланади. 2. 5-расмда калава чулғамнинг бир ўрамли, 2. 6- расмда эса икки ўрамли секцияси тасвирланган. Секцияларни якорь ўзагига жойлаштиришда ҳар бир навбатдаги секциянинг боши олдинги секциянинг охири билан туташтирилади; бунда якорь (ва коллектор) юзаси бўйлаб аста-секин шундай силжиш керакки, бир



2. 5- расм. Оддий калава чулғамнинг бир ўрамли секцияси.



2. 6- расм. Оддий калава чулғамнинг икки ўрамли секцияси.

айланиб чиқишда чулғамнинг ҳамма секциялари жойлашадиган бўлсин. Натижада охирги секциянинг охири биринчи секциянинг боши билан туташади, яъни чулғам ёпиқ занжир ҳосил қилади.

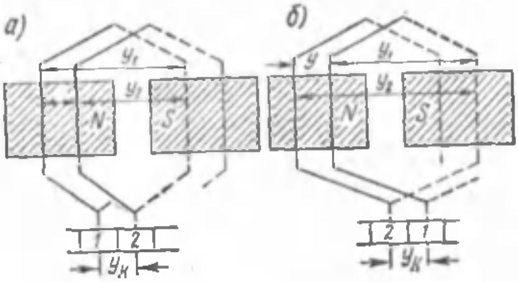
2. 7- расмда оддий калава чулғамнинг бир қисми тасвирланган, унда чулғам одими — якордаги секцияларнинг актив томонлари орасидаги масофа кўрсатилган. Якорь юзасида битта секциянинг актив томонлари орасидаги энг яқин масофа *чулғамнинг якорь бўйлаб биринчи қисман одими* дейилади ва y_1 билан белгиланади. Бу масофа элементар пазлар билан ўлчанади ва илгари айтиб ўтилганидек, қутбий бўлинмага тенг бўлиши ёки ундан жуда оз фарқ қилиши керак.

Биринчи секция пастки қатламининг актив томони билан иккинчи секция юқори қатламининг актив томони орасидаги масофа *чулғамнинг якорь бўйича иккинчи қисман одими* дейилади, y_2 билан белгиланади ва элемантар пазларда ўлчанади.

Чулғам *одимлари* y_1 ва y_2 ни билиш *чулғамнинг якорь бўйича умумий одими* y ни, яъни кетма-кет келувчи иккита секциянинг бир қаватда жойлашган актив томонлари орасидаги масофани аниқлашта имкон беради.

2. 7-расм, *а* дан кўриниб турибтики,

$$y = y_1 - y_2 \qquad [2, 2]$$



2. 7- расм. Калава чулғам одимлари: *а*—ўнгга ўралган чулғам; *б*—чапга ўралган чулғам.

Чулғам секцияларини жойлаштира боришда биз фақат якорь ўзаги бўйлаб эмас, балки гўё коллектор бўйлаб ҳам силжиб борамиз. Битта секциянинг бошланғич ва охирги учлари туташтирилган иккита коллектор пластинкалари орасидаги масофа *чулғамнинг коллектор бўйлаб одими дейилади* ва $y_к$ билан белгиланади.

Чулғамнинг якорь бўйича одимлари элементар пазлар билан, коллектор бўйича одими эса коллектор бўлинмалари (пластинкалари) билан ўлчанади. Бир қисми 2. 7-расм, *а* да кўрсатилган чулғам *ўнг томонга ўраладиган чулғам* дейилади, чунки бу чулғамнинг секциялари якорь бўйлаб чапдан ўнгга қараб жойлаштирилади; *чап томонга ўраладиган чулғамда* (2. 7-расм, *б*) эса чулғам секциялари якорь бўйича ўнгдан чапга қараб жойлаштириб борилади.

Таърифида айтилганидек, оддий калава чулғам ҳар қайси секциясининг бошланғич ва охирги учлари ёнма-ён жойлашган коллектор пластинкаларига уланади, бинобарин,

$$y = y_к = \mp 1$$

Бу ифодада „плюс" ишора *ўнг томонга ўраладиган*, „минус" ишора эса *чап томонга ўраладиган* чулғамга тегишли.

Оддий калава чулғамнинг барча одимларини аниқлаш учун якорь бўйлаб биринчи қисман одимини ҳисоблаб топиш етарлидир:

$$y_1 = \frac{Z_э}{2p} \mp \varepsilon,$$

бунда ε — айириш ёки қўшиш йўли билан одим y_1 ни бутун сон ҳолига келтириш учун керак бўлган бирдан кичик сон.

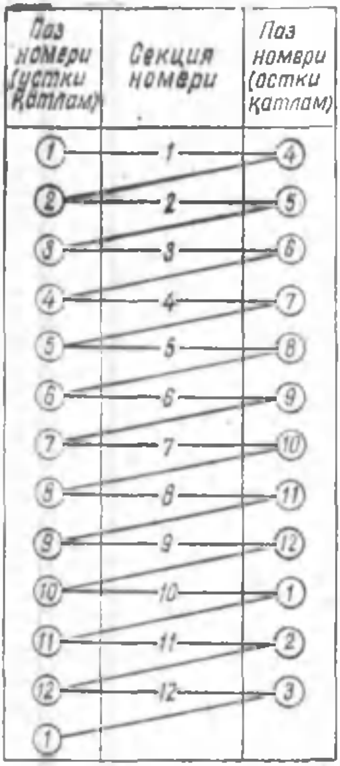
(2 2) формула асосида чулғамнинг иккинчи қисман одимини аниқлаймиз:

$$y_2 = y_1 \mp y = y_1 \mp 1.$$

Якорь чулғамларининг схемаларини ясаш масалаларини яхшироқ тушуниб олиш учун оддий калава чулғамнинг ёйилган схемасини ясашга доир мисол кўриб чиқамиз.

Мисол. Тўрт қутбли ($2p=4$) ўзгармас ток машинаси учун якорнинг оддий калава чулғамининг ёйилган схемасини ясанг. Чулғам ўнг томонга ўраладиган, секциялар бир ўрамли. Якорь ўзагида $Z = 12$ та паз бор, ҳар бир пазда иккитадан актив томон жойлашган, яъни $Z = Z_э$.

2.1-жадвал



Ечилиши. Чулғам одимларини аниқлаймиз:

якорь бўйлаб биринчи қисман одими,

$$y_1 = \frac{Z_э}{2p} \mp \varepsilon = \frac{12}{4} = 3,$$

якорь бўйлаб иккинчи қисман одими,

$$y_2 = y_1 - y = 3 - 1 = 2.$$

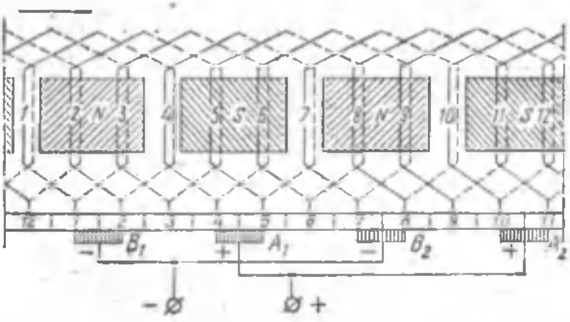
Схемани ясашга киришишдан олдин қуйидагиларни таъкидлаб ўтиш зарур:

1. Якорь ўзагининг барча пазлари ва чулғам секциялари номерлаб чиқилади. Бунда секциянинг актив томонларидан бири қайси пазнинг юқори қисмида жойлашган бўлса, секцияга шу пазнинг номери қўйилади.

2. Юқори қатламнинг актив томонлари схемада туташ чизиқлар билан, пастки қатламнинг томонлари эса пунктир чизиқлар билан шундай тасвирланадики, секциянинг устки қатламга тегишли ярим қисми схемада туташ чизиқлар билан, остки қатламга тегишли бошқа ярим қисми эса пунктир чизиқлар билан кўрсатилади.

Схема чизишни қулайлаштириш учун аввало уланишлар жадвалини тузиш лозим. Бу жадвалда (2. 1-жадвал) горизонтал чизиқлар секцияларни, оғма чизиқлар эса секцияларнинг коллектор томондан уланиш тартибини кўрсатади. Одимлар тўғри ҳисобланган бўлса, жадвал чулғамнинг устки ва остки қатламларидаги барча актив томонларини ўз ичига олади.

Чулғамнинг ёйиқ схемаси (2. 8-расм) қуйидаги тартибда чизилади. Бир варақ қоғозда пазлар белгилаб олинади ва қутбларнинг контурлари чизилади. Бунда шуни эътиборга олиш кераки, схемада тасвирланган қутб якорь устидаги қутбнинг гўё кўзгудаги аксини ифодалайди. Чулғам схемасини чизишда қутбнинг кенглигини тахминан 0,8 τ га тенг деб олиш керак. Қутбларнинг қутблилиги (ишораси) навбатма-навбат қўйилади: $N - S - N - S$. Сўнгра коллектор пластинкалари тасвирланади



2. 8-расм. Оддий калава чулғамнинг ёйиқ схемаси:
$2p = 4$; $Z_э = 12$

ва схемага актив томонлари *1* ва *4* пазларда жойлашган биринчи секция чизилади. Биринчи секциянинг учлари туташтирилган коллектор пластинкалари *1* ва *2* рақамлар билан белгиланади.

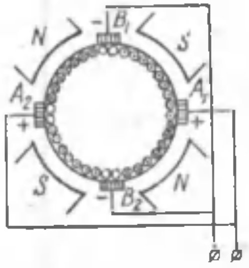
Шундан кейин коллекторнинг қолган пластинкалари номерланади ва схемага бирин-кетин бошқа секциялар (*2*, *3* ва ҳоказо) чизилади. Охирги секция (*12*) чулғамни ёпиши керак, бу схема тўғри чизилганлигидан далолат беради.

Шундан кейин схемада чўткалар тасвирланади. *A* ва *B* чўткалар орасидаги масофа қутб бўлинмасига мос келиши, яъни коллектор бўлинмаларининг $\frac{K}{2p}$ қисмини ташкил этиши керак. Бизнинг мисолимизда бу масофа $\frac{12}{4} = 3$ коллектор бўлинмасига тенг. Чўткаларнинг коллекторда жойлашувига келсак, бунда қуйидагиларга асосланиш лозим.

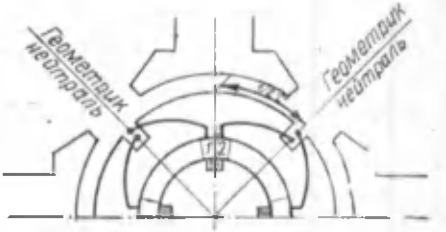
Якорь чулғамининг ташқи занжир билан электр контакти коллектор ва чўткалар орқали эмас, балки якорь сиртида жойлашган шартли чўткалар (2. 9-расм) ёрдамида ҳосил қилинади, деб фараз қилайлик. Бу ҳолда машина э. ю. к. нинг энг катта қиймати шартли чўткаларнинг геометрик нейтралдаги (2.14-§ га қаранг) ҳолатига мос келади. Лекин секциялар уланган коллектор пластинкалари актив томонларга нисбатан $^1/_2$ τ га сурилганлиги учун (2. 10-расмга қаранг) шартли чўткалардан реал чўткаларга ўтишда уларни коллекторда 2. 8-расмда кўрсатилга-

нидек, машина асосий қутбларининг ўқи бўйлаб жойлаштириш керак.

Машина генератор режимида ишлайди ва унинг якори чапдан ўнгга томон айланади, деб фараз қилайлик. „Ўнг қўл“ қоидасидан фойдаланиб, секциянинг актив томонларида индукцияланадиган э. ю. к. (ток)нинг йўналишини аниқлаймиз. Бу



2. 9- расм. Якорда шартли чўткаларнинг жойлашуви.



2. 10- расм. Коллекторда чўткаларнинг асосий қутбларнинг ўқлари бўйлаб жойлашуви

чўткаларнинг қандай қутблилигини аниқлашимизга имкон беради: ташқи занжирга ток олинадиган A_1 ва A_2 чўткалар мусбат, B_1 ва B_2 чўткалар эса манфий қутбли бўлади. Бир хил қутбли чўткалар параллел туташтирилади ва машинанинг тегишли клеммаларига уланади.

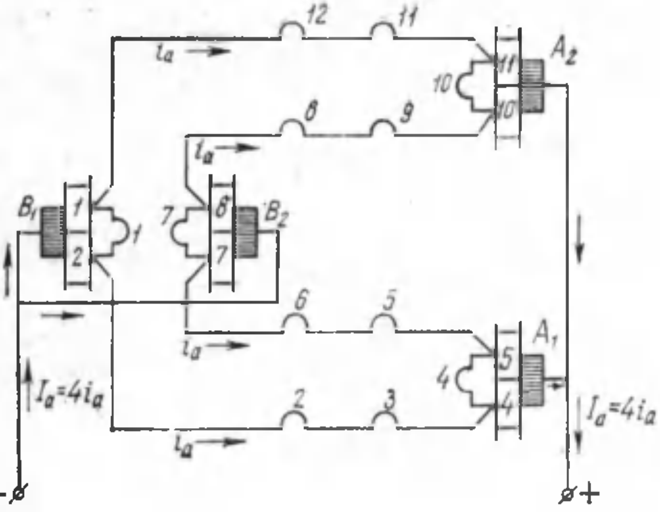
2. 3-§. Якорь чулғамининг параллел шохобчалари

Оддий калава чулғам схемаси диққат билан кўздан кечирилса, бу чулғам тўрт қисмдан иборат эканлигини, қисмлардан ҳар бири чулғамнинг параллел шохобчасини ҳосил қилишини ва токнинг йўналиши бир хил бўлган, кетма-кет уланган бир неча секциялардан ташкил топганлигини пайқаш қийин эмас. Параллел шохобчаларда секцияларнинг тақсимланиши чулғамнинг электр схемасида (2. 11-расм) кўрсатилган. Бу схема ёйиқ схема (2. 8-расм) асосида қуйидаги тартибда чизилади. Бир варақ қоғозда чўткалар ва улар билан контактда бўлган коллектор пластинкалари тасвирланади. Бунда мусбат қутбланган чўткалар манфий қутбланган чўткалар қаршисига чизилади. Сўнгра биринчи секциядан бошлаб чулғам секциялари тасвирлаб чиқилади. Кейин битта параллел шохобчани ҳосил қиладиган *2* ва *3* секциялар келади. Бунда биринчи секция B_1 чўтка орқали қисқа туташган бўлиб қолади. Шу усул билан бутун чулғам чизиб чиқилади. Натижада чулғамнинг тўртта параллел шохобчали электр схемасига эга бўламиз. Бунда ҳар қайси параллел шохобча кетма-кет уланган иккита секцияни ўз ичига олади.

Ҳар бир параллел шохобча ичидаги секцияларнинг э. ю. к. лари ўзаро қўшилади. Барча шохобчалар параллел улангани учун *бутун якорь чулғамининг э. ю. к. и битта параллел шохобчанинг э. ю. к. катталиги билан аниқланади, якорь чулғамидаги токнинг катталиги эса чулғамнинг барча шохобчаларидаги токлар йиғиндисига тенг:*

$$I_a = 2ai_a$$

бунда I_a — якорь чулғамидаги ток катталиги;
i_a — битта параллел шохобчадаги ток катталиги;
$2a$ — чулғамдаги параллел шохобчалар сони.



2. 11-расм. 2.8-расмда тасвирланган чулғамнинг электр схемаси.

Ўрганилаётган якорь чулғамида тўртта, яъни машинадаги асосий қутблар сонига тенг параллел шохобча бор. Бу тасодифий эмас, чунки *оддий калава чулғамда параллел шохобчалар сони доимо машинанинг асосий қутблари сонига тенг бўлади:*

$$2a = 2p$$

Якорь чулғамидаги параллел шохобчалар сони машинанинг асосий иш параметрларини, чунончи: кучланишни ва ток катталигини белгилайди.

Мисол. Олти қутбли ўзгармас ток машинаси якорининг чулғами оддий калава чулғам бўлиб, 36 секциядан иборат. Чулғамнинг ҳар қайси секциясида индукцияланадиган э. ю. к. нинг таъсир этувчи қиймати 10 *в* бўлиб, секциялар битта актив томони симининг кўндаланг кесим юзаси эса кўпи билан 15 *а* токка мўлжалланган бўлса, машинанинг э. ю. к. ини ва ток катталигини аниқланг.

Ечилиши. Чулғамдаги параллел шохобчалар сони:

$$2a = 2p = 6,$$

бунда ҳар бир параллел шохобчада,

$$S_{пш} = \frac{S}{2a} = \frac{36}{6} = 6 \text{ секция бўлади.}$$

У ҳолда битта параллел шохобчанинг э. ю. к. и ва демак, машинанинг э. ю. к. и

$$E_я = 6 \cdot 10 = 60 в,$$

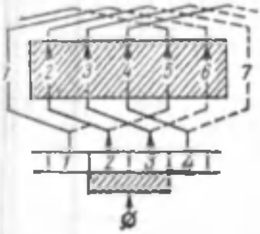
машинанинг рухсат этиладиган токи эса

$$I_я = 6 \cdot 15 = 90 \ а \text{ булади.}$$

Агар бошқа шароитлар ўзгармас бўлганда машинада саккизта қутб бўлганда эди, унинг э. ю. к. и 40 в га қадар камайган ток эса 120 а га қадар ортган бўлар эди.

2. 4-§. Мураккаб калава чулғам

Оддий калава чулғамда параллел шохобчалар сони машинанинг асосий қутблари сонига тенг. Шунинг учун параллел шохобчалари кўп бўлган чулғам олиш талаб этилганда (масалан, паст кучланишли машиналарда шундай қилиш зарур булади) машинани кўп қутбли қилишга тўғри келган бўларди. Бу нарса машинанинг ўлчамлари ва таннархининг ортиб кетишига олиб келар эди. Демак, параллел шохобчалари кўп чулғам олиш зарур бўлганда мураккаб калава чулғам ишлатилади. Бундай чулғам, одатда, битта якорга жойлаштирилган бир неча оддий калава чулғамдан иборат бўлади. Мураккаб калава чулғамда параллел шохобчалар сони



2.12- расм. Мураккаб калава чулғам секцияларининг жойлашуви.

$$2a = 2pm,$$

бунда m — мураккаб чулғамни ташкил этувчи оддий калава чулғамлар сонини кўрсатувчи карралилик коэффициенти.

Мураккаб калава чулғамли машинада чўткалар кенглиги шундай олинадики, бунда ҳар қайси чўтка бир вақтнинг ўзида камида m та коллектор пластинкаларини, яъни мураккаб чулғамдаги оддий чулғамлар сонига тенг пластинкаларни қопласин. Бу ҳолда оддий чулғамлар бир-бири билан параллел уланган бўлиб қолади. 2. 12- расмда иккита оддий чулғамдан таркиб топган ($m = 2$) мураккаб калава чулғамнинг бир қисми кўрсатилган. Чўтка бу чулғамларни параллел улаши учун битта чулғамнинг секция томонлари ва коллектор пластинкаларини суриб, улар орасига бошқа чулғамнинг секция томонлари ва коллектор пластинкаларини жойлаштиришга тўғри келди. Шунинг учун мураккаб чулғамнинг коллектор бўйича одими ва

якорь бўйича умумий одими оддий калава чулғамнинг худди шу параметрларига нисбатан m марта ортади:

$$y_к = y = m$$

Чулғамнинг якорь бўйича биринчи қисман одими бизга маълум бўлган қуйидаги формула бўйича ҳисоблаб топилади:

$$y_1 = \frac{Z_э}{2p} \mp \varepsilon.$$

Мураккаб калава чулғамнинг ёйиқ схемасини чизиш тартибини мисолда кўриб чиқамиз.

Мисол. Тўрт қутбли ўзгармас ток машинасининг якори $S = 16$ секцияли мураккаб калава чулғамга эга. Карралилик коэффициенти $m = 2$ бўлганда чулғамнинг ёйиқ схемасини чизинг.

Ечилиши. Чулғамнинг одимларини аниқлаймиз:

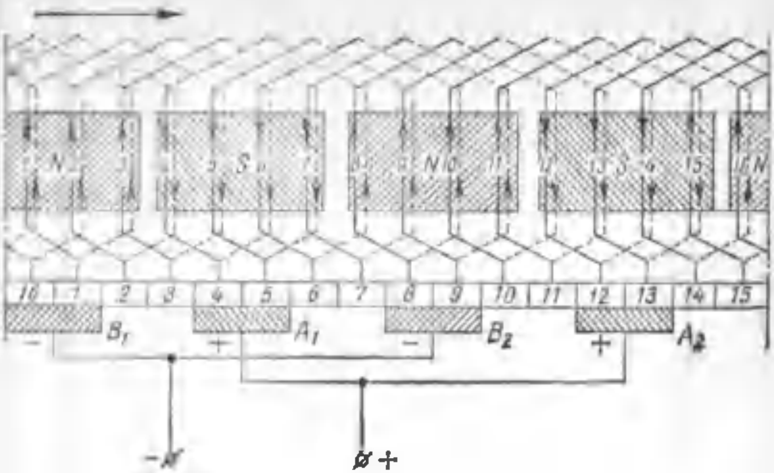
$$y_1 = \frac{Z_э}{2p} \mp \varepsilon = \frac{16}{4} - 0 = 4$$

$$y = y_к = m = 2; \quad y_2 = y_1 - y = 4 - 2 = 2.$$

Туташтиришлар жадвалини (2. 2- жадвал) тузамиз, сўнгра чулғам схемасини чизишга киришамиз. Аввало битта оддий чулғамнинг ҳамма секцияларини (тоқ номерли секцияларни: 1, 3, 5 ва ҳоказо) жойлаштириб чиқамиз. Бу секцияларнинг учларини коллекторнинг тоқ номерли пластинкаларига туташтирамиз (2. 13- расм). Шундан кейин якорда бошқа оддий чулғамнинг секцияларини (жуфт номерли секцияларни: 2, 4, 6 ва ҳоказо) *жойлаштирамиз*. Чўткаларни жойлаштириш ва уларнинг қутблилигини аниқлаш оддий калава

2.2.-Жадвал

Биринчи чулғам			Иккинчи чулғам		
Паз номери (устки қатлам)	Секция номери	Паз номери (остки қатлам)	Паз номери (устки қатлам)	Секция номери	Паз номери (остки қатлам)
1	1	5	2	2	6
3	3	7	4	4	8
5	5	9	6	6	10
7	7	11	8	8	12
9	9	13	10	10	14
11	11	15	12	12	16
13	13	1	14	14	2
15	15	3	16	16	4
1			2		



2. 13- расм. Мураккаб калава чулғамнинг ёйиқ схемаси:
$2p = 4$; $Z_э = 16$; $m = 2$

чулғамда қилинган кетма-кетликда бажарилади. Бунда чўткаларнинг кенглиги коллекторнинг иккиланган бўлинмасига тенг деб қабул қилинади. Чулғамнинг параллел шохобчалари сони:

$$2a = 2pm = 4 \cdot 2 = 8.$$

2. 5- §. Оддий тўлқинсимон чулғам

Қутбларнинг турли жуфтлари остида жойлашган секциялар кетма-кет уланса, оддий тўлқинсимон чулғам ҳосил бўлади (2. 14- расм). Тўлқинсимон чулғам секцияларининг учлари бир-

2. 14- расм. Оддий тўлқинсимон чулғам схемалари:
а — чапга ўраладиган; *б* — ўнгга ўраладиган.

биридан чулғамнинг коллектор бўйича одими $y_к = y$ қадар масофада жойлашган коллектор пластинкаларига уланган бўлади. Якорни битта айланиб чиқилганда машинанинг қутб жуфтлари сонига тенг миқдорда секциялар жойлашади, бунда энг кейин жойлаштирилган секциянинг охирги учи бошланғич пластинканинг ёнидаги коллектор пластинкасига уланади.

Агар якорь бўйлаб энг кейин жойлаштирилган секциянинг охирги учи бошланғич пластинканинг чап томонидаги коллектор пластинкасига уланса, оддий тўлқинсимон чулғам *чап томонга ўраладиган* (2. 14- расм, *а*) дейилади. Агар шу пластинка бошланғич пластинканинг ўнг томонида бўлса, чулғам *ўнг томонга ўраладиган* дейилади (2. 14- расм, *б*). Тўлқинсимон чулғам секциялари бир ўрамли ва кўп ўрамли бўлиши мумкин.

Чулғамнинг коллектор бўйича одими $y_к$ коллектор айланаси узунлигининг бир жуфт қутбга тўғри келадиган қисмини эгаллайди; шунинг учун биз коллектор бўйлаб бир марта айланиб чиқилганда коллектор бўлинмаларининг $y_к p$ га тенг сонига силжигандек бўламиз ва бошланғич пластинка билан ёнма-ён жойлашган пластинкага ўтамиз. Шу айтилганларга асосан қуйидагини ёзиш мумкин:

$$y_к p = К \mp 1,$$

бундан чулғамнинг коллектор бўйлаб одими ва бинобарин, якорь бўйича умумий одими ўзаро тенг бўлади, яъни:

$$y_к = y = \frac{К \mp 1}{p} \qquad (2.4)$$

„Минус“ ишора чап томонга ўраладиган, „плюс“ ишора эса ўнг томонга ўраладиган чулғамга тегишлидир.

2.3-Жадвал.

Паз номери (устки қатлам)	Секция номери	Паз номери (остки қатлам)
1	1	4
7	7	10
13	13	3
6	6	9
12	12	2
5	5	8
11	11	1
4	4	7
10	10	13
3	3	6
9	9	12
2	2	5
8	8	11
1		

Ўнг томонга ўраладиган чулғам тайёрлашда секцияларнинг олд қисмлари кесишганлиги туфайли қўшимча мис сарф бўлади, шунинг учун бундай чулғам амалда деярли қўлланилмайди.

Чулғамнинг якорь бўйича биринчи қисман одими (2. 3) формула, иккинчи одими эса:

$$y_2 = y - y_1$$

формула бўйича аниқланади.

Оддий тўлқинсимон чулғам схемасини қуришга доир битта мисол кўриб чиқамиз.

Мисол. Тўрт қутбли ўзгармас ток машинасининг якори $S = 13$ секциядан иборат оддий тўлқинсимон чулғамга эга. Шу чулғамнинг ёйиқ схемасини қуринг, шунингдек, унинг электр схемасини чизинг.

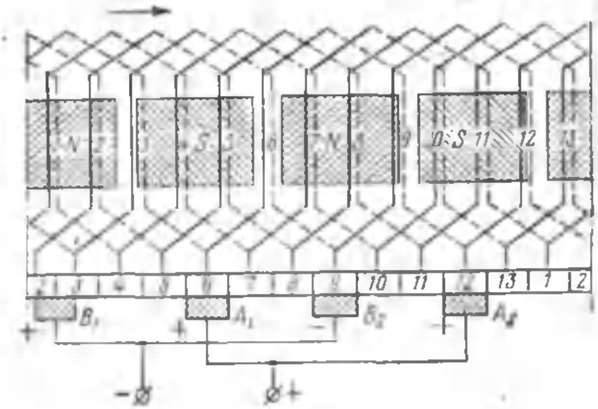
Ечилиши. Чулғам одимларини аниқлаймиз:

$$y_k = y = \frac{K \mp 1}{p} = \frac{13 - 1}{2} = 6;$$

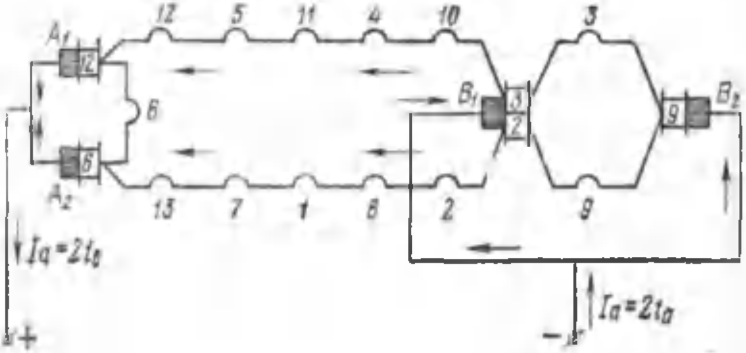
$$y_1 = \frac{Z_э}{2p} \mp \varepsilon = \frac{13}{4} - \frac{1}{4} = 3$$

$$y_2 = y - y_1 = 6 - 3 = 3$$

Уланишлар жадвалини (2. 3-жадвал) тузамиз ва ёйиқ схемани қуришга киришамиз. Якорь бўйлаб биринчи айланиб чиқишда *1* ва 7 секцияларни жойлаштирамиз (2.15-расм). Сўнгра ўн уч секциянинг ҳаммаси жойлаштирилиб бўлгунча ва чулғам ёпилгунча иккинчи, учинчи ва ҳоказо марта айлантириб чиқамиз. Чўткалар билан қисқа туташтирилган (якорнинг кўриб



2. 15- расм Оддий тўлқинсимон чулғамнинг ёйиқ схемаси: $2p = 4$ $Z_э = 13$



2. 16-расм. 2.15- расмда тасвирланган чулғамнинг электр схемаси.

чиқилаётган ҳолатида) секциялар схемада йўғон чизиқлар билан кўрсатилган.

Аввало чўткаларнинг қутблилигини аниқлаймиз. Сўнгра чулғамнинг электр схемасини чизамиз (2.16-расм). Бу схемадан кўриниб турибтики, чулғам иккита параллел шохобчадан иборат (2*a*-2). Бу ҳол оддий тўлқинсимон чулғамга хос хусусиятдир: бундай чулғамда *параллел шохобчалар сони, машинадаги қутблар сонидан қатъи назар, ҳамма вақт иккига тенг бўлади.*

Оддий тўлқинсимон чулғамнинг келтирилган схемаларидан кўриниб турибтики, ҳар қайси параллел шохобчанинг секциялари машинанинг барча қутблари остида бир текис тақсимланган. Шуни ҳам таъкидлаш лозимки, бундай чулғамда фақат иккита, масалан B_2 ва A_2 чўткаларни ишлатиш билан чекланилса ҳам бўлар эди. Лекин бунда чулғамнинг симметрияси бузилган бўлар эди, чунки параллел шохобчалардаги секциялар сони бир хил бўлмай қолади: битта шохобчада еттита секция, бошқасида олтита секция бўлади. Шунинг учун одатда, асосий қутблар қанча бўлса, машинада шунча чўтка ўрнатилади, хусусан, бу нарса ҳар қайси чўткага тўғри келадиган ток катталигини камайтиришга ва коллекторнинг ўлчамларини кичрайтиришга имкон беради.

2. 6-§. Мураккаб тўлқинсимон чулғам

Битта якорга жойлаштирилган бир неча оддий тўлқинсимон чулғамлар мураккаб тўлқинсимон чулғамни ҳосил қилади. Од-

2.4-жадвал

Биринчи чулғам			Иккинчи чулғам		
Паз номери (устки қатлам)	Секция номери	Паз номери (остки қатлам)	Паз номери (устки қатлам)	Секция номери	Паз номери (остки қатлам)
1	1	5	2	2	6
9	9	13	10	10	14
17	17	3	18	18	4
7	7	11	8	8	12
15	15	1	16	16	2
5	5	9	6	6	10
13	13	17	14	14	18
3	3	7	4	4	8
11	17	15	12	12	16
1			2		

дий тўлқинсимон чулғам иккита параллел шохобчадан иборат бўлгани сабабли, мураккаб тўлқинсимон чулғамдаги параллел шохобчалар сони $2a = 2m$ га тенг бўлади, бунда m — карралилик коэффициенти, яъни мураккаб тўлқинсимон чулғамни ташкил этувчи оддий чулғамлар сони.

Мураккаб тўлқинсимон чулғам ҳам оддий чулғам каби ҳисоб қилинади. Лекин чулғамнинг коллектор бўйича одимини ҳисоблашда қуйидаги формуладан фойдаланиш лозим:

$$y_к = \frac{K \mp m}{p} \qquad (2.\ 5)$$

Мураккаб чулғамни ҳосил қилувчи оддий тўлқинсимон чулғамлар бир-бирига чўткалар воситасида параллел уланади; чўткаларнинг кенглиги мураккаб калава чулғамдаги каби, яъни ҳар қайси чўтка бир вақтнинг ўзида коллектор пластинкаларининг камида m тасини қоплайдиган қилиб олинади.

Мисол. Тўрт қутбли ўзгармас ток машинасининг якорида иккита оддий чулғамдан ташкил топган ($m = 2$) мураккаб тўлқинсимон чулғам бор. Чап томонга ўраладиган чулғам бир ўрамли 18 та секциядан тузилган. Шу чулғамнинг ёйиқ схемасини қуриш талаб этилади.

Ечилиши. Чулғамнинг одимларини аниқлаймиз:

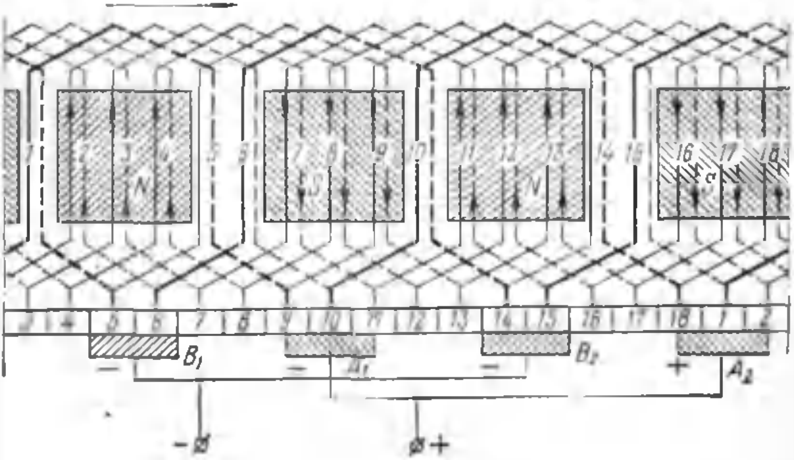
$$y_1 = \frac{Z_э}{2p} \mp \varepsilon = \frac{18}{4} - \frac{2}{4} = 4;$$

$$y = y_к = \frac{K \mp m}{p} = \frac{18 - 2}{2} = 8;$$

$$y_2 = y - y_1 = 8 - 4 = 4;$$

Чулғам секцияларининг уланишлари жадвалини (2. 4- жадвал) тузиб, схемани қуришга киришамиз, бунда аввал битта оддий чулғамнинг секцияларини, кейин эса иккинчисининг секцияларини жойлаштирамиз (2. 17-расм). Чулғамдаги параллел шохобчалар сони

$$2a = 2m = 4.$$



2. 17-расм. Мураккаб тўлқинсимон чулғамнинг ёйиқ схемаси: $2p = 4$; $Z_э = 18$, $m = 2$.

2. 7-§. „Ўлик" секцияли тўлқинсимон чулғам

Оддий тўлқинсимон чулғамнинг коллектор бўйича одими ифодасидан (2. 4) қутб жуфтларининг сони жуфт бўлганда оддий тўлқинсимон чулғам ясаш учун коллектор пластинкаларининг ва бинобарин, секцияларнинг сони тоқ бўлиши керак, деган хулоса келиб чиқади. Ҳақиқатан ҳам, агар, масалан, тўрт қутбли машина якорининг чулғами 18 секциядан ташкил топган бўлса, уларни улаш учун $K = 18$ та коллектор пластинкалари керак.

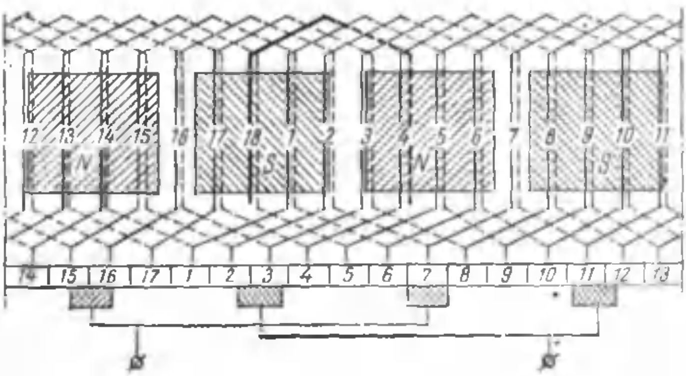
Бу ҳолда оддий тўлқинсимон чулғамнинг коллектор бўйича одими:

$$y_к = \frac{18-1}{2}$$

каср сон бўлиб қолади ва демак, чулғамни ясаб бўлмайди Агар шундай чулғам ясаш зарур бўлса, қуйидагича иш қилинади: коллектор пластинкаларининг сони биттага камайтирилади ($K = 17$), секциялардан бири эса „ўлик" қилинади, яъни коллекторга уламай қолдирилади. Бу ҳолда,

$$y_к = \frac{17-1}{2} = 8.$$

Бундай чулғам ясалганда якорь ўзагининг пазларига 18 та секциянинг ҳаммаси жойлаштирилади. Шундан кейин битта секциянинг учлари қирқилади, қолган 17 та секция эса ҳисобланган одим $y_к = 8$ га мувофиқ ҳолда коллектор пластинкаларига уланади. 2.18-расмда бундай чулғамнинг ёйиқ схемаси келтирилган, унда „ўлик" секция йўғон чизиқлар билан кўрсатилган.



2 18-расм „Ўлик" секцияли тўлқинсимон чулғамнинг ёйиқ схемаси.

2. 8-§. Сунъий йўл билан туташтирилган тўлқинсимон чулғам

Агар машинада унга зарурий параметрларни таъминлаш учун тўлқинсимон чулғам ишлатиш керак бўлиб, якорь пазларининг ва коллектор пластинкаларининг сони бундай чулғам ясашга имкон бермаса, бундай ҳолларда сунъий йўл билан туташтирилган чулғам ясалади.

Масалан, агар тўрт қутбли машинанинг якорида пазлар сони $Z = 12$, коллектор эса мос равишда $K = 12$ пластинкадан иборат бўлса, оддий тўлқинсимон чулғам ясаб бўлмайди, чунки

$$y_к = \frac{12-1}{2} \neq б. с. \text{ (бутун сон)}.$$

Агар оддий тўлқинсимон чулғам 13 секциядан иборат ва коллекторда тегишлича 13 та пластинка бўлса, бундай чулғамни ясаш мумкин булади:

$$y_к = \frac{13-1}{2} = 6.$$

Лекин якорда фақат 12 та паз, коллекторда эса 12 та пластинка бор, бу 12 та секцияни ўзакка жойлаштириш ва коллекторга улашга имкон беради. Худди ана шу ҳолда 12 секциядан иборат, сунъий йўл билан туташтирилган тўлқинсимон чулғам ишлатилади, етишмайдиган ўн учинчи секция ва коллектор пластинкаси ўрнига ўтказгич (сим) олиб, бу сим билан чулғам учлари туташтирилади.

Сунъий йўл билан туташтирилган тўлқинсимон чулғам одимларини ҳисоблашда якорь ўзагида ҳақиқий сонидан битта ортиқ паз, коллекторда эса битта ортиқча пластинка бор деб олинади. Демак, бизнинг мисолимизда чулғам одимларини ҳисоблашда $Z = 13$ ва $K = 13$ деб қабул қилиш керак. У ҳолда чулғам одимлари қуйидагича бўлади:

$$y_1 = \frac{13}{4} - 0{,}25 = 3;$$

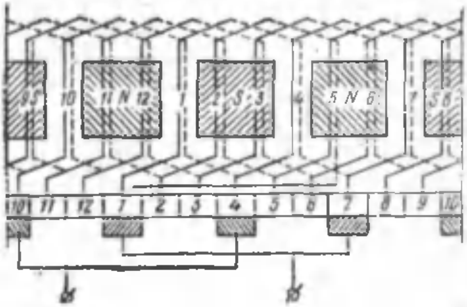
$$y_к = \frac{13-1}{2} = 6.$$

Бу чулғам схемасини чизишда (2.19-расм) шуни эсда тутиш керакки, ҳар бир айланиб чиқишда, яъни p та секцияни жойлаштиришда бу секцияларнинг коллектор бўйича одимлари навбатма-навбат келади: бир секциянинг одими тўла қилинади ($y_к$), иккинчи секциянинг одими эса коллекторнинг битта бўлинмасига қисқартирилади:

$$y_к' = y_к - 1.$$

Бизнинг мисолимизда $y_к' = 6 - 1 = 5.$

Кейинги айланиб чиқишда секцияларнинг одимлари яна алмашиниб туради. Охирги секция жойлаштирилгандан кейин унинг охири биринчи секциянинг бошланиши билан ўтказгич воситасида уланади.



2.19- расм. Сунъий ёпилган тўлқинсимон чулғамнинг ёйиқ схемаси:
$2p = 4$, $S = 12$; $K = 12$;
$y_1 = 3$; $y_к = 6$; $y'_к = 5$.

2.9-§. Чулғамнинг симметрик бўлиш шартлари

Агар якорь чулғами параллел шохобчаларининг электр хоссалари бир хил, яъни уларнинг электр қаршиликлари бир хил бўлиб, уларда катталиги жиҳатдан ўзаро тенг э. ю. к. индукцияланса, бундай чулғам *симметрик чулғам* дейилади

Носимметрик чулғамда якорь токи параллел шохобчаларда нотекис *тақсимланади*, *натижада баъзи шохобчаларида ток* катталиги ҳаддан ташқари ортиб кетса, бошқаларида эса камайиб кетади. Бунинг натижасида якорь чулғамида электр исрофлар кўпаяди, машинанинг фойдали қуввати эса камаяди.

Якорь чулғами *симметрия шартлари* дейиладиган муайян шартларга риоя қилингандагина симметрик бўлади.

Биринчи яққол кўриниб турган шарт шундан иборатки, чулғам параллел шохобчаларининг ҳар қайси жуфтида секциялар сони бир хил бўлиши керак.

Бу шарт чулғамдаги параллел шохобчаларнинг ҳар қайси жуфтига секцияларнинг бутун сони тўғри келгандагина бажарилиши мумкин, яъни

$$\frac{S}{a} = \text{б. с,} \qquad (2.6)$$

Бу шарт бажарилмаганда параллел шохобчаларнинг электр қаршилиги, шунингдек, уларнинг э. ю. к. и бир хил бўлмай қолишига ишонч ҳосил қилиш қийин эмас. Бу ҳол токнинг параллел шохобчаларда нотекис тақсимланишига ва шундан келиб чиқадиган ёмон оқибатларга олиб келган бўлур эди.

Кейинги шарт шундан иборатки, якорда ҳар қайси параллел шохобчалар жуфтининг секциялари эгаллаган пазларнинг сони ҳам тенг, яъни

$$\frac{Z}{a} = \text{б с. бўлиши керак,} \qquad (2.7)$$

бунда Z — якордаги реал пазлар сони.

Ниҳоят, симметриянинг охирги шартига мувофиқ, чулғам параллел шохобчаларининг ҳар қайси жуфти қутблар системасига нисбатан бир хил вазиятни эгаллаши керак, бунинг учун эса қуйидаги шарт бажарилиши лозим:

$$\frac{2p}{a} = \text{б. с.} \tag{2.8}$$

Мураккаб калава чулғам учун $2a = 2pm$ ёки $a = pm$. Буни (2.8) га қўйсак,

$$\frac{2p}{a} = \frac{2p}{pm} = \frac{2}{m} = \text{б. с.}$$

Бундан кўринадики, мураккаб калава чулғам $m = 2$ бўлгандагина симметрик бўлиши мумкин.

2.10-§. Тенглаштирувчи туташмалар

Симметриянинг барча шартларига риоя қилинганда ҳам кўп қутбли машиналарда якорь чулғами параллел шохобчаларининг э. ю. к. и бир хил бўлмаслиги мумкин. Бунга сабаб *магнитавий носимметрикликдир*, шу туфайли бир исмли қутбларнинг магнитавий оқимлари турлича бўлади. Бу ҳол электр машинани тайёрлаш пайтида вужудга келувчи станина қуймасида бўшлиқлар бўлиши, қутбларнинг сифатсиз йиғилганлиги, якорнинг нотўғри центровка қилинганлиги, яъни унинг қийшайганлиги натижасида қутблар остидаги ҳаво зазорининг бир хил бўлмаслиги каби нуқсонлар туфайли содир бўлади.

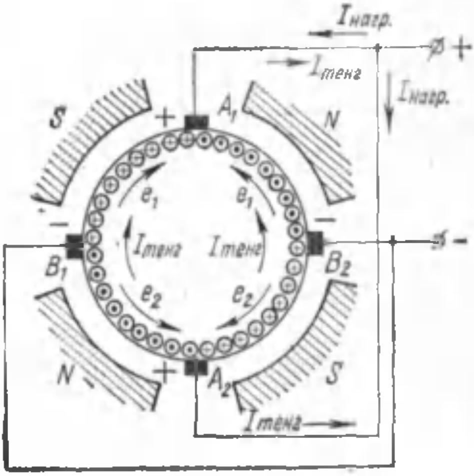
Магнитавий носимметрикликнинг машинанинг ишлашига таъсири якорь чулғамининг типига боғлиқ.

Тўлқинсимон чулғамларда ҳар қайси параллел шохобчаларнинг секциялари машинанинг барча қутблари остида бир текис тақсимланган бўлади, шу сабабли бу ерда магнитавий носимметриклик чулғамнинг барча параллел шохобчаларига бир хилда таъсир этади ва параллел шохобчаларда э. ю. к нинг тенгсизлигини келтириб чиқармайди.

Калава чулғамларда эса ҳар қайси параллел шохобчанинг секциялари битта қутблар жуфти остида жойлашади, шу сабабли магнитавий носимметриклик натижасида параллел шохобчаларнинг э. ю. к и бир хил бўлмай қолади, бу эса тенглаштирувчи токларнинг пайдо бўлишига олиб келади. Масалан, l_1 ва l_2 э. ю. к. лар (2.20-расм) тенг бўлмаганда A_1 ва A_2 чўткаларнинг потенциаллари ҳам бир хил бўлмайди, бу чўткалар ўзаро сим билан туташтирилгани учун чулғамда тенглаштирувчи ток $I_{тенг}$ пайдо бўлади. Агар $l_1 > l_2$ бўлса, у ҳолда $I_{тенг}$ ток занжирнинг ташқи қисмида A_1 чўткадан A_2 чўткага томон йўналган бўлади.

Якорь чулғамининг барча тўртала шохобчаларида ҳам э. ю. к. тенг бўлмаса, B_1 ва B_2 чўткалар занжирида ҳам тенг-

лаштирувчи токлар пайдо бўлади. Тенглаштирувчи токлар *нагрузка токлари билан қўшилиши туфайли,* параллел шохобчаларга ток нотекис тақсимланади, натижада чулғам ўта қизиб кетади ва электр исрофлар кўпаяди. Бундан ташқари, баъзи чўткалар остида ток зичлиги кўпайиб, йўл қўйиладиган миқдоридан ортиб кетади; натижада коллекторда учқун чиқади. *Масалан,* 2.20-расмда тенглаштирувчи токнинг йўналиши билан нагрузка токининг йўналиши бир хил бўлган ($I_{тенг}+I_{нагр.}$)



2.20- расм Магнитавий носимметрияда оддий калава чулғамнинг параллел шохобчаларидаги тенглаштирувчи токлар.

A_2 чўтка ток билан ортиқча юкланган бўлади. Тенглаштирувчи токнинг катталиги машина нагрузкасига боғлиқ эмас. Шунинг учун ҳатто $I_{нагр} = 0$ бўлганда, яъни салт ишлаш режимида ҳам тенглаштирувчи ток йўқолмайди.

Юқорида айтиб ўтилган ҳодисалар машинанинг нормал ишлашини бузади. Оддий калава чулғамларда чўткаларнинг нотекис юкланишини камайтириш учун қуйидагича иш юритилади: якорь чулғамининг потенциаллари назарий жиҳатдан бир хил бўлиши лозим бўлган нуқталари ўзаро ўтказгичлар билан уланади. *Бунда чулғамда пайдо бўладиган* тенглаштирувчи токлар чулғам ичида чўткаларга ва уларни туташтирувчи шиналарга чиқмасдан туташади.

Кўрсатилган туташмалар мис симлар ёрдамида қилинади ва ***биринчи тур тенглаштирувчи туташмалар*** (тенглаштиргичлар) *дейилади. Секцияларнинг коллектор пластинкаларига ула*надиган охирги учлари ёки чулғамнинг коллекторга тескари томонидаги олд қисмлари тенг потенциалли нуқталар билан туташтириш учун энг қулай ҳисобланади.

Чулғамдаги бир хил потенциалли нуқталар сони машинадаги қутблар *сонига тенг* ($p = a$) Тенг потенциалли иккита қўшни нуқта орасидаги масофа ***потенциал одим*** дейилади ва

$y_{тенг}$ билан белгиланади. Тенглаштирувчи туташмалар коллектор томонда жойлашган бўлса, потенциал одим коллектор бўлинмалари сони билан ўлчанади:

$$y_{тенг} = \frac{K}{a} = \frac{K}{p} \quad (2.9)$$

Чулғамда қўлланилиши мумкин бўлган биринчи тур тенглаштирувчи туташмаларнинг умумий сони қуйидагига тенг:

$$N_{тенг} = \frac{K}{a} \quad (2.10)$$

Лекин, бундай миқдордаги тенглаштирувчи туташмалар фақат катта қувватли машиналарда, масалан, прокат станларининг электр двигателларида қўлланилади.

Мисни тежаш ва машинанинг конструкциясини соддалаштириш мақсадида, одатда, тенглаштиргичларнинг бир қисми ишлатилади. Масалан, тўрт қутбли, кам қувватли машиналарда уч-тўртта тенглаштирувчи туташмалар қилинади. Тенглаштирувчи туташмалар қилишда кўндаланг кесими якорь чулғами симлари кесимининг 1/4 — 1/2 қисмига тенг мис симлар ишлатилади.

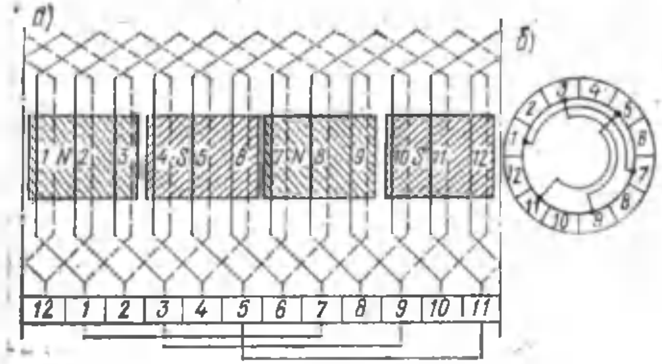
Мисол. Тўрт қутбли машинанинг 12 секциядан иборат оддий калава чулғами бор. Чулғамнинг потенциал одимини аникланг ва схемада ҳар иккинчи коллектор пластинкасига уланган биринчи тур тенглаштирувчи туташмаларни кўрсатинг.

Ечилиши. Потенциал одим

$$y_{тенг} = \frac{K}{p} = \frac{12}{2} = 6$$

Тенглаштирувчи туташмаларнинг умумий сони:

$$N_{тенг} = \frac{K}{a} = \frac{12}{2} = 6$$



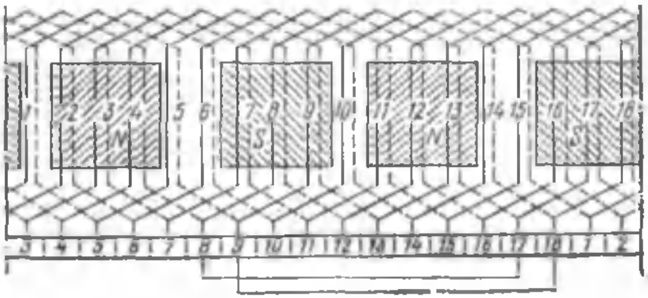
2.21-расм. Биринчи тур тенглаштирувчи туташмалар: *а*— чулғамнинг ёйиқ схемаси; *б* – коллектор томонидан кўриниши.

Масаланинг шартига мувофиқ схемада $\frac{1}{2} N_{тенг} = 3$ та тенглаштирувчи туташмани кўрсатамиз. Уларни коллектор томонидан жойлаштириб (2. 1-расм), пластинкалар билан қуйидагича туташтирамиз: биринчи тенглаштиргич *1* ва *7* пластинкаларни, иккинчиси — *3* ва *9* ни, учинчиси эса *5* ва *11* пластинкаларни туташтиради.

Мураккаб калава ҳамда тўлқинсимон чулғамларда мураккаб чулғамни ҳосил қилувчи оддий чулғамлар параллел уланган булади. Улар коллекторда чўткалар контакти орқали параллел уланади. Лекин коллекторда чўткаларнинг ҳар қайси оддий чулғам билан бир хил контактда бўлишини амалда таъминлаб бўлмайди, шу сабабли ток чулғамлар ўртасида нотекис тақсимланади; натижада коллекторда потенциалнинг бир текис тақсимланиши бузилади ва коллекторда учқун чиқиши мумкин (4.1 § га қаранг).

Бу номақбул ҳодисани йўқотиш учун *иккинчи тур тенглаштирувчи туташмалар* ишлатилади, оддий чулғамлар тенг потенциалли нуқталаридан ўзаро шу туташмалар (ўтказгичлар) воситасида уланади.

Шундай қилиб, биринчи тур тенглаштиргичлар машина магнитавий системасининг носимметриклигини текислаштирса, ик-



2.22- расм. Мураккаб тўлқинсимон чулғамда иккинчи тур тенглаштирувчилар.

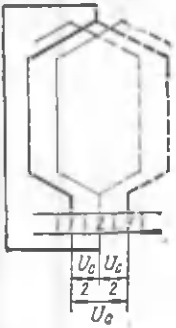
кинчи тур тенглаштиргичлар коллекторда кучланишнинг нотекис тақсимланишига йўл қўймайди. 2.22-расмда бир-биридан потенциал одими қадар масофада турган бир хил потенциалли коллектор пластинкаларини ўзаро улайдиган иккинчи тур тенглаштиргичли мураккаб тўлқинсимон чулғам схемаси кўрсатилган:

$$y_{тенг} = \frac{K}{a} = \frac{18}{2} = 9$$

Пластинка *8* пластинка *17* га, пластинка *9* эса пластинка *18* га уланади ва ҳоказо (схемада фақат иккита тенглаштиргич кўрсатилган).

Тенглаштиргичларнинг умумий (тўлиқ) сони (2.10) ифодадан аниқланади. Лекин мисни тежаш мақсадида иккинчи тур тенглаштиргичлар камроқ миқдорда тайёрланади.

Мураккаб калава чулғамларда иккинчи тур тенглаштиргичлар 2.23-расмда кўрсатилгани каби ясалади. Бу чулғамдаги

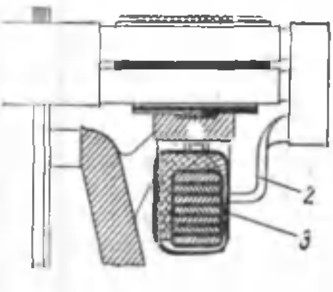


2.23- расм. Мураккаб калава чулғамда иккинчи тур тенглаштирувчилар.

оддий чулғамлардан бирининг ҳар қайси секцияси коллектор пластинкаларига битта оралатиб (*1* ва *3*) улангани учун, улар орасидаги (иккинчи оддий чулғамга тегишли) пластинка *2* секциянинг кучланишини икки қисмга бўлади. Кучланиш пластинкалар орасида тенг тақсимланишини таъминлаш учун бу қисмлар бир хил бўлиши, яъни ёнма-ён жойлашган ҳар қайси пластинкалар жуфти (масалан, *1* ва *2*) орасидаги кучланиш секциядаги кучланишнинг ярмига тенг бўлиши керак. Шу мақсадда чулғамда иккинчи тур тенглаштиргичлар ишлатилади, секциянинг коллекторга қарама-қарши томонидаги ўрта қисми ана шу тенглаштиргичлар воситасида оралиқ пластинка *2* га уланади.

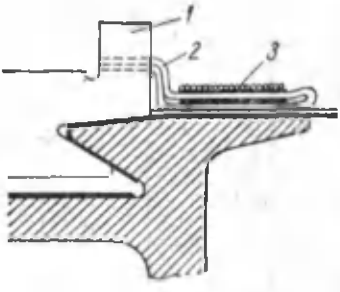
Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, бундай тенглаштирувчи туташмалар қилиш анча қийинчиликлар билан боғлиқ, чунки улар чулғамнинг якорнинг иккала томонида жойлашган нуқталарини туташтиради ва уларни вал билан якорь ўзаги орасидаги тешикдан тортишга тўғри келади.

Шундай қилиб, мураккаб тўлқинсимон чулғамларда фақат иккинчи тур тенглаштиргичлар ишлатилса, мураккаб калава



2.24- расм. Коллекторга қарши томондаги, ҳалқалар кўринишидаги тенглаштирувчи туташмаларнинг тузилиши:

1—секциянинг олд қисми; *2*—ҳалқадан чулғамга борадиган тармоқ; *3*—тенглаштирувчи ҳалқалар.



2.25- расм. Коллектор томондаги вилкасимон тенглаштирувчи туташмаларнинг тузилиши:

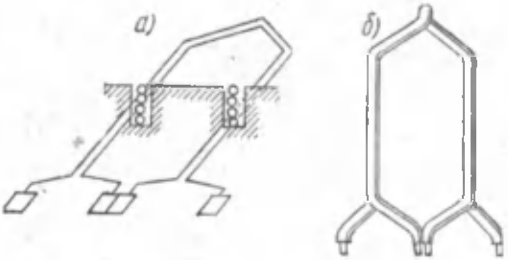
1 – коллектор пластинкаси; 2 – тенглаштирувчи вилка; 3 – тенглаштирувчи туташмаларни маҳкамлаш учун бандаж.

чулғамларда эса ҳам биринчи, ҳам иккинчи тур тенглаштирувчи туташмаларнинг бўлиши зарур.

Тенглаштирувчи туташмалар чулғамнинг олд қисмларидаги тегишли нуқталарга шохобчалар воситасида уланадиган ҳалқалар кўринишида (2.24- расм) ёки коллектор томонида жойлашган вилкасимон улагичлар (2.25- расм) ҳолида ясалади Ҳалқалар, одатда тенглаштиргичлар сони кам ва уларнинг кесим юзаси катта бўлганда ишлатилади. Вилкасимон улагичлар, одатда, тенглаштиргичлар сони кўп ва уларнинг кўндаланг кесими кичик бўлган ҳолларда қўлланилади.

2.11- §. Аралаш чулғам

Аралаш (бақа шаклидаги) чулғам битта пазда жойлашиб, умумий коллекторга уланган калава чулғам билан тўлқинсимон чулғамнинг бирикмасидан иборат. Бу чулғамнинг секцияси 2.26- расмда кўрсатилган.



2.26- расм. Аралаш чулғам секцияси:
а—пазларда жойлашуви. *б*—алоҳида секция.

Оддий чулғамлардан ҳар бири икки қатламли бўлгани учун аралаш чулғам якорда тўрт қават қилиб жойланади, коллекторнинг ҳар қайси пластинкасига эса тўрттадан ўтказгич кавшарланади.

Аралаш чулғам катта қувватли электр машиналарда қўлланилади. Унинг асосий афзаллиги шундан иборатки, бу чулғамда тенглаштирувчи туташмалар талаб қилинмайди. 2.27- расмда аралаш чулғамнинг принципиал схемаси кўрсатилган. Аралаш чулғамни ташкил этувчи чулғамларнинг якорь бўйлаб одимлари бир хил қилиб ишланади:

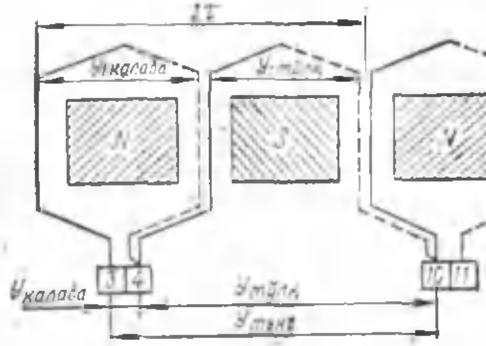
$$y_{1\ \text{калава}} = y_{1\ \text{тўлқ}}$$

Аралаш чулғамнинг одими оддий чулғамлар одимларининг йиғиндисига тенг:

$$y_{1\ \text{калава}} + y_{1\ \text{тўлқ}} = \frac{Z_э}{2p} + \frac{Z_э}{2p}$$

$Z_э = K$ бўлгани учун $y_{1\,калава} + y_{1\,тўлқ} = \frac{K}{p} = y_{тенг}$, яъни чулғамнинг якорь бўйлаб одими потенциал одимга (2.9) тенг.

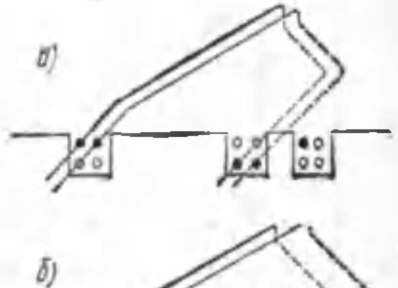
Бинобарин, тенглаштиргичлар билан уланиши лозим бўлган коллектор пластинкалари аралаш чулғамда секциялар билан туташтирилади, шу сабабли ушбу чулғамда тенглаштирувчи туташмалар ишлатилмайди.



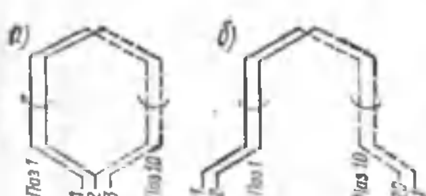
2.27- расм. Аралаш чулғамнинг схемаси.

2.12-§. Якорь чулғамларини амалда ясаш

Якорь чулғамини тайёрлаш учун бу чулғамнинг тўла ёйиқ схемасини чизишнинг ҳожати йўқ. Бундай ҳолда чулғамнинг амалий схемаси (2.28- расм) чизилади, чизмада актив томонлари битта пазнинг ўзида жойлашган секциялар тасвирланади.



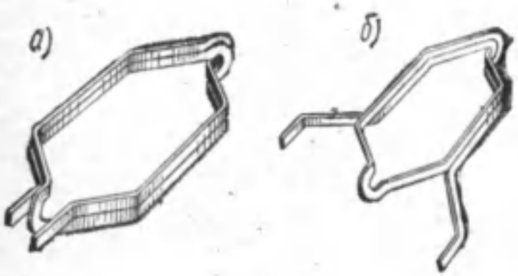
2.29- расм. Тенг секцияли (*а*) ва поғонали (*б*) чулғамларнинг секциялари.



2.28- расм. Якорь чулғамларининг амалий схемалари:
а – калава чулғам *б* – тўлқинсимон чулғам.

Бу схемада шу секцияларни коллектор пластинкаларига улаш тартиби кўрсатилган. Актив томонларни қамровчи ёй бу секцияларни бирга изоляциялаш, яъни битта ғалтакка бирлаштириш мумкинлигини кўрсатади. Пластинка ва секцияларнинг схемада кўрсатилган номерлари чулғамнинг якорь бўйича ва коллектор бўйича одимларини билдиради. Шу схемалар бўйича секциялар ёки ғалтаклар тайёрланади, сўнгра уларни якорь ўзагининг пазларига жойлаштириб, коллектор пластинкалари билан туташтирилади.

Тенглаштирувчи туташмалар учун схемалар чизилмайди, балки бу туташмаларнинг жадвалларигина берилади.



2.30- расм. Икки ўрамли „қаттиқ" секциялар: *а*—калава; *б*—тўлқинсимон.

Шу вақтга қадар биз якорь чулғамлари схемаларини кўриб чиқишда барча секциялари бир хил ўлчамли чулғамларни назарда тутган эдик. Бундай чулғамлар *тенг секцияли* чулғамлар деб аталади. Тенг секцияли чулғамларни тайёрлаш қулай, айниқса, якорь ўзагининг пазлари очиқ бўлса бундай чулғамлар осон тайёрланади. Бунда битта пазга жойлашадиган секциялар изоляцияланиб, биргаликда битта ғалтак ҳолида ўралади ва пазга жойлаштирилади. Лекин чулғамнинг бошқача — *поғонасимон* конструкцияси ҳам бўлиши мумкин, бунда секцияларнинг кенглиги турлича бўлади. Агар поғонасимон чулғам бир неча секцияларининг биттадан актив томонлари битта пазда жойлашса, шу секцияларнинг бошқа актив томонлари турли пазларда жойлашади (2.29- расм).

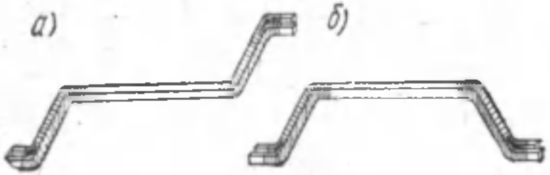
Поғонасимон чулғамларни тайёрлаш мураккаб бўлиб, улар катта қувватли электр машиналарида ишлатилади ва чўткалар контактининг ишлашига яхши шароит яратади (4.3- § га қаранг).

Юқорида айтиб ўтилганидек, якорь чулғамларининг секциялари кўндаланг кесим юзаси доира шаклида ёки тўғри тўртбурчак бўлган мис симлардан тайёрланади.

Агар секциядаги ўрамлар сони кўп бўлмаса, секция тўғри тўртбурчаклик кесимли симдан тайёрланади. Бундай „қаттиқ" секциялар олдиндан узил-кесил шаклга келтирилади (2.30- расм) ва шундан кейин якорь ўзагининг пазларига жойлаштирилади. Лекин „қаттиқ" секцияли чулғамлар, асосан, якорида-

ги пазлар очиқ бўлган машиналарда ишлатилади. Пазлар ярим ёпиқ бўлган ҳолларда эса тўғри тўртбурчаклик кесимли секциялар ярим секциялар кўринишида ишланади (2.31- расм).

Бунда пазга ярим секциялар пазнинг ён (торец) томонидан жойлаштирилади. Шу мақсадда олдиндан ярим секциянинг фақат бир томонига шакл берилади, иккинчи томони эса пазга жойлаштирилгандан кейин, бевосита якорнинг ўзида шаклга киритилади, шундан сўнг ярим секциялар ўзаро ҳалқа (хомут)



2.31- расм. Тўлқинсимон (*а*) ва калава (*б*) чулғамларнинг ярим секциялари.

лар ёрдамида бирлаштирилади (1.13- расмга қаранг). Кам қувватли машиналарда ярим ёпиқ пазлар бўлганда чулғам доира кесимли симдан тайёрланади. Бундай чулғамларнинг секцияларида, одатда, ўрамлар сони кўп бўлади ва пазларга жойлаштирилгунга қадар тайёрланади, лекин якорь ўзагининг юзасидаги тирқишлар орқали ўтказгичларни бир-иккитадан пазларга тушириш мумкин бўлсин учун уларга олдиндан изоляция қопланмайди. Жойлаштириш усулига кўра бу чулғамлар *сочма чулғам* дейилади. Икки қутбли кичик машиналар якорининг чулғамлари *қўлда* (дастаки усулда), яъни секцияларни олдиндан тайёрламай ясалади.

2.13- §. Якорь чулғамининг электр юритувчи кучи

Якорь чулғамининг ўтказгичида индукцияланадиган э. ю. к. нинг катталиги (1.1) формула ёрдамида аниқланади:

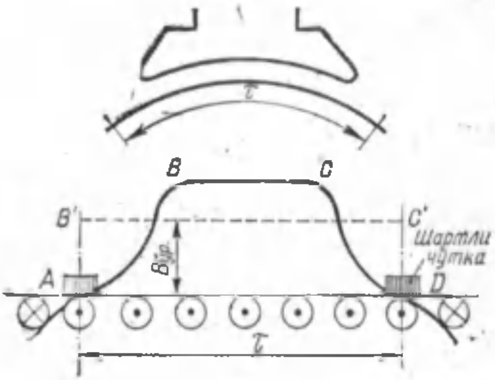
$$e = Blv$$

Қутб учликлари билан якорь юзаси орасидаги ҳаво зазорида магнитавий индукция B якорь айланасининг турли нуқталарида ҳар хил қийматга эга бўлади. Одатда, ўзгармас ток машиналарида магнитавий индукциянинг якорь юзаси бўйлаб тақсимланиши шакли трапецияга яқин бўлган $ABCD$ эгри чизиқ билан аниқланади (2.32- расм). Шу эгри чизиқ ва абсциссалар ўқи билан чегараланган юза битта қутб остидаги ҳаво зазоридаги магнитавий оқимга пропорционал бўлади. Индукция B нинг қутб бўлинмаси τ оралиғидаги қиймати турлича бўлганлиги учун э. ю. к. ни аниқлашда магнитавий индукциянинг *ўртача* қийматидан фойдаланган қулай; бунда у асоси

τ, юзаси $ABCD$ шаклнинг юзасига тенг бўлган $AB'C'D$ тўғри тўртбурчакликнинг баландлигига тенг деб қабул қилинади. У ҳолда якорь сиртига жойлаштирилган битта ўтказгичда индукцияланадиган э. ю. к. нинг ўртача қиймати қуйидагига тенг бўлади:

$$E_{ўр} = B_{ўр}\, lv$$

Якорь чулғами N та ўтказгичдан таркиб топган, лекин чулғамнинг э. ю. к. и кетма-кет уланган $\frac{N}{2a}$ ўтказгичдан тузилган фақат битта параллел тармоқнинг э. ю. к. катталиги билан аниқланади.



2.32- расм. Ўзгармас ток машинасининг зазорида магнитавий индукциянинг тақсимланиши.

Шунинг учун якорь чулғамининг э. ю. к. и

$$E_а = E_{ўр} \frac{N}{2a} = B_{ўрт}\, lv \frac{N}{2a}, \qquad (2.11)$$

бунда v — айланаётган якорнинг айланма тезлиги, *м/сек*;

$$v = \frac{\pi D n}{60},$$

l — якорнинг узунлиги, *м*;
n — якорнинг айланиш тезлиги, *айл/мин*;
D — якорнинг диаметри, *м*.

Якорь айланасининг узунлиги πD ни қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\pi D = \tau 2p$$

У ҳолда

$$v = \frac{\tau 2pn}{60}$$

Бу ифодани (2.11) га қўйсак,

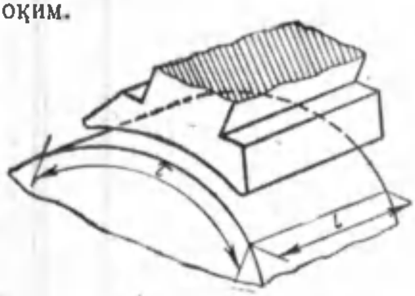
$$E_а = B_{ўрт}\, l \frac{\tau 2pn}{60} \cdot \frac{N}{2a}$$

ҳосил бўлади.

$l\tau$ кўпайтма битта қутбнинг магнитавий оқими кесиб ўтадиган юзани билдиради (2.33- расм), шу сабабли,

$$B_{\text{ўрт}}\, l\tau = \Phi,$$

бунда Φ — битта қутб остидаги ҳаво зазоридаги магнитавий оқим.



2.33- расм. Якорь чулғамининг э. ю. к. формуласини чиқаришга доир.

Бинобарин, якорь чулғамининг э. ю. к. и

$$E_a = \frac{pN}{60a}\Phi n \qquad (2.12)$$

$\frac{pN}{60a}$ катталик айни машина учун ўзгармасдир:

$$C_e = \frac{pN}{60a}. \qquad (2.13)$$

Ниҳоят

$$E_a = C_e\Phi n. \qquad (2.14)$$

Бу ерда э. ю. к. E_a вольтларда, магнитавий оқим Φ эса — вебер (*вб*) ларда ифодаланган.

Мисол. Ўзгармас ток генератори тўрт қутбли машина бўлиб, якорининг оддий тўлқинсимон чулғами 133 та икки ўрамли секциялардан таркиб топган.

Якорнинг айланиш тезлиги $n = 1600$ *айл/мин*, магнитавий оқим эса $\Phi = 8{,}1 \cdot 10^{-3}$ *вб* бўлса, генераторнинг э. ю. к. ини аниқланг.

Е ч и л и ш и. Якорь чулғамининг секциялари икки ўрамли ($w_s = 2$) бўлганлигидан, уларнинг ҳар бирида тўрттадан ўтказгич бўлади.

Якорь чулғамидаги ўтказгичларнинг умумий сони:

$$N = 2w_sS$$

$w_s = 2$ ва $S = 133$ бўлганда

$$N = 2 \cdot 2 \cdot 133 = 532$$

Чулғам оддий тўлқинсимон, демак $2a = 2$. У ҳолда генераторнинг э. ю. к. и (2.12) қуйидагига тенг:

$$E_a = \frac{pN}{60a}\Phi n = \frac{2 \cdot 532}{60 \cdot 1} 8{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot 1600 = 230 \text{ в}$$

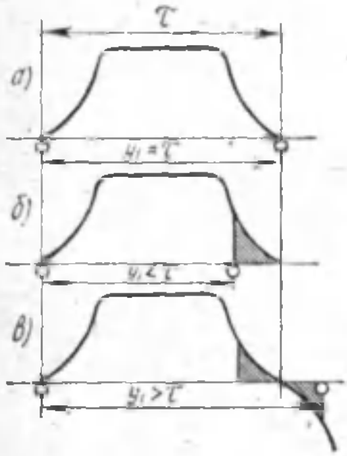
2.14-§. Якорь чулғами секциялари кенглигининг ва чўткалар ҳолатининг машина э. ю. к. ининг қийматига таъсири

Генераторларда якорнинг айланиш тезлиги, одатда, ўзгармас ҳолда сақлаб турилади, шунинг учун генераторнинг э. ю. к. и катталиги (2.14) фойдали магнитавий оқимнинг, яъни якорь чулғами секцияларига тўғри келадиган магнитавий оқимнинг ҳар қандай ўзгаришларида ўзгариб туради.

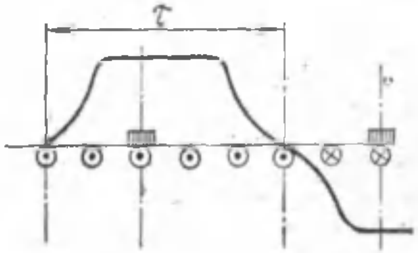
2.34-расм, *а* да якорь сиртининг бир қисми ва чулғамнинг якорь бўйлаб биринчи қисман одими қутбий бўлинмага тенг ($y_1 = \tau$) бўлган *тўла одимли* битта секцияси кўрсатилган.

Бу ҳолда қутбнинг магнитавий оқими фойдали бўлади, чунки у секция билан тўлиқ кесишади, шу сабабли тўла одимли секциянинг э. ю. к. и энг катта қийматга эга,

Агар *якорь бўйлаб биринчи қисман одими қутбий бўлинмадан кичик* ($y_1 < \tau$) *қилинса*, у ҳолда секция қутб оқимининг фақат бир қисми билан кесишади (2.34-расм, *б*). Шунинг учун қисқартирилган одимли секцияларда, бошқа шароитлар бир хил бўлганда, э. ю. к. тўла одимли секциялардагига қараганда кичик бўлади.



2.34-расм. Чулғам одимининг э. ю. к. қийматига таъсири: *а*—*тўла одим*; *б*—*қисқартирилган одим*; *в*—узайтирилган одим.



2.35-расм Чўткалар. нейтралдан силжиганда машина э. ю к. ининг камайиши.

Агар якорь чулғами *узайтирилган одимли секциялардан* ($y_1 > \tau$) қилинган бўлса ҳам якорнинг э. ю. к. и камаяди, чунки бу ҳолда секцияни қарама-қарши йўналишдаги магнитавий оқимлар кесиб ўтади ва шунинг учун битта қутблар жуфти фойдали оқимининг бир қисми иккинчи қутблар жуфти оқимининг магнитсизловчи таъсирини қоплашга сарфланади, (2.34-расм, *в*) натижада секциянинг э. ю. к. и камайиб кетади.

Амалда тўла одимли ва қисқартирилган одимли секциялар ишлатилади. Узайтирилган одимли секциялар тайёрлашда мис кўп сарфлангани сабабли чулғамларда бундай секциялар ишлатилмайди.

Якорь чулғамининг э. ю. к. и катталигига чўткаларнинг коллектордаги ҳолати ҳам таъсир этади. Буни тушуниш учун шартли чўткалар ҳақидаги тушунчадан (2-§ га қаранг) фойдаланамиз. 2.32-расмда шартли чўткалар геометрик нейтралга, яъни қутбий бўлинма чегарасига қўйилган. Шунинг учун якорь чулғамининг параллел шохобчага кирувчи барча ўтказгичларининг э. ю. к. и бир хил йўналишда бўлади. Натижада шарт-

ли чўткалар геометрик нейтралда жойлашган ҳолатда параллел шохобчанинг э. ю. к. и ва, бинобарин, чулғамнинг э. ю. к. и параллел шохобчадаги барча секциялар э. ю. к. и нинг йиғиндиси билан аниқланади.

Агар шартли чўткалар нейтралдан силжитилса (2.35- расм), параллел шохобчага якорь чулғамининг э. ю. к. и турли йўналишларда бўлган ўтказгичлари уланган бўлиб қолади. Бу ҳолда параллел шохобчанинг э. ю. к. ининг катталиги параллел шохобчага уланган секциялардан фақат бир қисмининг э. ю. к. лари йиғиндиси билан аниқланади, бу эса ўзгармас ток машинаси э. ю. к. ининг камайишига олиб келади. Шундай қилиб, шартли чўткалар геометрик нейтралда жойлашгандагина э. ю. к. энг катта қийматга эга бўлади.

2.2- § да кўрсатиб ўтилганидек, шартли чўткаларнинг якордаги шундай ҳолатига реал чўткаларнинг коллекторда асосий қутблар ўрталарининг қаршисида жойлашган ҳолати мос келади (2.10- расмга қаранг).

2.15- §. Якорь чулғамининг типини танлаш

Ўзгармас ток машинасида якорь чулғамининг бирор типини танлаш техникавий, шунингдек, иқтисодий характердаги талабларга кўра аниқланади. Чулғамнинг танланган типи токнинг муайян қийматида машинада зарурий э. ю. к. ҳосил қилишни таъминлаши керак. Бунда тенглаштирувчи туташмаларнинг энг кам бўлишига ҳаракат қилиш лозим.

Чулғам типини танлашдаги иқтисодий характердаги талабларнинг моҳияти якорь ўзагидаги пазлардан иложи борича яхши фойдаланишдан иборат, бу пазларни тўлдириш коэффициенти билан аниқланади:

$$K_п = \frac{S_м}{S_п}$$

бунда $S_м$ — битта пазга жойлаштирилган барча мис симларнинг кесим юзаси;

$S_п$ — битта пазнинг кесим юзаси.

Агар пазга кўп ўтказгич жойлаштирилган бўлса, паз юзасининг катта қисми шу ўтказгичларнинг изоляцияси билан банд бўлади. Шунинг учун якорь чулғамининг танланган типида ўтказгичлар сони мумкин қадар кам бўлиши керак.

Якорь чулғамининг э. ю. к. формуласини (2.12) ўзгартириб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$N = 60\, a \frac{E_а}{p\Phi n} \qquad (2.15)$$

Бундан кўринадики, $E_а$, p, Ф ва n нинг берилган қийматларида чулғамдаги ўтказгичлар сони N параллел шохобчалар жуфтининг сонига тўғри пропорционал бўлади. Шунинг учун чулғам типини танлашда параллел шохобчалари сони энг кам

бўлган чулғамлар олишни афзал деб ҳисоблаш керак. Ана шу мулоҳазаларга кўра, энг маъқули оддий тўлқинсимон чулғамдир ($a = 1$); шуниси ҳам борки, бундай чулғам тенглаштирувчи туташмаларни тақозо қилмайди. Бу чулғамни ишлатишни чекловчи шартлар қуйидагилардир:

а) параллел шохобчадаги токнинг йўл қўйиладиган қиймати; бу қиймат компенсацион чулғамсиз машиналарда 300 *а* дан, компенсацион чулғамли машиналарда эса 500 *а* дан ошмаслиги лозим (3.4- § га қаранг);

б) ёнма-ён жойлашган иккита коллектор пластинкалари орасидаги йўл қўйиладиган энг катта кучланиш катта қувватли машиналарда 25—28 *в* дан, ўртача қувватли машиналарда 30—35 *в* дан ва кам қувватли машиналарда 50—60 *в* дан ошиб кетмаслиги керак. Кучланишнинг қиймати шу кўрсатилганлардан ортиб кетса, машинада „айлана олов"—машина учун хавфли ҳодиса вужудга келиши мумкин (4.4- § га қаранг).

Агар оддий тўлқинсимон чулғам ишлатиш мумкин бўлмаса, чулғамнинг параллел шохобчалари кўп бўлган бошқа типига, масалан, мураккаб тўлқинсимон чулғамга ўтилади.

Ишлатилишининг мақсадга мувофиқлигига қараб, якорь чулғамларининг турли типларини қуйидаги тартибда жойлаштириш мумкин:

1) оддий тўлқинсимон чулғам; 2) мураккаб тўлқинсимон чулғам; 3) оддий калава чулғам; 4) мураккаб калава чулғам; 5) аралаш чулғам.

2.5- жадвалда турли типдаги якорь чулғамларининг ишлатилиш соҳалари кўрсатилган.

2.5- жадвал

Чулғам типи	Асосий ишлатилиш соҳаси
Оддий тўлқинсимон чулғам	Кучланиш 110 дан 230 *в* гача бўлганда қуввати 50 *квт* гача бўлган машиналар Кучланиш 440 *в* ва ундан юқори бўлганда қуввати 50 дан 500 *квт* гача бўлган машиналар
Мураккаб тўлқинсимон чулғам	Кучланиш 440 дан 600 *в* гача бўлганда, қуввати 50 дан 500 *квт* гача бўлган машиналар
Оддий калава чулғам	Кучланиш 110 дан 230 *в* гача бўлганда, қуввати 50 дан 500 *квт* гача бўлган машиналар Кучланиш 440 дан 600 *в* гача бўлганда, қуввати 500 *квт* дан юқори бўлган машиналар
Мураккаб калава чулғам	Кучланиш 24 *в* гача бўлганда, қуввати 500 *квт* гача бўлган машиналар Кучланиш 230 *в* гача бўлганда, қуввати 500 *квт* дан юқори бўлган машиналар
Аралаш чулғам	Кучланиш 600 *в* дан юқори бўлганда қуввати 500 *квт* дан ортиқ бўлган машиналар

2. 16-§. Ўзгармас ток машиналарининг якорь чулғамларини қайта ҳисоблаш

Амалда ўзгармас ток машинасини баъзан паспортида кўрсатилган кучланишдан бошқа кучланишда ишлатиш зарур бўлиб қолади. Масалан, паспортида кўрсатилишича 115 *в* э. ю. к. ишлаб чиқарадиган генератордан 230 *в* э. ю. к. олиш талаб қилинади.

Якорь чулғамининг э. ю. к. формуласи (2.12) га мувофиқ шу машинада э. ю. к. ни икки марта ошириш учун айланиш тезлигини ошириш, ёки қўзғатувчи магнитавий оқимини ошириш лозим. Аммо машинанинг механикавий мустаҳкамлик шартларига кўра унинг айланиш тезлигини икки марта ошириш мумкин эмас; машинанинг магнитавий оқимини ҳам ошириб бўлмайди, чунки машина магнитавий тўйинган шароитда ишлайди (3.2- § га қаранг). Бундан ташқари, машинанинг э. ю. к. и 115 дан 230 *в* гача оширилганда ёнма-ён жойлашган коллектор пластинкаларида кучланиш ҳаддан ташқари кўпайиб кетади, ваҳоланки унинг қиймати 2.15-§ да кўрсатилганидан ортиқ бўлмаслиги керак. Ана шу мулоҳазаларга кўра, машинанинг э. ю. к. ини оширишга йўл қўйиб бўлмайди. Шундай қилиб, фақат битта усул — машина якорининг чулғамини ўзгартириш қолади. Чулғамда қилинадиган барча ўзгартиришлар, яъни уни қайта ўраш ишлари қайта ҳисоблаш асосида олиб борилади.

Чулғамнинг қайта ўрашдан олдинги э. ю. к и, актив ўтказгичлар сони ва параллел шохобчалар жуфтлари сонини мос равишда E_1, N_1 ва A_1 билан, шу катталикларнинг қайта ўрашдан кейинги қийматларини эса E_2, N_2 ва A_2 билан белгилаймиз.

Қабул қилинган белгилашларга мувофиқ машинанинг қайта ўрашдан олдинги ва кейинги э. ю. к. лари учун қуйидаги ифодаларни ёзиш мумкин:

$$E_1 = \frac{PN_1}{60a_1}\Phi n$$

$$E_2 = \frac{PN_2}{60a_2}\Phi n$$

E_2 ни E_1 га бўламиз:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2 a_1}{N_1 a_2}$$

Ҳосил қилинган ифодадан э. ю. к. E_2, айланиш тезлиги ҳамда қўзғатувчи магнитавий оқими ўзгармас бўлганда чулғамдаги актив ўтказгичларнинг янги сони N_2 ни аниқлаймиз:

$$N_2 = \frac{E_2 a_2}{E_1 a_1} N_1 \qquad (2.16)$$

Чулғамни қайта ўрашда якорь ўзагидаги пазлар сони ўзгармайди, шу сабабли якорь пазидаги ўтказгичларнинг янги сони $\frac{N_2}{Z}$ ни аниқлаш муҳим, бу сон бутун ва жуфт бўлиши керак. Ўтказгичлар сонининг жуфт бўлиши чулғамни икки қаватли қилиб ишлаш учун зарур. Бундан ташқари, коллекторнинг конструкциясини сақлаб қолиш учун секциялар сони чулғам қайта ҳисоблангандан кейин ҳам аввалдагидек қолиши лозим

Юқорида баён қилинганларни яхши тушуниб олиш учун якорь чулғамларини қайта ҳисоблашга доир мисоллар кўриб чиқамиз.

Мисол. Номинал кучланиши 230 *в* бўлган ўзгармас ток генераторини 460 *в* га қайта ҳисоблаш талаб этилади. Якорь чулғамига тегишли маълумотлар: $2p = 6$; $z = 100$; $a = 2$; чулғам мураккаб тўлқинсимон; коллектор пластинкалари сони $K = 200$.

Е ч и л и ш и. Машинанинг э. ю. к. ини икки баравар ошириш учун якорь чулғамидаги ўтказгичлар сонини икки марта ошириш ёки чулғам ўтказгичлари сони N_1 ни ўзгартирмай, параллел шохобчалар жуфтлари сонини икки

марта камайтириш лозим. Мисолимизда параллел шохобчалар жуфтларининг сони $a=2$. $a=1$ бўлган оддий тўлқинсимон чулғамга ўтиш билан бу сонни икки марта камайтириш мумкин. Бу ҳолда чулғамнинг коллектор бўйича одими бутун сонга тенг бўлиш-бўлмаслигини текшириб кўрамиз, чунки одим бутун сон бўлгандагина оддий тўлқинсимон чулғамни ясаш мумкин:

$$y_к = \frac{K+1}{p} = \frac{200+1}{3} = 67,$$

яъни чулғамни ясаш мумкин экан.

Коллекторнинг ёнма-ён жойлашган пластинкалари орасидаги кучланиш:

$$U_к = \frac{E_2}{K} 2p = \frac{460}{200} 6 = 13{,}8\ в$$

бу рухсат этиладиган қийматдан (2.15-§ га қаранг) ортиқ эмас. Машинанинг қуввати ўзгармасдан қолганлиги сабабли қайта ўралгандан кейин якорь чулғамидаги номинал ток икки марта камаяди. Лекин қайта ўралгандан кейин параллел шохобчалар сони ҳам икки марта камаяди, шу сабабли *параллел шохобчадаги ток қиймати* ўзгармасдан қолади. Бундан мураккаб тўлқинсимон чулғамдан оддий тўлқинсимон чулғамга ўтилганда якорь чулғамидаги ўтказгичлар (симлар) нинг кесим юзаси ўзгармайди, деган хулоса келиб чиқади. Ушбу ҳолда чулғам типи машина коллекторидаги секцияларнинг учларини қайта кавшарлаб ўзгартирилади.

Мисол. 220 *в* кучланишда ишлайдиган двигателни 110 *в* кучланишга қайта ҳисоблаш талаб этилади. Якорь чулғамига оид маълумотлар: $2p = 2$; $z = 29$; *секциядаги ўрамлар сони* $w_{s_1} = 4$; $a_1 = 1$; паздаги ўтказгичлар сони 16 та, чулғам оддий тўлқинсимон: коллектор пластинкалари сони $K = 58$.

Е ч и л и ш и. *Якорь чулғамидаги* ўтказгичларнинг қайта ҳисоблашдан олдинги сони:

$$N_1 = 2w_{s_1} K = 2 \cdot 4 \cdot 58 = 464.$$

Қайта ҳисоблашда чулғамдаги параллел шохобчалар жуфтлари сонини аввалгисича ($a_2 = a_1 = 1$) қолдирамиз. У ҳолда ўтказгичларнинг янги сонини (2.16) формуладан ҳисоблаб топамиз:

$$N_2 = \frac{E_2 a_2}{E_1 a_1} N_1 = \frac{110 \cdot 1}{220 \cdot 1} 464 = 232,$$

паздаги ўтказгичлар сони эса қуйидагича топилади:

$$\frac{N_2}{Z} = \frac{232}{29} = 8.$$

$a_1 = a_2$, кучланиш эса икки марта камайганлиги учун параллел шохобчадаги ток катталиги икки марта ортади. Чулғам ўтказгичларида токнинг зичлиги аввалгисича қолсин учун симнинг кесимини икки марта оширамиз. Бунинг учун якорь чулғами секцияларининг ҳар бирини кесими аввалгича, лекин икки букланган симдан тайёрлаш лозим. У ҳолда паздаги ўтказгичлар сони $8 \cdot 2 = 16$ бўлади, яъни қайта ўралгунга қадар қанча бўлса шунчалигича қолади. Демак, янги чулғам якорь пазларига бемалол жойлашади. Қайта ҳисобланган чулғам секциясидаги ўрамлар сонини аниқлаймиз:

$$w_{s_2} = \frac{N_2}{2S} = \frac{\frac{N_2}{Z} \cdot Z}{2S} = \frac{8 \cdot 29}{2 \cdot 58} = 2,$$

бунда S — чулғамдаги секциялар сони; $S = K = 58$.

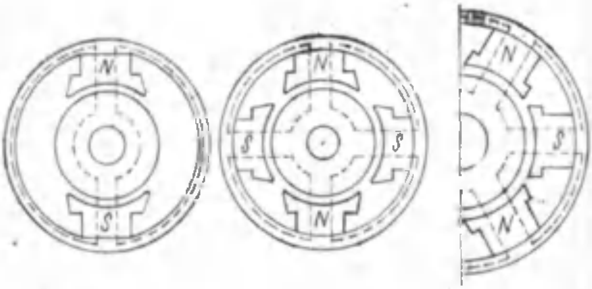
III боб

ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАЛАРИНИНГ МАГНИТАВИЙ СИСТЕМАСИ

3.1-§. Ўзгармас ток машинасининг магнитавий занжири

Ўзгармас ток машинаси қўзғатиш чулғамининг магнитловчи кучи магнитавий оқим ҳосил қилади, бу оқим машинанинг *магнитавий занжирини* ҳосил қилувчи участкалари орқали туташади. Магнитавий занжирнинг участкалари қуйидагилардир: станина, қутбларнинг ўзаклари (қутб учликлари билан бирга), якорь ўзаги ва қутб учликлари билан якорь орасидаги ҳаво зазори.

3.1-расмда асосий қутбларининг сони турлича бўлган ўзгармас ток машинасининг магнитавий системалари тасвирланган.



3.1-расм. Ўзгармас ток машиналарининг магнитавий системалари;
а—икки қутбли, *б*—тўрт қутбли; *в*—олти қутбли.

Барча ҳолларда магнитавий система тармоқланган симметрик занжирдан иборат. Ҳар қайси қутбнинг магнитавий оқими тенг икки қисмга бўлинади ва икки қўшни қутбларга йўналади. Оқимнинг ҳар қайси қисми машинанинг ҳисобий қисмларини ташкил этувчи магнитавий занжир участкаларидан бирин-кетин ўтиб боради. 3.2-расмда тўрт қутбли машина магнитавий занжирининг ҳисобий қисми кўрсатилган; бу расмда унинг барча участкалари, жумладан: ҳаво зазори δ, тишли қатлами $h_т$, якорь ўзаги $L_а$, қутбларнинг ўзаклари $h_қ$ ва станина $l_в$ кўриниб турипти.

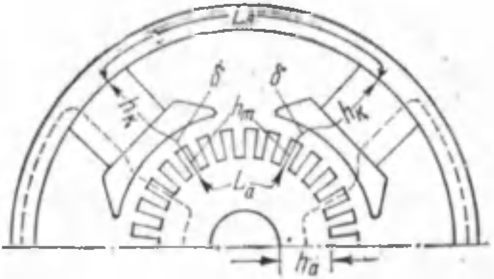
Магнитавий оқимнинг катталиги магнитловчи куч F га тўғри пропорционал ва магнитавий занжир барча участкаларининг магнитавий қаршиликлари йиғиндиси $\Sigma r_м$ га тескари пропорционалдир:

$$\Phi = \frac{F}{\Sigma r_м} \qquad (3.1)$$

Якорь чулғамида талаб этиладиган э. ю. к. зазордаги асосий (фойдали) магнитавий оқим туфайли ҳосил бўлади, бу оқимнинг катталиги (2.12) ифодадан аниқланади:

$$\Phi = \frac{a60}{pN} \cdot \frac{E_a}{n} \tag{3.2}$$

Магнитавий занжирда талаб этиладиган магнитавий оқим ҳосил қилиш учун зарур бўлган магнитловчи кучнинг (м. к.) катталиги магнитавий занжирни ҳисоб қилиш орқали аниқланади. Машина магнитавий занжирининг ҳисобий қисми бир-биридан ўлчамлари ва тайёрланган материали билан фарқ қиладиган бешта участкадан иборат; шу сабабли магнитавий занжирнинг ҳар қайси участкаси учун *магнитавий кучланиш* катталиги ҳисоблаб топилади, чунончи: F_δ — ҳаво зазоридаги, $F_т$—тишли қатламдаги, F_a—якорь ўзагидаги, $F_қ$ — қутб жуфтлари ўзакларидаги, $F_я$ – ярмо (станина) даги магнитавий кучланишлар.



3.2-расм. Ўзгармас ток машинаси магнитавий занжирининг ҳисобий қисми.

Магнитавий занжир барча участкаларидаги магнитавий кучланишларни ўзаро қўшиб, қўзғатиш чулғамининг магнитловчи кучи катталиги ҳосил қилинади:

$$F_0 = F_\delta + F_т + F_a + F_қ + F_я \tag{3.3}$$

Магнитавий занжирнинг ҳисобий қисмида иккита қутб бор, шу сабабли магнитловчи куч F_0 нинг ҳисобланадиган қиймати машина қўзғатиш чулғамининг битта қутб жуфтининг магнитловчи кучидан иборат. Бундан ташқари, шуни ҳам таъкидлаб ўтиш керакки, машинанинг магнитавий занжири салт ишлаш режими учун, яъни машинанинг нагрузкасиз ишлаши учун ҳисоб қилинади. Шунинг учун магнитловчи куч F_0 вужудга келтирган магнитавий оқим Ф якорь чулғамида фақат салт ишлаш режимида берилган э. ю. к. E_a ни ҳосил қилишга имкон беради. Машина нагрузка билан ишлаётганда берилган э. ю. к. ни ҳосил қилиш учун каттароқ магнитловчи куч талаб этилади, буни кейинроқ кўрсатиб ўтамиз (3.4-§ га қаранг).

Ҳаво зазоридаги магнитавий кучланиш қуйидаги формуладан аниқланади:

$$F_\delta = 2\frac{B_\delta}{\mu_0}\delta K_\delta, \qquad (3.4)$$

бунда B_δ — машина зазоридаги максимал магнитавий индукция, *тл*;

δ — зазор катталиги, *м*;

K_δ — зазор магнитавий қаршилигининг якорь сиртининг тишлилиги туфайли ортишини ҳисобга олувчи зазор коэффициенти ($K_\delta > 1$);

μ_0 — ҳавонинг магнитавий сингдирувчанлиги

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ гн/м}.$$

Магнитавий занжирнинг пўлатдан ясалган қолган участкаларидаги магнитавий кучланиш ушбу формуладан аниқланади:

$$F_x = H_x l_x$$

Бу ерда H_x — магнитавий майдон кучланганлиги; у магнитавий индукцияга боғлиқ ва магнитлаш эгри чизиқлари бўйича аниқланади;

l_x — магнитавий занжир участкасининг узунлиги.

Магнитавий индукциянинг занжирнинг турли участкаларидаги қиймати қуйидаги формуладан аниқланади:

$$B_x = \frac{\Phi_x}{S_x},$$

бунда Φ_x — участкадаги магнитавий оқим;

S_x — участканинг кўндаланг кесим юзаси.

3.2- расмга мувофиқ магнитловчи куч

$$F_0 = 2\frac{B_\delta}{\mu_0}\delta K_\delta + 2H_т h_т + H_а L_а + 2H_к h_к + H_я L_я \qquad (3.5)$$

Агар қутб учликларида компенсацион чулғам учун пазлар бўлса (3.4- § га қаранг), у ҳолда магнитавий занжирнинг юқорида кўрсатилган бешта участкасига яна битта—қутб учлигининг тишли қатлами ҳам қўшилади.

Магнитавий занжирнинг турли участкаларида магнитловчи кучларнинг қийматлари турлича ва шу участкаларнинг магнитавий қаршилигига боғлиқ бўлади.

Магнитавий қаршилиги энг катта бўлган участка зазордир. Шунинг учун умумий магнитловчи куч F_0 нинг кўп қисми зазорнинг магнитавий қаршилигини енгишга сарфланади. Магнитавий занжирнинг пўлатдан ясалган бошқа участкаларининг магнитавий қаршиликлари пўлатнинг магнитавий тўйинганлик даражасига боғлиқ. Тишли қатламнинг магнитавий тўйинган-

лик даражаси энг катта, шу сабабли унинг магнитавий қаршилиги магнитавий занжирнинг пўлатдан ясалган бошқа участкалариникига қараганда ортиқ бўлади.

3.1- жадвалда мисол тариқасида қуввати 500 *квт*, кучланиши 460 *в* бўлган ўзгармас ток генератори магнитавий занжирини ҳисоблаш натижалари келтирилган. Бу генераторнинг магнитавий занжирида $2p = 8$ та қутб бор.

Магнитавий занжир фойдали магнитавий оқим Ф нинг $0{,}5\ \Phi_0$; $0{,}75\ \Phi_0$, Φ_0 ва $1{,}1\ \Phi_0$ га тенг тўртта қиймати учун ҳисоб қилинган. Бунда Φ_0 — генераторнинг салт ишлаш режимидаги э. ю. к. нинг номинал қийматига мос келувчи магнитавий оқим.

3.1- жадвал.

Магнитавий занжир участкаларининг номи	$0{,}5\ \Phi_0$	$0{,}75\ \Phi_0$	Φ_0	$1{,}1\ \Phi_0$
	Магнитловчи кучларнинг қийматлари, *а*			
Ҳаво зазори, F_δ	4750	7120	9500	10450
Тишли катлам, $F_т$	43	635	3350	7850
Якорь ўзаги, F_a	73	140	395	625
Қутбларнинг ўзаклари, $F_қ$	115	265	510	1050
Станина (ярмо), $F_я$	234	360	610	750
Қутблар жуфтига таъсир этадиган магнитловчи куч F_0	5065	8520	14365	20825

Қўзғатиш чулғамининг қутблар жуфтига таъсир этувчи магнитловчи кучи F_0 қўзғатиш чулғамининг қутб ғалтагидаги ўрамлар сонини белгилайди:

$$w_қ = \frac{F_0}{2I_қ} \tag{3.6}$$

бунда $I_қ$ — қўзғатиш чулғамидаги ток катталиги, *а*.

Якорь чулғамига параллел уланган қўзғатиш чулғамидаги ток катталиги қуввати 10 дан 1000 *квт* гача бўлган машиналарда машина номинал токининг тегишлича 3,5 дан 1% игача тенг деб қабул қилинади, қуввати 1 дан 10 *квт* гача бўлган машиналарда эса 7 дан 3,5% игача тенг деб қабул қилинади.

Кетма-кет қўзғатиш чулғамидаги ток якорь чулғамидаги токка тенг.

Мисол. Агар м. к. $F_0 = 14365$ *а*, генераторнинг кучланиш $U_н = 460$ *в* бўлгандаги қуввати $P_н = 500$ *квт* бўлса, параллел қўзғатишли ўзгармас ток генераторининг қутб ғалтагидаги ўрамлар сонини аниқланг.

Ечилиши. Генераторнинг номинал токи,

$$I_н = \frac{P_н}{U_н} = \frac{500 \cdot 10^3}{460} = 1080\ a.$$

Қўзғатиш токини $I_н$ нинг 1% ига тенг, деб қабул қиламиз,

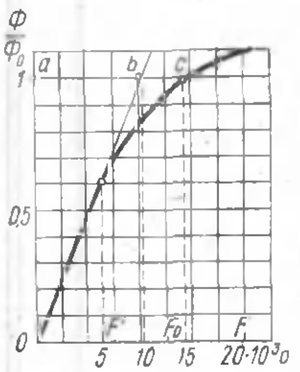
$$I_қ = 0{,}01 \cdot 1080 = 10{,}8\ a.$$

Қўзғатиш чулғамининг қутб ғалтагидаги ўрамлар сони (3.6)

$$w_қ = \frac{F_0}{2I_қ} = \frac{14365}{2 \cdot 10{,}8} = 670\ \text{ўрам}$$

3.2-§ Машинанинг магнитланиш характеристикаси

Маълумки, ферромагнит материалларда магнитавий тўйиниш хусусияти бор. Шунинг учун машинанинг магнитавий оқими билан магнитловчи кучи орасидаги боғланиш чизиқли эмас, яъни оқимнинг ортиши қўзғатиш чулғами магнитловчи кучининг кўпайишига пропорционал бўлмайди. Бу ҳол $\Phi = f(F)$ боғланишнинг 3.1-жадвал маълумотлари асосида қурилган графикавий тасвири билан тасдиқланади; бу график машинанинг *магнитланиш характеристикаси* дейилади (3.3-расм). Характеристиканинг бошланғич қисми тўғри чизиқлидир. Бунга сабаб шуки, магнитавий оқим катталиги нисбатан кичик ва магнитавий занжир тўйинмаган бўлганда, қўзғатиш магнитловчи кучи фақат зазорнинг м. к. катталиги F_δ билан аниқланади, чунки магнитавий занжирдаги пўлат элементларнинг магнитавий қаршилиги жуда кам бўлади. (3.4) ифодадан кўриниб



3.3 расм. Магнитланиш характеристикаси.

турибтики, м. к. F_δ магнитавий индукция B_δ га, ва бинобарин, магнитавий оқимга пропорционалдир. Шунинг учун магнитланиш эгри чизиғига координата бошидан ўтказилган уринма зазорнинг магнитавий кучланиши F_δ билан фойдали магнитавий оқим орасидаги боғланишни ифодалайди.

Қўзғатувчи м. к. нинг қиймати F' дан ортиб кетганда занжирдаги пўлат элементлар магнитавий тўйинади ва $\Phi = f(F)$ боғланиш чизиқли бўлмай қолади. Бошқа участкалардан олдин якорнинг тишли қавати тўйинади. Шунинг учун магнитавий оқим ортиши билан бу участкада магнитловчи куч $F_т$ магнитавий занжирнинг бошқа участкаларидагига қараганда тезроқ ортади.

Агар магнитланиш характеристикасининг бошланғич қисмига чизилган уринмани ордината ўқида $\frac{\Phi}{\Phi_0} = 1$ нуқта орқали ўтказилган горизонтал тўғри чизиққа қадар давом эттирсак, *ac* кесма қўзғатувчи м. к. катталиги F_0 ни, *ab* кесма эса зазорнинг м. к. катталиги F_δ ни кўрсатади. Бу м. к. лар нисбати *тўйиниш коэффициенти* дейилади:

$$K_\mu = \frac{F_0}{F_\delta} = \frac{ac}{ab} \qquad (3.7)$$

K_μ нинг катталигига қараб машина магнитавий занжирининг тўйинганлик даражаси ҳақида фикр юритиш мумкин. Одатда, машина тўйинган магнитавий системада, яъни $K_\mu > 1$ да ишлайди. Нормал ясалган машиналар учун $K_\mu = 1,25—1,75$ бўлади.

Магнитланиш характеристикаси 3.3-расмда келтирилган генераторнинг тўйиниш коэффициенти қуйидагига тенг:

$$K_\mu = \frac{F_0}{F_\delta} = \frac{14365}{9500} = 1,51$$

(2.14) дан кўриниб турибтики, айланиш тезлиги ўзгармас бўлганда ўзгармас ток машинасининг э. ю. к. E_a магнитавий оқим Ф га; қўзғатишнинг магнитловчи кучи эса қўзғатиш токи $I_к$ га пропорционалдир:

$$F_0 = 2I_к w_к .$$

Шунинг учун магнитланиш характеристикаси $\Phi = f(F)$ ҳам машина э. ю. к. ининг қўзғатиш токига боғлиқлигини ифодалайди, $E_a = f(I_к)$ бўлади ва *машинанинг салт ишлаш характеристикаси* дейилади (5.2-§ га қаранг).

3.3-§. Якорь реакцияси

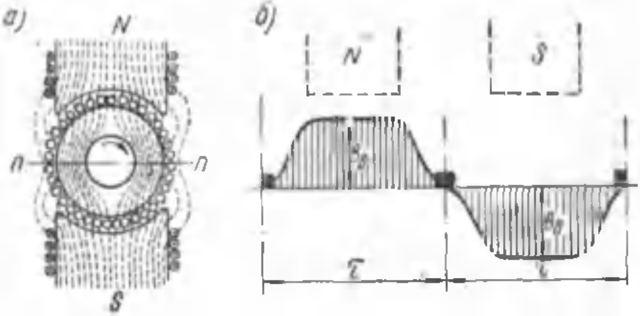
Ўзгармас ток машинаси салт ишлаш режимида ишлаганида якорь чулғамида амалда ток бўлмайди ва машинанинг магнитавий занжирида фақат қўзғатиш чулғамининг магнитловчи кучигина таъсир этади. Бунда машинанинг магнитавий майдони қутблар ўқига нисбатан симметрик бўлади (3.4-расм, *а*)*, магнитавий индукциянинг ҳаво зазорида тақсимланиш графиги эса трапеция шаклига ўхшаш эгри чизиқни ҳосил қилади (3.4-расм, *б*). Агар машина нагрузка билан ишласа, якорь чулғамида ток пайдо бўлади ва у якорнинг магнитловчи кучи F_a ни ҳосил қилади. Қўзғатишнинг м. к. и нолга тенг ва машинада фақат якорнинг м. к. и таъсир этади, деб фараз қилайлик. У

* Соддалаштириш мақсадида якорь реакцияси шартли чўткаларига эга бўлган икки қутбли машинада кўриб чиқилади.

ҳолда шу м. к. ҳосил қилган магнитавий майдон 3.5-расм, *а* да кўрсатилган кўринишда бўлади.

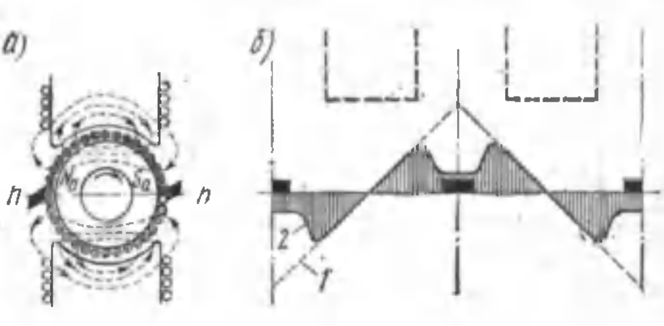
Бу расмдан кўриниб турибтики, якорь чулғамининг магнитловчи кучи чўткалар чизиғи (айни ҳолда геометрик нейтрал) бўйлаб йўналган.

Шунга эътибор бериш керакки, якорь айланса ҳам якорь чулғами м. к. нинг фазовий йўналиши ўзгармасдан қолади, чунки у бутунлай чўткаларнинг ҳолатига боғлиқ бўлади.



3.4-расм. Салт ишлаш режимида машинанинг магнитавий майдони:
а — машинанинг магнитавий майдони, *б*—индукциянинг зазорда тақсимланиши.

Якорь чулғамининг м. к. и чўткалар чизиғида энг катта қийматга эга бўлади (3.5-расм, *б* даги *1* эгри чизиқ), қутблар ўқи бўйича эса бу м. к. нолга тенг. Лекин зазорда магнитавий индукциянинг якорнинг магнитавий оқимига кўра тақсимланиши фақат қутб учликлари чегарасидагина м. к. нинг тақсимланишига мос келади. Қутблараро фазода магнитавий индукция кескин камаяди (3.5-расм, *б* даги *2* эгри чизиқ). Бунга



3.5-расм. Якорь реакциясининг магнитавий майдони (*а*) ва индукциянинг зазорда тақсимланиши (*б*).

сабаб қутблараро фазода якорнинг магнитавий оқимига магнитавий қаршиликнинг ортиб кетишидир. Якорь чулғамининг м. к. и катталиги F_a қутбий бўлинма τ даги якорь чулғами ўтказгичлари сони ва шу ўтказгичлардаги ток катталиги i_a билан аниқланади:

$$F_a = \frac{N}{\pi D} i_a \tau, \tag{3.8}$$

бунда $\frac{N}{\pi D}$ — чулғамдаги ўтказгичларнинг якорь айланасининг узунлик бирлигига тўғри келувчи сони;

$i_a = \frac{I_a}{2a}$ — якорь чулғами ўтказгичларидаги ток, бу ток параллел шохобчадаги токка тенг.

$\frac{N}{\pi D} i_a = A$ деб белгилаб, якорь м. к. ининг қуйидаги ифодасини ҳосил қиламиз:

$$F_a = A\tau, \tag{3.9}$$

бунда A — *якорнинг чизиғий нагрузкаси* (*юкланиши*), бу якорь магнитловчи кучининг якорь айланаси узунлигининг 1 сантиметрига тўғри келадиган қисмидир. Чизиғий нагрузканинг қиймати машинанинг қувватига қараб, 65 дан 700 *а/см* гача бўлиши мумкин.

Шундай қилиб, нагрузкали ўзгармас ток машинасида икки хил магнитловчи куч: қўзғатиш м. к. и F_0 ва якорь чулғамининг м. к. и F_a таъсир этади.

Якорь чулғами магнитловчи кучининг машинанинг магнитавий майдонига таъсири якорь реакцияси дейилади. Якорь реакцияси асосий магнитавий майдонни бузади ва уни машина қутбларининг ўқига нисбатан носимметрик қилади.

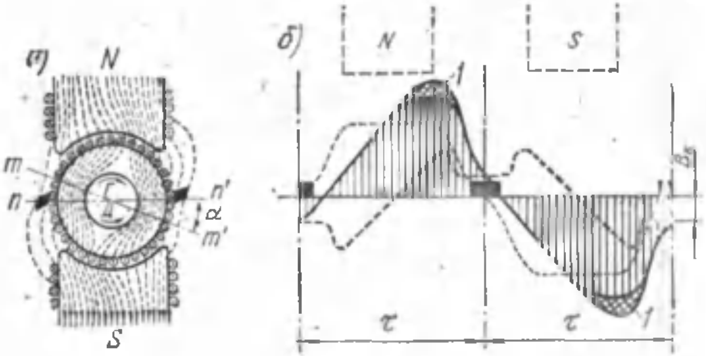
3.6- расм, *а* да якорь соат стрелкаси бўйича айланганда генератор режимида ишлайдиган машина натижавий майдони чизиқларининг тақсимланиши кўрсатилган. Магнитавий майдон чизиқларининг бундай тақсимланиши якорь соат стрелкасига тескари йўналишда айланадиган бўлса, двигателга ҳам мос келади.

Агар машинанинг магнитавий системаси тўйинмаган, деб фараз қилсак, у ҳолда якорь реакцияси асосий магнитавий оқимни бузади, холос, лекин унинг катталигини ўзгартирмайди. Қутбнинг чеккаси ва якорь ўзагининг шу қутб рўпарасидаги тишли қатлами (бу қатламда якорь м. к. ининг йўналиши асосий қутблар м. к. ларининг йўналиши билан мос тушади) магнитланади; қутбнинг бошқа чеккаси ва тишли қатламнинг якорнинг м. к. и асосий қутбларнинг м. к. ларига қарама-қарши йўналган қисми магнитсизланади. Бунда натижавий магнитавий оқим гўё асосий қутбларнинг ўқига нисбатан маълум бурчакка бурилади, физикавий нейтрал mm' (якорнинг индук-

ция нолга тенг бўлган нуқталаридан ўтадиган чизиқ) эса геометрик нейтрал nn' га нисбатан α бурчакка силжийди (3.6-расм, *а*). Машинанинг нагрузкаси қанчалик катта бўлса, натижавий майдон шунчалик кўпроқ бузилади ва, бинобарин, физикавий нейтралнинг силжиш бурчаги шу қадар катта бўлади. Машина генератор режимида ишлаганида физикавий нейтрал якорнинг айланиш йўналишида, двигатель сифатида ишлаганида эса якорнинг айланишига тескари йўналишда силжийди.

Машина натижавий майдонининг бузилиши унинг иш хусусиятларига ёмон таъсир этади. Биринчидан, физикавий нейтралнинг геометрик нейтралга нисбатан силжиши чутка контакти иш шароитларининг ёмонлашувига олиб келади ва коллекторда учқун чиқишига сабаб бўлиши мумкин (4.2- § га қаранг).

Иккинчидан, машина натижавий майдонининг бузилиши оқибатида ҳаво зазорида магнитавий индукция қайта тақсим-



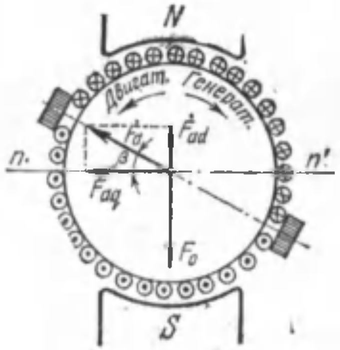
3.6- расм. Умумий (якуний) магнитавий майдон (а) ва индукциянинг зазорда тақсимланиши (б).

ланади. 3.6- расм, *б* да ҳаво зазорида натижавий майдон магнитавий индукциясининг эгри чизиқларни (3.4- расм, *б* ва 3.5-расм, *б* га қаранг) бирлаштириш йўли билан ҳосил қилинган тақсимланиш графиги кўрсатилган. Бу графикдан кўриниб туриптики, магнитавий индукция машинанинг ҳаво зазорида носимметрик тақсимланади ва қутбларнинг магнитланган чеккалари рўпарасида кескин кўпайиб кетади. Натижада якорь чулғами секцияларининг актив томонлари индукциянинг қийматлари максимал бўладиган зонага (қутб учликларининг магнитланган чеккалари рўпарасига) тушиб қолган пайтларда секциялар э. ю. к. ининг оний қийматлари ортиб кетади. Бу ҳол қўшни коллектор пластинкалари орасидаги кучланиш $U_к$ нинг кўпайишига олиб келади. Машина анчагина ортиқча нагрузка билан ишлаганда кучланиш $U_к$ рухсат этиладиган қий-

матидан ортиб кетади ва миканит қистирма электр ёйи билан қопланиб қолиши мумкин. Коллекторда бўлган графит заррачалари ва металл чанги электр ёйининг кучайишига имкон беради. Натижада электр машинанинг иши бузилиши мумкин.

Тўйинмаган магнитавий системали машинада якорь реакцияси ана шундай оқибатларга олиб келади. Агар машинанинг магнитавий системаси тўйинган бўлса (кўпчилик электр машиналарда шундай бўлади), қутб учлиги битта чеккасининг ва унинг рўпарасидаги якорь ўзаги тишли қатламининг магнитланиши бошқа чеккасининг ҳамда унинг рўпарасидаги якорь тишли қатламининг магнитсизланишига қараганда камроқ даражада бўлади.

Бу ҳол индукциянинг зазорда тақсимланишига ижобий таъсир этади ва индукция анча текис тақсимланади, чунки индукциянинг максимал қиймати *1* участка катталигича камаяди (3.6-расм, *б*). Лекин бунда натижавий оқим катталиги камаяди. Бошқача айтганда, ***тўйинган магнитавий системали машинада якорь реакцияси машинани магнитсизлантиради.*** Натижада машинанинг иш хоссалари ёмонлашади: генераторларнинг э. ю. к. и камаяди, двигателларда айлантирувчи момент кичраяди.



3.7- расм. Якорь чулгамининг м. к. ини ташкил этувчиларга ажратиш.

Чўткалар геометрик нейтралдан силжиганда якорь реакциясининг магнитсизлаш таъсири кучаяди. Бунга сабаб шуки, чўткалар билан биргаликда якорь магнитловчи кучининг вектори ҳам силжийди (3.7- расм). Бунда якорнинг магнитловчи кучи F_a кўндаланг ташкил этувчи $F_{aq} = F_a \cos\beta$ кучдангина иборат бўлиб қолмасдан, балки унга қутблар ўқи бўйлаб йўналган бўйлама ташкил этувчи $F_{ad} = F_a \cdot \sin\beta$ куч ҳам қўшилади. Агар машина генератор режимида ишласа, чўткалар якорнинг айланиш йўналишида силжиганида якорь м. к. ининг бўйлама ташкил этувчиси F_{ad} қўзғатувчи м. к. F_0 га қарши йўналишда таъсир этади, бу эса машина асосий магнитавий оқимининг сусайишига олиб келади. Чўткалар якорнинг айланишига тескари йўналишда силжиганида якорь м. к. ининг бўйлама ташкил этувчиси F_{ad} F_0 га мос йўналишда таъсир этади, натижада машинанинг асосий магнитавий оқими бирмунча кўпаяди.

Агар машина двигатель режимида ишласа, чўткалар якорнинг айланиш йўналишида силжиганида якорь м. к. ининг бўйлама ташкил этувчиси F_{ad} м. к. F_0 га мос равишда таъсир этади, чўткалар якорнинг айланишига тескари йўналишда

силжиганида F_{ad} м. к, F_0 га қарши йўналишда таъсир этади ва машинани магнитсизлантиради.

Яна шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, чўткалар геометрик нейтралдан силжиганида якорь реакциясининг бузиш таъсири сусаяди. Гап шундаки, чўткаларнинг геометрик нейтралдаги ҳолатида якорь м. к. и F_a нинг ҳаммаси кўндаланг ($F_{aq} = F_a$) бўлади, чўткалар геометрик нейтралга нисбатан β бурчакка силжиганда эса якорь м. к. инииг кўндаланг ташкил этувчиси камаяди ($F_{aq} = F_a \cdot \cos\beta$).

3.4 §. Якорь реакциясининг зарарли таъсирини йўқотиш

Чўткалар контактининг ишига якорь реакциясининг таъсири машиналарда қўшимча қутблар ишлатиш (4.3- § га қаранг) йўли билан йўқотилади; бу қутблар асосий қутблар орасига ўрнатилади ва магнитловчи куч ҳосил қилиб, якорь м. к. и кўндаланг ташкил этувчисининг геометрик нейтралдаги таъсирини (коммутация зонасида) йўқотади. Ҳаво зазорида индукциянинг нотекис тақсимланишининг олдини оладиган энг таъсирчан восита ўзгармас ток машиналарида *компенсацион чулғам* ишлатишдир.

3.8- расм. Компенсацион чулғамли ўзгармас ток машинасининг станинаси.

Компенсацион чулғам қутб учликларининг пазларига жойлаштирилади (3.8- расм) ва якорь чулғами билан кетма-кет қилиб шундай уланадики, бунда унинг м. к. и $F_к$ якорь чулғамининг м. к. и F_a га қарама-қарши томонга йўналган бўлади.

Компенсацион чулғам барча асосий қутблар-қутб учлигининг юзаси бўйлаб тарқалган қилиб ясалади.

Компенсацион чулғамни якорь чулғами билан кетма-кет улаш машинанинг исталган нагрузкасида якорнинг магнитловчи кучини автоматик равишда компенсациялашни таъминлайди.

Компенсацион чулғамли ўзгармас ток машинаси ишлаш вақтида ишончлироқ бўлади.

Компенсацион чулғам бўлганида машина салт ишлаш режимидан нагрузкага ўтганида унинг магнитавий майдони амалда ўзгармасдан қолади.

Лекин компенсацион чулғам машинани қимматлаштиради ва унинг конструкциясини мураккаблаштиради. Шунинг учун

компенсацион чулғам нагрузкаси кескин ўзгариб турадиган катта қувватли (150 *квт* дан бошлаб) машиналардагина, масалан прокат станларининг электр двигателларида ишлатилади.

Якорь реакциясининг машината магнитсизловчи таъсири қўзғатиш чулғами магнитловчи кучининг кўпайиши билан компенсацияланади. Тажрибанинг кўрсатишича, якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсирини компенсациялаш учун салт ишлаш режимида қўзғатиш магнитловчи кучи F_0 ни (3.1-§ га қаранг) 15—30% ошириш лозим. Бунинг учун қутб ғалтакларидаги ўрамлар сони (3.6) га кўра ҳисобланган қийматидан бир оз оширилади:

$$w_{\text{қ}}' = w_{\text{қ}}\,(1{,}15 - 1{,}3).$$

IV боб

ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАЛАРИДА КОММУТАЦИЯ

4.1-§. Коллекторда учқун чиқиш сабаблари

Ўзгармас ток машинаси ишлаганида чўткалар билан коллектор сирпанувчи контакт ҳосил қилади. Чўткалар контактининг юзаси машина иш токининг битта чўткага тўғри келадиган катталигига ва танланган чўткалар маркаси учун ток зичлигининг йўл қўйиладиган қийматига кўра танланади.

Агар чўтка бирор сабабга кўра коллекторга бутун юзаси билан эмас, балки унинг бир қисми билан тегиб турадиган бўлса, шу жойларда токнинг зичлиги ниҳоятда ортиб кетади ва бу коллекторда учқун чиқишига олиб келади. Ток зичлигининг ҳаддан ташқари ортиб кетишига чўткада токнинг кўпайиши ҳам сабаб бўлиши мумкин.

Коллекторда учқун чиқишига олиб келадиган сабаблар механикавий, потенциал ва коммутацион сабабларга бўлинади.

Механикавий сабаблар жумласига қуйидагилар киради: чўткаларнинг коллекторга босимининг бўшлиги, коллекторнинг нотўғри конфигурацияси ёки сиртининг силлиқмаслиги, коллектор сиртининг кирланиши, изоляциянинг коллектор пластинкалари устидан чиқиб туриши, траверза, бармоқлар ёки чўткатутқичларнинг маҳкам ўрнатилмаганлиги, шунингдек, машинани ишлатиш жараёнида вужудга келган бошқа нуқсонлар шулар жумласидандир. Шу нуқсонлар бўлганда баъзан чўткалар билан коллектор орасидаги контакт бузилади ва коллектордан учқун чиқа бошлайди.

Қўшни коллектор пластинкалари орасидаги кучланиш йўл қуйиладиган чегарадан ортиб кетганда коллекторда учқун чиқишининг *потенциал* сабаблари вужудга келади (2.15-§). Бунда учқун чиқиши, айниқса хавфли, чунки у коллекторда электр ёйига айланиб кетиши мумкин.

Учқун чиқишининг *коммутацион* сабаблари машинада якорь чулғами секцияларининг битта параллел шохобчадан бошқасига ўтишидаги физикавий процесслар туфайли вужудга келади.

Баъзан бир вақтнинг ўзида бир неча сабаблар комплекси таъсирида ҳам коллекторда учқун чиқади.

Учқун чиқиш сабабларини аниқлашни механикавий сабаблардан бошлаш керак, чунки улар, одатда, коллекторни ва

4.1- жадвал

Учқун чиқиш даражаси (коммутация класси)	Учқун чиқиш даражасининг характеристикаси	Коллектор ва чўткаларнинг ҳолати
1	Учқун чиқмайди (учқунсиз, яъни сокин коммутация)	Коллектор қораймаган ва чўткаларни қурум босмаган
$1\frac{1}{4}$	Чўтканинг кичикроқ қисми тагида нуқтавий учқунланиш пайдо бўлади	
$1\frac{1}{2}$	Чўткаларнинг катта қисми тагида кучсиз учқун чиқади	Коллекторда қорайиш аломатлари пайдо бўлади, бу коллектор сиртини бензин билан артганда осон йўқолади, чўткаларда ҳам қурум ҳосил бўлади
2	Чўткаларнинг бутун чети тагидан учқун чиқади. Бунга нагрузканинг ўқтин-ўқтин ўзгарганда ва унинг ҳаддан ташқари ортиб кетиши қисқа муддатли бўлган ҳоллардагина йўл қўйилади	Коллекторда қорайиш аломатлари пайдо бўлади ва у коллектор сиртини бензин билан артганда йўқолмайди, чўткаларда ҳам қурум ҳосил бўлади
3	Чўткалар четкаларининг тагида учқунланиш вужудга келиб, учқунлар отилиб чиқади. Машиналар бевосита (реостат босқичларсиз) уланганда ёки реверсирланганда, шунда ҳам коллектор ва чўткалар яна ишлатиш учун яроқли ҳолатда бўлса, йўл қўйилади	Коллекторда қорайган жойлар кўпаяди ва бу коллектор сиртини бензин билан артганда йўқолмайди, чўткалар ҳам куяди ва бузилади

Эслатма: Машина номинал режимда ишлаганида учқунланиш даражаси $1\frac{1}{2}$ дан ортиб кетмаслиги лозим.

чўткалар аппаратини ташқи кузатиш натижасида топилади. Аниқлаш ва йўқотиш энг қийин бўлгани учқун чиқишининг коммутацион сабабларидир. Чўткалар контактининг ишлашига коллектор сиртининг ҳолати ҳам катта таъсир кўрсатади. Машина узоқ вақт ишлаганида коллектор миси иссиққа чидамли жуда қаттиқ юпқа оксид парда билан қопланиб қолади. Баъзан бу парда тўқ жигар ранг тусга кириб қолади („коллектор политураси"). Коллектор сиртининг бундай ҳолати чўткалар контактининг учқун чиқармай ишлашига имкон беради.

Заводдан тайёр машина чиқаришда унинг чўткаси коллектордан мутлақо учқун чиқмайдиган қилиб созланади. Лекин машинани ишлатиш жараёнида коллектор ва чўткаларнинг едирила бориши билан қисман машина учун хавфли бўлмаган учқун чиқадиган бўлиб қолиши мумкин.

Аммо баъзи ҳолларда машина учун хавфли даражада кўпроқ учқун чиқиши мумкин, бунда машинани тўхтатиш ва учқун чиқиш сабабларини аниқлаш ҳамда бартараф этиш лозим. Учқун чиқишининг хавфли-хавфсизлиги даражаларга бўлиш йўли билан аниқланади. Учқун чиқишининг бешта даражаси белгиланган.

Учқунланиш ҳар қайси даражасининг характеристикаси ГОСТ 183-66 да белгилаб берилган (4.1- жадвал).

Кўпроқ учқун чиқса чўткалар куяди ва коллектор қораяди, бу эса учқун чиқишининг янада кучайишига ёрдам беради. Бундан ташқари, учқун чиқиши радиоэшиттиришларни қабул қилишга халақит беради, ўзгармас ток машиналарини радиоқурилмалар яқинида ишлатишда буни эътиборга олиш лозим.

4.2- §. Коммутациянинг физикавий моҳияти ва унинг машина ишига таъсири

Ўзгармас ток машинасининг якори айланганида коллектор пластинкалари чўткаларга навбатма-навбат тегиб ўтади. Бунда чутка бир пластинкадан иккинчи пластинкага ўтганида чулғам секцияси битта параллел шохобчадан узилиб, иккинчисига уланади ва шу секцияда ток ўзгаради. *Секциялар битта параллел шохобчадан узилиб (ажратилиб) иккинчисига уланганда уларда токнинг ўзгариш процесси коммутация* дейилади. Коммутация содир бўладиган секция *коммутацияловчи секция*, коммутация процесси содир бўлишига кетган вақт эса *коммутация даври* $T_к$ дейилади. Коммутация даврининг катталиги коллектор пластинкаси чўткага теккан пайт билан пластинка шу чўткадан батамом ажралган пайтгача ўтган вақт оралиғи билан ўлчанади:

$$T_к = \frac{60}{Kn} \cdot \frac{b_ч}{b_к}, \tag{4.1}$$

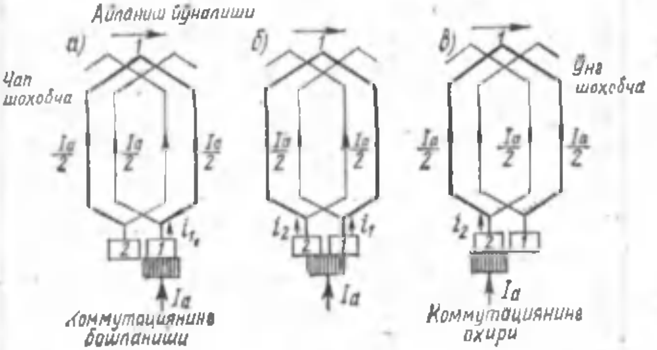
бунда K — коллектор пластинкалари сони;

n — якорнинг айланиш тезлиги;

$b_ч$ — чўтканинг кенглиги;

$b_к$ — коллекторнинг қўшни пластинкалари ўрталари орасидаги масофа (коллектор бўлинмаси).

Коммутация процессини кўриб чиқамиз, бунда чўткалар геометрик нейтралда жойлашган ва коммутацияловчи секцияда бутун коммутация даври давомида электр юритувчи кучлар индукцияланмайди, деб фараз қиламиз. Бундан ташқари, чўтканинг кенглигини коллектор бўлинмасига тенг ($b_ч = b_к$) деб қабул қиламиз. Коммутациянинг бошланиш пайтида (4.1-расм, *а*)



4.1-расм. Коммутацияловчи секцияда ток йўналишининг ўзгариши.

чўтканинг контакт юзаси фақат пластинка *1* га тегади, секция *1* (коммутацияловчи секция) эса чулғамнинг чап томондаги параллел шохобчасига тегишли ва унда ток $i = \frac{I_a}{2}$ бўлади. Сўнгра пластинка *1* аста-секин чўткадан чиқиб кетади ва унинг ўрнига пластинка *2* келади. Натижада коммутацияловчи секция чўтка билан уланиб қолади ва унда ток аста-секин камая боради. Бунга сабаб шуки, *1* ва *2* пластинкалардаги токлар i_1 ҳамда i_2 ўтувчи қаршиликлар $r_{ч_1}$ (чўтка билан ўтиб кетаётган пластинка *1* орасидаги) ва $r_{ч_2}$ (чўтка билан келаётган пластинка *2* орасидаги) га тескари пропорционал бўлади:

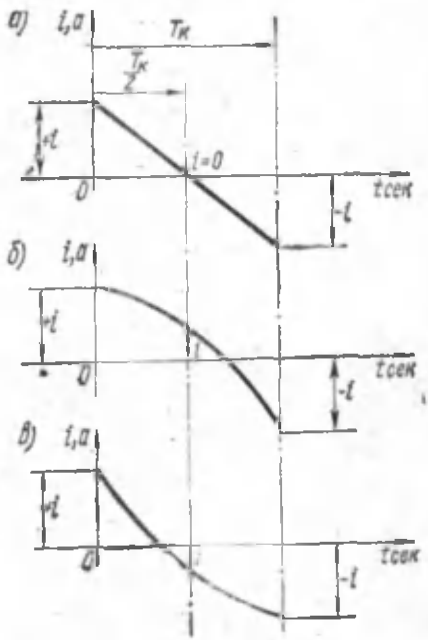
$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{r_{ч_2}}{r_{ч_1}}$$

Коммутацияловчи секциядаги ток i эса i_1 ва i_2 токлар айирмасига тенг.

Пластинка *1* билан чўтка орасида контакт йўқола борган сари $r_{ч_1}$ қаршиликнинг қиймати ортади ва шу сабабли ток i_1 камаяди. Бир вақтнинг ўзида чўтка пластинка *2* га ўтади,

бунда қаршилик $r_{ч_2}$ камаяди ва ток i_2 ортади. Чўтканинг контакт юзаси иккала коллектор пластинкаларини бир меъёрда қоплаган пайтда $r_{ч_1} = r_{ч_2}$ (4.1-расм, *б*), коммутацияловчи секциядаги ток эса нолга тенг бўлади, чунки $i_1 = i_2$ ёки $i_1 - i_2 = 0$. Коммутация процессининг охирида чўтка батамом пластинка 2 га ўтади (4.1-расм, *в*), коммутацияловчи секциядаги ток i нинг қиймати эса яна $\frac{I_a}{2}$ га етади. Лекин бу ток йўналиши жиҳатидан коммутация бошланишидаги токка қарама-қарши бўлади, коммутацияловчи секциянинг ўзи эса якорь чулғамининг ўнг томондаги параллел шохобчасида бўлиб қолади.

Шундай қилиб, коммутация даврида коммутацияловчи секциядаги ток $+i$ дан $-i$ гача ўзгаради, токнинг ўзгариш графиги эса тўғри чизиқдан иборат бўлади (4.2-расм, *а*). Бундай коммутация *тўғри чизиқли* ёки *идеал* коммутация дейилади.



4.2-расм. Коммутацияловчи секцияда токнинг ўзгариш графиклари

Тўғри чизиқли коммутация коммутациянинг энг мақбул туридир, чунки у машинада ҳеч қандай зарарли оқибатларга олиб келмайди. Чутка тагида ток зичлиги бутун коммутация даври давомида ўзгармайди. Бунга сабаб шуки, тўғри чизиқли коммутацияда „чўтка—коллектор пластинкаси" контактида ток катталиги шу контакт юзасининг ўзгаришига пропорционал равишда ўзгаради.

Лекин ўзгармас ток машинасининг реал иш шароитларида коммутация процесси анча мураккаб бўлади. Гап шундаки, коммутация даври, одатда, жуда қисқа бўлиб, $10^{-4} - 10^{-5}$ секундни ташкил этади. Коммутацияловчи секцияда токнинг бундай тез ўзгариши натижисида анча катта қийматли *ўзиндукция э. ю. к. и* вужудга келади:

$$e_L = -L_s \frac{di}{dt}, \tag{4.2}$$

бунда L_s — секциянинг индуктивлиги;

i — коммутацияловчи секциядаги ток.

Одатда, якорнинг ҳар қайси пазида турли секцияларга тегишли бир неча (камида иккита) актив томонлар бўлади. Бунда шу секцияларнинг ҳаммаси турли чўткалар билан уланган бўлиб, бир вақтнинг ўзида коммутация ҳолатида бўлади (4.3- расм). Бунда шуни ҳисобга олиш керакки, одатда, чўтка кенглиги коллектор бўлинмасидан катта бўлади ($b_ч > b_к$) ва ҳар бир чутка бир вақтнинг ўзида бир неча секцияни улайди (ёпиқ занжир ҳосил қилади).

Коммутацияловчи секциянинг актив томонлари битта пазларда жойлашганлиги учун шу томонлардан ҳар бирининг ўзгарувчан магнитавий оқими бошқасида *ўзароиндукция э. ю. к.* ҳосил қилади:

$$e_M = -M_s \frac{di}{dt}, \qquad (4.3)$$

бунда M_s — бир вақтда коммутацияловчи секцияларнинг ўзаро индуктивлиги.

Иккала э. ю. к. коммутацияловчи секцияда якуний (асосий) э. ю. к. ҳосил қилади

$$e_{якун.} = e_L + e_M.$$

Бу э. ю. к. коммутацияловчи секцияда токнинг ўзгаришига тўсқинлик қилади ва шу сабабли *реактив* э. ю. к. дейилади. Бундан ташқари, якорь реакцияси таъсири остида коммутация зонасида (геометрик нейтралда) магнитавий индукция бирор $B_к$ қийматга етади ва бу индукция таъсирида коммутацияловчи секцияда *ташқи майдон* э. ю. к. и ҳосил бўлади:

$$e_к = B_к 2lw_s v \qquad (4.4)$$

бунда l — секция актив томонларининг узунлиги;
v — секция ҳаракатининг чизиғий тезлиги;
w_s — секциядаги ўрамлар сони.

Шундай қилиб, коммутацияловчи секцияда қуйидаги э. ю. к. ҳосил бўлади:

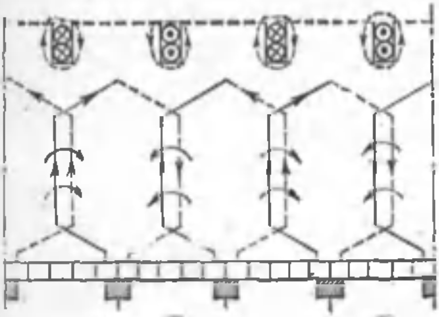
$$\sum e = e_{якун} + e_к.$$

Агар машинада қўшимча қутблар бўлмаса, $e_{якун}$ ва $e_к$ э. ю. к. лар бир-бирига мос равишда йўналади ҳамда коммутацияловчи секцияда *қўшимча коммутация токи* $i_к$ ҳосил қилади; бу токнинг йўналиши шу секциянинг коммутациянинг бошланғич давридаги иш токи i нинг йўналиши билан бир хил бўлади (4.1- расм, *а*). $i_к$ ва i токларнинг бундай ўзаро таъсири коммутацияловчи секцияда ток ўзгаришининг кечикишига олиб келади.

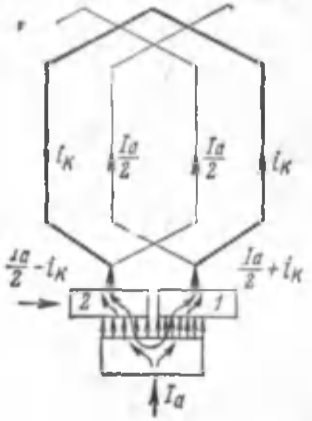
Коммутацияловчи токнинг секинлатувчи таъсирига сабаб шуки, бу токни, асосан, реактив э. ю. к. ҳосил қилади, реактив э. ю. к. эса, маълумки, электр занжирида токнинг ўзгаришига тўсқинлик қилади. Шунинг учун чўтка *1* ва *2* пластин-

каларни бир текис қоплаган пайтда коммутацияловчи секцияда ток, идеал коммутациядагидан фарқ қилиб, ноль қийматга эришмайди. Коммутацияловчи секциядаги токнинг қиймати коммутациянинг иккинчи ярим давридагина нолга тушади, яъни коммутация эгри чизиқли *секинлашган* бўлиб қолади.

Бундай коммутациянинг графиги 4.2-расм, *б* да кўрсатилган.



4.3-расм. *Ўзароиндукция э. ю. к. и ҳақидаги тушунчага доир.*



4.4-расм. *Секинлаштирилган коммутацияда чўткалар контактида ток зичлигининг тақсимланиши.*

Коммутациянинг қўшимча токи $i_к$ коммутацияловчи секцияда ёпилиб (туташиб), чўткалар контакти орқали ўтади (4.4-расм). Бунинг натижасида чўтканинг келаётган чеккаси остида ток зичлиги камаяди, чиқиб кетаётган чеккаси остида эса ортади ва коммутация даврининг охирига борганда анча катта қийматга етади.

Машинанинг нагрузкаси кўп бўлганда чўтканинг чиқиб кетаётган чеккаси тагида ток зичлиги йўл қўйиб бўлмайдиган даражада ортиб кетиши, чўткалар ўта қизиб кетиши ва учқун чиқишига сабаб бўлиши мумкин.

Лекин тажриба коллекторда кичикроқ нагрузкаларда ҳам учқун чиқиши мумкинлигини кўрсатади. Бу шундан далолат берадики, коллекторда учқун чиқишининг асосий сабаби чўтка тагида ток зичлигининг ортиб кетиши эмас, балки коллекторнинг чиқиб кетаётган пластинкаси чўтка тагидан чиқишида чўтканинг қисқа туташган коммутацияловчи секция занжирини узишидир. Қўшимча коммутация токи $i_к$ бор коммутацияловчи секция узилганда унда тўпланган магнитавий майдон энергияси

$$W_M = \frac{1}{2} L_s i_к^2$$

чўтканинг чиқиб кетаётган чеккаси билан чиқиб кетаётган коллектор пластинкаси орасида электр ёйи ҳосил бўлишига сарфланади.

Нагрузка ортиши билан секциялардаги ток катталиги ортади ва якорь реакцияси кучаяди. Бу эса (4.2), (4.3) ва (4.4) дан кўриниб турибдики, $\sum e = e_{якун} + e_к$ нинг ортишига, ток $i_к$ нинг кўпайишига ва, бинобарин, учқунланишнинг кучайишига олиб келади.

4.3-§. Коммутацияни яхшилаш усуллари

Шундай қилиб, ўзгармас ток машиналарида қониқарсиз коммутациянинг асосий сабаби коммутациянинг қўшимча токидир:

$$i_к = \frac{\sum e}{\sum r_к}.$$

Бунда $\sum r_к$ — қўшимча коммутация токига бўлган электр қаршиликлар йиғиндиси; бундай қаршиликлар жумласига секциянинг қаршилиги, тожлардаги кавшарланган жойларнинг қаршилиги, коллектор пластинкалари билан чутка орасидаги ўтиш контактининг қаршилиги ва, ниҳоят, чўтканинг қаршилиги киради. Лекин чўтканинг қаршилиги билан ўтиш контактининг қаршилиги ($r_ч$) энг катта бўлади. Шунинг учун тақрибан қуйидагича ёзиш мумкин:

$$i_к = \frac{\sum e}{r_ч}.$$

Бу формуладан кўриниб турибдики, ток $i_к$ ни камайтириш ва, бинобарин, коммутацияни яхшилаш учун қаршилик $r_ч$ ни ошириш ёки коммутацияловчи секцияда йиғинди э. ю. к. $\sum e$ катталигини камайтириш лозим. Қаршилик $r_ч$ нинг қиймати машинада ишлатиладиган чўткаларга оид техникавий маълумотларга боғлиқ (4.2- жадвал).

Қониқарли коммутация олиш нуқтаи назаридан қараганда қаттиқ чўткалар (кўмир-графитли, графитли ва электр воситасида графитланган) ишлатиш мақсадга мувофиқроқ, чунки шунда ўтиш қаршилиги энг катта бўлади.

Лекин қаттиқ чўткаларда рухсат этиладиган ток зичлиги камроқ бўладиг, шу сабабли ўзгармас ток машиналарида бундай чўткаларни ишлатишда чўткалар контактининг юзасини ошириш зарурати туғилади, бу эса коллекторнинг узунлигини ошириш ҳисобига унинг юзасини катталаштиришни талаб этади. Шундай қилинса, машинанинг габарити катталашган ва қўшимча равишда мис сарфланган бўлур эди. Шунинг учун катта қаршиликли чўткалар фақат нисбатан юқори кучланишли ва, бинобарин, камроқ токли машиналардагина ишлатилади.

4.2-жадвал

Чўткаларнинг техникавий характеристикалари

Чўткалар группаси	Маркаси	Токнинг номинал зичлиги, $a/см^2$	Максимал айлана тезлиги, $м/сек$	Солиштирма сиқилиши, $г/см^2$	Солиштирма электр қаршилиги, $ом \cdot мм^2/м$	Шор бўйича қаттиқлиги	Номинал токда ва $V_к = 15$ $м/сек$ бўлганда чўткалар жуфтида ўтиш кучланишининг тушиши, $в$	$V_к = 15$ $м/сек$ бўлгандаги ишқаланиш коэффициенти	$V_к = 15$ $м/сек$ бўлганда 50 соат ишлагандаги ейилиши, кўпи билан, $мм^3$
Кўмир-графитли	Т2, Т6	6	10	200—250	40—60	45—58	$2 \pm 0,5$	0,30	0,1
	УГ2	8	15	200—250	18—30	40—60	$2 \pm 0,4$	0,25	0,3
	УГ4	7	12	200—250	26—38	45—65	$2,1 \pm 0,5$	0,25	0,3
Графитли	Г1	7	12	200—250	30—46	35—50	$2,2 \pm 0,5$	0,3	0,2
	Г2	8	15	200—250	25—37	40—50	$1,7 \pm 0,5$	0,25	0,15
	Г3	10—11	25	200—250	10—20	30—40	$1,9 \pm 0,4$	0,25	0,20
	Г6	9	18	200—250	26—42	35—50	$2,2 \pm 0,6$	0,25	0,20
	Г8	11	25	200—300	10—20	20—40	$1,9 \pm 0,4$	0,25	0,15
	Г58	9	25	175—200	20—30	35—50	—	0,25	—

Давоми

Чўткалар группаси	Маркаси	Токнинг номинал зичлиги, $a/см^2$	Максимал айлана тезлиги, *м/сек*	Солиштирма сиқилиши, $г/см^2$	Солиштирма электр қаршилиги, $ом \cdot мм^2/м$	Шор бўйича қаттиқлиги	Номинал токда ва $V_к = 15$ *м/сек* бўлганда чўткалар жуфтида ўтиш кучланишининг тушиши, *в*	$V_к = 15$ *м/сек* бўлгандаги ишқаланиш коэффициенти	$V_к = 15$ *м/сек* бўлганда 50 соат ишлагандаги ейилиши, кўпи билан, *мм*
Электро-графитланган	ЭГ2	10	25	200—250	20—30	46—60	2,75 ± 0,6	0,2	0,1
	ЭГ4	12	40	150—200	10—16	20—30	2 ± 0,4	0,2	0,25
	ЭГ6	9	—	200—250	30—46	47—63	2,5 ± 0,6	0,25	0,15
	ЭГ8	10	40	200—400	40—50	42—55	2,4 ± 0,5	0,25	0,15
	ЭГ10	9	—	200—250	40—56	50—70	2,4 ± 0,6	0,25	0,15
	ЭГ14	10—11	40	200—400	26—38	40—60	2,5 ± 0,5	0,25	0,5
	ЭГ83	9	45	175—220	36—65	15—32	—	0,25	—
Мис-графитли	М1	15	25	150—200	2—6	26—38	1,5 ± 0,5	0,25	0,18
	М3	12	20	150—200	7—12	30—40	1,8 ± 0,4	0,25	0,15
	М6	15	25	150—200	2—6	26—35	1,5 ± 0,5	0,20	0,15
	М16	12—14	25	150—200	0,5 ÷ 1,5	20—30	0,9 ± 0,3	0,25	0,20
	М20	12	20	150—200	5—13	24—36	1,4 ± 0,4	0,26	0,20
	М22	11—14	25	150—200	1—4	20—30	1,2 ± 0,3	0,20	0,20
	М24	20	15	175—200	0,1—0,3	—	0,5 ± 0,2	0,25	0,70
	МГ	20	20	180—230	0,05—0,15	—	0,2 ± 0,1	0,20	0,80
	МГ2	20	20	200—250	0,15—0,35	—	0,5 ± 0,2	0,20	0,40
	МГ3	15	20	200—250	0,3—1,3	22—32	1,1 ± 0,5	0,20	0,30
	МГ4	18	20	200—250	0,3—1,3	18—30	1 ± 0,4	0,20	0,50
Бронза-графитли	БГ	20	20	170—220	0,5—0,9	—	0,3 ± 0,1	0,25	0,25

Одатда, умумий мақсадларда ишлатиладиган ўзгармас ток машиналарида графитли чўткалардан, коммутация шароити оғир бўлган машиналарда — кўмир-графитли ёки электр ёрдамида графитланган чўткалардан, пасайтирилган кучланишли (30 *в* гача) машиналарда эса мис-графитли ёки бронза-графитли чўткалардан фойдаланилади.

Коммутацияловчи секцияда умумий э. ю. к. миқдори $\sum e$ ни бир неча усуллар билан камайтириш мумкин.

$\sum e = e_l + e_M + e_к = e_{якун.} + e_к$ эканлигини эслатиб ўтамиз.

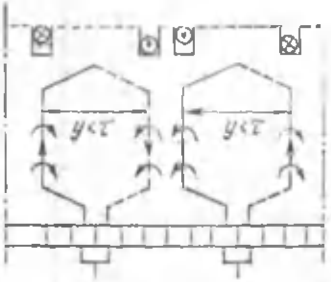
Коммутация учун чўтка кенглигининг муҳим аҳамияти бор. Чўтка қанчалик кенг бўлса, у бир вақтнинг ўзида шунчалик кўп коллектор пластинкаларини ёпади, бунинг натижасида ўзаро индукция э. ю. к. и e_M кўпаяди. Лекин механикавий мустаҳкамлиги жиҳатидан олганда ниҳоятда ингичка чўткалар ишлатиш ҳам номақбулдир; бундан ташқари, зарурий контакт юзасини ҳосил қилиш учун ингичка чўткаларнинг узунлигини оширишга тўғри келади, бу эса коллекторнинг узунлигини ошириш заруриятини туғдиради. Эни икки-уч коллектор бўлмасига тенг чўткалар ишлатиш мақсадга мувофиқдир.

Реактив э. ю. к. қийматига якорь чулғамининг типи сезиларли таъсир кўрсатади. Масалан, агар якорь чулғами қисқартирилган одимли ($y_1 < \tau$) қилинса, бир вақтда коммутацияловчи секцияларнинг актив томонлари турли пазларда бўлиб қолади (4.5- расм), бу эса ўзароиндукция э. ю. к. и нинг камайишига ёрдам беради. Шундай қилиб, якорда қисқартирилган одимли ва поғонали чулғамлар ишлатилса, (2.29- расмга қаранг) коммутация яхшиланади.

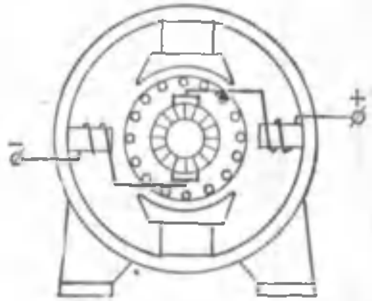
Секцияларнинг индуктивлиги L_s ни камайтириш йўли билан ҳам реактив э. ю. к. ни сусайтириш мумкин. Бунга секциядаги ўрамлар сонини ($L_s \equiv w_s^2$) камайтириш, шунингдек, якорь пазларини очиқ ва юзароқ қилиб ясаш йўли билан эришиш мумкин. Аммо бу тадбирларнинг барчаси амалга оширилса, машиналар қўпол ва тежамсиз бўлар эди. Шунинг учун электр машиналарини лойиҳалашда юқорида кўрсатилган параметрлар реактив э. ю к. ни камайтириш билан бирга ихчам ва тежамли машиналар яратиш нуқтаи назаридан ҳам қараб танланади. Коммутацияловчи секцияларда реактив э. ю. к. катталиги масаласига келсак, уни бошқа йўл билан анча камайтириш ёки ҳатто батамом йўқотиш мумкин; бунинг учун коммутация зонасида шундай қийматли ва ишорали магнитавий майдон яратиш керакки, коммутацияловчи секцияларда реактив э. ю. к. $e_р$ га катталиги жиҳатидан тенг ва қарама-қарши йўналган ташқи майдон э. ю. к. и $e_к$ ҳосил бўлсин. Бу ҳолда коммутацияловчи секцияда йиғинди э. ю. к. $\sum e$ нолга тенг бўлади ва коммутация тўғри чизиқли (идеал) бўлиб қолади. Коммутация зонасида зарурий магнитавий индукция ҳосил қилиш учун қуввати 1 *квт* дан ортиқ бўлган машиналарда қўшимча

қутблар ишлатилади ва улар асосий қутблар орасига жойлаштирилади (4.6- расм).

Одатда қўшимча қутбларнинг м. к. и $F_к=(1,15-1,30)\ F_a$, яъни якорнинг м. к. и F_a дан 15—30% ортиқ бўлади. Агар қўшимча қутблар магнитловчи кучининг қиймати кўрсатилгандан

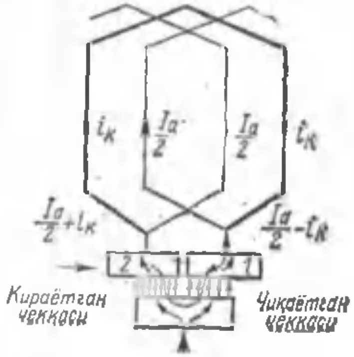


4.5- расм. Чулғам одими қисқаришининг реактив э. ю. к. қийматига таъсири.



4.6- расм. Қўшимча қутблар чулғамининг уланиш схемаси.

катта қилинса, $e_к$ e_p дан кўпайиб кетади ва коммутацияловчи секцияда коммутациянинг бошланғич даврида секциянинг иш токи $i=\frac{I_a}{2}$ га қарама-қарши йўналган коммутация токи $i_к$ пайдо бўлади (4.1 расм, *а*). Бу ҳолда коммутация эгри чизиқли тезлашган бўлиб қолади, чунки коммутацияловчи секцияда ток $T_к/2$ дан кам вақт ичида ноль қийматга тушади (4. 2- расм, *в* га қаранг). Бунда чўтка остида ток зичлиги нотекис тақсимланади: келаётган чеккаси остида ортади ва чиқиб кетаётган чеккаси остида камаяди (4.7-расм). Анча тезлашган коммутацияда чўткаларнинг келаётган чеккаси остида учқун чиқиши мумкин.

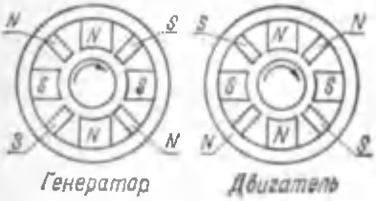


4.7 расм, Тезлаштирилган коммутацияда чўткалар контактида ток зичлигининг тақсимланиши.

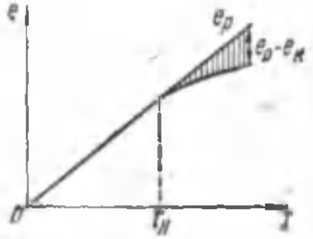
Машинанинг турли нагрузкаларида реактив э. ю. к. ни компенсациялаш учун қўшимча қутблар чулғами якорь чулғами билан кетма-кет уланади (4.6- расм). Бу ҳолда магнитловчи куч $F_к$ машинанинг нагрузкаси ўзгариши билан якорь токи I_a га ва бинобарин, якорнинг магнитловчи кучи F_a га пропорционал равишда ўзгаради.

Генераторда қўшимча қутбнинг қутбийлиги асосий қутбнинг айланиш йўналиши бўйича кейинги қутбнинг, двигателда эса олдинги қутбнинг қутбийлиги каби бўлади (4.8- расм).

Қўшимча қутблар машинада фақат номинал нагрузка $I_н$ чегарасидагина қониқарли коммутация бўлишини таъминлайди.

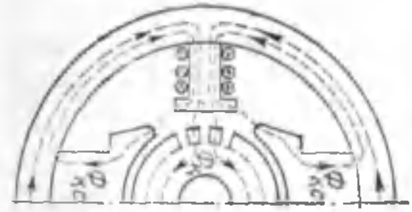


4.8- расм. Машина генератор режимида ва двигатель режимида ишлаганида қўшимча қутбларнинг қутбийлиги.

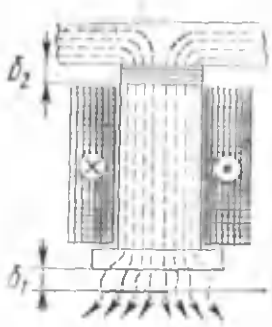


4.9- расм. Коммутацияловчи секцияда э. ю. к нинг нагрузка токига боғлиқ ҳолда ўзгариш графиги.

Машина ортиқча нагрузка билан ишлаган ҳолларда қўшимча қутбларнинг магнитавий занжири тўйинади. Бунда реактив э.ю.к. e_p нагрузка токига пропорционал равишда ўзгара боради, ташқи майдон э. ю. к.нинг ортиши эса магнитавий занжир тўйинганлиги туфайли бир оз секинлашади (4.9- расм.)



4.10- расм. Қўшимча қутбларнинг сочилиш оқими ҳақидаги тушунчага доир.



4.11- расм. Қўшимча қутб зазорининг икки қисмга бўлиниши.

унинг натижасида коммутацияловчи секцияларда э. ю к. $e = e_{якун} - e_к$ пайдо бўлади, яъни коммутация секинлашиб қоди Қўшимча қутблар ўзакларининг тўйинишига қўшни асосий тбларнинг ўзаклари ва станина орқали туташадиган сочилиш гнитавий оқими $Ф_{қ.с.}$ ёрдам беради (4.10- расм). Сочилиш гнитавий оқимини камайтириш ва, бинобарин, қўшимча қутб-

лар оқимининг нагрузка токига боғлиқлиги чизиғий бўлишини таъминлаш учун ҳаво зазори иккига ажратилади: бири — қутб ўзаги билан якорь орасида δ_1, иккинчиси эса қутб ўзаги билан станина орасида δ_2 бўлади (4.11- расм). Бу ҳолда қўшимча қутб билан станина орсидаги зазор δ_2 сочилиш оқими $\Phi_{қ.с.}$ ни чеклаб қўяди.

Зазор δ_2 станина билан қўшимча қутб орасига қўйиладиган, номагнитавий материалдан тайёрланган қистирмалар пакети воситасида ҳосил қилинади.

Одатда, машинада асосий қутблар сони қанча бўлса шунча қўшимча қутб ўрнатилади. Махсус мақсадларда ишлатиладиган баъзи машиналаргина бундан мустасно, уларда конструктив нуқтаи назардан қўшимча қутблар сони икки марта кам қилинади.

4.12- расм. Чўткаларнинг геометрик нейтралдан силжиши.

Қуввати 1*квт* гача бўлган электр машиналарида қўшимча қутблар бўлмайди.

Бундай машиналарда коммутация зонасида реактив э. ю. к. ни компенсацияловчи ташқи майдон э. ю. к. и $e_к$ ни ҳосил қилиш учун зарур бўлган магнитавий индукция чўткаларни геометрик нейтрал *nn'* дан генераторларда якорнинг айланиш йўналиши бўйича, двигателларда эса якорнинг айланишига қарама-қарши йўналишда β бурчакка силжитиш йўли билан вужудга келтирилади. Чўткаларни физикавий нейтрал *mm'* дан шундай силжитиш ($\beta > \alpha$) керакки, бунда коммутация зонасидаги индукция коммутацияловчи секцияларда реактив э. ю. к. ни компенсация қилишга етарли ташқи майдон э. ю. к. и ҳосил қиладиган йўналишга ва қийматга эга бўлсин (4.12-расм). Лекин реактив э. ю. к. ни тўлиқ компенсация қилиш учун машинанинг турли нагрузкаларида чўткаларнинг ҳолатини ҳар гал ўзгартиришга тўғри келар эди, чунки физикавий нейтралнинг ҳолати нагрузкага боғлиқ ҳолда ўзгариб туради. Шунинг учун, одатда, чўткалар муайян (белгиланган) ҳолатда ўрнатилади, бу ҳолатда реактив э. ю. к. нинг тўлиқ компенсация қилиниши машина узоқ вақт ишлагандаги бирор ўртача нагрузкага мувофиқ келади.

Шуни ҳам эслатиб ўтиш керакки, чўткалар геометрик нейтралдан силжитилганда якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири кучаяди (3.7- расмга қаранг).

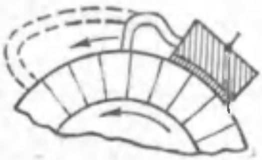
Якорнинг айланиш йўналиши ўзгариб турадиган (реверсив) машиналарда чўткаларни геометрик нейтралдан силжитишга

йўл қўйилмайди, чунки якорнинг айланиш йўналиши ўзгарганда физикавий нейтралнинг силжиш йўналиши ҳам ўзгариб туради. Шунинг учун бундай машиналарда чўткалар геометрик нейтралда ўрнатилади.

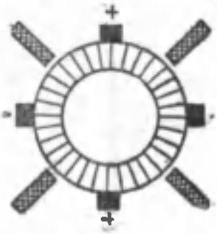
4.4-§. Коллектор сиртида айлана олов

Ўзгармас ток машинаси кўпроқ ортиқча нагрузкада ишлаганда ёки тўсатдан қисқа туташганда коммутация кескин секинлашади. Бунда чўтка тагидан чиқиб кетаётган коллектор пластинкаси билан чўтканинг шу чеккаси орасида электр ёйи ҳосил бўлади. Коллектор айлангани учун бу ёй механикавий равишда чўзила боради (4.13- расм).

Шу билан бирга машинанинг ўга юкланиши якорь реакциясини кучайтиради, бу реакция таъсирида эса машинанинг



4.13 расм. Коллектор айланганида электр ёйининг чўзилиши.



4.14- расм. Чўткалар орасида тўсиқларнинг жойлашуви.

ҳаво зазорида индукция нотекис тақсимланади (3.6- расм, *б* га қаранг). Натижада қўшни коллектор пластинкалари орасидаги кучланиш кўпайиб, йўл қўйиладиган чегарадан ортиб кетади (2. 10-§ га қаранг). Бу, бир томондан, қўшни пластинкалар орасида электр ёйи пайдо бўлишига олиб келиши мумкин; иккинчи томондан, баъзи пластинкаларда юқори потенциалнинг пайдо бўлиши натижасида, коллектор пластинкалари чўткадан чиқиб кетаётганида чўтка билан пластинкалар орасидаги кучланиш кескин кўпайиб кетади. Буларнинг ҳаммаси чўтка билан коллектор пластинкалари орасида электр ёйи ҳосил бўлишига шароит яратади.

Шундай қилиб, анча ортиқча нагрузка билан ишлаётганида ўзгармас ток машинасида коллекторда электр ёйи пайдо бўлиши учун коммутацион ва потенциал сабаблар вужудга келади. Бунда коммутацион сабаблар туфайли пайдо бўлган электр ёйлари потенциал сабаблар туфайли пайдо бўлган электр ёйлар билан қўшилиб, коллектор атрофида кучли ёй ҳосил қилади, бу ёй машина корпусига ҳам тарқалиши мумкин. Ана шу баён қилинган ҳодиса *коллектор сиртида ай-*

лана (доиравий) олов деб аталади. Айлана олов жуда хавфлидир, чунки у машинани оғир аварияга олиб келиши мумкин. Қўшимча қутблар ва компенсацион чулғам гарчи айлана олов ҳосил бўлиш хавфини камайтирса ҳам, уни бутунлай бартараф эта олмайди. Шунинг учун якорь чулғамини айлана олов пайдо бўлганда ёй таъсирида ишдан чиқишидан сақлаш мақсадида тез-тез ортиқча нагрузка билан ишлаб турадиган электр машиналарида коллектор билан чулғам орасига изоляцияловчи экран ўрнатилади. Машиналарда ҳаво пуфлаш қурилмаси ҳам ишлатилади, у ёйни иссиқбардош изоляцион тўсиқ билан ҳимояланган подшипник томонга йўналтиради. Электр ёйининг тарқалишига тўсқинлик қилиш мақсадида ҳар хил қутбли чўткалар орасига изоляцион материалдан тўсиқлар қилинади (4.14- расм). Айлана олов пайдо бўлиши учун энг катта хавф машинанинг электр занжири қисқа туташганда туғилади. Шунинг учун қисқа туташув токининг катталиги хавфли қийматга етишидан олдин, ўз вақтида машинани тармоқдан узиб қўйиш жуда муҳим. Шу мақсадда якорь занжирига тез ишлайдиган автоматик включателлар уланади.

4.5-§. Коммутацияни текшириш ва созлаш

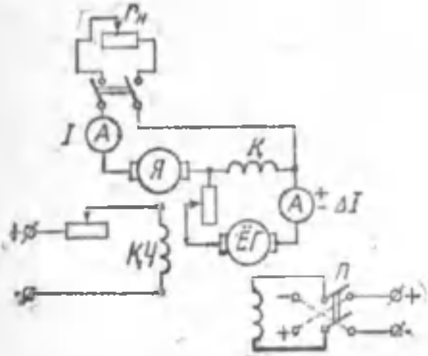
Коммутация билан бирга содир бўладиган процесслар жуда мураккаблиги туфайли талаб қилинадиган магнитловчи кучни ва қўшимча қутблар зазорининг катталигини аниқ ҳисоблаш амалда мумкин бўлмай қолади. Шунинг учун амалда коммутацияни тўғрилашда ҳисоблаш маълумотларига кейинчалик тузатиш киритиш лозим бўлади. Электр машинасозлиги практикасида янгидан ҳисобланадиган ҳар қандай машинада коммутацияни тажриба асосида текшириш ва машинанинг учқунсиз барқарор ишлаши учун қўшимча қутбларни созлаш талаб этилади.

Коммутацияни амалда созлаш усулларидан В. Г. Касьянов ишлаб чиққан „қўшимча ток билан таъминлаш“ усули кенг тарқалган. Бу методнинг моҳияти шундан иборатки, текширилаётган машина қўшимча қутбларининг (Қ) чулғами ёрдамчи ўзгармас ток генератори (ЁГ) дан қўшимча $\pm \Delta I$ ток билан таъминланади (4. 15- расм). Бунда қўшимча қутблар занжирида йиғинди ток $I_a \pm \Delta I$ га тенг бўлиб қолади. Текширилаётган машина дастлаб салт ишлаш режимида ($I_a = 0$) ишлатилади, бунда қўшимча қутблар чулғамида $\pm \Delta I$ ток ҳосил қилинади; бу токнинг катталиги коллекторда учқун чиқа бошлаши учун етарли бўлиши керак, шунда у тезлаштирилган коммутацияга мос келади. Сўнгра переключатель ёрдамида „қўшимча“ токнинг йўналиши $-\Delta I$ га ўзгартирилади ва коммутация секинлашади. Ток $-\Delta I$ нинг қиймати коллектордан учқун чиқишига қадар ошириб борилади. Шундан кейин генераторга нагрузка берилади, яъни қўшимча қутблардан олдин бир йўна-

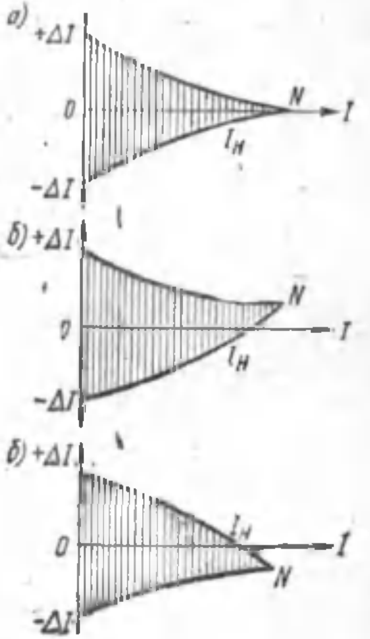
лишда (+ ΔI), сўнгра бошқа (— ΔI) йўналишда қўшимча ток ўтказилади. Бунда ҳам машинадан учқун чиқиши аввалгидек бўлиши керак.

Машина турли нагрузкаларда ишлаганида худди шундай тажрибалар ўтказиб, „қўшимча ток билан таъминлаш" $+\Delta I = f(I)$ ва $-\Delta I = f(I)$ эгри чизиқлари ясалади, улар учқун чиқмайдиган зонани, яъни $\pm \Delta I$ токлар зонасининг чегарасини кўрсатади, шу зона ичида коммутация учқунсиз бўлади (4. 16- расм). Бу зона қанчалик кенг бўлса, машинанинг коммутацияси шунчалик турғун бўлади. Нагрузка ортиб бориши билан коммутациянинг турғунлиги камаяди.

Қўшимча қутблар тўғри ҳисобланган бўлса, $+\Delta I = f(I)$ ва $-\Delta I = f(I)$ эгри чизиқлар нагрузка ўқига нисбатан симметрик жойлашади ва шу ўқда N нуқтада ўзаро кесишади (4.16-расм, *а*).



4.15- расм. „Тўйинтириш" эгри чизиқларини олиш учун машинани улаш схемаси.



4.16- расм. „Тўйинтириш" эгри чизиқлари: *а*—чизиқий, *б*—секинлаштирилган; *в*—тезлаштирилган коммутацияларда.

Қўшимча қутбларда оқим $\Phi_к$ кучсиз бўлса (бу секинлашган коммутацияга мувофиқ келади), N нуқта ўқдан юқорида (4.16-расм, *б*), оқим $\Phi_к$ кучли бўлганда (бу тезлашган коммутацияга мувофиқ келади) эса N нуқта ўқдан пастда (4.16- расм, в) жойлашади. Иккала ҳолда ҳам машинада коммутация турғун бўлмайди, чунки эгри чизиқлардан (4.16- расм, *б* ва *в*) кўриниб турибдики, номинал нагрузка токида ($I = I_н$) „қўшимча таъминлаш" токи $+\Delta I$ ёки $-\Delta I$ нинг ҳатто кичик қийматлари ҳам машинанинг қониқарли коммутациясини бузиши мумкин.

„Қўшимча ток" эгри чизиқлари ёрдамида коммутация характери аниқлангандан сўнг қўшимча қутбларни созлашга киришилади: секинлашган коммутацияда (4.16- расм, *б*) оқим $Ф_к$ ни ошириш, тезлаштирилган коммутацияда (4.16-расм, *в*) эса – камайтириш лозим.

Қўшимча қутблар магнитавий оқимининг катталиги зазор δ_2 ни (4.11- расмга қаранг) уни тўлдирувчи, магнитавий материалдан қилинган қистирмалар воситасида ўзгартириш йўли билан созланади.

Масалан, қўшимча қутблар оқимини кўпайтириш учун номагнитавий қистирмаларнинг бир қисми магнитавий материалдан тайёрланган қистирмаларга алмаштирилади. Зазорни ҳар бир ўзгартириш натижаси „қўшимча ток" эгри чизиқларини олиш йўли билан текшириб турилади.

Агар қўшимча оқим катталигини кўпроқ ўзгартириш талаб этилса-ю, зазорни ростлаш исталган натижани бермаса, у ҳолда қўшимча қутблар чулғамида ўрамлар сонини ўзгартиришга тўғри келади. Қўшимча қутблар майдони шундай бўлиши керакки, машина нормал нагрузкада ишлаганида коммутация бир оз тезлашган бўлсин. Бу эса машина ортиқча нагрузкада ишлаган пайтларда қўшимча қутблар тўйинганда ҳам коммутациянинг қониқарли бўлишини таъминлайди.

V боб

ЎЗГАРМАС ТОК ГЕНЕРАТОРЛАРИ

5. 1-§. Асосий тушунчалар

Маълумки, электр машинасининг ишлаши учун унда машинани қўзғатувчи магнитавий оқим бўлиши керак. Шу магнитавий оқими ҳосил қилиш усулларига қараб электр машиналари *электромагнитавий қўзғатишли машиналар ва доимий магнитлар билан қўзғатиладиган* (магнитоэлектрик) машиналарга бўлинади.

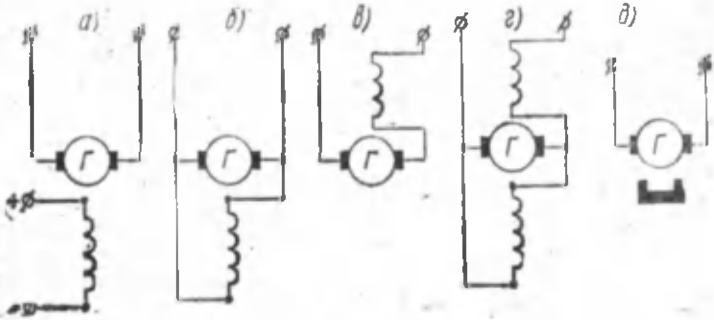
Электромагнитавий қўзғатишли машиналарда магнитавий оқим қўзғатиш чулғами воситасида ҳосил қилинади, бу чулғам турли схемалар бўйича уланиши мумкин. Қўзғатиш чулғамининг уланиш схемасига қараб, электромагнитавий қўзғатишли ўзгармас ток генераторлари мустақил қўзғатишли генераторлар билан ўз-ўзидан қўзғалувчи генераторларга бўлинади. Мустақил қўзғатишли генераторларда қўзғатиш чулғами ташқи ўзгармас ток энергия манбаидан (5. 1- расм, *а* ток олади, ўз-ўзидан қўзғалувчи генераторларда эса қўзғатиш чулғами генераторнинг ўзидан ток билан таъминланади.

Ўз-ўзидан қўзғалувчи генераторлар, ўз навбатида қуйидаги типларга бўлинади:

а) параллел қўзғатишли (шунтли) генераторлар, буларда қўзғатиш чулғами нагрузкага параллел қилиб якорь чулғамининг клеммаларига уланган бўлади. (5. 1-расм, *б*);

б) кетма-кет қўзғатишли (сериесли) генераторлар буларда қўзғатиш чулғами якорь чулғамига кетма-кет уланган бўлади (5. 1-расм, *в*);

в) аралаш қўзғатишли (компаунд) генераторлар, буларда қўзғатиш чулғами иккита: бири — параллел, иккинчиси эса кетма-кет уланган бўлади (5.1-расм, *г*).



5.1-расм. Ўзгармас ток генераторининг принципиал схемалари.

Доимий магнитлар билан қўзғатиладиган генераторларда қўзғатиш чулғами бўлмайди (5. 1-расм, *д*), чунки уларнинг асосий қутблари доимий магнитлар ҳолида тайёрланади.

Ўзгармас ток генераторининг ишлаш жараёнида унинг якори чулғамида э. ю. к. E_a ҳосил бўлади. Генераторга нагрузка уланганда якорь занжирида ток пайдо бўлади, генераторнинг чиқиш клеммаларида эса қуйидагича кучланиш вужудга келади:

$$U = E_a - I_a\sum r. \qquad (5.\ 1)$$

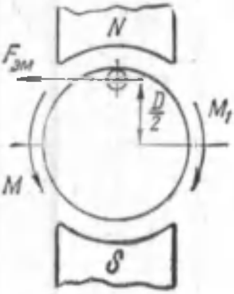
Бу ерда $\sum r$ — якорь занжирининг барча участкаларидаги қаршиликлар йиғиндиси. Умумий ҳолда бу қаршилик

$$\sum r = r_a + r_к + r_к + r_с + r_ч, \qquad (5.\ 2)$$

яъни у бир қанча қаршиликлардан: якорь чулғамининг қаршилиги r_a, қўшимча қутблар чулғамининг қаршилиги $r_к$, компенсацион чулғам қаршилиги $r_к$, кетма-кет уланган қўзғатиш чулғамининг қаршилиги $r_с$ ва чўткаларнинг ўтиш контакти қаршилиги $r_ч$ дан иборат. Машинада кўрсатилган чулғамлардан бирортаси бўлмаса формула (5. 2) га тегишли қўшилувчилар кирмайди.

Генератор якорини бирламчи двигатель айлантиради, у генератор валида айлантирувчи момент M_1 ни вужудга келтиради. Агар генератор салт ишлаш режимида ($I_a = 0$) ишлаётган

бўлса, унинг якорини айлантириш учун *салт ишлаш моменти* M_0 дейиладиган нисбатан кичикроқ момент талаб қилинади. Бу момент подшипниклардаги ишқаланишни, чўткаларнинг коллекторга ишқаланишини ва айланувчи қисмларнинг ҳавога ишқаланишини енгишга сарфланади.



5. 2- расм. Генераторнинг электромагнитавий моменти ҳақидаги тушунчага доир.

Генератор нагрузка билан ишлаганида якорь чулғамининг симларида $i_a = \frac{I_a}{2a}$ ток пайдо бўлади. Шу токнинг машинанинг асосий магнитавий майдони билан ўзаро таъсирлашуви натижасида якорь чулғамининг ҳар қайси симига қуйидагича электромагнитавий куч таъсир этади (5. 2- расм).

$$F_{эм} = B_{ўр} l i_a,$$

бунда $B_{ўр}$—зазордаги магнитавий индукциянинг ўртача қиймати;
l — якорнинг узунлиги.

„Чап қўл“ қоидасига кўра бу кучларнинг йўналишини аниқлаб, улар ҳосил қилган электромагнитавий момент M бирламчи двигателнинг айлантирувчи моменти M_1 га тескари йўналганлигига ишонч ҳосил қиламиз.

Электромагнитавий момент M нинг қийматини ушбу ифода билан кўрсатиш мумкин.

$$M = F_{эм}\frac{D}{2}N = B_{ўр} l i_a \frac{D}{2} N,$$

бунда N — якорь чулғамидаги актив ўтказгичлар сони.

$i_a = \frac{I_a}{2a}$ ва $\pi D = 2p\tau$, қўзғатиш чулғами ҳосил қилган фойдали магнитавий оқим эса $\Phi = B_{ўр} l \tau$ (2. 33- расм) эканлигини эътиборга олсак,

$$M = B_{ўр} l \frac{I_a}{2a} \cdot \frac{2p\tau}{2\pi} N = \frac{pN}{2\pi a} \cdot \Phi I_a. \qquad (5.\ 3)$$

ёки

$$M = C_м \Phi I_a \qquad (5.\ 4)$$

бўлади, бунда $C_м = \frac{pN}{2\pi a}$ — берилган машина учун ўзгармас катталик.

Магнитавий оқим Ф вебер (*вб*)ларда, момент M эса — ньютон метр (*н. м.*)ларда ифодаланади.

Шундай қилиб, айланиш тезлиги ўзгармас ($n = \text{const}$) бўлганда бирламчи двигателнинг айлантирувчи моменти M_1 теска-

ри таъсир этувчи моментлар йиғиндиси: салт ишлаш моменти M_0 ва электромагнитавий момент M билан мувозанатлашади:

$$M_1 = M_0 + M \tag{5. 5}$$

Бу ифода n-const бўлганда *генератор учун моментлар тенгламасидир.*

Электр машинасининг бутун хизмат муддати давомида нормал ишлаши учун мўлжалланган иш режими *номинал ишлаш режими* дейилади. Бу режим қуйидаги номинал катталиклар билан характерланади: номинал қувват $P_н$, номинал кучланиш $U_н$, номинал ток $I_н$ ва номинал айланиш тезлиги $n_н$.

Ўзгармас ток генераторининг номинал қуввати машинанинг чиқиш клеммаларидаги фойдали электр қуввати бўлиб, ватт, киловатт ва меговаттларда ифодаланади.

Юқорида кўрсатилган катталиклардан ташқари, машинанинг номинал ишлаш режимига мос келадиган бошқа катталиклар ҳам номинал катталиклар дейилади.

Генераторларнинг эксплуатацион хоссалари *характеристикалар* дейиладиган ва графикавий усул ифодаланган боғланишлар билан белгиланади.

Генераторлар, одатда, ўзгармас айланиш тезлиги билан ишлаганлиги сабабли барча характеристикаларини қуришда $n =$ = const деб ҳисобланади. Генераторларнинг асосий характеристикалари қуйидагилардир:

1. *Салт ишлаш характеристикаси* — салт ишлаш режимида генераторнинг чиқиш клеммаларидаги кучланиш U_0 нинг қўзғатиш токи $i_к$га боғлиқлиги:

$I = 0$ ва $n = \text{const}$ бўлганда

$$U_0 = f(i_к)$$

2. *Нагрузка характеристикаси* — генератор нагрузка билан ишлаганда ($I \neq 0$) чиқиш клеммасидаги кучланиш Uнинг қўзғатиш токига боғлиқлиги:

$I \neq 0$ ва $n = \text{const}$ бўлганда $U = f(i_к)$.

3. *Ташқи характеристикаси* — генераторнинг чиқиш клеммасидаги кучланиш U нинг нагрузка токи I га боғлиқлиги:

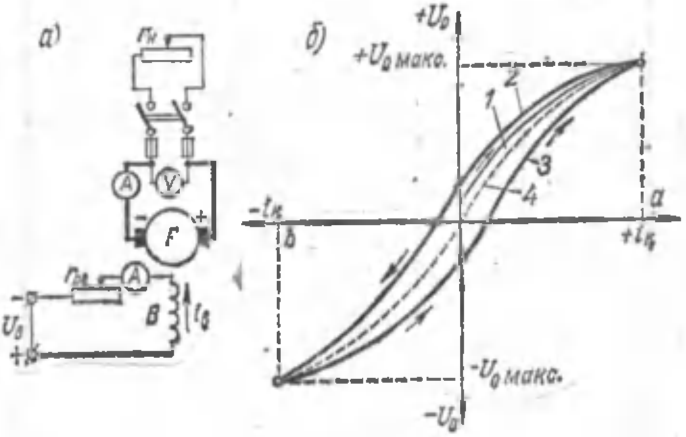
$r_{рс} = \text{const}$ ва $n = \text{const}$ бўлганда $U = f(I)$

4. *Ростлаш характеристикаси* — генераторнинг чиқиш клеммасида кучланиш ўзгармас бўлганда қўзғатиш токи $i_к$ нинг нагрузка токи I га боғлиқлиги:

$U = \text{const}$ ва $n = \text{const}$ бўлганда $i_к = f(I)$

5. 2-§. Мустақил қўзғатишли генератор

Мустақил қўзғатишли генераторнинг уланиш схемаси 5.3-расм, *а* да кўрсатилган. Қўзғатиш занжирига уланган реостат $r_{рс}$ қўзғатиш чулғамидаги ток $i_қ$ ни ва бинобарин, машинанинг асосий магнитавий оқими катталигини ростлашга имкон беради. Қўзғатиш чулғами ўзгармас ток энергия манбаидан: аккумулятордан, тўғрилагичдан ёки ушбу ҳолда *қўзғатувчи* дейиладиган бошқа ўзгармас ток генераторидан қувват олиб ишлайди.



5. 3-расм. Мустақил қўзғатишли генераторнинг принципиал схемаси (*а*) ва салт ишлаш характеристикаси (*б*).

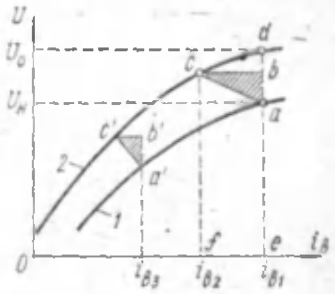
Салт ишлаш характеристикаси $U_0 = f(i_қ)$ характеристикани олишда генератор салт ишлаш режимида ($I = 0$) ишлайди. Номинал айланиш тезлигини белгилаб ва уни бутун тажриба давомида ўзгармас ҳолда сақлаб, қўзғатиш чулғамида ток қиймати $i_қ$ нолдан $+i_қ = O_a$ гача аста-секин ошириб борилади, бунда салт ишлаш кучланиши

$$U_0 \approx 1{,}15U_н$$

бўлади. Шундай қилинганда *1* эгри чизиқни (5.3-расм, *б*) қуриш учун зарурий маълумотлар олинади. Қўзғатиш токининг қийматини $i_қ = 0$ гача камайтириб ва унинг йўналишини ўзгартириб, қўзғатиш занжиридаги ток аста-секин $i_қ = 0$ дан $-i_қ = Ob$ гача оширилади. Шу йўл билан ҳосил қилинган ва характеристиканинг *пастлашувчи тармоғи* деб аталадиган *2* эгри чизиқ биринчи квадрантда *1* эгри чизиқнинг юқорисида жойлашади. Бунга сабаб шуки, *1* эгри чизиқни ҳосил қилиш жараёнида қолдиқ магнитланишнинг магнитавий оқими кўпаяди. Шундан кейин тажриба тескари йўналишда ўтказилади, яъни

қўзғатиш токи $-i_қ = Ob$ дан $i_қ = O$ гача камайтирилади, сўнгра унинг қиймати $+i_қ = Oa$ гача оширилади. Натижада салт ишлаш характеристикасининг *кўтарилувчи тармоғи* дейиладиган *3* эгри чизиқ олинади. Салт ишлаш характеристикасининг пастлашувчи ва кўтарилувчи тармоқлари гистерезис сиртмоғини ҳосил қилади, *2* ва *3* эгри чизиқлар орасидан ўрта чизиқ *4* ўтказиб, *салт ишлашнинг ҳисобий характеристикасини* ҳосил қиламиз.

Салт ишлаш характеристикасининг тўғри чизиқли қисми машинанинг тўйинмаган магнитавий системасига мувофиқ келади. Ток $i_қ$ янада оширилганда машинанинг пўлати тўйинади ва характеристика эгри чизиқли бўлиб қолади. $U_0 = f(i_қ)$ боғланиш магнитланиш характеристикасини (3. 2-§ га қаранг) бошқа масштабда такрорлайди ва машинанинг магнитавий хоссалари тўғрисида фикр юритишга имкон беради.



5. 4- расм. Мустақил қўзғатишли генераторнинг нагрузка характеристикаси.

Генераторнинг нагрузка характеристикаси. Бу характеристика нагрузка токи ўзгармас, масалан, номинал бўлганда генераторнинг чиқиш клеммаларидаги кучланиш U нинг қўзғатиш токи $i_қ$ га ва айланиш тезлигига боғлиқлигини ифодалайди.

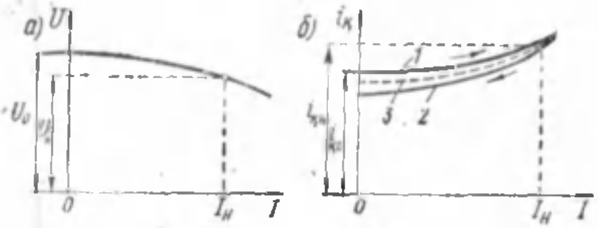
Кўрсатилган шароитларда генераторнинг чиқиш клеммаларидаги кучланиш э. ю. к дан кам бўлади (5. 1). Шунинг учун нагрузка характеристикаси (*1* эгри чизиқ) салт ишлаш характеристикасидан (*2* эгри чизиқ) пастда жойлашади. (5. 4-расм). Агар номинал кучланиш $U_н$ га мос келадиган a нуқтадан юқорига қараб $I_a \sum r$ га тенг бўлган ab кесмани қўйсак ва салт ишлаш характеристикаси билан кесишгунга қадар горизонтал bc кесмани ўтказиб, сўнгра a ва c нуқталар бирлаштирилса, *реактив учбурчаклик* дейиладиган abc учбурчаклик ҳосил бўлади.

Масалан, генератор салт ишлаш режимида ишлаганида қўзғатиш токи $i_{қ_1}$ бўлганда чиқиш клеммаларидаги кучланиш $U_0 = de$ га тенг, нагрузка уланиши билан (қўзғатиш токи ўзгармас бўлганда) генератор кучланишининг қиймати $U_н = ae$ гача пасаяди. Шундай қилиб, da кесма $i_қ = i_{қ_1}$ бўлганда кучланиш катталиги $\Delta U = U_0 - U_н$ ни ифодалайди. Бу ҳолда генераторнинг чиқиш клеммаларидаги кучланиш икки хил сабаб: якорь занжирида кучланиш тушиши (5. 1) ва якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири туфайли камайди. Якорь занжири қаршилигининг қиймати $\sum r$ ни ўлчаб ва кучланиш ту-

шиши $I_a\sum r$ ни ҳисоблаб, генераторнинг берилган нагрузка токидаги э. ю. к. ини аниқлаш мумкин:

$$E = U + I_a\sum r$$

5. 4- расмда бу э. ю. к. be кесма орқали кўрсатилган. Генераторнинг э. ю. к. и нагрузка билан ишлаганда салт ишлаш режимидагига қараганда камроқ бўлади ($be < de$), буни якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири билан изоҳлаш мумкин. Бу таъсирни миқдорий баҳолаш учун b нуқтадан салт ишлаш характеристикаси билан кесишгунча абсциссалар ўқига параллел қилиб bc кесмани ўтказамиз. Шу йўл билан ҳосил қилинган cf кесма генераторнинг нагрузка пайтидаги э. ю. к. ини билдиради; салт ишлаш режимида шундай э. ю к. ҳосил қилиш учун қўзғатиш токи $i_{к_2} < i_{к_1}$ бўлиши зарур. Демак, қўзғатиш токларининг айирмаси $(i_{к_1} - i_{к_2})$ га тенг бўлган e кесма якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсирини компенсация қиладиган қўзғатиш токининг қийматидир.



5.5- расм Мустақил қўзғатишли генераторнинг ташқи (*а*) ва ростлаш (*б*) характеристикалари.

Реактив учбурчакликнинг томонлари генератор кучланишининг нагрузка уланганда камайишини келтириб чиқарувчи факторларни кўрсатади: ab томон — якорь занжирида кучланишнинг тушиши, bc томон — якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири. Реактив $a'b'c'$ учбурчаклик қўзғатиш токининг бошқа қиймати ($i_{к_2}$) учун қурилган. Нагрузка токи ўзгармаганлиги учун учбрчакликнинг $a'b'$ томони ҳам ўзгармай қолган ($a'b' = ab$), лекин $b'c'$ томони қисқарган ($b'c' < bc$), чунки қўзғатиш токи камлиги сабабли генератор магнитавий занжирининг тўйинганлик даражаси ва бинобарин якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири ҳам камайган.

Генераторнинг ташқи характеристикаси. Бу характеристика генераторнинг чиқиш клеммаларидаги кучланиш U нинг нагрузка токи I га боғлиқлигини кўрсатади. Ташқи характеристикани қуриш учун зарурий маълумотларни олишда генератор номинал тезлик билан айлантирилади ва номинал кучланишда ток номинал қийматга етгунга қадар нагрузка берилади. Сўнгра салт ишлаш режими ($I = 0$) га қадар нагрузка аста-секин камайтирилади ва асбобларнинг кўрсатиши ёзиб олинади.

Қўзғатиш занжирининг қаршилиги $r_{рс}$ ва айланиш тезлиги бутун тажриба давомида ўзгармас ҳолда сақлаб турилади.

5. 5-расм, *a* да мустақил қўзғатишли генераторнинг ташқи характеристикаси кўрсатилган; расмдан кўриниб турибдики, нагрузка токи *I* оширилганда генераторнинг чиқиш клеммаларида кучланиш пасаяди, бунинг сабаби якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири ва якорь занжирида кучланишнинг тушишидир.

Ташқи характеристиканинг абсциссалар ўқига қиялиги (ташқи характеристиканинг қаттиқлиги) *нагрузка туширилганда генератор кучланишининг номинал ўзгариши* билан баҳоланади:

$$\Delta U_н = \frac{U_0 - U_н}{U_н} \cdot 100. \qquad (5.\ 6)$$

Мустақил қўзғатишли генераторлар учун одатда $\Delta U_н =$ 5 — 10% бўлади.

Генераторнинг ростлаш характеристикаси. $i_к = f(I)$ характеристика генераторнинг нагрузкаси ўзгарганида унинг чиқиш клеммаларидаги кучланиш ўзгармас ва номинал кучланишга тенг бўлиб қолиши учун қўзғатиш занжирида ток катталигини қандай ўзгартириш лозимлигини кўрсатади. Бунда айланиш тезлиги ўзгармаслигича ($n =$ const) қолади.

Генератор нагрузкасиз ишлаганида қўзғатиш занжирида $i_к$ ток ҳосил қилинади, бунда генераторнинг чиқиш клеммаларидаги кучланиш номинал кучланишга тенг бўлиб қолади. Сўнгра аста-секин генераторнинг нагрузкаси оширилади; бир вақтнинг ўзида қўзғатиш токи ҳам генераторнинг кучланиши нагрузкаларнинг бутун диапазонида номинал кучланишга тенглигича қоладиган қилиб ошира борилади. Шу йўл билан характеристиканинг кўтарилувчи тармоғи ҳосил қилинади (5.5-расм, *б* даги *1* эгри чизиқ). Генератор нагрузкасини салт ишлаш режимига қадар аста-секин камайтириб ва қўзғатиш токини тегишлича ростлаб, характеристиканинг пастлашувчи тармоғи олинади (5.5-расм, *б* даги *2* эгри чизиқ).

Ростлаш характеристикасининг пастлашувчи тармоғи кўтарилувчи тармоғидан пастда жойлашади, бунга сабаб кўтарилувчи тармоғини ҳосил қилиш жараёнида машина магнитавий занжирининг қолдиқ магнитланишининг кўпайиб кетиш таъсиридир.

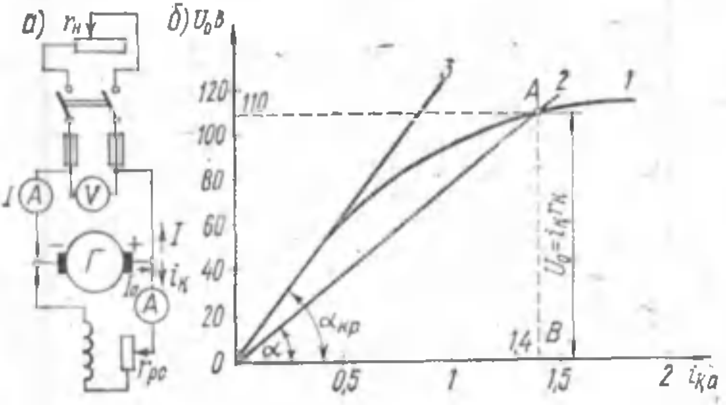
Кўтарилувчи ва пастлашувчи тармоқлар орасидан ўтказилган ўрта эгри чизиқ *3* генераторнинг *амалий ростлаш характеристикаси* дейилади.

Мустақил қўзғатишли генераторларнинг асосий камчилиги ташқи ўзгармас ток энергия манбаининг—қўзғатувчининг зарурлигидир. Лекин кучланишни кенг чегарада ростлаш имконияти, шунингдек, бу генератор ташқи характеристикасининг нисбатан мустаҳкамлиги унинг афзалликлари ҳисобланади.

5.3-§. Параллел қўзғатишли генератор

Ўзгармас ток генераторларининг ўз ўзидан қўзғалиш принципи машинанинг магнитавий системасининг магнитлангандан сўнг қутб ўзаклари ва станина қолдиқ магнетизми магнитавий оқими $\Phi_қ$ нинг бир қисмини (тўла оқимнинг 2—3% ини) сақлаб қолишига асосланган.

Якорь айланганда қолдиқ оқим $\Phi_қ$ якорь чулғамида қолдиқ э. ю. к. $E_қ$ ҳосил қилади, бу э. ю. к таъсирида қўзғатиш чулғамида озроқ ток $i_қ$ пайдо бўлади. Агар қўзғатиш чулғами магнитловчи кучи $i_қ w_қ$ нинг йўналиши қолдиқ оқим $\Phi_қ$ нинг



5.6-расм. Параллел қўзғатишли генераторнинг принципиал схемаси (*а*) ва салт ишлаш характеристикаси (*б*).

йўналиши каби бўлса, бу асосий магнит қутбларининг оқимини кўпайтиради. Бу эса, ўз навбатида, генераторнинг э. ю. к. ини кўпайтиради, натижада қўзғатиш токи яна ортади. Бу процесс генераторнинг кучланиши қўзғатиш занжиридаги кучланиш тушиши билан мувозанатлашгунча, яъни $i_қ r_қ = U_0$ бўлгунча давом этади.

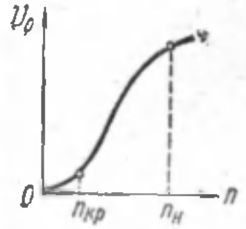
5.6-расм, *а* да параллел қўзғатишли генераторни улаш схемаси, 5.6-расм, *б* да эса генераторнинг салт ишлаш характеристикаси (*1* эгри чизиқ) ва кучланиш тушишининг қўзғатиш токига боғлиқлиги $i_қ r_қ = f(i_қ)$ (*2* тўғри чизиқ) кўрсатилган. Бу чизиқларнинг кесишган нуқтаси *A* ўз-ўзидан қўзғалиш процессининг тугаш пайтига тўғри келади, чунки худди шу нуқтада $U_0 = i_қ r_қ$ бўлади.

OA тўғри чизиқнинг абсциссалар ўқига нисбатан оғиш бурчаги *OAB* учбурчакликдан аниқланади:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{m_u}{m_i} = \frac{AB}{OB} \cdot \frac{m_u}{m_i} = \frac{U_0}{i_қ} \cdot \frac{m_u}{m_i} = r_қ, \qquad (5.7)$$

бунда m_i—ток масштаби (абсциссалар ўқидан олинади), *а/см*;
m_u—кучланиш масштаби (ординаталар ўқидан олинади), *в/см*;

(5.7) ифодадан кўриниб турибтики, $i_к r_к = f(i_к)$ тўғри чизиқнинг абсциссалар ўқига нисбатан *оғиш бурчаги* қўзғатиш занжирининг қаршилигига тўғри пропорционал. Лекин реостат қаршилиги $r_{рс}$ *нинг маълум бир қийматида* қаршилик $r_к$ шундай қийматга эришадики, бунда $i_к r_к = f(i_к)$ боғланиш салт ишлаш характеристикасининг тўғри чизиқли қисмига уриима бўлиб қолади (*3* тўғри чизиқ). Бундай шароитларда генератор ўз-ўзидан қўзғалмайди. Қўзғатиш занжирининг генераторнинг ўз-ўзидан қўзғалиши тўхтайдиган қаршилиги критик қаршилик ($r_{к.\ кр.}$) дейилади.



5. 7-расм. Ўз-ўзидан қўзғалиш характеристикаси.

Шуни ҳам қайд қилиб ўтиш керакки, генератор ўз-ўзидан қўзғалиши учун айланиш тезлиги *критик тезлик* дейиладиган муайян қиймати ($n_{кр.}$) дан ортиб кетиши керак. Бу шарт генераторнинг ўз-ўзидан қўзғалиш характеристикасидан (5.7- расм) келиб чиқади; бу характеристика салт ишлаш режимида генератор кучланишининг қўзғатиш занжирининг қаршилиги ўзгармас бўлгандаги айланиш тезлигига боғлиқлигини ифодалайди:

$$r_к = \text{const} \text{ бўлганда } U_0 = f(n).$$

Ўз-ўзидан қўзғалиш характеристикасини анализ қилиш шуни кўрсатадики, айланиш тезликлари кичик бўлганда ($n<n_{кр.}$) айланиш тезлигини ошириш кучланишнинг қисман ортишига олиб келади. Бунга сабаб шуки, $n < n_{кр.}$ бўлганда ўз-ўзидан қўзғалиш процесси ҳали бошланмаган бўлади ва кучланиш U_0 генератор магнитавий занжирининг қолдиқ магнитланиши туфайли пайдо бўлади. Ўз-ўзидан қўзғалиш процесси $n>n_{кр}$ бўлганда бошланади. Бу ҳолда айланиш тезлиги оширилганда кучланиш U_0 кескин ортади.

Лекин номинал тезликка яқин тезликда генераторнинг магнитавий тўйиниши туфайли кучланишнинг ортиши бир оз секинлашади. Критик айланиш тезлигининг қиймати қўзғатиш занжирининг қаршилигига боғлиқ ва бу қаршилик кўпайганда критик тезлик ҳам ортади.

Шундай қилиб, ўзгармас ток генераторлари қуйидаги шароитлар мавжуд бўлгандагина ўз-ўзидан қўзғалиши мумкин:

а) машинанинг магнитавий системасида қолдиқ магнетизм бўлиши лозим;

б) қўзғатиш чулғами шу чулғамнинг магнитавий оқими қолдиқ магнетизм оқими $\Phi_{қолд.}$ нинг йўналиши билан бир хил бўладиган қилиб уланиши керак;

в) қўзғатиш чулғамининг қаршилиги критик қаршиликдан кичик бўлиши зарур;

г) якорнинг айланиш тезлиги критик тезликдан катта бўлиши лозим.

Мисол. Параллел қўзғатишли генераторнинг салт ишлаш характеристикаси қуйидагича: $I_қ$ 0; 0,5; 1; 1,5; 2 *а* га тенг бўлганда U_0 тегишлича 5; 60; 95; 112; 118 *в* га тенг. Қўзғатиш чулғамининг қаршилиги $r_{қч} = 50$ *ом*. Генераторнинг $r_{рс} = 28$ *ом* бўлгандаги э. ю. к. ини, шунингдек, $r_{рс}$ нинг қандай қийматида қўзғатиш занжирининг қаршилиги критик қаршиликка тенг бўлишини аниқланг.

Е ч и л и ш и. Ток масштабини $m_I = 0{,}2$ *а/см* ва кучланиш масштабини $m_u = 20$ *в/см* деб қабул қиламиз, сўнгра мисолда берилган маълумотларга асосан салт ишлаш характеристикасини қурамиз. (5.7) га мувофиқ

$$\alpha = \mathrm{arc\,tg}\, r_қ ,$$

у ҳолда, қабул қилинган масштабларни эътиборга олсак, қуйидагига эга бўламиз:

$$\alpha = \mathrm{arc\,tg}\, r_қ \frac{m_I}{m_u} = \mathrm{arc\,tg}(50 + 28)\frac{0{,}2}{20} = \mathrm{arc\,tg}\, 0{,}78, \qquad \alpha = 38^\circ$$

O нуқтадан абсциссалар ўқига $\alpha = 38^\circ$ бурчак остида тўғри чизиқ ўтказамиз ва э. ю. к. нинг $r_{рс} = 28$ *ом* бўлгандаги катталигини топамиз:

$$U_0 = E_0 = 110 в$$

Критик қаршилик $r_{қ.\,кр.}$ ни аниқлаш учун *O* нуқтадан салт ишлаш характеристикасига уринма ўтказамиз, бунда оғиш бурчаги $\alpha_{кр.}$ 52° га тенг бўлиб чиқади. У ҳолда

$$r_{қ.\,кр} = \mathrm{tg}\,\alpha_{кр.} \frac{m_u}{m_I} = \mathrm{tg}\, 52^\circ \frac{20}{0{,}2} = 128_{ом}.$$

Демак,

$$r_{рс.\,кр.} = r_{қ.\,кр.} - r_{қ.\,ч.} = 128 - 50 = 78 \text{ ом}.$$

Параллел қўзғатишли генератор фақат бир йўналишда ўз-ўзидан қўзғалиши сабабли бу генераторнинг салт ишлаш характеристикаси координаталар ўқларининг фақат битта квадранти учун олиниши мумкин.

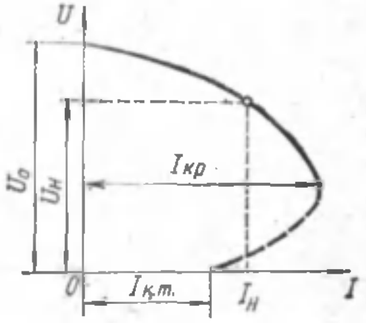
Параллел қўзғатишли генераторнинг нагрузка ва ростлаш характеристикалари мустақил қўзғатишли генераторнинг ана шундай характеристикаларидан амалда фарқ қилмайди

Параллел қўзғатишли генераторнинг **ташқи характеристикаси** (5.8-расм) мустақил қўзғатишли генераторнинг ташқи характеристикасидан юмшоқроқ бўлади. Бунга сабаб шуки, параллел қўзғатишли генераторда мустақил қўзғатишли генератордаги кучланиш пасайишини келтириб чиқарувчи сабабларга (якорь реакцияси ва якорь занжирида кучланиш тушиши) қўшимча равишда учинчи сабаб — қўзғатиш токининг

камайиши (дастлабки икки сабаб таъсиридан кучланиш пасайиши сабабли) ҳам таъсир қилади. Нагрузка қаршилиги $r_н$ аста-секин камайтирилганда ток I фақат критик қиймати $I_{кр}$ гача ортишини, сўнгра эса нагрузка қаршилиги янада камайганда ток I камая бошлашини ҳам юқорида айтилган сабаб билан изоҳлаш мумкин. Ниҳоят, қисқа туташиш пайтида нагрузка токи $I_{к.т.} < I_{кр}$. бўлади. Гап шундаки, ток I кўпайиши билан генераторнинг магнитсизланиши (якорь реакциясининг кучайиши ва қўзғатиш токининг камайиши) кучаяди; натижада машина тўйинмаган ҳолатга ўтади, бунда нагрузка қаршилиги ҳатто озгина камайтирилганга ҳам машинанинг э. ю. к и кескин камайиб кетади. Ток катталиги генераторнинг чиқиш клеммаларидаги кучланиш U ва нагрузка қаршилиги $r_н$ билан аниқланади, яъни

$$I = \frac{U}{r_н}$$

шу сабабли нагрузка токлари $I < I_{кр}$. бўлиб, генераторнинг кучланиши нагрузка қаршилигига қараганда секин камайганда нагрузка токи кўпаяди. $I = I_{кр}$. бўлгандан кейин $r_н$ нинг янада камайиши нагрузка токини камайтиради, чунки бу ҳолда $r_н$ га қараганда U тезроқ камаяди.



5.8-расм. Параллел қўзғатишли генераторнинг ташқи характеристикаси.

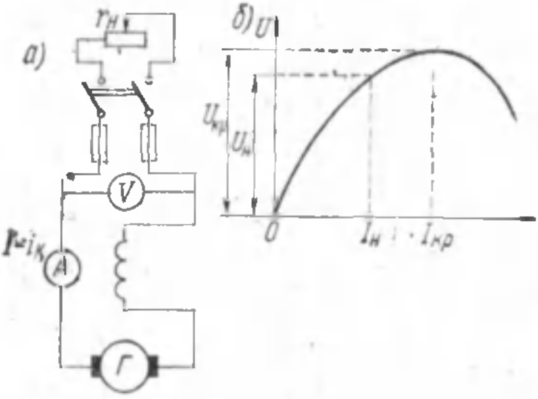
Шундай қилиб, нагрузка қаршилигининг аста-секин камайиши туфайли содир бўлган қисқа туташиш параллел қўзғатишли генератор учун хавфли эмас. Лекин тўсатдан қисқа туташиш бўлганида генераторнинг магнитавий системаси шу заҳоти магнитсизланишга улгурмайди ва ток $I_{к.т.}$ нинг қиймати машина учун хавфли даражага $I_{к.т.} = (8 - 12)\ I_н$ етиб қолади. Ток ана шундай бирдан кўпайганида генератор валида тормозланиш моменти вужудга келади, коллекторда эса кучли учқун чиқиб, айлана оловга айланиб кетади. Шу муносабат билан генераторларни эрувчан сақлагичлар воситасида ёки релели муҳофаза системасини ишлатиб, ортиқча нагрузкадан ва қисқа туташишдан сақлаш зарурати туғилади.

Параллел қўзғатишли генераторлардан ўзгармас ток установкаларида кенг кўламда фойдаланилади, чунки уларда қўзғатувчининг йўқлиги туфайли мустақил қўзғатишли генераторлардан афзал ҳисобланади. Параллел қўзғатишли генераторда кучланишнинг номинал ўзгариши (5.6) 10—30% ни ташкил этади.

5.4-§. Кетма-кет қўзғатишли генератор

Кетма-кет қўзғатишли генераторда (5.9-расм, *a*) қўзғатиш токи нагрузка токига тенг $i_қ = I$, шунинг учун бу генераторнинг хоссалари фақат ташқи характеристикаси (5.9-расм, *б*) билан белгиланади. Генераторнинг қолган барча характеристикалари генераторни фақат мустақил қўзғатишли режимга ўтказилгандагина олиниши мумкин.

Генератор салт ишлаганида унинг э. ю. к. и кичик бўлади ($E_0 = E_{қолд.}$), чунки якорь занжирига нагрузка уланмаганда (якорь занжири очиқ бўлганда) қўзғатиш чулғамида ток бўл-



5.9 расм. Кетма-кет қўзғатишли генераторнинг принципиал схемаси (*a*) ва ташқи характеристикаси (*б*).

майди. Сўнгра нагрузка уланиши билан қўзғатиш чулғамида ток $i_қ = I$ пайдо бўлади ва генераторнинг кучланиши ортади. Лекин кучланиш машинанинг магнитавий тўйинишига боғлиқ бўлган маълум чегарагача ортади, холос. Нагрузка токи янада оширилганда генераторнинг кучланиши камаяди, чунки магнитавий система тўйинганлиги сабабли генераторнинг асосий оқими амалда кўпаймай қолади, якорь реакцияси ва якорь занжирида кучланиш тушиши эса орта боради. Натижада характеристика тушувчи бўлиб қолади.

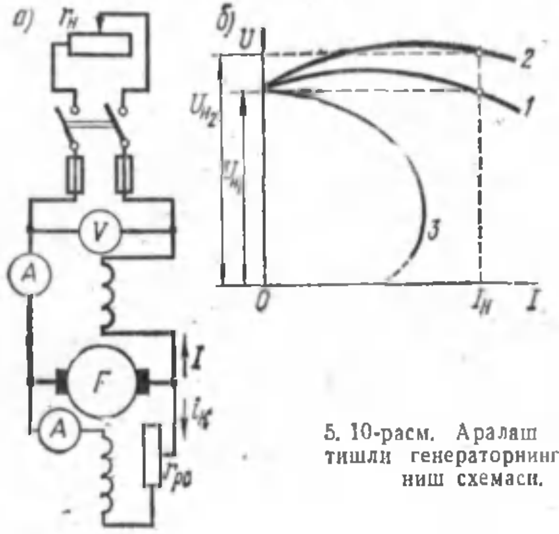
Кетма-кет қўзғатишли генераторларда кучланиш нагрузкага жуда боғлиқлиги туфайли бундай генераторлар кам ишлатилади.

5.5-§. Аралаш қўзғатишли генератор

Аралаш қўзғатишли генераторда (5.10-расм, *a*) иккита: параллел ва кетма-кет қўзғатиш чулғамлари бўлади. Машинанинг магнитавий оқимини, асосан, параллел қўзғатиш чулғами ҳосил қилади. Кетма-кет қўзғатиш чулғами, одатда, параллел

қўзғатиш чулғамига *мослаб* (иккала чулғамнинг м. к. лари қўшиладиган қилиб) уланади, бу генераторнинг ташқи характеристикаси анча қаттиқ бўлишини таъминлайди.

Салт ишлаш режимида генераторда фақат параллел қўзғатиш бўлади, чунки бунда $I=0$. Нагрузка уланиши билан кетма-кет қўзғатиш чулғамида м. к. пайдо бўлади, бу эса машинани магнитлайди ва бунда якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсирини ҳамда якорь занжирида кучланиш тушишини *тўлиқ компенсациялайди (қоплайди). Бу ҳолда* ташқи



5. 10-расм. Аралаш қўзғатишли генераторнинг уланиш схемаси.

характеристика ниҳоятда қаттиқ бўлиб қолади (5.10-расм, *б*, *1* эгри чизиқ), яъни генератор клеммаларидаги кучланиш нагрузка кўпайганда деярли ўзгармай қолади.

Агар истеъмолчида (линия охирида) кучланиш ҳар қандай нагрузкада ҳам амалда ўзгармас бўлиши талаб қилинса, кетма-кет қўзғатиш чулғамининг ўрамлар сони оширилиб, шу чулғамнинг м. к. й линия симларида кучланиш тушишини ҳам компенсациялайдиган қилинади. Бунда ташқи характеристика *2* эгри чизиқ кўринишида бўлади.

Қўзғатиш чулғамлари бир-бирига *қарама-қарши* уланганда нагрузка токининг ортиши билан генератор кучланиши кескин камаяди (*3* эгри чизиқ), бунга сабаб кетма-кет қўзғатиш чулғамининг магнитсизловчи таъсири *бўлиб*, *унинг м. к. и* параллел чулғамнинг м. к, ига қарши йўналган бўлади.

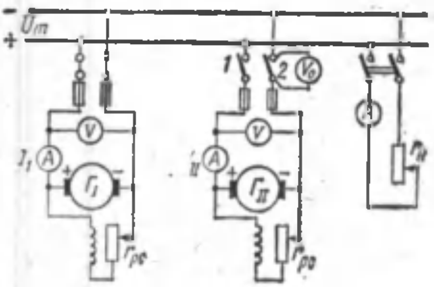
Қўзғатиш чулғамлари бир-бирига мос (тўғри) уланган аралаш қўзғатишли генераторлар нагрузка токи кескин ўзгарганида ҳам линиядаги кучланиш ўзгармаслиги талаб қилинади-

ган барча ҳолларда куч нагрузкасини ток билан таъминлашда ишлатилади.

Махсус мақсадларда ишлатиладиган генераторларда, кескин пасаядиган ташқи характеристика олиш зарур бўлганда, масалан пайвандлаш генераторларида чулғамлар бир-бирига қарши уланади.

5.6-§. Ўзгармас ток генераторларининг параллел ишлаши

Ўзгармас токни ўзгартириш подстанцияларида, одатда, бир неча генераторлар ўрнатилади ва улар умумий шиналарга параллел уланади. Бу генераторларнинг умумий қуввати истеъмолчининг қувватидан ортиқроқ бўлиши лозим. Битттанинг ўрнига бир неча генератор ўрнатиш агрегатлардан анча самарали фойдаланишни таъминлайди. Масалан, нагрузка камайганда генераторларнинг бир қисмини тўхтатиб қўйиш мумкин; бунда қолган генераторлар тўлиқ нагрузка билан ишлайди ва уларнинг фойдали иш коэффициенти юқори бўлади (8. 2-§ га қаранг).



5. 11-расм. Параллел қўзғатишли ўзгармас ток генераторларини параллел ишлашга улаш схемаси.

Генераторларни параллел ишлашга улашда қуйидаги шартларга риоя қилиш лозим:

1) уланаётган генераторнинг э. ю. к. и E_0 тармоқ кучланиши $U_т$ га тенг бўлиши керак;

2) уланадиган генератор клеммаларининг қутбийлиги тармоқнинг қутбийлигига мос келиши зарур.

5.11-расмда параллел қўзғатишли генераторларни параллел ишлашга улаш схемаси кўрсатилган. Генератор $Г_I$ ишлайди ва шиналарда $U_т$ кучланиш ҳосил қилади, деб фараз қилайлик. Шу шиналарга $Г_I$ генераторга параллел равишда $Г_{II}$ генераторни улаш учун қуйидагича иш юритилади; генераторнинг юритма двигатели ишга туширилади, номинал айланиш тезлиги белгиланади ва рубильник *1* ни ёпиб (туташтириб) генератор э. ю. к. и $E_0 = U_т$ бўлгунча аста-секин қўзғатилади. Агар генератор $Г_{II}$ нинг клеммаларидаги қутбийлик шиналарнинг қутбийлигига мос келса, у ҳолда $E_0 = U_т$ бўлганда вольтметр V_0 нинг кўрсатиши нолга тенг бўлади. Шунда рубильник *2* ни ёпиш мумкин ва генератор $Г_{II}$ генератор $Г_I$ га параллел уланган бўлиб қолади. $E_0 = U_т$ бўлгани учун генератор салт иш-

лашида ($I_{II}=0$) давом этади. Бу генераторнинг э. ю. к. и тенгламасидан кўриниб турипти:

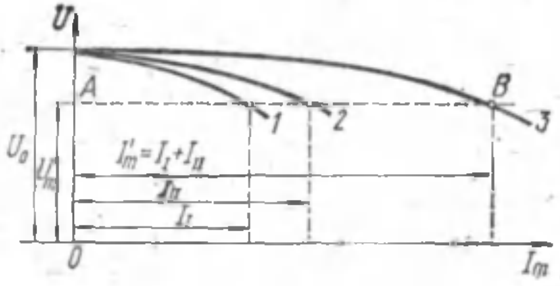
$$U_т = E_0 - I_{II}\Sigma r_{II},$$

бундан

$$I_{II} = \frac{E_0 - U_т}{\Sigma r_{II}} \quad (5.8)$$

Демак, генератор $Г_{II}$ га нагрузка бериш учун унинг э. ю. к. ини бир оз ошириш лозим. Бунинг учун *қўзғатиш токи* кўпайтирилади. Лекин бунда тармоқ кучланиши ўзгармасдан қолсин учун генератор $Г_{II}$ *нинг қўзғатиш токини кўпайтириш* билан бир вақтда генератор $Г_I$ нинг қўзғатиш токини бир оз камайтириш керак бўлади.

Нагрузка ўзгарганида I_I ва I_{II} токлар генераторлар ораси да уларнинг ташқи характеристикаларига мос равишда тақсим-



5.12-расм. Параллел уланган генераторлар орасида нагрузканинг тақсимланиши.

ланади. 5.12-расмдаги *1* ва *2* эгри чизиқлар $Г_I$ ва $Г_{II}$ генераторларнинг ташқи характеристикалари, *3* эгри чизиқ эса умумий ташқи характеристика $U_т = f(I_т)$ дир, бунда $I_т = I_I + I_{II}$ — тармоқ токи. Тармоқ токи $I_т = I_т'$ деб фараз қилайлик; у ҳолда *3* эгри чизиққа кўра генераторларнинг ҳар биридаги кучланиш $U_т'$ га тенг бўлиб қолади. *AB* тўғри чизиқни ўтказиб, ток $I_т'$ нинг генераторлар орасида тақсимланишини топамиз, яъни I_I ва I_{II} токларни аниқлаймиз. 5.12-расмдан кўриниб туриптики, ток $I_{II} > I_I$. Шунга асосан қуйидагича хулоса чиқариш мумкин: *нагрузка ортиши билан ташқи характеристикаси қаттиқроқ бўлган генератор кўпроқ нагрузка билан ишлайди.* Параллел ишлашга улаш учун генераторлар танлашда буни эсдан чиқармаслик лозим.

Иккита генератор параллел ишлаганда уларнинг нагрузкаси қуйидаги ифодалардан аниқланади:

$$I_{\rm I} = \frac{E_{\rm I} - U_{\rm т}}{\sum r_{\rm I}},$$

$$I_{\rm II} = \frac{E_{\rm II} - U_{\rm т}}{\sum r_{\rm II}}$$

Агар генераторларнинг э. ю. к. и бир хил, яъни $E_{\rm I} = E_{\rm II}$ бўлса, у ҳолда

$$\frac{I_{\rm I}}{I_{\rm II}} = \frac{\sum r_{\rm II}}{\sum r_{\rm I}}. \qquad (5.9)$$

Демак, *нагрузканинг генераторлар орасида тақсимланиши якорь занжирининг қаршиликларига тескари пропорционал бўлади.*

(5.9) тенглама билан $I_{\rm т} = I_{\rm I} + I_{\rm II}$ тенгламани биргаликда ечиб қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

$$\left.\begin{aligned} I_{\rm I} &= I_{\rm т} \frac{\sum r_{\rm II}}{\sum r_{\rm I} + \sum r_{\rm II}} \\ I_{\rm II} &= I_{\rm т} \frac{\sum r_{\rm I}}{\sum r_{\rm I} + \sum r_{\rm II}} \end{aligned}\right| \qquad (5.10)$$

Мисол. Қуввати $P_{\rm нI} = P_{\rm нII} = 45$ *квт* бўлган параллел қўзғатишли иккита генератор параллел равишда умумий $P = 80$ *квт* нагрузка билан ишлайди ва тармоқда $U_{\rm т} = 230$ *в* кучланиш ҳосил қилади. Генераторлар якорлари занжирларининг қаршиликлари $\sum r_{\rm I} = 0{,}1$ *ом* ва $\sum r_{\rm II} = 0{,}05$ *ом*; э. ю. к. катталиги бир хил бўлганда генераторлар орасида нагрузканинг тақсимланишини ва шу э. ю. к нинг катталигини аниқланг.

Ечилиши. Умумий нагрузка токи

$$I_{\rm т} = \frac{P}{U_{\rm т}} = \frac{80 \cdot 10^3}{230} = 348\ a.$$

$E_{\rm I} = E_{\rm II}$ бўлганда нагрузканинг тақсимланиши:

$$I_{\rm I} = 348 \frac{0{,}05}{0{,}1 + 0{,}05} = 116\ a;$$

$$I_{\rm II} = 348 \frac{0{,}1}{0{,}1 + 0{,}05} = 232\ a.$$

Генераторлар нагрузкаларининг номинал токи:

$$I_{\rm Iн} = I_{\rm IIн} = \frac{P_{\rm н}}{U_{\rm т}} = \frac{45 \cdot 10^3}{230} = 195{,}5\ a.$$

Биринчи генератордаги нагрузка етишмовчилиги:

$$\frac{I_{Iн} - I_I}{I_{Iн}} 100 = \frac{195,5 - 116}{195,5} 100 = 40,7\%.$$

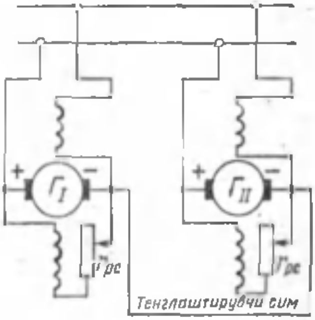
Иккинчи генератордаги ортиқча нагрузка:

$$\frac{I_{II} - I_{IIн}}{I_{IIн}} 100 = \frac{232 - 195,5}{195,5} 100 = 18,1\%$$

Генераторларнинг э. ю. к. и

$$E_I = E_{II} = U_т + I_I \sum r_i = 230 + 1160,1 = 241,6\ в$$

Генераторлардан бирининг, масалан $Г_{II}$ генераторнинг нагрузкасини олиш талаб қилинса, унинг э. ю. к. и $E_{II} = U_т$ қийматга етгунча аста-секин камайтирилади. Бунда (5.8) га кўра шу генераторнинг нагрузка токи $I_{II} = 0$ бўлади. Агар генераторнинг э. ю. к. и $E_{II} < U_т$ қийматга қадар камайтирилса, у ҳолда якордаги ток ўз йўналишини ўзгартиради ва машина двигатель режимига ўтади. Бу агрегатни аварияга олиб келиши мумкин, чунки битта валнинг ўзида иккита двигатель бўлиб қолади. Бунинг олдини олиш учун генератор схемаларида нагрузка токининг *йўналиши ўзгарганда* генераторни шиналардан узиб қўядиган автоматик қурилмалар бўлиши назарда тутилади.



5. 13-расм. Аралаш қўзғатишли генераторларни параллел ишлашга улаш схемаси.

Аралаш қўзғатишли генераторларни параллел ишлашга улашда схемада якорь чулғамининг бир исмли клеммаларини туташтирадиган *тенглаштирувчи сим* бўлишини назарда тутиш лозим (2.13-расм). Тенглаштирувчи сим бўлмаганда генераторлардан бирида э. ю. к. нинг тасодифан ортиб кетиши (масалан, бирламчи двигателнинг нотекис айланиши туфайли) натижасида нагрузка токи ва бинобарин, кетма-кет қўзғатишли чулғам токи кўпаяди. Бу магнитавий оқим Φ нинг ортишига олиб келади, натижада генераторнинг э. ю. к. и кўпаяди ва нагрузка токи яна ортади. Натижада бу генератор тармоқдаги барча нагрузкани ўзига олади, у билан параллел ишлаётган генераторда эса нагрузка қолмайди ва қўзғатиш чулғамлари қарама-қарши уланган двигатель режимига ўтади. Бу двигателнинг айланиш тезлиги чексиз кўпайиб, аварияга олиб келиши мумкин (6.11-§ га қаранг).

Бундан ташқари, бирор генератор нагрузкасининг бирданига камайиб кетиши туфайли шу генератор бирламчи двигателининг айланиш тезлиги ва, бинобарин, генераторнинг э. ю. к. и камайиб кетиши мумкин. Натижада барча нагрузка иккинчи генераторга ўтади ва биринчи генератор двигатель режимида ишлай бошлайди. Сўнгра процесс иккинчи генераторда такрорланади ва ҳоказо, яъни нагрузка бир генератордан иккинчисига ўтиб турадиган тебранма процесс содир бўлади.

Тенглаштирувчи сим бўлса иккала генераторнинг қўзғатиш чулғамлари ўзаро параллел уланиб қолади. Шунинг учун генераторлардан бирининг нагрузка токи кўпайганда иккала генераторнинг кетма-кет уланган қўзғатиш чулғамларида токлар бир хил даражада кўпаяди ва нагрузка генераторлар орасида қайта тақсимланмайди.

VI боб

ЎЗГАРМАС ТОК ЭЛЕКТР ДВИГАТЕЛЛАРИ

6.1- §. Асосий тушунчалар

Электр машиналарда қайтарлик хоссаси бор, яъни улар генератор режимида ҳам, двигатель режимида ҳам ишлай олади. Шунинг учун агар ўзгармас ток машинаси ўзгармас ток энергия манбаига уланса, машинанинг қўзғатиш чулғамида ва якорь чулғамида токлар пайдо бўлади. Якорь токининг қўзғатиш майдони билан ўзаро таъсири якорь валида электромагнитавий момент M ҳосил қилади. Лекин энди бу момент генератордаги сингари тормозловчи эмас, балки *айлантирувчи* момент бўлади (6.1- расм). Машина якори экектромагинитавий момент таъсирида айлана бошлайди, яъни машина тармоқдан электр энергияси олиб электродвигатель режимида ишлай бошлайди ва уни механикавий энергияга айлантиради.

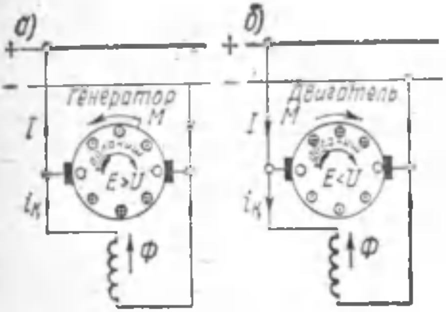
Двигателнинг ишлаши жараёнида унинг якори магнитавий майдонда айланади. Якорь чулғамида э. ю. к. E_a ҳосил бўлади, унинг йўналишини „ўнг қўл" қоидаси бўйича аниқлаш мумкин. Ўз табиатига кўра бу э. ю. к. генераторнинг якори чулғамида индукцияланган э. ю. к. дан фарқ қилмайди. Двигателда эса у ток I_a га қарши йўналган ва шу сабабли *якорнинг тескари электр юритувчи кучи* (*тескари э. ю.к.*) дейилади (6.2- расм).

Ўзгармас айланиш тезлиги билан ишлаётган двигатель учун э. ю. к. тенгламасини тузиш мумкин:

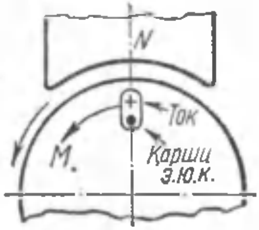
$$U = E_a + I_a \sum r \qquad (6.1)$$

Бу тенгламадан кўриниб туриптики, двигателга берилган кучланиш якорь чулғамининг тескари э. ю. к. и ва якорь занжирида кучланиш тушиши билан мувозанатлашади. (6.1) асосида якорь токини аниқлаш формуласини ҳосил қилиш мумкин:

$$I_а = \frac{U - E_а}{\sum r} \qquad (6.2)$$



6.1- расм. Параллел қўзғатишли машина генератор режимида (*а*) ва двигатель режимида (*б*).



6.2- расм. Двигателда тескари э. ю. к. нинг йўналиши.

(6.1) тенгламанинг иккала қисмини якорь токи $I_а$ га кўпайтириб, қувват тенгламасига эга бўламиз:

$$U I_а = E_а I_а + I_а^2 \sum r. \qquad (6.3)$$

Бунда $UI_а$ — якорь чулғами занжиридаги қувват;

$I_а \sum r$ — якорь занжирида исроф бўлган қувват;

$E_а I_а$ ифодага келсак, унинг моҳиятини аниқлаш учун қуйидагича ўзгартириш қиламиз:

$$E_а I_а = \frac{PN}{60a} \Phi \, n \, I_а = \frac{PN}{60a} \Phi \frac{60\omega}{2\pi} I_а$$

ёки

$$E_а I_а = \frac{PN}{2\pi a} \Phi I_а \omega$$

Лекин (5.3) га мувофиқ $\frac{PN}{2\pi a} \Phi \, I_а = M$, у ҳолда

$$E_а I_а = M\omega = P_{эм} \qquad (6.4)$$

бунда $\omega = \frac{2\pi n}{60}$ – якорнинг айланиш бурчак тезлиги;

$P_{эм}$ — двигателнинг электромагнитавий қуввати.

Демак, $E_a I_a$ ифода двигателнинг *электромагнитавий қувватини* билдиради; унинг сон қиймати двигатель тармоқдан олган қувватнинг двигателнинг ишлаши жараёнида якорни айлантириш учун зарурий механикавий қувватга айланадиган қисмига тенг.

(6.4) тенгламани ҳисобга олган ҳолда (6.3) ифодани ўзгартирсак, қуйидаги тенглама олинади:

$$UI_a = M\omega + I_a^2 \sum r$$

Бу тенгламани анализ қилиш шуни кўрсатадики, двигатель валига тушадиган қувват катталашиши, яъни электромагнитавий момент ортиши билан якорь чулғами занжиридаги қувват UI_a, яъни двигателга киришдаги қувват ортади.

Лекин двигателга бериладиган кучланиш ўзгармас (U=const) ҳолда сақланғани туфайли двигателнинг нагрузкаси ортиши билан якорь чулғамидаги ток I_a ҳам ортади.

Қўзғатилиш усулига қараб ўзгармас ток двигателлари ҳам генераторлар сингари, доимий магнитлар ёрдамида қўзғатиладиган (магнитоэлектрик) ва электромагнитавий қўзғатишли двигателларга бўлинади. Электромагнитавий қўзғатишли двигателлар қўзғатиш чулғамининг якорь чулғамига нисбатан қандай уланганлик схемасига қараб параллел қўзғатишли (шунтли), кетма-кет қўзғатишли (сериесли) ва аралаш қўзғатишли (компаунд) двигателларга бўлинади. Бу двигателларнинг принципиал схемалари генераторларнинг 5.1- расм, *б*, *в*, *г*, *д* да келтирилган схемаларидан фарқ қилмайди.

6.2-§. Моментларнинг мувозанат тенгламаси

Электромагнитавий момент M двигатель якорини айлантиради, бу айланма ҳаракат вал орқали ижрочи механизмга узатилади. Бунда двигатель валига қуйидаги моментлар таъсир этади:

1) *айлантирувчи* (электромагнитавий) *момент* M;

2) *салт ишлаш моменти* M_0, бу момент двигателдаги механикавий исрофлар (вентиляцион исрофлар ҳам шунга киради) ва магнитавий исрофлар туфайли ҳосил бўлади. Момент M_0 нинг қиймати нагрузкага боғлиқ эмас ва нормал двигателларда айлантирувчи момент номинал қиймати $M_н$ нинг 2—6% идан ошмайди;

3) *фойдали момент* M_2, яъни ушбу двигатель билан ҳаракатга келтириладиган механизмнинг тескари таъсир этувчи моменти. Масалан, агар двигатель диаметри D бўлган барабанни айлантирса ва барабанга оғирлиги F бўлган трос ўраладиган бўлса, у ҳолда фойдали момент қуйидагига тенг:

$$M_2 = F\frac{D}{2}\ [н \cdot м],$$

4) *динамикавий момент* $M_д$, бу момент двигатель ва у ҳаракатга келтирадиган механизм айланувчи қисмларининг инерцияси туфайли двигатель тезлигининг ҳар қандай ўзгаришидан вужудга келади:

$$M_д = J \frac{d\omega}{dt}$$

бунда J — агрегат барча айланувчи қисмларининг двигатель валига берилган ва айланишнинг бурчак тезлиги ω га бўлинган инерция моменти.

Одатда M_0 ва M_2 моментлар биргаликда йиғинди сифатида қаралади:

$$M_0 + M_2 = M_{ст},$$

бунда $M_{ст}$ — двигатель валининг айланишига қаршилик қилувчи *статик момент.*

Умумий ҳолда двигателнинг моментлар тенгламаси:

$$M = M_0 + M_2 \pm M_д$$

ёки

$$M = M_{ст} \pm M_д. \qquad (6.5)$$

Динамикавий моментнинг „плюс" ёки „минус" ишораси тезликнинг ўзгариш характери билан белгиланади. Тезлик ошганда $M_д$ момент $M_{ст}$ га қўшилади („плюс" ишора), тезлик камайганда эса M момент $M_{ст}$ га қарши таъсир этади („минус" ишора).

Якорнинг айланиш тезлиги ўзгармас $\left(\frac{d\omega}{dt} = 0\right)$ бўлганда динамикавий момент $M_д = O$, у ҳолда двигателнинг моментлар тенгламаси

$$M = M_0 + M_2 = M_{ст}, \qquad (6.6)$$

яъни *турғун ишлаш режимида двигателнинг айлантирувчи моменти билан унинг валига таъсир этувчи статик қаршилик моменти ўзаро мувозанатлашади.* Двигатель айлантирувчи моментининг қийматини (5.4) ифодадан аниқлаш мумкин.

Бундан ташқари, двигателнинг айлантирувчи моменти электромагнитавий қувватга пропорционал бўлади, шунинг учун

$$M = \frac{P_{эм}}{\omega} = \frac{P_{эм}}{\frac{2\pi n}{60}} = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{P_{эм}}{n} = 9,55 \frac{P_{эм}}{n}. \qquad (6.7)$$

Двигатель фойдали моменти M_2 нинг қиймати двигателнинг фойдали қувватига пропорционал, бу ҳол фойдали моментнинг (6.7) ифодага ўхшаш ифодасини ҳосил қилишга имкон беради:

$$M_2 = 9,55 \frac{P_2}{n}, \qquad (6.8)$$

бунда P_2 — двигателнинг фойдали қуввати (валидаги қувват), *вт*;
M_2 — фойдали момент, *н. м*;
n — айланиш тезлиги, *айл/мин.*

6.3- §. Двигателнинг айланиш тезлиги

Э. ю. к. формуласи $E_а = C_еФn$ га кўра двигателнинг айланиш тезлиги ушбу ифодадан аниқланади: $n = \frac{E_а}{C_еФ}$ (6.1) формуладан $E_а$ нинг қийматини ўрнига қўйсак,

$$n = \frac{U - I_а \sum r}{C_еФ} \tag{6.9}$$

олинади, яъни *электродвигателнинг айланиш тезлиги кучланишга тўғри пропорционал ва қўзғатиш магнитавий оқимига тескари пропорционал.* Буни физикавий жиҳатдан шундай тушунтириш мумкин: кучланиш U нинг кўпайиши ёки оқим Ф нинг камайиши натижасида ($U - E_а$) айирма катталашади, бу эса ўз навбатида ток $I_а$ нинг (6.2) кўпайишига олиб келади. Натижада кўпайган ток айлантирувчи моментни орттиради (5.4) ва агар бунда нагрузка моменти ўзгармай қолса, двигателнинг айланиш тезлиги катталашади.

(6.9) формуладан кўриниб турибдики, двигателнинг айланиш тезлигини кучланиш U ни ёки қўзғатиш магнитавий оқими Ф ни ўзгартириш билан ростлаш мумкин.

Якорнинг айланиш йўналиши қўзғатиш магнитавий оқими Ф нинг йўналиши билан якорь чулғамидаги токнинг йўналишига қараб аниқланади. Шунинг учун бу катталиклардан бирортасининг йўналишини ўзгартириб, якорнинг айланиш йўналишини ўзгартириш мумкин. Шуни назарда тутиш керакки, рубильникда схеманинг умумий клеммалари ўрнини алмаштириш билан якорнинг айланиш йўналишини ўзгартириб бўлмайди, чунки бунда бир вақтнинг ўзида якорь чулғамида ҳам, қўзғатиш чулғамида ҳам токнинг йўналиши ўзгаради.

6.4- §. Двигателларнинг турғун ишлаш шартлари

Ўзгармас ток двигателларининг ишлашини текширишда двигатель айланиш тезлигининг айлантирувчи момент $M = M_0 + M_2$ га боғлиқлиги катта аҳамиятга эга. Бу боғлиқлик графикавий кўринишда $U = \text{const}$ ва $r_{рс} = \text{const}$ бўлганда двигателнинг механикавий характеристикаси $n = f(M)$ билан ифодаланади.

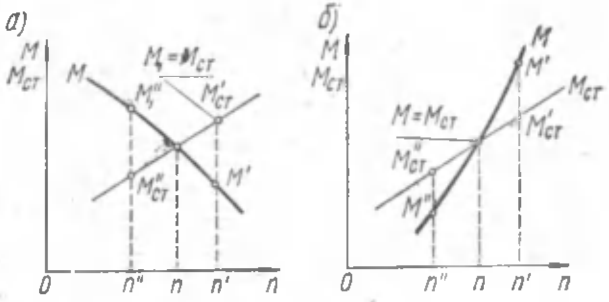
(6.9) ифодани қуйидагича ўзгартириб

$$n = \frac{U}{C_еФ} - \frac{I_а \sum r}{C_еФ}$$

ва унга (5.4) ифодадан токнинг қиймати $I_a = \frac{M}{C_м Ф}$ ни қўйиб, ушбу тенгликни ҳосил қиламиз:

$$n = \frac{U}{C_e Ф} - \frac{M \sum r}{C_e C_м Ф^2} \qquad (6.10)$$

(6.10) тенгликдан кўриниб туриптики, двигателнинг механикавий характеристикасига қўзғатиш усули катта таъсир кўрсатади, Шунинг учун бундан кейин ўзгармас ток двигателининг ҳар қайси типи учун механикавий характеристика алоҳида-алоҳида текширилади.



6.3- расм. Двигателнинг турғун ишлаши ҳақидаги тушунчага доир.

Агар двигатель ҳосил қиладиган айлантирувчи момент тескари таъсир этувчи моментга тенг бўлса, двигатель турғун ишлайди ва ўзгармас тезлик билан айланади:

$$M = M_{ст}. \qquad (6.11)$$

Лекин муайян шарт-шароитларга риоя қилингандагина двигатель турғун ишлаши мумкин. Бу айтилганларни яққол тасвирлаш учун моментларнинг 6.3- расм, *а* да кўрсатилган ўзгариш графиклари $M = f(n)$ ва $M_{ст} = f(n)$ ни кўриб чиқамиз. Эгри чизиқларнинг кесишиш нуқтаси двигателнинг турғун ишлашига ($M = M_{ст}$) мос келади.

Айланиш тезлиги, масалан n дан n' гача тасодифан ўзгарганида (6.11) тенглик бузилади ва тескари таъсир этувчи момент $M_{ст}$ айлантирувчи момент M' дан катта бўлиб қолади. Бу эса айланиш тезлигининг $M = M_{ст}$ бўладиган n қийматгача камайишига олиб келади.

Шунга ўхшаш, айланиш тезлиги, n масалан, n'' қийматгача тасодифан камайганда айлантирувчи момент M'' тескари таъсир этувчи момент $M_{ст}$ дан катта бўлиб қолади ва двигатель якори тезланиши ортиб, яна дастлабки айланиш тезлигига етади. Шундай қилиб, ғалаёнловчи факторлар таъсир этганда двигателнинг ишлаши турғунлигича қолади.

Агар $M = f(n)$ ва $M_{ст} = f(n)$ характеристикалар 6.3- расм, *б* да кўрсатилган эгри чизиқлар кўринишида бўлса, электродвигатель турғун ишлай олмайди. Ҳақиқатан ҳам, тезлик n дан n' гача тасодифан ўзгарганида ортиқча айлантирувчи момент M' тезликни янада оширади. Агар тезлик n дан n'' гача ўзгарса, ортиқча тескари таъсир этувчи момент тезликни янада камайтиради. Бошқача айтганда двигателнинг ишлаши турғун бўлмай қолади.

Умумий ҳолда *двигателнинг турғун ишлаш* шарти қуйидагича таърифланади: ***айланиш тезлиги ортганида айлантирувчи моментнинг ортиши тескари таъсир этувчи моментнинг ортишидан камроқ бўлиши керак***:

$$\frac{dM}{dn} < \frac{dM_{ст}}{dn} \tag{6.12}$$

Одатда, бу шартнинг бажарилиши учун двигателнинг айланиш тезлиги ортганида айлантирувчи момент камайиши лозим (6.3- расм, *а*).

6.5- §. Двигателни ишга тушириш

Двигателнинг якоридаги ток қиймати (6.2) формуладан аниқланади:

$$I_а = \frac{U - E_я}{\sum r}$$

Агар U ва $\sum r$ ни ўзгармас деб қабул қилинса, ток $I_а$ тескари э. ю. к. $E_а$ нинг қийматига боғлиқ бўлади. Ток $I_а$ нинг қиймати двигатель ишга туширилганда энг катта бўлади. Ишга туширишнинг бошланғич пайтида двигатель якори ҳаракатсиз ($n = 0$) бўлади ва унинг чулғамида э. ю. к. индукцияланмайди ($E_а = 0$). Шунинг учун двигатель бевосита тармоққа уланганда унинг якори чулғамида ишга тушириш токи пайдо бўлади:

$$I'_а = \frac{U}{\sum r} \tag{6.13}$$

Одатда қаршилик $\sum r$ катта бўлмайди, шу сабабли ишга тушириш токининг қиймати йўл қўйиб бўлмайдиган даражада катта, двигателнинг номинал токидан 10—15 марта ортиқ қийматга етади.

Мисол. Номинал нагрузкада ўзгармас ток двигателининг клеммаларида қувват $P_{1н} = 10$ *квт* га тенг. Двигатель кучланиши $U = 110$ *в* бўлган тармоқдан ток олиб ишлайди ва якори занжирининг қаршилиги $\sum r = 0{,}08$ *ом*. Двигатель бевосита тармоққа уланганда ишга тушириш токи $I'_а$ нинг қиймати аниқлансин ва унинг қиймати номинал ток билан таққослансин.

Ечилиши. (6.13) формулага кура

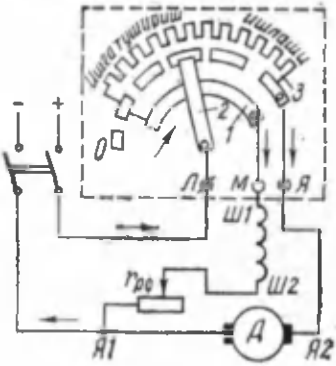
$$I'_а = \frac{U}{\sum r} = \frac{110}{0{,}08} = 1375 а.$$

Двигателнинг номинал токи

$$I_н = \frac{P_н}{U} = \frac{10 \cdot 10^3}{110} = 91 a$$

га тенг, бинобарин, ишга тушириш токи двигателнинг номинал токидан $\frac{1375}{91} \approx 15$ марта кўп экан.

Бундай катта ишга тушириш токи двигатель учун жуда хавфлидир. У, биринчидан машинада айлана олов пайдо қилиши мумкин, иккинчидан эса, бундай катта токда двигателнинг ишга тушириш моменти ниҳоятда катталашиб кетади ва двигателнинг айланувчан қисмларига зарбий таъсир кўрсатиб, уларни ишдан чиқариши (синдириши) мумкин. Ва, ниҳоят, бу ток тармоқда кучланишнинг кескин пасайишига сабаб бўлади ва шу тармоққа уланган бошқа истеъмолчиларнинг ишлашига ёмон таъсир этади.



6.4- расм. Ишга тушириш реостатининг уланиш схемаси.

Шунинг учун двигателни тармоққа бевосита улаб ишга тушириш усули кам қувватли (тахминан 0,5 *квт* гача) двигателлар учун қўлланилади. Бундай двигателларда якорь чулғамининг қаршилиги катта ва айланувчи масса анча кичик бўлганлигидан ишга тушириш токи номинал токдан фақат 3—5 марта ортиб кетиши мумкин, бу эса двигатель учун хавфли эмас. Катта қувватли двигателларга келганда уларни ишга тушириш пайтида ишга тушириш токининг қийматини чеклаш мақсадида ишга тушириш реостатлари ИТР ишлатилади, улар якорь занжирига кетма-кет уланади (6.4- расм).

Ишга туширишнинг бошланғич пайтида реостатнинг қаршилиги энг катта $r_{и.\ т.\ макс}$ қилиб қўйилади. Бунда ишга тушириш токининг қиймати:

$$I_{иш} = \frac{U}{\sum r + r_{и.\ т.\ макс}}. \tag{6.14}$$

Якорнинг тезлиги орта бориши билан тескари э. ю. к. кўпайиб, якорь токи камая боради. Шу сабабли реостатнинг қаршилигини ишга туширишнинг охирида нолга тенг бўладиган қилиб ($r_{и.т.} = 0$) камайтира бориш керак. Акс ҳолда, двигателга тармоқдан келаётган энергиянинг анчагина қисми реостатнинг қизишига сарфланади ва двигателнинг фойдали қуввати камайиб кетади. Бундан ташқари, реостат қаршиликларидан

узоқ вақт мобайнида ток ўтиб турса, қаршиликлар қаттиқ қизиб кетиши ва ҳатто куйиб қолиши мумкин (6.6- § га қаранг).

Ишга тушириш реостатининг қаршилиги, одатда ишга тушириш токи номинал токдан кўпи билан икки-уч марта катта бўладиган қилиб танланади.

Мисол. Олдинги мисолдаги двигатель учун ($P_{1н} = 10 квт$; $U = 110 в$; $\sum r = 0{,}08$ *ом* ишга тушириш реостатининг қаршилигини аниқланг, бунда ишга тушириш токининг карралилиги $\frac{I_{и.т}}{I_н} = 2{,}5$ га тенг бўлсин.

Ечилиши. $\frac{I_{и.т.}}{I_н} = 2{,}5$, шунинг учун $I_{и.т.} = I_н \cdot 2{,}5 = 91 \cdot 2{,}5 = 227{,}5 a$.

(6.14) формуладан ишга тушириш реостатининг қаршилигини аниқлаймиз.

$$r_{и.\ т,\ макс} = \frac{U}{I_{и.т.}} - \sum r = \frac{110}{227{,}5} - 0{,}08 = 0{,}04 \text{ ом.}$$

Двигателнинг айлантирувчи моменти M оқим Φ га тўғри пропорционал бўлганлигидан (5.4), параллел ва аралаш қўзғатишли двигателларни ишга туширишда ишга туширишни осонлаштириш учун қўзғатиш чулғамида реостат қаршилиги $r_{рс}$ ни нолга келтириш ($r_{рс} = 0$) лозим. Бу ҳолда қўзғатиш оқими Φ *нинг қиймати энг катта бўлади ва двигатель якорь* токи камлигида зарурий айлантирувчи момент ҳосил қилади.

Катта қувватли двигателларни ишга тушириш учун ишга тушириш реостатлари ишлатиш номақбулдир, чунки бунда энергия кўп исроф бўлади. Бундан ташқари, бундай двигателларда ишга тушириш реостатлари ниҳоятда қўпол бўлган бўлар эди Шунинг учун катта қувватли двигателларда кучланишни пасайтириш йўли билан реостатсиз ишга тушириш усули қўлланилади. Бунга электровознинг тортиш двигателларини ишга тушириш вақтидаги кетма-кет уланишдан нормал ишлашидаги параллел уланишга ўтказиш ёки двигателларни „генератор—двигатель" схемасида ишга тушириш (6.10- §) мисол бўла олади.

6. 6- §. Ишга тушириш реостатлари

Ўзгармас ток двигателларини ишга тушириш учун ҳаво ёки мой билан совитиладиган металл реостатлар ишлатилади. Реостатлар *икки, уч ва тўрт клеммали бўлади. Уч* клеммали реостатнинг конструкциясини ва параллел қўзғатишли двигателни реостат ёрдамида ишга туширишдаги операциялар тартибини кўриб чиқамиз (6.4- расмга қаранг).

Реостатнинг олтита контакти: салт контакти (0), тўртта оралиқ контактлар ва битта иш контакти *3* бор. Ёй кўринишидаги мис пластинка *1* клемма *М* билан туташтирилган, бу клеммага қўзғатиш чулғами уланган. Шу ёй туфайли қўзғатиш токи реостатнинг қаршилигига боғлиқ бўлмайди, чунки қўзғатиш чулғами тармоқнинг тўлиқ кучланишига уланган бўлади. Ричаг *2* ёй *1* билан электр жиҳатдан уланган. Ричаг

нинг ҳолатига қараб ёй бирор контакт билан уланади. Ишга тушириш олдидан ричаг салт контакт (*0*) да туриши керак.

Двигателни ишга тушириш учун рубильник уланади ва реостат ричаги биринчи оралиқ контактга ўтказилади. Бунда двигатель қўзғалади, якорь занжирида эса ишга тушириш токи $I_{и.т.}$ пайдо бўлади, бу токнинг катталиги қаршилик $r_{и.т.}$ нинг барча тўртта секциялари билан чекланган. Якорнинг айланиш тезлиги орта бориши билан ишга тушириш токи камаяди ва реостат ричаги иш контакти *3* га боргунча бирин-кетин иккинчи, учинчи ва ҳоказо контактларга ўтказилади. Бунда реостатнинг қаршилиги охирида нолга келтирилади ($r_{и.т.} = 0$).

Конструкцияни енгиллаштириш мақсадида ишга тушириш реостатларининг босқичлари сони камроқ қилинади секцияларнинг қаршиликлари эса қисқа муддатли токка мўлжалланади. Шунинг учун реостат ричагини оралиқ контактларда узоқ тутиб туриш ярамайди, акс ҳолда реостатнинг қаршиликлари ўта қизиб кетади ва куйиб кетиши мумкин.

Двигателни тармоқдан узишда қўзғатиш занжири узилиб қолмаслиги керак, чунки бунда қўзғатиш чулғамининг электромагнитавий энергия запаси ўзиндукция э. ю. к. ини ҳосил қилади; бу э. ю. к. узилаётган контактларда электр ёй ҳосил қилиб, қўзғатиш чулғамининг изоляциясини тешиб юбориши мумкин. Бунинг олдини олиш учун юргизиш реостатининг биринчи иш контакти ёй *1* га уланади, натижада ричаг салт контакт *0* га ўтказилганда қўзғатиш занжири реостат қаршилигига уланади ва қўзғатиш чулғамида тўпланган магнитавий майдон энергияси қаршилик $r_{и.т.}$ да унинг қизишига сарфланади.

Кетма-кет қўзғатишли двигателларни ишга тушириш учун икки клеммали ишга тушириш реостатлари ишлатилади, улар уч клеммали реостатлардан мис ёй *1* нинг йўқлиги ва фақат иккита: *Л* ҳамда *Я* клеммаларнинг бўлиши билан фарқ қилади.

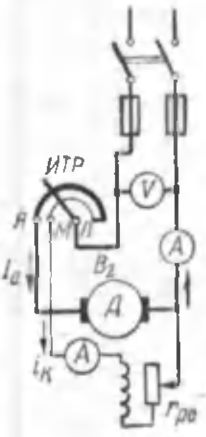
6.7- §. Параллел қўзғатишли двигатель

Параллел қўзғатишли двигателни тармоққа улаш схемаси 6.5- расмда кўрсатилган.

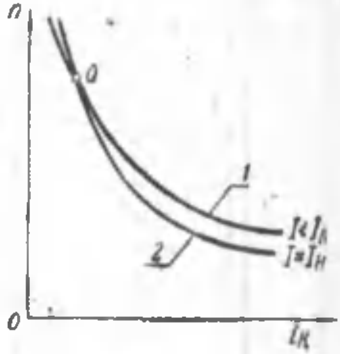
Қўзғатиш занжиридаги реостат $r_{рс}$ двигателнинг айланиш тезлигини ростлаш учун хизмат қилади. Масалан, реостатнинг қаршилиги камайганда қўзғатиш чулғамидаги ток $i_{қ}$ ортади, бинобарин, оқим Ф кўпаяди, бу эса тезликни камайтиради (6.9). $r_{рс}$ кўпайганда двигателнинг айланиш тезлиги ортади. Айланиш тезлигининг қўзғатиш токи катталигига боғлиқлиги $I = \text{const}$ ва $U = \text{const}$ бўлганда *двигателнинг ростлаш характеристикаси* $n = f(i_{қ})$ билан ифодаланади.

6.6- расмда двигателнинг якорь токининг турли қийматларида олинган иккита ростлаш характеристикаси кўрсатилган. *2* эгри чизиқ *1* эгри чизиқдан пастда жойлашади, чунки ток

$I = I_н$ бўлганда якорь занжирида кучланиш тушиши айланиш тезлигига якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсирига қараганда кучлироқ таъсир кўрсатади (6.9). Лекин қўзғатиш токининг кичик қийматларида эгри чизиқлар дастлаб кесишади (a нуқта), сўнгра эса 2 эгри чизиқ 1 эгри чизиқдан юқорида жойлашади. Бунга сабаб шуки, қўзғатиш магнитавий оқими кучсиз ($I_к$ кичик) бўлганда $I = I_н$ да якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири айланиш тезлигига якорь занжирида кучланиш тушишига қараганда кучлироқ таъсир этади. Ростлаш характеристикаларидан яна шу нарса ҳам кўриниб турибтики, қўзғатиш токининг кичик қийматларида айниқса, қўзғатиш чулғами узилганда ($I_к = 0$) двигателнинг айланиш тезлиги чексиз ортади, бу эса двигателнинг ишдан чиқишига, яъни механикавий бузилишига олиб келади.

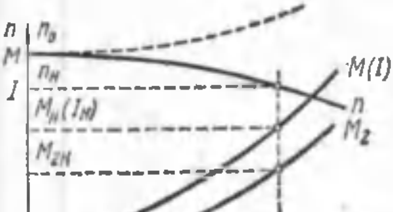


6.5- расм. Параллел қўзғатишли двигателнинг принципиал схемаси.



6.6- расм. Параллел қўзғатишли двигателнинг ростлаш характеристикаси.

Двигателнинг эксплуатацион хоссалари унинг *иш характеристикалари* билан аниқланади; иш характеристикалари деганда айланиш тезлиги n, ток катталиги I, фойдали момент M_2 ва айлантирувчи момент M нинг $U = \text{const}$ ва $I_к = \text{const}$ да двигатель валидаги қувват P_2 га боғлиқлиги тушунилади (6.7- расм).



6.7- расм. Параллел қўзғатишли двигателнинг иш характеристикалари.

Одатда *тезлик характеристикаси* дейиладиган $n = f(P_2)$ боғланишни анализ қилиш учун (6.9) формулага мурожаат қиламиз:

$$n = \frac{U - I_a \Sigma r}{C_e \Phi}.$$

Бу формуладан кўриниб турипдики, кучланиш U ўзгармас бўлганда айланиш тезлигига иккита фактор: якорь занжирида кучланиш тушиши $I_a \sum r$ ва қўзғатиш оқими Ф таъсир этади. Нагрузка кўпайганида касрнинг сурати $U - I_a \sum r$ камаяди, бунда якорь реакцияси туфайли махраж Ф ҳам камаяди. Одатда якорь реакцияси туфайли оқимнинг камайиш даражаси катта бўлмайди ва айланиш тезлигига иккинчи факторга қараганда *биринчи фактор кучлироқ* таъсир этади. Натижада двигателнинг айланиш тезлиги нагрузка ортиши билан камаяди. Агар двигателда якорь реакцияси туфайли оқим Ф анча камайиб кетса, у ҳолда айланиш тезлиги нагрузка ортиши билан 6.7- расмда пунктир эгри чизиқ билан кўрсатилгани сингари кўпаяди. Лекин бундай $n = f(P_2)$ боғлиқлик номақбулдир, чунки, у, одатда, двигателнинг турғун ишлаш шартларини қаноатлантирмайди (6.12).

Тезлик характеристикасини пасаювчи эгри чизиқ шаклига киритиш учун параллел қўзғатишли баъзи двигателларда енгил (ўрамлар сони кам бўлган) кетма-кет қўзғатиш чулғами ишлатилади, бу чулғам *стабилизацияловчи чулғам* дейилади.

Бу чулғам параллел қўзғатиш чулғамига мос уланганда унинг м. к. и якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсирини компенсациялайди ва оқим Ф ҳар қандай нагрузкада ҳам амалда ўзгармас бўлиб қолади.

Номинал нагрузкадан салт ишлаш режимига ўтганда двигатель айланиш тезлигининг процентларда ифодаланган ўзгариши *тезликнинг номинал ўзгариши* дейилади:

$$\Delta n_н = \frac{n_0 - n_н}{n_н} 100, \qquad (6.15)$$

бунда n_0 двигателнинг салт ишлаш режимидаги айланиш тезлиги.

Параллел қўзғатишли двигателлар учун, одатда $\Delta n_н = 2-8\%$ бўлади, шунинг учун параллел қўзғатишли двигателнинг тезлик характеристикаси *қаттиқ* характеристика дейилади.

Фойдали момент M_2 нинг нагрузкага боғлиқлиги (6.8) формула билан ифодаланади, $n = \text{const}$ бўлганда график $M_2 = f(P_2)$ тўғри чизиқ кўринишида бўлар эди. Лекин нагрузка ортиши билан двигателнинг тезлиги пасаяди, шунинг учун $M_2 = f(P_2)$ боғланиш эгри чизиқ кўринишида бўлади.

(6.6) ифодага кўра, $n = \text{const}$ бўлганда двигателнинг айлантирувчи моменти $M = M_0 + M_2$. Двигателнинг иш характеристикалари двигателда магнитавий исрофларнинг ўзгармас бўлишини таъминлайдиган $I_қ = \text{const}$ шароитда қурил-

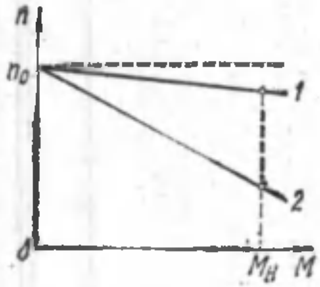
гани сабабли салт ишлаш моменти $M_0 = \text{const}$ бўлади. Шунинг учун $M = f(P_2)$ боғланиш графиги $M_2 = f(P_2)$ эгри чизиққа параллел бўлади. Агар оқим $\Phi = \text{const}$ деб қабул қилинса, у ҳолда $M_2 = f(P_2)$ график $I = f(P_2)$ боғлиқликнинг ҳам ифодаси бўлади, чунки

$$M = C_м \Phi I_а.$$

Двигателнинг *механикавий характеристикаси* $n = f(M)$ (6.10) тенглама билан аниқланади:

$$n = \frac{U}{C_е\Phi} - \frac{M\sum r}{C_е C_м \Phi^2}.$$

Агар якорь реакцияси эътиборга олинмаса, у ҳолда ($I_қ = \text{const}$ бўлгани учун) $\Phi = \text{const}$ деб қабул қилиш мумкин. Бу ҳолда параллел қўзғатишли двигателнинг механикавий характеристикаси абсциссалар ўқига бир оз оғган тўғри чизиқдан иборат бўлади (6.8-расм). Якорь занжирига уланган қаршилик қанча катта бўлса, механикавий характеристиканинг оғиш бурчаги ҳам шунчалик катта бўлади. Якорь занжирида қўшимча қаршилик бўлмаганида двигателнинг механикавий характеристикаси *табиий* характеристика дейилади. Якорь занжирига қўшимча қаршилик уланганида ($\sum r + r_қ$) механикавий характеристика *сунъий* характеристика дейилади.



6.8- расм. Параллел қўзғатишли двигателнинг механикавий характеристикалари: 1—табиий, 2—сунъий.

Айланиш тезлигининг турғунлиги, тезликни кенг чегарада бир текис ростлаш мумкинлиги—буларнинг ҳаммаси параллел қўзғатишли двигателларнинг кенг кўламда ишлатилишига сабаб бўлди.

6.8-§. Ўзгармас ток машинасининг ишлаш режимлари

Параллел қўзғатишли двигателларда қўзғатиш чулғамидаги ток ўзгармаганида ($I_қ = \text{const}$) магнитавий оқим нагрузка уланганида кам ўзгаради. Шунинг учун тақрибий равишда $\Phi = \text{const}$ деб олиш мумкин. Бу ҳолда электромагнитавий момент (5.4) якорь занжиридаги токка пропорционал бўлади ва механикавий характеристика $n = f(M)$, $n = f(I_а)$ боғланиш орқали кўрсатилиши мумкин (6.9- расм). Агар шу характеристикани координаталар ўқининг чегараларидан ташқарига иккала томонга давом эттирсак, электр машина у билан боғланган механизм томонидан валига таъсир этувчи ташқи моментнинг катталиги ва ишорасига қа-

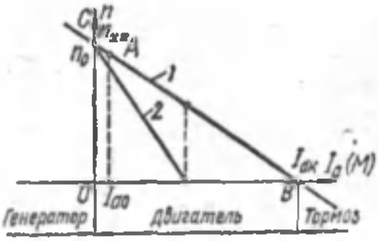
раб уч хил режимда: двигатель тормоз ва генератор режимида ишлаши мумкин.

Двигатель нагрузкасиз ишлаганда якорь занжирида ток I_{a0} катта бўлмайди. Шунинг учун айланиш тезлиги $n = n_0$ (А нуқта). Сўнгра двигатель валида айлантирувчи моментга тескари таъсир этувчи нагрузка моменти пайдо бўлиши билан якорь занжирида ток кўпаяди, айланиш тезлиги эса камаяди.

Агар тескари таъсир этувчи момент қийматини двигатель якори тўхтагунча катталаштирсак (B нуқта), двигатель токи

$$I_{ак} = \frac{U}{\sum r}$$

қийматга етади.



6.9- расм. Ўзгармас ток машинасининг иш режимлари.

Агар двигатель нагрузка моменти айлантирувчи моментдан катта бўлган механизм юритмаси (масалан, юкли трос ўраладиган барабан юритмаси) учун ишлатилса, шу механизмнинг моменти янада орттирилганда машинанинг якори яна айлана бошлайди, лекин бошқа томонга айланади.

Энди электр машинанинг валига нагрузка механизми томондан таъсир этувчи момент айлантирувчи, машинанинг электромагнитавий моменти эса тормозловчи момент бўлади, яъни электр машина *тормоз режимига* ўтади. Машина шу режимда ишлаганида якорнинг э. ю. к. и кучланишга мос ҳолда таъсир этади

$$I_a = \frac{U + E_a}{\sum r}.$$

Машинадан амалда тормоз режимида фойдаланилганда (6.13-§ га қаранг) якорь токини чеклаш чораларини кўриш зарур. Шу мақсадда якорь занжирига қўшимча қаршилик уланади, бу қаршиликнинг қиймати двигателнинг якорь токи $I_{ак} < I_{ан}$ бўлганда абсциссалар ўқи билан кесишадиган сунъий характеристикасини олишга имкон беради.

Агар двигатель салт ишлаш режимида ишлаётганида унинг валига якорнинг айланиш томонига йўналган момент қўйилса, айланиш тезлиги, ва бинобарин, э. ю. к. E_a орта бошлайди.

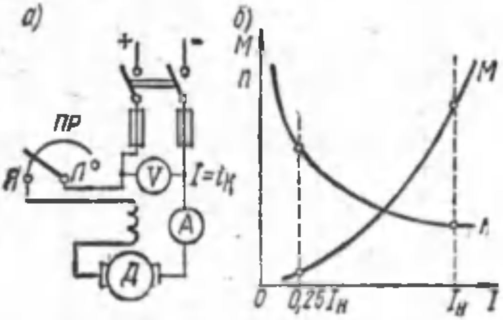
Э. ю. к. $E_a = U$ бўлганда машина тармоқдан ток олмайди (C нуқта), якорнинг айланиш тезлиги *чегаравий тезлик* дейиладиган $n_{хх}$ қийматга етади.

Машина валига қўйилган ташқи момент янада ортганда э. ю. к. E_a кучланишдан кўпайиб кетади, якорь занжирида эса яна ток пайдо бўлади, лекин бу ток бошқа йўналишда бўлади. Бунда машина *генератор режимига* ўтади: якорнинг ай-

ланишига сарфланган механикавий энергия электр энергиясига айланади ва тармоққа ўтади. Двигателни генератор режимига ўтказишдан двигателни тормозлашда фойдаланилади, чунки генератор режимида электромагнитавий момент тормозловчи момент бўлиб қолади (рекуператив тормозланиш).

6.9- §. Кетма-кет қўзғатишли двигатель

Бу двигателда қўзғатиш чулғами якорь занжирига кетма-кет уланган бўлади (6.10- расм, *а*), шунинг учун унда магнитавий оқим Ф нагрузка токи $I_а$ га боғлиқ булади.



6.10- расм. Кетма-кет қўзғатишли двигателнинг принципиал схемаси (*а*) ва иш характеристикалари (*б*).

Нагрузка кам бўлганда машинанинг магнитавий системаси тўйинмаган ва магнитавий оқим нагрузка токига тўғри пропорционал бўлади:

$$Ф = KI_а.$$

Бу ҳолда электромагнитавий момент ифодасини (5.4) қуйидагича ёзиш мумкин:

$$M = C_м K I_а I_а = C'_м I_а^2 \qquad (6.16)$$

Айланиш тезлигининг формуласи (6.9) қуйидаги кўринишга келади:

$$n = \frac{U - I_а \sum r}{C_е K I_а} = \frac{U - I_а \sum r}{C'_е I_а} \qquad (6.17)$$

Бу ифодаларда K—пропорционаллик коэффициенти.

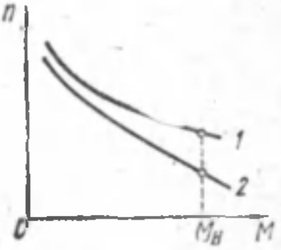
Шундай қилиб, магнитавий система тўйинмаган ҳолатда бўлганда двигателнинг айлантирувчи моменти ток квадратига тўғри пропорционал, айланиш тезлиги эса нагрузка токига тескари пропорционал бўлади.

6. 10-расм, *б* да кетма-кет қўзғатишли двигателнинг *иш характеристикалари* $M = f(I_а)$ ва $n = f(I_а)$ берилган. Нагрузка кўп бўлганда двигателнинг магнитавий системаси тўйина-

ди. Бу ҳолда магнитавий оқим нагрузка ошганида амалда ўзгармайди ва двигателнинг характеристикалари деярли тўғри чизиқ кўринишида бўлади.

Кетма-кет қўзғатишли двигателнинг тезлик характеристикаси нагрузка ўзгарганида двигателнинг айланиш тезлиги кескин ўзгаришини кўрсатади. Бундай тезлик характеристикасини *юмшоқ* характеристика дейиш қабул қилинган

Кетма-кет қўзғатишли двигателнинг нагрузкаси камайганида айланиш тезлиги кескин ортади ва номинал нагрузканинг 25 процентидан кам нагрузкада тезлик катталиги двигатель учун хавфли даражага етиши — двигатель учун „хавфли ҳолат" содир бўлиши мумкин („разнос"). Шунинг учун *валидаги нагрузка номинал нагрузканинг 25% идан кам бўлганда кетма-кет қўзғатишли двигателни ишлатиш ёки уни ишга туширишга рухсат этилмайди.*



6.11- расм. Кетма-кет қўзғатишли двигателнинг механикавий характеристикалари: *1*—табиий; *2*—сунъий.

Хавфсиз ишлаши учун кетма-кет қўзғатишли двигателнинг вали ишчи механизмга муфта ёки тишли узатма воситасида уланган бўлиши керак. Тасмали узатма ишлатиш ярамайди, чунки тасма узилиб ёки чиқиб кетса двигатель учун „хавфли ҳолат" содир бўлиши мумкин. Двигателнинг катта айланиш тезликларида ишлаши мумкинлигини ҳисобга олиб, кетма-кет қўзғатишли двигателлар, ГОСТ 183—66 га мувофиқ, заводда шчитига ёзилган максимал тезликдан 20% катта, номинал тезлигидан камида 50% юқори тезликда 2 *минут* давомида айлантириб синалади.

Кетма-кет қўзғатишли двигателнинг механикавий характеристикалари $n=f(M)$ 6.11-расмда кўрсатилган. Механикавий характеристикаларининг кескин пасаювчи эгри чизиқлари кетма-кет қўзғатишли двигателнинг исталган механикавий нагрузкада турғун ишлашини таъминлайди. Бу двигателларнинг нагрузка токининг квадратига пропорционал бўлган катта айлантирувчи момент ҳосил қилиш хусусияти, айниқса, ишга тушириш шароитлари оғир бўлганда ва двигатель ортиқча нагрузка билан ишлаган ҳолларда муҳим аҳамиятга эга, чунки двигателнинг нагрузкаси аста-секин оширилганда двигателга кириш олдидаги қувват унинг айлантирувчи моментига нисбатан секинроқ кўпаяди.

Кетма-кет қўзғатишли двигателнинг бу хусусияти улардан транспортда тортиш двигателлари, шунингдек, кўтариш қурилмаларида кран двигателлари сифатида кенг кўламда қўлланилишининг сабабларидан биридир.

Кетма-кет қўзғатишли двигатель тезлигининг номинал ўзгариши ушбу формуладан аниқланади:

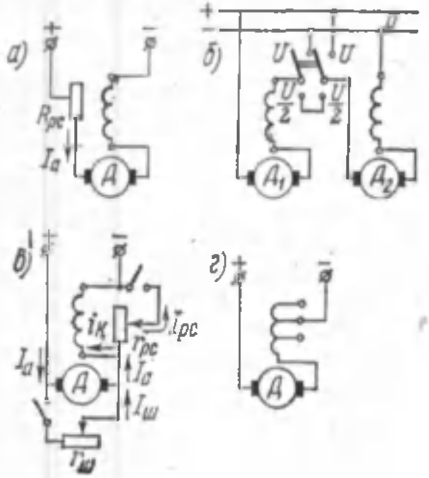
$$\Delta n_{н} = \frac{n_{[0,25]} - n_{н}}{n_{н}} \cdot 100 \qquad (6.18)$$

бунда $n_{[0,25]}$ — двигателнинг нагрузкаси номинал нагрузканинг 25% и қадар бўлгандаги айланиш тезлиги.

6.10-§. Кетма-кет қўзғатишли двигателларнинг айланиш тезлигини ростлаш

Кетма-кет қўзғатишли двигателларнинг айланиш тезлигини икки хил усулда: кучланиш U ни ўзгартириш ва қўзғатиш чулғамининг магнитавий оқимини ўзгартириш йўли билан ростлаш мумкин.

Биринчи усулда ростлаш реостати $R_{рс}$ якорь занжирига кетма-кет қилиб уланади (6.12-расм, *а*). Бу реостатнинг қаршилиги кўпайиши билан двигателга кириш олдидаги кучланиш камаяди ва унинг айланиш тезлиги камаяди. Ростлашнинг бу усули, асосан, кам қувватли двигателларда қўлланилади. Катта қувватли двигателларда эса $R_{рс}$ да энергия исрофи кўп бўлиши сабабли бу усул тежамсиз ҳисобланади. Бундан ташқари, двигателнинг иш токига ҳисобланадиган реостат $R_{рс}$ қўпол бўлади ва қимматга тушади.



6.12-расм. Кетма-кет қўзғатишли двигателларнинг айланиш тезлигини ростлаш: *а* — якорь занжиридаги реостат билан; *б* — уланиш схемасини ўзгартириш билан, *в* — қўзғатиш токини ўзгартириш билан; *г* — қўзғатиш чулғамини секцияларга ажратиш билан.

Бир типдаги бир неча двигателлар биргаликда ишлаганида тезликни ростлаш учун уларнинг бир-бирига нисбатан уланиш схемалари ўзгартирилади (6.12-расм, *б*). Масалан, двигателлар параллел уланганида улардан ҳар бири тармоқнинг тўлиқ кучланиши таъсирида бўлади, иккита двигатель кетма-кет уланганида эса ҳар қайси двигателга тармоқ кучланишининг ярми тўғри келади.

Кўп сондаги двигателлар бир вақтда ишлаганида уларни улашнинг бир неча хил вариантлари бўлиши мумкин. Ростлашнинг бундай усули бир типдаги бир неча тортиш двигателлари ўрнатилган электровозларда қўлланилади.

Двигатель тезлигини магнитавий оқим ҳисобига уч хил вариантда ростлаш мумкин: қўзғатиш чулғамини реостат $r_{рс}$ билан шунтлаш, қўзғатиш чулғамини секцияларга ажратиш ва якорь чулғамини реостат $r_{ш}$ билан шунтлаш. Қўзғатиш чулғамини шунтловчи реостат $r_{рс}$ ни улаш (6.12-расм, *в*), шунингдек, бу реостатнинг қаршилигини камайтириш натижасида қўзғатиш токи камаяди $I_{қ} = I_{а} - I_{рс}$, бинобарин, тезлик ортади.

Бу усул аввалги усулга (6.12-расм, *а*) қараганда тежамлироқ, шу сабабли кўп қўлланилади. Ростлашнинг бу усулини баҳолаш учун *ростлаш коэффициенти* деган тушунча киритилган:

$$K_{рс} = \frac{I_{рс}}{I_{а}} 100\%.$$

Одатда реостат $r_{рс}$ нинг қаршилиги $K_{рс} \geqslant 50$ % бўладиган қилиб қабул қилинади.

Қўзғатиш чулғамини секциялашда (6.12-расм, *г*) чулғам ўрамларининг бир қисми узиб қўйилиши туфайли *айланиш* тезлиги кўпаяди.

Якорь чулғамини реостат $r_{ш}$ билан шунтлашда (6.12-расм, *в*) қўзғатиш токи кўпаяди $I_{қ} = I_{а} + I_{ш}$, натижада айланиш тезлиги камаяди.

Ростлашнинг бу усули тезликни сифатли қилиб ростлашга имкон берса ҳам тежамли эмаслиги сабабли жуда кам қўлланилади.

6.11-§. Аралаш қўзғатишли двигатель

Аралаш қўзғатишли двигателда иккита: параллел ва кетма-кет қўзғатиш чулғами бўлади (6.13-расм). Бу двигателнинг айланиш тезлиги қуйидаги ифода ёрдамида аниқланади:

$$n = \frac{U - I_{a}\sum r}{C_{e}(\Phi_1 \pm \Phi_2)}, \qquad (6.19)$$

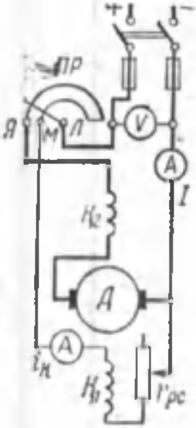
Бунда Φ_1 ва Φ_2 — параллел ва кетма-кет қўзғатиш чулғамларининг оқимлари.

„Плюс“ ишора қўзғатиш чулғамлари бир-бирига *мос* уланган (чулғамларнинг м. к. лари қўшилади) ҳолга тўғри келади. Бу ҳолда нагрузка кўпайиши билан умумий магнитавий оқим кўпаяди (кетма-кет қўзғатишли чулғамнинг оқими Φ_2 ҳисобига) ва натижада двигателнинг айланиш тезлиги камаяди. Чулғамлар бир-бирига *қарши* уланганида нагрузка кўпайса, оқим Φ_2 машинани магнитсизлайди („минус“ ишора), бу эса, аксинча, айланиш тезлигини оширади.

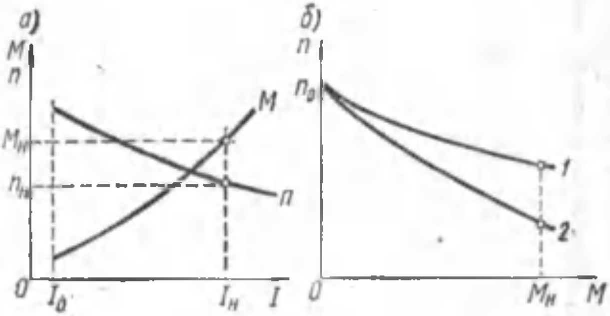
Бунда двигателнинг ишлаши турғун бўлмайди, чунки нагрузка кўпайиши билан айланиш тезлиги чексиз орта боради. Лекин кетма-кет чулғамдаги ўрамлар сони кам бўлганда нагрузка ортиши билан айланиш тезлиги ортмайди ва ҳар қандай нагрузкада ҳам амалда ўзгармаслигича қолаверади.

6.14-расм, *а* да аралаш қўзғатишли двигателнинг қўзғатиш чулғамлари бир-бирига мос уланган ҳол учун иш характеристикалари кўрсатилган. Аралаш қўзғатишли двигателнинг механикавий характеристикалари, кетма-кет қўзғатишли двигателнинг механикавий характеристикаларидан фарқ қилиб, секинроқ пасаювчи кўринишда бўлади (6.14-расм, *б*).

Аралаш қўзғатишли двигателнинг кетма-кет қўзғатишли двигателга нисбатан кўпгина афзалликлари бор. Бу двигатель салт ишлай олади, чунки параллел чулғам оқими Φ_1 двигателнинг салт ишлаш режи-



6.13- расм. Аралаш қўзғатишли двигателни улаш схемаси.



6.14- расм. Аралаш қўзғатишли двигателнинг иш (*а*) ва механикавий (*б*) характеристикалари.

мидаги айланиш тезлигини чеклаб қўяди ва двигатель учун хавфли ҳолатни бартараф қилади. Айланиш тезлиги параллел қўзғатиш занжиридаги реостат $r_{рс}$ воситасида ростланади.

Лекин аралаш қўзғатишли двигателда иккита қўзғатиш чулғами борлиги учун у двигателларнинг бошқа типларига нисбатан қиммат туради, шу сабабли уларнинг ишлатилиши ҳам чекланган дир

6.12-§. „Генератор—двигатель" системаси

Ўзгармас ток электрдвигателларини ишлатишда уларни ишга тушириш ва тезлигини ростлаш масалалари катта аҳамиятга эга.

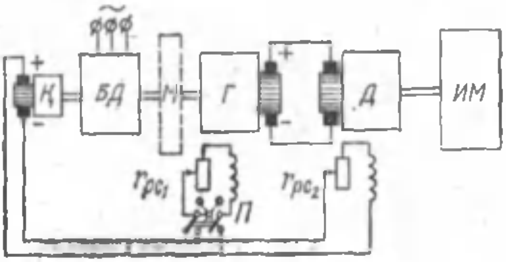
Юқорида кўриб ўтилган бошқариш ва ишга тушириш усуллари одатда, кам ва ўрта қувватли двигателлар учун қўлланилади. Катта қувватли двигателларда бу усуллар яроқсиздир, чунки двигателни тез-тез тўхтатиш ва ишга тушириш натижасида ишга тушириш реостатида исрофлар кўпайиб кетади

Катта қувватли двигателларни ростлаш ва ишга туширишда „генератор – двигатель" (Г—Д) схемасидан (6.15-расм) фойда-

ланиш анча қулай. Бирламчи двигатель БД (одатда ўзгарувчан ток двигатели) мустақил қўзғатишли ўзгармас ток генератори *Г* ни айлантиради. Кучланиш бевосита шу генераторнинг чўткаларидан ижрочи механизм ИМ ни ҳаракатга келтирувчи ростланаётган двигатель Д нинг чўткаларига берилади. Двигателнинг тезлиги генератор Г нинг қўзғатиш занжиридаги реостат воситасида генераторнинг чиқиш клеммаларидаги кучланишни ўзгартириш йўли билан ростланади.

Переключатель П генераторнинг қўзғатиш чулғамида ток йўналишини ўзгартиришга, бинобарин, генератор чўткаларининг қутбийлигини ўзгартиришга имкон беради, бунинг натижасида двигатель Д нинг айланиш йўналиши ўзгаради.

Г—Д схема двигателни реостатсиз ишга туширишни назарда тутади. Шу мақсадда ишга тушириш даврида двигатель чўткаларидаги кучланиш дастлаб кичикроқ қилинади, сўнгра



6.15-расм. „Генератор – двигатель" схемаси.

номинал қийматга етгунча аста-секин ошириб борилади. Двигатель шундай тартибда ишга туширилганда ҳаддан ташқари катта ишга тушириш токлари пайдо бўлмайди.

Двигатель валига тушадиган нагрузка анча ўзгариб турадиган ҳолларда бирламчи двигатель валига маховик М ўрнатилади, у тезлик ортганда энергияни тўплайди ва тезлик камайганда бу энергияни беради. Бу двигателга тушадиган нагрузканинг бир меъёрда бўлишини таъминлайди ва тезликнинг ўзгаришини камайтиради. Бундай система „генератор—двигатель—маховик" (Г—Д—М) дейилади. Г—Д—М система нагрузкаси катта қийматдан салт ишлашгача ўзгариб турадиган механизмларда, масалан, шахта подъёмниклари ва прокат станларининг электр юритмаларида ишлатилади.

6.13-§. Ўзгармас ток двигателларини тормозлаш

Двигателни тез тўхтатиш ёки унинг айланиш тезлигини камайтириш зарур бўлганда двигатель тормозланади.

Двигателни механикавий тормозлар воситасида ёки электр машинанинг электромагнитавий моментидан фойдаланиб тор-

мозлаш мумкин. Иккинчи усул *электр ёрдамида тормозлаш* дейилади.

Электр ёрдамида тормозлаш уч хил: рекуператив, динамикавий ва тескари улаш йўли билан тормозлашга бўлинади.

Рекуператив тормозлаш энг тежамли усулдир, чунки у двигателни генератор режимига ўтказиб, энергияни тармоққа беришга асосланган.

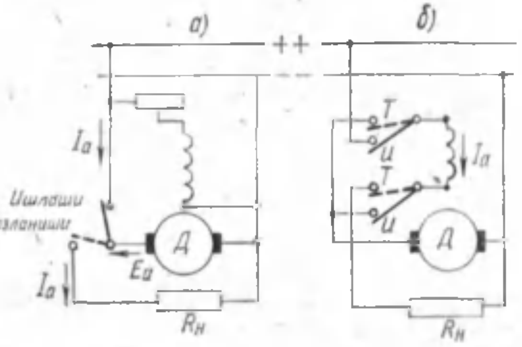
Агар двигатель валидаги ташқи момент айлантирувчи бўлиб қолса, айланиш тезлиги чегаравий тезлик n_{xx} дан катта бўлиб қолади (6.9-расмга қаранг). Бунда э. ю. к. E_a тармоқ кучланиши U дан ортиб кета бошлайди. Бу ҳолда якорь токи I_a ўз йўналишини ўзгартиради ва машина генератор режимига ўтади (6.8-§ га қаранг). Машинанинг электромагнитавий моменти ҳам ўз йўналишини ўзгартиради ва машина валига таъсир этувчи ташқи моментга нисбатан тормозловчи бўлиб қолади. Тормозлаш моментининг катталиги қўзғатиш токи билан ростланади.

Рекуператив тормозлашни фақат параллел қўзғатишли двигателлардагина амалга ошириш мумкин. Кетма-кет қўзғатишли двигателларда рекуператив тормозлаш мумкин эмас. Бунга сабаб шуки, машина кетма-кет қўзғатилганда, у генератор режимида ишлаганида, чиқиш клеммаларидаги кучланиш кўп даражада нагрузка токига боғлиқ бўлади (5.9-расмга қаранг) ва шунинг учун нагрузка токининг ҳар қандай тасодифий кўпайиши машинанинг чиқиш клеммаларида кучланишнинг ортишига, бинобарин, нагрузка токининг янада кўпайишига олиб келади. Нагрузка токи тасодифан камайганида машинанинг чиқиш клеммаларида кучланиш камаяди ва машина генератор режимидан двигатель режимига ўтади. Кетма-кет қўзғатишли двигателни рекуператив тормозлаш учун уни мустақил қўзғатишга ўтказиш керак, бунда қўзғатиш чулғами махсус генераторга (қўзғатувчига) уланади.

Динамикавий тормозлаш двигатель якорининг чулғамини тармоқдан узиш ва нагрузка қаршилиги $R_н$ га улашга асосланган (6.16-расм, *а*). Бунда айланувчи массаларнинг механикавий энергияси электр энергиясига айланади, бу энергия эса, ўз навбатида, қаршилик $R_н$ нинг ва якорь занжири бошқа элементларининг исишига сарфланади. Динамикавий тормозлашда якорь токи ўз йўналишини ўзгартиради, у ҳосил қилган электромагнитавий момент эса айланувчи қисмларга тормозловчи таъсир кўрсатади. Динамикавий тормозлаш тезлиги қўзғатиш токининг катталигини ўзгартириш йўли билан ростланади.

Кетма-кет қўзғатишли двигателларни динамикавий тормозлашда машина магнитсизланишининг олдини олиш учун қўзғатиш чулғамини ундаги токнинг йўналиши динамикавий тормозлашга ўтилганда ўзгармай қоладиган қилиб тескари улаш лозим (6.16 расм, *б*).

Тескари улаш йўли билан тормозлаш усули двигателни тез тормозлаш зарур бўладиган ҳолларда қўлланилади. Унинг моҳияти шундан иборатки, қўзғатиш чулғамида ёки якорь чулғамида токнинг йўналишини ўзгартириш йўли билан двигатель электромагнитавий моментининг йўналиши ўз-



6.16-расм Параллел (а) ва кетма-кет (б) қўзғатишли двигателларни динамикавий тормозлаш схемаси.

гартирилади ва бу момент тормозловчи бўлиб қолади. Одатда двигателнинг айланиш йўналишини ўзгартириш (реверсирлаш) дан илгари тескари улаш усули билан тормозланади.

6.14-§. Ўзгармас ток двигателининг генератор режимида ишлатилиши

Электр машиналарини ишлатишда двигатель сифатида ишлатишга мўлжалланган машинадан баъзан генератор сифатида фойдаланиш зарурати туғилади. Электродвигателнинг якори чулғамида ҳосил бўладиган э. ю. к. $E_{дв}$ кучланиш U дан якорь занжиридаги кучланиш тушишининг катталиги $I_a \sum r$ қадар кичик бўлади. Лекин машинадан генератор сифатида фойдаланишда биз ундан кучланиш U га қараганда $I_a \sum r$ қадар катта э. ю. к. $E_{ген}$ олишимиз керак:

$$E_{дв} = U - I_a \sum r \qquad E_{ген} = U + I_a \sum r.$$

Формуладан кўриниб турибдики, якорь чулғамининг э. ю к. и

$$E_a = \frac{PN}{60a} \Phi n$$

га тенг; қўзғатиш оқими ўзгармас бўлганда машинанинг э. ю. к. и катталигини (генератор режимида ишлаганида) фақат

айланиш тезлиги ҳисобига ошириш мумкин. Бунда айланиш тезлигини қанчага ошириш зарурлиги қуйидаги нисбатдан аниқланади:

$$\frac{n_{ген}}{n_{дв}} = \frac{E_{ген}}{E_{дв}}.$$

Лекин машиналарни ишлатиш шуни кўрсатадики, двигатель генератор режимида нормал ишлаши учун Ф=const бўлганда машинанинг айланиш тезлигини яна 5—10 % ошириш лозим экан. У ҳолда

$$n_{ген} = n_{дв} \frac{E_{ген}}{E_{дв}} \cdot (1{,}05—1{,}10) \quad 0)$$

Мисол. Машина двигатель режимида ишлаганида унга тегишли маълумотлар қуйидагича бўлган: $n_{дв} = 950$ *айл/мин*; $U_{дв} = 220$ *в*; $I_н = 55$ *а*, $I_к =$ = *а*. Шу машина генератор сифатида ишлаганида ($U_{ген} = 230$ в) унинг якорини қандай тезлик билан айлантириш лозимлигини аниқланг. Якорь занжиридаги кучланиш тушиши $I_a \sum r = 5{,}5$ *в*.

Ечилиши. Машинанинг двигатель режимида ва генератор режимида ишлаганидаги э. ю. к. и ни аниқлаймиз:

$$E_{дв} = U - I_a \sum r = 220 - 5{,}5 = 214{,}5 \text{ в}$$

$$E_{ген} = U + I_a \sum r = 230 + 5{,}5 = 235{,}5 \text{ в}.$$

Бу қийматларни (6.20) формулага қўйсак, қуйидагини оламиз:

$$n_{ген} = 950 \frac{235{,}5}{214{,}5} 1{,}075 = 11.0 \text{ айл/мин}.$$

Энди машина двигатель режимидан генератор режимига ўтказилганда унинг қуввати қандай ўзгаришини аниқлаймиз. Якорь чулғами ўта қизиб кетмаслиги учун машинанинг якори занжиридаги ток катталиги машина двигатель сифатида ишлаганидаги якорь токига, яъни

$$I_a = I_{дв} - I_к$$

га нисбатан ўзгармас бўлиб қолиши керак.

Машина генератор сифатида ишлаганида қўзғатиш чулғамига ток якорь занжиридан ўтади. Шунинг учун генераторнинг чиқиш клеммасидаги ток

$$I_{ген} = I_a - I_к \text{ га тенг}$$

ёки

$$I_{ген} = (I_{дв} - I_к) - I_к = I_{дв} - 2I_к$$

У ҳолда машинанинг генератор режимига ўтказилгандаги фойдали қуввати

$$P_{2\,ген} = U_{ген} \cdot I_{ген} = U_{ген}(I_{дв} - 2I_к).$$

Кўриб чиқилаётган мисолда генераторнинг фойдали қуввати

$$P_{2\,ген} = 230\,(55 - 2 \cdot 2) = 11{,}7 \text{ квт},$$

VII боб

УМУМИЙ МАҚСАДЛАРДА ИШЛАТИЛАДИГАН ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАЛАРИНИНГ АСОСИЙ ТИПЛАРИ ВА МАХСУС ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАЛАРИ

7.1- §. *Асосий тушунчалар*

Электр машинасозлиги саноатида қуввати бир неча ваттдан бир неча минг киловаттгача бўлган, турли шароитларда ишлатишга мўлжалланган ўзгармас ток машиналари ишлаб чиқарилади.

Ўзгармас ток электр машиналарига қўйиладиган талабларга қараб улар умумий мақсадларда ишлатиладиган машиналар билан махсус машиналарга бўлинади. Кўпчилик ишлатилиш соҳалари учун умумий бўлган талаблар комплексини қаноатлантирадиган электр машина *умумий* мақсадларда *ишлатиладиган электр машина* дейилади; уларга қўйиладиган талаблар жумласига айрим соҳаларда ишлатиладиган электр машиналаргагина хос бўлган специфик талаблар кирмайди. Электр машиналарнинг айрим ишлатилиш соҳаларигагина хос бўлган специфик талабларни ҳисобга олган ҳолда ясалган машина *махсус электр машина* дейилади.

Саноатда кенг кўламда фойдаланиладиган умумий мақсадларда ишлатиладиган электр машиналар ҳам, махсус машиналар ҳам сериялар билан тайёрланади.

Машиналар серияси конструкцияси бир типда бўлиб, қўйиладиган талабларнинг умумий комплексини қаноатлантирадиган электр машиналарнинг қуввати ошиб борадиган қаторидир.

Умумий мақсадларда ишлатиладиган ўзгармас ток машиналарининг энг кўп тарқалганлари ягона П сериядаги машиналардир. Қуввати 0,3 дан 200 *квт* гача бўлган шу сериядаги электр машиналарга 110 ва 220 *в* кучланишга мўлжалланган, айланиш тезликлари 3000, 1500, 1000, 750 ва 600 *айл/минут* бўлган электродвигателлар ва 115 ҳамда 230 *в* кучланишга мўлжалланган, айланиш тезликлари 2850 ва 1450 *айл/минут* бўлган генераторлар киради.

П сериядаги электродвигателлар айланиш тезлигини кенг чегарада ва бир меъёрда ростлаш талаб қилинадиган саноат юритмаларида ишлатишга, генераторлар эса ўзгармас ток электр занжирларини таъминлашга мўлжалланган.

Махсус электр машиналар саноатнинг қайси тармоғида ишлатишга мўлжалланган бўлса, шу тармоқнинг талабларига мувофиқ ҳолда лойиҳаланади. Шунинг учун махсус ўзгармас ток электр машиналарининг жуда кўп турлари бор. Ушбу бобда шундай машиналарнинг энг кўп тарқалган турларигина кўриб чиқилади.

7.2- §. Кранларда ва металлургияда ишлатиладиган двигателлар ҳамда тортувчи двигателлар

Анчагина ортиқча нагрузка билан ишлайдиган ва тез-тез тескари айланиб турадиган механизмларнинг юритмаси учун МП сериядаги ўзгармас ток двигателлари ишлатилади. Бу двигателлардан кран-кўтариш қурилмалари билан металлургия қурилмаларининг электр юритмасида фойдаланилади.

Тортувчи электродвигателлар электрлаштирилган транспортнинг ҳаракатланувчи составини юргизиш учун мўлжалланган. Бир хил режимда ишлайдиган машиналарга нисбатан тортувчи двигателларнинг ишлаш шароити анча оғир: улар тез-тез ишга тушириб тўхтатиб турилади, ишлаш жараёнида кучланиш кўп ўзгаради, двигатель чўткалар ва чўткатутқичларнинг вибрациясига сабаб бўлувчи динамикавий таъсирлар остида бўлади ва ҳоказо.

Ана шуларга кўра тортувчи двигателларнинг конструкцияси, айниқса мустаҳкам, коммутацияси яхши созланган, чўткатутқичлар махсус конструкцияда ишланган бўлади.

Тортувчи электродвигателлар кетма-кет қўзғатиладиган ва аралаш қўзғатиладиган (кетма-кет қўзғатиши кучлироқ) чулғамли қилиб ясалади. Шуни эслатиб ўтамизки, кетма-кет қўзғатишли двигателлар оғир иш шароитларида бошқа двигателларга нисбатан яхшироқ ишлайди (6.9- §га қаранг).

7.3- §. Электр-машинавий кучайтиргич

Генератор режимида ишлайдиган ва электр сигналларини кучайтириш учун мўлжалланган электр машина *электр-машинавий кучайтиргич* (ЭМК—ЭМУ) дейилади. Электр-машинавий кучайтиргичлар автоматика системаларида ишлатилади.

Мустақил қўзғатишли ўзгармас ток генератори энг оддий ЭМК (ЭМУ) дир (5.3- расм, *а* га қаранг). Генераторнинг чиқиш клеммасидаги кучланиш қўзғатиш токига боғлиқ бўлгани сабабли (5.3-расм, *б* га қаранг) қўзғатиш токини ўзгартириш йўли билан генераторнинг чиқиш клеммаларидаги кучланишни бошқариш мумкин.

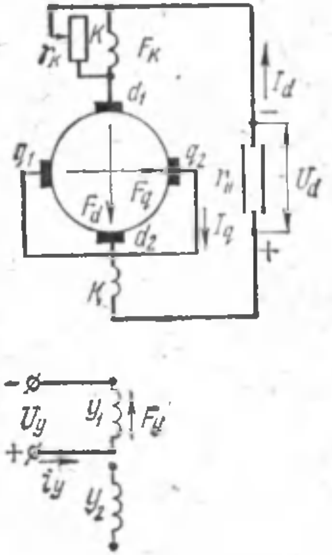
Демак, қўзғатиш чулғамининг занжиридаги кичик қувват билан якорь занжиридаги катта қувватни бошқариш мумкин.

Лекин мустақил қўзғатишли генератор принципида ясалган ЭМК лар кенг кўламда ишлатилмайди, чунки улар қувват бўйича етарли даражада катта кучайтириш коэффициенти ҳосил қила олмайди (80—100 дан ошмайди); кучайтиргичдан чиқишдаги қувватнинг кучайтиргичга кириш олдидаги қувватга нисбати кучайтириш коэффициенти дейилади.

Автоматикада *кўндаланг майдонли электр-машинавий кучайтиргичлар* энг кўп ишлатиладиган бўлди.

Одатдаги ўзгармас ток генераторидан фарқ қилиб, кўндаланг майдонли электр–машинавий кучайтиргичда якорь чулғамидаги ток ҳосил қиладиган магнитавий оқим—*якорь реакциясининг кўндаланг оқими* асосий ишчи оқим ҳисобланади.

ЭМК коллекторида иккита чўткалар комплекти ўрнатилган. Чўткаларнинг бир комплекти q_1q_2 (7.1-расм) асосий қутбларнинг кўндаланг ўқи бўйлаб, яъни геометрик нейтралда жойлашган; чўткаларнинг иккинчи комплекти d_1d_2 асосий қутбларнинг бўйлама ўқи бўйлаб жойлашган. q_1q_2 чўткалар қисқа туташтирилган, d_1d_2 чўткаларга эса ЭМК нинг иш занжири уланган.



7.1-расм. Кўндаланг майдонли ЭМК схемаси.

Кучайтиргичда якорь чулғамидан ташқари, битта ёки бир неча бошқариш чулғамлари (y_1, y_2), компенсацион чулғам K ва қўшимча қутблар чулғами $Қ$ бўлади. Кучайгиргич якори электродвигатель воситасида айлантирилади.

Агар бошқариш чулғамларидан бирига $U_б$ кучланиш берилса, у ҳолда бу чулғамда бошқариш токи $i_б$ пайдо бўлади, бу ток бошқариш чулғамининг магнитловчи кучи $F_б = i_б w_б$ ни ҳосил қилади. Бу куч, ўз навбатида, магнитавий оқим $Ф_б$ ни вужудга келтиради ва бу оқим таъсирида q_1q_2 чўткалар занжирида э. ю. к. E_q пайдо бўлади. Бу э. ю. к. унчалик катта эмас, лекин q_1 q_2 чўткалар қисқа туташтирилганлиги сабабли э. ю. к. E_q анча катта ток I_q ҳосил қилади. Якорь чулғамидаги ток I_q магнитловчи куч F_q ва асосий қутбларнинг кўндаланг ўқи, яъни геометрик нейтрал бўйлаб йўналган ва фазода қўзғалмас бўлган магнитавий оқим $Ф_q$ ни ҳосил қилади. Қўзғалмас оқим $Ф_q$ да айланаётган якорь чулғамида э. ю. к. E_d ҳосил бўлади, бу э. ю. к. бўйлама чўткалар d_1d_2 дан олинади.

Нагрузка $r_н$ ЭМК нинг чиқиш клеммаларига уланганда э. ю. к. E_q чўткалар d_1d_2 занжирида ишчи ток I_d ни ҳосил қилади.

Шундай қилиб, бошқариш чулғамининг кичикроқ қуввати икки босқичда кучайтирилади: дастлаб бу қувват „бошқариш занжири – кўндаланг занжир“ босқичида, сўнгра эса „кўндаланг занжир—бўйлама (ишчи) занжир“ босқичида кучайтирилади.

Қувватнинг ҳар қайси босқичда кучайтирилиши *кучайтириш коэффициенти* билан характерланади. „Бошқариш зан-

жири — кўндаланг занжир“ босқичида кучайтириш коэффициенти кўндаланг занжирдаги қувват $P_q = E_q I_q$ нинг бошқариш қуввати $P_б = U_б I_б$ га нисбати билан аниқланади:

$$K_{к_1} = \frac{P_q}{P_б}.$$

„Кўндаланг занжир—бўйлама (ишчи) занжир“ босқичида ҳам кучайтириш коэффициенти шу занжирлардаги қувватларнинг нисбати билан аниқланади:

$$K_{к_2} = \frac{P_d}{P_q},$$

бунда $P_d = U_d I_d^{*}$ — кучайтиргичнинг иш занжиридаги, яъни $d_1 d_2$ чўткалар занжиридаги қувват.

ЭМК нинг умумий кучайтириш коэффициенти кучайтириш коэффицентларининг кўпайтмасига тенг:

$$K_к = K_{к_1} \cdot K_{к_2} = \frac{P_q}{P_б} \cdot \frac{P_d}{P_q} = \frac{P_d}{P_б}. \qquad (7.1)$$

ЭМК нинг кучайтириш коэффициенти 2000—20000 гача етиши мумкин.

Шуни эсда сақлаш керакки, ЭМК нинг чиқиш клеммаларидаги қувват (P_d) юритма электродвигателнинг ўзгартирилган механикавий қувватидир. Лекин бу қувват катталиги (20 *квт* ва ундан ортиқ бўлиши мумкин) бошқариш занжирининг одатда 0,1 — 1,0 *вт* га тенг кичик бошқариш қуввати ёрдамида бошқарилади.

Кучайтиргичда бир неча бошқариш чулғамининг борлиги ЭМК дан олинадиган қувватни тўғри ва тескари алоқалардан фойдаланиб, бир вақтнинг ўзида бир неча сигналлар билан бошқаришга имкон беради.

Юқорида айтиб ўтилганидек, ЭМК да қўшимча қутблар чулғами Қ ва компенсацион чулғам К бўлади.

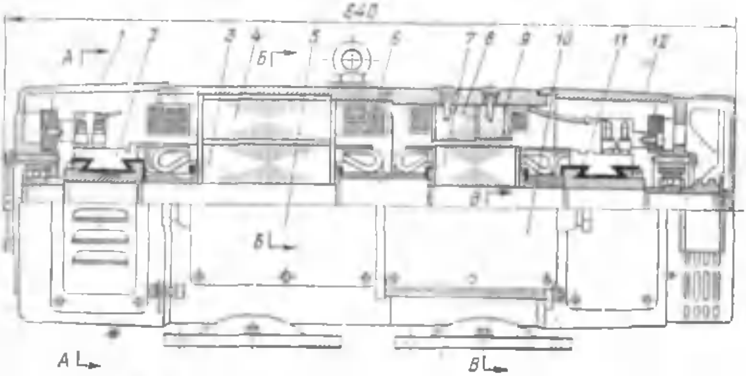
Қўшимча қутблар чулғами бўйлама чўткалар $d_1 d_2$ да коммутацияни яхшилашга хизмат қилади.

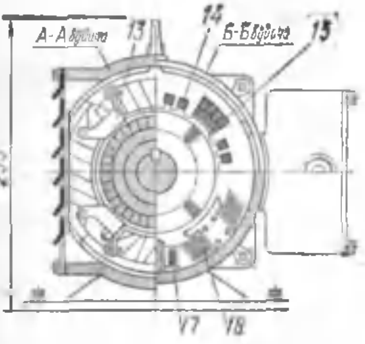
Компенсацион чулғамга келсак, у реакциянинг бўйлама ўқ бўйича магнитсизловчи таъсирини йўқотишга мўлжалланган.

Гап шундаки, ЭМК нинг иш занжиридаги ток (нагрузка токи) I_d якорнинг бўйлама ўқ бўйича магнитловчи кучи F_d ни ҳосил қилади, бу куч бошқариш чулғамининг магнитловчи кучи $F_б$ га қарши йўналган. Бу куч магнитловчи F_d кучдан анча кам. Шунинг учун ҳатто кучайтиргич нагрузкаси кичик бўлганда ҳам якорь реакциясининг бўйлама ўқ бўйича магнитсизловчи таъсири шу қадар кучли бўладики, бунда кучайтиргич магнитсизланади ва унинг чиқиш клеммаларидаги кучланиш нолга тушади.

Бу номақбул ҳодиса рўй бермаслиги учун ЭМК статорида якорнинг иш занжирига кетма-кет уланган компенсацион чул-

ғам жойлаштирилади. Иш занжирида ток I_d пайдо бўлиши билан компенсацион чулғамда магнитловчи куч $F_к$ вужудга келади; бу куч бўйлама ўқ бўйича якорь реакциясининг магнитловчи кучи F_d га қарши йўналади. Шу йўл билан якорь реакциясининг бўйлама ўқ бўйича магнитсизловчи таъсири йўқотилади (компенсация қилинади). Тўлиқ компенсация қилиш





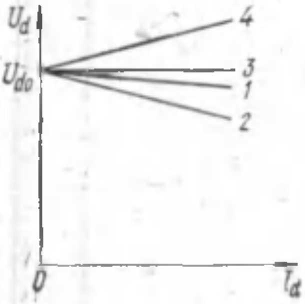
7.2- расм. ЭМУ12П типидаги кучайтиргичнинг умумий кўриниши (қирқими):

1—олдинги подшипниклар шчити *2*—кучайтиргич коллектори; *3*—кучайтиргич якори; *4*—кучайтиргич статори; *5*—кучайтиргичнинг клеммалар қутиси; *6*—компенсацион чулғам ва қўшимча қутблар чулғами; *7*—электродвигатель якори; *8*—электродвигатель асосий қутбининг ўзаги, *9*—электродвигатель қўшимча қутбининг ўзаги; *10*—электродвигателнинг клеммалар қутиси; *11*—электродвигатель коллектори; *12*—кетинги подшипниклар шчити; *13*—кучайтиргичнинг чўткатутқичи: *14*—кучайтиргичнинг компенсацион чулғами; *15*—бошқариш чулғами; *16*—электродвигатель асосий қутибининг чулғами, *17*—электродвигатель қўшимча қутбининг чулғами.

учун магнитловчи кучлар F_d ва $F_к$ ўзаро мутлақо тенг бўлиши керак, чунки ҳатто озгина чала компенсация бўлса ($F_к < F_d$) ёки ўта компенсацияланиб кетса ($F_к > F_d$), бу ҳол магнитавий оқим $\Phi_в$ га, бинобарин, ЭМК нинг хоссаларига анча катта таъсир кўрсатади. Компенсация процентнинг ўндан бир улуши қадар аниқликда ростланган бўлиши керак. Лекин компенсацион чулғамни амалда бундай аниқлик билан ҳисоблаб бўлмайди.

Шунинг учун магнитловчи куч $F_к$ катталиги ЭМК ни созлашда компенсацион чулғамга параллел уланган реостат $r_к$ воситасида узил-кесил ростланади.

Автоматик бошқариш ва ростлаш схемаларида ЭМУ сериядаги электрмашинавий кучайтиргичлар кенг кўламда ишлатиладиган бўлди. Бу сериядаги кучайтиргичлар электродвигатель билан бир корпусда бўлади ёки алоҳида машина тайёрланиб, сўнгра электродвигатель билан бирга умумий рамага ўрнатилади. ЭМУ 12П типидаги электрмашинавий кучайтиргич конструкциясини кўриб чиқамиз; бу кучайтиргич ўзгармас ток электродвигатели билан бирга қурилган агрегатдир (7.2- расм). ЭМУ нинг якори одатдаги конструкцияда оддий калава чулғамли қилиб ясалган. Электрмашинавий кучайтиргичдаги барча чулғамларнинг учлари чиқиш қутиларидаги клеммаларга уланади.



7.3- расм. ЭМК нинг ташқи характеристикалари.

ЭМУ 12П типидаги кучайтиргичда параллел қўзғатишли ўзгармас ток электродвигатели ишлатилган. Лекин бошқа типдаги, масалан ЭМУ 12А типидаги кучайтиргичларда уч фазали асинхрон двигателлар (XIX бобга қаранг) ишлатилади.

ЭМК нинг иш хоссалари кўп жиҳатдан унинг $n = \text{const}$ ва $I_б = \text{const}$ даги ташқи характеристикаси $U_d = f(I_d)$ билан аниқланади.

Кучайтиргичдан чиқишдаги кучланиш U_d нагрузка токи I_d га боғлиқ ҳолда қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$U_d = E_d - I_d \sum r_d \tag{7.2}$$

бунда $\sum r_d$—якорнинг бўйлама занжиридаги электр қаршиликлар йиғиндиси (*ом*); бунга якорь чулғамининг қаршилиги, қўшимча қутблар чулғамининг қаршилиги $r_к$, компенсацион чулғам қаршилиги $r_к$ ва чўткалар контактининг қаршилиги $r_т$ киради.

Кучайтиргичнинг *магнитавий занжири тўйинмаганлиги* сабабли кучланиш U_d назрузка токи I_d нинг чизиғий функцияси бўлади, яъни ЭМК нинг ташқи характеристикаси амалда тўғри чизиқ бўлади (7.3- расм).

Ташқи характеристиканинг абсциссалар ўқига қияланиш бурчаги (характеристиканинг қаттиқлиги) якорь реакциясининг компенсацияланиш даражасига боғлиқ бўлади. *Тўлиқ компенсацияланганда* компенсацион чулғамнинг магнитловчи кучи $F_к$ якорь реакциясининг бўйлама ўқ бўйича магнитловчи кучи F_d га тенг. Бу ҳолда ташқи характеристика анча қаттиқ бўлади (*1* эгри чизиқ), чунки нагрузка токи I_d ошганда кучланиш U_d нинг камайиши фақат якорь занжирида бўйлама ўқ бўйича кучланиш тушиши $I_d \sum r_d$ нинг кўпайиши ҳисобигагина содир бўлади.

Чала компенсацияланганда $F_к < F_d$ ташқи характеристика унча қаттиқ бўлмайди (*2* эгри чизиқ). Бунга сабаб шуки, чала компенсацияланганда магнитловчи куч F_d ток I_d нинг ортиши билан кўпайиб, бошқариш чулғамининг магнитавий оқимини анча сусайтиради, натижада ЭМК дан чиқишдаги кучланиш сезиларли даражада камаяди.

Агар кучайтиргичда *озроқ ўта компенсацияланиш* бўлса, ($F_к > F_d$), яъни магнитловчи куч $F_к$ фақат бўйлама ўқдаги якорь реакцияси (F_d) ни эмас, балки кучланиш тушиши $I_d \sum r_d$ ни ҳам тўлиқ компенсацияласа, кучайтиргичнинг ташқи характеристикаси мутлақо қаттиқ бўлиб қолади ва абсциссалар ўқига параллел жойлашади (*3* эгри чизиқ).

Бу ҳолда нагрузка ҳар қандай ўзгарганда ҳам ЭМКнинг чиқиш клеммаларидаги кучланиш ўзгармасдан қолади.

Ўта компенсацияланиш анча кўп бўлганда ташқи характеристика кўтарилувчи кўринишда бўлади (*4* эгри чизиқ), чунки магнитловчи куч $F_к$ F_d ни компенсациялабгина қолмай, балки қўшимча бўйлама оқим ҳам ҳосил қилади; бу оқим бошқариш магнитавий оқимига қўшилиб, э. ю. к. E_d ни оширади.

Ўта компенсацияланишда кучайтиргич турғун ишламайди, чунки ЭМК нинг ўз-ўзидан қўзғалиш хавфи туғилади, бунда кучайтиргичнинг чиқиш клеммаларида кучланишнинг ортиши нагрузка токини кўпайтиради, натижада кучланиш яна ортади ва ҳоказо, яъни нагрузка токининг чексиз кўпая бориш ҳодисаси рўй беради.

Одатда кучайтиргич салгина чалароқ компенсациялашга мўлжалланиб, яъни ток I_d номинал қийматидан нолгача камайганида кучланиш U_d 12—20% кўпаядиган қилиб созланади.

Одатдаги ўзгармас ток генераторидан фарқ қилиб, кўндаланг майдонли ЭМК да инертлик жуда кам бўлади, яъни у бошқариш чулғамида кучланишнинг ҳар қандай ўзгаришидан тез таъсирланади.

Электр занжирнинг ўтиш процессларининг тезлигини характерловчи вақт доимийси τ шу занжирнинг индуктивлиги L га тўғри пропорционал ва унинг актив қаршилиги R га тескари пропорционал бўлади:

$$\tau = \frac{L}{R}.$$

Шунинг учун ЭМК нинг тез ишлаш хусусиятини ошириш мақсадида унинг бошқариш чулғами индуктивлиги кам ва актив қаршилиги катта қилиб ишланади. Бунинг учун чулғамнинг бир қисми бифиляр (қўш сим) усулда ўралади.

Кўндаланг чўткалар q_1 q_2 занжирида якорь чулғами индуктивлигининг кам бўлиши ҳам ЭМК нинг тез ишлашини оширишга ёрдам беради.

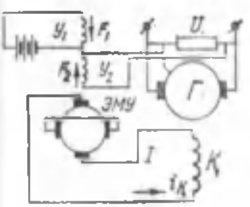
Автоматик бошқариш схемаларида ЭМКнинг ишлатилишига доир баъзи мисолларни кўриб чиқамиз.

7.4- расмда *мустақил қўзғатишли генераторда кучланишни* ЭМК воситасида *автоматик ростлаш* схемаси келтирилган; ЭМК да иккита бошқариш чулғами бор: битта чулғам аккумулятор батареясига уланган ва ўзгармас м. к. F_1 ни ҳосил қилади, иккинчи чулғам эса бошқариладиган генератор кучланишига уланган ва м. к. F_1 га қарши йўналган м. к. F_2 ни ҳосил қилади. Шундай қилиб, бошқаришнинг умумий м. к. и

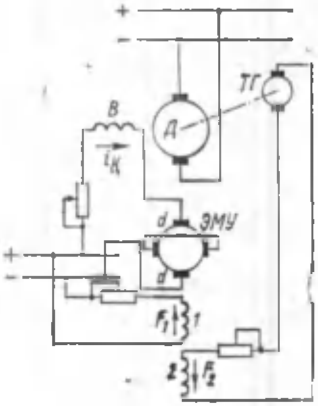
$$F_б = F_1 - F_2 \text{ га тенг.}$$

Генераторнинг кучланиши камайганида м. к. F_2 камаяди, умумий м. к. $F_б$ эса кўпаяди, натижада генераторнинг қўзғатиш токи ортиб, генераторнинг кучланиши белгиланган қийматга етади.

ЭМК дан *ўзгармас ток двигателининг айланиш тезлигини автоматик равишда стабиллаш учун ҳам фойдаланиш мумкин*, 7.5- расм. Шу мақсадда ЭМК двигателнинг қўзғатиш чулғами билан кетма-кет уланади. Бошқариш чулғамларидан бири ўзгармас кучланишли тармоққа уланади ва $F_1 = \text{const}$ м. к. ҳосил қилади, иккинчи чулғам эса тахогенераторга ТГ (7.4- § га қаранг) уланади; ТГ нинг



7.4- расм Ўзгармас ток генераторининг чиқиш клеммаларидаги кучланишни стабиллаш учун ЭМКни улаш схемаси.



7.5- расм. Ўзгармас ток двигателининг айланиш тезлигини ЭМК воситасида автоматик бошқариш схемаси.

чиқиш клеммасида кучланиш двигателнинг айланиш тезлигига пропорционал бўлади. Шундай қилиб, шу бошқариш чулғамининг м. к. и F_2 двигателнинг айланиш тезлигига боғлиқ бўлади. Двигателнинг айланиш тезлиги барқарор бўлганда м. к. лар фарқи қуйидагича бўлади:

$$F_б = F_1 - F_2.$$

Агар двигателнинг айланиш тезлиги ошса, у ҳолда бошқаришнинг ростлаш чулғамида ҳам м. к. F_2 кўпаяди, умумий м. к. $F_б$ эса камаяди. Бу эса кучайтиргичнинг d_1 d_2 чўткаларидаги кучланишни камайтиради. ЭМК двигатель қўзғатиш чулғамининг кучланишига қарши уланганлиги сабабли d_1 d_2 чўткаларда кучланишнинг пасайиши двигатель қўзғатиш токининг ортишига сабаб бўлади. Натижада двигателнинг айланиш тезлиги белгиланган қийматгача камаяди. Агар двигателнинг тезлиги камайса, системада процесслар тескари йўналишда кечади ва айланиш тезлиги яна тикланади. Шу усулда двигателнинг айланиш тезлигини етарли даражада аниқлик билан ростлаш мумкин.

7.4- §. Ўзгармас ток тахогенераторлари

Ўзгармас ток тахогенераторлари чиқиш клеммаларидаги кучланиш катталигига қараб айланиш тезлигини ўлчаш учун, шунингдек, автоматик контрол қилиш ва ростлаш схемаларида валнинг айланиш тезлигига пропорционал бўлган электр сигналлари олиш учун хизмат қилади.

Ўзгармас ток тахогенараторлари электромагнитавий мустақил қўзғатишли ёки доимий магнитлар билан қўзғатадиган кам қувватли генераторлардир (7. 6- расм, *а*).

Қўзғатиш токи ўзгармас $I_қ = \text{const}$ бўлганда магнитавий оқим Ф амалда нагрузкага боғлиқ бўлмаганлиги сабабли тахогенераторнинг чиқиш клеммаларидаги э. ю. к. $E_{чиқ}$ айланиш тезлиги *n* га тўғри пропорционал бўлади:

$$E_{чиқ} = C_e \Phi n = C_e' n \tag{7.3}$$

бунда

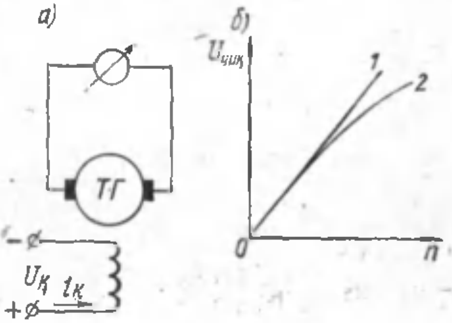
$$C_e' = C_e \Phi = \text{const}.$$

Олинган ифода (7.3) Ф = const бўлган доимий магнитлар билан қўзғатиладиган тахогенератор учун ҳам тўғри келади.

Айланиш тезлигини тахогенератор билан ўлчаш учун тахогенераторнинг вали айланиш тезлиги ўлчанадиган механизм валига механикавий равишда уланади. Тахогенераторнинг чиқиш клеммаларига айланиш тезлигининг бирликларида (*айл/минут*) даражаланган шкалали ўлчаш асбоби уланади.

Ўзгармас ток тахогенераторида ўлчанадиган энг катта айланиш тезлиги тахминан 10000 *айл/минут* ни ташкил этади.

Тахогенераторнинг ишлаш аниқлиги унинг *чиқиш характеристикаси* билан аниқланади; бу характеристика нагрузка қаршилиги ўзгармас *бўлганда чиқиш* клеммаларидаги кучланишнинг айланиш тезлигига боғлиқлигини $U_{чиқ} = f(n)$ кўрсатади. Тахогенераторнинг энг аниқ ишлаши чиқиш характеристикаси тўғри чизиқли бўлган ҳолга тўғри келади (7.6- расм, *б*, *1* тўғри чизиқ).



7.6- расм. Мустақил қўзғатишли ўзгармас ток тахогенератори
а—принципиал схемаси; *б*—чиқиш характеристикаси.

Лекин амалда тахогенераторнинг чиқиш характеристикаси тўғри чизиқли бўлмайди (7.6- расм, *б*. *2* эгри чизиқ).

Чизиғий боғланиш $U_{чиқ} = f(n)$ нинг бузилишига асосий сабаблар якорь реакцияси ва чўткалар контактида кучланиш тушишидир. Ҳозирги ўзгармас ток тахогенераторларида чиқиш характеристикаларининг тўғри чизиқли ҳолатдан оғиши унчалик катта эмас ва 0,5—3% *ни* ташкил этади. Ички қаршилиги r_a катта бўлган ўлчов асбобларини ишлатиш чиқиш характеристикасининг эгри чизиқлигини камайтиради.

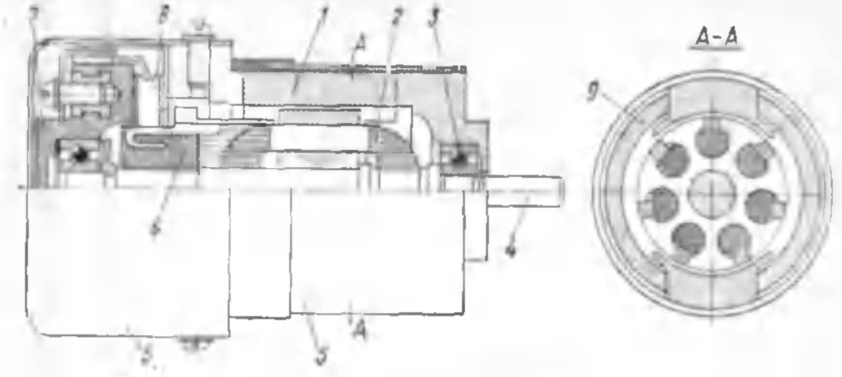
Тахогенератор хоссаларининг бошқа муҳим кўрсаткичи *чиқиш характеристикасининг тиклигидир*, у чиқиш кучланиши ортишининг айланиш тезлигининг ортишига нисбатидан аниқланади:

$$e = \frac{\Delta U_{чиқ}}{\Delta n}, \tag{7.4}$$

бунда *e*—чиқиш характеристикасининг тиклиги, *в/(айл/минут)*;
$\Delta U_{чиқ}$—чиқиш кучланишининг ортиши, *в*;
Δn — айланиш тезлигининг ортиши, *айл/минут*.

Чиқиш характеристикасининг тиклиги тахогенераторларнинг ишлаш жараёнида ўзгариши мумкин, бу уларнинг аниқлик даражасини камайтиради.

Бу ҳодиса, асосан, қўзғатиш чулғамида температура ўзгаришлари ва чўткалар контактида ўтувчи кучланиш тушиши таъсирида содир бўлади.



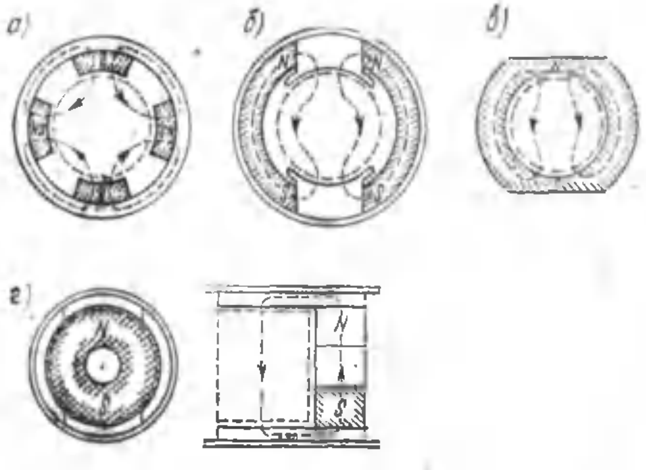
7.7- расм. ТГП-2 типидаги тахогенераторнинг конструкцияси:

1—корпуси, қутблари билан; 2—якорь; 3—подшипник; 4—вал; 5—кожух; 6—коллектор; 7—подшипниклар щчити; 8—чўткалар; 9—доимий магнит.

Температура таъсирини сусайтириш учун тахогенераторнинг магнитавий системаси мустақил қўзғатишда ниҳоятда тўйинган қилинади. Бу ҳолда температуранинг ўзгариши туфайли қўзғатиш чулғамининг қаршилиги ўзгариши натижасида қўзғатиш токининг катталиги ўзгарса ҳам магнитавий оқим жуда кам ўзгаради.

Ҳозирги вақтда мамлакатимиз электр саноатида бир неча, яъни СЛ; ТД; ТГ сериядаги тахогенераторлар, шу жумладан доимий магнитлар билан қўзғатиладиган тахогенераторлар (ТГП) тайёрланади. Шундай тахогенераторнинг конструкцияси 7.7- расмда кўрсатилган.

Бу тахогенератор конструктив жиҳатдан электромагнит билан қўзғатиладиган машинадан доимий магнитли магнитавий системанинг тузилиши билангина фарқ қилади. Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, доимий магнитлар



7.8- расм. Доимий магнитли магнитавий системаларнинг турлари: *а*—радиал магнитлар; *б*—скобасимон магнитлар; *в*—ҳалқа шаклидаги магнит; *г*—торецли магнит.

таъсирида қўзғатиладиган машиналарнинг магнитавий системалари жуда турли-туман бўлади (7.8- расм). Бунга сабаб шуки, электромагнитларга қараганда доимий магнитларга турли хил конструктив шакллар бериш осондир.

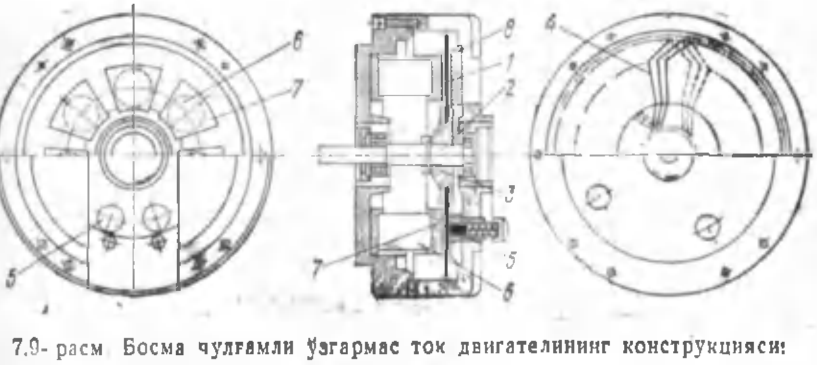
Магнитлари радиал жойлашган магнитавий система (7.8- расм, *а*) электромагнитларни станинага кавшарланган доимий магнитларга алмаштириш йўли билан олинган. Бундай конструкция, айниқса кўп қутбли машиналарда ($2p > 2$) мақсадга мувофиқдир. $2p = 2$ да қутблар орасидаги катта бўшлиқдан фойдаланилмай қолади, электромагнитавий қўзғатишда эса уни қўзғатиш чулғами тўлдириб турар эди. Скобасимон магнитли (7.8- расм, *б*) машиналарда бундай камчилик йўқ. Одатда бундай конструкциядан икки қутбли машиналарда фойдаланилади. Бундай конструкциянинг камчилиги—унинг мураккаблигидир. Икки қутбли машиналарда кенг кўламда ишлатиладиган ҳалқасимон магнитли (7.8- расм, *в*) магнитавий системанинг конструкцияси энг оддий бўлади. Қутблар олдидаги майдончалар конструкцияни енгиллаштиради, чунки магнитнинг шу қисмида материал амалда фойдаланилмайди.

Магнитавий системаси торцавий магнитли (7.8- расм, *г*) машинанинг диаметри энг кичик бўлади, лекин бунда унинг узунлиги ортади.

Доимий магнитлар учун материал сифатида гистерезис сиртмоғи кенг бўлган магнитавий қаттиқ материаллар ишлатилади. Ҳозирги вақтда электр машиналарини қўзғатиш учун темир-никель-алюминий асосида олинадиган қотишмалар энг кўп ишлатилади, улар хоссалари ва тежамлилиги жиҳатдан энг яхши материаллардир.

7.5- §. Якори босма чулғамли ўзгармас ток двигателлари

Якори босма чулғамли ўзгармас ток двигателлари одатдаги конструкцияли ўзгармас ток машиналаридан шу билан фарқ қиладики, бу *двигателларнинг якори диск шаклида бўлиб, унинг торцавий сиртига босма усулда* якорь чулғами туширилган бўлади. Якорнинг бундай конструкцияси машинанинг бошқа узеллари кўринишининг ҳам ўзгаришига сабаб бўлди. Бундан ташқари, қуввати 200 ваттгача бўлган босма чулғамли двигателларда алоҳида коллектор бўлмайди. 7.9- расмда якори босма чулғамли двигателнинг конструкцияси кўрсатилган. Бу двигателнинг ишлаш принципи цилиндрик *якорли двигателларнинг ишлаш принципи кабидир. Двигатель тармоққа уланганда* якорь чулғамидаги ток доимий магнитларнинг қўзғатиш магнитавий майдони билан ўзаро таъсир этади; магнитлар двигатель статорида жойлашган бўлиб, уларнинг қутб учликлари якорь пластмасса дискининг бир томонига қарагандир.



7.9- расм. Босма чулғамли ўзгармас ток двигателининг конструкцияси:

1—якорь диски; 2—вал; 3—втулка; 4—якорь чулғами (босма); 5—чўткатуткич, чўткаси билан; 6—доимий магнитлар; 7—қутб учликлари; 8—пўлат ҳалқа.

Дискнинг бошқа томонида ферромагнит материалдан ясалган ҳалқа жойлашган. Одатдаги конструкцияли двигателда якорь ўзаги нима вазифани бажарса, бу ҳалқа ҳам шу вазифани бажаради, яъни машина магнитавий системасининг бу элементи орқали асосий магнитавий оқим туташади. Босма чулғамли двигателларда электромагнитавий қўзғатиш ҳам қўлланилади. Бу ҳолда ҳар қайси қутб ўзагида қутб қўзғатиш ғалтаги бўлади.

Якорь чулғами, яъни унинг мис тасвири дискнинг иккала томонига мис фольгани химиявий усулда едириш йўли билан туширилади. Бунинг учун дискнинг иккала томонига зарурий қалинликдаги мис фольга қопланади. Сўнгра фольга юзасига фотохимиявий усулда якорь чулғамининг тасвири симларни ҳимояловчи қоплама кўринишида туширилади.

Дискка темир хлорид эритмаси таъсир эттирилганда фольганинг ҳимояланмаган қисми йўқолади, қолган қисми эса якорь чулғамини ҳосил қилади. Дискнинг қарама-қарши томонларида жойлашган чулғам қисмлари дискдаги тешик орқали бирлаштирилади.

Босма чулғамнинг секциялари бир ўрамлилиги, чулғамдаги секциялар сони эса диск сиртининг юзаси билан чекланганлиги сабабли босма чулғамли двигателлар, одатда, тармоқнинг паст кучланишига мўлжаллаб ясалади.

Двигателнинг қувватини ошириш мақсадида баъзи конструкцияларда ротор кўп дискли қилиб ишланади. Бу ҳолда двигатель ротори босма чулғамли бир неча мустақил машиналар йиғиндисидан иборат бўлади; машиналар умумий валга маҳкамланган бир неча диск роторли битта магнитавий система ҳолида йиғилган бўлади. Бундай конструкцияли двигателларда қувватни 20 *квт* гача етказиш мумкин.

Якори босма чулғамли двигателлар автоматикада *ижрочи двигателлар* сифатида кенг кўламда фойдаланилади.

Ижрочи двигателлар электр сигналларни механикавий ҳаракатга (силжишга) айлантириш учун мўлжалланган. Бундай двигателларнинг *инертлиги кам*, яъни электр сигнални тез қайта тиклайдиган бўлиши лозим. Одатдаги конструкцияли ўзгармас ток двигателлари бу талабни қаноатлантирмайди, чунки уларнинг якорида ўзак бўлади, бу эса якорнинг инерция моментини анча орттиради. Босма чулғамли двигателлар якорида ўзак бўлмайди, шу сабабли двигатель тез ҳаракат қилади.

Бундан ташқари, босма чулғамли двигателларнинг бошқа афзалликлари ҳам бор. Биринчидан, коммутация одатдаги конструкцияли бошқа двигателлардагига қараганда анча тинч бўлади ва деярли учқун чиқмайди. Бунга сабаб шуки, якорь чулғами бир ўрамли секцияларининг индуктивлиги жуда кам, шунинг учун коммутацияловчи секцияларда ҳосил бўладиган реактив э. ю. к. нинг қиймати ҳам кичик бўлади. Бундан ташқари, чулғам секцияларининг бир ўрамли бўлиши якорь реакциясини сусайтиради, бу ҳам коммутация процессига яхши таъсир этади.

Шуни ҳам таъкидлаб ўтиш керакки, босма чулғамли двигатель роторининг конструкцияси электр машинанинг ишлаши жараёнида чиқадиган шовқин даражасини камайтиришга ёрдам беради.

Машинада механикавий ва магнитавий тебранишлар шовқин манбаи бўлади. Одатдаги конструкцияли ўзгармас ток машиналарида тебранишлар якорнинг унчалик аниқ балансланмаганидан ва якорнинг тишли қатламида магнитавий индукциянинг пульсацияланишидан пайдо бўлади. Лекин босма чулғамли двигателларда якорнинг конструкцияси енгиллаштирилганлиги сабабли якорнинг балансланмаганлиги машинанинг катта механикавий тебранишини вужудга келтирмайди; якорнинг конструкцияси магнитавий бўлмаганлиги сабабли машинада магнитавий индукциянинг пульсацияси бўлиши мумкин эмас.

Босма чулғамли двигателларнинг афзалликлари билан бир қаторда баъзи камчиликлари ҳам бор.

Биринчидан, ф. и. к, и одатдаги конструкцияли двигателларникига қараганда кичик бўлади. Бу номагнитавий оралиқнинг анча катталиги билан изоҳланади, бу оралиққа якорь дискининг қалинлиги, мис фольганинг иккига кўпайтирилган қалинлиги ва диск сиртлари билан бир томондан қутб учликлари орасидаги ва дискнинг бошқа томонидаги пўлат ҳалқа орасидаги

ҳаво зазорининг қалинлиги киради. Номагнитавий ораліқнинг анча катта бўлиши қўзғатиш оқимига катта магнитавий қаршилик вужудга келтиради, бу эса қўзғатиш системасининг қувватини ошириш заруратини туғдиради. Электромагнитавий қўзғатишда бу ҳол қўзғатиш чулғамида электр исрофларнинг кўпайишига, бинобарин машина ф. и. к. нинг камайишига олиб келади (8.1- § га қаранг).

Иккинчидан, якори босма чулғамли двигателнинг узоққа чидамлилиги алоҳида коллекторсиз чекланган бўлади. Бундай двигателларда якорь чулғамининг босма ўтказгичлари коммутацияловчи чўткаларга ишқаланиши натижасида ейилади. Шунинг учун алоҳида коллекторли босма чулғамли двигателлар анча узоққа чидамли бўлади.

VIII боб

ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАЛАРИДАГИ ИСРОФЛАР ВА УЛАРНИНГ ФОЙДАЛИ ИШ КОЭФФИЦИЕНТИ

8.1- §. Исрофларнинг турлари

Электр машинасининг ишлаши жараёнида унда энергиянинг бир тури иккинчи турга айланади. Бунда машинага берилган энергиянинг бир қисми унинг айрим участкаларида иссиқликка айланиб тарқалади.

Электр машинада уч хил исрофлар бўлади: магнитавий исрофлар (пўлатдаги исрофлар), электрик исрофлар (мисдаги исрофлар) ва механикавий исрофлар. Ҳар қайси исроф турини ҳисоблаш усули қуйида келтирилган.

Магнитавий исрофлар машина магнитавий занжири участкаларининг ўта магнитланиши туфайли содир бўлади. Улар гистерезис туфайли бўладиган исрофлар билан уюрма токлар таъсиридаги исрофлардан ташкил топади:

$$P_{\text{пўл.}} = P_{\text{г}} + P_{\text{уюрм.}} \qquad (8.1)$$

Машинанинг ишлаши жараёнида фақат якорь ўзаги билан тишли қатлам ўта магнитланади.

Магнитавий исрофларнинг катталиги кўп жиҳатдан магнитавий индукция ва якорь ўзагининг ўта магнитланиш частотаси f нинг қийматига, яъни айланиш тезлигига боғлиқ бўлади, чунки:

$$f = \frac{pn}{60}.$$

Магнитавий исрофларнинг катталиги машинанинг нагрузкасига боғлиқ бўлмайди ва $n = \text{const}$ бўлганда уларни ўзгармас деб ҳисоблаш мумкин.

Машинадаги электр исрофлари чулғамнинг ва чўткалар контактининг исишига боғлиқ. Параллел қўзғатиш чулғами занжиридаги исрофлар қуйидагича бўлади:

$$P_{\text{вқ}} = U_{\text{қ}} \, i_{\text{қ}} \, . \qquad (8.2)$$

Бунда $U_{\text{қ}}$ — қўзғатиш чулғамининг клеммаларидаги кучланиш.

Якорь занжирининг чулғамларидаги исрофлар:

$$P_{ва} = I_a^2 \sum r_{75}. \qquad (8.3)$$

Бунда $\sum r_{75}$ — якорь занжири чулғамларининг 75°C температурага келтирилган қаршилиги.

$$\sum r_{75} = \sum r_1 \left[1 + \alpha(75° - \theta_1)\right], \qquad (8.4)$$

бунда $\sum r_1$ — теварак муҳитнинг температураси θ_1 бўлганда якорь занжиридаги чулғамларнинг қаршиликлари;

α — температура коэффициенти, мис учун $\alpha = 0{,}004$ 1/*град.*

Чўткалар контактида ҳам электр исрофлар бўлади:

$$P_г = \Delta U_г \, I_a \qquad (8.5)$$

Бунда $\Delta U_ч$ — чўткаларда ўтиш кучланишининг тушиши, бу чўткаларнинг маркасига кўра 4.2- жадвалдан олинади.

(8.3) ва (8.5) формулалардан кўриниб турибдики, якорь занжиридаги ва чўткалар контактидаги электр исрофлар катталиги машинанинг нагрузкасига боғлиқ ва шу сабабли бу исрофлар *ўзгарувчан исрофлар* дейилади.

Машинадаги механикавий исрофлар $p_{мех}$ подшипниклардаги ишқаланишга кетадиган исрофлар $p_{под}$, чўткаларнинг коллекторга ишқаланиш исрофлари $p_к$ ва вентиляцияга кетадиган исрофлар $p_в$ дан ташкил топади:

$$P_{мех} = P_п + P_к + P_в.$$

Айни машина учун бу исрофларнинг ҳаммаси якорнинг айланиш тезлигигагина боғлиқ, шунинг учун $n = \text{const}$ бўлганда уларни *ўзгармас* дейиш мумкин.

Магнитавий ва механикавий исрофлар йиғиндиси *салт ишлаш исрофларини* ташкил этади:

$$P_0 = p_{пўл.} + p_{мех.} \qquad (8.6)$$

Агар машина двигатель сифатида салт ишлаш режимида ишласа, у ҳолда машинанинг чиқиш клеммаларида электр қувват қуйидагига тенг бўлади:

$$P_{10} = P_0 + U_к \, I_к,$$

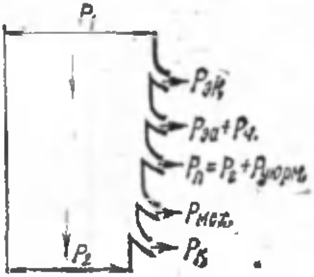
бундан салт ишлашдаги исрофлар

$$P_0 = P_{10} - U_к \, I_к. \qquad (8.7)$$

Шундай қилиб, салт ишлашдаги исрофларни тажрибада аниқлаш мумкин.

Ўзгармас ток машиналарида юқорида айтиб ўтилган исрофлардан ташқари, ҳисобга олиш қийин бўлган исрофлар ҳам бор; булар жумласига чулғамлар мисида уюрма токлар таъси-

рида бўладиган исрофлар, тенглаштирувчи туташмалардаги исрофлар, нагрузка берилганда индукциянинг нотекис тақсимланиши туфайли якорь пўлатида бўладиган исрофлар, якорнинг *тишлилиги* туфайли асосий оқимнинг пульсацияланишидан қутб учликларида бўладиган исрофлар ва бошқалар киради. *Қўшимча исрофлар* катта бўлмаса ҳам, лекин аниқ ҳисобга олиш мумкин бўлмаган даражада бўлади. Шунинг учун ГОСТ 183—66 га мувофиқ, компенсацион чулғамсиз машиналарда қўшимча исрофлар катталиги генераторлар учун фойдали қувватининг 1% ига тенг миқдорда ёки двигателлар учун бериладиган қувватнинг 1% и миқдорида қабул қилинади. Компенсацион чулғамли машиналарда қўшимча исрофлар 0,5% га тенг деб олинади.



8.1-расм. Ўзгармас ток машинасида қувватни ўзгартириш диаграммаси.

Ўзгармас ток машинасида бўладиган исрофларнинг барча турлари қувватни ўзгартириш диаграммасида (8.1-расм) кўрсатилган.

8.2-§. Фойдали иш коэффициенти

Ўзгармас ток машинасининг фойдали иш коэффициенти фойдали қувват P_2 нинг тўла қувват P_1 га нисбатидан иборат:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}.$$

Юқорида айтиб ўтилган исрофлардаги умумий қувватни аниқлаб

$$\sum P = P_{пўл.} + P_{мех} + P_{эқ} + P_{эа} + P_ч + P_қ \tag{8.8}$$

қуйидаги формулаларнинг бири бўйича машинанинг ф. и. к. ини ҳисоблаш мумкин: генератор учун

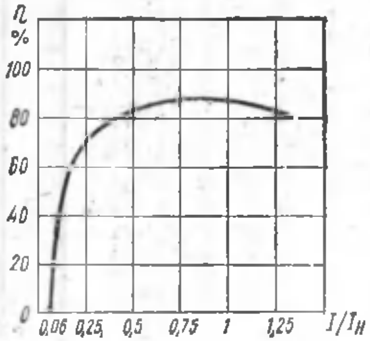
$$\eta_г = \frac{P_2}{P_1} = \frac{UI}{UI - \sum p} \tag{8.9}$$

двигатель учун

$$\eta_{дв} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{UI - \sum p}{UI} = 1 - \frac{\sum p}{UI}. \tag{8.10}$$

Одатда ўзгармас ток машиналарининг ф. и. к. и қуввати 100 *квт* гача бўлган машиналар учун 0,75—0,92 ва қуввати 100 *квт* дан ортиқ бўлган машиналар учун 0,93—0,97 ни ташкил этади. Ф. и. к. нинг кўрсатилган қийматлари машинанинг

номинал нагрузка билан ишлаганига тўғри келади. Машинанинг нагрузкаси ўзгариши билан унинг ф. и. к. и ҳам ўзгаради. Бу боғланиш $\eta = f(I)$ график билан ифодаланади (8.2-расм). Салт ишлаш режимида машинанинг ф. и. к. и нолга тенг, чунки $P_2 = 0$. Нагрузка кўпайганда ф. и. к. дастлаб тез ортади, сўнгра эса секинроқ кўпаяди; нагрузка номинал қийматининг 0,75 — 0,85 қисми қадар бўлганда ф. и. к. максимал қийматига етади. Нагрузка янада ортганда ф. и. к. камаяди, чунки бунда электр исрофларнинг ток квадратига пропорционал равишда кўпайиши фойдали қувватнинг кўпайишидан ортиб кетади.



8.2- расм. $\eta = f(I)$ боғланиш.

Мисол. Параллел қўзғатишли ўзгармас ток электродвигателига доир қуйидаги маълумотлар берилган: кучланиш $U = 220$ *в*; истеъмол қилинадиган ток $I_н = 63,5$ *а* қўзғатиш токи $I_қ = 1,5$ *а*, якорь занжиридаги чулғамларнинг қаршилиги $\sum r_1 = 0,20$ *ом*, машинада ЭГ4 чўткалар ишлатилган. Машина салт ишлаганидаги исрофлар $P_0 = p_{пўл} + p_{мех} = 506$ *вт* бўлса, $\eta - f(I$ графигини қуринг.

Е ч и л и ш и. График $\eta = f(I)$ ни қуришга зарурий маълумотларни олиш учун нагрузка токининг турли қийматларидаги исрофларни ҳисоблаб чиқамиз.

Номинал нагрузкадаги исрофлар:
қўзғатиш занжиридаги электр исрофлари:

$$P_{эқ} = UI_қ = 220 \cdot 1,5 = 330 \text{ вт},$$

якорь занжирининг чулғамларидаги электр исрофлари:

$$P_{эа} = I_{ан}^2 \sum r_{75};$$

бунда

$$I_{ан} = I_н - I_қ = 63,5 - 1,5 = 62 \text{ а};$$

$$\sum r_{75} = \sum r_1 [1 + a(75^\circ - \theta_1)] = 0,2\,[1 + 0,004(75^\circ - 20^\circ)] = 0,245 \text{ ом};$$

у ҳолда

$$P_{эа} = 62^2 \cdot 0,245 = 940 \text{ вт};$$

чўткалар контактидаги электр исрофлари; ЭГ4 чўткалар учун $\Delta U_ч = 2$ *в* (4.2- жадвалга қаранг):

$$p_ч = \Delta U_ч I_{ан} = 2 \cdot 62 = 124 \text{ вт};$$

қўшимча исрофлар:

$$p_қ = 0,01 I_н U = 0,01 \cdot 63,5 \cdot 220 = 140 \text{ вт};$$

номинал нагрузкада исрофларнинг умумий қуввати:

$$\sum p = 506 + 330 + 940 + 124 + 140 = 2040 \text{ вт} = 2,04 \text{ квт}$$

номинал нагрузкада двигателнинг ф. и. к. и

$$\eta_{дв} = 1 - \frac{\sum P}{UI_н} = 1 - \frac{2040}{220 \cdot 63,5} = 0,855 \text{ ёки } 85,5\%.$$

Нагрузка токининг қиймати $I_н$ нинг 0,25; 0,5; 0,75 ва 1,25 қисми қадар бўлгандаги исрофларни ва двигателнинг ф. и. к. ини ҳисоблаб чиқамиз. Ҳисоблаш натижалари 8.1- жадвалда келтирилган.

8.1- жадвал

$\frac{I}{I_н}$	I_{1a}	$P_{0,\ вт}$	$P_{эқ,\ вт}$	$P_{ea,\ вт}$	$P_{ч,\ вт}$	$P_{қ,\ вт}$	$\sum P$, вт	η, %
0,25	15,9	506	330	62	28,8	35	962	72,5
0,50	31,8	506	330	270	60,0	70	1237	83,5
0,75	47,7	506	330	563	92,4	105	1596	85,0
1	63,5	506	330	900	124,0	140	2040	85,5
1,25	79,5	506	330	1545	156,0	170	2712	84,5

Шундан кейин $\eta = f(I)$ графикни қурамиз. Двигатель нагрузкасиз ишлаганда унинг занжирида ток нолга эмас. I_0 га тенг бўлганлиги учун $\eta = f(I)$ график координаталар бошидан ўнг томонга $I_0/I_н$ қийматга сурилган нуқтадан бошланади.

Салт ишлаш токи:

$$I_0 = \frac{P_{10}}{U} = \frac{P + P_{эк}}{U} = \frac{506 + 330}{220} = 3,8\ a,$$

у ҳолда $I_0/I_н = 3,8/63,5 = 0,06$ бўлади. $\eta = f(I)$ график 8.2- расмда тасвирланган.

ИККИНЧИ БЎЛИМ

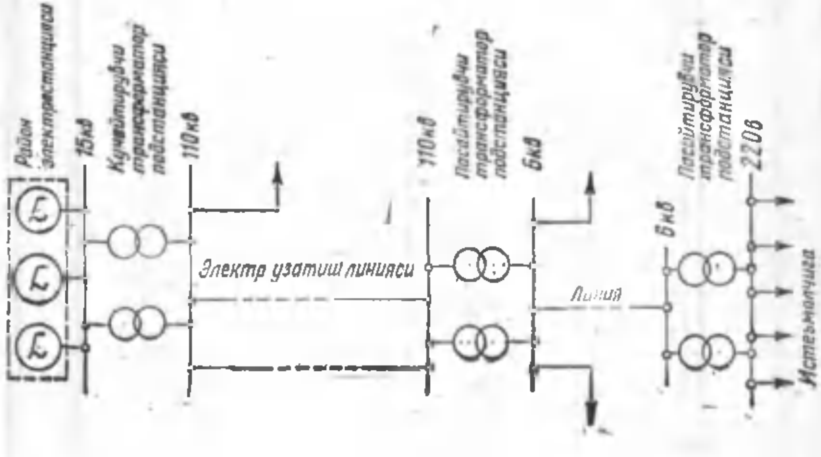
ТРАНСФОРМАТОРЛАР

IX боб

ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ ИШЛАШ ПРИНЦИПИ ВА ТУЗИЛИШИ

9.1-§. Асосий тушунчалар

Ўзгарувчан токнинг бир (бирламчи) системасини характеристикалари бошқача бўлган иккинчи (иккиламчи) системага айлантириш учун мўлжалланган статик электромагнитавий аппарат трансформатор дейилади.



9.1-расм. Район электр станциясидан электр билан таъминлаш схемаси.

Трансформаторлар асосан электр энергиясини электр станциялардан саноат корхоналарига узатиб бериш системаларида кучланишни ўзгартириш учун ишлатилади (9.1-расм).

Маълумки электр энергияси узоқ масофаларга юқори кучланишда узатилади, шунинг учун линияда энергия исрофлари анча камаяди.

Лекин электр генераторларнинг бевосита чиқиш клеммаларида кучланиш одатда 20 *кв* дан ошмаганлиги сабабли электр

узатиш линиясининг бош қисмида кучайтирувчи трансформаторлар ўрнатилади, улар ўзгарувчан токнинг кучланишини керакли қийматгача кучайтириб беради. Электр узатиш линиясининг узунлиги ва узатиладиган қувват қанчалик катта бўлса, бу кучланиш ҳам шунчалик катта бўлиши керак. Масалан, тахминан 103 *мвт* қувватни 1000 *км* масофага узатиб бериш учун 500 *кв* га яқин кучланиш зарур.

Электр энергияси истеъмолчилар орасида тақсимланадиган жойларда пасайтирувчи трансформаторлар ўрнатилади: улар кучланишни талаб қилинадиган даражагача, масалан 6 *кв* гача пасайтириб беради ва, ниҳоят, электр энергияси истеъмол қилинадиган жойларда кучланиш пасайтирувчи трансформаторлар воситасида яна 127, 220 ёки 380 *в* гача камайтирилади ва бевосита корхоналарнинг истеъмолчиларига ҳамда турар жой биноларига берилади.

Бу асосий ишлатилиш соҳасидан ташқари, трансформаторлар турли хил электр қурилмаларда (иситиш, пайвандлаш қурилмалари ва бошқалар), радио, алоқа, автоматика қурилмаларида ва ҳоказоларда фойдаланилади.

Трансформаторлар ишлатилиш жойига қараб умумий мақсадлар учун ишлатиладиган куч трансформаторлари билан махсус куч трансформаторларига бўлинади. Умумий мақсадларда ишлатиладиган куч трансформаторларидан электр энергиясини узатиш ва тақсимлаш системаларида кучайтирувчи ёки пасайтирувчи трансформатор сифатида фойдаланилади.

Махсус трансформаторларга қуйидагилар: махсус мақсадларда ишлатиладиган куч трансформаторлари (печь трансформаторлари, тўғрилагич трансформаторлари, пайвандлаш трансформаторлари, радиотрансформаторлар), автотрансформаторлар, ўлчов ва синов трансформаторлари, частотани ўзгартириш учун ишлатиладиган трансформаторлар ва бошқалар киради.

Трансформаторлар бир фазали ва кўп фазали бўлади, кўп фазали трансформаторлар орасида уч фазали трансформаторлар энг кўп ишлатилади.

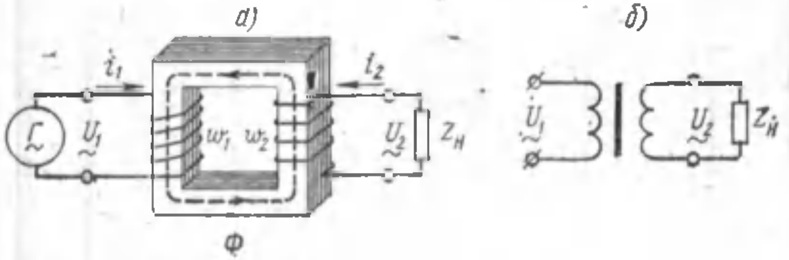
Бундан ташқари, трансформатор *икки чулғамли* (ҳар қайси фазасида иккита чулғам бўлади) ва кўп чулғамли (ҳар қайси фазасида иккитадан ортиқ чулғам бўлади) бўлиши мумкин.

Совитилиш усулига қараб трансформаторлар мойли (мойга ботирилган) ва қуруқ (ҳаво билан совитиладиган) трансформаторларга бўлинади.

Лекин, трансформаторларнинг типлари жуда турли-туман бўлишига қарамасдан, ишлаш принципи ва уларда содир бўладиган физикавий процесслар асосан бир хилдир. Шунинг учун трансформаторнинг ишлашини трансформаторнинг асосий типи мисолида кўриб чиқиш лозим; асосий тип сифатида икки чулғамли куч трансформатори қабул қилинган.

9. 2- §. Трансформаторнинг ишлаш принципи

Трансформаторнинг ишлаш принципини бир фазали икки чулғамли трансформатор мисолида кўриб чиқамиз, унинг конструктив схемаси 9. 2- расмда келтирилган. Бу трансформатор магнит ўтказгич ва унга ўралган иккита чулғамдан таркиб топган. Чулғамлардан бири U_1 кучланишли ўзгарувчан ток манбаи Г га уланади; бу чулғам *бирламчи* чулғам дейилади. Иккинчи чулғамга истеъмолчи $z_н$ уланади, бу чулғам *иккиламчи* чулғам дейилади.



9.2- расм. Бир фазали икки чулғамли трансформатор: *а*—конструктив схемаси; *б*—принципиал схемаси.

Трансформаторнинг ишлаши электромагнитавий индукция ҳодисасига асосланган. Бирламчи чулғам ўзгарувчан ток манбаига уланганда шу чулғамнинг ўрамларидан ўзгарувчан ток i_1 ўтади, бу ток магнит ўтказгичда ўзгарувчан магнитавий оқим Ф ҳосил қилади. Бу оқим магнит ўтказгичда туташиб, иккала чулғамда э. ю. к. ҳосил қилади: бирламчи чулғамда

$$e_1 = -\omega_1 \frac{d\Phi}{dt}, \quad (9.1)$$

иккиламчи чулғамда

$$e_2 = -\omega_2 \frac{d\Phi}{dt}, \quad (9.2)$$

бунда ω_1 ва ω_2 — трансформаторнинг бирламчи ва иккиламчи чулғамларидаги ўрамлар сони.

Трансформатор иккиламчи чулғамининг чиқиш учига нагрузка $z_н$ уланганда э. ю. к. e_2 таъсирида шу чулғам занжирида ток i_2 пайдо бўлади. Бунда иккиламчи чулғамнинг чиқиш учларида кучланиш U_2 ҳосил бўлади.

Кучайтирувчи трансформаторларда $U_2 > U_1$, пасайтирувчиларида эса $U_2 < U_1$ бўлади.

(9.1) ва (9.2) формулалардан кўриниб турибдики, чулғамлардаги ўрамлар сонига қараб e_1 ва e_2 лар бир-биридан фарқ қилиши мумкин. Шунинг учун ўрамларининг нисбати кераклича

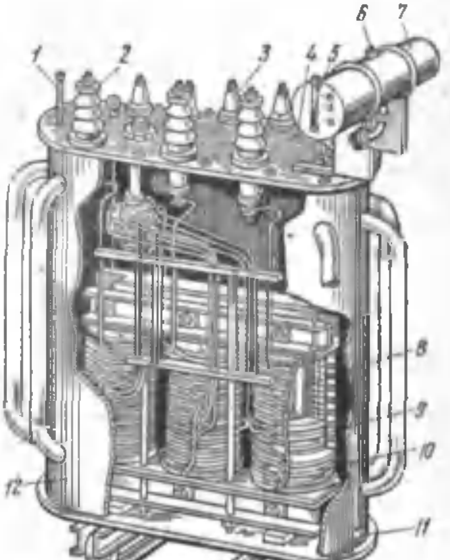
қилиб танланган чулғамлар ишлатиб, кучланишлар нисбати исталганча бўлган трансформатор тайёрлаш мумкин.

Трансформаторнинг юқорироқ кучланишли тармоққа уланган чулғами *юқори кучланиш* (ЮК) *чулғами* дейилади; пастроқ кучланишли тармоққа уланган чулғами эса *паст кучланиш* (ПК) *чулғами* дейилади.

Трансформаторларнинг *қайтарлик* хоссаси бор: битта трансформаторнинг ўзидан кучайтирувчи сифатида ҳам, пасайтирувчи трансформатор сифатида ҳам фойдаланиш мумкин. Лекин, одатда, трансформаторнинг муайян вазифаси бўлади: у ёки кучайтирувчи, ёки пасайтирувчи булади.

9. 3-§. Трансформаторларнинг конструкцияси

9. 3-*расмда уч фазали куч трансформаторининг тузилиши* кўрсатилган. Трансформаторнинг асосий қисмлари унинг магнит ўтказгичи билан чулғамларидир. Трансформаторнинг магнит ўтказгичи қалинлиги 0,35 ёки 0,5 *мм* ли электротехникавий пўлат листлардан тайёрланади. Йиғиш олдидан листларнинг иккала томонига лак суртиб, бир-биридан изоляция қилинади. Магнит ўтказгичнинг бундай конструкцияси унда ҳосил бўладиган уюрма токларни анчагина сусайтиришга имкон беради. Магнит ўтказгичнинг чулғамлар ўралган қисми стержень дейилади (9.4-расм). Стерженлар бир-бири билан ярмо воситасида бириккан.



9.3-расм. ТМ-320/6 типидаги уч фазали трансформатор (қуввати 320 *ква*, кучланиш 6 *кв*)нинг конструкцияси:

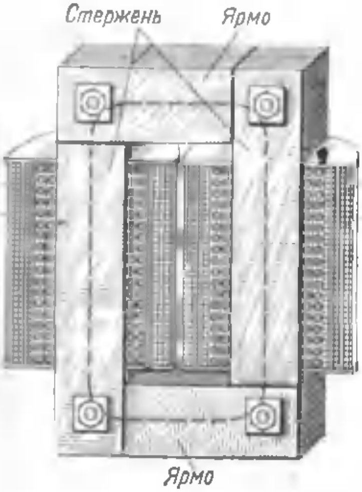
1—термометр; 2—ЮК чулғамининг кириш клеммаси; 3—ПК чулғамининг кириш клеммаси; 4—мой қуйиш пробкаси; 5—мой сатҳини кўрсатувчи кўрсаткич; 6—мой қуйиш пробкаси; 7—кенгайтиргич; 8—магнит ўтказгич; 9—ПК чулғами; 10—ЮК чулғами; 11—мойни тўкиш пробкаси; 12—мой баки

Магнит ўтказгичнинг конструкциясига қараб трансформаторлар икки турга: стерженли ва бронли трансформаторларга бўлинади. Трансформаторнинг стерженли типи энг кўп тарқалган (9.4-расм).

Бронли трансформаторларнинг магнит ўтказгичи тармоқланган бўлиб (9.5-расм), ўнда битта стержень

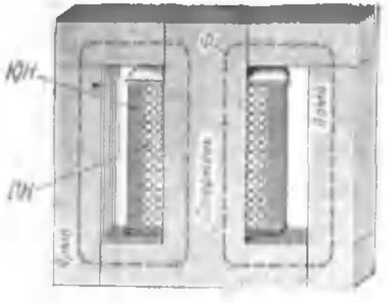
ва чулғамларни қисман ёпадиган („бронлайдиган") ярмолар бўлади. Уч фазали трансформаторларда *уч стерженли* магнит ўтказгич ишлатилади. Шундай магнит ўтказгичнинг конструкцияси 9.6- расмда кўрсатилган; бунда вертикал жойлашган учта стержень ўзаро иккита ярмо воситасида боғланган.

Катта қувватли трансформаторларда магнит ўтказгичнинг конструкцияси *брон-стерженли* қилинади (9.7- расм); бунда электротехникавий пўлат кўпроқ сарфланса ҳам, лекин у магнит ўтказгичнинг баландлигини ($H_{БС} < H_С$) ва, бинобарин, трансформаторнинг ҳам баландлигини камайтиришга имкон беради. Бу ҳол трансформаторни йиғилган ҳолда бир жойдан иккинчи жойга ташишда катта аҳамиятга эга.

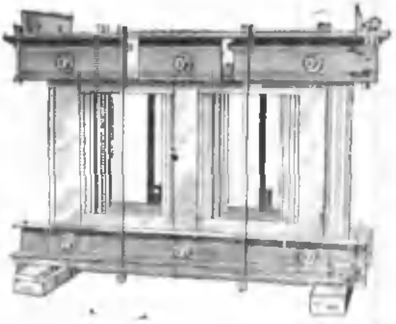


9.4- расм. Бир фазали трансформаторнинг стержень типидаги магнит ўтказгичи.

Стерженларни ярмо билан бириктириш усулига қараб магнит ўтказгичлар учма-уч (9.8- расм,*а*) ва тирноқли (9.8- расм,*б*) бўлади. Учма-уч бириктирилган магнит ўтказгичларда стерженлар ва ярмолар алоҳида-алоҳида йиғилади, сўнгра эса маҳкамловчи қисмлар воситасида бириктирилади. Магнит ўтказгичнинг бундай конструкцияси чулғамларни стерженларга ўтқазишни осонлаштиради, чунки бу-

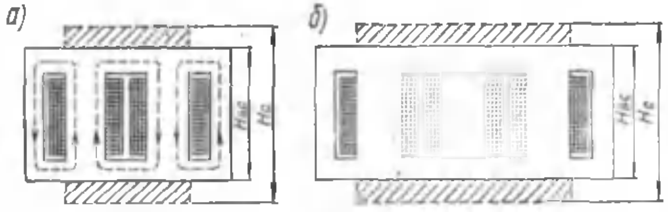


9.5- расм Бир фазали трансформаторнинг бронь типидаги магнит ўтказгичи.



9.6- расм. Уч фазали трансформаторнинг стержень типидаги магнит ўтказгичи.

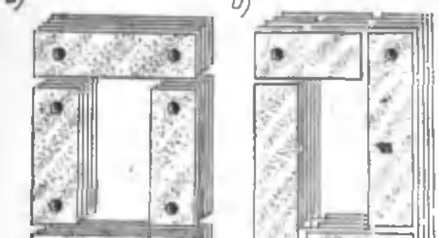
нинг учун юқори ярмони олишнинг ўзи кифоя. Лекин магнит ўтказгич листлари бир-бирига тирноқлар воситасида „устма-уст“ бириктирилса, стерженлар билан ярмоларнинг туташиш жойларида ҳаво зазорини минимал даражага келтириш мумкин, бу эса магнит ўтказгичнинг магнитавий қаршилигини анча камайтиради. Бундан ташқари, тирноқли бириктирилган магнит ўтказгичнинг механикавий мустаҳкамлиги учма уч бирикти



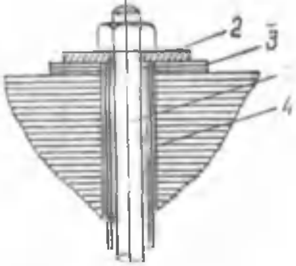
9.7- расм. Бронь-стерженли:
а—бир фазали; *б*—уч фазали трансформаторнинг магнит ўтказгичлари.

рилган магнит ўтказгичникидан анча юқори бўлади Буларнинг ҳаммаси Совет Иттифоқида, асосан, тирноқли бириктирилган магнит ўтказгичлар ишлатилишига сабаб бўлади Магнит ўтказгичнинг листлари шпилка *1* ва накладка *2* лар воситасида тортиб қўйилади, улар листлардан изоляцияловчи шайба *3* ва трубка *4* лар билан изоляцияланган бўлади (9.9- расм).

Стерженлар кўндаланг кесимининг шакли трансформаторнинг қувватига боғлиқ бўлади (9.10- расм): кичикроқ трансформаторларда тўғри тўртбурчак кесимли стерженлар ишлатилади, ўрта ва катта қувватли трансформаторларда кўндаланг кесими поғонали стерженлар ишлатилади, трансформаторнинг қуввати катталашган сари поғоналар сони ҳам кўп бўлади. Стерженлар кесимининг поғонали бўлиши чулғам ичидаги юзадан яхшироқ



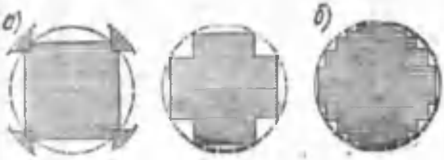
9.8- расм. Магнит ўтказгичларни:
а—учма-уч қилиб; *б*—тирноқли қилиб йиғиш.



9.9- расм. Магнит ўтказгич листларини тортиб турувчи шпильканинг изоляцияси.

фойдаланишни таъминлайди, чунки поғонали стерженнинг периметри айланага яқинлашади.

Катта қувватли трансформаторларда совитишни яхшилаш учун магнит ўтказгич пўлатининг пакетлари орасида вентиляцион каналлар қилинади (9.11- расм).

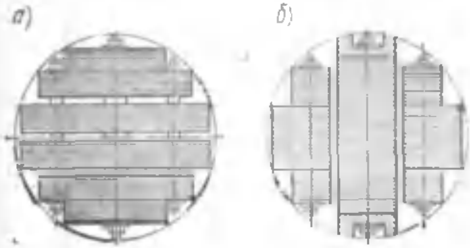


9.10- расм. Стерженлар кесимининг шакллари:
а—тўғри тўртбурчакли, *б*—поғонали.

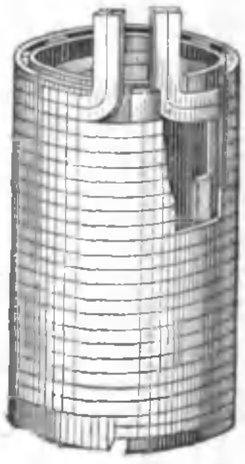
Трансформаторларнинг чулғамлари калава ип ёки кабель қоғози билан изоляцияланган доира ёки тўғри тўртбурчак кесимли симлардан тайёрланади.

Юқори ва паст кучланишли чулғамларнинг бир-бирига нисбатан қандай жойлашганлигига ва уларни стерженда ўрнатилиш усулига қараб чулғамлар концентрик ва дискавий (навбатлашиб келадиган) бўлади.

Концентрик чулғамлар цилиндрлар шаклида ясалади (9.12-расм) ва стерженларда концентрик жойлаштирилади: стержендан камроқ изоляция қилса ҳам бўладиган ПК чулғами стерженга яқин жойлаштирилади, сўнгра картон ёки қоғоздан қилинган изоляция қатлами келади ва сўнгра ЮК чулғами жойлашади (9.4- расмга қаранг).



9.11- расм Вентиляцион каналли стерженлар:
а—лист текислигига параллел каналлар; *б*—лист текислигига перпендикуляр каналлар.

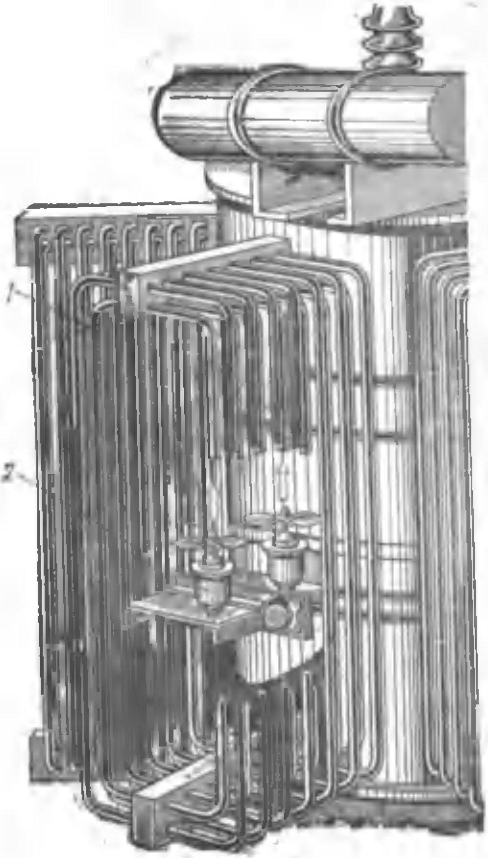


9.12- расм. Цилиндр шаклидаги икки қатламли ПК чулғами

Дискавий чулғамларда дисксимон ғалтак (ПК ва ЮК) лар стерженларда навбатлашиб келадиган тартибда жойлаштирилади. Дискавий чулғамлар тайёрлаш концентрик чулғамлар тайёрлашга қараганда кўп меҳнат талаб қилади ва механикавий

мустаҳкамлиги ҳам камроқ бўлади. Шунинг учун трансформаторларда кўпроқ концентрик чулғамлар ишлатилади.

Мойли трансформаторларда чулғамлар ўтқазилган магнит ўтказгич трансформатор мойи тўлдирилган бакка жойлаштирилади, мой чулғамлар билан магнит ўтказгични ювиб ўтиб, улардан иссиқликни олади ва бакнинг деворлари ҳамда радиатор трубалари орқали теварак-атрофдаги муҳитга тарқатади. Бундан



9.13- расм. Ҳаво уриб совитиладиган радиатор баки; 1—қўш трубали радиатор; 2—вентилятор.

ташқари, мойнинг бўлиши юқори вольтли трансформаторларнинг анча ишончли ишлашини таъминлайди, чунки мойнинг электр таъсирига чидамлилиги ҳавоникидан анчагина юқори бўлади.

Бакнинг совитиладиган юзасини ошириш учун трубали баклар ишлатилади. Совитишни янада кучайтириш учун радиаторли баклар ишлатилади, уларда радиаторлар ҳаво пуфлаш йўли билан совитилади (9.13- расм). Температура ўзгарганда

мой ҳажмининг ўзгаришини компенсация қилиш, шунингдек, трансформатор мойини ҳаво таъсирида оксидланиши ва намланишидан сақлаш учун кучланиш 6 *кв* дан юқори бўлганда қуввати 50 *ква* дан ортиқ бўлган трансформаторларда кенгайтиргич ишлатилади. Кенгайтиргич бак қопқоғига ўрнатилган ва бакка туташтирилган цилиндр шаклидаги идишдир. Температура ўзгарганда мой сатҳи ҳамма вақт мой билан тўлиб турадиган бакда эмас, балки атмосферага туташган кенгайтиргичда ўзгариб туради.

Трансформаторларнинг ишлаши жараёнида уларда шиддатли равишда газ ажралиб чиқадиган ҳодисалар содир бўлиши мумкин, бу эса бакнинг ичида босимнинг анча ортишига сабаб бўлади. Шу сабабли баклар шикастланишининг олдини олиш учун қуввати 1000 *ква* ҳамда ундан ортиқ бўлган трансформаторларда бак қопқоғига ўрнатиладиган газ чиқиш трубаси бўлади. Трубанинг пастки учи бакка туташтирилади, юқориги учи эса шиша диск маҳкамланган фланец билан тугалланади. Босим бак учун хавфсиз даражадан ортиб кетганда шиша диск ёрилади ва газлар ташқарига чиқиб кетади.

Ўрта ва катта қувватли трансформаторларда *газ релеси* ўрнатилади. Трансформатор жиддий шикастланиб, кўп газ ажралиб чиққанда (масалан, чулғамларнинг ўрамлари орасида қисқа туташув бўлганда) газ релеси ишга тушади ва включатель бошқариш занжирининг контактларини туташтиради. Натижада трансформатор тармоқдан узилади.

Чулғамларнинг учлари бакдан чиқиш изоляторлари воситасида чиқариб қўйилади: изоляторлар, кўпинча, чиннидан ясалади ва бак қопқоғига ўрнатилган бўлади.

Трансформаторларда қуйидагилар кўрсатилган жадвалча бўлади:

1) трансформаторнинг киловольт-амперлар ҳисобидаги номинал қуввати;
2) вольт ёки киловольт ҳисобидаги линия кучланиши;
3) номинал қувватдаги линия токлари;
4) частота;
5) фазалар сони;
6) чулғамларни улаш схемаси ва группаси;
7) қисқа туташув кучланиши;
8) совитилиш усули;
9) ишлаш режими: узоқ вақт ёки қисқа вақт ишлаши.

Жадвалчада булардан ташқари, трансформаторни тайёрлаган завод, трансформаторнинг оғирлиги ва заводда қўйилган номери ҳам кўрсатилган бўлади.

X боб

ТРАНСФОРМАТОР ИШ ПРОЦЕССИНИНГ ФИЗИКАВИЙ АСОСЛАРИ

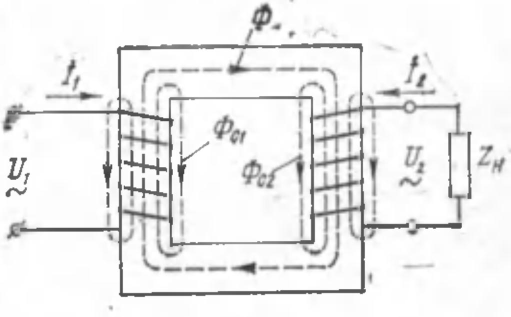
10.1- §. Дастлабки мулоҳазалар

Ушбу бобда умумий мақсадларда ишлатиладиган куч трансформаторларининг, яъни ўзгармас частотада ўзгарувчан ток кучланишини ўзгартиришга мўлжалланган трансформаторлар иш процессининг физикавий асослари баён қилинган. Бунда дастлаб трансформаторларнинг иш процесси бир фазали трансформатор мисолида кўриб чиқилади, сўнгра эса уч фазали трансформаторларнинг ишлашидаги ўзига хос хусусиятлари баён қилинади. Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, бир фазали ва уч фазали трансформаторлар иш процессининг асослари моҳияти жиҳатидан бир-биридан фарқ қилмайди. Аммо қабул қилинган бу тартиб масалани баён қилишни анча осонлаштиради.

10.2- §. Электр юритувчи кучлар тенгламаси

Трансформаторнинг магнит ўтказгичида асосий магнитавий оқим Ф w_1 ҳамда w_2 чулғамларнинг ўрамлари билан илашган бўлади (10.1- расм), шу туфайли уларда э. ю. к. ҳосил бўлади:

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt}; \qquad e_2 = w_2 \frac{d\Phi}{dt}$$



10.1- расм. Сочилиш магнитавий оқимлари ҳақидаги тушунчага доир.

Магнитавий оқим Ф вақтнинг синусоидал функцияси, яъни

$$\Phi = \Phi_{макс} \sin \omega t$$

деб фараз қилайлик, бунда $\Phi_{макс}$ — оқимнинг максимал қиймати. У ҳолда (10.1 ифодани э. ю. к. e_1 нинг формуласига қўйиб, дифференциалланса, ушбу тенглама олинади:

$$e_1 = -\omega w_1 \Phi_{макс} \cos \omega t \qquad (10.2)$$

Лекин

$$\cos \omega t = -\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

бўлгани учун

$$e_1 = \omega w_1 \Phi_{\text{макс}} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right). \qquad (10.3)$$

Шунга ўхшаш

$$e_2 = \omega w_2 \Phi_{\text{макс}} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right). \qquad (10.4)$$

Олинган (10.3) ва (10.4) формулалардан e_1 ва e_2 э. ю. к. лар оқим Ф дан $\frac{\pi}{2}$ бурчакка кечикиши кўриниб турипти. Э. ю. к. e_1 нинг максимал қиймати қуйидагига тенг:

$$E_{1\text{макс}} = \omega w_1 \Phi_{\text{макс}}. \qquad (10.5)$$

$E_{1\text{ макс}}$ қийматни $\sqrt{2}$ га бўлиб ва унга $\omega = 2\pi f$ ни қўйиб, э.ю.к. e_1 нинг *таъсир этувчи* қиймати формуласини оламиз:

$$E_1 = \frac{E_{1\text{макс}}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} w_1 f \Phi_{\text{макс}} = 4{,}4\, w_1 f \Phi_{\text{макс}} \qquad (10.6)$$

бунда $\Phi_{\text{макс}}$ веберларда, E_1 эса вольтларда ифодаланган.

Худди шунга ўхшаш иккиламчи э. ю. к. учун

$$E_2 = 4{,}44\, w_2 f \Phi_{\text{макс}} \qquad (10.7)$$

Юқори кучланиш чулғамидаги э. ю. к. нинг паст кучланиш чулғамидаги э. ю.к. га нисбати *трансформация коэффициенти* дейилади:

$$K = \frac{E_1}{E_2}$$

E_1 ва E_2 э. ю. к. лар ўрнига уларнинг (10.6) ва (10.7)формулалардаги қийматларини қўйсак, қуйидагича бўлади:

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2}. \qquad (10.8)$$

I_1 ва I_2 токлар трансформатор чулғамларида, асосий оқим Ф дан ташқари, *сочилиш магнитавий оқимлари* (Φ_{c1} ва Φ_{c2}) ни ҳосил қилади.

Бу оқимлардан ҳар бири фақат ўз чулғамининг ўрамлари билан илашади ва унда сочилиш э. ю. к. лари бирламчи чулғамда e_{c1}, иккиламчи чулғамда эса e_{c2} ҳосил қилади. Шу э. ю. к. ларнинг таъсир этувчи қийматлари чулғамлардаги тегишли токларга пропорционалдир:

$$-\dot{E}_{c1} = I_1 j x_1;$$
$$-E_{c2} = I_2 j x_2, \qquad (10.9)$$

бунда x_1 ва x_2 бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг сочилиш индуктив қаршиликлари, *ом*.

(10.9) ифодалардаги минус ишоралар сочилиш э. ю. к. ларининг реактив характерли эканлигини билдиради.

Шундай қилиб, трансформаторнинг ҳар қайси чулғамида асосий э. ю. к. ва сочилиш э. ю. к. лари индукцияланади.

Трансформатор чулғамларидаги шу э. ю. к. ларнинг таъсирини кўриб чиқамиз.

Бирламчи чулғамдаги э. ю. к. E_1 ўзиндукция э. ю. к. идир, шу сабабли у бирламчи кучланиш U_1 га қарши йўналган, яъни у билан қарама-қарши фазада бўлади. Шу муносабат билан бирламчи чулғам учун э. ю. к. тенгламаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\dot{U}_1 = (-\dot{E}_1) + (-\dot{E}_{c1}) + \dot{I}_1 r_1$$

ёки

$$\dot{U}_1 = (-\dot{E}_1) + \dot{I}_1 j x_1 + \dot{I}_1 r. \qquad (10.10)$$

$I_1 r_1$ кўпайтма *бирламчи чулғамда кучланишнинг актив тушишини* кўрсатади.

(10.10) ифода э. ю. к. ларнинг мувозанат тенгламаси бўлиб, шунга мувофиқ кучланиш U_1 тескари таъсир этувчи э. ю. к. лар йиғиндиси билан мувозанатлашади.

Одатда $\dot{I}_1 j x_1$ ва $\dot{I}_1 r_1$ кучланишлар қийматлари катта эмас, шунинг учун трансформаторга берилган кучланиш $\dot{U}_1$ э. ю. к. E_1 билан мувозанатлашади десак, катта хато қилмаган бўламиз.

$$\dot{U}_1 \approx (-\dot{E}_1).$$

Иккиламчи чулғамда ёпиқ занжир токи I_2 э. ю. к. E_2 нинг қийматига боғлиқ бўлади; бу э. ю. к. нинг кўп қисми иккиламчи чулғамнинг чиқиш клеммаларида кучланиш $\dot{U}_2 = \dot{I}_2 \cdot Z_н$ ҳосил қилишга сарфланади.

Э. ю. к. E_2 нинг қолган қисми сочилиш э. ю. к. билан иккиламчи чулғамда кучланишнинг актив тушиши $\dot{I}_2 r_2$ ни компенсациялашга кетади. Шундай қилиб, иккиламчи занжир учун э. ю. к. тенгламаси:

$$\dot{E}_2 = \dot{U}_2 + (-\dot{E}c_2) + \dot{I}_2 r_2$$

ёки

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 j x_2 - \dot{I} r_2 \qquad (10.11)$$

10.3-§. Магнитловчи кучлар тенгламаси

Трансформатор салт ишлаш режимида (10.2- расм, *а*), яъни унинг бирламчи чулғами клеммаларига U_1 кучланиш берилган, иккиламчи чулғами эса узилган ($I_2 = 0$) деб фараз қилайлик.

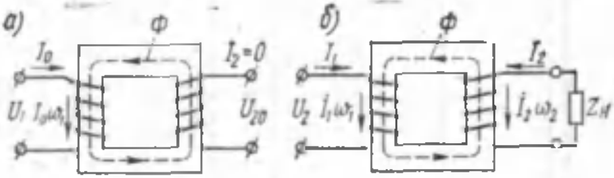
Бундай шароитда бирламчи чулғамдаги ток I_0 *салт ишлаш токи* дейилади Шу ток вужудга келтирган магнитловчи

куч $\dot{I}_0 w_1$ трансформаторнинг магнит ўтказгичида максимал қиймати қуйидаги ифодадан аниқланадиган асосий магнитавий оқим ҳосил қилади:

$$\Phi_{\text{макс}} = \frac{I_0 w_1}{R_м}\sqrt{2}, \qquad (10.12)$$

бунда $R_м$ — магнит ўтказгичнинг магнитавий қаршилиги.

Иккиламчи чулғам нагрузка $Z_н$ га уланганда (10.2- расм, *б*) унда ток I_2 пайдо бўлади. Бунда бирламчи чулғамдаги ток қиймати I_1 гача кўпаяди.



10.2- расм. Бир фазали трансформатор салт ишлаш режимида (*а*) ва нагрузка режимида (*б*).

Энди оқим $\Phi_{\text{макс}}$ иккита м. к. $\dot{I}_1 w_1$ ва $\dot{I}_2 w_2$ лар таъсирида ҳосил бўлади:

$$\Phi_{\text{макс}} = \frac{\dot{I}_1 w_1 + \dot{I}_2 w_2}{R_м}\sqrt{2}. \qquad (10.13)$$

Лекин оқим $\Phi_{\text{макс}}$ нинг қийматини (10.6) ифодадан ҳам топиш мумкин:

$$\Phi_{\text{макс}} = \frac{E_1}{4{,}44\, w_1 f},$$

ёки $U_1 \approx (-\dot{E}.)$ эканлигини эътиборга олсак,

$$\Phi_{\text{макс}} \approx \frac{U_1}{4{,}44\, w_1 f} \qquad (10.14)$$

(10.14) ифодадан кўриниб турибдики, асосий оқим $\Phi_{\text{макс}}$ трансформаторнинг нагрузкасига боғлиқ эмас, чунки кучланиш U_1 трансформаторга ҳар қанча нагрузка уланганда ҳам ўзгармасдан қолади. Бу хулоса (10.12) ва (10.13) ифодаларни тенглаштиришга имкон беради:

$$\frac{\dot{I}_0 w_1}{R_м}\sqrt{2} = \frac{\dot{I}_1 w_1 + \dot{I}_2 w_2}{R_м}\sqrt{2} \qquad (10.15)$$

ёки

$$\dot{I}_0 w_1 = \dot{I}_1 w_1 + \dot{I}_2 w_2$$

бу ерда $\dot{I}_0 w_1$ — трансформаторнинг магнит ўтказгичида асосий магнитавий оқим ҳосил қилиш учун зарурий магнитловчи куч.

(10.15) ифода *трансформаторнинг магнитловчи кучлари тенгламасидир*. Бу тенгламадан кўриниб туриптики, бирламчи I_1w_1 ва иккиламчи I_2w_2, чулғамлар магнитловчи кучлари (I_1w_1 ва I_1w_2 лар) нинг йиғиндиси ўзгармас катталик—салт ишлашдаги магнитловчи куч I_0w_1 га тенг.

Тенгликнинг иккала қисмини w_1 га бўлиб, ушбу ифодани ҳосил қиламиз:

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 \frac{w_2}{w_1} = \dot{I}_0$$

ёки

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2' = \dot{I}_0, \qquad (10.16)$$

бунда $\dot{I}_2' = \dot{I}_2 w_2/w_1$ — бирламчи чулғамнинг ўрамлар сонига келтирилган иккиламчи ток, яъни иккиламчи чулғамда ток I_2 қандай м. к. ҳосил қилса, бу ток ҳам ўрамлар сони w_1 бўлган чулғамда шундай м. к. ҳосил қилади ($I_2'w_1 = I_2w_2$).

(10.16) дан трансформаторнинг токлар тенгламаси дейиладиган қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2'). \qquad (10.17)$$

Бу тенгламадан кўриниб туриптики, бирламчи токни иккита ташкил этувчининг йиғиндиси деб қараш мумкин: улардан бири ($\dot{I}_0$) асосий магнитавий оқим ҳосил қилади, иккинчиси ($-\dot{I}_2'$) эса иккиламчи токнинг магнитсизловчи таъсирини компенсациялайди.

Буни физикавий жиҳатдан қуйидагича тушунтириш мумкин.

Иккиламчи чулғам э. ю. к. и ўзароиндукция э. ю. к. и бўлганлиги учун нагрузка уланганда шу э. ю. к. ҳосил қилган ток I_2, Ленц қоидасига мувофиқ, трансформаторнинг магнит ўтказгичига магнитсизловчи таъсир кўрсатади. Бошқача айтганда, ток I_2 бирламчи чулғамнинг м. к. и I_0w_1 га қарши йўналган м. к. I_2w_2 ни ҳосил қилади.

Лекин магнит ўтказгичда асосий магнитавий оқим амалда ўзгармаслигича қолганлиги сабабли иккиламчи токнинг магнитсизловчи таъсири бирламчи токнинг қийматини I_1 гача оширади; бу токнинг қиймати ток I_0 дан ($-\dot{I}_2'$) қиймат қадар,яъни иккиламчи токнинг магнитсизловчи таъсири

$$\dot{I}_0 w_1 = \dot{I}_1 w_1 + \dot{I}_2 w_2 = \dot{I}_0 w_1 + (-\dot{I}_2') w_1 + \dot{I}_2 w_2 = \dot{I}_0 w_1$$

ни компенсация қилишга зарурий даражада катта бўлади.

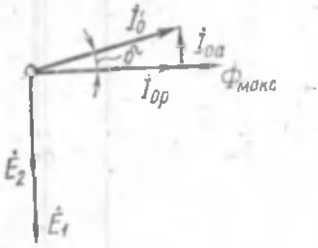
Шундай қилиб, трансформаторнинг иккиламчи занжирида ток қийматининг ҳар қандай ўзгариши бирламчи токнинг тегишлича ўзгаришига олиб келади.

Трансформаторнинг магнит ўтказгичида пўлатнинг ўта магнитланиши натижасида гистерезис ва уюрма токлар туфайли энергиянинг магнитавий исрофлари вужудга келади. Қувватнинг бу исрофлари салт ишлаш токининг актив ташкил этув-

чисига эквивалент бўлади. Бинобарин, салт ишлаш токининг асосий магнитавий оқим ҳосил қилувчи реактив ташкил этувчиси I_{0p} билан бир қаторда актив ташкил этувчиси I_{0a} ҳам бўлади:

$$I_0 = \sqrt{I_{0a}^2 + I_{0p}^2}. \tag{10.18}$$

Одатда, актив ташкил этувчи I_{0a} ток I_0 нинг 10 процентидан ошмайди ва шу сабабли бу токнинг қийматига жуда оз таъсир этади. 10.3-расмда вектор диаграмма келтирилган, унда салт ишлаш токининг ва унинг ташкил этувчиларининг векторлари кўрсатилган. Асосий магнитавий оқим $\Phi_{макс}$ вектори фаза бўйича салт ишлаш токи I_0 дан орқада қоладиган δ бурчак *магнитавий исрофлар* бурчаги дейилади. Салт ишлаш токининг актив ташкил этувчиси I_{0a} нинг ортиши, яъни магнит ўтказгичда магнитавий исрофларнинг кўпайиши билан бу бурчак ҳам катталашишини пайқаш қийин эмас.



10.3-расм. Салт ишлаш токини ташкил этувчиларга ажратиш.

Катта ва ўрта қувватли трансформаторларда салт ишлаш токининг қиймати бирламчи номинал токнинг тегишлича 2—10 процентини ташкил этади. Шунинг учун номиналга яқин нагрузкада ток I_0 нинг қийматини (10.16) эътиборга олмасак, қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\dot{I}_1 = -\dot{I}_2 \frac{w_2}{w_1}$$

ёки

$$\frac{I_1}{I_2} = -\frac{w_2}{w_1} \tag{10.19}$$

яъни трансформаторнинг чулғамларидаги токлар шу чулғамларнинг ўрамлар сонига тескари пропорционалдир: ўрамлар сони кам бўлган чулғамда ток қиймати катта бўлади ва аксинча. Худди ана шунинг учун ҳам паст кучланиш чулғамлари ўрамлар сони кўп бўлган юқори кучланиш чулғамларига қараганда кесими каттароқ симдан тайёрланади.

10.4-§. Келтирилган трансформатор

Трансформатор бирламчи чулғамининг параметрлари умумий ҳолда иккиламчи чулғам параметрларидан фарқ қилади. Бу фарқ трансформация коэффициенти катта бўлганда, айниқса, яққол сезилади; бу ҳол ҳисоблашларни ва айниқса, вектор диаграммалар қуришни қийинлаштиради, чунки бунда бирламчи чулғам электр катталикларининг векторлари узунлиги жиҳатдан иккиламчи чулғамнинг худди шундай векторлари узун-

лигидан анча фарқ қилади. Айтиб ўтилган бу қийинчиликлар трансформаторнинг барча параметрларини ўрамларнинг бир хил сонига, одатда, бирламчи чулғамнинг ўрамлар сони w_1 га келтириш йўли билан бартараф этилади. Шу мақсадда иккиламчи чулғамнинг барча параметрлари ўрамлар сони w_1 га қайта ҳисобланади.

Шундай қилиб, трансформациялаш коэффициенти $K=\frac{w_1}{w_2}$ бўлган реал трансформатор ўрнига $K=\frac{w_1}{w_2'}=1$ ли эквивалент трансформатор олинади, бунда $w_2'=w_1$. Бундай трансформатор *келтирилган трансформатор* дейилади. Лекин трансформатор параметрларини бундай келтириш унинг энергетикавий кўрсаткичларига таъсир этмаслиги керак: келтирилган трансформаторнинг барча қувватлари ва иккиламчи чулғами параметрларининг фазавий силжишлари реал трансформатордагидек қолиши лозим.

Масалан, реал трансформатор иккиламчи чулғамининг электромагнитавий қуввати E_2I_2 келтирилган трансформатор иккиламчи чулғамининг электромагнитавий қувватига тенг бўлиши зарур:

$$E_2I_2 = E_2'I_2'. \tag{10.20}$$

Келтирилган иккиламчи токнинг қиймати $I_2'=I_2\frac{w_2}{w_1}$ ни (10.20) га қўйиб, келтирилган иккиламчи э. ю. к. формуласини ҳосил қиламиз:

$$E_2'=\frac{I_2}{I_2'}E_2=\frac{I_2}{I_2}\frac{w_1}{w_2}E_2=E_2\frac{w_1}{w_2} \tag{10.21}$$

Иккиламчи чулғамнинг келтирилган кучланиши ҳам худди шу йўл билан аниқланади:

$$U_2I_2=U_2'I_2'$$

бўлгани учун

$$U_2'=U_2\frac{w_1}{w_2}. \tag{10.22}$$

Иккиламчи чулғамнинг актив қаршилигидаги исрофларнинг тенглик шартидан қуйидаги формулани оламиз:

$$I_2^2r_2=I_2'^2r_2'.$$

Келтирилган актив қаршиликни аниқлаймиз:

$$r_2'=r_2\left(\frac{I_2}{I_2'}\right)^2=r_2\left(\frac{I_2}{I_2}\right)^2\left(\frac{w_1}{w_2}\right)^2=r_2\left(\frac{w_1}{w_2}\right)^2. \tag{10.23}$$

Иккиламчи чулғамнинг келтирилган индуктив сочилиш қаршилиги реактив қувватларнинг тенглик шартидан аниқланади:

$$I_2^2x_2=I_2'^2x_2',$$

бундан

$$x_2'=x_2\left(\frac{w_1}{w_2}\right)^2. \tag{10.24}$$

Трансформатор иккиламчи чулғамининг келтирилган тўла қаршилиги:

$$Z_2' = r_2' + jx_2' = \left(\frac{w_1}{w_2}\right)^2 (r_2 + jx_2) = Z_2 \left(\frac{w_1}{w_2}\right)^2. \qquad (10.25)$$

Иккиламчи чулғамнинг чиқиш клеммаларига уланган нагрузканинг келтирилган тўла қаршилигини Z_2' га ўхшашлиги (10.25) дан аниқлаймиз:

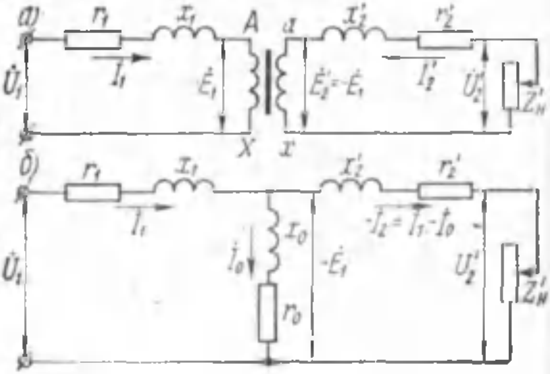
$$Z_н' = Z_н \left(\frac{w_1}{w_2}\right)^2. \qquad (10.26)$$

Келтирилган трансформатор учун э. ю. к. лар ва токларнинг тенгламалари қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\dot U_1 = (-\dot E_1) + \dot I_1 Z_1 = (-\dot E_1) + \dot I_1 jx_1 + \dot I_1 r_1;$$
$$\dot U_2' = \dot E_2' - \dot I_2' Z_2 = \dot E_2' - \dot I_2' jx_2' - \dot I_2 r_2'. \qquad (10.27)$$
$$\dot I_1 = \dot I_0 + (-\dot I_2').$$

10.5-§. Трансформаторнинг алмаштирилган электр схемаси

Электромагнитавий процессларни текширишни ва трансформаторларни ҳисоблашни осонлаштирадиган воситалардан яна бири *келтирилган трансформаторнинг алмаштирилган*



10.4- расм. Келтирилган трансформатор:
а—эквивалент схемаси; *б*—алмаштириш схемаси.

электр схемасидан фойдаланишдир, бу схемада занжирлар орасидаги магнитавий боғланиш электр боғланиш билан алмаштирилган бўлади.

10.4- расм, *а* да келтирилган трансформаторнинг эквивалент схемаси кўрсатилган, унда *r* ва *x* қаршиликлар шартли равишда тегишли чулғамлардан чиқарилиб, уларга кетма-кет уланган. 10.4 § да шу нарса аниқланган эдики, келтирилган

трансформаторда $K=1$ бўлади, шунинг учун бу трансформаторда бирламчи ва иккиламчи э. ю. к. лар ўзаро тенг ($E_1=E_2'$) Шу сабабли A ва a нуқталарнинг, шунингдек, келтирилган трансформатордаги X ва x нуқталарнинг потенциаллари бир хил бўлади; бу ҳол келтирилган трансформаторнинг алмаштирилган Т-симон схемасини (10.4- расм, *б*) олиб, кўрсатилган нуқталарни электр жиҳатдан туташтиришга имкон беради. Бу схема келтирилган трансформаторнинг э. ю. к. ва токлар тенгламасини (10.27) қаноатлантиради ҳамда учта шохобчанинг йиғиндисидан иборат: *бирламчи шохобча* — қаршилиги $Z_0 = r_1 + jx_1$ ва токи I_1; *магнитловчи шохобча* — қаршилиги $Z_0 = r_0 + jx_0$ ва токи I_0 ҳамда *иккиламчи шохобча* — қаршилиги $Z_2' = r_2' + jx_2'$ ва токи I_2'. Алмаштириш схемасида нагрузка қаршилиги $Z_н'$ нинг қийматини ўзгартириш йўли билан трансформаторнинг барча иш режимларини тиклаш мумкин.

Алмаштирилган схеманинг $Z_н'$ дан бошқа барча параметрлари ўзгармас катталиклар бўлиб, уларни салт ишлаш тажрибасидан (11.1-§ га қаранг), ёки қисқа туташиш тажрибасидан (11.2-§ га қаранг) аниқлаш мумкин.

10.6-§. Трансформаторнинг вектор диаграммаси

Келтирилган трансформаторнинг алмаштириш схемасидан ва э. ю. к. ҳамда токларнинг асосий тенгламаларидан (10.27) фойдаланиб, трансформаторнинг вектор диаграммасини қурамиз, бу диаграмма трансформаторнинг токлари, э. ю. к. ва кучланишлари орасидаги нисбатларни яққол кўрсатади.

Вектор диаграмма келтирилган трансформатор асосий тенгламаларининг графикавий ифодасидир (10.27).

Диаграмма қуришни асосий магнитавий оқимнинг максимал қиймати $\Phi_{макс}$ векторидан бошлаш лозим (10.5- расм, *а*)

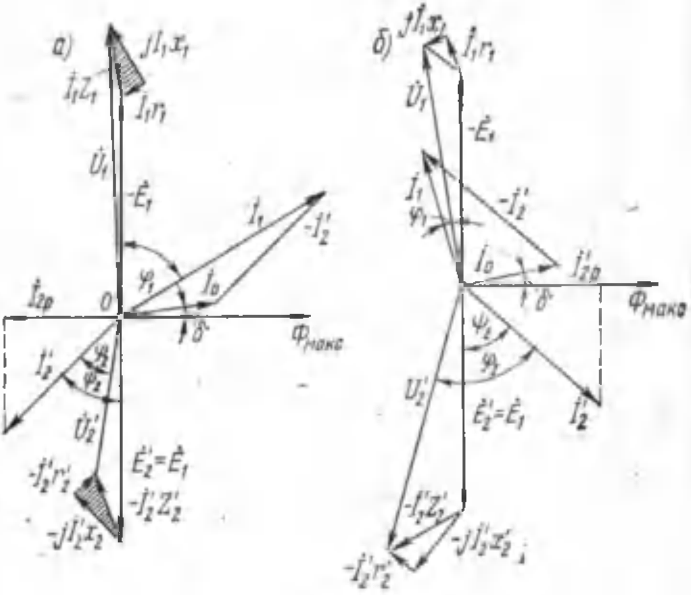
$$\Phi_{макс} = \frac{E_1}{4{,}44 f w_1}.$$

Ток вектори I_0 фаза бўйича $\Phi_{макс}$ дан δ бурчакка олдин кетади. $\dot{E}_1$ ва $\dot{E}_2'$ э. ю. к. лар фаза бўйича оқим $\Phi_{макс}$ дан 90° бурчакка орқада қолади (10.3) ва (10.4). Шундан кейин $\dot{I}_2'$ векторни қурамиз. $\dot{E}_2'$ билан $\dot{I}_2'$ орасидаги фазалар силжиш бурчагини аниқлаш учун нагрузка характерини билиш лозим. Трансформаторнинг нагрузкаси *актив-индуктив* деб фараз қилайлик. У ҳолда вектор $\dot{I}_2'$ фаза жиҳатдан $\dot{E}_2'$ дан ψ_2 бурчакка орқада қолади:

$$\psi_2 = \operatorname{arc\,tg} \frac{x_2' + x_н'}{r_2' + r_н'}.$$

Иккиламчи кучланиш вектори $\dot{U}_2'$ ни қуриш учун э. ю. к. вектори $\dot{E}_2'$ дан кучланиш тушиш векторлари $j\dot{I}_2'x_2'$ ва $\dot{I}_2'r_2'$ ни

айириш зарур. Шу мақсадда $\dot{E}'_2$ вектор учидан $\dot{I}'_2$ нинг йўналишида перпендикуляр туширамиз ва унга вектор $j\dot{I}'_2 x'_2$ ни қўямиз Сўнгра $\dot{I}'_2$ га параллел тўғри чизиқ ўтказамиз ва бу тўғри чизиққа $\dot{I}'_2 r'_2$ векторини қўямиз. $\dot{I}'_2 Z'_2$ векторни қуриб, иккиламчи занжирда ички кучланишлар тушиши учбурчаклигини ҳосил қиламиз. Сўнгра O нуқтадан $\dot{U}'_2 = \dot{E}'_2 - \dot{I}'_2 Z'_2$ векторни ўтказамиз, у $\dot{I}'_2$ дан $\varphi_2 = \operatorname{arc\,tg} \frac{x_н}{r_н}$ бурчакка олдинга кетади.



10.5- расм. Трансформаторнинг актив-индуктив (*а*) ва актив-сиғимий (*б*) нагрузкалардаги вектор диаграммалари.

Бирламчи ток векторини векторларнинг йиғиндиси $\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}'_2)$ сифатида қурамиз. $\dot{I}_0$ вектор учидан $\dot{I}_2$ векторга қарама-қарши қилиб $-\dot{I}'_2$ векторни ўтказамиз. $\dot{U}_1$ векторни қуриш учун ушбу тенгламадан фойдаланамиз:

$$\dot{U}_1 = (-\dot{E}_1) + j\dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1.$$

$Ф_{макс}$ дан 90° олдинга кетган $-\dot{E}_1$ векторга бирламчи чулғамнинг ички кучланиш тушиши векторларини: ток вектори $\dot{I}_1$ га параллел бўлган $\dot{I}_1 r_1$ векторни ва ток вектори $\dot{I}_1$ дан 90° бурчак олдинга кетган $j\dot{I}_1 x_1$ векторни қўшамиз. O нуқтани $\dot{I}_1 Z_1$ векторнинг учи билан бирлаштириб $\dot{U}_1$ векторни ҳосил қиламиз, у фаза жиҳатдан $\dot{I}_1$ дан φ_1 бурчакка олдинга кетади.

Трансформаторнинг вектор диаграммаси баъзан чулғамларнинг э. ю. к. ини аниқлаш мақсадида ҳам қурилади.

Бу ҳолда иккиламчи чулғамнинг параметрлари: $\dot{U}_2$; I_2 ва $\cos\varphi_2$ берилган бўлади. $\frac{w_1}{w_2}$ ни билган ҳолда $\dot{U}_2'$ ва I_2' аниқланади, сўнгра шу катталикларнинг векторлари бир-бирига нисбатан фазавий бурчак φ_2 ни ҳосил қиладиган қилиб қурилади. Э. ю. к. вектори $E_2' = E_1$ кучланиш $\dot{U}_2'$ векторига иккиламчи чулғамнинг кучланиш тушишларини геометрик қўшиш йўли билан ҳосил қилинади:

$$\dot{E}_2' = \dot{U}_2' + jI_2'x_2' + I_2'r_2'.$$

Нагрузка *актив-сиғимий* бўлганда трансформаторнинг вектор диаграммаси 10.5-расм, *б* да кўрсатилган кўринишда бўлади. Диаграммани қуриш тартиби илгаригича қолади, лекин унинг кўриниши қисман ўзгаради. Бу ҳолда ток I_2' фаза жиҳатдан э. ю. к. E_2 дан ψ_2 бурчакка олдинга кетади:

$$\psi_2 = \operatorname{arc\,tg} \frac{x_2' - x_н'}{r_2' + r_н'}. \qquad (10.28)$$

Трансформаторнинг сиғимий нагрузкаси катта бўлганда нагрузка қаршилигининг сиғимий ташкил этувчисида кучланишнинг тушиши билан иккиламчи чулғамда сочилиш кучланишининг индуктив тушиши бир-бирини қисман компенсациялайди. Натижада кучланиш $\dot{U}_a'$ э. ю. к. E_2 дан катта бўлиб қолиши мумкин Бундан ташқари, иккиламчи токнинг реактив (олдинга кетувчи) ташкил этувчиси

$$I_{2p}' = I_2'\sin\psi_2$$

салт ишлаш токи I_{0p} нинг реактив ташкил этувчиси билан бир хил фазада бўлади, яъни трансформаторнинг магнит ўтказгичига магнитловчи таъсир кўрсатади (10.5-расм, *б*).

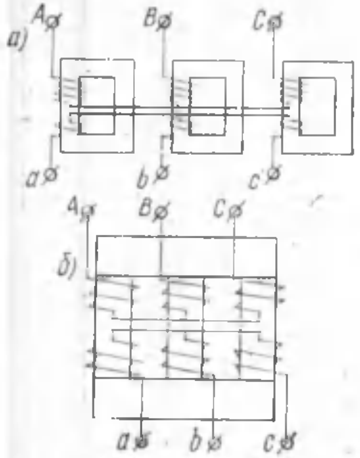
Бу ҳол бирламчи ток I_1 қийматининг актив-индуктив нагрузкадаги, яъни унинг I_{2p}' ташкил этувчиси магнитсизловчи таъсир этадиган (10.5-расм, *а* га қаранг) қийматига нисбатан камайишига олиб келади.

10.7-§. Уч фазали трансформатор

Уч фазали кучланишлар системасини трансформатор группаси тарзида бирлаштирилган учта бир фазали трансформаторлар (10.6-расм, *а*) билан трансформациялаш мумкин. Лекин нисбатан қўполлиги, оғирлиги ва анча қимматлиги трансформатор группасининг камчиликларидир. Шунинг учун у катта қувватли машиналардагина, ускуна бирлигининг габаритлари-

ни ва оғирлигини камайтириш мақсадида (бу ҳол уни монтаж қилишда ва ташишда, айниқса муҳимдир) ишлатилади.

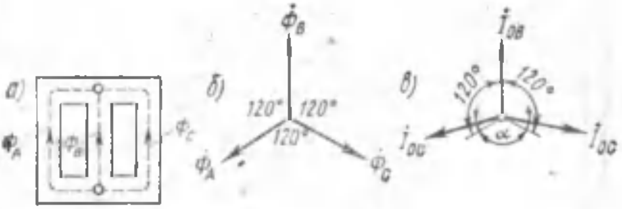
Қуввати тахминан 60000 *кв* гача бўлган қурилмаларда, одатда, уч фазали трансформаторлар (10.6-расм, *б*) ишлатилади; уларда чулғамлар иккита ярмо воситасада умумий магнит ўтказгичга бирлаштирилган учта стерженда жойлашган бўлади. Лекин шу йўл билан олинган магнит ўтказгич носимметрик бўлади.



10.6- расм. Трансформаторлар группаси (*а*) ва уч фазали трансформатор (*б*).

Ўрта фаза оқими Φ_B га бўлган магнитавий қаршилик чекка фазалар оқимлари Φ_A ҳамда Φ_C га бўлган магнитавий қаршиликлардан кам бўлади (10.7-расм, *а*).

Уч фазали трансформаторнинг бирламчи чулғамларига $\dot{U}_A$, $\dot{U}_B$ ҳам $\dot{U}_C$ кучланишларнинг симметрик системаси берилгани сабабли трансформаторнинг магнит ўтказгичида магнитавий оқимлар Φ_A, Φ_B ва Φ_C пайдо бўлиб, улар ҳам симметрик система ҳосил қилади (10.7-расм, *б*). Лекин магнит ўтказгичнинг магнитавий носимметриклиги туфайли айрим фаза чулғамларининг магнитловчи токлари тенг эмас: чекка фазаларнинг магнитловчи токлари (I_{OA} ва I_{OC}) ўрта фаза токи (I_{OB}) дан катта бўлади. Бундан ташқари, чекка фазаларнинг токлари I_{OA} ва I_{OC} фаза бўйича тегишли оқимлар Φ_A ва Φ_C га нисбатан α бурчакка силжиган бўлади. Шундай қилиб, трансформаторга уч фазали кучланишнинг симметрик систе-



10.7-расм. Уч стерженли магнит ўтказгич ва вектор диаграммалар:
а—уч стерженли магнит ўтказгич; *б*—симметрик система ҳосил қиладиган магнитавий оқимлар; *в*—носимметрик система ҳосил қиладиган салт ишлаш токлари.

маси берилганда салт ишлаш токлари носимметрик система ҳосил қилади (10.7-расм, *в*).

Уч стерженли магнит ўтказгичнинг магнитавий носимметриклигини камайтириш, яъни чекка фазалар оқимларига бўлган магнитавий қаршиликни камайтириш учун ярмоларнинг кесими стерженларнинг кесимидан 10 — 15 % катта қилинади, бу уларнинг магнитавий қаршилигини камайтиради.

Уч стерженли трансформатор салт ишлаш токларининг носимметриклиги амалда трансформаторнинг ишига таъсир этмайди, чунки ҳатто кичикроқ нагрузкада ҳам I_A, I_B ва I_C токларнинг қийматлари орасида амалда деярли фарқ бўлмайди.

Э. ю. к. лар магнитловчи кучлар ва токларнинг юқорида кўриб ўтилган тенгламалари, шунингдек, алмаштириш схемаси ҳамда вектор диаграммалардан уч фазали трансформатор ҳар қайси фазасининг ишини текширишда фойдаланиш мумкин.

Уч фазали трансформатор фазаларининг чулғамларини ёки юлдуз, ёки учбурчак усулида улаш мумкин.

Масалан, 10.6-расм, *б* да улар юлдуз усулида уланган. Чулғамларни улаш масаласи 12.2-§ да анча мукаммал кўриб чиқилади.

10.8-§. Трансформаторлар магнитланганда вужудга келадиган ҳодисалар

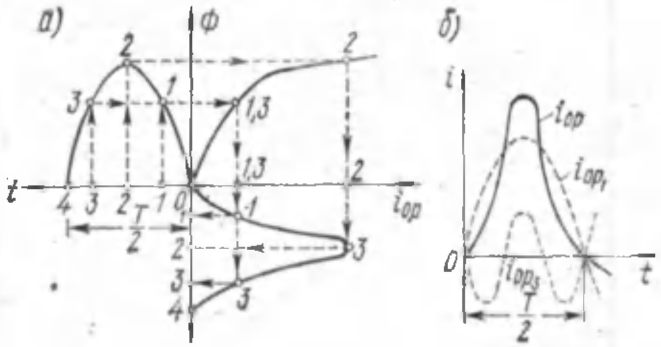
Трансформаторнинг бирламчи чулғамига синусоидал кучланиш берилган, деб фараз қилайлик. Бунда магнит ўтказгичдаги оқим ҳам синусоидал бўлади:

$$\Phi = \Phi_{макс} \sin \omega t.$$

Лекин магнитавий тўйиниш туфайли магнитавий оқим магнитловчи токка пропорционал бўлмайди. Шунинг учун оқим Φ синусоидал бўлганда магнитловчи ток i_{op} синусоидал бўлмайди. Ток эгри чизиғи $i_{op} = f(t)$ нинг шаклини аниқлаш учун магнит ўтказгичнинг магнитланиш эгри чизиғидан ва оқимнинг ўзгариш графигидан $\Phi = f(t)$ фойдаланамиз.

10.8-расм, *а* да магнитловчи ток графиги $i_{op} = f(t)$ ни қуриш йўли кўрсатилган. Бунда юқориги чап квадрантда синусоидал эгри чизиқ $\Phi = f(t)$, юқориги ўнг квадрантда эса магнит ўтказгич материалининг магнитланиш эгри чизиғи $\Phi = f(i_{op})$ кўрсатилган. Пастки ўнг квадрантда жойлашган салт ишлаш магнитловчи токининг графиги $i_{op} = f(t)$ ни олиш учун қуйидагича иш юритилади. $\Phi = f(t)$ графикда бир неча нуқталар (*1*, *2*, *3*) танлаб олинади, улар магнитланиш эгри чизиғига проекцияланади ва магнитловчи токнинг магнитавий оқимнинг

танланган қийматларига мос келадиган қийматлари аниқланади. Сўнгра i_{op} ўқида *1, 3* ва *2* нуқталар орқали пастки ўнг квадрантга вертикал чизиқлар ўтказиб, уларни шу квадрантдаги вақт ўқида *1, 2* ва *3* нуқталар орқали ўтказилган горизонтал чизиқлар билан кесишгунча давом эттирилади ва магнитловчи ток эгри чизиғи $i_{op} = f(t)$ нуқталарининг геометрик ўрни топилади. Бу ясашлардан кўриниб турибтики, $\Phi = f(t)$ эгри чизиқ синусоидал шаклда бўлганда магнитловчи ток эгри чизиғи чўққисимон бўлади. Ясашларни соддалаштириш мақсадида биз гистерезисни ҳисобга олмай қурилган магнитланиш эгри чизиғи $\Phi = f(i_{op})$ дан фойдаландик.



10.8-расм. Магнитловчи ток эгри чизиғини ясаш (*а*) ва уни ташкил этувчиларга ажратиш (*б*).

Ток i_{op} нинг эгри чизиғини ташкил этувчиларга ажратсак (10.8- расм, *б*), бу токда асосий (биринчи) гармоника i_{op1} дан ташқари учинчи i_{op3} гармоника ҳам яққол ифодаланганлигини кўрамиз. Масалан, юқори легирланган пўлатдан ясалган магнит ўтказгичли трансформаторда индукция $B = 1{,}4$ *тл* бўлганда, учинчи гармоника магнитловчи ток асосий гармоникасининг тахминан 30% ини ташкил этади.

Юқорида айтилганлар салт ишлаш токининг реактив ташкил этувчисигагина тааллуқлидир, чунки унинг актив ташкил этувчиси i_{oa} синусоидал бўлади. Лекин I_{oa} одатда салт ишлаш токининг 10 процентидан ошмайди, шунинг учун салт ишлаш токининг эгри чизиғи 10.8-расм, *б* да кўрсатилган эгри чизиқдан фарқ қилмайди, деб қабул қилсак, катта хато қилмаган бўламиз.

Умумий ҳолда уч фазали чулғамнинг э. ю.к. лари ва токлари синусоидал эмас ва асосий (биринчи) гармоникадан ташқари юқори гармоникалари ҳам бўлади; улардан частотаси $f_3 = 3f_1$ бўлган учинчи гармоника энг катта қийматга эга. Учинчи гар-

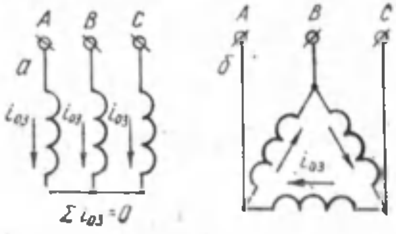
моника э. ю. к. лари учун қуйидаги тенгламаларни ёзиш мумкин:

$$\left.\begin{aligned} e_{A3} &= E_{3\ \text{макс}} \sin 3\omega t \\ e_{B3} &= E_{3\ \text{макс}} \sin 3(\omega t - 120^\circ) = E_{3\ \text{макс}} \sin 3\omega t \\ e_{C3} &= E_{3\ \text{макс}} \sin 3(\omega t + 120^\circ) = E_{3\ \text{макс}} \sin 3\omega t. \end{aligned}\right\} \quad (10.29)$$

Бу тенгламалардан кўриниб турипдики, учинчи гармоника э. ю. к. лари барча фазаларда ўзаро тенг ва фаза жиҳатдан бир-бирига мос.

Учинчи гармоника э. ю. к. нинг уч фазали трансформатор ишига таъсири чулғамларининг уланиш схемасига боғлиқ бўлади.

Агар уч фазали трансформаторнинг бирламчи чулғамлари *юлдуз* усулида уланган бўлса, учинчи гармониканинг фаза э. ю. к. лари учинчи гармониканинг линия э. ю. к. ларини ҳосил қилмайди.



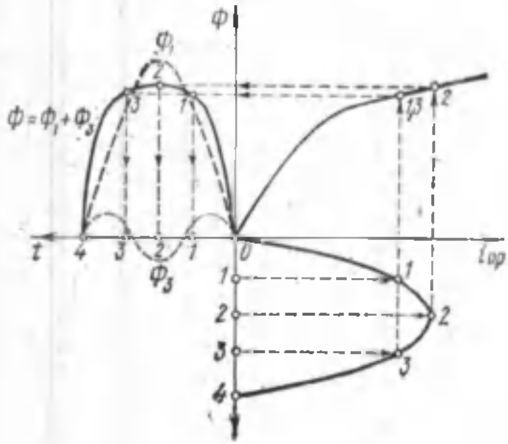
10.9-расм. Юлдуз (*а*) ва учбурчак (*б*) усулида уланганда трансформатор чулғамларида учинчи гармоника ток (э. ю. к.) ларининг йўналиши.

Бунга сабаб шуки, юлдуз усулида уланганда линия э. ю. к. лари тегишли фаза э. ю. к. ларининг айирмасига тенг бўлади. Учинчи гармониканинг фаза э. ю. к. лари барча фазаларда йўналиш жиҳатдан бир бирига мослиги ва исталган пайтда нолинчи нуқтага ёки нолинчи нуқтадан йўналганлиги учун (10.9-расм, *а*), бу э. ю. к. лардан исталган жуфтининг айирмаси нолга тенг бўлади. Линия э. ю. к. ларида учинчи гармоникалар бўлмаганлиги сабабли улар линия кучланишида ҳам ва бинобарин, линия (ҳамда фаза) токида ҳам булмайди. Салт ишлаш токининг эгри чизиғида учинчи гармониканинг йўқлиги магнитавий оқим эгри чизиғини бузади. Магнит ўтказгичда магнитавий оқим носинусоидал бўлиб қолади (10.10-расм) ва унда учинчи гармоника Φ_3 бўлади.

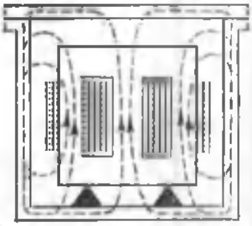
Учинчи гармоника оқимлари магнит ўтказгичда туташа олмайди, чунки улар фаза жиҳатдан бир-бирига мос, яъни қарама-қарши йўналгандир. Бу оқимлар ҳаво (мой) ва бакнинг металл деворлари орқали туташади (10.11-расм). Оқим Φ_3 га бўлган магнитавий қаршиликнинг катта бўлиши унинг қийматини камайтиради. Шунинг учун амалда оқим Φ_3 бак деворларида шу оқим вужудга келтирадиган уюрма токлар ҳосил бўлиши туфайли бўладиган исрофлар нуқтаи назаридангина ҳисобга олинади. Масалан, магнит ўтказгич стерженидаги индукция 1,4 *тл* атрофида бўлганда бакда уюрма токлар таъси-

ида бўладиган исрофлар магнит ўтказгичдаги исрофларнинг 10 процентга яқинини ташкил этади, индукция 1,6 *тл* бўлганда эса бу исрофлар 50 — 65% гача кўпайиб кетади. Шу оқимнинг уч фазали трансформатор чулғамларида индукцияланадиган э. ю. к. катталигига ва шаклига таъсири масаласига келганда бунинг амалий аҳамияти йўқ.

Уч фазали трансформаторнинг бирламчи чулғамлари *учбурчак* усулида уланганда учинчи гармониканинг э. ю. к. лари учала фаза чулғамларида мос таъсир этиб, шу чулғамларнинг берк контурида (10.9-расм, *б* га қаранг) учинчи гармоника токини ҳосил қилади. Лекин



10.10-расм. Магнитловчи ток синусоидал шаклда бўлганда магнитавий оқим эгри чизиғини ясаш.



10.11-расм. Уч стерженли магнит ўтказгичда магнитавий оқимнинг учинчи гармоникалари.

агар салт ишлаш токида учинчи гармоника бўлса, у ҳолда магнитавий оқим эгри чизиғининг шакли ва бинобарин, бирламчи ҳамда иккиламчи э. ю. к. лар эгри чизиқларининг шакли синусоидага яқинлашади.

10.9-§. Трансформаторлардаги ўтиш процесслари

Шу вақтга қадар трансформаторларнинг турғун (барқарор) режимда, яъни ток, кучланишлар, э. ю. к. ва магнитавий оқимларнинг қийматлари узоқ вақт давомида ўзгармай турадиган режимда ишлаши кўриб чиқилди.

Трансформатор бир барқарор режимдан иккинчисига ўтганида ўтиш процесслари содир бўлади. Ҳар қайси барқарор режимга электромагнитавий майдонлар энергиясининг муайян қиймати тўғри келганлиги сабабли ўтиш процесси давомида шу майдонларнинг энергияси ўзгаради. Бунинг натижасида трансформаторнинг магнит ўтказгичида ўтиш процессининг магнитавий оқими вужудга келади, чулғамларда эса ток ва

ҳаддан ташқари ортиб кетган кучланишларнинг бирданига камайиш ҳоллари рўй беради.

Трансформаторни улаш пайтида ва иккиламчи чулғам клеммаларида қисқа туташув бўлганда ўтиш процессларининг, айниқса, катта аҳамияти бор.

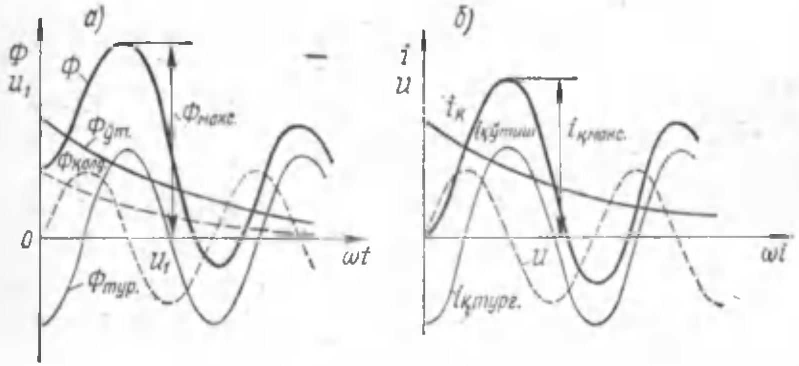
Трансформатор тармоққа уланганда натижавий оқимни учта ташкил этувчилар йиғиндиси сифатида қараш мумкин:

$$\Phi = \Phi_{барқ} + \Phi_{ўт} \pm \Phi_{қолд},$$

бунда $\Phi_{барқ}$ — барқарор магнитавий оқим;

$\Phi_{ўт}$ — ўтиш процессининг магнитавий оқими;

$\Phi_{қолд}$ — қолдиқ магнетизмнинг магнитавий оқими, бу оқим барқарор оқим билан бир йўналишда („плюс" ишора) ёки унга қарши йўналган („минус" ишора) бўлиши мумкин.



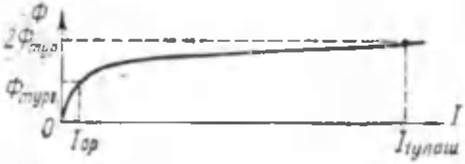
10.12- расм. Трансформатордаги ўтиш процессларининг графиклари: *а*—трансформатор уланганида; *б*—тасодифий қисқа туташувда

Ўтиш процессининг магнитавий оқими сўнувчи ва йўналиши жиҳатдан ўзгармас бўлади.

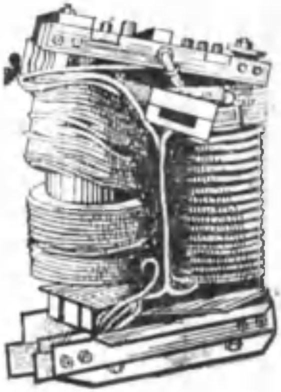
Қолдиқ магнетизм оқими барқарор оқимга қарши йўналган ҳолатда, бирламчи кучланишнинг оний қиймати $U_1 = 0$ бўлганда трансформаторни тармоққа улаш учун энг қулай шароит бўлади. Бунда барқарор магнитавий оқим $\Phi_{барқ}$ максимал бўлади, чунки у фаза бўйича кучланишдан тахминан 90° бурчакка орқада қолади (10.12- расм, *а*). Магнитавий оқим Ф трансформатор тармоққа уланганидан кейин тахминан ярим давр ўтгач, энг катта қийматига етади. Агар трансформаторнинг магнит ўтказгичи тўйинмаган бўлса, трансформатор уланган пайтда бирламчи чулғамда магнитавий оқимга пропорционал бўлган магнитловчи ток пайдо бўлади. Агар трансформаторнинг магнит ўтказгичи тўйинган бўлса, трансформатор уланганида магнитловчи улаш токи анча катта қийматга етиб қо-

лади. Магнитланиш эгри чизигида қилинган ясашлардан (10. 13- расм) кўриниб турибтики, магнитавий оқимнинг унинг барқарор қийматидан икки марта катта бўлган қиймати ($\Phi = 2\Phi_{барқ}$) да магнитловчи улаш токининг қиймати салт ишлаш токининг қарор топган қийматидан бир неча марта катта бўлиб кетади ($I_{1ул} \gg I_{ор}$). Энг ноқулай шароитларда уланиш токи бирламчи токнинг номинал қийматидан 6 — 8 марта ортиб кетиши мумкин.

Ўтиш процесси қисқа вақт давом этиши ва бир неча даврдан ортиқ бўлмаслиги сабабли уланиш токи бевосита трансформатор учун хавфли эмас. Лекин трансформаторни улаш пайтида у тармоқдан нотўғри узилиб қолмасин учун ҳимоя аппаратурасини



10.13- расм. Трансформаторни улаш токининг қийматини магнитланиш эгри чизигидан аниқлаш.



10.14- расм. Қисқа туташувда трансформатор чулғамларининг бузилиши.

ростлашда бу токни ҳисобга олиш лозим. Трансформаторнинг бирламчи чулғами занжирида сезгир ўлчов асбоблари бўлганда ҳам уланиш токининг кескин ўзгариб кетишини эътиборга олиш зарур. Бу асбоблар бузилиб қолишининг олдини олиш учун трансформаторни тармоққа улашдан олдин унинг ток чулғамларини шунтлаш лозим.

Трансформаторнинг иккиламчи чулғами клеммаларида тасодифий қисқа туташув турли хил бузуқликлар: кучланишлар ҳаддан ташқари ортиб кетган ҳолларда изоляциянинг электр жиҳатдан тешилиши (пробой) ёки механикавий шикастланиши, трансформатор билан ишловчи шахсларнинг қилган хато ҳаракати ва шунга ўхшашлар туфайли содир бўлади. Қисқа туташув—бу авария режими бўлиб, трансформаторнинг бузилишига олиб келиши мумкин.

Иккиламчи чулғамининг клеммаларида тасодифан қисқа туташув бўлганда трансформаторда ўтиш процесси содир бўлиб, натижада катта оний қисқа туташув токи $i_қ$ пайдо булади. Бу токни икки токнинг: барқарор қисқа туташув токи $i_{қ.\ барқ}$ билан йўналиши ўзгармас, лекин экспоненциал қонунга биноан камайиб борувчи ўтиш процесси токи $i_{қ.\ ўт.}$ ларнинг йиғиндисидан иборат натижавий ток сифатида қараш мумкин:

$$i_қ = i_{қ.\ барқ} + i_{қ.\ ўт}.$$

Бирламчи кучланишнинг оний қиймати нолга тенг ($U_1 = 0$) бўлганда қисқа туташув шароити энг ёмон бўлиши мумкин. 10.12- расм, *б* да шу шароит учун қисқа татащув токи $i_к$ нинг эгри чизиғи чизилган. Тасодифий қисқа туташув токи (зарбий ток) барқорор қисқа туташув токидан икки марта катта ва токнинг номинал қийматидан 20—40 марта ортиқ бўлиши мумкин.

Кичик қувватли трансформаторларда тасодифий қисқа туташув пайтидаги ўтиш процесси кўпи билан бир даврга чўзилади, катта қувватли трансформаторларда эса 6—7 даврга чўзилиши мумкин.

Шундан кейин трансформатор барқарор қисқа туташув режимига ўтади, бунда чулғамлардан $i_{к.барқ.}$ токлар ўтади, бу токларнинг қиймати ўтиш процессидаги ток $i_к$ нинг қийматидан кичик бўлса ҳам, лекин токнинг номинал қийматидан бир неча марта катта бўлади.

Бир неча секунддан кейин трансформаторни тармоқдан узадиган ҳимоя қурилмалари ишга тушади. Лекин қисқа туташув процесси жуда оз вақт давом этса ҳам у трансформатор чулғамлари учун анча хавфлидир. Биринчидан, қисқа туташув пайтида ток қиймати ниҳоятда ҳаддан ташқари ортиб, натижада чулғам температураси бирданига кўтарилиб кетади, бу эса унинг изоляциясини ишдан чиқариши мумкин. Иккинчидан, трансформатор чулғамларида электромагнитавий кучлар кескин кўпайиб кетади.

Чулғамларнинг ўрамларига таъсир этувчи электромагнитавий кучнинг қиймати магнитавий индукция B нинг чулғам ўрамидаги ток қиймати i га кўпайтмаси билан аниқланади:

$$F = B \cdot i$$

бунда F—солиштирма электромагнитавий куч, *н/м*.

Лекин ток кўпайиши билан индукция ҳам ортади, шунинг учун куч токнинг квадратига пропорционал равишда $|F \equiv i^2|$ ортади. Масалан, агар ўрамдаги ток $i = 100$ *а* ва индукция $B = 0{,}1$ *тл* бўлса, у ҳолда

$$F = 0{,}1 \cdot 100 = 10 \text{ н/м.}$$

Бундай куч чулғам ўрамларини сезиларли даражада деформацияламайди. Лекин тасодифий қисқа туташувда ток кескин кўпайиб, номинал токдан 30 марта кўп бўлган $I_к$ қийматга етса, электромагнитавий куч 900 марта кўпаяди ва 9000 *н/м* га тенг бўлиб қолади. Бундай куч трансформаторнинг механикавий жиҳатдан анча шикастланишига сабаб бўлиши мумкин (10.14- расм). Трансформаторларни лойиҳалашда буларнинг ҳаммасини ҳисобга олиш ва чулғамларнинг етарли даражада мустаҳкам конструкцияларини яратиш ҳамда уларни ўзакларда ишончли қилиб маҳкамлаш лозим бўлади.

10.10-§. Чулғамларни улаш схемалари

Куч трансформаторларига тегишли амалдаги ГОСТ га мувофиқ чулғамларнинг чиқиш клеммалари, 10.1-жадвалда кўрсатилганидек, латин алфавитининг ҳарфлари билан белгиланади

Уч фазали трансформаторларнинг чулғамларини юлдуз ёки учбурчак усулида улаш мумкин. Уч фазали трансформаторларнинг чулғамларини улаш схемалари каср билан белгиланиб, унинг суратида юқори кучланиш чулғамларини улаш схемаси, махражда эса паст кучланиш чулғамларини улаш схемаси кўрсатилади.

10.1-жадвал

Трансформатор типи	ЮК чулғамлари			ПК чулғамлари			Ўртача кучланиш чулғамлари		
	боши	охири	нейтрол	боши	охири	нейтрол	боши	охири	нейтрол
Бир фазали	A	X	—	a	x	—	A_m	X_m	—
Уч фазали икки чулғамли	A_1B C	X_1Y Z	O	a_1b c	x_1y z	O	—	—	—
Уч фазали уч чулғамли	A_1B_1C	X_1Y Z	O	a_1b_1 c	x_1y z	O	A_m B_m C_m	X_m Y_m Z_m	O_m

Чулғамлар юлдуз усулида уланганида линия кучланиши фаза кучланишидан катта ($U_л = \sqrt{3}\,Y_ф$), чулғамлар учбурчак усулида уланганда эса линия кучланиши фаза кучланишига тенг ($U_л = U_ф$) бўлади. Бундан кўриниб туриптики, уч фазали трансформаторда линия кучланишларининг нисбати фақатгина фаза чулғамларидаги ўрамлар сонининг нисбатига эмас, балки уларнинг уланиш схемасига (10.2-жадвал) ҳам боғлиқ.

10.2-жадвал

Чулғамларнинг уланиш схемаси	Y/Y	Δ/Y	Δ/Δ	Y/Δ
Линия кучланишларининг нисбати	$\frac{w_1}{w_2}$	$\frac{w_1}{\sqrt{3}w_2}$	$\frac{w_1}{w_2}$	$\frac{\sqrt{3}w_1}{w_2}$

XI боб

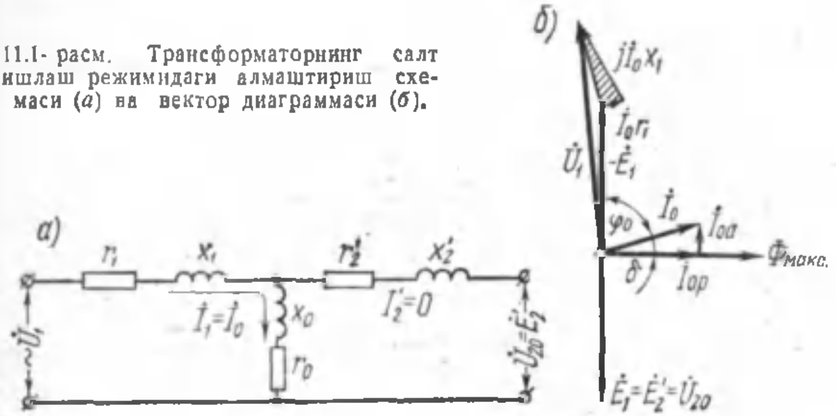
ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ ИШ ХОССАЛАРИ

11.1-§. Салт ишлаш режими

Трансформаторнинг иккиламчи чулғами уланмаган ҳолда ($z_н = \infty$, $I_2 = 0$) ишлаш режими унинг *салт ишлаши* дейилади. Бу ҳолда э. ю. к. лар ва токлар тенгламалари қуйидаги кўринишни олади:

$$\left.\begin{aligned}\dot{U}_1 &= (-\dot{E}_1) + \dot{I}_0 jx_1 + \dot{I}_0 r_1 \\ \dot{U}_{20}' &= \dot{E}_2' \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_0\end{aligned}\right\} \qquad (11.1)$$

Трансформатор салт ишлаганида фойдали қувват нолга тенг бўлганлиги учун трансформаторга киришдаги қувват P_0 салт ишлаш режимида магнит ўтказгичдаги магнитавий исрофлар $P_{пўл}$ билан фақат бирламчи чўлғам мисидаги электр исрофлар ($I_0^2 r_1$) га сарфланади. Лекин ток I_0 нинг қиймати унчалик катта



11.1- расм. Трансформаторнинг салт ишлаш режимидаги алмаштириш схемаси (*а*) ва вектор диаграммаси (*б*).

бўлмаганлиги, яъни $I_{1н}$ нинг 2 — 10 процентидан ошмаганлиги туфайли электр исрофлар $I_0^2 r_1$ ни ҳисобга олмаслик ва салт ишлаш қувватининг ҳаммаси магнит ўтказгич пўлатидаги магнитавий исрофлар қувватидан иборат, дейиш мумкин Шунинг учун трансформатордаги магнитавий исрофларни *салт ишлаш исрофлари* дейиш қабул қилинган (11.5- § га қаранг).

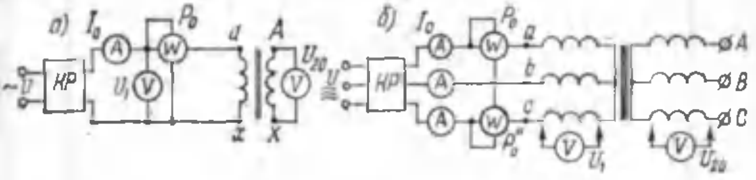
11.1- расм, *а* ва *б* да трансформаторнинг салт ишлаш режимидаги алмашиниш схемаси ва вектор диаграммаси кўрсатилган.

Трансформаторларнинг хоссаларини текширишда ёки трансформаторларнинг ўзини синаб кўришда *салт ишлаш тажрибаси* ўтказилади, бу тажриба натижасида трансформаторнинг баъзи параметрлари аниқланади.

Тажриба 11.2- расмда кўрсатилган схемага биноан ўтказилади. Схемага киритилган ўлчов асбоблари комплекти кучланиш U_1 ва U_{20}, ток I_0 ҳамда қувват P_0 ни ўлчашга имкон беради.

Кучланиш бирламчи чулғамга кучланиш регулятори *КР* орқали берилади, шу регулятор воситасида трансформаторга кириш олдидаги кучланиш қиймати $К_1 = 1{,}1\ К_{1н}$ гача оширилади. Шу пайтда асбобларнинг кўрсатишлари ёзиб олинади,

сўнгра *салт ишлаш характеристикалари* қурилади; бу характеристикалар ток I_0, қувват P_0 ва қувват коэффициенти $\cos\varphi_0$ нинг бирламчи кучланиш U_1 га боғлиқлигини кўрсатади (11.3- расм). Трансформатор уч фазали бўлганда салт ишлаш

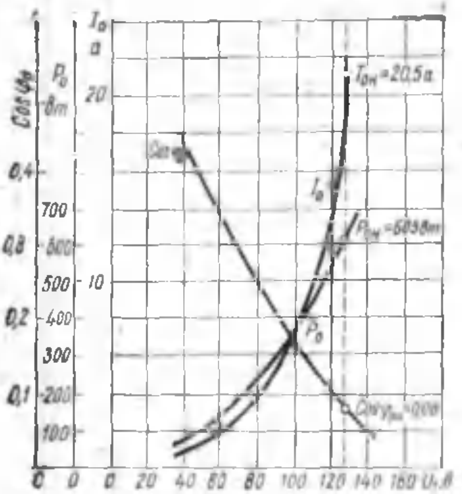


11.2- расм. Салт ишлаш тажрибасининг схемаси:
а—бир фазали трансформатор, *б*—уч фазали трансформатор.

характеристикалари учала фаза учун ток ва кучланишнинг ўртача (фаза) қийматлари асосида қурилади:

$$I_0 = \frac{I_{0a} + I_{0в} + I_{0c}}{3}, \tag{11.2}$$

$$U_1 = \frac{U_{1a} + U_{1в} + U_{1c}}{3}. \tag{11.3}$$



11.3- расм. Уч фазали трансформаторнинг (100 *ква* 6300/220 *в*) салт ишлаш характеристикалари.

Қувват коэффициенти ушбу формулалардан аниқланади: бир фазали трансформатор учун

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{U_1 I_0}, \tag{11.4}$$

уч фазали трансформатор учун

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0' + P_0''}{3U_1 I_0} = \frac{P_0}{3U_1 I_0}, \tag{11.5}$$

бунда U_1 ва I_0—кучланиш ҳамда токнинг фаза қийматлари; P_0' ва P_0'' — бир фазали ваттметрларнинг кўрсатиши.

Салт ишлаш тажрибасидан олинган маълумотлар асосида қуйидаги катталикларни аниқлаш мумкин:

1) трансформация коэффициентини

$$K = \frac{U_1}{U_{20}} = \frac{w_1}{w_2},$$

2) $U_{1н}$ даги салт ишлаш токини, бу ток одатда номинал бирламчи токка нисбатан процентларда ифодаланади.

$$i_0 = \frac{I_0}{I_{1н}} 100; \qquad (11.6)$$

3) салт ишлаш исрофлари P_0 ни;

Уч фазали трансформаторда салт ишлаш токлари фазаларда бир хил бўлмайди ва носимметрик система ҳосил қилади, шунинг учун қувват P_0 ни схема бўйича иккита ваттметр билан ўлчаш лозим (11.2- расм, *б*);

4) алмашиниш схемаси магнитланиш шохобчасининг параметрларини (11.1- расмга қаранг)

$$z_0 = \frac{U_{1н}}{I_0},$$

$$r_0 = z_0 \cos \varphi_0,$$

$$x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2}.$$

Мисол. 11.3- расмда уч фазали трансформатор (100 *ква* 6300/220 *в*) нинг чулғамлари юлдуз усулида улангандаги салт ишлаш характеристикалари келтирилган. Магнитланиш шохобчасининг параметрлари z_0, x_0 ва r_0 ни ҳамда $U_1 = U_{1н}$ бўлгандаги ток i_0 ни аниқланг.

Ечилиши. Магнитланиш шохобчасининг тўла қаршилиги

$$z_0 = \frac{U_{1н}}{I_0} = \frac{127}{20{,}5} = 6{,}2 \text{ ом};$$

магнитланиш шохобчасининг актив қаршилиги

$$r_0 = z_0 \cos \varphi_0 = 6{,}2 \cdot 0{,}08 = 0{,}49 \text{ ом};$$

магнитланиш шохобчасининг индуктив қаршилиги

$$x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2} = \sqrt{6{,}2^2 - 0{,}49^2} = 6{,}18 \text{ ом};$$

Салт ишлаш токи (процент ҳисобида)

$$i_0 = \frac{I_0}{I_{1н}} 100 = \frac{20{,}5 \cdot 100}{264} = 7{,}8\%$$

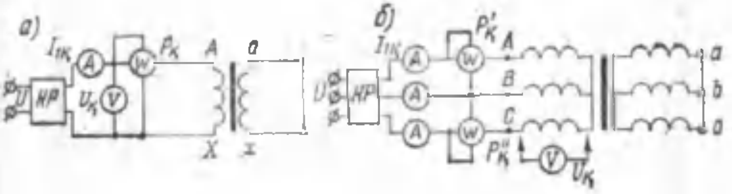
бунда

$$I_{1н} = \frac{S_н}{3U_{1н}} = \frac{100 \cdot 10^3}{3 \cdot 127} = 264 \text{ а}$$

11.2-§. Қисқа туташув тажрибаси

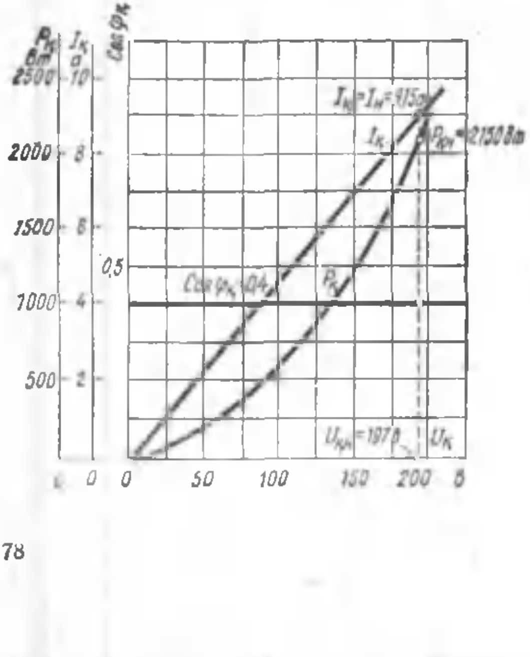
Трансформаторнинг қисқа туташуви унинг иккиламчи чулғами қисқа туташган ($z_н = 0$) режимдир. Бунда иккиламчи кучланиш U_2 нолга тенг бўлади.

Ишлатиш шароитларида, яъни трансформаторга номинал кучланиш $U_{1н}$ берилганда қисқа туташув авария режими бўлади ва трансформатор учун катта хавф туғдиради.



11.4- расм. Қисқа туташув тажрибасининг схемалари:
а—бир фазали трансформатор; *б*—уч фазали трансформатор.

Қисқа туташув тажрибасининг амалий аҳамияти бор, бунда трансформаторнинг иккиламчи чулғами қисқа туташтирилади (11.4- расм), бирламчи чулғамига эса пасайтирилган кучланиш берилади; кучланиш регулятори воситасида бу кучланишни $U_қ$ қийматгача аста-секин ошира бориб, трансформатор чулғамларида қисқа туташув токи номинал токларга тенг бўлиб қоладиган ($I_{1қ} = I_{1н}$ ва $I_{2қ} = I_{2н}$) қийматгача етказилади. Шу ҳолда асбобларнинг кўрсатишлари ёзиб олинади ва қисқа туташув характеристикалари $I_{1қ}$; $\cos\varphi_қ$ ҳамда $P_қ = f(U_қ)$ қурилади (11.5- расм). Трансформатор уч фазали бўлганда фаза



11.5- расм Уч фазали трансформаторнинг (100 *ква*, 6300/220 *в*) қисқа туташув характеристикалари.

кучланишлари ва токларининг қийматлари учала фаза учун ўртача бўлади:

$$U_қ = \frac{U_{қA} + U_{қB} + U_{қC}}{3}; \quad (11.8)$$

$$I_{1қ} = \frac{I_{қA} + I_{қB} + I_{қC}}{3}. \quad (11.9$$

Ўлчанган катталикларнинг ана шу қийматлари асосида $\cos \varphi_қ$ аниқланади:

$$\cos \varphi_қ = \frac{P'_қ P''_қ}{3U_қ I_{1қ}} = \frac{P_қ}{3U_қ I_{1қ}}. \quad (11.10)$$

Қисқа туташган трансформаторнинг чулғамларида токлар номинал токка тенг бўладиган кучланиш *қисқа туташувнинг номинал кучланиши* дейилади ва одатда $U_{1н}$ га нисбатан процент ҳисобида ифодаланади:

$$u_қ = \frac{U_қ}{U_{1н}} 100 \quad (11.11)$$

ГОСТ 401-41 га мувофиқ, қисқа туташув кучланиши иш температурасига, яъни 75°С га келтирилади. Куч трансформаторлари учун $u_қ$ номинал бирламчи кучланишнинг 5—10 процентини ташкил этади.

(10.14) ифодадан кўриниб турибдики, трансформаторнинг магнит ўтказгичидаги магнитавий оқим бирламчи кучланиш U_1 га пропорционалдир. Лекин қисқа туташув тажрибасида бу кучланиш $U_{1н}$ нинг 10% дан ортмаганлиги сабабли магнитавий оқим қиймати ҳам ана шундай кичик бўлади Бундай магнитавий оқим ҳосил қилиш учун шунчалик кам магнитловчи ток талаб қилинадики, бу токнинг қийматини ҳисобга олмаслик ҳам мумкин.

Бу ҳолда токлар тенгламаси (10.17) қуйидаги кўринишга келади:

$$\dot{I}_{1қ} = -\dot{I}'_{2қ} \quad (10.12)$$

қисқа туташув тажрибаси учун трансформаторнинг алмаштириш схемасида эса магнитланиш шохобчаси бўлмайди (11.6-расм, *а*). Бу алмаштириш схемаси учун э. ю. к. тенгламасини ёзиш мумкин:

$$\dot{U}_қ = \dot{I}_{1қ}(r_1 + r'_2) + j\dot{I}_{1қ}(x_1 + x'_2) \quad (11.13)$$

ёки

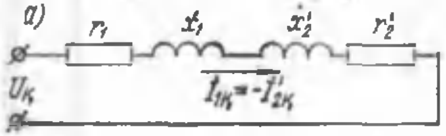
$$\dot{U}_қ = \dot{I}_{1қ} r_қ + j\dot{I}_{1қ} x_қ = \dot{I}_{1қ} z_қ \quad (11.14)$$

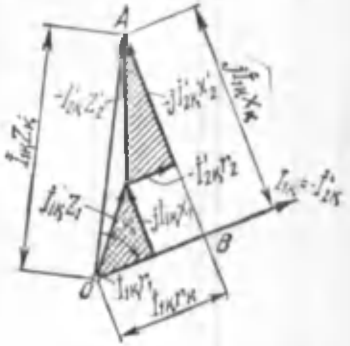
бунда $z_қ$ — қисқа туташув тажрибасида трансформаторнинг қаршилиги

$$z_қ = r_қ + jx_қ \quad (11.15)$$

Бу ерда $r_қ$ ва $x_қ$ трансформаторнинг қисқа туташув тажрибасидаги актив ва индуктив қаршиликлари.

Қисқа туташув тажрибаси учун токлар (11.12) ва э. ю. к. лар (11.13) тенгламаларидан фойдаланиб, *трансформаторнинг қисқа туташув пайтидаги вектор диаграммасини* қурамиз (11 6- расм, *б*). Диаграмма қуришни $\dot{U}_қ = \dot{I}_{1қ}Z_қ$ векторидан бошлаймиз. Сўнгра $U_қ$ векторига $\varphi_қ$ бурчак остида ток вектори $\dot{I}_{1қ} = -\dot{I}_{2қ}$ ни ўтказамиз. Бирламчи чулғамда кучланиш тушиши векторлари $\dot{I}_{1қ}r_1$ ва $j\dot{I}_{1қ}x_1$ ни ҳам-





11.6- расм. Трансформаторнинг қисқа туташув режимидаги алмаштириш схемаси (*а*) ва вектор диаграммаси (*б*).

да иккиламчи чулғамда кучланиш тушиши векторлари $-\dot{I}_{2қ}'r_2'$ ва $-j\dot{I}_{2қ}'x_2'$ ни қуриб, тўғри бурчакли учбурчаклик *AOB* ни ҳосил қиламиз, у *қисқа туташув учбурчаклиги* дейилади. Бу учбурчакликнинг томонлари қуйидагиларга тенг:

$$OB = \dot{I}_{1қ}r_1 + \dot{I}_{2қ}'r_2' = \dot{I}_{1қ}r_қ = U_{қ.а};$$

$$BA = \dot{I}_{1қ}jx_1 + \dot{I}_{2қ}'jx_2' = \dot{I}_{2қ}'jx_қ = U_{қ.р};$$

$$OA = \dot{I}_{1қ}z_қ = U_қ$$

Бунда $\dot{U}_{қ.а}$ ва $\dot{U}_{қ.р}$—қисқа туташув кучланишининг актив ва реактив ташкил этувчилари

$$\dot{U}_қ = \sqrt{\dot{U}_{қ.а}^2 + \dot{U}_{қ.р}^2} \qquad (11.16)$$

Қисқа туташув тажрибасида алмаштириш схемасининг параметрлари ушбу формулаларга кўра аниқланади:

$$\left.\begin{aligned} z_қ &= \frac{U_қ}{I_{1қ}}; \\ r_қ &= z_қ \cos\varphi_қ \\ x_қ &= \sqrt{z_қ^2 - r^2} \end{aligned}\right\} \qquad (11.17)$$

Қаршиликларнинг олинган қийматлари иш температураси — 75° га келтирилади:

$$r_{қ\cdot 75} = r_қ \frac{310}{235 + \theta_1}, \qquad (11.18)$$

$$z_{қ\cdot 75} = \sqrt{r^2_{қ\cdot 75} + x^2_қ}, \qquad (11.19)$$

бунда θ_1 чулғамларнинг тажриба вақтидаги температураси.

Қисқа туташув тажрибасида асосий оқим $\Phi_{макс}$ унинг номинал бирламчи кучланишдаги қийматига нисбатан фақат бир неча процентларнигина ташкил этгани учун шу оқим туфайли содир бўлган магнитавий исрофларни ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Бинобарин, қисқа туташув тажрибасида трансформатор истеъмол қилган қувват $P_қ$ батамом трансформатор чулғамларидаги электр исрофларни қоплашга сарфланади, деб ҳисоблаш мумкин.

$$P_қ = I^2_{1қ} r_1 + I^2_{1қ} r'_2 = I^2_{1қ}(r_1 + r'_2) = I^2_{1қ} r_{қ\cdot 75}.$$

Мисол. Уч фазали трансформатор (100 *ква* 6300/220 *в*) да қисқа туташув тажрибасида катталикларни ўлчаш натижалари 11.1-жадвалда келтирилган.

11.1-жадвал

Ўлчаш номери	$U_{қ\cdot A}$, *в*	$U_{қ\cdot B}$, *в*	$U_{қ\cdot C}$, *в*	$I_{қ\cdot A}$, *а*	$I_{қ\cdot B}$, *а*	$I_{қ\cdot C}$, *а*	$P_қ$, *вт*
1	64	63	62	2,3	3,0	3,1	190
2	105	105	103	5,1	5,0	5,0	513
3	147	146	145	7,2	7,0	7,2	1040
4	191	189	190	9,2	9,2	9,1	1780

Қисқа туташув характеристикалари $I_қ$, $P_қ$ ва $\cos\varphi = f(U_қ)$ ни қуриш талаб қилинади.

Эслатма: 1. Кучланиш ЮК чулғамлар томонидан берилган.

2. Чулғамлар юлдуз (Y/Y) усулида уланган.

3. Жадвалда ток ва кучланишларнинг фаза қийматлари кўрсатилган.

4. Жадвалдаги 4-ўлчаш номинал токка мос келади

5. Чулғамларнинг тажриба вақтидаги қизиш температураси 20°С ни ташкил қилади.

Ечилиши. *Қуйида номинал токка мос келадиган* $I_қ = I_{1н}$ (4-ўлчаш) катталикларни ҳисоб қилиш келтирилган.

Кучланиш $U_қ$ (11.8) ва ток $I_қ$ нинг (11.9) учала фаза учун ўртача қийматлари

$$U_қ = \frac{191 + 189 + 190}{3} = 190 \text{ в},$$

$$I_қ = \frac{9,2 + 9,2 + 9,1}{3} = 9,15 \text{ а}$$

Қисқа туташув тажрибасида алмаштириш схемасининг параметрлари:

$$z_{қ} = \frac{U_{қ}}{I_{қ}} = \frac{190}{9{,}15} = 20{,}8\ ом,$$

$$P_{қ} = 3I_{қ}^2 r_{қ} \text{ бўлгани учун } r_{қ} = \frac{P_{қ}}{2I_{қ}^2} = \frac{1780}{3{,}915^2} = 7{,}1\ ом,$$

$$x_{қ} = \sqrt{z_{қ}^2 - r_{қ}^2} = \sqrt{20{,}8^2 - 7{,}1^2} = 19{,}6\ ом.$$

$r_{қ}$ ва $z_{қ}$ ларнинг олинган қийматларини иш температураси 75°C га келтирамиз:

$$r_{қ\cdot 75} = r_{қ}\frac{310}{235 + \theta_1} = 7{,}1\frac{310}{235 + 20°} = 8{,}6\ ом,$$

$$z_{қ\cdot 75} = \sqrt{r_{қ\cdot 75}^2 + x_{қ}^2} = \sqrt{8{,}6^2 + 19{,}6^2} = 21{,}5\ ом.$$

Иш температурасига келтирилган қисқа туташув исрофлари:

$$R_{қ\cdot н} = 3I_{қ}^2 \cdot r_{75} = 3 \cdot 9{,}15^2 \cdot 8{,}6 = 2150\ вт$$

Иш температурасига келтирилган қисқа туташув кучланиши:

$$U_{қн} = I_{қ} \cdot z_{қ\cdot 75} = 9{,}15 \cdot 21{,}5 = 197\ в.$$

Қувват коэффициенти:

$$\cos\varphi_{қ} = \frac{P_{қ\cdot н}}{3I_{қ}\,U_{қ\cdot н}} = \frac{2150}{3 \cdot 9{,}15 \cdot 197} = 0{,}4$$

Ток $I_{қ}$ нинг бошқа қийматларида ҳам худди ана шу тартибда ҳисоблашлар ўтказамиз. Ҳисоблаш натижаларини 11.2- жадвал тарзида ёзиб, қисқа туташув характеристикаларини қурамиз (11.5- расмга қаранг.)

11.2- жадвал

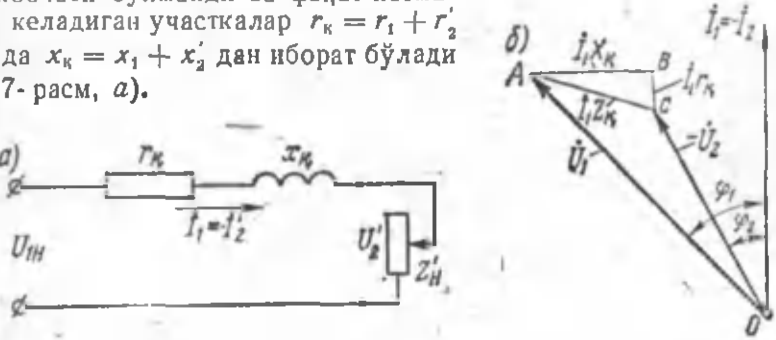
Ўлчаш номери	$U_{қ}$, в	$I_{қ}$, а	$P_{қ}$, вт	$\cos\varphi_{қ}$
1	65	3	230	0,4
2	108	5	620	0,4
3	152	7	1260	0,4
4	197	9,15	2150	0,4

11.3-§. Трансформаторнинг соддалаштирилган вектор диаграммаси

Нагрузка уланган трансформаторнинг вектор диаграммаси (10.5- расм) трансформаторнинг параметрлари орасидаги нисбатни яққол кўрсатади. Мураккаб бўлганлиги сабабли бу диаграммадан амалий ҳисоблашларда фойдаланиб бўлмайди. Диаграммани соддалаштириш ва уни амалий аҳамиятли қилиш учун номинал нагрузкага яқин нагрузкада ишлайдиган куч трансформаторларида салт ишлаш токи ҳисобга олинмайди ва $I_1 =$

$= - \dot{I}_2$ деб ҳисобланади. Бунда йўл қўйиладиган хато рухсат этиладиган даражадан катта бўлмайди, чунки I_0 ток I_1 ва I_2' токларга нисбатан катта эмас (11.1- § га қаранг).

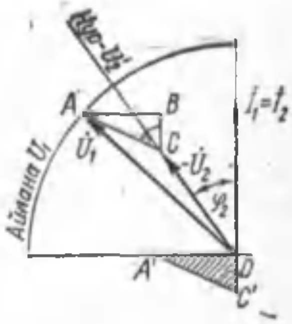
Шундай фараз қилинганда трансформаторнинг алмаштириш схемаси содда кўринишга келади, чунки унда магнитланиш шохобчаси бўлмайди ва фақат кетма-кет келадиган участкалар $r_к = r_1 + r_2'$ ҳамда $x_к = x_1 + x_2'$ дан иборат бўлади (11.7- расм, *а*).



11.7- расм. Соддалаштирилган алмаштириш схемаси (*а*) ва соддалаштирилган вектор диаграмма (*б*).

Соддалаштирилган алмаштириш схемасига мувофиқ ҳолда *соддалаштирилган вектор диаграммаси* ҳам қурилган (11.7-расм, *б*) унда тўғри бурчакли учбурчаклик *ABC* қисқа туташув учбурчаклигидир:

$$BC = I_1 r_к;\ CA = I_1 Z_к;\ AB = I_1 x_к$$



11.8- расм. Трансформаторнинг соддалаштирилган вектор диаграммасини ясаш.

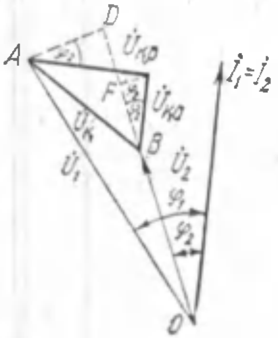
Соддалаштирилган вектор диаграмма берилган U_1, I_1 ва $\cos\varphi_2 = \frac{r_н'}{Z_н'}$ ҳамда қисқа туташув учбурчаклигининг параметрлари $U_к$; $U_{ка}$; $U_{кр}$ асосида қурилади.

Диаграммани қуриш тартиби қуйидагича (11.8- расм). *O* нуқтадан $OA = U_1$ радиусли U_1 айлана ўтказамиз: сўнгра *O* нуқтадан ординаталар ўқига φ_2 бурчак остида нур $-U_2'$ ни ўтказамиз. Абсциссалар ўқининг пастки томонига қисқа туташув учбурчаклигини ($OA'C'$ учбурчаклик) келтириб қурамиз. Шундан кейин бу учбурчакликнинг $A'C'$ томонини ўз-ўзига параллел қилиб шундай кўчирамизки, унинг бир учи U_1 айланага (*A* нуқта), иккинчи учи эса нур U_2' га (*C* нуқта) тегиб турсин. Шунда *OA* чизиқни ўтказиб, U_1' векторни ҳосил

қиламиз. OC кесма эса — $\dot{U}_2'$ векторни беради. Шундан кейин учбурчакликнинг AC томони ёнига унинг бошқа CB ҳамда BA томонларини ҳам келтириб қурамиз.

11.4-§. Иккиламчи кучланишнинг ўзгариши

Трансформаторнинг нагрузкаси ўзгарганида унинг иккиламчи кучланиши U_2' ҳам ўзгармасдан қолмайди. Бунга трансформаторнинг соддалаштирилган алмаштириш схемасидан фойдаланиб (11.7-расмга қаранг) ишонч ҳосил қилиш мумкин; бу схемадан кўриниб турибдики,



11.9-расм. $\Delta U_н$ формуласини чиқаришга доир.

$$U_2' = \dot{U}_{1н} - I_1 Z_к$$

Салт ишлашдан номинал нагрузкага қадар ўтилганда трансформатор *иккиламчи кучланишнинг ўзгариш* катталиги трансформаторнинг энг муҳим характеристикаси бўлиб, қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$\Delta U_н = \frac{U_{1н} - U_2'}{U_{1н}} 100 \qquad (11.20)$$

$\Delta U_н$ қийматини аниқлаш учун трансформаторнинг соддалаштирилган вектор диаграммасидан фойдаланамиз, бунинг учун унга қуйидагича қўшимчалар киритамиз (11.9-расм). A нуқтадан $\dot{U}_2'$ векторнинг давомига AD перпендикуляр туширамиз. BD кесма $\dot{U}_{1н} - \dot{U}_2'$ айирмадан иборат, деб ҳисоблаймиз.

$$U_{1н} - U_2' = BD = BF + FD$$

бунда

$$BF = \dot{U}_{ка} \cos \varphi_2,$$

$$FD = \dot{U}_{к\cdot р} \sin \varphi_2$$

у ҳолда

$$\dot{U}_{1н} - \dot{U}_2' = \dot{U}_{к\cdot а} \cos \varphi_2 + \dot{U}_{к\cdot р} \sin \varphi_2$$

бўлади.

Иккиламчи кучланишнинг ўзгариши:

$$\Delta U_н = \frac{U_{1н} - \dot{U}_2'}{U_{1н}} \cdot 100 = \frac{U_{к\cdot а} \cos \varphi_2 + U_{к\cdot р} \sin \varphi_2}{U_{1н}} \cdot 100$$

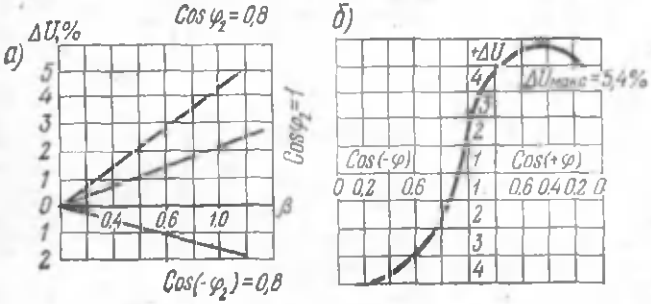
$\frac{U_{к\cdot а}}{U_{1н}} \cdot 100 = u_{ка}$; $\frac{U_{кр}}{U_{1н}} = u_{к\cdot р}$ деб белгиласак, у ҳолда $\Delta U_н$ формуласи қуйидаги кўриништа келади:

$$\Delta U_н = u_{к\cdot а} \cos \varphi_2 + u_{к\cdot р} \sin \varphi_2$$

(11.21) формула ΔU ни фақат трансформаторнинг номинал нагрузкасидагина аниқлашга имкон беради. Иккиламчи кучланишнинг ўзгариш катталигини ҳар қандай нагрузкада ҳисоблаш зарур бўлиб қолганда (11.21) формулага нагрузка коэффициенти $\beta = \frac{I_2}{I_{2н}}$ ни киритиш лозим

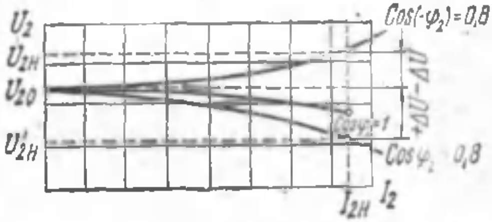
$$\Delta U = \beta\,(u_{к \cdot а} \cos \varphi_2 + u_{к \cdot р} \sin \varphi_2) \qquad (11.22)$$

(11.22) ифода ΔU нинг фақат нагрузка характерига эмас, балки унинг қийматига ҳам боғлиқлигини кўрсатади.



11.10- расм. $\Delta U_н$ нинг нагрузкага (*а*) ва қувват коэффициентига (*б*) боғлиқлиги.

11.10- расм, *а* да $\cos \varphi_2 = \text{const}$ бўлгандаги $\Delta U = f(\beta)$ боғланиш графиги 11.10- расм, *б* да эса $\beta = \text{const}$ бўлгандаги $\Delta U = f(\cos \varphi_2)$ график кўрсатилган. Бу графикларда ΔU нинг транс-



11.11- расм. Трансформаторнинг ташқи характеристикалари.

форматор сиғимий нагрузка билан ишлагандаги манфий қийматлари салт ишлашдан нагрузка билан ишлашга ўтилгандаги кучланиш ортишига мос келади. $\cos \varphi_2 = \cos \varphi_к$ бўлганда ΔU нинг қиймати энг катта бўлади.

Иккиламчи кучланиш U_2 нинг нагрузка токи I_2 га боғлиқлиги *трансформаторнинг ташқи характеристикаси* $U_2 = f(I_2)$ дейилади. $U_2 = f(I_2)$ эгри чизиқнинг шакли трансформатор нагрузкасининг характерига боғлиқ бўлади (11.11-расм). Масалан, актив-индуктив нагрузкада $U_2 = f(I_2)$ эгри чизиқ пасаювчи, актив-сиғимий нагрузкада эса кўтарилувчи кўринишда бўлади.

11.5 §. Трансформатордаги исрофлар ва унинг фойдали иш коэффициенти

Трансформатор нагрузка билан ишлаганида унда магнитавий ва электр исрофлар бўлади.

Магнитавий исрофлар, яъни трансформаторнинг магнит ўтказгичидаги исрофлар гистерезис ҳамда уюрма токлар таъсирида бўладиган исрофлардан таркиб топади. Магнитавий исрофларнинг жамий қиймати салт ишлаш исрофларига тенг деб қабул қилинади:

$$p_ж = p_г + p_{уюр} = P_0$$

Магнитавий исрофлар катталиги ток частотаси f га ва стержень ҳамда ярмодаги магнитавий индукция B нинг қийматига боғлиқ бўлади.

$P_0 \equiv B^2$ деб ҳисоблаш мумкин $U_1 = \text{const}$ бўлганда P_0 исрофлар нагрузкага боғлиқ бўлмайди, шу сабабли улар *доимий исрофлар* дейилади.

Электр исрофлар, яъни трансформаторнинг чулғамларида уларнинг қизиб кетиши билан боғлиқ бўлган исрофлар *ўзгарувчан исрофлар* дейилади, чунки бу исрофларнинг катталиги чулғамлардаги токнинг квадратига тўғри пропорционалдир. 11.2-§ да аниқланганидек, электр исрофлар катталиги қисқа туташув исрофларига тенг деб қабул қилинади:

$$p_э = p_{э1} + p_{э2} = I_1^2 r_1 + I_2'^2 r_2' = I_к^2 r_{к\cdot 75} = P_к$$

Агар номинал токда қисқа туташув қуввати маълум бўлса, электр исрофларни ушбу формуладан аниқлаш мумкин:

$$p_э = \beta^2 P_{к\cdot н} \qquad (11.23)$$

Трансформатордаги исрофлар йиғиндиси:

$$\sum p = P_{0н} + \beta^2 P_{к\cdot н}$$

Трансформаторнинг фойдали иш коэффициенти трансформатордан олинадиган актив қувват P_2 нинг трансформаторга берилган актив қувват P_1 га нисбатидан иборат:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

P_2 қувват қуйидаги формуладан ҳисоблаб топилади:

$$P_2 = mI_2U_2 \cos\varphi_2$$

ёки

$$P_2 = \beta S_н \cos\varphi_2 \qquad (11.25)$$

бунда $S_н = mI_{2н}U_{2н}$ номинал қувват, *ква*.

Лекин қувват $P_1 = P_2 + \sum p$,
у ҳолда трансформаторнинг ф. и. к и.

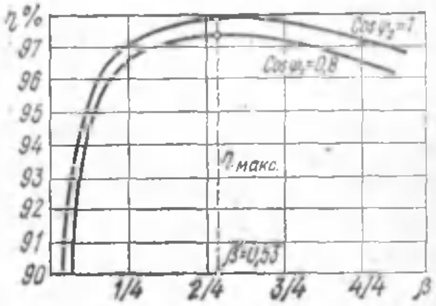
$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma p} = 1 - \frac{\Sigma p}{P_2 + \Sigma p} \qquad (11.26)$$

Бу ифодага (11.25) формуладан P_2 нинг қийматини ва (11.24) формуладан $\sum p$ нинг қийматини келтириб қўйсак, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\eta = 1 - \frac{P_{он} + \beta^2 P_{к \cdot н}}{\beta S_н \cos\varphi_2 + P_{он} + \beta^2 P_{к \cdot н}} \qquad (11.27)$$

Ф. и. к. нинг қиймати трансформаторнинг нагрузкасига боғлиқ (11.12-расм). Бундан ташқари, $\cos\varphi_2$ қанчалик катта бўлса ф. и. к. ҳам шунчалик катта бўлади. Ф.и.к. нинг максимал қиймати магнитавий исрофлар электр исрофларга тенг бўладиган нагрузкага мос келади:

$$P_{он} = \beta'^2 P_{к \cdot н}.$$



11. 12-расм. $\cos\varphi_2 = 1$ ва $\cos\varphi_2 = 0{,}8$ бўлгандаги $\eta = f(\beta)$ боғланиш.

Бундан нагрузка коэффициентининг максимал ф. и. к. га тўғри келадиган қиймати қуйидагига тенг:

$$\beta' = \sqrt{\frac{P_{он}}{P_{к \cdot н}}} \qquad (11.28)$$

Одатда ф.и.к. нинг максимал қиймати $\beta' = 0{,}5 - 0{,}6$ бўлган ҳолда тўғри келади.

Трансформаторда айланувчи қисмлар йўқлиги туфайли унинг ф.и.к.и электр машиналарникидан юқори бўлади. Катта қувватли трансформаторларда ф.и.к. 98—99% га етади.

Мисол. Агар салт ишлаш исрофлари (11.3-расм) $P_{он} = 605$ *вт*, қисқа туташув исрофлари (11.5-расм) эса $P_{кн} = 2150$ *вт* бўлса, уч фазали трансформаторнинг (100 *ква*, 3600/220 *в*) ф. и. к. и ни аниқланг ва $\eta = f(\beta)$ графигини қуринг. Ҳисоблашни $\cos\varphi_2 = 0{,}8$ ва $\cos\varphi_2 = 1$ бўлган ҳоллар учун қилинг.

Ечилиши. $\eta = f(\beta)$ графикни қуриш учун нагрузка коэффициентининг $\beta = 1/4$; $2/4$; $3/4$; $4/4$ қийматларида ф.и.к. ни ҳисоблаб топиш лозим. Ҳисоблаш натижалари 11.3-жадвал ҳолига келтирилган, унда $P_{он}$ ва $P_к$ исрофларнинг қийматлари ҳам кўрсатилган. $\cos\varphi_2 = 0{,}8$ ва $\cos\varphi_2 = 1$ бўлган ҳоллар учун график $\eta = f(\beta)$ 11.12-расмда келтирилган.

$\beta = \frac{I_2}{I_{2н}}$	$P_{он}$, *вт*	$\beta^2 P_{қ.н}$, *вт*	Σp, *вт*	Ф. и. к.%		Эслатма
				$\cos\varphi_2 = 0{,}8$	$\cos\varphi_2 = 1$	
1 4	605	134	739	96,5	97,0	
2 4	605	540	1145	97,3	97,8	
3 4	605	1210	1815	97,1	97,6	
4 4	605	2150	2755	96,6	97,3	

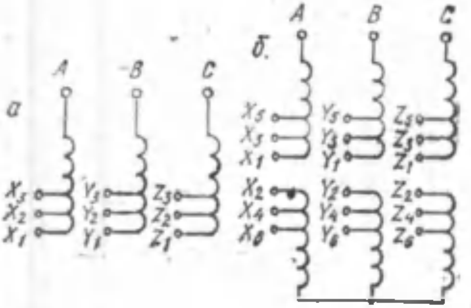
Трансформаторнинг қувват бўйича ф.и.к. идан ташқари унинг энергия бўйича ф.и.к.и ҳам бор; у трансформатор йил давомида берган энергия W_2 нинг у шу вақт давомида таъминлаш тармоғидан олган энергия W_1 га нисбатидан иборат:

$$\eta_{эн} = \frac{W_2}{W_1}$$

Энергия бўйича ф.и.к. трансформаторни ишлатишнинг қанчалик самарадорлигини кўрсатади.

11.6-§. Трансформаторларнинг кучланишини ростлаш

Пасайтирувчи трансформаторларнинг юқори кучланиш чулғамлари ростлаш шохобчалари билан таъминланади; улар ёрдамида номинал қийматидан қисман фарқ қиладиган трансформациялаш коэффициентини олиш



11.13- расм. Уч фазали трансформаторларнинг ростлаш шохобчаларига эга бўлган чулғамларининг схемалари.

мумкин. Бунинг зарурлигини шу билан изоҳлаш мумкинки, пасайтирувчи трансформаторлар уланиши мумкин бўлган электр узатиш линияларининг турли нуқталарида кучланишлар бир-биридан фарқ қилади ва, одатда, номинал бирламчи кучланишдан фарқли бўлади. Бундан ташқари, нагрузка ўзгариб туриши сабабли линиянинг исталган жойида кучланиш ўзгариши мумкин. Лекин трансформаторнинг иккиламчи чулғами клеммаларида кучланиш ҳамма ҳолларда номинал қийматга тенг ёки ундан жуда оз фарқ қилганлиги сабабли, трансформациялаш коэффициентини ўзгартириш имконияти заруратга айланади.

Ростлаш шохобчалари ҳар қайси фазада нолинчи нуқта яқинида, ёки чулғамнинг ўртасида қилинади.

Биринчи ҳолда ҳар қайси фазада учтадан шохобча қилинади (11.13-расм, *а*) бунда ўртадаги шохобча номинал трансформациялар коэффициен-

тига, икки четкадагиси эса номинал коэффициентдан ±5% фарқ қиладиган трансформациялаш коэффициентларига мос келади.

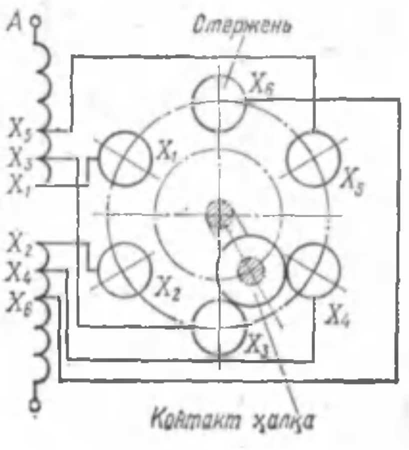
Иккинчи ҳолда чулғам икки қисмга бўлинади ва олтита шохобча қилинади (11.13- расм, *б*).

Бу номинал трансформациялаш коэффициентидан ташқари ундан +5, +2,5%, −2,5% ва −5% га фарқ қиладиган яна тўртта қўшимча қийматларини олишга имкон беради. 11.4- жадвалда чулғамларининг схемалари 11.13- расм, *б* да келтирилган уч фазали пасайтирувчи трансформаторлар ЮК чулғамларининг ростлаш шохобчаларини уланиш тартиби кўрсатилган.

11.4- жадвал

Трансформациялаш коэффициенти	*Шохобчаларнинг уланиши*		
Номинал $K_н$	$X_3 - X_4$	$Y_3 - Y_4$	$Z_3 - Z_4$
$K_н + 2{,}5\%$	$X_2 - X_3$	$Y_2 - Y_3$	$Z_2 - Z_3$
$K_н + 5\%$	$X_1 - X_2$	$Y_1 - Y_2$	$Z_1 - Z_2$
$K_н - 2{,}5\%$	$X_4 - X_5$	$Y_4 - Y_5$	$Z_4 - Z_5$
$K_н - 5\%$	$X_5 - X_6$	$Y_5 - Y_6$	$Z_5 - Z_6$

Шохобчалар переключатель воситасида уланади. Ҳар қайси фазага алоҳида *переключатель* ўрнатилади. Трансформациялаш коэффициентининг беш босқичини ҳосил қилиш учун (11.4- жадвалга қаранг) олтита металл стерженли переключателлар ишлатилади. Стерженлар контакт ҳалқалар билан жуфт-жуфт қилиб бирлаштирилади (11.14- расм). Контакт ҳалқаларни айлантирувчи вал бак қопқоғидаги дастали штанга билан боғланган. Трансформатор тармоқдан ЮК томонидан ҳам, ПК томонидан ҳам тўлиқ узиб қўйилгандагина трансформациялаш коэффициентини бир босқичдан иккинчи босқичга ўтказиш мумкин



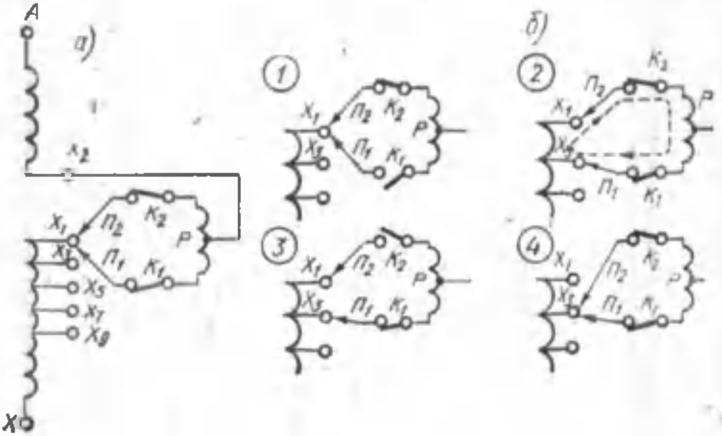
11.14- *расм*. Шохобчалар переключателининг ишлаш схемаси.

Трансформаторларнинг кучланишини нагрузка остида ростлаш усули кенг кўламда қўлланила бошлади.

Бу усул ҳам трансформациялаш коэффициентини ростлаш шохобчалари воситасида ўзгартиришга асосланган. Лекин бунда бир шохобчадан узиб иккинчи шохобчага улаш ишлари иш токи занжирини узмасдан амалга оширилади. Шу мақсадда ҳар қайси фазанинг *чулғами махсус узиб-уловчи қурилма билан таъминланган*; бу қурилма реактор *Р*, иккита контактор, K_1 ва K_2 ҳамда иккита қўзғалувчан $П_1$ ва $П_2$ контактли переключатель (11.15- расм, *а*) дан таркиб топган.

Иш ҳолатида переключателнинг иккала қўзғалувчан контакти битта шохобчада K_1 ва K_2 контакторлар занжирга уланган ва иш токи реактор чулғамининг иккала ярми бўйича параллел йўналган бўлади. Агар бир шохобчадан иккинчи шохобчага, масалан, X_1 дан X_2 га улаш зарурати туғил-

са, қуйидагилар содир бўлади. Контактор K_1 нинг контактлари узилади (11.15- расм, *б* даги *1*-ҳолат), переключателнинг токсизлантирилган шохобчадаги қўзғалувчан контакти $П_1$ бошқа шохобчага ўтади ва K_1 контакторнинг контактлари яна уланиб қолади (2- ҳолат). Шундай ҳолатда чулғамнинг X_1 ва X_2 шохобчалар орасидаги қисми занжирга уланган (ёпиқ) бўлиб қолади. Лекин узиб уловчи қурилма занжиридаги ток қиймати катта бўлмайди, чунки уни реактор P нинг қаршилиги чеклаб қўяди.



11.15- расм. Контактларни нагрузка остида алмаштириб улаш тартиби.

Худди ана шу тартибда қўзғалувчан контакт K_2X_1 шохобчадан X_3 шохобчага ўтказилади (*3* ва *4*- ҳолатлар), шундан кейин узиб-улаш процесси тугалланади. Кучланишни нагрузка остида ростлаш, одатда, автоматлаштирилади ва узоқдан туриб (бошқариш шчитидан) амалга оширилади.

XII боб

ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ ПАРАЛЛЕЛ ИШЛАШИ

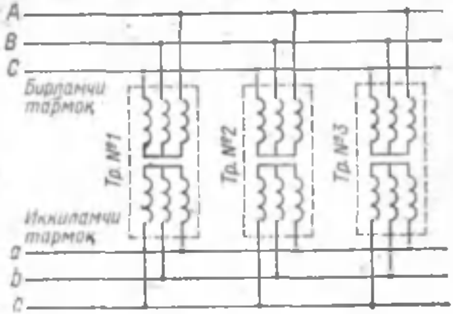
12.1- §. Дастлабки мулоҳазалар

Станция ва подстанцияларда кучланиш, одатда битта трансформатор билан эмас, балки алоҳида-алоҳида ёки параллел ишлайдиган бир неча трансформаторлар билан трансформацияланади.

Икки ёки бир неча трансформаторнинг бирламчи чулғамлари умумий бирламчи тармоққа, иккиламчи чулғамлари эса — умумий иккиламчи тармоққа уланганда трансформаторларнинг биргаликда ишлаши уларнинг *параллел ишлаши* дейилади (12.1- расм).

Катта қувватли битта трансформатор ўрнига параллел уланган бир неча трансформаторларни ишлатиш бирор трансфор-

маторда авария бўлганда ёки уни ремонт қилиш учун узиб қўйилганда истеъмолчиларни энергия билан узлуксиз таъминлаш учун зарурдир. Бундан ташқари, нагрузка графиги ўзгариб турадиган, масалан нагрузка қуввати сутканинг турли соатларида анча ўзгариб турадиган подстанцияларда ҳам параллел уланган бир неча трансформаторлар ишлатиш мақсадга мувофиқдир. Бунда нагрузка қуввати камайганда битта ёки бир неча трансформаторни узиб, уланган ҳолда қолган бошқа трансформаторларнинг нагрузкасини номинал нагрузкага яқин қилиш мумкин. Натижада трансформаторлар ишлашининг эксплуатацион кўрсаткичлари (ф. и. к. ва $\cos\varphi_2$) анча юқори бўлади.



12.1- расм. Трансформаторни параллел ишлашга улаш.

Фақат муайян шартларга риоя қилингандагина трансформаторларни параллел ишлашга улаш мумкин. Бунда чулғамларнинг уланиш группаси катта аҳамиятга эга бўлади, булар ҳақида қуйида тушунча бериб ўтилади.

12.2- §. Чулғамларнинг уланиш схемалари

Шу вақтга қадар биз вектор диаграммалар қуришда $\dot{E}_1$ ва $\dot{E}_2$ э. ю. к. лар фаза жиҳатдан бир-бирига мос, деб ҳисоблаган эдик. Лекин бу ҳол бирламчи ва иккиламчи ғалтаклар бир томонга ўралганда ва бу ғалтакларнинг чиқиш учлари 12.2-расм, *а* да кўрсатилганидек бир хил маркалангандагина тўғри бўлади.

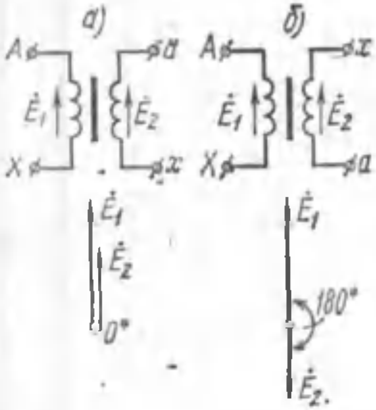
Агар трансформаторда паст кучланишли ғалтакнинг ўралиш йўналиши ўзгартирилса ёки унинг чиқиш учининг белгиси бошқа қўйилса, у ҳолда э. ю. к $\dot{E}_2$ фаза жиҳатдан э. ю. к. $\dot{E}_1$ га нисбатан 180° га силжиган бўлиб қолади (12.2- расм, *б*).

$\dot{E}_1$ ва $\dot{E}_2$ э. ю к лар орасидаги фаза силжишини туташмалар группаси орқали ифодалаш қабул қилинган. Лекин фазаларнинг бундай силжиши 0 дан 360° гача ўзгариши мумкинлиги, силжиш карралилиги эса 30° ни ташкил этиши сабабли туташмалар группасини белгилаш учун 1 дан 12 гача бўлган бир қанча сонлар танлаб олинади, унда ҳар қайси бирлик 30° силжиш бурчагига мос келади.

Бундай белгилашга $\dot{E}_1$ ва $\dot{E}_2$ векторларнинг нисбий ҳолатини минут ҳамда соат стрелкасининг ҳолати билан таққослаш асос

қилиб олинган. Бунда юқори кучланиш чулғамининг э. ю. к. вектори 12 рақамни кўрсатиб турувчи минут стрелкаси, паст кучланиш чулғамининг э. ю. к. вектори эса соат стрелкаси деб фараз қилинади (12.3- расм).

Соат стрелкасининг минут стрелкасига нисбатан ҳолати ПК чулғами э. ю. к. векторининг ЮК чулғами э. ю. к. векторига нисбатан тутган ҳолати билан аниқланади. Масалан, чулғамларнинг 12.2- расм, *а* даги уланиш схемаси 12- группали, 12.2- расм, *б* даги уланиш схемаси эса 6 группали бўлади. Шундай қилиб, бир фазали трансформаторда уланишларнинг (туташмаларнинг) фақат икки группасини: $\dot{E}_1$ ва $\dot{E}_2$ лар фаза жиҳатдан мос тушадиган 12- группа билан $\dot{E}_1$ ҳамда $\dot{E}_2$ орасида фазалар силжиши 180° га мос келадиган 6- группани ҳосил қилиш мумкин.



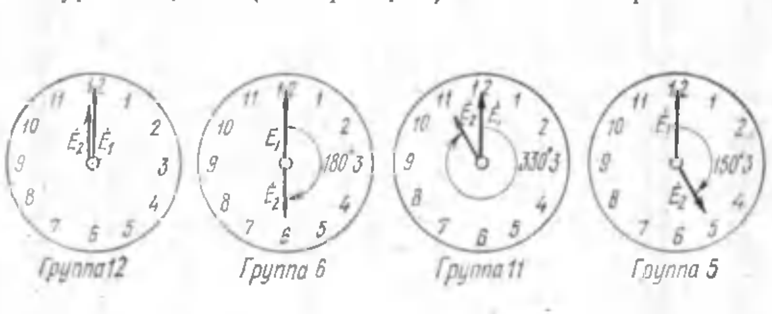
12.2- расм. Бир фазали трансформаторларни туташтириш группалари *а*—I/I—12; *б*—I/I—6.

Бу группалардан 12- группа стандарт ҳисобланади; у I/I—12 деб белгиланади.

Уч фазали трансформаторларда $\dot{E}_1$ ва $\dot{E}_2$ э. ю. к. ларнинг линиявий қийматлари орасидаги фазалар силжиш бурчаги уланишлар группаси билан аниқланади.

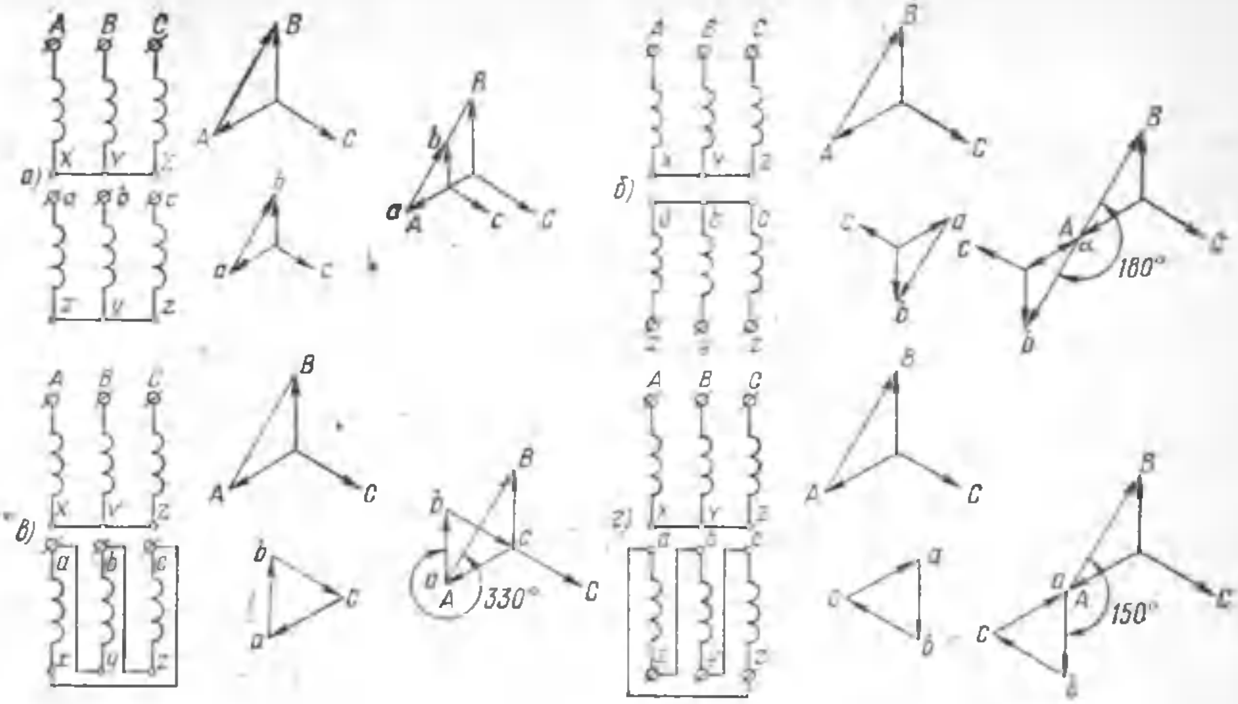
Уч фазали трансформаторларда чулғамларни улашнинг турли усулларини қўллаб, ўн иккита турли хил уланишлар ҳосил қилиш мумкин. Бу ўн икки группадан СССРда фақат иккитаси: фаза силжиши 330° бўлган 11- группа билан фаза силжиши 0° бўлган 12- группа стандартлаштирилган.

Мисол тариқасида „юлдуз-юлдуз" усулида уланиш схемасини кўриб чиқамиз (12.4- расм, *а*). Э. ю. к. ларнинг вектор



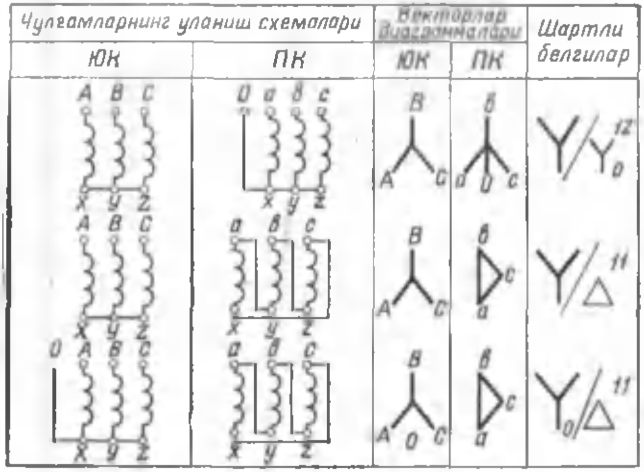
12.3- расм. Туташтириш группаларининг белгиланиши.

13—390



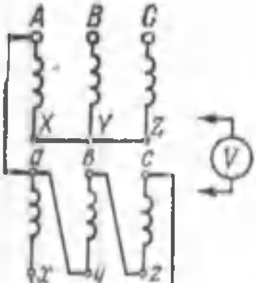
12.4- расм. Уч фазали трансформаторларни туташтириш группалари: *а*—Y/Y—12; *б*—Y/Y—6; *в*—Y/Δ—11; *г*—Y/Δ—5.

диаграммалари линия э. ю. к. лари $\dot{E}_1(AB)$ ва $E_2(ab)$ орасидаги силжиш айни ҳолда нолга тенглигини кўрсатади. ЮК ва ПК чулғамлари э. ю. к. ларининг вектор диаграммаларини бир бирининг устига қўйишда A ва a нуқталарни устма-уст тушириб бунга ишонч ҳосил қилиш мумкин.



12.5- расм. Чулғамларни туташтиришнинг ГОСТ да курсатилган схемалари ва туташтириш группалари.

Бинобарин, чулғамларни улашнинг кўрсатилган схемаларида **12**- группа бўлади; у Y/Y—12 деб белгиланади. Агар паст кучланиш фаза чулғамларининг бошланиш ва охирги учларининг ўринлари алмаштирилса (12.4- расм, *б*) у ҳолда линия э. ю. к. лар вектор диаграммаларининг A ҳамда a нуқталарини устм-уст тушириб, трансформатор 6- группага тааллуқли бўлиб қолганлигини кўрамиз; унинг белгиланиши Y/Y—6.



12.6- расм. Туташтириш группасини аниқлашда трансформаторни улаш схемаси

Чулғамларни „юлдуз—учбурчак" усулида улашда мумкин бўлган группаларни кўриб чиқамиз. Чулғамлар 12.4- расм, *в* да кўрсатилганидек уланганда 11- группа бўлади; белгиланиши Y/Δ—11.

Агар ПК фаза чулғамларининг бошланиш ва охирги учларининг ўрни алмаштирилса (12.4- расм, *г*) у ҳолда трансформатор 5- группага тааллуқли бўлиб қолади; у Y/Δ — 5 билан белгиланади.

Уч фазали трансформатор чулғамларини улашнинг ГОСТ 401-41 да назарда тутилган схемалари 12.5- расмда келтирилган.

Баъзан трансформаторнинг уланиш группасини текшириш зарурати туғилади. Бундай ҳолда трансформатор симметрик уч фазали кучланишли тармоққа уланади, бир исмли клеммаларидан иккитаси, масалан, $A - a$ туташтирилади (12.6- расм) ва U_{b-B} ($b - B$ клеммалар орасидаги) ҳамда U_{c-C} ($c - C$ клеммалар орасидаги) кучланишлар ўлчанади. Курсатилган кучланишлар бир хил бўлиши ва 12.1- жадвалда келтирилган қийматларга мос келиши керак. Шундан кейин U_{c-B} ($c - B$ клеммалар орасидаги) кучланиш ўлчанади ва у U_{b-B} кучланиш билан таққосланади. U_{c-B} кучланиш U_{b-B} кучланишдан катта (к), тенг (т) ва кичик (кч) бўлиши мумкин. Шу ўлчашлар асосида 12.1- жадвалдан уланиш группаси аниқланади. Агар ўлчаш натижалари жадвалда кўрсатилган ҳолларнинг бирортасига ҳам мос келмаса, бу чулғамларнинг клеммалари нотўғри маркаланганлигини кўрсатади.

12.1- жадвал

Уланишлар группаси	Кучланиш	
	$U_{b-B} = U_{c-C}$	U_{c-B}
	$k - 1$	—
1.	$\sqrt{k^2 - \sqrt{3}k + 1}$	k
2.	$\sqrt{k^2 - k + 1}$	k
3.	$\sqrt{k^2 + 1}$	k
4.	$\sqrt{k^2 + k + 1}$	k
5.	$\sqrt{k^2 + \sqrt{3}k + 1}$	m
6.	$k + 1$	—
7.	$\sqrt{k^2 + \sqrt{3}k + 1}$	kr
8.	$\sqrt{k^2 + k + 1}$	kr
9.	$\sqrt{k^2 + 1}$	kr
10.	$\sqrt{k^2 - k + 1}$	kr
11	$\sqrt{k^2 - \sqrt{3}k + 3}$	m

Эслатма: 1. K — юқори линия кучланишининг паст кучланишга нисбати.

2. $U_{b-B} = U_{c-C} = K - 1$ ёки $U_{b-B} = U_{c-C} = K + 1$ бўлганда U_{c-B} кучланишни ўлчамаслик мумкин.

12.3- §. Трансформаторларни параллел ишлашга улаш

Трансформаторларни фақат қуйидаги шартларга риоя қилингандагина параллел ишлашга улаш мумкин:

1. Бирламчи кучланишлар бир хил бўлганда иккиламчи кучланишлар ўзаро тенг бўлиши керак; бошқача айтганда,

трансформаторларнинг трансформациялаш коэффициентлари бир хил бўлиши лозим:

$$K_I = K_{II} = K_{III} = \dots$$

Бу шартга риоя қилинмаса, ҳатто салт ишлаганда ҳам параллел уланган трансформаторлар орасида иккиламчи кучланишларнинг фарқи (ΔU) га боғлиқ бўлган тенглаштирувчи ток $I_{тенг}$ пайдо бўлади:

$$I_{тенг} = \frac{\Delta U}{Z_{кI} + Z_{II}}$$

бунда $Z_{кI}$ ва $Z_{кII}$ трансформаторларнинг ички қаршилиги.

Трансформаторларга нагрузка уланганда тенглаштирувчи ток нагрузка токига қўшилади. Бунда салт ишлашининг иккиламчи кучланиши анча юқори (трансформациялаш коэффициенти кам) бўлган трансформатор ўта юкланиб қолади, шунга тенг қувватли, лекин трансформациялаш коэффициенти катта булган трансформатор эса тўлиқ юкланмайди. Трансформаторларнинг ортиқча нагрузка билан ишлашига йўл қўйиб бўлмаганлиги сабабли умумий нагрузкани камайтиришга тўғри келади. Трансформациялаш коэффициентларининг фарқи анча катта бўлганда трансформаторларнинг нормал ишлаши амалда мумкин бўлмай қолади. Лекин ГОСТ 401-41 га кўра, трансформациялаш коэффициентларининг фарқи уларнинг ўртача қийматининг $\pm 0{,}5\%$ дан ошмаса бундай трансформаторларни параллел ишлашга улаш мумкин:

$$\Delta K = \frac{K_I - K_{II}}{K} 100 \leqslant \pm 0{,}5\%$$

бунда $K = \sqrt{K_I \cdot K_{II}}$ — трансформациялаш коэффициентларининг ўртача геометрик қиймати.

2. *Трансформаторлар туташмаларининг битта группасига тааллуқли бўлиши лозим.* Бу шартга риоя қилинмаса трансформаторларнинг иккиламчи линия э. ю. к лари бир-бирига нисбатан фаза жиҳатдан силжиган бўлиб қолади ва трансформаторлар занжирида айирма э. ю. к. пайдо бўлади, бу э.ю к. таъсирида эса анча катта тенглаштирувчи ток ҳосил бўлади.

3. *Трансформаторларнинг қисқа туташув кучланишлари бир хил бўлиши керак:*

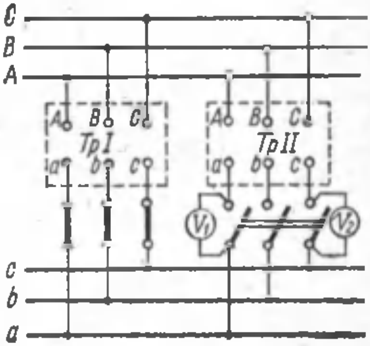
$$u_{кI} = u_{кII} = u_{кIII} = \dots\dots$$

Агар бошқа ҳамма шартларга риоя қилиниб, қисқа туташув кучланиши турлича бўлган икки ёки бир неча трансформатор параллел уланган бўлса, у ҳолда S_I ва S_{II} нагрузка трансформаторлар орасида қисқа туташув кучланишига тескари пропорционал равишда тақсимланади:

$$\frac{S_I}{S_{II}} = \frac{u_{кII}}{u_{кI}} \quad \frac{S_{нI}}{S_{нII}}, \qquad (12.1)$$

яъни трансформаторлар уларнинг номинал қувватига нопропорционал равишда юкланади, бу эса бир трансформаторнинг (кам $u_к$) ли ўта юкланишига ва бошқасининг чала юкланишига олиб келади. Трансформаторнинг ўта юкланишига йўл қўймаслик учун умумий нагрузкани камайтириш зарур. Шундай қилиб, қисқа туташув кучланишларнинг ўзаро тенг эмаслиги параллел ишлаётган трансформаторларнинг қувватидан тўлиқ фойдаланишга имкон бермайди.

Қисқа туташув кучланишлари бир хил бўлган трансформаторлар танлаш амалда ҳамма вақт ҳам мумкин бўлавермаслигини ҳисобга олиб, ГОСТ 401-41 да қисқа туташув кучланишларининг фарқи уларнинг ўртача арифметик қийматининг кўпи билан $\pm 10\%$ и атрофида бўлишига йўл қўйилади.



12.7- расм. Уч фазали трансформатор фазаларининг навбатлашиб келишини текшириш учун вольтметрларни улаш схемаси.

Трансформаторлар бир-биридан қуввати жиҳатидан қанчалик кўп фарқ қилса, уларнинг қисқа туташув кучланишлари фарқи ҳам шунчалик катта бўлади. Шунинг учун ГОСТ 401-41 параллел уланган трансформаторлар номинал қувватларининг нисбати кўпи билан 3 : 1 бўлишини тавсия этади.

Трансформаторларни параллел ишлашга улашдан олдин юқорида кўрсатилган уч шартга риоя қилишдан ташқари фазаларнинг алмашланиб келиш тартибини ҳам текшириш лозим, бу тартиб барча трансформаторларда бир хил бўлиши керак. Шу шартга риоя қилинганда V_1 ва V_2 вольтметрларнинг кўрсатишлари (12.7- расм) нолга тенг бўлади.

Қуввати турлича бўлган трансформаторларни ҳам параллел ишлашга улаш мумкин, лекин уларнинг умумий нагрузкаси шу трансформаторларнинг йиғинди номинал қувватидан катта бўлмаслиги лозим.

Параллел ишлайдиган трансформаторлар орасида нагрузканинг тақсимланиши қуйидагича аниқланади:

$$S_х = \frac{S}{u_{хк} \sum \frac{S_{нх}}{U_{кх}}} S_{нх} \quad (12.2)$$

бунда $S_х$ — параллел ишлаётган трансформаторлардан бирининг нагрузкаси, *ква*;

S — барча параллел группанинг умумий нагрузкаси, *ква*;

$U_{\text{қх}}$—айни трансформаторнинг қисқа туташув кучланиши, %;

$S_{\text{нх}}$— айни трансформаторнинг номинал қуввати, *ква.*

$$\sum \frac{S_{\text{нх}}}{u_{\text{қх}}} = \frac{S_{\text{нI}}}{u_{\text{қI}}} + \frac{S_{\text{нII}}}{u_{\text{қII}}} + \frac{S_{\text{нIII}}}{u_{\text{қIII}}} + \dots \quad (12.3)$$

Мисол. Уланиш группалари бир хил бўлган учта уч фазали трансформатор 5 000 *ква* умумий нагрузкага параллел уланган (12.1- расм). Трансформаторларга оид қуйидаги маълумотлар берилган: $S_{\text{нI}} = 1000$ *ква*, $u_{\text{қ I}} = 6{,}5\%$, $S_{\text{нII}} = 1800$ *ква*, $u_{\text{қ II}} = 6{,}65\%$, $S_{\text{н III}} = 2200$ *ква*, $u_{\text{қ III}} = 6{,}3\%$. Ҳар қайси трансформаторнинг нагрузкасини аниқланг.

Ечилиши. (12.3) формуладан

$$\sum \frac{S_{\text{нх}}}{u_{\text{қ.х}}} = \frac{1000}{6{,}5} + \frac{1800}{6{,}65} + \frac{2200}{6{,}3} = 775$$

(12.2) формуладан ҳар қайси трансформаторнинг нагрузкасини аниқлаймиз:

$$S_{\text{I}} = \frac{5000}{6{,}5 \cdot 775}\, 1000 = 995 \text{ ква};$$

$$S_{\text{II}} = \frac{5000}{6{,}5 \cdot 775}\, 1800 = 1755 \text{ ква};$$

$$S_{\text{III}} = \frac{5000}{6{,}3 \cdot 775}\, 2200 = 2250 \text{ ква},$$

яъни учинчи трансформатор

$$\frac{2250-2200}{2200} \cdot 100 = 2{,}3\% \text{ ўта юкланган.}$$

Бу трансформаторнинг ўта юкланганлигини йўқотиш учун ташқи нагрузкани 2,3% га камайтириш, яъни уни

$$S' = S - \frac{S}{100} \cdot 2{,}3 = 5\,000 - \frac{5000}{100}\, 2{,}3 = 4885 \text{ ква га}$$

тушириш керак.

Бинобарин, трансформаторларнинг умумий номинал қувватидан фақат 97,7% игина фойдаланилади.

XIII боб

МАХСУС ТРАНСФОРМАТОРЛАР

13.1- §. Уч чулғамли трансформатор

Уч чулғамли трансформаторда бир-бири билан электр жиҳатдан боғланмаган учта чулғам бўлади, улардан биттаси бирламчи, қолган иккитаси эса иккиламчи чулғамлардир (13.1- расм).

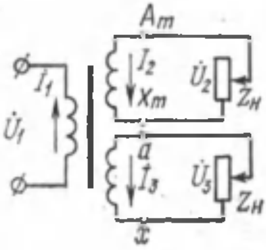
Уч чулғамли трансформаторнинг ишлаш принципи моҳияти жиҳатдан одатдаги икки чулғамли трансформаторнинг ишлаш принципидан фарқ қилмайди.

Бу трансформаторнинг бирламчи чулғами магнитловчи бўлиб, магнит ўтказгичда магнитавий оқим ҳосил қилади, бу оқим иккита иккиламчи чулғамни кесиб ўтиб, уларда E_2 ва E_3 э. ю. к. ларни ҳосил қилади.

Салт ишлаш токининг қийматини ҳисобга олмасак, уч фазали трансформаторнинг токлар тенгламасини ёзиш мумкин:

$$\dot{I}_1 = -(\dot{I}_2' + \dot{I}_3')$$

Бу тенгламадан кўриниб туриптики, уч чулғамли трансформаторнинг бирламчи токи келтирилган иккиламчи токларнинг арифметик эмас, балки геометрик йиғиндисига тенг. Бу тенгликни, шунингдек, иккиламчи чулғамларга булган нагрузка номинал қийматга бир вақтда эришмаслигини эътиборга олиб, уч чулғамли трансформаторнинг бирламчи чулғами шундай қувватга ҳисобланадики, бу иккала иккиламчи чулғамлар номинал қувватларининг йиғиндисидан кичик бўлиши керак.



13.1- расм. Бир фазали уч чулғамли трансформатор.

Уч чулғамли трансформаторлар ишлатишнинг мақсадга мувофиқлигига яна бир сабаб шуки, битта уч чулғамли трансформатор амалда иккита икки чулғамли трансформаторнинг ўрнини босади.

Уч чулғамли трансформаторнинг иккиламчи чулғамлари орасида магнитавий боғланиш борлиги сабабли улар бир-бирига таъсир этиб туради. Масалан, ток I_2 ўзгарганида фақат U_2 кучланиш эмас, балки U_3 кучланиш ҳам ўзгаради.

ГОСТ 401-41 га мувофиқ, уч фазали уч чулғамли трансформаторларнинг чулғамлари $Y_0 | Y_0 | \Delta - 12 - 11$ ёки $Y_0 | \Delta | \Delta - 11 - 11$ усулида, бир фазалиларники эса $I | I | I - 12 - 12$ усулида уланиши мумкин.

Чулғамларнинг чиқиш учлари 10.1- жадвалда кўрсатилганидек белгиланади. Уч чулғамли трансформаторнинг номинал қуввати сифатида унинг қуввати энг катта бўлган чулғамининг, яъни бирламчи чулғамининг қуввати қабул қилинади.

Уч чулғамли (бир фазали ва уч фазали) трансформаторлар трансформатор подстанцияларида ўрнатилади.

Радио, алоқа ва автоматика қурилмаларида ишлатиладиган кичик қувватли кўп чулғамли трансформаторлар ҳам худди ана шу принципда тузилган бўлади.

13.2- §. Автотрансформатор

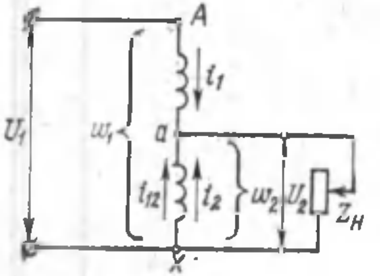
Автотрансформаторнинг фақатгина битта чулғами бўлиб унинг ўрамларидан бир қисми бирламчи ҳамда иккиламчи занжирлар учун умумий бўлади. 13.2- расмда пасайтирувчи авто-

трансформаторнинг схемаси кўрсатилган, унда aX қисм чулғамнинг умумий қисми бўлиб, бу қисмда ток I_{12} га тенг. I_1 ва I_2 токлар қарама-қарши фазаларда эканлигини эътиборга олиб, ток I_{12} учун қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$I_{12} = I_2 - I_1 \tag{13.1}$$

Бундан кўринадики, чулғамнинг умумий қисмида токнинг қиймати I_1 ва I_2 токларнинг айирмасига тенг.

Агар автотрансформаторнинг трансформациялаш коэффициенти бирдан салгина катта бўлса, у ҳолда I_1 ва I_2 токлар бир-биридан кам фарқ қилади, уларнинг айирмаси $I_2 - I_1$ эса кичикроқ қийматни ташкил этади. Бу ҳол автотрансформатор чулғамининг aX қисмини кичикроқ кесимли симдан тайёрлашга имкон беради Агар автотрансформатордаги исрофлар ҳисобга олинмаса, у ҳолда автотрансформаторга киришдаги қувват $S_1 = I_1U_1$ билан ундан чиқишдаги қувват $S_2 = I_2U_2$ ни тахминан ўзаро тенг, деб қабул қилиш мумкин. Бу қувват $S_1 \approx S_2$ ўтувчи қувват $S_{ўт}$ дейилади. Бундан ташқари, *ҳисобий қувват* $S_{ҳис.}$ ҳам бўлади, у магнитавий майдон воситасида бирламчи занжирдан иккиламчи занжирга узатиладиган қувватдир. Бу қувватнинг ҳисобий қувват дейилишига сабаб шуки трансформаторнинг ўлчамлари ва оғирлиги шу қувват катталигига боғлиқ бўлади. Трансформаторда ўтувчи қувватнинг ҳаммаси ҳисобий қувват бўлади, чунки трансформаторнинг чулғамлари орасида фақат магнитавий боғланиш бўлади, холос.



13,2- расм. Бир фазали автотрансформаторнинг принципиал схемаси.

Лекин автотрансформаторда бирламчи ва иккиламчи занжирлар орасида магнитавий боғланиш билан бирга электр боғланиш ҳам бўлади. Шу сабабли ҳисобий қувват ўтувчи қувватнинг фақат бир қисминигина ташкил этади, бу қувватнинг бошқа қисми эса занжирлар орасидаги электр боғланиш ҳисобига (магнитавий майдон иштирокисиз) бирламчи занжирдан иккиламчи занжирга узатилади.

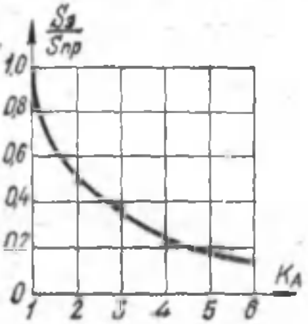
Буни тасдиқлаш мақсадида автотрансформаторнинг ўтувчи қуввати $S_{ўт} = I_1U_2$ ни ташкил этувчиларга ажратамиз. Бунинг учун (13.1) ифодадан фойдаланамиз; бу ифодадан $I_2 = I_1 + I_{12}$. Буни ўтувчи қувват формуласига қўйсак, қуйидагини оламиз:

$$S_{ўт} = U_2I_2 = U_2(I_1 + I_{12}) = U_2I_1 + U_2I_{12} = S_э + S_{ҳис.}$$

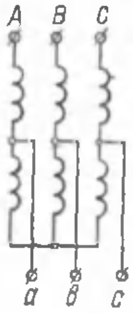
Бунда $S_э = U_2 I_1$ автотрансформаторнинг бирламчи занжиридан иккиламчи занжирига шу занжирлар орасидаги электр боғланиш туфайли узатиладиган қувват. Шундай қилиб, автотрансформаторда ҳисобий қувват $S_{хис.} = U_2 I_{12}$ ўтувчи қувватнинг фақат бир қисминигина ташкил этади.

Бу ҳол автотрансформатор тайёрлаш учун шундай қувватли трансформатордагига қараганда кичикроқ кесимли магнит ўтказгичдан фойдаланишга имкон беради.

Шу сабабли чулғам ўрамининг ўртача узунлиги ҳам камроқ бўлади, демак, трансформатор чулғамини тайёрлашга кам-



13.3- расм. $\frac{S_э}{S_{ўт}} = f(Ka)$ боғланиш.



13.4- расм. Уч фазали автотрансформаторнинг схемаси.

роқ мис сарфланади. Бир вақтнинг ўзида магнитавий ва электр исрофлар камаяди, автотрансформаторнинг ф. и. к. эса ортади.

Шундай қилиб, тенг қувватли трансформаторга нисбатан автотрансформаторнинг қуйидаги афзалликлари бор: актив материаллар (мис ва электротехникавий пўлат) кам сарфланади, ўлчамлари кичик, ф. и. к. и анча катта, таннархи кам бўлади.

Қувват $S_э$ қанчалик катта, бинобарин ўтувчи қувватнинг ҳисобий қисми қанчалик кам бўлса, автотрансформаторнинг юқорида кўрсатилган афзалликлари янада кўпроқ бўлади. Қувват $S_э$ катталиги автотрансформаторнинг трансформациялаш коэффициенти $K_A = \frac{w_{Ax}}{w_{ax}}$ га тескари пропорционалдир, яъни

$$S_э = S_{ўт} \frac{1}{K_A} \qquad (13.2)$$

$\frac{S_э}{S_{ўт}} = f(K_A)$ графикдан кўриниб турибтики (13.3- расм), автотрансформатор ишлатиш икки чулғамли трансформаторга нис-

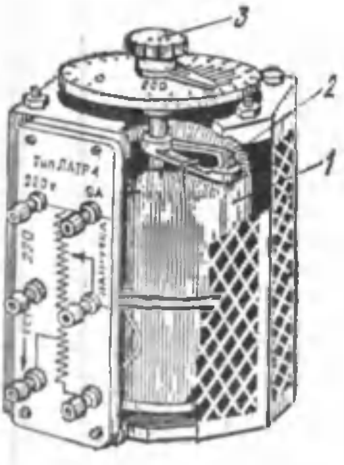
батан фақат трансформациялаш коэффициентининг қиймати унча катта бўлмаган ҳоллардагина яхши натижа беради.

Масалан, $K_A = 1$ бўлганда автотрансформатордаги барча қувват занжирлар орасидаги электр боғланиш ҳисобига ($S_э | S_{ўт} = 1$) иккиламчи занжирга узатилади.

Энг қулайи трансформациялаш коэффициенти $K_A \leqslant 2$ бўлган автотрансформаторлар ишлатишдир.

Трансформациялаш коэффициентининг қиймати катта бўлганда автотрансформаторнинг қуйида кўрсатилган камчиликлари ҳал қилувчи қийматга эга бўлиб қолади:

1) пасайтирувчи автотрансформаторда қисқа туташув токининг катта бўлиши (a ва X нуқталар туташганида (12.2- расм) кучланиш U_1 ўрамларнинг қисқа туташув қаршилиги жуда кам бўлган кичикроқ қисми $A-a$ гагина берилади);



13.5- расм. РНО типидаги ростлаш автотрансформатори:

1—чулғам; *2*—чўткатутқич; *3*—регулятор дастаси.

2) ЮК томонининг ПК томони билан электр жиҳатдан боғланганлиги; бу бутун чулғамнинг электр изоляцияси жуда мустаҳкам бўлишини талаб этади;

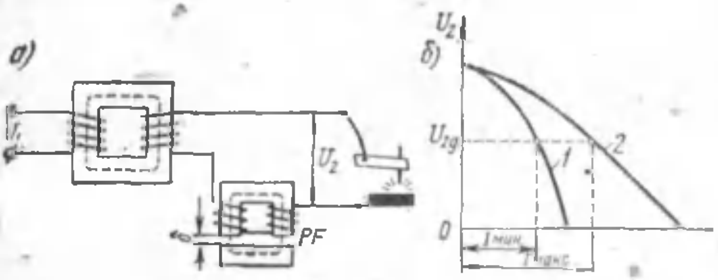
3) автотрансформаторлардан кучланишни пасайтириш схемаларида фойдаланилганда паст кучланиш тармоғининг симлари билан ер орасида юқори кучланиш томонидаги сим билан ер орасидаги кучланишга тахминан тенг кучланиш пайдо бўлади, бу эса установкаларни хавфсиз ишлатиш шартларига асло тўғри келмайди.

Автотрансформаторлар кучайтирувчи ва пасайтирувчи, бир фазали ва уч фазали бўлиши мумкин. Уч фазали автотрансформаторларда чулғамлар, одатда, юлдуз усулида уланади (13.4г расм).

Трансформациялаш коэффициенти ўзгариб турадиган автотрансформаторлар кенг кўламда ишлатилмоқда. Бу ҳолда автотрансформатор ўрамлар сони w_2 ни ўзгартириш йўли билан иккиламчи кучланиш катталигини бошқаришга имкон берадиган қурилма билан таъминланади. Бу переключатель ёки чулғамнинг бевосита изоляциядан тозаланган ўрамлари бўйлаб ҳаракатланадиган сирпанувчан контакт (чўтка) ёрдамида амалга оширилади. Бундай автотрансформаторлар кучланиш регуляторлари дейилади ва бир фазали (РНО типидаги) ҳамда уч фазали (РНТ типидаги) бўлиши мумкин. РНО типидаги автотрансформаторнинг тузилиши 13.5-расмда кўрсатилган.

13.3-§. Электр ёйи ёрдамида пайвандлашда ишлатиладиган трансформатор

Электр ёйи ёрдамида пайвандлашда ишлатиладиган трансформатор бир фазали пасайтирувчи трансформатор бўлиб, тармоқ кучланиши 220 ёки 380 *в* ни *электр ёйининг турғун ёниши учун зарур бўладиган* 60 — 70 *в* кучланишга айлантиради. Электр ёйининг қаршилиги жуда кичик бўлганлиги сабабли пайвандлаш трансформатори қисқа туташув режимига яқин режимда ишлайди. Шунинг учун ток қийматини чеклаш мақсадида трансформаторнинг ик-



13.6- расм. Электр ёйи билан пайвандлаш трансформаторининг уланиш схемаси (*а*) *ва ташқи характеристикалари* (*б*).

киламчи занжирига сурилувчан ўзакли реактив ғалтак *PF* кетма-кет уланади (13.6-расм, *а*). Схемада бу ғалтакнинг бўлиши трансформатор ташқи характеристикасининг шаклига таъсир этиб, уни янада тик пасаювчи қилиб қўяди (*13.6-расм, б*). Реактив ғалтакнинг магнитавий занжирида ҳаво зазори δ нинг катталигини ўзгартириш йўли билан ғалтакнинг индуктив қаршилиги қийматини бир меъёрда ўзгартириш мумкин. Бунда ташқи характеристиканинг оғиш бурчаги, ва бинобарин, ток қиймати ҳам ўзгаради: *минимал зазорга* энг кичик ток (*1* эгри чизиқ), миксимал зазорга эса энг катта ток (*2* эгри чизиқ) тўғри келади.

13.4-§. Кучланиш ва токни ўлчаш трансформаторлари

Ўлчов трансформаторлари ўзгарувчан ток занжирларида электр ўлчов асбобларининг ўлчаш чегараларини кенгайтириш ва юқори кучланиш тармоқларида шундай асбоблар билан ишлаш хавфсизлигини таъминлаш мақсадларида ишлатилади. *Бундан ташқари*, ўлчов трансформаторларидан релели ҳимоя асбобларини улашда ҳам фойдаланилади.

13.7- расм. Кучланишни (*а*) ва токни (*б*) ўлчаш трансформаторларининг *схемалари*.

Кучланишни ўлчаш трансформатори кучланиши 220 *в* дан юқори бўлган ўзгарувчан ток тармоқларида ўлчашларда ишлатилади. Кучланиш трансформатори пасайтирувчи трансформатор бўлиб (13.7-расм, *а*) унинг бирламчи ва иккиламчи чулғамларида ўрамлар нисбати номинал бир*ламчи кучланишда иккиламчи* кучланиш 1000 *в* бўладиган қилиб ясалади.

Кучланиш трансформаторининг иккиламчи занжирига вольтметрлар, частотомерлар ҳамда ваттметрлар энергия счётчиклари ва фазометрларнинг

кучланиш чулғамлари уланади. Бу асбобларнинг электр қаршилиги катта (минг *ом* атрофида) бўлганлиги сабабли кучланиш трансформатори, одатда, салт ишлаш режимига яқин режимда ишлайди. Бу ҳол чулғамларда кучланиш тушишини ҳисобга олмасликка ҳамда

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 \qquad \dot{U}_2 = \dot{E}_{2н}$$

деб қабул қилишга имкон беради; лекин $E_1 = \frac{w_1}{w_2} \cdot E_2$ бўлгани учун бирламчи чулғамдаги кучланиш қуйидагича бўлади:

$$U_1 = \frac{w_1}{w_2} U_2 = K_н U_2 \tag{13.3}$$

Бунда $K_н$—кучланиш трансформаторининг трансформациялаш коэффициенти.

Ўлчов трансформаторлари бирламчи кучланиши 380 дан 400000 *в* гача бўладиган бир фазали ва уч фазали қилиб тайёрланади. Уч фазали кучланиш ўлчаш трансформаторларида туташмаларнинг 12-группаси ишлатилади.

Кучланиш 3000 *в* гача бўлса, кучланиш трансформаторлари қуруқ қилинади.

3000 *в* дан юқори кўчланишларда кучланиш трансформаторлари мойли қилинади, бу нарса чулғамлар изоляциясининг электр мустаҳкамлиги кучли бўлиши учун зарурдир.

Хавфсизликни таъминлаш мақсадида иккиламчи чулғамнинг чиқиш учларидан бири ва кучланиш трансформаторининг кожухи ерга туташтирилади.

Ток ўлчаш трансформатори амперметрларни ва ваттметрлар, энергия счётчиклари ҳамда фазометрларнинг ток чулғамларини улашда ишлатилади.

Ток трансформаторининг бирламчи чулғами катта кесимли симдан ясалади ва тармоққа кетма-кет уланади (13.7-расм, *б*). Трансформатор чулғамларидаги ўрамлар сони бирламчи чулғамда ток номинал бўлганда иккиламчи занжирдаги ток 5 *а* бўладиган қилиб танланади.

Иккиламчи занжирга уланадиган асбобларнинг электр қаршилиги катта бўлмаганлиги сабабли ток трансформаторининг ишлаш режими магнит ўтказгичда магнитавий оқим (11.2-§) ҳисобга олмаса бўладиган даражада кичик бўладиган қисқа туташув режимига яқин бўлади. Бу ҳолда, токлар тенгламаси (11.2)га ўхшаш, қисқа туташув тажрибаси учун ток трансформатори учун қуйидаги тенгликни ёзиш мумкин.

$$\dot{I}_1 = -\dot{I}'_2 = -\frac{w_2}{w_1}\dot{I}_2,$$

бундан

$$\dot{I}_1 = K_т \dot{I}_2$$

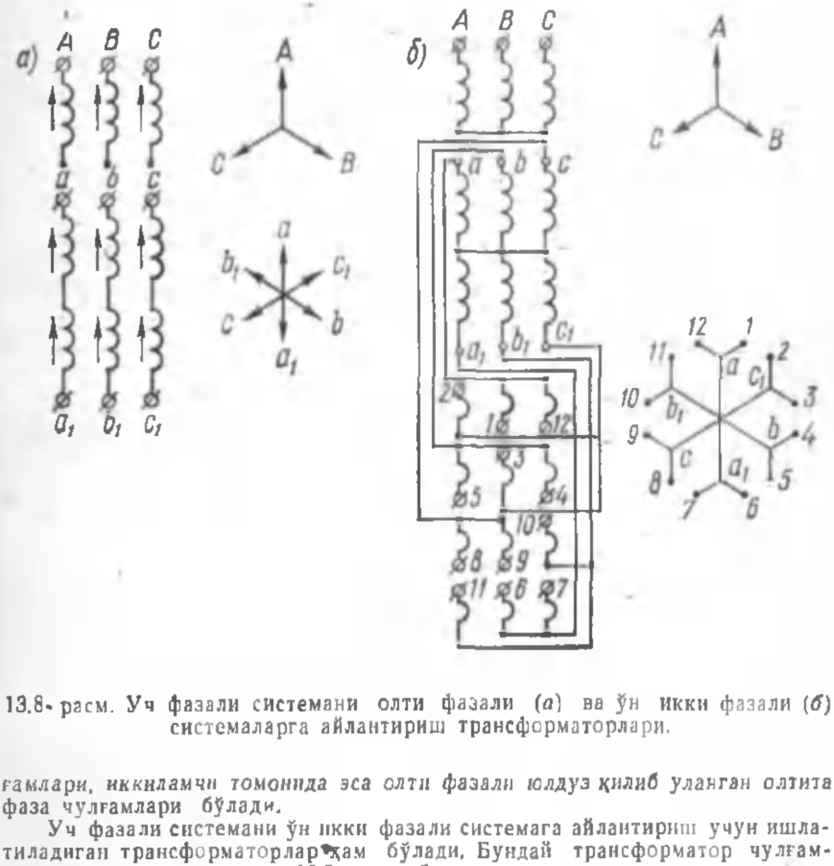
бу ерда $K_т$ — ток трансформаторининг трансформациялаш коэффициенти.

Ток трансформаторини тармоққа улашда кожухи ва иккиламчи чулғамининг чиқиш клеммаларидан бири ерга туташтирилади.

Агар ток трансформатори ишлаётган пайтда унинг иккиламчи чулғами узиб қўйилса, у ҳолда унда ток нолга тенг бўлади, бирламчи ток эса аввалгисича қолади. Бунда бирламчи ток батамом магнитловчи бўлади ва магнитавий оқимни анча кўпайтиради. Магнитавий исрофлар оқим квадратига пропорционал равишда ортади, бу эса магнит ўтказгичнинг изоляция учун хавфли даражада қаттиқ қизиб кетишига олиб келади. Бунинг натижасида электр линияси ерга қисқа туташиб қолиши мумкин. Бундан ташқари, иккиламчи чулғамнинг э. ю. к. и магнитавий оқимга пропорционал равишда ортади ва хизмат қилувчи шахслар учун хавфли қийматга етади. Шу сабабли бирламчи чулғамда ток бўлганида ток трансформаторининг иккиламчи занжирини узишга йўл қўйиб бўлмайди. Асбобни тармоқдан узиб қўйиш зарур бўлганда ток трансформаторининг иккиламчи чулғами клеммаларини олдиндан қисқа туташтириб қўйиш лозим.

13.5-§. Ўзгарувчан токнинг фазалар сонини ўзгартириш трансформатори

Ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантириш жараёнида, шунингдек, электропечь установкаларини ток билан таъминлашда ва бир қатор бошқа ҳолларда ўзгарувчан токнинг фазалар сонини ўзгартириш зарурати туғилади. Схемаси 13.8-расм, *а* да келтирилган трансформатор воситасида уч фазали система олти фазали системага айлантирилади. Бу трансформаторнинг бирламчи томонида уч фазали юлдуз қилиб туташтирилган учта фаза чул-



13.8-расм. Уч фазали системани олти фазали (*а*) ва ўн икки фазали (*б*) системаларга айлантириш трансформаторлари.

ғамлари, иккиламчи томонида эса олти фазали юлдуз қилиб уланган олтита фаза чулғамлари бўлади.

Уч фазали системани ўн икки фазали системага айлантириш учун ишлатиладиган трансформаторлар ҳам бўлади. Бундай трансформатор чулғамларининг уланиш схемаси 13.8-расм, *б* да келтирилган.

13.6-§ Кучланиш стабилизатори

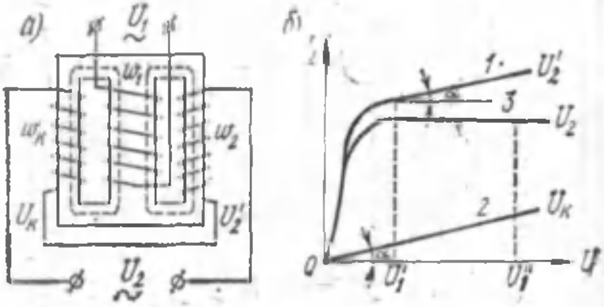
Кучланиш стабилизаторлари турли хил электротехника қурилмаларининг занжирларида кучланишни ўзгармас қилиб сақлаб туриш зарур бўлганда ишлатилади.

Кучланишни стабилизациялаш учун кичикроқ қувватли қурилмаларида электр-магнитавий стабилизаторлар ишлатилади. Электр-магнитавий стабилизаторларнинг бир неча типлари бор; улардан асосийлари қуйидагилардир:

а) тўйинган типдаги ферромагнит стабилизаторлар (сиғимсиз), буларда ферр магнит ўзакнинг тўйинишига асосланган ҳодисалардан фойдаланилади;

б) феррорезонанс ста´илизаторлар (сиғимли), буларнинг ишлаши токлар феррорез нансига асосланган.

Ферромагнитли стабилизатор уч стерженли магнит ўтказгич бўлиб, унинг ўрта стерженида бирламчи чулғам w_1 жойлашган бўлади (13.9-расм, *а*). Магнитавий жиҳатдан жуда тўйинган ҳолатдаги ўнг стерженда иккиламчи чулғам w_2, магнитавий тўйинмаган чап стерженда эса компенсацион чулғам $w_к$ жойлашади. Кучланиш U_1 ўзгариб турганда ўрта стерженда магнитавий оқим ўзгаради, лекин ўнг стерженда оқим жуда кам ўзгаради, чунки ўнг



13.9-расм. Ферромагнитли кучланиш стабилизатори

стержень магнитавий тўйинган ҳолатда бўлади. Шунинг учун стабилизатор иккиламчи чулғамининг чиқиш клеммаларида кучланиш U_2' нинг ўзгариши ҳам жуда кам даражада бўлади (13.9-расм, *б* даги *1*-эгри чизиқ).

Кучланиш U_2' нинг озгина ўзгариши компенсацион чулғам $w_к$ нинг кучланиши $U_к$ ҳисобига қопланади, унинг U_1 кучланишга боғлиқлиги *2*-эгри чизиқ билан кўрсатилган.

Стабилизатор чулғамларининг ва магнит ўтказгичнинг параметрлари тўғри танланса *1*-эгри чизиқ тўғри чизиқли қисмининг оғиш бурчаги *α* 2 эгри чизиқнинг оғиш бурчагига тенг бўлади. Бу ҳолда стабилизатордан чиқишдаги кучланиш

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_2' + \dot{U}_к$$

стабиллашган бўлиб қолади. Масалан, бирламчи кучланиш U_1 номинал кучланишдан $\pm$ 20% фарқ қилса ва нагрузка ҳамда частота ўзгармас бўлса стабилизатордан чиқишдаги кучланиш $\pm$ 0,3% атрофида ўзгариб туради. Ферромагнит кучланиш стабилизаторларининг техника-иқтисодий кўрсаткичлари паст бўлади: ф. и. к. и кичик (40—60%) қувват коэффициенти кичик (0,4 атрофида), яққол ифодаланган учинчи гармоникали чиқиш кучланиши носинусоидал бўлади. Бундан ташқари, чиқиш кучланишининг қиймати кўп жиҳатдан ток частотасига боғлиқ бўлади. Кўрсатилган бу камчиликлар ферромагнит стабилизаторларнинг ишлатилишини чеклаб қўяди.

Феррорезонанс кучланиш стабилизаторларининг хоссалари бирмунча яхшироқ бўлади.

Феррорезонанс стабилизаторнинг ишлашини кўриб чиқамиз. Стабилизатор (13.10-расм, *а*) ўзаги берилган кучланишлар U_1 диапозонида магнитавий тўйинган ҳолатда ишлайдиган реактив ғалтак *1*, конденсатор *C* ва магнит ўтказгичи тўйинмаган автотрансформатор *2* дан таркиб топган.

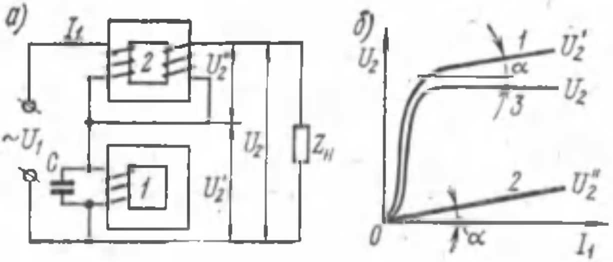
Автотрансформаторнинг чулғами стабилизатордан чиқишдаги кучланиш U_2 қуйидаги айирмага тенг бўладиган қилиб уланган:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_2' - \dot{U}_2''$$

бунда $\dot{U}_2''$ — автотрансформатордан чиқишдаги кучланиш;

$\dot{U}_2'$ — реактив ғалтакнинг чиқиш клеммаларидаги кучланиш.

Токлар резонанси ҳодисаси туфайли ғалтак клеммаларидаги кучланиш U_2' нинг ток I_1 га боғлиқлиги чизиғий бўлмайди (13.10-расм, *б* даги *1*-эгри чизиқ). Автотрансформаторнинг магнит ўтказгичи тўйинмаган ҳолатда бўлганлиги учун ундан чиқишдаги кучланиш U_2'' ток I_1 га пропорционал бўлади (*2*-эгри чизиқ). Агар автотрансформатор билан реактив ғалтакнинг пара-



13.10-расм. Феррорезонанс кучланиш стабилизатори.

метрлари шундай танланган бўлсаки, *1*-эгри чизиқнинг абсциссалар ўқига қиялиги *α* магнитавий тўйинган қисмида *2*-эгри чизиқнинг қиялигига тўғри келадиган бўлса, у ҳолда кучланишлар айирмаси $U_2' - U_2'' = \text{const}$. Бунда стабилизатордан чиқишдаги кучланиш U_2 ток I_1 га (*3*-эгри чизиқ) ва, бинобарин, кучланиш U_1 га боғлиқ бўлмайди. Стабилизациялаш диапазони, одатда, U_1 номинал қийматининг 30 процентидан ошмайди.

Феррорезонансли стабилизаторларнинг ф. и. к. и анча юқори ва 80—85% ни ташкил этади.

Феррорезонансли стабилизаторларнинг камчиликлари қуйидагилардир: чиқиш кучланишининг тармоқдаги ток частотасига ва нагрузканинг $\cos\varphi$ ига (ферромагнитли стабилизаторлардагига қараганда камроқ даражада) боғлиқлиги, шунингдек учинчи гармониканинг ташкил этувчиси ҳисобига чиқиш кучланишининг анча носинусоидал бўлишидир.

Занжирга компенсацияловчи контурлар киритиш йўли билан стабилизаторларнинг юқорида кўрсатилган камчиликларини анча камайтириш мумкин.

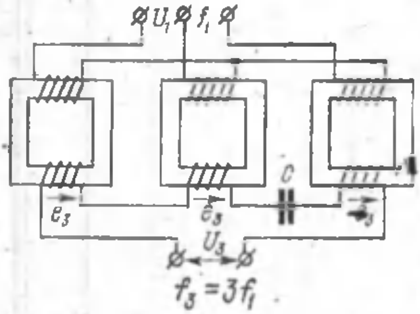
13.7-§. Частотани ўзгартириш трансформатори

Ўзгарувчан ток частотасини икки ёки уч марта оширишга имкон берадиган трансформаторлар энг кўп ишлатилади.

Ўзгарувчан токнинг частотасини уч марта оширишда ишлатиладиган трансформаторнинг ишлашини кўриб чиқамиз. Бундай трансформатор *частотани уч марта оширувчи* дейилади. У магнит ўтказгичи ниҳоятда тўйинган ҳолда ишлайдиган учта бир фазали трансформатордан таркиб топган. Трансформаторларнинг бирламчи чулғамлари юлдуз усулида, иккиламчи чулғамлари эса – кетма-кет уланган (13.11-расм).

10.8-§ да кўрсатиб ўтилганидек трансформаторнинг магнитловчи токида, асосийси билан бир қаторда частотаси $f_3 = 3f_1$ ли учинчи гармоника ҳам

бўлади. Кейинчалик чулғамлар юлдуз усулида уланганида учинчи гармоника токлари ўзаро мувозанатлашади ва шунда магнитавий оқим таркибида учинчи гармоника Φ_3 пайдо бўлиши кўрсатиб ўтилган эди. Уч стерженли магнит ўтказгичда бу гармоника оқимлари сусайган бўлади. Лекин частотани уч марта купайтирувчи трансформаторда бир фазали трансформаторларнинг магнит ўтказгичлари мустақил ишлайди, шу сабабли уларда Φ_3 оқимларнинг қийматлари анча катта бўлади ва иккиламчи чулғамларда учинчи гармоника э.ю.к. и e_3 ни ҳосил қилади. Э. ю. к. e_3 лар барча фаза чулғамларида фаза жиҳатдан мос тушганлиги сабабли частотани уч марта купайтирувчи трансформаторнинг чиқиш клеммаларида э. ю. к. e_3 ларнинг алгебраик йиғиндисига тенг, частотаси $f_3 = 3f_1$ бўлган кучланиш U_3 ҳосил бўлади. Биринчи гармоника э. ю. к. ига келганда, уч марта кўпайтирувчи трансформаторнинг фазо чулғамларида ҳосил бўлса ҳам, унинг чиқиш клеммаларидаги кучланиш таркибида бўлмайди, чунки э. ю. к. лар орасида фазалар 120° га силжиганида уларнинг алгебраик йиғиндиси нолга тенг бўлади.



13.11- расм. Частотани учлантиргич (уч марта орттиргич) схемаси.

Нагрузка уланганда иккиламчи чулғамларда кучланиш тушишини камайтириш учун чулғамларга кетма-кет конденсатор C уланади, унинг сиғими чулғамларнинг индуктивлигини компенсациялайди.

Бирин-кетин (каскад қилиб) уланган частотани ўзгартирувчи бир неча трансформаторлар ишлатиш йўли билан частотани янада кўпроқ марта ошириш мумкин. Лекин частотани оширишнинг бу усули иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқ эмас, чунки бунда актив материаллар кўп сарфланади.

УЧИНЧИ БУЛИМ

СИНХРОН МАШИНАЛАР

XIV боб

СИНХРОН ГЕНЕРАТОРЛАРНИНГ ИШЛАШ ПРИНЦИПИ ВА КОНСТРУКЦИЯСИ

14.1- §. Асосий тушунчалар

Роторининг айланиш тезлиги n_1 ўзгарувчан ток тармоғидаги частота f_1 билан қатъий ўзгармас нисбатда буладиган ўзгарувчан ток коллекторсиз машинаси синхрон машина дейилади:

$$n_1 = \frac{f_1 60}{p}, \tag{14.1}$$

бунда p — машинанинг жуфт қутблари сони.

Синхрон машиналар анча кенг кўламда ва турли-туман мақсадларда ишлатилади. Синхрон машина қайтар бўлиб, генератор режимида ҳам, двигатель режимида ҳам ишлай олади.

Синхрон генератор электр энергияси ишлаб чиқариш процессида ишлатиладиган ўзгарувчан ток генераторининг асосий типидир.

Синхрон двигателлар бошқа типдаги двигателлардан берилган частотада (14.1) айланиш тезлигининг қатъий ўзгармаслиги, нагрузкага боғлиқмаслиги билан фарқ қилади.

Синхрон двигателларнинг бошқа ўзига хос хусусияти уларнинг қувват коэффициентини ростлаш мумкинлигидир. Двигателларнинг бу хусусияти катта қувватли электр юритмада ниҳоятда муҳимдир, чунки у фойдали иш коэффициентини оширишга имкон беради. Кичик қувватли синхрон двигателлар автоматика системаларида ишлатилади, бунда, асосан, уларнинг айланиш тезлигининг ўзгармаслик хусусиятидан фойдаланилади.

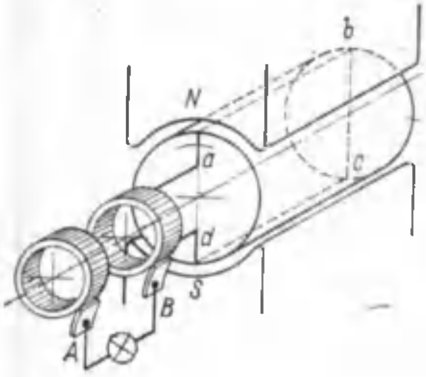
Синхрон машиналар ишлатиладиган анча муҳим соҳалардан яна бири — уларнинг электр системада қувват коэффициентини яхшилашга имкон берадиган синхрон компенсатор сифатида ишлатилишидир.

Синхрон машиналар ҳар хил қувватли: ваттнинг улушларидан тортиб (автоматика системаларининг двигателлари), то юзлаб меговаттгача (турбо — ва гидрогенераторлар, синхрон компенсаторлар) қувватли қилиб тайёрланади.

14.2-§. Синхрон генераторнинг ишлаш принципи

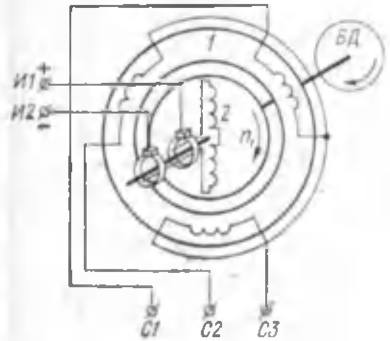
Синхрон генераторнинг ишлаши электромагнитавий индукция ҳодисасига асосланган ва механикавий энергияни ўзгарувчан токнинг электр энергиясига айлантиришдан иборат.

Ўзгармас ток генераторларининг ишлаш принципини ўрганиш пайтида шу нарса таъкидлаб ўтилган эдики, бу генератор якорининг чулғамида ўзгарувчан э. ю. к. индукцияланади ва у коллектор ҳамда чўткалар воситасида ўзгармас э. ю. к. га айланади. Бинобарин, агар ўзгармас ток генераторидан коллектор олиб ташланса, у ўзгарувчан ток генераторига айланиб қолади. 14.1- расмда бир фазали ўзгарувчан ток генераторининг энг оддий модели тасвирланган; у ўзгармас ток генераторининг модели (1.1-расмга қаранг) принципида тузилган, лекин ундан коллектори йўқлиги билан фарқ қилади.



14.1- расм. Ўзгарувчан ток генераторининг энг оддий модели.

Генераторнинг айланувчи қисми ротор, қўзғалмайдиган қисми эса статор дейилади. A ва B чўткалар чулғам учлари билан уланган *контакт ҳалқаларга* тегиб туради.



14.2- расм. Уч фазали синхрон генераторнинг электромагнитавий схемаси.

Агар магнитавий индукция B ҳаво зазорида синусоидал тақсимланади ($B = B_m \sin \alpha$) деб фараз қилсак, у ҳолда генераторнинг якорь чулғамида индукцияланадиган э. ю. к. ҳам синусоидал бўлади.

$$e = Blv = B_{\text{макс}} lv \sin \alpha.$$

Коллекторнинг йўқлиги машинанинг конструкциясини соддалаштиради ва э. ю. к. индукцияланадиган чулғамни генераторнинг қўзғалмас қисмида—статор *1* да жойлаштиришга имкон беради (14.2- расм). Бунда қўзғатиш чулғами ротор *2* да жойлаштирилади. Бундай конструктив схема катта қувватли синхрон машиналарда айниқса қулайдир, чунки иш чулғами роторда жойлаштирилганида контакт ҳалқалар орқали

иш чулғамига 20 *кв* гача кучланишда катта қувватларни узатишга тўғри келар эди. Бундай шароитда контакт ҳалқалар ва чўткаларнинг ишлаши анча ишончсиз бўлиб, чўткалар контактида энергия исрофлари кўпайиб кетган бўлур эди.

Иш чулғами статорда жойлаштирилганда бу чулғамнинг чиқиш учлари бевосита электр тармоғига уланади. Бу ҳолда ҳам машина қўзғатиш чулғамини қўзғатувчига улаш учун зарур бўлган контакт ҳалқалар ва чўткалардан холи бўлмайди, албатта. Лекин қўзғатиш токининг катталиги иш токи (ўзгарувчан ток) дан ўнлаб марта кам, кучланиш эса 450 *в* дан ошмаслиги туфайли чўткалар контакти анча яхши ишлайди, унда энергия исрофлари кўп бўлмайди.

Юқорида айтиб ўтилган мулоҳазаларга кўра синхрон машиналар, одатда, иш чулғами статорда жойлаштириладиган қилиб ясалади.

Уч фазали синхрон генератор статорининг чулғами фазода бир-бирига нисбатан 120 эл. градус бурчак остида жойлашган (14.2- расмга қаранг) ва юлдуз ёки учбурчак усулида уланган учта бир фазали чулғамдан таркиб топган. Роторда қўзғатиш чулғами жойлашган, у ўзгармас ток манбаига (қўзғатувчига) уланганда қўзғатувчи магнитавий майдон вужудга келади. Генератор ротори бирламчи двигатель воситасида n_1 тезлик билан айлантирилади. Бунда роторнинг магнитавий майдони ҳам айланади ва статорнинг уч фазали чулғамида E_A, E_B, E_C, э. ю. к. лар ҳосил қилади; бу э. ю. к. лар катталиги жиҳатдан бир хил ҳамда фаза жиҳатдан бир-бирига нисбатан 1/3 даврга (120 эл. градусга) силжиган бўлиб, э. ю. к. ларнинг уч фазали симметрик системасини ҳосил қилади.

Синхрон генераторларнинг кўпчилиги 50 *гц* ли саноат частотасига мўлжаллаб лойиҳаланади. Бундай частотали э. ю. к. ҳосил қилиш учун роторнинг айланиш тезлиги (14.1) қуйидагича бўлиши керак:

$$n_1 = \frac{50 \cdot 60}{p} = \frac{3000}{p}.$$

14.1- жадвалда p нинг $f_1 = 50$ *гц* даги турли қийматлари учун синхрон тезликлар келтирилган.

14.1- жадвал

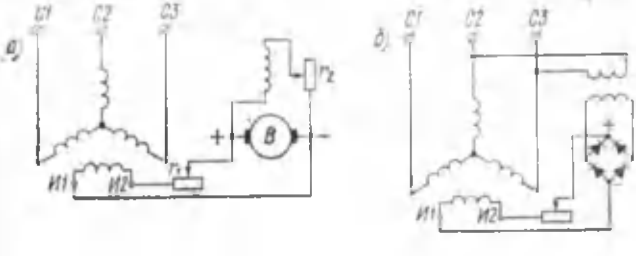
p	1	2	3	4	5	6
n_1 (*айл/мин*)	3000	1500	1000	750	600	500

14.3- §. Синхрон машиналарни қўзғатиш

Синхрон машиналарда қўзғатишнинг икки усули: электромагнитавий қўзғатиш ва ўзгармас магнитлар билан қўзғатиш усули қўлланилади.

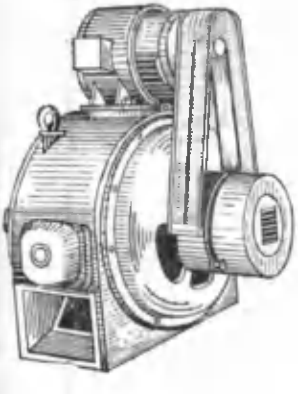
Электромагнитавий қўзғатишда асосий магнитавий оқим қўзғатиш чулғами воситасида ҳосил қилинади.

Қўзғатиш чулғамини ўзгармас ток билан таъминлаш усулига қараб синхрон машиналар *мустақил қўзғатишли* ва *ўз-ўзидан қўзғатишли* машиналарга бўлинади.



14.3- расм. Синхрон машиналарни электромагнитавий қўзғатиш:
а—мустақил қўзғатиш; *б*—ўз-ўзини қўзғатиш.

Мустақил қўзғатишда қўзғатиш чулғамини ток билан таъминлаш учун қўзғатувчи дейиладиган ўзгармас ток генераторидан фойдаланилади (14.3- расм, *а*).



14.4- расм. Қўзғатгичнинг синхрон машина корпусида жойлашиши.

r_1 ва r_2 реостатлар синхрон машинанинг қўзғатиш токи катталигини бошқариш учун мўлжалланган. Қўзғатувчининг қуввати кучланиш 450 в гача бўлганда синхрон машина қувватининг 2—5 процентини ташкил этади. Қўзғатувчи, одатда, синхрон машина билан биргаликда монтаж қилинади ва унинг ажралмас қисми ҳисобланади. Бунда қўзғатувчи ёки машинанинг ўқи бўйлаб жойлаштирилади, бунда қўзғатувчининг якори валнинг ташқарига чиқиб турадиган учига (14.8 расм) маҳкамланади ёки у машинанинг корпусига жойлаштирилади ва бунда қўзғатувчининг якорини понасимон-тасмали узатма воситасида синхрон машинанинг вали айлантиради (14.4- расм).

Ўз-ўзидан қўзғатишда қўзғатиш чулғами тўғрилагичдан фойдаланилган ҳолда синхрон генератордан ток билан таъминланади (14.3- расм, *б* га қаранг). Ўз-ўзидан қўзғатиш кичик ва ўрта қувватли синхрон машиналарда қўлланилади.

Синхрон машиналарни *доимий магнитлар билан* қўзғатишда магнитлар, одатда, роторда жойлаштирилади. Қўзғатишнинг бу усули контакт ҳалқаларисиз машина ясашга имкон беради. Бундай машинада қўзғатиш чулғамининг бўлмаслиги электр

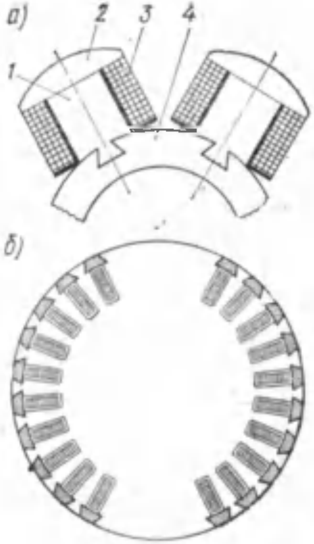
исрофларни камайтиради, бинобарин, ф. и. к. ни оширади. Лекин шу билан бирга доимий магнитлар билан қўзғатишда машинанинг параметрларини ростлаш, масалан, генераторнинг э. ю. к. ини ростлаш мураккаблашади.

Доимий магнитли синхрон машиналар, одатда, кичик қувватли қилиб ясалади.

14.4- §. Синхрон машиналарнинг типлари ва уларнинг конструкцияси

Ўзгарувчан ток куч қурилмаларида синхрон генераторларнинг бирламчи двигателлари сифатида буғ билан ишлайдиган ёки гидравлик турбиналар ва ички ёнув двигателлари (дизеллар) ишлатилади. Турбиналар ишлатилганда синхрон генераторлар гидрогенераторлар ва турбогенераторлар, дизеллар ишлатилганда эса дизелгенераторлар дейилади. Синхрон генераторларнинг барча бу типлари конструкцияси жиҳатдан бир-биридан фарқ қилади.

Гидравлик турбина нисбатан кичикроқ айланиш тезлигида (60—500 *айл/минут*) ишлаганлиги сабабли, саноат частотасидаги ўзгарувчан ток олиш учун гидрогенераторда қутблари сони кўп бўлган ротор ишлатилади. Шунинг учун гидрогенераторлар роторининг конструкцияси *аён қутбли* (яққол қутбли) бўлади, бунда ҳар қайси қутб ўзак ва қутб ғалтагидан иборат алоҳида узел кўринишида ясалади. Қутбларнинг ҳаммаси гардишга маҳкамланади (14.5- расм, *а*).



14.5- расм. Синхрон машиналар роторларининг конструкцияси: *а*—аён қутбли ротор; *б*—аён бўлмаган қутбли ротор;

1—қутб ўзаги; *2*—қутб учлаги; *3*—қутб ғалтаги; *4*—ротор гардиши.

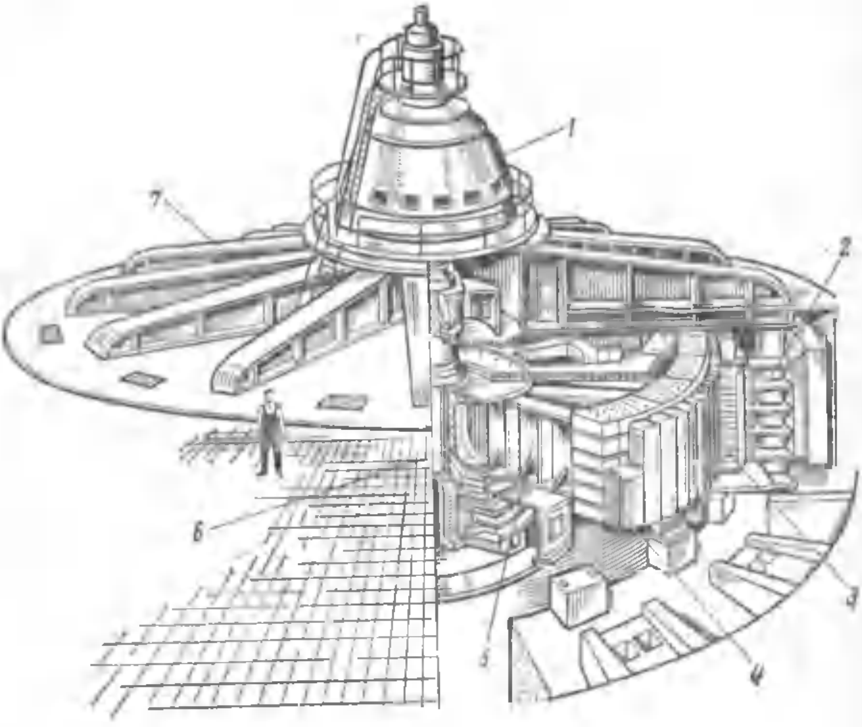
Гидрогенераторлар, одатда, вали вертикал жойлашган қилиб ясалади (14.6- расм).

Буғ турбинаси катта айланиш тезлигида ишлайди, шу сабабли турбогенераторлар тез ҳаракатланувчи синхрон машиналар ҳисобланади ва уларнинг ротори, одатда, икки қутбли қилиб ($n_1 = 3000$ *айл/минут*) ясалади.

Машинанинг ишлаш жараёнида роторга марказдан қочирма кучлар таъсир этади, бу кучларнинг катталиги айланма тезлик квадратига пропорционал бўлади. Шунинг учун турбогенераторлардаги каби бундай катта айланиш тезликларида роторнинг аён қутбли конструкцияси механикавий мустаҳкам-

лик шартлари жиҳатдан яроқсиздир. Бу ҳолда ноаён қутбли ротор ишлатилади; у сиртида қўзғатиш чулғами учун бўйлама пазлар фрезерланган (ўйилган) узайтирилган пўлат цилиндр кўринишида бўлади (14.5- расм, *б*).

Турбогенераторлар (14.7- расм) ва дизелгенераторлар вали горизонтал жойлашган қилиб ясалади. Дизелгенераторлар



14.6- расм. Куйбишев ГЭС нинг генератори, қуввати 105 минг *квт*, кучланиши 13,8 *кв*:

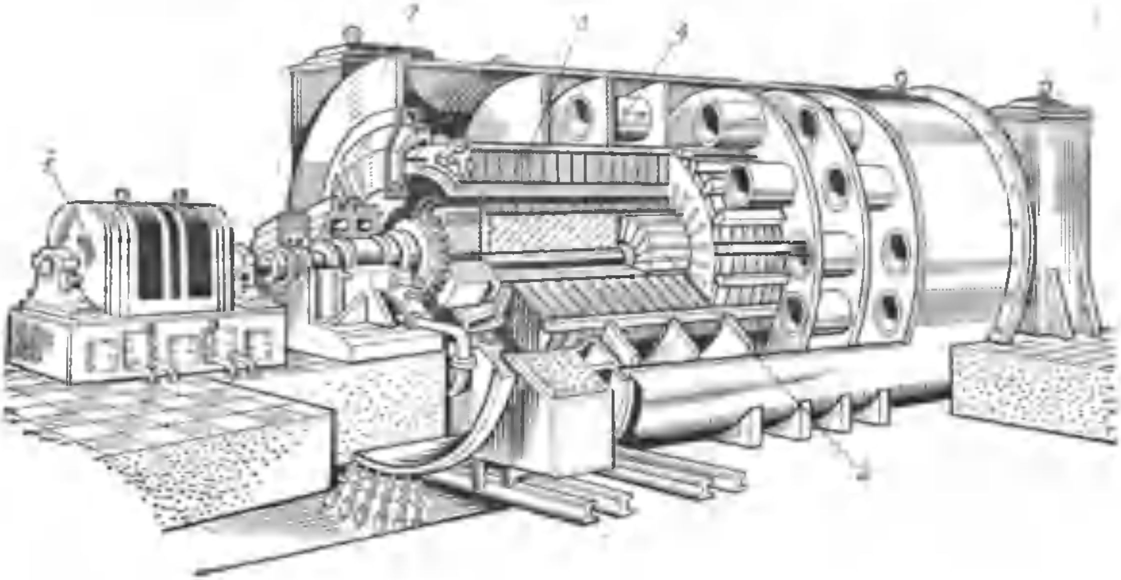
1—қўзғатгич; *2*—статор корпуси; *3*—статор ўзаги; *4*—ротор қутби; *5*—ротор кегайлари; *6*—ротор втулкаси; *7*—юк тушадиган крестовина.

айланиш тезлиги 600 — 1500 *айл/минут* бўлишга ҳисоб қилинади ва ротори аён қутбли қилиб ясалади (14.8- расм).

Қуйида синхрон машиналар асосий қисмларининг конструкцияси баён қилинган.

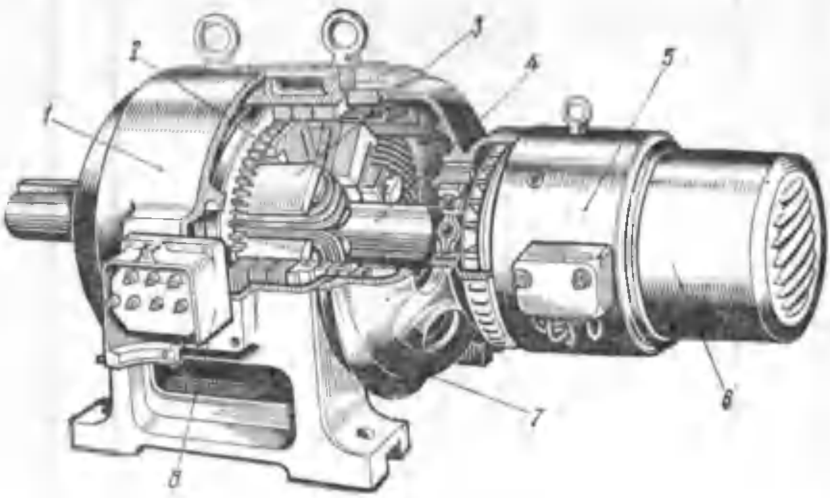
Статор синхрон машинанинг қўзғалмас қисми бўлиб, корпус билан пазларида чулғам жойлаштирилган ўзакдан таркиб топган (14.8- расм).

Кичик қувватли машиналарнинг корпуслари чўян ёки пўлатдан қуйиб ясалади, ўрта ва катта қувватли машиналарнинг корпуслари эса пайвандлаб ясалади. Катта қувватли машина-



14.7- расм. Турбогенератор:

1—қўзғатгич; 2—корпус; 3—статор ўзаги; 4—водород билан совитиш секциялари; 5—ротор.



14.8- расм. Синхрон генератор:

1—статор корпуси; *2*—статор ўзаги; *3*—ротор қутблари; *4*—вал; *5*—қўзғатгич; *6*—конт кт ҳалқалар; *7*—подшипниклар шчити; *8*—клеммалар қутиси.

ларнинг корпуси йиғиш ва ташиш осон бўлиши учун қисмларга ажраладиган қилиб ясалади.

Статор ўзаги қалинлиги 0,5 ёки 0,35 *мм* ли электротехникавий пўлат листлардан тайёрланади. Листлар ҳалқалар кўринишида штампланади ва иккала томонига лак суртиб изоляцияланади. Йирик машиналарда ўзак ўқ йўналишида қалинлиги 6 *см* гача бўлган қатор пакетларга ажратилади, пакетлар орасида эни 1 *см* гача бўлган ҳаво зазори (вентиляцион канал қолдирилади.

Ўзак листларида статор чулғамининг симларини жойлаштириш учун пазлар қилинади. Пазлар кўпинча тўғри тўртбурчак шаклда, очиқ ёки ярим ёпиқ қилинади (14.9- расм).

Статор чулғами, одатда, доира ёки тўғри тўртбурчак кесимли мис симлардан тайёрланган секциялардан ясалади.

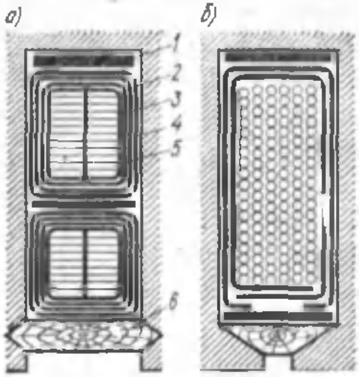
Статор чулғамининг учлари фаза номерига мувофиқ рақам қўйилган *С* ҳарфи билан белгиланади (14.2- жадвал)

14.2- жадвал

Фаза	Чулғам учларининг белгиланиши	
	бошланиш учи	охирги учи
Биринчи	С1	С4
Иккинчи	С2	С5
Учинчи	С3	С6

Ноаён қутбли синхрон машиналарнинг **ротори** (14.7- расмга қаранг) яхлит ёки йиғма қилиб тайёрланади.

Қўзғатиш чулғамини жойлаштириш учун роторнинг ташқи сиртига тўғри тўртбурчак шаклидаги пазлар ўйилади, улар ротор айланасининг учдан икки қисминигина эгаллаб, марказий тишлар ҳосил қилади (14.5-расм, *б*). Ноаён қутбли машиналар роторининг чулғами тўғри тўртбурчак кесимли мис симдан ясалади. Чулғам пазларга жойлаштириладиган металл поналар ёрдамида маҳкамланади. Ротор чулғами статор чулғами каби изоляцияланади. Чулғам учлари контакт ҳалқаларга чиқарилади. Аён қутбли ротор (14.5- расм, *а* га қаранг) ғалтаклар билан қутб ўзаклари маҳкамланган гардишдан иборат. Қутб ўзагининг бир томонида қутб учлиги, иккинчи томонида эса думи бўлиб, ўзак шу дум ёрдамида гардишга маҳкамланади.



14.9- расм. Синхрон машина статорининг пазлари:
а—500 *в* дан юқори кучланишга мўлжалланган очиқ паз:

1—пресшпандан тайёрланган қистирма; *2*—электрокартон; *3* - микафолий; *4*—миткаль лента; *5*—ўтказгичлар; *6*—пона;

б—500 *в* гача кучланишга мўлжалланган ярим ёпиқ паз.

XV боб

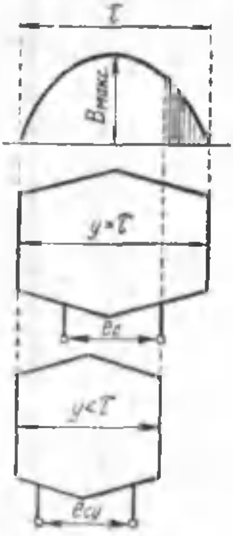
ЎЗГАРУВЧАН ТОК МАШИНАЛАРИ СТАТОРЛАРИНИНГ ЧУЛҒАМЛАРИ ВА СИНХРОН ГЕНЕРАТОРНИНГ Э.Ю.К-и

15.1-§. Асосий тушунчалар

Ўзгарувчан ток машинаси статорининг чулғами статор ўзагининг пазларига муайян тартибда жойлаштирилган симлар системасидан иборат. Ўзгарувчан ток машиналари статорининг чулғамлари кўп жиҳатдан ўзгармас ток машиналари якорининг чулғамларига ўхшайди. Лекин улар орасида муҳим фарқ ҳам бор—ўзгарувчан ток чулғамлари *туташмаган* (очиқ) бўлади.

Статор чулғамининг элементи секция бўлиб, у бир ёки кўп ўрамли бўлиши мумкин. Секция актив томонлар ва олд қисмдан иборат. Секциянинг актив томонлари орасидаги масофа чулғам одими *у* дейилади.

Агар одим қутб бўлмасига тенг бўлса $\left(y = \tau = \frac{z}{2p} = б.с.\right)$, у ҳолда *диаметрал ёки тўла* одим, агар қутб бўлмасидан кичик ($y < \tau$) бўлса, *қисқартирилган* одим дейилади (15.1- расм). Ҳозирги вақтда ишлатилаётган статор чулғамлари қуйидагича классификацияланади:



15.1- расм. Тўлиқ ва қисқартирилган одимли секциялар.

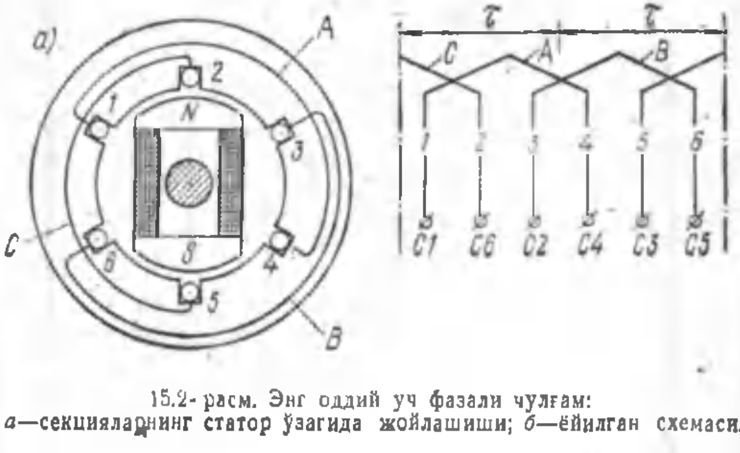
1) фазалар сонига кўра—*бир фазали ва кўп фазали* (асосан уч фазали);

2) секцияларнинг пазларга жойлаштирилиш усулига кўра—*бир қатламли*, бунда секциянинг бир томони пазнинг ҳаммасини эгаллайди ва *икки қатламли*, бунда битта пазда турли секцияларнинг икки томони жойлашади (ўзгармас ток машинаси якорининг чулғамига ўхшаш);

3) секцияларнинг ўлчамларига кўра—тўла одимли чулғамлар ва қисқартирилган одимли чулғамлар.

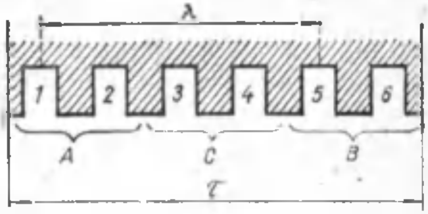
15.2- §. Уч фазали икки қатламли чулғам

Энг оддий уч фазали чулғам ўқлари статор айланаси бўйлаб қўш қутб бўлмаси $\frac{2\tau}{3}$ нинг 1/3 қисми қадар силжиган учта секциядан иборат қилиб ясалиши мумкин. Бу ҳолда ҳар қайси секция фаза чулғами бўлади (15.2- расм). Одатда, фаза чулғами битта эмас, балки ҳар қайси қутб бўлинмаси чегара-



15.2- расм. Энг оддий уч фазали чулғам:
а—секцияларнинг статор ўзагида жойлашиши; *б*—ёйилган схемаси.

сида q пазни эгаллаган бир неча секциялардан иборат бўлади. Шундай қилиб, уч фазали чулғам ҳосил қилиш учун статор ўзагининг тишли қатламини ҳар қайси қутб бўлинмаси чегарасида ҳар бирида q та паз бўлган учта зонага бўлиш зарур. Ҳар қайси қутб остида бундай зоналарнинг навбатлашиб келиши бир хил бўлиши керак. Бир хил зоналардаги пазларга жойлаштирилган секциялар фаза чулғамларини ҳосил қилади.



15.3- расм. Статорнинг ёйилган сирти (битта қутбий бўлинма): ($q = 2$; $\lambda = 4$;)

Қутб билан фазага тўғри келувчи пазлар сонини билдирадиган q нинг катталигини аниқлаш учун ушбу формуладан фойдаланиш лозим:

$$q = \frac{Z}{2pm}, \qquad (15.1)$$

бунда m — фазалар сони; уч фазали чулғам учун $m = 3$.

Уч фазали чулғамда фаза чулғамларининг ўқлари орасидаги силжиш бурчаги 120 эл. градусни ташкил этади. Лекин чулғам схемасини ясаш учун бу силжишни паз ҳисобида ифодалаш қулайдир. Статор айланасининг ҳаммаси 360 p эл. градусни ташкил этади; шунинг учун қўшни пазлар орасидаги бурчак:

$$\alpha = \frac{360p}{Z}. \qquad (15.2)$$

У ҳолда фаза чулғамлари орасидаги силжиш, паз ҳисобида ифодаланганда қуйидагига тенг бўлади (15.3- расм):

$$\lambda = \frac{120}{\alpha}. \qquad (15.3)$$

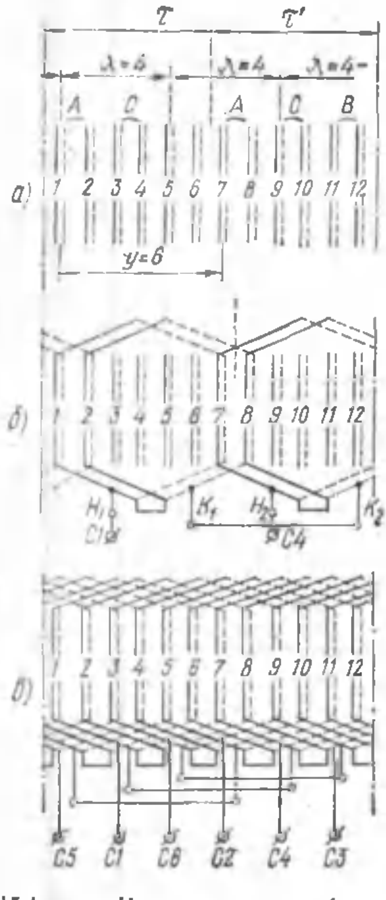
Статор икки қатламли чулғамининг ёйиқ схемасини қуриш тартибини мисолда кўриб чиқамиз.

Мисол. Уч фазали машина ($m = 3$) статори чулғамининг ёйиқ схемасини қуринг: $2p = 2$, $Z = 12$, чулғам икки қатламли, одими—тўла одимли.

Ечилиши. Берилган m, $2p$ ва Z лар асосида қуйидагиларни аниқлаймиз: чулғам одими $y = \frac{Z}{2p} = \frac{12}{2} = 6$ паз; қутб ва фазага тўғри келадиган пазлар сони $q = \frac{Z}{m2p} = \frac{12}{3 \cdot 2} = 2$ паз; қўшни пазлар орасидаги силжиш бурчаги $\alpha = \frac{360}{Z} = \frac{360 \cdot 1}{12} = 30$ эл. градус; фаза чулғамлари орасидаги силжиш $\lambda = \frac{120}{\alpha} = \frac{120}{30} = 4$ паз.

Статорнинг ёйиқ сиртида пазларни ($Z = 12$) ва қутб бўлинмаларини ($2p = 2$) белгилаймиз, сўнгра секцияларнинг юқориги (туташ чизиқлар) ва пастки (пунктир чизиқлар) томонларини чизамиз (15.4- расм, *а*).

Барча фазалар учун $q = 2$ паздан зоналарни белгилаб чиқамиз (15.4- расм, *а*); бунда бирор фазанинг битта қутб бўлинмасидаги зонаси билан шу фазанинг бошқа қутб бўлинмасидаги зонаси орасидаги масофа чулғам одимига $y = 6$ пазга тенг бўлиши керак. Шундан кейин фаза чулғамларининг бошланиш учлари орасидаги масофа $\lambda = 4$ паз эканлигини белгилаймиз.



15.4- расм. Икки қатламли уч фазали чулғамнинг ёйилган схемасини чизиш тартиби:
$Z = 12$; $2p = 2$; $y = 6$.

1 ва *2*-секцияларнинг юқориги томонларини уларнинг пастки томонлари (*7* ва *8* пазлар) билан бирлаштирамиз ва биринчи фазанинг биринчи *секция группасини* оламиз; сўнгра *7* ва *8* секцияларнинг юқориги томонларини уларнинг пастки томонлари (*1* ва *2*- пазлар) билан бирлаштирамиз ва биринчи фазанинг иккинчи секция группасини ҳосил қиламиз. Группалардаги секцияларни, шунингдек, секциялар группаларини ўзаро кетма-кет бирлаштирамиз (15.4- расм, *б*) ва биринчи фазанинг фаза чулғамини ҳосил қиламиз.

Биринчи секция группасининг бошланиши Н1 ни С1 клеммага, иккинчи секция группасининг бошланиши Н2 ни С4 клеммаға улаймиз.

Иккинчи фаза секцияларининг: *5* ва *6*- секциялар билан (биринчи секциялар группаси) (*11* ва *12* секцияларнинг (иккинчи секциялар группаси) актив томонларини улашга киришамиз; учинчи фаза секциялари билан ҳам шу ишни қилиб ва секциялар группаларини биринчи фазада қилинганидек, улаб, иккинчи (С2 – С5) ва учинчи (С3—С6) фазаларнинг фаза чулғамларини ҳосил қиламиз (15.4- расм, *в*).

Икки қатламли чулғамлар, асосан, ўзгарувчан ток машиналарида бўлади, бунга сабаб икки қатламли чулғамларнинг бир қатор афзалликлари борлигидир; улардан асосийси чулғам одимини исталганча қисқартириш мумкинлигидир, бу эса, ўз навбатида, э. ю.к. эгри чизиғининг шаклини синусоидага максимал яқинлаштиришга имкон беради (15.8- § га қаранг).

Лекин шу билан бирга икки қатламли чулғамларнинг камчиликлари ҳам бор; улар жумласига аввало чулғам секцияларини жойлаштиришдаги баъзи қийинчиликларни, пастки қатламнинг изоляцияси бузилганида чулғамни ремонт қилиш қийинлиги, шунингдек, ажралиш жойида чулғамни бузмасдан туриб статорни қисмларга ажраладиган қилиб бўлмаслигини киритиш лозим.

15.3-§. Статор чулғамларининг секция группаларини улаш усуллари

Ўзаро кетма-кет уланган, қўшни пазларда жойлашган ва битта фаза чулғамига тегишли бўлган секциялар қатори секциялар группаси дейилади. Ҳар қайси секциялар группасида кетма-кет уланган q та секция бўлади. Фаза чулғамида секция группаларининг сони қутблар сонига тенг. Демак, икки қатламли чулғамда секциялар группаларининг умумий сони A қуйидагича аниқланади:

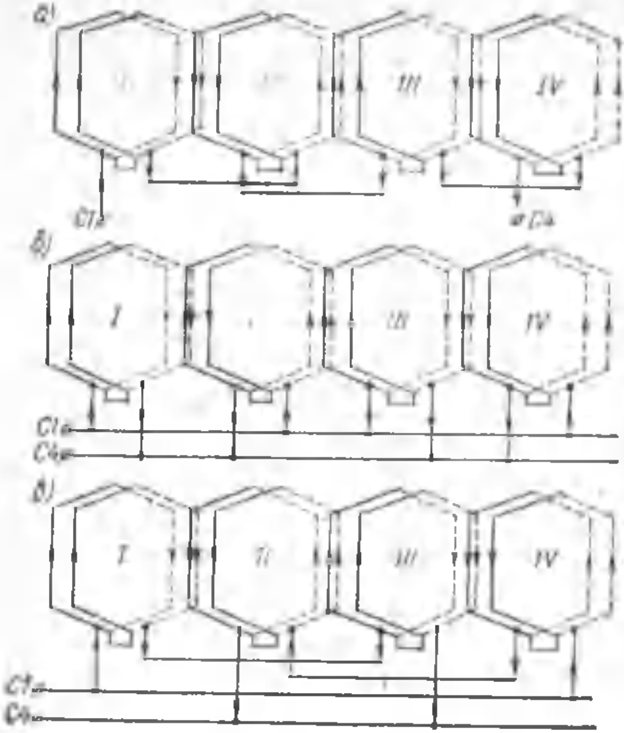
$$A = 2pm.$$

Статор чулғамининг ҳар қайси фазасидаги секциялар группалари кетма-кет ёки параллел уланиши мумкин, бу эса чулғамдаги параллел шохобчалар сонига таъсир этади.

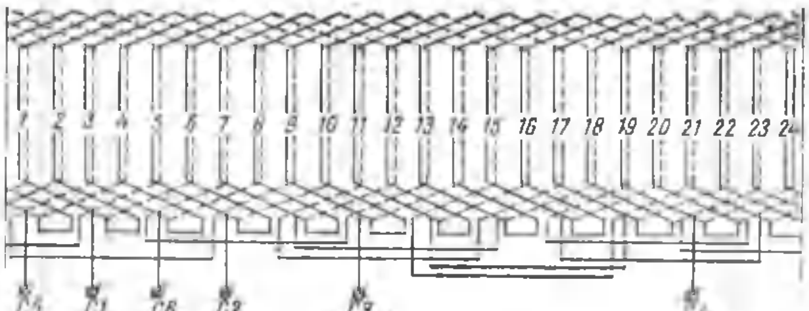
15.4- расм, *б* да иккита секциялар группасини *кетма-кет* улаш кўрсатилган. Расмдан кўриниб турибдики, фазанинг иккита секциялар группасини кетма-кет улаш учун биринчи секциялар группасининг пастки учини иккинчи секциялар группасининг пастки учига улаш, юқориги учларини эса фаза чулғамининг клеммалари (С1—С4) га чиқариш лозим. Секциялар группалари шундай уланганида фаза чулғамининг э.ю.к.и барча секциялар группалари э.ю.к. ларининг йиғиндиси бўлади.

15.5- расм, *а* да тўртта секциялар группаларини кетма-кет улаш кўрсатилган. Бунда иккинчи ва учинчи секциялар группалари ўзаро юқориги учлари билан уланган. Учинчи ва тўртинчи секция группалари пастки учлари билан уланган, фаза чулғамининг чиқиш клеммаларига эса биринчи ва тўртинчи секция группаларининг юқориги учлари уланган. Секция группалари кетма-кет уланганида ҳар қайси фаза чулғамида, машинанинг қутблари сонидан қатъи назар, битта параллел шохобча ($2a = 1$) бўлади.

Икки қатламли чулғамнинг ҳар қайси фазасида $2p$ секция группалари бўлади, шунинг учун барча секция группаларини



15.5- расм. Ғалтак группаларини туташтириш усуллари:
а—кетма-кет; *б* – параллел; *в*— кетма-кет-параллел.



15.6- расм. Қисқартирилган одимли икки қатламли уч фазали чулғамнинг ёйилган схемаси:
$Z = 24$; $2p = 4$; $y = 5$.

параллел улаб, $2p$ параллел шохобчадан таркиб топган чулғам ($2a = 2p$) ҳосил қиламиз.

15.5- расм, *б* да тўртга секция группаларини ***параллел*** улаш кўрсатилган. Барча секция группаларини параллел улаш учун чулғамнинг битта чиқиш клеммасига (C1) тоқ секция группаларининг (I ва III) юқориги учларини ва жуфт секция группаларининг (II ва IV) пастки учларини улаш керак. Секция группаларининг қолган учлари фаза чулғамининг бошқа клеммасига (C4) уланади. Группаларни бундай улаш тартиби қуйидагича тушунтирилади: битта фаза чулғамининг ёнма-ён жойлашган секция группаларининг э.ю.к. лари фаза жиҳатдан бир-бирига нисбатан 180° га силжиган бўлади, чунки бу секция группалари турли ишорали қутблар остида жойлашган. Шу сабабли фаза чулғами ёнма-ён жойлашган секция группаларининг э.ю.к. лари фаза жиҳатдан бир-бирига мос тушиши учун уларнинг учларини алмаштириб улашга тўғри келади.

Агар ҳар қайси фаза чулғами секция группаларининг ярмини битта шохобчага кетма-кет улаб, сўнгра ҳосил бўлган шохобчалар параллел уланса, у ҳолда иккита параллел шохобчали чулғам олинади ($2a = 2$). Параллел шохобчаларнинг э.ю.к. лари бир хил бўлиши учун ҳар қайси параллел шохобчага секция группалари биттадан оралатиб уланади. Шундай қилиб, битта параллел шохобчада барча жуфт секция группалари, иккинчисида эса барча тоқ секция группалари бўлиб қолади (15.5- расм, *в*).

Мисол. Қуйидаги маълумотлар берилган бўлса, уч фазали икки қатламли қисқартирилган одимли $y = \frac{4}{5}\tau$ чулғамнинг ёйиқ схемасини қуринг: $2p = 4$, $Z = 24$, секция группалари кетма-кет уланган.

Ечилиши. Қутб ва фазага тўғри келадиган пазлар сони:

$$q = \frac{Z}{2pm} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2 \text{ паз.}$$

Қўшни пазлар орасидаги силжиш:

$$\alpha = \frac{360}{Z} p = \frac{360 \cdot 2}{24} = 30^\circ.$$

Фазалар (пазларда) орасидаги силжиш:

$$\lambda = \frac{120}{\alpha} = \frac{120}{30} = 4 \text{ паз.}$$

Чулғам одими 1/5 га қисқарганида:

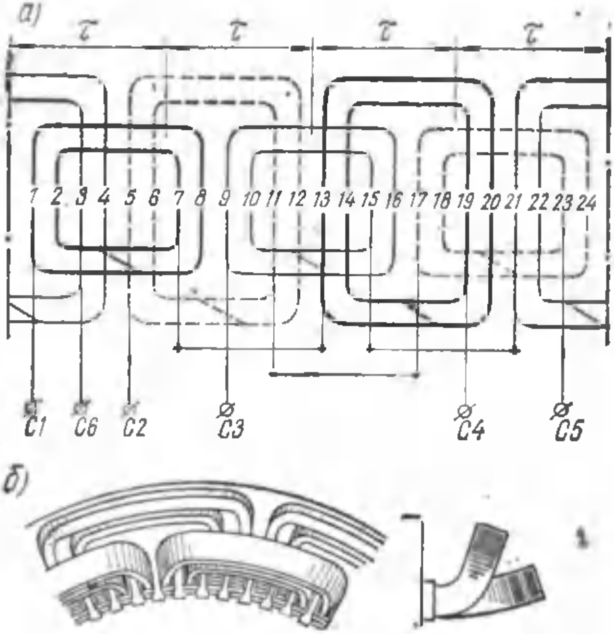
$$y = \frac{4}{5} \cdot \frac{Z}{2p} = \frac{4}{5} \cdot \frac{24}{4} = 5 \text{ паз.}$$

15.6- расмда шу чулғамнинг ёйиқ схемаси келтирилган, уни қуриш тартиби олдинги мисолдаги кабидир.

15.4- §. Статорларнинг бир қатламли уч фазали чулғамлари

Бир қатламли чулғамларда секциянинг ҳар қайси томони статор ўзагининг пазини батамом тўлдиради.

Статорларнинг бир қатламли чулғамлари концентрик ва андазавий чулғамларга бўлинади.



15.7- расм. Олд қисмлари икки текисликда жойлашган бир қатламли уч фазали чулғам: *а*—чулғамнинг ёйилган схемаси ($2_p = 4$; $Z = 12$; $q = 2$); *б*—олд қисмларининг жойлашуви.

Концентрик чулғамда ҳар қайси секциялар группаси секцияларининг кенглиги турлича бўлади ва улар ўзаро концентрик жойлашади.

Секциялар группасига кирувчи секцияларда чулғам одимлари бир хил бўлмайди, лекин уларнинг ўртача қиймати қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$y_{ўр} = \frac{Z}{2p}$$

Масалан, бир қатламли уч фазали $Z = 24$, $2p = 4$ бўлган концентрик чулғам учун

$$y_{ўр} = \frac{24}{4} = 6 \text{ паз},$$

$$q = \frac{Z}{2pm} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2.$$

Демак, ҳар қайси фаза чулғамининг секциялар группаси иккита секциядан иборат.

Концентрик жойлашган бу секцияларнинг одимлари қуйидагига тенг:

$$y_1 = 7 \text{ ва } y_2 = 5.$$

Бу секциялар қабул қилинган одимларининг тўғрилиги ушбу формулага асосан текшириб кўрилади:

$$\frac{\sum_{1}^{q} y}{q} = y_{\text{ўр}}, \qquad (16\ 4)$$

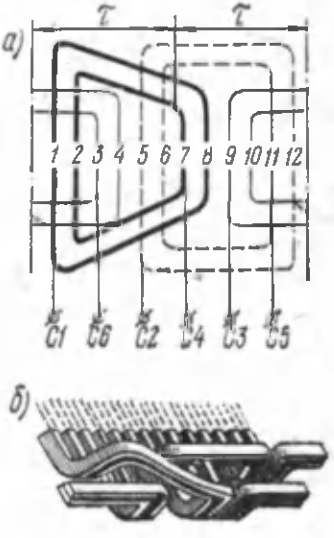
бунда $\sum_{1}^{q} y$ — концентрик жойлашган барча секциялар одимларининг йиғиндиси $\sum_{1}^{q} y = y_1 + y_2 + \ldots + y_2$.

Бизнинг мисолимизда

$$\frac{7+5}{2} = 6,$$

яъни y_1 ва y_2 одимлар тўғри танланган.

Бу чулғамнинг ёйиқ схемаси 15.7- расм, *а* да кўрсатилган. Кўриб чиқилган бир қатламли чулғам *икки текисликли* чулғам дейилади, чунки бу чулғам секцияларининг олд қисмлари ҳар хил кўринишда чиқиб туради ва икки текисликда жойлашади (15.7- расм, *б*). Чулғамнинг бундай конструкцияси турли фазаларга тегишли секцияларнинг олд қисмлари кесишмаслигига имкон беради. Қутб жуфтларининг сони тоқ бўлганда олд қисмлар группаларининг сони ҳам тоқ бўлади. Бу ҳолда битта секциялар группасини олд қисмлари икки томонидан букилган оралиқ ўлчамли қилиб тайёрлашга тўғри келади (15.8- расм).

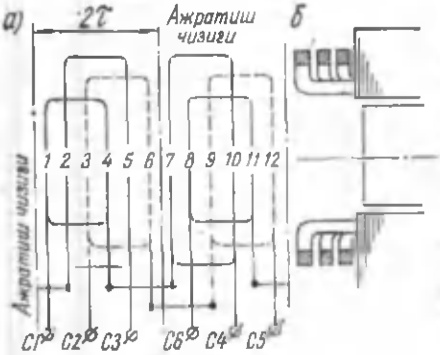


15.8- расм. Ўтувчи секцияли бир қатламли уч фазали чулғам:
а — чулғамнинг ёйилган схемаси ($2_p = 2$; $Z = 24$; $q = 2$); *б* — олд қисмларининг жойлашуви.

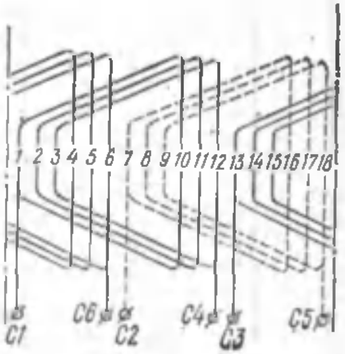
15.9- расмда ажраладиган статорли машина учун бир қатламли уч фазали чулғам схемаси кўрсатилган. Чулғамнинг бундай конструкцияси секцияларнинг бирортасига ҳам зарар етказмай туриб, статорни икки қисмга (қирқим чизиғи бўйича)

ажратишга имкон беради. Бу чулғамда секцияларнинг олд қисмлари учта текисликда жойлашган.

Секциялар группаларини ҳосил қилувчи секцияларнинг ўлчамлари турлича бўлса, концентрик чулғамлар секциялар группаларининг қаршиликлари ҳам турлича бўлади. Фаза чулғамини ҳосил қилувчи секция группаларидаги секцияларнинг ўлчамларини аниқлашда буни эътиборга олиш лозим. Барча фаза чулғамларининг қаршиликлари бир хил бўлиши зарур,



15.9- расм. Ажралма статорли машинанинг бир қатламли уч фазали чулғами: *а*—чулғам схемаси ($2_p = 4$; $Z = 12$; $q = 1$;) *б*—олд қисмларнинг жойлашуви.



15.10- расм. Бир қатламли уч фазали андазавий чулғам.

шунинг учун барча фаза чулғамларида турли ўлчамли секция группаларининг сони бир хил бўлиши керак.

Концентрик чулғамларнинг жиддий камчилиги уларда турли ўлчамдаги секцияларнинг бўлишидир, бу ҳол чулғам тайёрлашни мураккаблаштиради.

Бир қатламли *андазавий* (*шаблон*) чулғамларда бундай камчилик бўлмайди. Бу чулғамлар барча секцияларнинг ўлчамлари бир хил бўлиб, уларни умумий андаза бўйича тайёрлаш мумкин. Бундан ташқари, бундай чулғамлар барча секцияларининг қаршиликлари ҳам бир хил бўлади, олд қисмлари эса концентрик чулғамларникидан қисқароқ бўлади ва шу сабабли мис кам сарфланади.

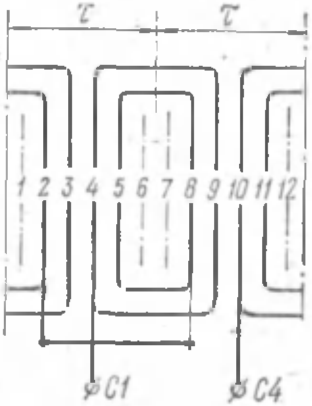
Мисол тариқасида икки қутбли машинанинг секциялар группасида учта секция бўлган оддий андазавий чулғамни кўриб чиқамиз. Бу чулғамнинг ёйиқ схемаси 15.10- расмда кўрсатилган Секцияларнинг трапеция шаклида бўлиши чулғам олд қисмларининг жойлашувини бирмунча осонлаштиради.

Бир қатламли чулғамлар барча типларига хос бўлган умумий камчилик олд қисмларини жойлаштириш қийинлигидир, уларни икки ва ундан ортиқ текисликда жойлаштиришга тўғри келади.

15.5- §. Бир фазали чулғамлар

Бир фазали чулғам уч фазали чулғамнинг битта фазаси каби ясалади, фарқи фақат шундаки, бу чулғамнинг секциялари статор ўзаги пазларининг 2/3 қисмини эгаллайди, холос. Чулғамнинг бундай конструкцияси унинг энг тежамли бўлишини таъминлайди.

Гап шундаки, статор пазларининг қолган 1/3 қисмини тўлдириш чулғам тайёрлаш учун 1,5 марта кўп мис сарфланишига олиб келарди, бунда чулғам э. ю. к. и фақат 1,15 марта ортади, холос. 15.11-расмда бир фазали концентрик чулғамнинг ёйиқ схемаси келтирилган. Бир фазали чулғамлар икки қатламли бўлиши ҳам мумкин.



15.11-расм. Бир қатламли бир фазали чулғам схемаси: $2_p = 2$; $Z = 12$;

15.6-§. Синхрон генераторнинг э. ю. к. ига қўйиладиган талаблар

Синхрон генераторларда ҳосил бўладиган э. ю. к. га қуйидаги талаблар қўйилади:

1. э. ю. к. частотаси берилган қийматга тенг бўлиши лозим;

2) э. ю. к. катталиги ҳам берилган қийматига тенг бўлиши ёки ростлаш жараёнида генератор э. ю. к. ини $E_{мин}$ дан $E_{макс}$ гача чегарада ўзгариши керак;

3) э. ю. к. эгри чизиғининг шакли иложи борича синусоидал шаклга яқин бўлиши зарур.

(14.1) формуладан кўриниб турибтики,

$$f_1 = \frac{pn_1}{60},$$

э. ю. к. частотасининг берилган қийматига роторнинг айланиш тезлигини ўзгармас қилиб туриш йўли билан эришилади. Генератор э. ю. к. ининг зарурий қиймати қўзғатиш токининг тегишли қиймати билан таъминланади.

Охирги талабни қаноатлантириш—э. ю. к. эгри чизиғига синусоидага яқин шаклни бериш анча қийин вазифадир. Шу билан бирга бу энг муҳим талабдир, чунки э. ю. к. эгри чизиғи синусоидадан четга чиққанида генератор занжирида токнинг юқори гармоникалари пайдо бўлади, улар барча энергосистеманинг ишига зарарли таъсир этади: энергия исрофларини кўпайтиради; генераторнинг ўзида ҳам, узатиш линияларида ҳам хавфли ўта кучланишлар вужудга келишига ёрдам беради; алоқа линияларига зарарли индуктив таъсир этади.

Ўзгарувчан ток генераторларида э. ю. к. эгри чизиғи синусоидал шаклининг бузилиши *бузилишлар коэффициенти* билан аниқланади. Бу коэффициент шу э. ю. к. учта энг катта гармоникалари (асосийдан ташқари) амплитудалари квадратлари йиғиндисининг квадрат илдизининг асосий гармоника амплитудасига процентларда ифодаланган нисбатини кўрсатади. ГОСТ 183—66 га мувофиқ, салт ишлашда ва номинал кучланишда э. ю. к. эгри чизиғининг бузилиш коэффициенти қуввати 1000 *ква* дан ортиқ бўлган бу генераторлар учун 5% дан, қуввати 10 дан 1000 *ква* гача бўлган генераторлар учун эса 10% дан ортиқ бўлмаслиги керак.

15.7-§. Магнитавий индукциянинг синхрон машинанинг ҳаво зазорида тақсимланиши

Электромагнитавий индукция қонунига кўра, статор чулғамининг битта ўтказгичидаги э. ю. к. нинг оний қиймати ушбу ифодадан аниқланади:

$$e_{ўтк} = Blv.$$

Агар ўтказгичнинг узунлиги l ва ротор майдонининг ҳаракатланиш тезлиги v ўзгармас катталиклар деб қабул қилинса (синхрон машинада шундай бўлади), э. ю. к. $e_{ўтк.}$ нинг ўзгариш характери фақат магнитавий индукциянинг статор айланаси бўйлаб зазорда тақсимланиш эгри чизиғига боғлиқ бўлади.

$$e_{ўтк} = B \cdot \text{const}.$$

Бундан кўриниб турибдики, э. ю к. эгри чизиғи синусоидага яқин бўлиши учун аввало, магнитавий индукция B нинг зазорда тақсимланиши синусоидал бўлиши зарур. Аён қутбли машиналарда бунга қутб учликларининг четкалари остидаги зазорни катталаштириш йўли билан эришилади (15.12- расм). $\frac{\delta_1}{\delta_2} = 1{,}5-2$ бўлган қутб учлиги яхши натижа беради.

Ноаён қутбли машиналарда магнитавий индукциянинг тақсимланишини синусоидал қилиш учун ротор айланасининг пазлар йўқ қисми билан унинг тақсимланган қўзғатиш чулғами жойлаштириладиган пазли қисми орасидаги нисбат тегишлича қилиб танланади (14.5- расм, *б* га қаранг). Одатда, бу нисбат 2/3 га тенг бўлади.

Лекин ҳатто шунда ҳам магнитавий индукциянинг зазорда тақсимланиш эгри чизиғи синусоидага яқинлашади, холос. Шунинг учун статор чулғамининг э. ю к. и носинусоидаллигича қолади ва унда юқори гармоникалар бўлади. Статор чулғамининг э. ю. к эгри чизиғи абсциссалар ўқига нисбатан симметрик бўлганлиги сабабли бу э. ю. к. таркибида биринчи (асосий) гармоника билан бир қаторда фақат тоқ тартибдаги 3, 5, 7 ва ҳоказо юқори гармоникалар ҳам бўлади (15.13- расм).

Уч фазали чулғамнинг биринчи гармоника э. ю. к. лари фаза бўйича бир-бирига нисбатан 120° бурчакка силжиган:

$$e_{1A} = E_{1макс} \sin \omega t$$

$$e_{1B} = E_{1макс} \sin (\omega t - 120°)$$

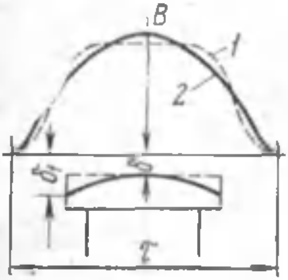
$$e_{1C} = E_{1макс} \sin (\omega t + 120°).$$

Учинчи гармоника э. ю. к. лари учун ҳам худди шундай ёзиб, бунда шу э. ю. к. ларнинг частотаси 3ω га тенглигини эътиборга олсак, қуйидагиларни ҳосил қиламиз:

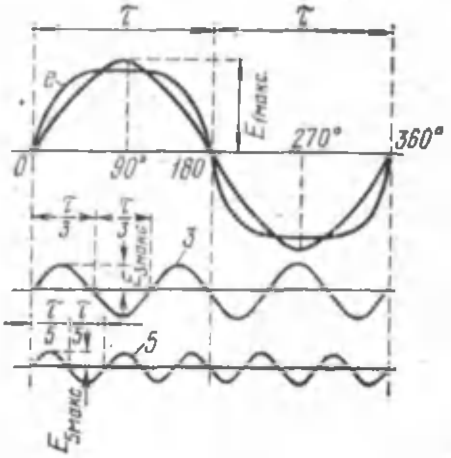
$$e_{3A} = E_{3макс} \sin 3\omega t$$

$$e_{3B} = E_{3макс} \sin 3 (\omega t - 120°) = E_{3макс} \sin 3\omega t$$

$$e_{3C} = E_{3макс} \sin 3 (\omega t + 120°) = E_{3макс} \sin 3\omega t.$$



15.12- расм. Қутб учликларининг четларидаги зазор кичик (*1*—эгри чизиқ) ва катта (2—эгри чизиқ) бўлганда магнитавий индукциянинг зазорда тақсимланиши.

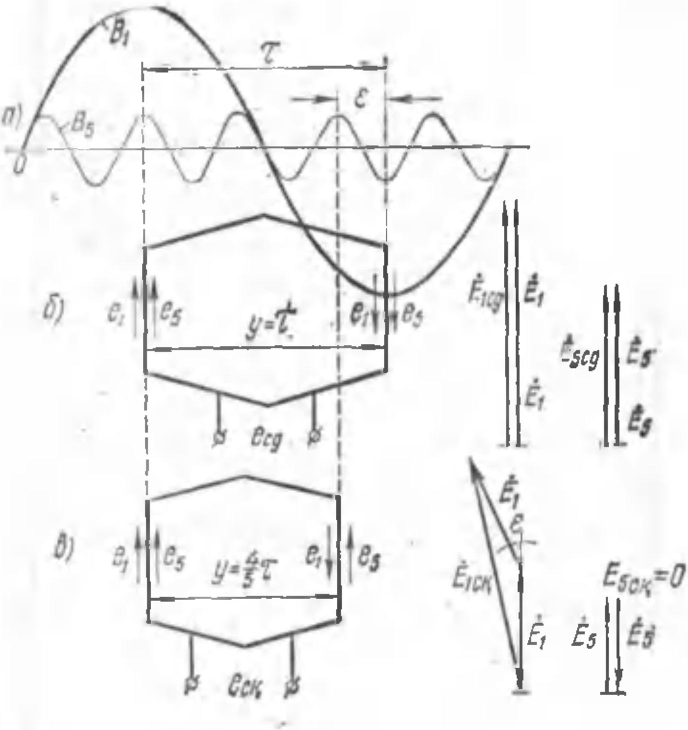


15.13- расм. Э. ю. к. эгри чизиғини қаторга ёйиш: *1*, *3* ва *5*—гармоникалар.

Бундан кўриниб турибдики, статор чулғамининг барча учала фазаларида учинчи гармоника э. ю. к. лари исталган пайтда йўналиш жиҳатдан мос тушаверади. Бу ҳол, 10.8- § да кўрсатиб ўтилганидек, уч фазали чулғамнинг юлдуз усулида ҳам, учбурчак усулида ҳам уланиш схемаларида линия э. ю. к. ларида (кучланишда) учинчи гармоника э. ю. к. ларининг бўлмаслигига олиб келади. Учинчи гармоника ҳақида айтилганлар номерлари учга каррали бўлган 9,15 ва ҳоказо гармоникалар учун ҳам тааллуқлидир.

Юқори гармоникаларнинг амплитудаси гармоника номери ортиши билан камаяди. Шунинг учун қолган гармоникалар орасида фақат бешинчи ва еттинчи гармоникаларнинггина амалий аҳамияти бор. Бу гармоникаларнинг таъсирини *чулғам одимини қисқартириш* билан анча сусайтириш мумкин.

Магнитавий индукция B нинг ҳаво зазорида тақсимланиш эгри чизиғи носинусоидал ва унда биринчи гармоника B_1 билан бир қаторда бешинчи гармоника B_5 ҳам бор, деб фараз қилайлик (15.14- расм, *а*). Агар бунда чулғам диаметрал одимли ($y = \tau$) қилиб ясалган бўлса, у ҳолда секциянинг иккала томонидаги биринчи ва бешинчи гармоникаларнинг э. ю. к. лари (e_1 ва e_5) қўшилади. Бу ҳолда секция э. ю. к. и $e_{сд}$ да



15.14- расм. Бешинчи гармоника э. ю. к. ини чулғам одимини $\frac{1}{5}\tau$ га қисқартириш билан йўқотиш.

ва, бинобарин, барча чулғам э. ю. к. ида биринчи гармоника билан бир қаторда бешинчи гармоника ҳам бўлади.

Агар секция одими $1/5\ \tau$ га қисқартирилса $\left(y = \frac{4}{5}\tau\right)$, у ҳолда бешинчи гармоника э. ю. к. лари e_5 секциянинг актив томонларида бир-бирига қарши таъсир этиб, бир-бирини йўқотади; унда секцияда фақат биринчи гармоника э. ю. к. и қолади ва секциянинг э. ю. к. и $e_{ск}$ амалда синусоидал бўлади.

Шунга ўхшаш, одим 1/7 τ га қисқартирилганда $\left(y = \frac{6}{7}\tau\right)$ еттинчи гармоника э. ю. к. и йўқотилади.

Секция одими одатда 0,8—0,86 τ га тенг деб қабул қилинади. Бу билан бешинчи ва еттинчи гармоникаларнинг э. ю. к. лари сусайтирилади. 15.14- расмда ўтказилган ясашлардан кўриниб туриптики, секция одимини ε га қисқартириш натижасида фақат юқори гармоникалар эмас, балки асосий гармоника ҳам сусаяди. Масалан, $y = \tau$ бўлганда биринчи гармоника э. ю. к. и секциянинг иккала томонида ҳосил бўладиган e_1 э. ю. к. ларнинг арифметик йиғиндисига тенг (15.14- расм, *б*). Лекин одим қисқарганида e_1 э. ю. к. лар секциянинг томонларида фаза жиҳатдан мос тушмайди ва бу э. ю. к. ларнинг арифметик йиғиндиси геометрик йиғиндига алмашинади (15.14- расм, *в*). Шундай қилиб, бир хил шароитларда диаметрал одимли секциянинг э. ю. к. и $E_{сд}$ қисқартирилган одимли секциянинг э. ю. к. и $E_{сқ}$ дан катта бўлади.

$\frac{E_{сқ}}{E_{сд}}$ нисбат *чулғам одимини қисқартириш коэффициенти* дейилади:

$$K_{қ} = \frac{E_{сқ}}{E_{сд}}. \tag{15.5}$$

Биринчи гармоника учун

$$K_{қ\cdot1} = \sin\frac{y}{\tau}90°. \tag{15.6}$$

Умумий ҳолда исталган гармоника э. ю. к. и учун қисқартириш коэффициенти қуйидагига тенг:

$$K_{қ\cdot\nu} = \sin\nu\frac{y}{\tau}90°, \tag{15.7}$$

бунда ν—гармоника номери.

Мисол. Агар чулғам одими $y = \frac{4}{5}\tau$ бўлса, биринчи, бешинчи ва еттинчи гармоникалар э. ю. к. лари учун чулғам одимини қисқартириш коэффициентини аниқланг.

Ечилиши. (15.7) формулага кўра қуйидагиларни ёза оламиз:

$$K_{қ\cdot1} = \sin\frac{4}{5}90° = 0{,}951;$$

$$K_{қ\cdot5} = \sin 5\frac{4}{5}90° = 0;$$

$$K_{қ\cdot7} = \sin 7\frac{4}{5}90° = 0{,}573.$$

Демак, қисқартирилган одимли чулғамнинг э. ю. к. и E_1 диаметрал одимли чулғам э. ю. к. ининг 95 процентини ташкил этар экан. Лекин чулғам одимини қисқартириб, биз бешинчи гармоника э. ю. к. ини бутунлай йўқотдик ва еттинчи гармоника э. ю. к. ини деярли ярмига камайтирдик.

15.1- жадвалда турли гармоникалар учун қисқартириш коэффициентларининг чулғам одимиға боғлиқ ҳолдаги қийматлари берилган.

15.1- ж а д в а л

y/τ	Қисқартириш коэффициенти		
	биринчи гармоника учун	бешинчи гармоника учун	еттинчи гармоника учун
4/5	0,951	0,000	0,573
4/7	0,978	0,423	0,000
1	1,000	1,000	1,000

15.8-§. Статор фаза чулғамининг электр юритувчи кучи

Фаза чулғамининг э. ю. к. и E_1 фаза чулғамини ташкил этувчи барча секциялар э. ю. к. ларининг йиғиндисидан иборат.

Аввал таъкидлаб ўтилганидек, фаза чулғами секциялар группаларидан таркиб топган; бу группалар ҳам, ўз навбатида, битта қутблар жуфти остида жойлашган q секциядан иборат (15.4- расм, *б* га қаранг). Бундан кўринадики, барча группалар бир хил магнитавий шароитларда бўлган бир хил сондаги секциялардан ташкил топади. Шунинг учун фаза чулғамида секциялар группалари кетма-кет уланганда унинг э. ю. к. и қуйидагига тенг бўлади:

$$E_1 = E_г 2p \qquad (15.8)$$

бунда $E_г$—битта секциялар группасининг э. ю. к. и.

Агар секциялар группасидаги барча секциялар иккита пазга тўпланса, у ҳолда э. ю. к. лар фаза жиҳатдан мос тушар, барча секциялар группасининг э. ю. к. и эса шу группани ҳосил қилувчи секциялар э. ю. к. лари $E_с$ нинг арифметик йиғиндисига тенг бўлар эди (15.15- расм, *а*),

$$\dot{E}_г = \dot{E}_г \cdot q.$$

Лекин амалда статорларнинг тақсимланган ҳолдаги чулғамлари ишлатилади, уларда ҳар қайси секциялар группасидаги секцияларнинг актив томонлари ҳар қайси қутб остидаги $q > 1$ пазни эгаллайди.

Шунинг учун секциялар группасининг секцияларида ҳосил бўладиган э. ю. к. лар фаза жиҳатдан бир-бирига нисбатан қўшни пазлар орасидаги силжиш бурчаги α га тенг бурчакка силжиган бўлади (15.2).

Секциялар группаси тўртта пазга тақсимланган иккита секциядан ташкил топган (15.15- расм, *б*) деб фараз қилайлик. Секциялар э. ю. к. ларининг векторлари $\dot{E}_{c1}$ ва $\dot{E}_{c2}$ ни қуриб ҳамда уларни геометрик қўшиб, секциялар группасининг э. ю. к. ини аниқлаймиз. Умумий ҳолда, секциялар группаси q секциядан иборат бўлганда, группанинг э. ю. к. и ушбу геометрик йиғиндига тенг бўлади:

$$\dot{E}_{г} = \sum_{1}^{q} \dot{E}_{c}. \qquad (15.9)$$

15.15- расм, *а* ва *б* да кўрсатилган вектор диаграммалардан кўриниб турибдики, тўпланган чулғам бўлганда э. ю к. $E_{ч}$ тақсимланган чулғамдагига қараганда кўп бўлади. Шу э. ю. к. ларнинг нисбати ***чулғамнинг тақсимланиш коэффициенти*** дейилади:

$$K_{т} = \frac{\sum_{1}^{q} \dot{E}_{c}}{\dot{E}_{c} \cdot q} < 1.$$

Бундан тақсимланган чулғам учун секциялар группасининг э. ю. к. и қуйидагига тенг:

$$E_{г} = E_{c} q K_{т}$$

Биринчи гармоника учун чулғам тақсимланиш коэффициентининг қиймати

$$K_{т1} = \frac{\sin\frac{180^\circ}{2m}}{q \cdot \sin\frac{180^\circ}{2mq}}. \qquad (15.10)$$

Қўшни пазлар орасидаги силжиш бурчаги ν—гармоника учун α дан ν марта катта бўлганлиги сабабли исталган юқори гармоника учун тақсимланиш коэффициенти қуйидагига тенг бўлади:

$$K_{т\nu} = \frac{\sin\frac{180^\circ\nu}{2m}}{q \sin\frac{180^\circ\nu}{2mq}}, \qquad (15.11)$$

бунда m—чулғамнинг фазалар сони.

15.2- жадвалда турли гармоникалар учун уч фазали чулғамнинг тақсимланиш коэффициентининг қийматлари берилган.

15.2- жадвал

q	Тақсимланиш коэффициенти		
	биринчи гармоника учун	бешинчи гармоника учун	еттинчи гармоника учун
1	1,000	1,000	1,000
2	0,966	0,259	0,259
3	0,960	0,217	0,178
4	0,959	0,204	0,157
5	0,958	0,200	0,149
6	0,957	0,197	0,145
8	0,956	0,191	0,136

Жадвалдан кўриниб турибтики, q нинг кўпайиши билан тақсимланиш коэффициенти асосий гармоника учун озроқ камаяди ва юқори гармоникалар учун анчагина сезиларли даражада камаяди.

Синхрон машинанинг ишлаши жараёнида роторнинг айланувчан майдони статор чулғамининг исталган актив ўтказгичига нисбатан қуйидагича чизиғий тезлик билан ҳаракат қилади:

$$v = \frac{\pi D n_1}{60} = \frac{\tau 2 P n_1}{60} = 2\tau f_1, \qquad (15.12)$$

бунда D — статор ўйиқларининг диаметри;
τ — қутб бўлинмаси, у қуйидагига тенг:

$$\tau = \frac{\pi D}{2p}.$$

Бунда статор чулғамининг ўтказгичида э.ю.к. ҳосил бўлади, унинг максимал қиймати

$$E_{ўтк.макс.} = B_{макс}\, l v = B_{макс}\, l 2\tau f_1,$$

бунда $B_{макс}$ — зазордаги магнитавий индукциянинг максимал қиймати.

Агар магнитавий индукциянинг зазорда тақсимланишини синусоидал бўлади, деб қабул қилсак, у ҳолда магнитавий индукциянинг ўртача қиймати

$$B_{ўрт.} = \frac{2}{\pi} B_{макс}.$$

Индукциянинг максимал қийматини ўртача қиймати билан алмаштириб, ўтказгич э.ю.к. ининг максимал қийматини аниқлаш формуласини ҳосил қиламиз:

$$E_{ўтк.макс} = \frac{B_{ўрт.}}{2/\pi}\, l 2\tau f_1 = \pi \Phi f_1,$$

бунда $\Phi = B_{ўрт}\, l\tau$ — роторнинг асосий магнитавий оқими.

Таъсир этувчи қийматига ўтсак, ушбу ифода олинади:

$$E_{ўтк.} = \frac{E_{ўтк.макс}}{\sqrt{2}} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \Phi f_1. \qquad (15.13)$$

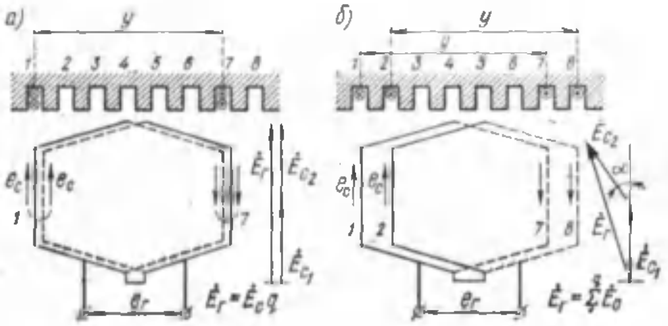
Диаметрал одимли ($y = \tau$) ва ўрамлар сони w_s бўлган чулғам секцияси учун э.ю.к. нинг таъсир этувчи қиймати ифодасини ҳосил қиламиз:

$$E_c = 2E_{ўтк} \cdot w_s = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \Phi f_1 w_s$$

ёки

$$E_c = 4{,}44\, \Phi f_1 w_s. \qquad (15.14)$$

Агар секция қисқартирилган одимли қилиб ясалган бўлса, (15.14) формулага секция одими қисқарганида биринчи гармо-



15.15- расм. Тақсимланиш коэффициенти тушунчасига доир.

ника э. ю. к. инипг камайишини ҳисобга оладиган қисқариш коэффициенти $K_{қ1}$ ни киритиш лозим:

$$E_{сқ} = 4{,}44\, f_1 \Phi w_s K_{қ1}\,. \qquad (15.15)$$

Барча чулғам э ю.к. ини аниқлаш учун (15.15) формулада битта секция э.ю.к. и $E_{сқ}$ ни кетма-кет уланган секциялар сонига кўпайтириш лозим. Секциялар группалари кетма-кет уланганида (15.3- §) фаза чулғамида кетма-кет уланган секциялар сони $2pq$ га тенг бўлади. Демак, фаза чулғамининг э. ю. к. и

$$E_1 = E_{сқ}\, 2pq\, K_{т1}$$

ёки

$$E_1 = 4{,}44\, f_1 \Phi w_s 2pq\, K_{қ1}\, K_{т1}\,.$$

$w_s 2pq$ ни w_1 (фаза чулғамида кетма-кет уланган ўрамлар сони) билан $K_{қ1}\, K_{т1}$ ни эса K_1 (биринчи гармоника учун чулғамнинг чулғам коэффициенти) билан белгилаймиз. У ҳолда фаза чулғамининг э.ю.к. формуласи қуйидаги кўринишга келади:

$$E_1 = 4{,}44\, f_1 \Phi w_1 K_1 \qquad (15.16)$$

Мисол. Уч фазали синхрон генератор битта фазасининг (э.ю.к. ларнинг асосий гармоникаси назарда тутилади) э.ю.к. ини аниқланг; унинг статор чулғамининг схемаси 15.6- расмда келтирилган ва қуйидаги маълумотлар берилган: $z = 24$, $2p = 4$, $y = 5$. Секциялар группалари кетма-кет уланган. Секциялар уч ўрамли $w_s = 3$. Частотаси $f_1 = 50$ *гц*. Қўзғатиш магнитавий оқими $\Phi = 4{,}74 \cdot 10^{-2}$ *вб*.

Ечилиши. Кутб ва фазага тўғри келадиган пазлар сони:

$$q = \frac{z}{2pm} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2.$$

Кутб бўлинмаси

$$\tau = \frac{z}{2p} = \frac{24}{4} = 6.$$

Чулғамнинг нисбий одими

$$\frac{y}{\tau} = \frac{5}{6} = 0{,}83$$

Чулғамни қисқартириш коэффициенти (15.6)

$$K_{\kappa 1} = \sin \cdot 0{,}8390^\circ = 0{,}960.$$

Чулғамнинг тақсимланиш коэффициенти (15.10)

$$K_{\text{т}1} = \frac{\sin\dfrac{180^\circ}{2 \cdot 3}}{2\sin\dfrac{180^\circ}{2 \cdot 3 \cdot 2}} = 0{,}366.$$

Чулғам коэффициенти

$$K_1 = 0{,}960 \cdot 0{,}966 = 0{,}928.$$

Фаза чулғамида кетма-кет уланган ўрамлар сони

$$w_1 = 2pqw_s = 4 \cdot 2 \cdot 3 = 24.$$

Фаза чулғамининг э. ю. к. и (15.16)

$$E_1 = 4{,}44 \cdot 50 \cdot 4{,}74 \cdot 10^{-2} \cdot 24 \cdot 0{,}928 = 230 \ \textit{в}.$$

Генератор чулғамлари юлдуз усулида уланганида линия э.ю.к. и

$$E_л = E_1 \sqrt{3} = 230 \sqrt{3} = 400 \ \textit{в}$$ бўлади.

XVI боб

ЯКОРЬ РЕАКЦИЯСИ ВА СИНХРОН ГЕНЕРАТОРНИНГ ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

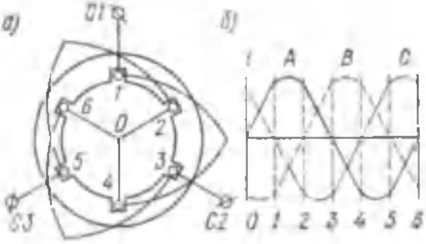
16. 1-§. Статор чулғамининг магнитавий майдони

Уч фазали генераторга уланган нагрузка симметрик бўлганда унинг фаза чулғамларидаги токларнинг қийматлари бир хил ҳамда фаза бўйича бир-бирига нисбатан 120 эл. градусга силжиган бўлади. Ҳар қайси фаза чулғамидаги ток магнитловчи куч ҳосил қилади. Учта фаза токлари магнитловчи кучларининг биргаликдаги таъсиридан уч фазали чулғамнинг умумий м.к. и вужудга келади, унинг вектори статорга нисбатан синхрон

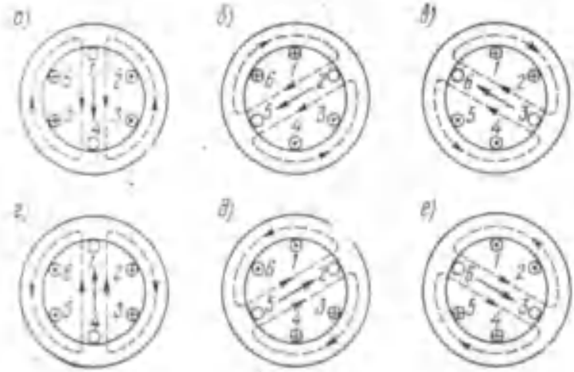
машинанинг ротори айланган томонга ва худди шундай тезлик билан айланади.

Бу айланувчан магнитловчи кучнинг ҳосил бўлиш принципини ҳар қайси фазаси битта ўрамдан таркиб топган энг оддий уч фазали чулғамда кўриб чиқамиз (16. 1- расм, *а*). Ҳар қайси фаза ўрамининг томонлари статорнинг диаметри бўйлаб жойлашганлиги сабабли бу чулғам икки қутбли чулғамдир. Фаза чулғамлари юлдуз усулида уланган.

Қўзғатиш чулғамининг магнитловчи кучи нолга тенг, статор чулғамидаги ток эса бошқа уч фазали ток энергия манбаининг э. ю. к. и ҳисобига ҳосил қилинади, деб фараз қилайлик. Фаза чулғамларида токнинг ўзгариши график тарзда фаза жиҳатдан бир бирига нисбатан 120 эл. градусга силжиган учта синусоида кўринишида тасвирланган (16.1- расм, *б*).



16.1- расм. Уч фазали чулғам (*а*) ва уч фазали ток графиги (*б*).


16.2- расм. Айланувчан магнитавий майдон ҳосил қилиш принципи.

Уч фазали чулғамнинг магнитловчи кучи ҳосил қилган магнитавий оқимнинг бир давр мобайнида ўзгаришини кўриб чиқамиз. Шу мақсадда статор чулғами магнитавий оқимларининг турли вақт моментларига тўғри келадиган қилиб чизилган, векторларини бир қатор келтирамиз.

О ҳолатда (16. 1-расм, *б*) ток *А* фазада нолга тенг, *В* фазада манфий, *С* фазада эса мусбат йўналишга эга. Токнинг кўрсатилган йўналишларини 16. 2- расм, *а* да белгилаб қўямиз.

Шундан кейин магнитавий оқимнинг статор ичидаги йўналишини аниқлаймиз (оқим вертикал ҳолатда пастга йўналган).

1 ҳолатда (16. 1-расм, *б*) ток *C* фазада нолга тенг, *A* фазада мусбат йўналишга, *B* фазада эса аввалгидек манфий йўналишга эга.

O ҳолат учун қилингани каби ясашлар қилиб, статор ичида магнитавий майдон *O* ҳолатга нисбатан соат стрелкасининг ҳаракати йўналишида 60° га (1/3 τ) бурилганлигини кўрамиз (16. 2-расм, *б*).

2, *3*, *4*, *5* ва *6* ҳолатлар учун ҳам худди шундай ясашлар қилиб (16. 1-расм, *б*) статор ичида магнитавий оқим бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтилганда ҳар гал 60° бурилишини ва ўзгарувчан токнинг бир даври мобайнида бир марта айланиб чиқишини кўрамиз (16. 2-расм, *в*, *г*, *д*, *е*). Агар статор чулғамида ток частотаси $f_1 = 50$ *гц* бўлса, у ҳолда статорнинг магнитавий майдони 50 *айл/секунд* тезлик билан айланади. Умумий ҳолда статорнинг айланувчан майдони тезлиги $n_{ст}$ ток частотасига тўғри пропорционал ва статор чулғамининг қутблар жуфти сонига тескари пропорционал бўлади:

16. 3-расм. Синхрон машина статорининг магнитавий майдони.

$$n_{ст} = \frac{f_1 60}{p},$$

Олинган ифодани (14. 1) формула билан таққослаш шуни кўрсатадики, статор чулғами магнитловчи кучининг айланиш тезлиги машина роторининг айланиш тезлигига тенг бўлади ($n_{ст} = n_1$). Бундан статор чулғамининг магнитловчи кучи билан қўзғатиш чулғамининг магнитловчи кучи бир-бирига нисбатан қўзғалмасдир, деган хулоса келиб чиқади.

16. 1-жадвалда статор чулғамида қутблар сони 2 *p* турлича ва саноат частотаси $f_1 = 50$ *гц* бўлган ҳол учун синхрон тезликларнинг қийматлари келтирилган.

16. 1-жадвал

2 *p*	2	4	6	8	10	12
айл/минут	3000	1500	1000	750	600	500

16.3-расмда статор чулғамининг м. к. и ҳосил қилган магнитавий майдон тасвирланган; ундан кўринадики, статор чулғамининг м. к. и иккита магнитавий оқимни: статор ўзагидан ўтиб ротор ўзаги орқали туташадиган якорь оқими Φ_a ва статор чулғамининг ўтказгичларини қамраб, ротор ўзагига кирмай машинанинг ҳаво зазорида туташадиган сочилиш оқими Φ_{c1} ни вужудга келтиради.

16.2-§. Якорь реакцияси

Нагрузка уланган синхрон генераторнинг ишлаши жараёнида унда иккита магнитловчи куч таъсир этади:

а) қўзғатиш чулғамининг м. к. и

$$F_0 = i_к \frac{w_к}{2p},$$

бунда $\frac{w_к}{2p}$ — қутб қўзғатиш чулғамидаги ўрамлар сони;

$i_к$ — қўзғатиш чулғамидаги ток;

б) статор (якорь) чулғамининг м. к. и

$$F_a = 0{,}45\, m_1 \frac{I_1 w_1}{p} K_1, \tag{16. 1}$$

бунда m_1 — чулғамнинг фазалари сони;

K_1 — чулғам коэффициенти (15.8-§ га қаранг).

Қўзғатиш чулғамининг магнитловчи кучи F_0 қўзғатишнинг магнитавий майдонини вужудга келтиради. Лекин нагрузка уланганида F_0 ва F_a магнитловчи кучлар ўзаро таъсир этади ва қўзғатиш чулғамининг майдонидан фарқ қиладиган умумий магнитавий майдон ҳосил қилади. Статор чулғами м. к. и F_a нинг қўзғатиш чулғамининг м. к. и F_0 га бундай таъсир этиш процесси *якорь реакцияси* дейилади.

Якорь реакцияси синхрон машинанинг иш хоссаларига таъсир этади, чунки машинада магнитавий майдон ўзгариши билан статор чулғамида ҳосил қилинган э. ю. к ва, бинобарин, шу э. ю. к. билан боғлиқ бўлган бир қатор бошқа катталиклар ҳам ўзгаради. Синхрон машиналар якорининг реакцияси умуман ўзгармас ток машиналаридаги якорь реакциясига ўхшайди (3.3-§ га қаранг).

Лекин агар ўзгармас ток машиналарида якорь реакциясининг машинанинг иш хоссаларига таъсири батамом нагрузка катталигига боғлиқ бўлса, синхрон машиналарда бу таъсир нагрузка характерига ҳам боғлиқ бўлади. Синхрон генераторлар, одатда, аралаш нагрузка (актив-индуктив ёки актив-сиғимий нагрузка) да ишлашга мўлжалланган бўлади. Бироқ синхрон машинанинг ишлашига якорь реакциясининг таъсири масаласини аниқлаш учун генераторнинг чегаравий характердаги нагрузкаларда, чунончи: актив, индуктив ва сиғимий нагрузкаларда ишлаш ҳолларини текшириш мақсадга мувофиқдир. Бунинг учун магнитловчи кучларнинг вектор диаграммаларидан фойдаланамиз. Бу диаграммаларни қуришда шуни назарда тутиш керакки, статор чулғамида қўзғатиш чулғамининг магнитавий оқими ҳосил қиладиган э. ю. к. вектори E_0 шу оқим векторидан (ва, бинобарин, м. к. вектори F_0 дан ҳам) фаза бўйича 90° орқада қолади.

Статор чулғамидаги ток вектори I_1 га келсак, у нагрузканинг турига қараб, E_0 векторга нисбатан ψ бурчак билан аниқланадиган турли ҳолатларни эгаллаши мумкин.

Актив нагрузка ($\psi = 0$). 16. 4-расм, *a* да икки қутбли генераторнинг статори ва ротори кўрсатилган. Статорда фаза чулғамининг бир қисми кўрсатилган. Ротор аён қутбли, соат стрелкасининг ҳаракатига тескари йўналишда айланади. Куриб чиқилаётган шу пайтда ротор вертикал ҳолатда туради, бу фаза чулғамида э. ю. к. E_0 нинг максимумига мувофиқ келади. Актив нагрузкада ток фаза жиҳатдан э. ю. к. билан мос тушганлиги сабабли роторнинг бу ҳолати токнинг ҳам максимумига тўғри келади. Қўзғатиш майдонининг (роторнинг) магнитавий индукция чизиқларини ва статор чулғами майдонининг магнитавий индукция чизиқларини қуриб, статор чулғамининг м. к. F_a қўзғатиш м. к. F_0 га перпендикуляр йўналганлигини кўрамиз. Бу хулоса худди ана шу ҳол учун қурилган вектор диаграмма билан ҳам тасдиқланади. Бу диаграммани қуриш тартиби қуйидагича: генератор роторининг ҳолатига мувофиқ ҳолда қўзғатиш м. к. вектори F_0 ни ўтказамиз; шу векторга 90° бурчак остида орқада қолиш томонига статор чулғамида қўзғатиш магнитавий майдони ҳосил қилган э. ю. к. вектори E_0 ни ўтказамиз; соф актив нагрузка уланганида статор чулғамидаги ток I_1 фаза жиҳатдан э. ю. к. E_0 билан мос тушади, шунинг учун ана шу ток ҳосил қилган м. к. вектори F_a фазода F_0 векторга нисбатан 90° га силжиган бўлади.

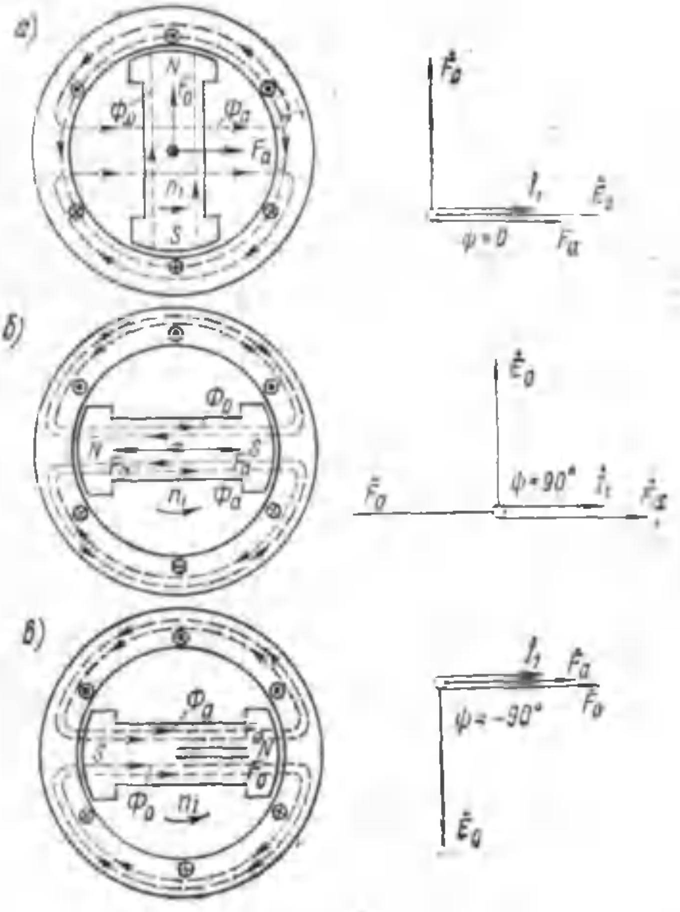
F_a ва F_0 м. к. ларнинг бундай ўзаро таъсири ўзгармас ток генераторида чўткалар геометрик нейтралда жойлашгандаги якорь реакциясига ўхшайди: машинанинг магнитавий майдони қутбнинг чўткага келувчи четкаси остида сусаяди ва чиқиб кетувчи четкаси остида кучаяди. Магнитавий занжирнинг тўйиниши натижасида машинанинг якуний (умумий) магнитавий майдони бирмунча сусаяди.

Индуктив нагрузка ($\psi = 90°$). Генераторга соф индуктив нагрузка уланганда статор токи I_1 фаза жиҳатдан э. ю. к. E_0 дан 90° га орқада қолади. Шунинг учун ротор э. ю. к. нинг максимумига тўғри келадиган ҳолатига нисбатан олдинга 90° га бурилгандан кейингина у максимал қийматига етади (16. 4-расм, *б*). Бунда якорнинг м. к. и F_a роторнинг қутблар ўқи бўйлаб қўзғатиш м. к. и F_0 га қарши таъсир этади. Вектор диаграммасини қуриб, биз бунга яна ишонч ҳосил қиламиз. Якорь м. к. и F_a нинг шундай таъсири машинанинг майдонини сусайтиради. Демак, ***синхрон генераторда якорь реакцияси соф индуктив нагрузка уланганда бўйлама-магнитсизловчи таъсир кўрсатади.***

Сиғимий нагрузка ($\psi = -90°$). Сиғимий нагрузкада ток I_1 фаза жиҳатдан э. ю. к. E_0 дан 90° олдинга кетганлиги сабабли у ўзининг энг катта қийматига э. ю. к. дан илгарироқ, яъни ротор 16 4-расм, *в* да кўрсатилган ҳолатни эгаллаганда эриша-

ди. Якорнинг магнитловчи кучи F_a олдинги ҳолдаги каби, қутблар ўқи бўйлаб, лекин бунда қўзғатиш м. к. и F_0 га мос ҳолда таъсир этади. Бунда қўзғатиш магнитавий майдони кучаяди. Шундай қилиб, *синхрон генераторга соф сиғимий нагрузка уланганда якорь реакцияси бўйлама-магнитловчи таъсир кўрсатади.*

Аралаш нагрузка. Синхрон генераторга аралаш нагрузка уланганда статор токи I_1 фаза жиҳатдан э. ю. к. E_0 га нисбатан ψ бурчакка силжиган, бу бурчакнинг қиймати $0 < \psi < \pm 90^0$ оралиғида бўлади. Аралаш нагрузкада якорь реакциясининг таъсири масаласини тушуниб олиш учун 16.5- расмда курсатилган м. к. лар диаграммаларидан фойдаланамиз.



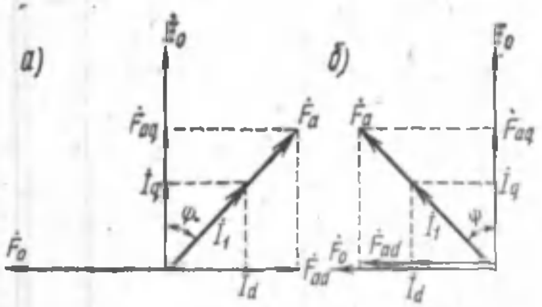
16. 4- расм. Синхрон генераторнинг актив (*а*), индуктив (*б*) ва сиғимий (*в*) нагрузкалардаги якорь реакцияси.

Актив индуктив нагрузкада (16.5- расм, *a*) вектор $\dot{F}_a$ вектор $\dot{E}_0$ дан $0 < \psi < 90°$ бурчакка орқада қолади. Вектор $\dot{F}_a$ ни иккига ташкил этувчига ажратамиз: якорь м. к. и нинг бўйлама ташкил этувчиси $F_{ad} = F_a \sin\psi$ ва якорь м. к. и нинг кўндаланг ташкил этувчиси $F_{aq} = F_a \cos\psi$. Актив-сиғимий нагрузка уланганда ҳам якорнинг м. к. и ни ана шундай ташкил этувчиларга ажратиш мумкин (16.5- расм, *б*). Якорь м. к. и нинг кўндаланг ташкил этувчиси F_{aq} нагрузка токининг актив ташкил этувчисига пропорционал

$$I_q = I_1 \cos\psi,$$

якорь м. к. и нинг бўйлама ташкил этувчиси F_{ad} эса нагрузка токининг реактив ташкил этувчисига пропорционал бўлади:

$$I_d = I_1 \sin\psi.$$



16. 5-расм. Аралаш нагрузкада якорь реакцияси: *a*—актив-индуктив нагрузка; *б*—актив-сиғимий нагрузка.

Бунда агар нагрузка токининг реактив ташкил этувчиси I_d фаза жиҳатдан э. ю. к. E_0 дан орқада қолса (актив-индуктив нагрузка), у ҳолда F_{ad} генераторни магнитсизлайди, агар реактив ташкил этувчиси I_d фаза жиҳатдан э. ю. к. E_0 дан олдинда бўлса (актив-сиғимий нагрузка), у ҳолда м. к. F_{ad} генераторни магнитлайди.

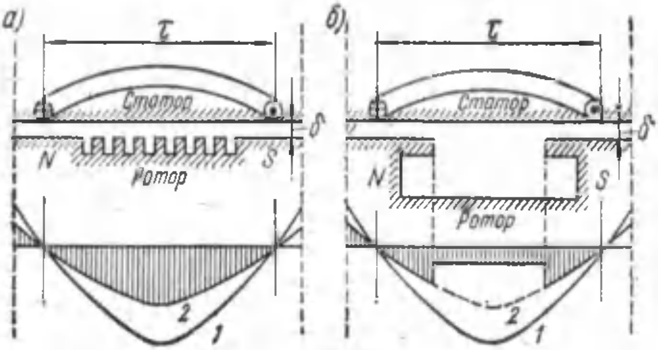
Вектор F_{ad} нинг вектор F_0 га нисбатан йўналиши якорь реакциясининг характерини белгилайди: якорь реакцияси нагрузка токи I_1 фаза жиҳатдан э. ю. к. E_0 дан орқада қолганда магнитсизловчи, ток I_1 фаза жиҳатдан э. ю. к. E_0 дан олдин кетганда эса магнитловчи бўлади.

Аён қутбли машинада қутблар орасидаги бўшлиқдаги магнитавий қаршилик қутблар остидаги магнитавий қаршиликдан катта бўлади. Бу қутблар орасидаги бўшлиқда ҳаво зазори анча катталиги билан тушунтирилади. Шунинг учун якорь магнитавий оқимининг кўндаланг ўқ бўйича ташкил этувчиси аён қутбли машинада аёнмас қутбли машинадагига қараганда анча кичик бўлади (16.6- расм). Аён қутбли машина учун якорь м. к. и нинг кўндаланг ташкил этувчисини аниқлашда

оқимнинг бундай камайиши коэффициент K_q билан ҳисобга олинади:

$$F_{aq} = K_q F_a \cos\psi. \qquad (16.2)$$

Бунда K_q—*якорнинг кўндаланг реакция коэффициенти*, у аён қутбли машинада якорнинг кўндаланг ўқ бўйича магнитавий оқимининг аёнмас қутбли машинада якорнинг худди шу ўқ бўйлаб оқимининг ташкил этувчисига нисбатидан иборат. Одатда, $K_q = 0{,}3 - 0{,}5$ бўлади.



16. 6- расм. Якорь магнитавий оқимининг синхрон машинанинг кўндаланг ўқи бўйлаб тақсимланиши:
а—аён бўлмаган қутбли машинада; *б* - аён қутбли машинада:
1—м. к. графиги; *2*—магнитавий оқим графиги.

Аён қутбли машинада якорь м. к. и нинг ташкил этувчиси

$$F_{ad} = K_d F_a \sin\psi, \qquad (16.3)$$

бунда K_d—*якорнинг бўйлама реакция коэффициенти*; бу аён қутбли машинада ҳаво зазорининг нотекислиги туфайли якорь магнитавий оқимининг бўйлама ўқ бўйича ташкил этувчисининг маълум даражада сусайишини ҳисобга олувчи коэффициент. Одатда, $K_d = 0{,}8 - 0{,}95$

16. 3- §. Синхрон генераторнинг э. ю. к. тенгламаси

Нагрузка уланган генераторнинг чиқиш клеммаларидаги кучланиш шу генераторнинг салт ишлаш режимидаги кучланишдан фарқ қилади. Буни кўпгина сабаблар: якорь реакцияси, сочилиш магнитавий оқими, статор чулғамининг актив қаршилигида кучланиш тушиши таъсири билан изоҳлаш мумкин.

Юқорида (16. 2- § га қаранг) аниқланганидек, нагрузка уланган синхрон машина ишлаганида унда бир неча магнитловчи кучлар таъсир этади, улар ўзаро таъсирлашиб умумий магнитавий оқимни ҳосил қилади. Лекин синхрон генераторнинг

кучланишига таъсир этувчи факторларни ҳисобга олишда шартли равишда генератор барча магнитловчи кучларининг мустақил таъсир этишига доир тахминга асосланилади, яъни ҳар қайси магнитловчи куч ўзининг магнитавий оқимини ҳосил қилади, деб тахмин қилинади.

Лекин шуни ҳам таъкидлаб ўтиш керакки, бундай тасаввур ҳодисаларнинг физикавий моҳиятига мос келмайди, чунки битта магнитавий системада фақат битта—умумий (якуний) магнитавий оқим ҳосил бўлади. Лекин ушбу ҳолда магнитавий оқимларнинг мустақиллиги ҳақидаги тахмин барча факторларнинг синхрон машинанинг ишлашига таъсирини тушуниб олишга имкон беради.

Шундай қилиб, аён қутбли синхрон генераторда таъсир этувчи магнитловчи кучлар генераторнинг ишига қандай таъсир этишини аниқлаймиз.

1. Қўзғатиш чулғамининг магнитловчи кучи F_0 қўзғатиш магнитавий оқими Φ_0 ни ҳосил қилади, бу оқим статор чулғамида *генераторнинг асосий э. ю. к.* и E_0 ни индукциялайди (вужудга келтиради).

2. Якорь чулғами магнитловчи кучининг бўйлама ўқ бўйича ташкил этувчиси F_{ad} якорь реакцияси магнитавий оқимининг бўйлама ўқ бўйича ташкил этувчиси Φ_{ad} ни ҳосил қилади. Бу магнитавий оқим статор чулғамида *якорь реакциясининг бўйлама ўқ бўйича э. ю. к.* и дейиладиган э. ю. к. E_{ad} ни индукциялайди:

$$\dot{E}_{ad} = -j\dot{I}_d x_{ad} \tag{16.4}$$

бунда x_{ad} — статор чулғамининг индуктив қаршилиги, у якорнинг бўйлама ўқ бўйича реакциясига эквивалент бўлади. x_{ad} нинг қиймати якорнинг бўйлама ўқ бўйича реакцияси генераторнинг ишига қай даражада таъсир этишини кўрсатади.

Масалан, синхрон машиналарда тўйинган магнитавий системада якорнинг бўйлама ўқ бўйича реакциясининг магнитавий оқими Φ_{ad} тўйинмаган магнитавий системадагига қараганда кам бўлади. Бунга сабаб шуки, Φ_{ad} оқим магнитавий тўйиниш ҳолатида магнитавий қаршилиги ортадиган пўлат орқали деярли тўла-тўкис ўтади. Бундан x_{ad} нинг қиймати машинанинг магнитавий тўйиниш даражасига боғлиқ деган хулоса келиб чиқади: магнитавий тўйиниш даражаси ортиши билан x_{ad} камаяди.

3. Якорь чулғами магнитловчи кучининг кўндаланг ўқ бўйича ташкил этувчиси F_{aq} якорь реакцияси магнитавий оқимининг кўндаланг ўқ бўйича ташкил этувчиси Φ_{aq} ни ҳосил қилади. бу оқим статор чулғамида *якорь кўндаланг ўқ бўйича реакциясининг э. ю. к.* ини индукциялайди:

$$\dot{E}_{aq} = -j\dot{I}_q x_{aq} \tag{16.5}$$

бунда x_{aq} — статор чулғамининг индуктив қаршилиги, у якорнинг кўндаланг ўқ бўйича реакциясига эквивалент бўлади. x_{aq}

нинг қиймати машинанинг магнитавий тўйиниши даражасига боғлиқ эмас, чунки аён қутбли роторда магнитавий оқим Φ_{aq} қутблараро бўшлиқдаги каттагина ҳаво зазори орқали ўтади.

4. Статор чулғамининг сочилиш магнитавий оқими (16. з-расмга қаранг) статор чулғамида сочилиш э. ю. к. и E_{c1} ни вужудга келтиради:

$$\dot{E}_{c1} = -j\dot{I}_1 x_{c1}, \qquad (16.6)$$

бунда x_{c1} — статор чулғамининг сочилиш индуктив қаршилиги.

5. Статорнинг фаза чулғамида ток I_1 кучланишнинг актив тушишини вужудга келтиради:

$$\dot{U}_{r1} = \dot{I}_1 r_1 \qquad (16.7)$$

бунда r_1 — статор фаза чулғамининг актив қаршилиги.

Актив қаршилик r_1 нинг қиймати кичик бўлганлиги сабабли кучланишнинг актив тушиши катта эмас ва ҳатто статорнинг номинал токида ҳам, одатда, генераторнинг чиқиш клеммаларидаги номинал кучланиш $\dot{U}_{1н}$ нинг 1 процентидан камроғини ташкил этади.

Юқорида айтиб ўтилган барча катталикларнинг геометрик йиғиндиси синхрон генераторнинг чиқиш клеммаларидаги кучланиш U_1 нинг қийматини беради:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_0 + \dot{E}_{ad} + \dot{E}_{aq} + \dot{E}_{c1} - \dot{U}_{r_1} \qquad (16.8)$$

Олинган ифода аён қутбли синхрон генераторнинг э. ю. к. и тенгламасидир.

Аёнмас қутбли машиналарда индуктив қаршиликлар x_{ad} ва x_{aq} тахминан ўзаро тенг бўлади, чунки бу машиналарда статор айланаси бўйлаб ҳаво зазори бир хил бўлади. Бу ҳол аёнмас қутбли генератор учун вектор диаграммалар қуришда якорь реакциясини бўйлама ва кўндаланг ташкил этувчиларга ажратиб алоҳида-алоҳида қараш эмас, балки тўла магнитловчи куч F_a ҳамда тегишли э. ю. к. ҳолида ҳисобга олишга имкон беради:

$$\dot{E}_a = -j\dot{I}_1 x_a. \qquad (16.9)$$

Бунда x_a—*статор чулғамининг якорь реакциясига боғлиқ бўлган индуктив қаршилиги.*

Бундан ташқари, якорь оқими Φ_a билан сочилиш оқими Φ_{c1} ни битта ток ҳосил қилганлиги сабабли, якорь реакциясининг индуктив қаршилиги x_a билан сочилишнинг индуктив қаршилиги x_{c1} ни қуйидаги йиғинди сифатида қараш мақсадга мувофиқдир:

$$x_c = x_a + x_{c1} \qquad (16.10)$$

бунда x_c—*аёнмас қутбли машинанинг синхрон қаршилиги.*

Бу ҳолда якорь реакциясининг э. ю. к. и билан сочилиш э. ю. к. и биргаликда ҳисобга олинади:

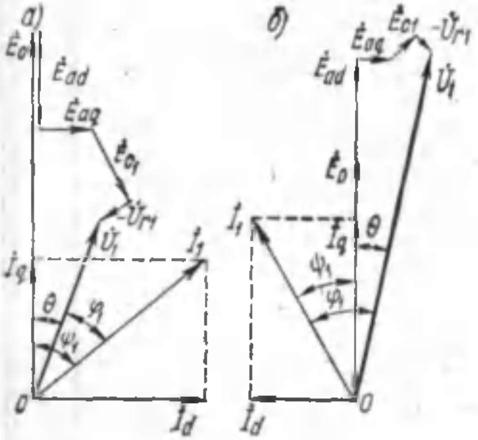
$$-j\dot{I}_1 x_a + (-j\dot{I}_1 x_{c1}) = -j\dot{I}_1 x_c = \dot{E}_c \qquad (16.11)$$

У ҳолда аёнмас қутбли синхрон генераторнинг э. ю. к. и тенгламаси қуйидаги кўринишга келади:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_0 + \dot{E}_s - \dot{U}_{r1} \qquad (16.12)$$

16.4- §. Синхрон генераторнинг вектор диаграммалари

Э. ю к. тенгламаси (16.8) дан фойдаланиб, актив-индуктив нагрузкада ишлайдиган аён қутбли синхрон генераторнинг (ток $\dot{I}_1$ фаза жиҳатдан э. ю. к. $\dot{E}_0$ дан орқада қолади) вектор диаграммасини қурамиз. Вектор диаграмма қуйидаги маълумотлар асосида қурилади:



16.7- расм. Аён қутбли генераторнинг вектор диаграммалари:
а—актив-индуктив нагрузкада; б—актив-сиғимий нагрузкада.

1) генераторнинг салт ишлаш режимидаги э. ю. к. и $\dot{U}_0$;

2) нагрузка токи $\dot{E}_1$ нинг ва унинг э. ю. к. $\dot{U}_0$ га нисбатан силжиш бурчаги ψ_1 нинг қийматлари;

3) якорь реакциясининг бўйлама x_{ad} ва кўндаланг x_{aq} индуктив қаршиликлари;

4) статор фаза чулғамининг актив қаршилиги r_1.

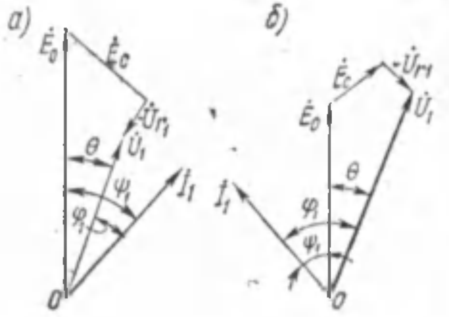
Генераторга уланган нагрузка симметрик бўлганда диаграмма фақат битта фаза учун қурилади.

Вектор диаграммани (16.7- расм, *а*) қуриш тартибини кўриб чиқамиз. Ихтиёрий йўналишда э. ю. к. $\dot{E}_0$ векторини ва унга ψ бурчак остида ток $\dot{I}_1$ векторини қўямиз. Ток векторини реактив $\dot{I}_d = \dot{I}_1 \sin\psi_1$ ва актив $\dot{I}_q = \dot{I}_1 \cos\psi_1$ ташкил этувчиларга ажратамиз. Сўнгра $\dot{E}_0$ вектори учидан э. ю. к. векторларини қўямиз:

$$\dot{E}_{ad} = -j\dot{I}_d x_{ad}$$
$$\dot{E}_{aq} = -j\dot{I}_q x_{aq}$$
$$\dot{E}_{\sigma 1} = -j\dot{I}_1 x_{\sigma 1}$$
$$\dot{U}_{r1} = \dot{I}_1 r_1.$$

$\dot{U}_{r1}$ векторнинг учини O нуқта билан бирлаштириб, кучланиш U_1 ни оламиз, унинг қиймати э. ю. к. векторларининг геометрик йиғиндисига тенг (16.8).

Актив-сиғимий нагрузкада ишлайдиган (ток I_1 фаза жиҳатдан э. ю. к. E_0 дан олдин кетган) генераторнинг вектор диаграммасини қуришда ток I_1 вектори э. ю. к. векторидан чапга қўйилади (16.7-расм, *б*). $\dot{E}_{ad}$ векторнинг йўналиши эса э. ю. к. E_0 векторининг йўналишига мувофиқ ҳолда белгиланади, чунки нагрузка сиғимий характерда бўлганда якорь реакцияси магнитловчи таъсир этади. Қолган жиҳатлардан диаграммани қуриш тартиби аввалдагидек бўлаверади.



16.8- расм. Аён бўлмаган қутбли генераторнинг вектор диаграммалари: *а*—актив-индуктив нагрузкада; *б*—актив-сиғимий нагрузкада.

Аёнмас қутбли синхрон генераторнинг вектор диаграммаси тенглама (16.12) асосида қурилади, бунда вектор $\dot{E}_0$ ток $\dot{I}_1$ векторига ψ_1 бурчак остида қўйилади (16.8- расм). Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, қурилган вектор диаграммаларда магнитавий занжирнинг тўйиниши ҳисобга олинмайди, шунинг учун улар ҳодисанинг сифатий томонинигина акс эттиради. Лекин шу билан бирга бу диаграммалар қуйидагича хулосалар чиқаришга имкон беради:

а) нагрузка уланган генератор кучланишининг ўзгаришига таъсир этувчи асосий фактор якорь магнитавий майдонининг э. ю. к. $\dot{E}_{ad}$ ни ҳосил қиладиган бўйлама ташкил этувчисидир;

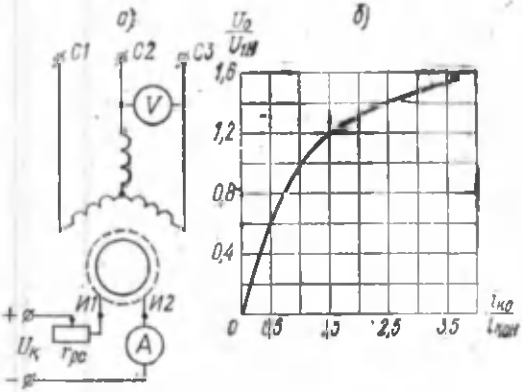
б) генератор актив-индуктив нагрузка билан, яъни фаза жиҳатдан кучланиш $\dot{E}_0$ дан орқада қоладиган ток I_1 билан ишлаганида статор чулғамининг чиқиш учларидаги кучланиш U_1 нагрузка ортиши билан камаяди, бунга сабаб якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсиридир. Генератор актив-сиғимий нагрузка (ток I_1 фаза жиҳатдан э. ю. к. $\dot{E}_0$ дан олдин кетади) билан ишлаганида кучланиш U_1 нагрузка ортиши билан кўпаяди, бунга сабаб якорь реакциясининг магнитловчи таъсиридир.

16.5- §. Синхрон генераторнинг характеристикалари

Синхрон генераторнинг хоссалари салт ишлаш, қисқа туташув ва ташқи характеристикалари билан белгиланади.

Синхрон генераторнинг с а л т и ш л а ш х а р а к т е р и с т и к а с и роторнинг айланиш тезлиги ўзгармас бўлганда генераторнинг салт ишлаш режимидаги кучланиш U_0 нинг қўзғатиш

токи $i_қ$ га боғлиқлик графигидир; $I_1 = 0$ ва $n = \text{const}$ бўлганда $U_0 = f(i_қ)$. Салт ишлаш характеристикасини олиш учун синхрон генераторни улаш схемаси 16.9- расм, *а* да келтирилган. Одатда, характеристиканинг кўтарилувчи ва пасаювчи шохобчалари олинади, улар магнитавий занжирнинг гистерезис хоссалари борлиги туфайли мос тушмайди.



16.9- расм. Синхрон генераторнинг салт ишлаш тажрибаси:
а—тажриба схемаси; *б*—салт ишлашнинг нормал характеристикаси.

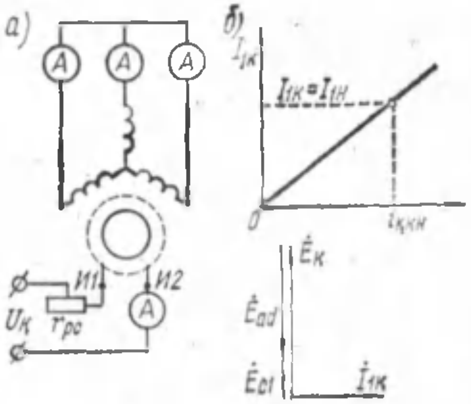
Салт ишлаш характеристикаси, шунингдек, синхрон генераторларнинг бошқа характеристикаларини нисбий бирликларда қуриш қулай. Бунда график ўқлари бўйлаб катталикларнинг абсолют қийматлари эмас, балки уларнинг номинал қийматларга нисбатлари: ординаталар ўқи бўйлаб $\frac{U_0}{U_{1н}}$, абсциссалар ўқи бўйлаб эса $\frac{i_{қ.о}}{i_{қ.он}}$ қўйилади.

Шундай қилиб, кучланишлар ўқида бирлик сифатида номинал кучланишга тенг салт ишлаш кучланиши $U_0 = U_{1н}$, қўзғатиш токлари ўқида эса бирлик сифатида $U_0 = U_{1н}$ кучланишга мос келувчи қўзғатиш токи $i_{қон}$ қабул қилинади. Одатда, синхрон машиналарнинг нисбий бирликларда ифодаланган салт ишлаш характеристикалари бир-биридан кам фарқ қилади ва *салт ишлашнинг нормал характеристикаси* (16.9- расм, *б*) дейиладиган ўртача характеристикага мос келади; бу характеристикага оид маълумотлар 16.2- жадвалда келтирилган.

16.2- жадвал

$i_{қо}/i_{қон}$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
$U_0/U_{1н}$	0,58	1,0	1,21	1,33	1,40	1,46	1,51

Қисқа туташув характеристикасини $I_{1қ} = f(i_қ)$ қисқа туташув тажрабасида олиш мумкин, бу тажриба қуйидаги тартибда ўтказилади: статор чулғамининг учлари қисқа туташтирилади (16.10-расм, *а*) ва машинанинг ротори номинал тезлик билан айлантирилади. Сўнгра машинани қўзғатиб (юргизиб) қўзғатиш токи нолдан аста-секин шундай ошириб бориладики, бунда қисқа туташув токи статор чулғамининг номинал



16.10- расм. Қисқа туташув тажрибаси:
а – тажриба схемаси; *б* – қисқа туташув характеристикаси; *в* — вектор диаграммаси.

иш токидан кўпи билан 25% ортиб кетадиган бўлсин ($I_{1қ} = 1{,}25\ I_{1н}$). Бу ҳолда статор чулғами э. ю. к. нинг қиймати генераторнинг иш режимидагига қараганда бир неча марта кичик ва, бинобарин, асосий магнитавий оқим жуда кам бўлганлиги сабабли машинанинг магнитавий занжири тўйинмаган бўлиб қолади. Шу сабабга кўра қисқа туташув характеристикаси тўғри чизиқ бўлади (16.10- расм, *б*). Статор чулғамининг актив қаршилиги унинг индуктив қаршилигига нисбатан кичикроқдир. Шунинг учун r_1 қийматини эътиборга олмай, қисқа туташув тажрибасида синхрон генераторнинг нагрузкаси (унинг ўз чулғамлари) соф индуктив нагрузкадир, деб ҳисоблаш мумкин. Бундан *қисқа туташув тажрибасида синхрон генератор якорининг реакцияси бўйлама-магнитловчи характерда бўлади,* деган хулоса келиб чиқади (16.2- § га қаранг).

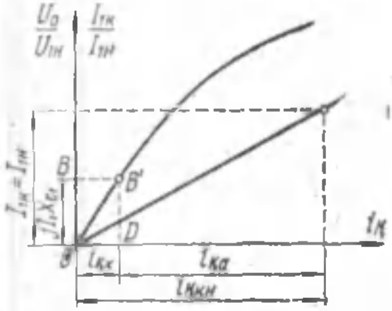
Уч фазали қисқа туташув тажрибасида генератор учун қурилган вектор диаграммаси 16.10- расм, *в* да кўрсатилган. Диаграммадан кўриниб турибтики, статор чулғамида ҳосил бўладиган э. ю. к. $\dot{E}_қ$ якорь бўйлама реакциясининг э. ю. к. и $\dot{E}_{ad} = -j\dot{I}_d x_{ad}$ ва сочилиш э. ю. к. и $\dot{E}_{\sigma1} = -j\dot{I}_1 x_{\sigma1}$ билан тўлиқ мувозанатлашади:

$$\dot{E}_қ = -\dot{E}_{ad} + \dot{E}_{\sigma1}$$

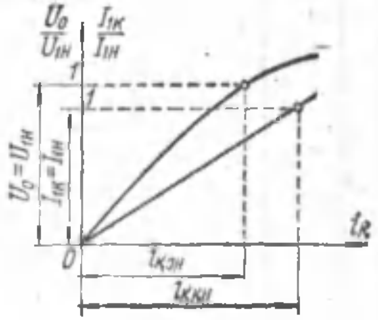
Бунда қўзғатиш чулғами магнитловчи кучининг гўё иккита ташкил этувчиси бўлади: бири кучланиш тушиши $j\dot{I}_1 x_{\sigma1}$ ни,

иккинчиси эса якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири $jIdx_{ad}$ ни компенсациялайди (қоплайди).

Салт ишлаш ва қисқа туташув характеристикалари қўзғатиш токларининг қўзғатиш магнитловчи кучининг кўрсатилган ташкил этувчиларига тўғри келадиган қийматларини аниқлашга имкон беради. Шу мақсадда синхрон машинанинг салт ишлаш ва қисқа туташув характеристикалари битта координаталар ўқлари системасида қурилади (16.11- расм). Ординаталар



16.11- расм. Қисқа туташув тажрибасида қўзғатиш токининг ташкил этувчиларини график усулда аниқлаш.



16.12- расм. Қисқа туташув нисбатини аниқлашга доир.

ўқига кучланиш масштабида сочилиш э. ю. к. и нинг қиймати $\dot{E}_{c1} = -j\dot{I}_1x_{c1}$ ни ифодалайдиган OB кесма қўйилади. Сўнгра B нуқта салт ишлаш характеристикасига ўтказилади (B' нуқта) ва абсциссалар ўқига $B'D$ перпендикуляр туширилади. Шу йўл билан олинган D нуқта қўзғатиш токи $i_{к.қн}$ ни икки қисмга: кучланиш тушиши jI_1x_{c1} ни қоплаш учун зарур бўлган қўзғатиш токи $i_{қх}$ ва якорь реакциясининг бўйлама-магнитсизловчи таъсирини компенсацияловчи қўзғатиш токи $i_{қ.а}$ ларга ажратади.

Синхрон машинанинг муҳим параметрларидан бири *қисқа туташув нисбатидир*; у салт ишлашдаги номинал кучланишга тўғри келадиган қўзғатиш токи $i_{қон}$ нинг қисқа туташув тажрибасида статорнинг номинал токига тўғри келадиган қўзғатиш токи $i_{қ.қн}$ га нисбатидан иборат (16.12- расм):

$$ҚТН = \frac{i_{қон}}{i_{қ.қн}}.$$

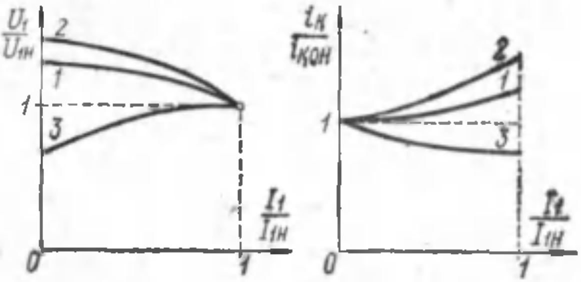
ҚТН нинг қиймати, одатда, турбогенераторлар учун ҚТН = =0,5–0,7, гидрогенераторлар учун ҚТН = 1,0 – 1,4 чегарада бўлади.

ҚТН нинг қиймати синхрон машинанинг хоссаларини баҳолашда катта амалий аҳамиятига эга: ҚТН нинг қиймати кичик бўлган машиналар параллел ишлашда унчалик барқарор эмас, нагрузка ўзгарганида кучланиши кўп ўзгариб ту-

ради, лекин бундай машиналарнинг габаритлари кичик ва, бинобарин, ҚТН нинг қиймати катта булган машиналарга нисбатан арзон бўлади; бироқ катта ҚТН ли машиналар ишлаш пайтида анча барқарор бўлади.

Синхрон генераторнинг *ташқи характеристикаси* статор чулғамининг учларидаги кучланишнинг нагрузка токининг қийматига боғлиқлигидир:

$i_к = \text{const}$; $\cos\varphi_1 = \text{const}$; $n_1 = h_н = \text{const}$ бўлганда $U_1 = f(I_1)$



16.13- расм. Синхрон генераторнинг ташқи (*а*) ва ростлаш (*б*) характеристикалари.

16.13- расм, *а* да синхрон генераторнинг характери турлича бўлган нагрузкаларига мос келувчи ташқи характеристикалари келтирилган.

Ташқи характеристикани олишда генераторга статор чулғамининг учларида кучланиш номинал бўлганда ($U_1 = U_{1н}$) ток номинал қийматга етгунча ($I_1 = I_{1н}$) нагрузка уланади. Сўнгра генератордан аста-секин нагрузка олинади. Актив нагрузкада (*1* эгри чизиқ) нагрузка токи камайтирилганда кучланиш ортади, бу ҳодисани статор чулғамида кучланиш тушишининг камайиши ва тўйинган машинада якорнинг кўндаланг реакцияси оқимининг сусайиши билан изоҳлаш мумкин. Индуктив нагрузкада (*2* эгри чизиқ) нагрузка камайганда кучланиш тезроқ кўпаяди, чунки ток I_1 нинг камайиши билан якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири сусаяди. Лекин генераторга сиғимий нагрузка уланганида (*3* эгри чизиқ) ток I_1 камайиши билан кучланиш U_1 камаяди, буни эса якорь реакциясининг магнитловчи таъсири сусайиши билан изоҳлаш мумкин.

Нагрузка номинал қийматидан нолгача камайганида, шунингдек, қўзғатиш токи ва айланиш тезлиги ўзгармас бўлганда бошқа генераторлардан алоҳида ишлайдиган синхрон генератор кучланишининг ўзгариши кучланишнинг номинал ўзгариши (кўпайиши) дейилади:

$$\Delta U_н = \frac{E_0 - U_{1н}}{U_{1н}} 100 \qquad (16.14)$$

Генераторга сиғимий нагрузка уланганида $\Delta U_н$ нинг қиймати манфий бўлади. Мавжуд нормаларга кўра, нагрузка камайганида кучланишнинг ортиши 50% дан кўп бўлмаслиги керак.

16.3- жадвалда синхрон генераторлар кучланишининг ортишига доир маълумотлар келтирилган.

16.3- жадвал

Генераторнинг типи	Кучланишнинг ортиши $\Delta U_н$	
	$\cos\varphi_1 = 1$	$\cos\varphi_1 = 0{,}8$
Уч фазали:		
тез айланадиган	8—15	18—31
секин айланадиган	9—13	18—25
турбогенератор	16—25	30—48
Темир йўлларни таъминлайдиган бир фазали	17—20	35—40

Синхрон генераторнинг **ростлаш характеристикаси** нагрузка ўзгарганида генераторнинг клеммаларидаги кучланиш номинал кучланишга тенглигича қолиши учун қўзғатиш токини қандай ўзгартириш лозимлигини кўрсатади:

$$U_1 = U_{1н} = \text{const} \text{ ва } n_1 = n_н = \text{const} \text{ бўлганда } I_қ = f(I_1).$$

16.13- расм, *б* да синхрон генераторнинг ростлаш характеристикалари келтирилган. Актив нагрузкада нагрузка токи I_1 нинг ортиши билан кучланиш U_1 камаяди. Шунинг учун кучланишни ўзгармас қилиб сақлаш мақсадида нагрузка токи I_1 нинг орта бориши билан қўзғатиш токини ҳам кўпайтириб бориш лозим (*1* эгри чизиқ). Нагрузканинг индуктив характерда бўлиши кучланиш U_1 нинг анча кескин камайишига олиб келади (16.13- расм, *а*, 2- эгри чизиққа қаранг), шу сабабли $U_1 = U_{1н}$ тенгликни сақлаб туриш учун зарурий қўзғатиш токини кўпроқ даражада ошириб бориш лозим (2-эгри чизиқ). Нагрузка сиғимий характерда бўлганда эса нагрузка ортиши билан кучланиш U_1 ҳам ортади, шу сабабли $U_1 = U_{1н}$ тенгликни сақлаб туриш учун қўзғатиш токини камайтириш керак (*3*-эгри чизиқ).

Синхрон генераторнинг қўзғатиш чулғамидаги ток генераторнинг қўзғатиш занжиридаги ростлаш реостатининг (14.3-расм, *а* га қаранг) қаршилиги r_1 ни ўзгартириш (бевосита ростлаш) ёки қўзғатувчининг клеммаларидаги кучланишни ўзгартириш (билвосита ростлаш) йўли билан ростланади; кучланиш қўзғатувчининг қўзғатиш токи катталигини ростлаш реостати r_2 воситасида ростлаш йўли билан ўзгартирилади. Қўзғатиш токини ростлашда иккинчи усул иқтисодий жиҳатдан фойдали ва техникавий жиҳатдан қулайдир. Қўзғатувчининг

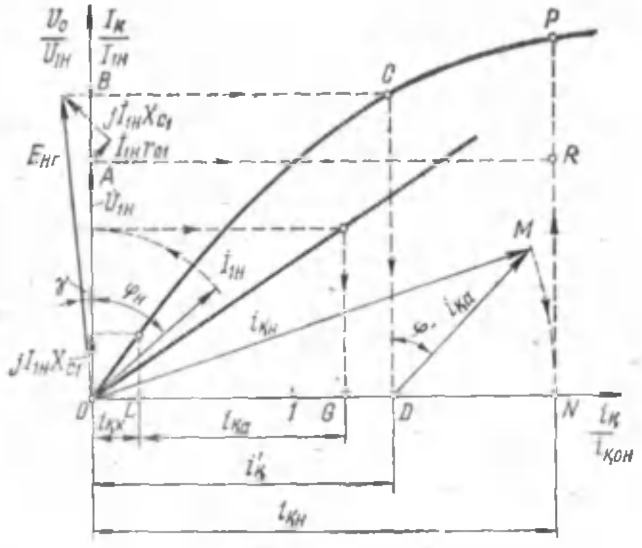
қўзғатиш токи синхрон генераторнинг қўзғатиш токидан анча кам бўлиши сабабли билвосита ростлашда бевосита ростлашдагига қараганда кичикроқ реостатлар талаб қилинади. Бунда қўзғатиш занжирида энергия исрофлари камаяди.

Аралаш усулда ростлаш ҳам мумкин, бунда ток r_1 ва r_2 реостатлар воситасида тегишлича аниқ ва дағал ростланади. Лекин нагрузка тез-тез ўзгариб турадиган бўлса, қўзғатиш занжирида кучланишни реостатлар ёрдамида дастаки (қўлда) ростлаб бўлмайди. Шунинг учун синхрон генераторларни амалда ишлатишда кучланишни автоматик ростлаш усули қўлланилади.

16.6- §. Синхрон генератор э. ю. к. нинг амалий диаграммаси

Нагрузка камайганида синхрон генератор кучланишининг ортишини графикавий усулда, э. ю. к. нинг амалий диаграммасини қуриш йўли билан аниқлаш мумкин.

Синхрон генератор номинал нагрузка режимида ишлаган, сўнгра нагрузка батамом узиб қўйилган, бунда айланиш тезлиги ва *қўзғатиш токи* ўзгармасдан қолган, деб фараз қилайлик. Нагрузка узиб қўйилгандан кейин генераторнинг кучланиши $\Delta U_н$ қийматга кўпайган. Бу қийматни аниқлаш учун қуйидагича иш юритамиз (16.14- расм): координаталар ўқларида салт ишлаш ва қисқа туташув характеристикаларини қурамиз. Сўнгра ординаталар ўқида $OA = U_{1н}$ векторни ясаймиз

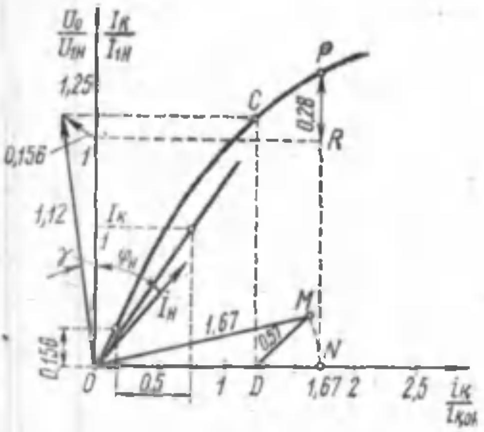


16.14- расм. Э. ю. к. нинг амалий диаграммаси.

ва OA векторига $\varphi_н$ бурчак остида ток $I_{1н}$ векторини ўтказамиз. $U_{1н}$ векторига $I_{1н}r_1$ ва $jI_{1н}x_{c1}$ кучланиш тушишларини геометрик қўшиб, нагрузка уланган генераторнинг э. ю. к. қийматини топамиз:

$$\dot{E}_{нг} = \dot{U}_{1н} + \dot{I}_{1н}r_1 + j\dot{I}_{1н}x_{c1}$$

B нуқтани салт ишлаш характеристикасига кўчириб (C нуқта), CD ординатани ўтказамиз. Абсциссалар ўқида олинган OD кесма нагрузка уланган генераторнинг э. ю. к. и $E_{нг}$ ни вужудга келтириш учун зарур булган қўзғатиш токи $i'_{қ}$ нинг қийматини аниқлайди. Лекин генератор нагрузкасиа ишлаганида унинг э. ю. к. и E_0 э. ю. к. $E_{нг}$ дан якорь бўйлама реакциясининг э. ю. к. и E_{ad} нинг қиймати қадар катта бўлади:



16.15- расм. $\Delta U_н$ ни аниқлаш.

$$\dot{E}_0 = \dot{E}_{нг} + \dot{E}_{ad}.$$

$\dot{E}_{ad}$ қийматни ҳисобга олиш учун якорь реакциясининг бўйлама магнитсизловчи таъсирига мувофиқ келадиган қўзғатиш токи $i_{қа}$ ни аниқлаймиз. Зарурий ясашларни қилиб (16,11- расмга қаранг), $i_{қа} = LG$ қийматни аниқлаймиз. Сўнгра D нуқтадан CD га $\varphi' = \varphi_н + \gamma$ бурчак остида вектор $DM = i_{қа}$ ни ўтказамиз. Марказ O дан OM радиус билан абсциссалар ўқи билан N нуқтада кесишгунча ёй чизамиз. У ҳолда $ON = i_{қн}$—э. ю. к. $E_0 = NP$ га мувофиқ келадиган қўзғатиш токи. A нуқтадан абсциссалар ўқига параллел қилиб AR чизиқни ўтказсак қуйидагини оламиз:

$$\Delta U_н = \frac{NP - NR}{NR}\,100 = \frac{E_0 - U_{1н}}{U_{1н}}\,100.$$

Мисол. Синхрон генератор учун э. ю. к. нинг амалий диаграммасини қуринг ва нагрузка камайганда кучланишнинг кўпайишини аниқланг. Генераторга оид қуйидаги маълумотлар берилган: $P_н = 500$ *квт*, $U_{1н} = 230$ *в*, $\cos\varphi_н = 0{,}8$, $r_{75} = 0{,}0015$ *ом*, $x_{c1} = 0{,}04$ *ом*, ҚТН = 1,4, салт ишлаш характеристикаси нормал (16.2- жадвал).

Ечилиши. Қисқа туташув характеристикасини қуриш учун аввало номинал нагрузка токига мувофиқ келадиган қўзғатиш токи $i_{қ.қн}$ ни аниқлаймиз. (16,13) ифодадан

$$\frac{i_{қ.қн}}{i_{қон}} = \frac{1}{ҚТН} = \frac{1}{1,4} = 0,715.$$

Сўнгра номинал токни ва кучланиш тушишини аниқлаймиз:

$$I_{1н} = \frac{P_н}{mU_{1н}\cos\varphi_н} = \frac{500 \cdot 10^3}{3 \cdot 230 \cdot 0,8} = 910\ a;$$

$$\dot{I}_{1н}r_{75} = 910 \cdot 0,0015 = 1,37\ в;$$

$$j\dot{I}_{1н}x_{с1} = 910 \cdot 0,04 = j\,36\ в.$$

Олинган қийматларни нисбий бирликларда ифодалаймиз:

$$\frac{\dot{I}_{1н}r_{75}}{\dot{U}_{1н}} = \frac{1,37}{230} = 0,006;$$

$$\frac{j\dot{I}_{1н}x_{с1}}{\dot{U}_{1н}} = j\frac{36}{230} = j\,0,156.$$

Кучланишнинг индуктив тушиши актив тушишидан $\frac{0,156}{0,006} = 26$ марта кўп бўлганлиги учун кучланишнинг актив тушиш қийматини ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Кучланиш $\dot{U}_{1н}$ билан ток $\dot{I}_{1н}$ орасидаги фазалар силжиш бурчаги

$$\varphi_н = \arccos 0,8 = 37°.$$

Юқорида кўрсатилган тартибда ясашлар қилиб, э. ю. к. нинг амалий диаграммасини оламиз (16.15-расм) ва бу диаграммадан кучланишнинг қанча ортишини аниқлаймиз:

$$\Delta U_н = \frac{NP - NR}{NR}\,100 = \frac{0,28}{1}\,100 = 28\%$$

16.7-§. Синхрон машиналардаги исрофлар ва уларнинг фойдали иш коэффициенти

Синхрон машинада энергияни ўзгартириш энергия исрофлари билан боғлиқ: бу исрофлар қуйидагича классификацияланади:

1. Механикавий исрофлар $p_{мех}$—подшипникларда ишқаланишга кетадиган исрофлар; ҳавога ёки машинани совитадиган бошқа газга, масалан, водородга ишқаланиш; чўткаларнинг контакт ҳалқаларга ишқаланиши.

2. Статор ўзагидаги магнитавий исрофлар $p_п$ — гистерезис ва уюрма токлар туфайли бўладиган исрофлардан таркиб топади.

3. Статор чулғамининг қизиши туфайли бўладиган электр исрофлари:

$$p_э = m_1 I_1^2 r_{75},$$

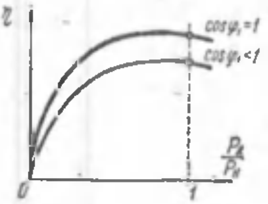
бунда r_{75} — статор чулғами фазасининг иш температураси 75°С даги актив қаршилиги;

m_1 — фазалар сони;

I_1 — статорнинг фаза токи.

4. Қўзғатишда бўладиган исрофлар $p_қ$; уларга қўзғатиш чулғамидаги исрофлар $i_қ U_қ$ дан ташқари қўзғатувчининг ўзидаги (агар у синхрон машина билан битта бирламчи двигателдан қувват олиб ишлайдиган бўлса) исрофлар ҳам киради.

5. Қўшимча исрофлар $P_қ$; буларга статорнинг ички юзасининг тишлилиги туфайли майдоннинг пульсацияланишидан роторнинг юза қатламида вужудга келадиган исрофлар, шунингдек, статорнинг сочилиш майдонлари туфайли содир бўлган исрофлар киради.



16.16- расм. Синхрон машинанинг $\eta = f(P_2)$ боғланиши.

Механикавий исрофлар, статорнинг пўлатида бўладиган магнитавий исрофлар ва қўзғатишда бўладиган исрофлар биргаликда салт ишлаш исрофларини ҳосил қилади:

$$P_0 = p_{мех} + p_п + p_к \qquad (16.15)$$

Бу исрофларнинг катталиги машинанинг нагрузкасига боғлиқ бўлмайди.

Барча исрофлар йиғиндиси:

$$\Sigma p = p_{мех} + p_п + p_э + p_қ + p_{қўш}$$

Синхрон машинанинг фойдали иш коэффициенти:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Sigma p}{P_1},$$

Бу формулани ўзгартириб, синхрон генераторнинг ф. и. к. ини ҳисоблаш учун қулай кўринишга келтириш мумкин:

$$\eta_г = 1 - \frac{\Sigma p}{P_г + \Sigma p} \qquad (16.16)$$

бунда $P_г$ — генераторнинг фойдали қуввати, *вт*;

$$P_2 = m_1 I_1 U_1 \cos\varphi_1 \qquad (16.17)$$

Синхрон двигателнинг ф. и. к. ни ушбу формуладан ҳисоблаш қулай:

$$\eta_д = 1 - \frac{\Sigma p}{P_1} \qquad (16.18)$$

бунда P_1—двигателга киришдаги қувват, *вт*;

$$P_1 = m_1 I_1 U_1 \cos\varphi_1 \qquad (16.19)$$

Синхрон машина ф. и. к. ининг келтирилган формулалари ф. и. к. нинг қиймати фақат машинанинг нагрузкаси катталигига эмас, балки қувват коэффициентининг қийматига ҳам боғлиқ эканлигини кўрсатади. Бу боғлиқлик 16.16- расмда графикавий тарзда ифодаланган.

Кичикроқ ва ўрта қувватли синхрон машиналарда (100 *ква* гача) ф. и. к. одатда, 85—90% га тенг бўлади; катта қувватли синхрон машиналарда ф. и. к. 96—99 % га етади.

XVII боб

СИНХРОН ГЕНЕРАТОРЛАРНИНГ ПАРАЛЛЕЛ ИШЛАШИ

17.1- §. Синхрон генераторларни параллел ишлашга улаш шартлари

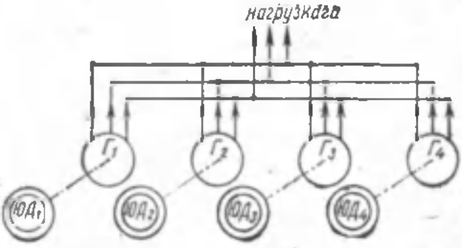
Электр станцияларда, одатда, биргаликда ишлаши учун параллел уланган бир неча синхрон генераторлар ўрнатилади (17.1-расм). Катта қувватли битта генератор ўрнига кичик қувватли бир неча генераторлар ишлатишнинг афзалликлари ҳам ўзгармас ток генераторлари (5.6- § га қаранг) ва трансформаторларни (12.3- § га қаранг) параллел ишлашга улаш темасида баён қилинган мулоҳазалар билан тушунтирилади.

Синхрон генераторни параллел ишлаш учун тармоққа улашда қуйидаги шартларга риоя қилиш зарур:

1) генераторни тармоққа улаш пайтида унинг э. ю к. и E_0 тармоқ кучланишига тенг ва фаза жиҳатдан унга қарама-қарши бўлиши керак ($\dot{E}_0 = -\dot{U}_т$);

2) генераторнинг э. ю. к. и частотаси $f_г$ тармоқнинг ўзгарувчан кучланиш частотаси $f_т$ га тенг бўлиши лозим;

3) генераторнинг чиқиш клеммаларида фазаларнинг кетма-кетлик тартиби тармоқ клеммаларидаги каби бўлиши зарур.



17.1- расм. Синхрон генераторларни параллел ишлашга улаш схемаси ($Г_1, ..., Г_4$—синхрон генераторлар; $ЮД_1, ... ЮД_4$— юритма двигателлар).

Генераторни ана шу айтиб ўтилган барча шартларни қаноатлантирадиган ҳолатга келтириш *синхронлаш* дейилади. Синхронлаш шартларининг исталган бирига риоя қилинмаса, статор чулғамида катта тенглаштирувчи токлар пайдо бўлади, уларнинг катталиги ҳаддан ташқари ортиб кетиши аварияга сабаб бўлиши мумкин.

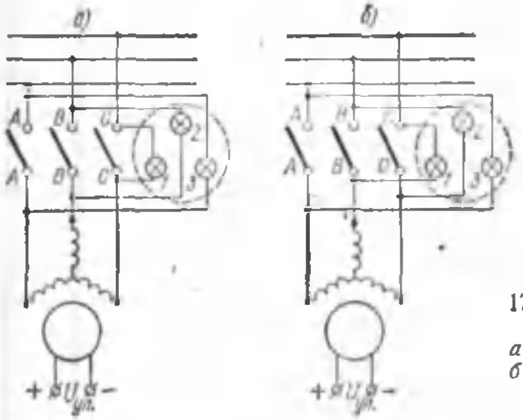
17.2- §. Генераторларни параллел ишлашга улаш усуллари

Генераторни параллел ишлайдиган генераторлар уланган тармоққа аниқ синхронлаш усули ёки ўз-ўзидан синхронланиш усули билан улаш мумкин.

Аниқ синхронлаш усули. Бу усулнинг моҳияти шундаки, генераторни тармоққа улашдан олдин у 17.1- §да айтиб

ўтилган барча талабларни қаноатлантирадиган ҳолатга келтирилади. Бу талабларга риоя қилинган момент, яъни синхронланиш моменти синхроноскоп дейиладиган асбоб билан аниқланади. *Синхроноскоплар* ўз конструкциясига кўра стрелкали ва лампали синхроноскопларга бўлинади. Генераторни лампали синхроноскоп ишлатиб синхронлаш процессини кўриб чиқамиз.

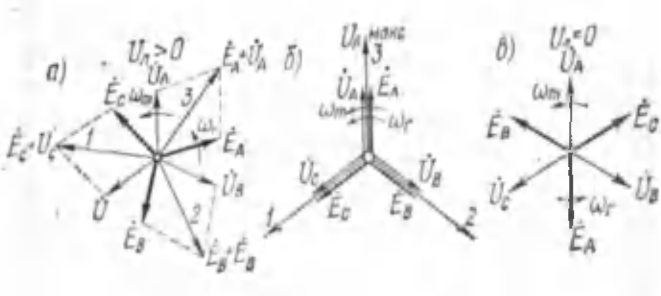
Лампали синхроноскоп тенг томонли учбурчакликнинг учларида жойлашган учта лампадан ташкил топган. Лампалар



17.2- расм. Синхроноскоп лампаларини:
а—„ўчиш" схемаси бўйича;
б—„ёруғликнинг айланиши" схемаси бўйича улаш.

„ўчиш" схемаси (17.2- расм, *а*) бўйича ёки „ёруғликнинг айланиши" (17.2- расм, *б*) схемалари бўйича уланиши мумкин.

Лампалар „ўчиш" схемаси бўйича уланганда синхронланиш моменти барча лампаларнинг бир вақтда ўчиш пайтига тўғри келади. Бу 17.3- расмда келтирилган ясашлардан кўриниб турипти. Генераторнинг э. ю. к. юлдузи $\dot{E}_A$; $\dot{E}_B$; $\dot{E}_C$ тармоқ кучланишлари юлдузи $\dot{U}_A$; $\dot{U}_B$; $\dot{U}_C$ нинг айланиш бурчак тезлиги $\omega_т$ дан катта бурчак тезлик $\omega_г$ билан айланади, деб фараз қилайлик. Бу ҳолда лампалардаги кучланиш геометрик йиғинди



17.3- расм. Кучланиш ва э. ю. к. нинг синхроноскоп лампалари „ўчиш"га улангандаги вектор диаграммалари.

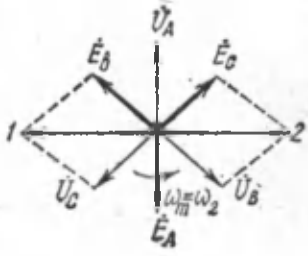
$\dot{E}_A + \dot{U}_A$; $\dot{E}_B + \dot{U}_B$; $\dot{E}_C + \dot{U}_C$ билан аниқланади (17.3-расм, *а*). Э. ю. к. лар юлдузи векторлари кучланишлар юлдузи векторларига мос тушган пайтда бу йиғиндининг қиймати энг катта бўлади (17.3- расм, *б*), бунда лампалар тўла чўғланиб ёнади. Шундан кейинги моментларда э. ю. к. лар юлдузи кучланишлар юлдузидан олдинга ўтиб кетади ва лампалардаги кучланиш камаяди. Синхронланиш моментида э. ю. к. лар ва кучланишлар векторлари

$$\dot{E}_A + \dot{U}_A = 0;\ \dot{E}_B + \dot{U}_B = 0;\ \dot{E}_C + \dot{U}_C = 0$$

бўладиган ҳолатни эгаллайди ва учта лампанинг ҳаммаси бир вақтда ўчади (17.3-расм, *в*). Бурчак тезликлари (частоталари) $\omega_г$ ва $\omega_т$ нинг фарқи катта бўлганда лампалар тез-тез ёниб-ўчиб туради.

Бирламчи двигателнинг айланиш тезлигини ўзгартириб $\omega_г = \omega_т$ тенгликка эришилади, лампаларнинг узоқ вақт ўчиб туриши шундан далолат беради. Ана шу пайтда рубильникни улаш лозим, шундан кейин генератор тармоққа уланган бўлиб қолади.

Синхроноскоп лампалари „ёруғликнинг айланиши“ схемаси бўйича уланганда $\omega_г$ ва $\omega_т$ частоталар бир-биридан фарқ қилса, лампалар айлана бўйлаб навбатма-навбат ёнади ва „ёруғликнинг айланиши“ эффектини ҳосил қилади. Шу билан бирга, агар $\omega_г > \omega_т$ бўлса, „ёруғликнинг айланиши“ бир томонга $\omega_г < \omega_т$ да эса бошқа томонга бўлади.



17.4- расм. Синхроноскоп лампаларини „ёруғликнинг“ айланиши“ схемаси бўйича уланганда синхронизация пайтидаги вектор диаграмма.

Синхронланиш моментига иккита лампанинг бир хил равшанликда ёниб, *А* фазанинг узилишига уланган лампа *3* нинг (17.4- расм) ўчиши мувофиқ келади. Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, агар генератор фазаларининг кетма-кетлик тартиби тармоқ фазаларининг кетма-кетлик тартибидан фарқ қилса (масалан, тармоқда *А — В — С*, генераторда эса *С — А—В*), у ҳолда синхроноскопнинг „ўчиш“ схемаси бўйича уланган лампалари „ёруғликнинг айланиши“ схемасида улангандаги каби бўлади. Фазаларнинг талаб қилинадиган кетма-кетлик тартибини ҳосил қилиш учун генератор клеммаларида исталган икки фазанинг жойини алмаштириш керак. Электр станцияларда аниқ синхронлаш процесси, одатда, автоматлаштирилади.

Ў з-ў з и д а н с и н х р о н л а н и ш у с у л и. Қўзғатилмаган генераторнинг ротори бирламчи двигатель билан синхрон тезликдан кўпи билан 2—5% фарқ қиладиган тезликкача айлантирилади, шундан кейин генератор тармоққа уланади. Генераторни тармоққа улаш пайтида ротор чулғамида кучланиш ҳаддан

ташқари ортиб кетмасин учун чулғам маълум қаршилик билан туташтирилади. Генератор тармоққа уланган заҳоти қўзғатиш чулғами қўзғатувчининг клеммаларига уланади ва генератор синхрон ишлай бошлайди. Генератор тармоққа уланган пайтда унинг э. ю. к. и нолга тенг бўлгани сабабли (генератор қўзғатилмаган), тармоқ кучланишининг таъсири остида статор чулғамида ток бирдан кўпайиб, генератор токининг номинал қийматидан ортиб кетади. Шу билан бир вақтда ротор валида механикавий кучлар пайдо бўлади. Лекин тажрибанинг кўрсатишича, улар генератор учун хавфли эмас. Генератор уланган пайтдан 1—7 секунд ўтгач, статор чулғамида ток номинал қийматигача камаяди.

Ўз-ўзидан синхронланиш (дағал синхронлаш) тез-тез узиб-улаб туриладиган шароитда жуда қулай, чунки оз вақт талаб қилади ва осон автоматлаштирилади.

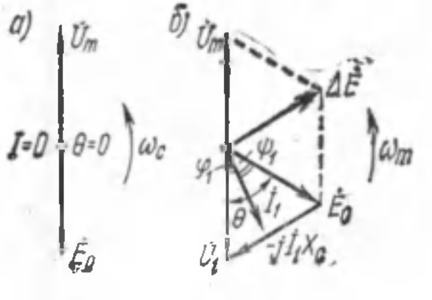
17.3- §. Параллел ишлашга уланган генераторнинг нагрузкаси

Одатда, битта тармоқда бир неча синхрон генераторлар биргаликда ишлайди ва улардан ҳар бирининг қуввати қолган барча генераторларнинг йиғинди қувватидан анча кам бўлади.

Синхрон генератор бошқа генераторлар билан параллел ишлашга уланади, бу генераторларнинг йиғинди қуввати уланадиган генераторнинг қувватига нисбатан шунчалик каттаки, унинг параметрлари ҳар қандай ўзгарганида ҳам тармоқ кучланиши $U_т$ ва унинг частотаси $f_т$ ўзгармасдан қолади, деб ҳисоблаймиз.

Генератор тармоққа уланганидан кейин, синхронлашнинг барча шартларига риоя қилинганида унинг э. ю. к и E_0 тармоқ кучланишига катталиги жиҳатдан тенг, йўналиши жиҳатдан қарама-қарши бўлади (17.5- расм, *а*), шунинг учун генератор занжирида ток нолга тенг, яъни генератор нагрузкасиз ишлайди. Бу ҳолда бирламчи двигателнинг механикавий қуввати P_1 батамом салт ишлаш исрофларини қоплашга сарфланади (16.15):

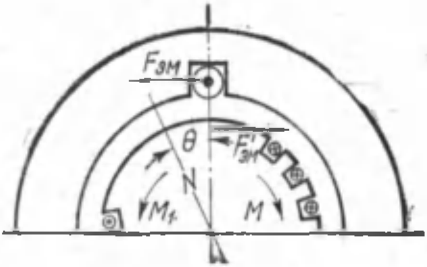
$$P_1 = p_{мех} + p_п + p_қ = P_0.$$



17.5- расм. Параллел ишлаётган генераторнинг вектор диаграммалари:
а — нагрузкасиз ишлаганда; *б* — нагрузка билан ишлаганда.

Агар бирламчи двигателнинг айлантирувчи моменти катталаштирилса, у ҳолда машинанинг ротори қисман тезланиш олиб ўзининг дастлабки ҳолатига нисбатан айланиш томонига θ бурчакка силжийди. Генераторнинг э. ю. к. $\dot{E}_0$ вектори ҳам ўзининг дастлабки ҳолатига нисбатан худди ана шундай θ бурчакка силжиган бўлади. Э. ю. к. $\dot{E}_0$ билан кучланиш $\dot{U}_т$ нинг геометрик йиғиндисига тенг бўлган умумий э. ю. к. $\Delta\dot{E}$ таъсирида генератор занжирида ток $\dot{I}_1$ пайдо бўлади (17.5-расм, *б*).

Статор чулғами актив қаршилигининг қиймати кичик бўлганлигидан уни эътиборга олмай, статор чулғамида фақат индуктив қаршилик бор ва ток $\dot{I}_1$ фаза жиҳатдан э. ю. к. $\Delta\dot{E}$ дан



17.6- расм. Синхрон генераторнинг электромагнитавий моменти тушунчасига доир.

$90°$ орқада қолади, деб ҳисоблаймиз. Бундай шароитда генератор тармоққа актив қувват $P_2 = m_1 U_1 I_1 \cos\varphi_1$ беради, тармоқ кучланиши $\dot{U}_т$ эса генераторнинг кучланиши $\dot{U}_1$ билан мувозанатлашади.

Статор чулғамининг ўтказгичларидаги ток роторнинг магнитавий оқими билан ўзаро таъсир этади. Бу ўзаро таъсир натижасида статор чулғамининг ҳар қайси ўтказгичига $F_{эм}$ куч таъсир этди, бу куч ротор қутбларида катталиги жиҳатдан шунга тенг, йўналиши жиҳатдан қарама-қарши $F'_{эм}$ кучни ҳосил қилади (17.6- расм) $F_{эм} = (-F'_{эм})$.

Статор чулғамининг барча ўтказгичларидан тўпланган $F'_{эм}$ кучлар йиғиндиси роторда электромагнитавий момент M ҳосил қилади, у роторнинг айланишига тескари, яъни бирламчи двигателнинг айлантирувчи моменти M_1 га тескари йўналган бўлади.

Шундай қилиб, статор занжирида ток I_1 пайдо бўлиши билан генераторда электр нагрузка, бирламчи двигателда эса механикавий нагрузка ҳосил бўлади. Энди бирламчи двигателнинг механикавий қуввати P_1 қисман генераторнинг салт ишлаш исрофларини қоплашга сарфланади, бир қисми эса генераторнинг электромагнитавий қуввати $P_{эм}$ га айланади, бу қувват статор занжиридаги актив қувватдир:

$$P_1 = P_0 + P_{эм},$$

бунда $P_{эм}$ — генераторнинг электромагнитавий қуввати.

Демак, синхрон генератор параллел ишлаганда унинг чиқиш клеммасидаги қувват $P_г$ (актив нагрузка) бирламчи двигателнинг айлантирувчи моментини ўзгартириш йўли билан ростланади, чунки

$$P_г = P_{эм} - m_1 I_1^2 r_1.$$

17.4-§. Асинхрон генераторнинг бурчак характеристикалари

Аёнмас қутбли синхрон генераторнинг параллел ишлагандаги электромагнитавий қуввати

$$P_{эм} = \frac{m_1 U_1 E_0}{x_c} \sin\theta; \qquad (17.1)$$

бунда θ — ротор билан статор м. к. векторлари орасидаги бурчак.

Нагрузкасиз ишлаганда шу м. к. векторлари бир хил (синхрон) тезлик билан айланиб, йўналиши бир-бирига мос тушади. Лекин генераторда нагрузка пайдо бўлиши билан, яъни роторда электромагнитавий момент вужудга келиши билан роторнинг м. к. вектори аввалги тезлик билан айланишда давом этиб, айланиш йўналишида статорнинг м. к. векторига нисбатан θ бурчакка силжийди (17.3-§ га қаранг).

Агар статор чулғамидаги электр исрофлар қуввати эътиборга олинмаса, яъни $r_1 = 0$ деб қабул қилинса, у ҳолда генераторнинг чиқиш клеммасидаги актив қувватни электромагнитавий қувватга тенглаштириш ва P_2 нинг қийматини аниқлашда (17.1) ифодадан фойдаланиш мумкин:

$$P_2 \approx P_{эм} = \frac{m_1 U_1 E_0}{x_c} \sin\theta.$$

Бу айтилганлар аён қутбли синхрон машинага ҳам тааллуқлидир:

$$P_2 \approx P_{эм} = \frac{m_1 U_1 E_0}{x_d} \sin\theta + \frac{m_1 U_1^2}{2}\left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d}\right)\sin 2\theta, \qquad (17.2)$$

бунда $x_q = x_{aq} + x_{c1}$ — аён қутбли машинанинг кўндаланг ўқ бўйича синхрон индуктив қаршилиги;

$x_d = x_{ad} + x_{c1}$ — аён қутбли машинанинг бўйлама ўқ бўйича синхрон индуктив қаршилиги.

(17.1) ва (17.2) ифодаларни синхрон бурчак тезлик $\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60}$ га бўлиб электромагнитавий моментлар ифодаларини ҳосил қиламиз:

аёнмас қутбли синхрон машина учун

$$M = \frac{P_{эм}}{\omega_1} = \frac{m_1 U_1 E_0}{\omega_1 x_c} \sin\theta; \qquad (17.3)$$

аён қутбли синхрон машина учун

$$M = \frac{P_{\text{эм}}}{\omega_1} = \frac{m_1 U_1 E_0}{\omega_1 x_d} \sin\theta + \frac{m_1 U_1^2}{2\omega_1}\left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d}\right)\sin 2\theta, \qquad (17.4)$$

бунда M — электромагнитавий момент, *н.м.*

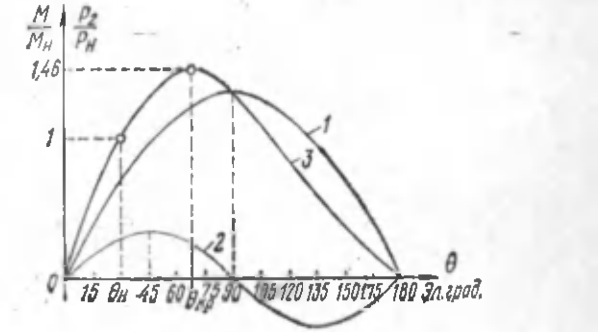
(17.4) ифодани анализ қилиш шуни кўрсатадики, аён қутбли синхрон машина электромагнитавий моментининг иккита ташкил этувчиси бўлади: улардан бири $M_{\text{асос}}$ электромагнитавий моментнинг асосий ташкил этувчиси

$$M_{\text{асос}} = \frac{m_1 U_1 E_0}{\omega_1 x_d} \sin\theta, \qquad (17.5)$$

иккинчиси эса моментнинг реактив ташкил этувчисидир:

$$M_{\text{р}} = \frac{m_1 U_1^2}{2\omega_1}\left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d}\right)\sin 2\theta. \qquad (17.6)$$

Аён қутбли синхрон машина моментининг асосий ташкил этувчиси $M_{\text{асос}}$ тармоқ кучланиши U_1 билан э. ю. к. E_0 га, яъни машинанинг қўзғалишига боғлиқ. Реактив ташкил этувчи $M_{\text{р}}$ машинанинг қўзғалишига боғлиқ эмас ва қўзғалмаган машина ($E_0=0$) да ҳам таъсир этаверади. Реактив моментнинг физикавий моҳияти 18.6- § да мукаммалроқ баён қилинади.



17.7- расм. Синхрон генераторнинг электромагнитавий моменти ва актив қувватининг бурчак характеристикаси.

Синхрон генераторга тушадиган нагрузка кўпайганда, яъни ток I_1 ортиши билан роторнинг м. к. вектори билан статорнинг м. к. вектори орасидаги номувофиқлашиш бурчаги θ катталашади. Бу бурчак катталашуви билан генераторнинг чиқиш клеммасидаги актив қуввати ҳам, унинг электромагнитавий моменти ҳам ўзгаради. Бу катталикларнинг бурчак θ га боғлиқлиги *синхрон машинанинг бурчак характеристикалари* билан ифодаланади.

Аён қутбли синхрон машина қуввати $P_2 = f(\theta)$ нинг ва моменти $M = f(\theta)$ нинг бурчак характеристикаларини кўриб чиқамиз (17.7- расм).

Айтилган характеристикалар $U_1 = \text{const}$ ва $E_0 = \text{const}$ шарт бажариладиган ҳол учун ясалган. (17.3) ва (17.4) ифодалардан кўриниб турибдики, моментнинг асосий ташкил этувчиси ва электромагнитавий қувватнинг унга мувофиқ келадиган ташкил этувчиси бурчак θ нинг синусига пропорционал равишда ўзгаради (1-эгри чизиқ); моментнинг реактив ташкил этувчиси ва электромагнитавий қувватнинг унга мувофиқ келадиган ташкил этувчиси эса бурчак 2θ нинг синусига пропорционал равишда ўзгаради (*2*-эгри чизиқ). Момент M билан қувват P_2 нинг боғлиқлик графиги (*3*-эгри чизиқ) *2*-эгри чизиқни *1* эгри чизиқ устига қўйиш ва момент ҳамда қувватлар қийматларини ординаталар бўйича қўшиш натижасида олинади.

Бурчак характеристикасидан (*3*-эгри чизиқ) кўриниб турибдики, синхрон машина нагрузкасининг қиймати бурчак $\theta \leqslant \theta_{кр}$ бўладиган даражагача оширилганда синхрон машина барқарор ишлайди, чунки нагрузка ортиши (бурчак θ катталашуви) билан электромагнитавий момент катталашади.

Бу ҳолда ҳар қандай барқарор нагрузкага бирламчи двигателнинг айлантирувчи моменти M билан қарши таъсир этадиган моментлар йиғиндисининг ўзаро тенглиги мувофиқ келади:

$$M_1 = M + M_0,$$

бунда M_0 — синхрон машинанинг салт ишлаш моменти.

Натижада роторнинг айланиш тезлиги синхрон тезликка тенг, ўзгармас бўлиб қолади.

Бурчак $\theta > \theta_{кр}$ га мувофиқ келадиган нагрузкада электромагнитавий момент M камаяди, бу ҳол моментлар тенглигининг бузилишига олиб келади. Бунда бирламчи двигатель айлантирувчи моментининг ортиқча (мувозанатлашмаган) қисми роторнинг айланиш тезлигини оширади, натижада синхронланиш шарти бузилади (машина синхронизмдан чиқиб кетади). Бурчакнинг критик қиймати ($\theta_{кр}$) га мувофиқ келадиган электромагнитавий момент максимал момент $M_{макс}$ бўлади.

Аён қутбли синхрон машиналар учун $\theta_{кр} = (60 - 80)$ эл. градусга тенг.

Бурчак $\theta_{кр}$ ни ушбу формула билан аниқлаш мумкин:

$$\cos\theta_{кр} = \sqrt{\beta^2 + 0{,}5} - \beta. \tag{17.7}$$

Бунда β қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$\beta = \frac{E_0}{4U_1\left(\frac{x_d}{x_q} - 1\right)}. \tag{17.8}$$

Аёнмас қутбли синхрон машиналарда бурчак характеристикаси синусоида бўлади, шунинг учун бурчак катталиги $\theta_{кр} = 90^0$.

Максимал электромагнитавий момент $M_{макс}$ нинг номинал момент $M_н$ га нисбатан ***синхрон машинанинг ўта юкланиш қобилияти*** дейилади:

$$\frac{M_{макс}}{M_н} 1,4 - 3.$$

Мисол. Кучланиши $U_1 = \frac{6300}{3}$ *в* бўлган тармоқ билан параллел ишлашга уланган уч фазали аён қутбли синхрон генераторнинг зарурий маълумотларини ҳисобланг ва бурчак характеристикалари $P_2 = f(\theta)$ ва $M = f(\theta)$ ни қуринг.

Генераторга оид маълумотлар қуйидагича:

номинал қуввати $P_н = 400$ *квт*;

статорнинг номинал токи $I_{1н} = 46$ *а*;

ток частотаси $f_1 = 50$ *гц*;

айланиш тезлиги $n_1 = 750$ *айл/минут*.

Номинал кучланиш $U_{1н} = \frac{6300}{\sqrt{3}}$ га мувофиқ келадиган салт ишлаш токи:

салт ишлаш режимида $i_{к.он} - 77$ *а*;

номинал нагрузкада $i_{кн} = 155$ *а*.

Статор чулғамининг параметрлари:

кўндаланг ўқ бўйича синхрон индуктив қаршилиги:

$$x_q = 60 \text{ ом};$$

бўйлама ўқ бўйича синхрон индуктив қаршилиги:

$$x_d = 100 \text{ ом}$$

Фазадаги кетма-кет уланган ўрамлар сони $w_1 = 310$.

Чулғам коэффициенти $K_1 = 0,902$.

Ечилиши. (17.5) ифодадан электромагнитавий момент асосий ташкил этувчисининг максимал қийматини аниқлаймиз. Олдин қўзғатиш токининг нисбий қиймати $\frac{i_{кн}}{i_{кон}} = \frac{155}{77} = 2,01$ ва салт ишлашнинг нормал характеристикаси асосида (16.9- расмга қаранг) генераторнинг қўзғатиш токи $i_{кн}$ га тўғри келадиган салт ишлаш режимидаги э. ю. к. E_0 ини аниқлаймиз:

$$E_0 = 1,33\, U_{1н} = 1,33 \frac{6300}{3} = 4850 \text{ в}.$$

Бурчак тезлиги $\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60} = \frac{2\pi\, 750}{60} = 78,5$ *1/секунд*.

Электромагнитавий моментнинг номинал қиймати

$$M_н = \frac{P_н}{\omega_1} = \frac{400 \cdot 10^3}{78,5} = 5100_{н.м.}$$

$\theta = 90^\circ$ деб қабул қилиб, электромагнитавий момент асосий ташкил этувчисининг максимал қийматини аниқлаймиз:

$$M_{асос.макс} = \frac{3 \cdot \frac{6300}{\sqrt{3}} 4850}{78,5 \cdot 100} = 6740 \text{ н.м}$$

ёки нисбий бирликларда

$$\frac{M_{асос.макс}}{M_н} = \frac{6740}{5100} = 1,32.$$

Бурчак θ га бир қатор қийматлар бериб, $M_{асос}$ нинг нисбий бирликлардаги тегишли қийматларини аниқлаймиз:

$$\frac{M_{асос}}{M_н} = \frac{M_{асос.макс}}{M_н} \sin \theta = 1,32 \sin \theta.$$

Ҳисоблаш натижалари 17.1- жадвал тарзида берилган.

17.1- жадвал

(θ град)	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	166	180
$M_{асос}/M_н$	0,34	0,66	0,93	1,14	1,27	1,32	1,27	1,14	0,93	0,6	0,34	0

Жадвал маълумотлари асосида график $\frac{M_{асос}}{M_н} = f(\theta)$ қурамиз (17.7- расм, *1*- эгри чизиқ).

(17.6) формулага $\theta = 45°$ ни қўйиб, момент реактив ташкил этувчисининг максимал қийматини аниқлаймиз:

$$M_{р.макс} = \frac{3\left(\frac{6300}{\sqrt{3}}\right)^2}{2 \cdot 78,5}\left(\frac{1}{60} - \frac{1}{100}\right) = 1710 \text{ н. м.}$$

ёки нисбий бирликларда

$$\frac{M_{р.\ макс}}{M_н} = \frac{1710}{5100} = 0,33.$$

Электромагнитавий момент реактив ташкил этувчисининг қийматларини нисбий бирликларда ҳисоблаб топамиз:

$$\frac{M_р}{M_н} = \frac{M_{р.макс}}{M_н} \sin 2\theta = 0,33 \sin 2\theta.$$

Ҳисоблаш натижалари 17.2- жадвалда келтирилган.

17.2- жадвал

θ (град)	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
$M_р/M_н$	0,17	0,29	0,33	0,29	0,17	0	– 0,17	– 0,29	– 0,33	– 0,29	– 0,17	0

Жадвал маълумотлари асосида график $\frac{M_р}{M_н} = f(\theta)$ қурамиз (*2*- эгри чизиқ).

(17.7) ва (17.8) формулаларга кўра бурчакнинг критик қиймати $\theta_{кр}$ ни аниқлаймиз:

$$\beta = \frac{4850}{4\frac{6300}{\sqrt{3}}\left(\frac{100}{60}-1\right)} = 0{,}505,$$

$$\cos\theta_{кр} = \sqrt{0{,}505^2 - 0{,}5} - 0{,}505 = 0{,}381,$$

бундан $\theta_{кр} = 67{,}5^0$.

Электромагнитавий моментнинг максимал қиймати

$$M_{макс} = M_{асос.макс}\sin\theta_{кр} + M_{р.макс}\sin 2\theta_{кр} = 6740\sin 67{,}5^\circ + $$
$$+ 1710\sin 2\cdot 67{,}5^\circ = 6230 + 1210 = 7440\ н.\ м.$$

Генераторнинг ўта юкланиш қобилияти

$$\frac{M_{макс}}{M_н} = \frac{7440}{5100} = 1{,}46.$$

Электромагнитавий моментнинг ташкил этувчиларига оид жадвалларда берилган маълумотлардан фойдаланиб, қуйидагини аниқлаймиз:

$$\frac{M}{M_н} = \frac{M_{асос}}{M_н} + \frac{M_р}{M_н}.$$

Ҳисоблаш натижалари 17. 3-жадвалда келтирилган.

17.3-жадвал

θ (град)	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
$M/M_н$	0,51	0,95	1,26	1,43	1,44	1,32	110	085	0,60	0,37	0,17	0

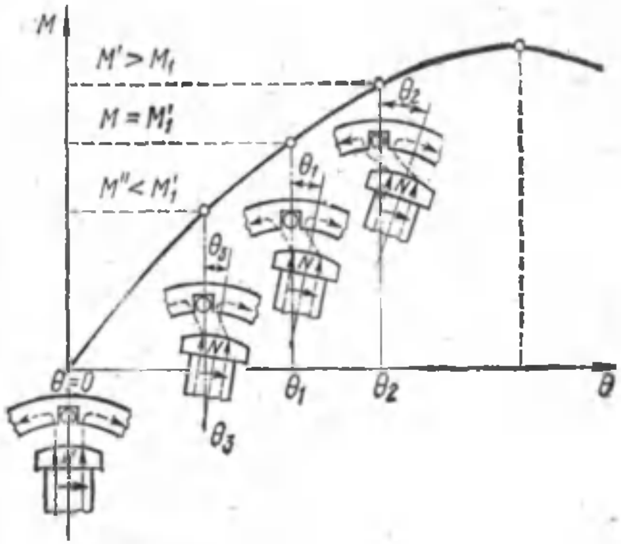
Жадвалда берилган маълумотлар асосида график $\frac{M}{M_н} = f(\theta)$ ни қурамиз (*3-эгри чизиқ*). *Шу графикнинг ўзи генераторнинг чиқиш клеммасидаги* актив қувватнинг θ бурчакка боғлиқлигини ифодалайди:

$$\frac{P_2}{P_н} = f(\theta).$$

17.5-§. Синхрон генераторларнинг тебранишлари

Синхрон генераторнинг ротори бирламчи двигателнинг унга таъсир эттирилган айлантирувчи менти билан ҳаракатланади, бу момент генераторнинг электромагнитавий моменти билан мувозанатлашади. Шуни эслатиб ўтамизки, электромагнитавий момент M катталиги θ бурчакнинг қийматига, яъни ротор м. к. векторининг (ротор қутблари ўқининг) генератор нагрузкасиз ишлагандаги ўз ҳолатига, бошқача айтганда, статор чулғамининг м. к. векторига нисбатан силжиш бурчагига боғлиқдир.

Тармоққа уланган синхрон генератор нагрузкасиз ишлайди, деб фараз қилайлик. Генераторга нагрузка бериш учун бирламчи двигателнинг айлантирувчи моменти M_1 ротор қутблари ўқларининг θ_1 бурчакка бурилишига ва электромагнитавий момент $M = M_1$ бўлишига мос келадиган M_1 қийматгача оширилади (17.8-расм). Лекин синхрон машина билан бирламчи двигателнинг айланувчи массаларининг инерцияси таъсирида



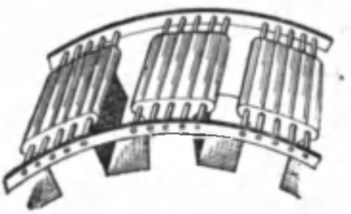
17.8-расм. Синхрон машинанинг тебранишлари ҳақидаги тушунчага доир.

ротор $\theta_2 > \theta_1$ бурчакка бурилади, бунда генераторнинг электромагнитавий моменти $M' > M'_1$ қийматга етади. Моментларнинг мувозанати бузилиши натижасида ротор θ бурчакнинг камайиш йўналишида бурила бошлайди, лекин бу ҳолда ҳам инерция кучлари роторнинг θ_1 бурчакка мувофиқ келадиган ҳолатда тўхташига халақит беради ва уни шундай ҳолатга ўтказадики, бунда θ_3 бурчакнинг бу ҳолатга тегишли қийматида генераторнинг электромагнитавий моменти M'' айлантирувчи момент M'_1 дан кичик бўлиб қолади. Шунинг учун ротор θ_3 ҳолатда тўхтамайди, балки θ бурчакнинг катталашиш йўналишида бурилади.

Шундай қилиб, синхрон генераторнинг ротори айлантирувчи ва электромагнитавий моментларнинг мувозанатлашувига мос келадиган ўртача ҳолати θ_1 атрофида тебранма ҳаракат қилади. Агар ротор тебранганида энергия исроф бўлмаганда эди, тебранишлар чексиз давом этган, яъни сўнмайдиган бўларди. Лекин реал шароитларда роторнинг тебранишида энергия исрофлари бўлади, улардан энг катта қийматга эга бўлгани

ротор ўзагида уюрма токлар вужудга келиши билан боғлиқ бўлган магнитавий исрофлардир. Буни шундай тушунтириш мумкинки, тебранишлар бўлмаганида роторнинг айланиш тезлиги ўзгармас ва статор майдонининг айланиш тезлигига тенг бўлади. Лекин ротор тебрана бошлаганда унинг айланиш тезлиги нотекис бўлиб қолади, яъни у статорнинг магнитавий майдонига нисбатан ҳаракат қилади, натижада ротор ўзагида уюрма токлар вужудга келади. Бу токларнинг статорнинг магнитавий майдони билан ўзаро таъсири роторга „тинчлантирувчи" таъсир кўрсатиб, унинг тебранишини камайтиради.

Демак, роторнинг тебраниши сўнувчи характерда бўлади, шунинг учун маълум вақт ўтгач, ротор θ_1 бурчакка мувофиқ келадиган ҳолатни эгаллайди, бунда моментлар мувозанатлашади. Бирламчи двигатель айлантирувчи моменти катталигининг ўзгариши ёки генератор нагрузкасининг ўзгариши роторнинг тебранишига сабаб бўлиши мумкин. Роторнинг ана шу сабабларга кўра тебраниши унинг *хусусий тебраниши* дейилади.



17.9- расм. Тинчлантирувчи (демфер) чулғам.

Бундан ташқари, масалан, поршенли двигателлардан (дизеллар, газ двигателлари) ҳаракатга келадиган генераторларда роторнинг нотекис айланиши туфайли содир бўладиган *мажбурий* тебранишлар ҳам бўлиши мумкин. Энг хавфли ҳол хусусий тебранишлар частотасининг мажбурий тебранишлар частотаси билан мос келишидир (тебранишлар резонанси). Бунда тебранишлар бирданига кучайиб кетади ва генераторларнинг параллел ишлаши мумкин бўлмай қолади.

Роторнинг металл қисмларидаги энергия исрофлари машинанинг ҳаракатланувчи қисмига тормозловчи таъсир этади ва унинг тебранишларини камайтиради. Лекин тебранишларни анча камайтириш учун синхрон машинада тинчлантирувчи (демпфер) чулғам ишлатилади. Аён қутбли машиналарда тинчлантирувчи чулғам қутб учликларининг пазларига жойлаштирилган ва торец томонларидан пластинкалар билан уланган стерженлар кўринишида ясалади (17.9- расм).

Аёнмас қутбли машиналарда тебранишлар фақат ротор ўзагида вужудга келадиган уюрма токлар таъсиридагина йўқотилади.

Ниҳоят, шуни таъкидлаб ўтиш керакки, синхрон генераторларнинг тебранишлари ҳақида бу ерда баён қилинган фикрлар синхрон двигателларга ҳам тўла тааллуқлидир.

17.6-§. Синхрон машиналарнинг синхронлаш қобилияти

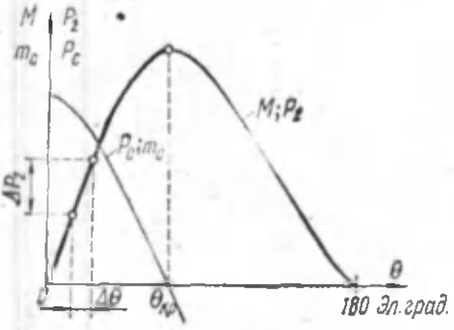
Олдинги параграфларда кўриб чиқилганлардан шундай хулоса келиб чиқади: бир неча синхрон генератор параллел ишлаганида уларнинг ҳар бирида маълум куч пайдо бўлиб, бу

куч генераторни турғун иш ҳолатида тутиб туради, яъни шу генераторнинг синхронизмдан чиқиб кетишининг олдини олади.

Бошқача айтганда, параллел ишлашга уланган синхрон генератор ***синхронлаш қобилиятига*** эга бўлади.

Синхрон генераторлар синхронлаш қобилиятининг физикавий маъноси қуйидагидан иборат.

Синхрон генераторнинг ишлаши жараёнида унда иккита айланувчан магнитавий майдон: статор майдони билан ротор



17.10- расм. Синхрон машинанинг синхронлаш қобилияти ҳақидаги тушунчага доир.

майдони таъсир этади. Иккала майдон ҳам синхрон тезлик билан айланади ва машинада умумий (якуний) айланувчан магнитавий майдон ҳосил қилади. Параллел ишлашга уланган барча генераторлар статорларининг чулғамлари ўзаро электр жиҳатдан боғланганлиги сабабли барча генераторларнинг синхрон тезлик билан айланадиган умумий магнитавий майдонлари ҳам ўзаро боғланган бўлади:

$$n_1 = \frac{f_1 60}{p}.$$

Машинанинг умумий магнитавий майдони ротор ўзаги орқали туташади. Шунинг учун параллел ишлайдиган машиналар статорларининг чулғамлари орасидаги электр жиҳатдан боғланиш пировард оқибатда шу машиналар роторларининг магнитавий боғланишига айланиб кетади. Роторларнинг магнитавий боғланиши эластик механикавий боғланишга ўхшайди ва роторларнинг синхрон тезлик билан айланишда давом этиб бир-бирига нисбатан θ бурчакнинг $0 < \theta < 90$ эл. градус чегарада силжишига имкон беради. Параллел ишлаётган машиналардан бирининг ротори кўрсатилган чегарадан чиқувчи θ бурчакка силжигандагина шу машина роторининг бошқа машиналарнинг роторлари билан боғланиши бузилади ва машина синхронизмдан чиқади.

Синхрон машинанинг синхронлаш қобилиятини миқдорий жиҳатдан баҳолаш учун *солиштирма синхронловчи қувват* p_c *ва солиштирма синхронловчи момент* m_c тушунчалари киритилади. Солиштирма синхронловчи қувват қувват кўпа-

йиши $\Delta P_г$ нинг тегишлича бурчак катталашуви $\Delta\theta$ га нисбати билан аниқланади (17.10- расм):

$$p_с = \frac{\Delta P_г}{\Delta\theta}$$

ёки

$$p_с = \frac{dP_г}{d\theta}. \qquad (17.9)$$

Солиштирма синхронловчи момент

$$m_с = \frac{dM}{d\theta}. \qquad (17.10)$$

Бурчак характеристикасининг бурчакнинг ўзгариши $\Delta\theta$ га мувофиқ келадиган қисмида кўтарилиш қанчалик тик бўлса, $p_с$ ва $m_с$ қийматлар ҳам шунчалик катта бўлади. Бурчак характеристикасининг турғунмас соҳасида $p_с$ ва $m_с$ катталиклар манфий бўлади.

Шунинг учун синхрон машинанинг турғун ишлаш шартларини қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$p_с > 0 \text{ ёки } m_с > 0.$$

Синхрон генераторнинг нагрузкаси ўзгарганида бирламчи двигателнинг қуввати билан генераторнинг қуввати орасидаги тенглик бузилади. Бунда вужудга келадиган қувватлар нобаланслиги ΔP *синхронловчи қувват* бўлади:

$$\Delta P = p_с\Delta\theta.$$

Синхронловчи қувватга синхронловчи момент ΔM мос келади:

$$\Delta M = \frac{\Delta P}{\omega_1} = m_с\Delta\theta.$$

Бу момент генераторнинг электромагнитавий моменти билан бирламчи двигателнинг айлантирувчи моменти орасидаги фарққа *боғлиқ бўлиб*, генератор роторига машинанинг синхронизмдан чиқиб кетишининг олдини олувчи таъсир кўрсатади.

(17.1), (17.2), (17.3) ва (17.4) ифодалардан фойдаланиб, солиштирма синхронловчи қувват билан солиштирма синхронловчи моментнинг формулаларини ҳосил қиламиз:

аёнмас қутбли синхрон машина учун

$$p_с = \frac{dP_г}{d\theta} = \frac{m_1U_1E_0}{x_с}\cos\theta$$

аён қутбли машина учун

$$m_с = \frac{dM}{d\theta} = \frac{m_1U_1E_0}{\omega_1 x_с}\cos\theta$$

$$p_с = \frac{dP_г}{d\theta} = \frac{m_1U_1E_0}{xd}\cos\theta + m_1U_1^2\left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d}\right)\cos 2\theta$$

$$m_с = \frac{dM}{d\theta} = \frac{m_1U_1E_0}{\omega_1 x_d}\cos\theta + \frac{m_1U_1^2}{\omega_1}\left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{xd}\right)\cos 2\theta.$$

Олинган ифодалар асосида $p_c = f(\theta)$ ва $m_c = f(\theta)$ боғланишлар графигини қуриш мумкин.

Бу графикдан (17.10- расм) кўриниб турибдики, синхрон машинанинг синхронлаш қобилияти $\theta = 0$ да энг катта бўлади. θ нинг ортиши билан машинанинг синхронлаш қобилияти пасаяди ва $\theta = \theta_{кр}$ бўлганда бутунлай йўқолади ($p_c = 0$; $m_c = 0$).

Фақат синхрон генераторларнинг эмас, балки синхрон двигателларнинг ҳам синхронлаш қобилияти бўлади.

17.7-§. Синхрон генераторнинг U- симон эгри чизиқлари

Илгари биз қўзғатиш токи ўзгармас булганда синхрон генераторнинг параллел ишлашини кўриб чиққан эдик. Агар синхрон генератор параллел ишлаши учун тармоққа улангандан кейин унинг қўзғатиш чулғамидаги токни ўзгартириб, бирламчи двигателнинг айлантирувчи моменти ўзгармас ҳолда қолдирилса, синхрон генераторда нима содир бўлади? Генератор тармоққа улангандан кейин нагрузкасиз ишлайди ва унинг э. ю. к. и E_0 тармоқ кучланиши $U_т$ ни мувозанатлайди, деб фараз қилайлик. Агар бунда қўзғатиш чулғамидаги ток оширилса, яъни машина *ўта қўзғатилса*, у ҳолда э. ю. к. E_0 нинг қиймати E_0' гача кўпаяди ва генератор занжирида ортиқча э. ю. к. $\Delta\dot{E} = \dot{E}_0 - \dot{U}_т$ пайдо бўлади 17.11- расм, *а*); унинг вектори йўналиши жиҳатдан э. ю. к $\dot{E}_0$ векторига мос келади. Э. ю. к. $\Delta\dot{E}$ вужудга келтирган ток $\dot{I}_1$ ундан фаза бўйича 90° га орқада қолади (чунки $r_1 \approx 0$). Э. ю. к. $\dot{E}$ га нисбатан ҳам бу ток орқада қолади (индуктив бўлади). Ўта қўзғалиш ортиши билан реактив ток қиймати ҳам катталашади.

Агар генератор тармоққа улангандан кейин қўзғатиш токи камайтирилса, яъни машина чала қўзғатилса, у ҳолда э. ю. к. E_0 нинг қиймати E_0'' гача камаяди ва генератор занжирида яна ортиқча э. ю. к. $\Delta\dot{E} = \dot{U}_т - \dot{E}_0''$ таъсир қилади. Энди бу э. ю. к. вектори йўналиши жиҳатдан тармоқ кучланишининг вектори $\dot{U}_т$ га мос келади (17.11- расм, *б*); шу сабабли бу э. ю. к. вужудга келтирган ва ундан фаза бўйича 90° га орқада қоладиган ток $\dot{I}_1$ генератор э. ю. к. и $\dot{E}_0$ га нисбатан олдин кетадиган (сиғимий) бўлади.

17.11- расмдаги диаграммаларда кўрсатилганларни қуйидагича изоҳлаш мумкин.

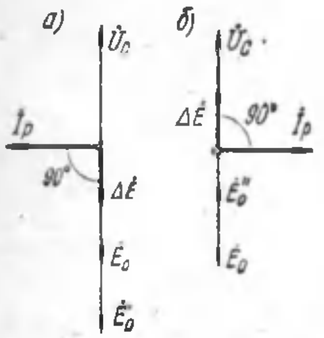
Генератор ўта қўзғатилганда қўзғатиш м. к. $F_0 = I_к w_к$ кўпаяди. Натижада статор чулғамида реактив ток $I_р$ пайдо бўлади, у э. ю. к. га нисбатан орқада қоладиган (индуктив) бўлади. Якорнинг шу ток вужудга келтирган бўйлама-магнитсизловчи реакцияси ортиқча қўзғатиш м. к. ини шундай компенсациялайдики, бунда генераторнинг э. ю к. и ўзгармаслигича қолади. Генератор чала қўзғатилганда ҳам худди шундай процесс

содир бўлади; фарқи фақат шундаки, чулғамда олдинга кетувчи (сиғимий) ток I_p пайдо бўлади, якорнинг бу ток вужудга келтирган бўйлама-магнитловчи реакцияси етишмайдиган қўзғатиш м. к. ини компенсациялайди.

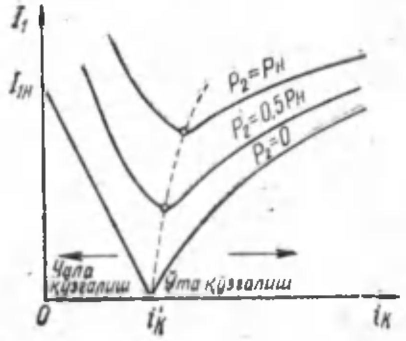
Агар қўзғатиш токининг барча ўзгаришларида бирламчи двигателнинг айлантирувчи моменти ўзгармаслигича қолса, генераторнинг актив қуввати ҳам ўзгармай қолади:

$$P_г = m_1 U_1 I_1 \cos\varphi_1 = \text{const}.$$

Бу ифодадан кўриниб турибдики, $U_1 = \text{const}$ бўлганда статор токининг актив ташкил этувчиси $I_1 \cos\varphi_1 = \text{const}$ бўлади



17.11- расм. Э. ю. к. нинг синхрон генератор параллел ишлагандаги вектор диаграммалари.



17.12- расм. Синхрон генераторнинг U- симон эгри чизиқлари.

Шундай қилиб, синхрон генераторнинг қўзғатилиш даражаси статор токининг фақат реактив ташкил этувчисига таъсир этади. Токнинг актив ташкил этувчиси $I_{1a} = I_1 \cos\varphi_1$ га келганда у ўзгармаслигича қолади.

Генераторнинг актив нагрузкаси ўзгармас бўлганда статор токи I_1 нинг қўзғатиш чулғамидаги ток $i_к$ га боғлиқлиги график тарзда *U-симон эгри чизиқ* билан ифодаланади. Бундай ном берилишига сабаб, шу эгри чизиқнинг кўриниши латинча U ҳарфига ўхшашлигидир. 17.12- расмда $P_2 = \text{const}$ бўлгандаги *U-симон эгри чизиқлар* $I_1 = f(i^к)$ кўрсатилган. Эгри чизиқлар актив нагрузканинг турли қийматлари: $p_2 = 0$; $p_2 = 0,5\, p_н$ ва $p_2 = p_н$ учун қурилган. Синхрон генераторнинг U- симон эгри чизиқларидан кўринишича, генераторнинг исталган нагрузкасига қўзғатиш токи $i_к$ нинг шундай қиймати мос келадики, бунда статор токи I_1 минимал ва фақат актив ташкил этувчи $I_{1мин} = I_1 \cos\varphi_1$ га тенг бўлиб қолади. Бу ҳолда генератор қувват коэффициенти $\cos\varphi_1 = 1$ да ишлайди. Генераторнинг турли нагрузкаларида $\cos\varphi_1 = 1$ га мувофиқ келадиган қўзғатиш токининг қийматлари 17.12- расмда пунктир

эгри чизиқ билан кўрсатилган. Бу эгри чизиқдан бир оз ўнгга оғиш нагрузка кўпайганида $\cos\varphi_1 = 1$ га мувофиқ келадиган қўзғатиш токи қисман ортишини кўрсатади. Бунга сабаб шуки, нагрузка кўпайганида кучланишнинг актив тушишини компенсацияловчи қўзғатиш токи бир оз ортиши зарур.

Шу нарсага эътибор бериш керакки, фаза жиҳатидан э. ю. к. $\dot{E}_0$ дан орқада қолувчи ток $\dot{I}_р$ тармоқ кучланиши $\dot{U}_т$ га нисбатан олдин кетувчи ток бўлади ва, аксинча, фаза жиҳатдан э. ю. к. $\dot{E}_0$ дан олдин кетувчи ток $\dot{I}_р$ кучланиш $\dot{U}_т$ га нисбатан орқада қолувчи бўлади.

Генераторда исрофларни камайтириш нуқтаи назаридан олганда энг қулайи статорнинг минимал токига, яъни $\cos\varphi_1 = 1$ бўлишига тўғри келадиган қўзғатишдир.

Лекин кўпчилик ҳолларда генератор нагрузкаси индуктив характерда бўлади ва индуктив токларни (фаза жиҳатдан тармоқ кучланишидан орқада қолувчи) компенсациялаш учун генераторни қисман ўта қўзғатиб, статор токи $\dot{I}_1$ фаза жиҳатдан тармоқ кучланиши $\dot{U}_1$ дан олдин кетадиган шароит яратишга тўғри келади.

XVIII боб

СИНХРОН ДВИГАТЕЛЛАР

18.1-§. Синхрон двигателнинг ишлаш принципи

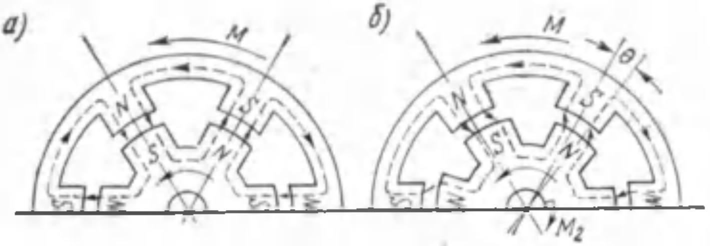
Қайтарлик принципига мувофиқ ҳолда синхрон машина фақат генератор режимида эмас, балки двигатель режимида ҳам ишлаши мумкин.

Агар тармоқ билан параллел ишлайдиган синхрон генераторнинг вали (статор билан роторнинг занжирларини узмасдан туриб) бирламчи двигателдан узиб қўйилса, у ҳолда синхрон машина двигатель режимида ишлайди. Бу ҳолда синхрон машинанинг статор чулғамидаги уч фазали ток айланувчан магнитавий майдон ҳосил қилади (16.1-§ га қаранг), бу майдон роторнинг магнитавий майдони билан ўзаро таъсирлашиб роторни синхрон тезлик билан айланишга мажбур этади.

Синхрон двигателнинг ишлаш принципини тушуниб олиш учун унинг моделига (18.1-расм) мурожаат қиламиз; модель бир-биридан зазор билан ажратилган аён қутбли ички ва ташқи магнитавий системалардан иборат. Иккала система умумий ўққа нисбатан айлана олади, бунда ички система (ротор) валда жойлашган бўлади.

Агар ташқи магнитавий системага айлантирувчи момент M таъсир эттирилса, система айлана бошлайди ва айланувчан майдон ҳосил қилади; бу майдон статор чулғами уч фазали ток тармоғига уланганда ҳосил бўладиган айланувчан магни-

тавий майдонга ўхшайди. Магнитавий системаларнинг турли ишорали қутблари орасидаги магнитавий боғланиш туфайли ташқи қутблар системасининг айланиши ички системага узатилади. Натижада ротор ташқи системанинг майдони айланган томонга айлана бошлайди. Агар ишқаланиш ҳисобга олинмаса, у ҳолда салт ишлаш режимида айланишга қарши таъсир этувчи момент нолга тенг, деб ҳисоблаш мумкин. Бунда магнитавий



18.1- расм. Синхрон двигателнинг модели.

системаларнинг қутблари бир томонга бир хил тезлик билан айланиб, бир-бирига нисбатан ўқдош бўлиб жойлашади (18.1-расм, *а*). Агар валга, қарши таъсир этувчи момент M_2 кўринишидаги тормозловчи куч таъсир эттирилса, у ҳолда қутбларнинг ички системаси ташқи системага нисбатан θ бурчакка силжийди (18.1- расм, *б*), бу бурчакнинг қиймати қарши таъсир этувчи момент катталиги билан аниқланади.

Кўриб чиқилаётган моделдан фарқ қилиб, синхрон двигателда айланувчан майдон магнитавий системанинг айланиши натижасида эмас, балки статор чулғамидаги уч фазали ток таъсирида ҳосил қилинади. Бунда двигатель валида ҳосил қилинадиган қувват тармоқдан келадиган қувват билан компенсация қилинади.

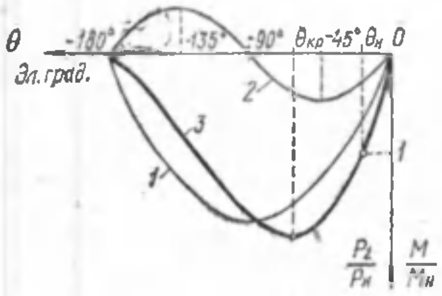
Шундай қилиб, синхрон двигателда (генератордаги каби) статор токининг роторнинг магнитавий майдони билан ўзаро таъсирлашуви натижасида электромагнитавий момент вужудга келади (17.3- расмга қаранг), лекин генератордан фарқ қилиб, бу момент двигателда айланувчи бўлади.

Синхрон двигатель электромагнитавий моментининг қиймати (17. 3) ва (17.4) ифодалар билан аниқланади.

Синхрон двигатель валига қўйилган нагрузка ўзгарганида роторнинг м. к. вектори билан статор чулғамининг м. к. вектори орасидаги бурчак θ ўзгаради, натижада электромагнитавий айлантирувчи момент ҳам тегишлича ўзгаради. Лекин агар синхрон генераторда нагрузканинг ортиши натижасида бурчак θ роторнинг айланиш йўналишида катталашса, яъни генератор ротори м. к. нинг вектори (ротор қутбларининг ўқи) статорнинг м. к. векторидан олдинга кетса, у ҳолда двигателда валга

тушадиган нагрузка кўпайиши билан бурчак θ роторнинг айланишига тескари йўналишда катталашади (17.6- расм билан 18.1-расм, *б* ни таққосланг).

Синхрон двигатель электромагнитавий моменти *М* нинг бурчак θ га боғлиқлиги (бурчак характеристикаси) параллел ишлашга уланган синхрон генераторнинг бурчак характеристикасига ўхшайди, лекин координаталар системасининг учинчи квадрантида жойлашади (18.2- расм, 3- эгри чизиқ), яъни бу боғлиқлик момент *М* ва бурчак θ нинг манфий қийматлари билан ифодаланади. Шундай қилиб, синхрон машинанинг бурчак характеристикаси иккита ярим тўлқиндан: генератор режимида ишлашига мос келадиган мусбат (17.7- расмга қаранг) ва двигатель режимига тўғри келадиган (18.2- расм) манфий ярим тўлқинлардан иборат. Синхрон двигателнинг турғун ишлаш соҳаси θ бурчакнинг қийматлари билан чегараланади, унинг қиймати критик $\theta_{кр}$ қийматдан кичик бўлиши керак.



18.2- расм. Синхрон двигатель электромагнитавий моменти ва қувватининг бурчак характеристикаси.

Генератор режими учун чиқарилган ўта юкланиш қобилияти, солиштирма синхронловчи қувват ва солиштирма синхронловчи момент ҳақидаги тушунчалар синхрон машинанинг двигатель режими учун ҳам татбиқ этилаверади.

Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, *синхрон двигателнинг ротори статор майдонининг айланиш тезлигига тенг тезликда*, яъни синхрон тезлик $n_1 = \frac{f_1 60}{p}$ билан *айланиши мумкин*. Бунга ишонч ҳосил қилиш учун яна синхрон двигателнинг моделига (18.1- расм) мурожаат қиламиз. Двигателнинг ротори айланиш вақтида қутбларнинг ташқи системасидан орқада қолади, деб фараз қилайлик. У ҳолда вақтнинг бирор моментида ротор қутблари ташқи системанинг бир хил исмли қутблари қаршисида жойлашади. Бу ҳолда магнитавий системалар орасидаги магнитавий боғланиш бузилади, чунки уларнинг қутблари ўзаро итарилади; роторга электромагнитавий момент таъсир этмай қўяди ва у тўхтайди. Роторнинг фақат синхрон тезлик билан айланиши синхрон двигателларнинг ўзига хос хусусиятларидан биридир.

Синхрон двигателнинг нагрузкаси ўзгарганида бурчак θ ўзгаради. Бунда ротор, агрегатнинг айланувчи массалари инерцияси туфайли янги нагрузкага мос ҳолатни тезда эгаллай олмайди, балки маълум вақт тебранма ҳаракат қилиб туради.

Шундай қилиб, синхрон двигателда ҳам, генератордаги каби, тебранишлар бўлиб туради; бу ҳодисанинг физикавий моҳияти 17.5-§ да баён қилинган.

18.2-§. Синхрон двигателнинг U-симон эгри чизиқлари

Синхрон двигателнинг ишлаш процессида статор чулғамида э. ю. к. E_1 индукцияланади, унинг қиймати тахминан статор чулғамига берилган кучланиш U_1 га тенг бўлади. Статор чулғамининг э. ю. к. ини умумий магнитавий оқим ҳосил қилади, бу оқим иккита магнитловчи кучнинг: роторнинг м. к. и билан статорнинг м. к. и нинг биргаликда таъсир этишидан ҳосил бўлади.

Кучланиш ўзгармас $\dot{U}_1 \approx (-\dot{E}_1) = \mathrm{const}$ бўлганда умумий оқим Ф ўзгармайди. Шу сабабли умумий оқим Ф ни вужудга келтирувчи магнитловчи кучлардан бири ўзгарганда иккинчи магнитловчи куч тескари йўналишда ўзгаради ва уларнинг биргаликдаги таъсири ўзгармасдан қолади.

18.3-расм. Синхрон двигателнинг U-симон эгри чизиқлари.

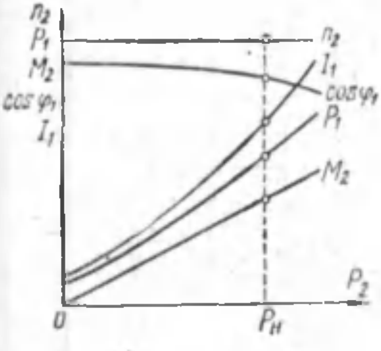
Юқорида айтилганлардан қўзғатиш токи $i_к$ кўпайганида роторнинг м. к. и ортади, бунда статорнинг м. к. и камаяди, деган хулоса келиб чиқади. Статорнинг м. к. и статор токининг магнитловчи ташкил этувчисининг камайиши ҳисобигагина камайиши мумкин, чунки статор чулғамида ўрамлар сони ўзгармайди. Статорнинг табиати жиҳатидан индуктив бўлган магнитловчи токининг камайиши двигатель қувват коэффициентининг ортишига олиб келади.

Қўзғатиш чулғамида ток янада кўпайганда статор чулғамида ток камаяди (реактив ташкил этувчиси ҳисобига) ва, ниҳоят, қўзғатиш токи $i_к$ нинг маълум бир қийматида ток I_1 нинг қиймати двигателнинг шу нагрузкасида минимал бўлади (18.3-расм). Бунда статор токи соф актив, қувват коэффициенти эса $\cos\varphi_1 = 1$ бўлади. Қўзғатиш токи қийматининг $i_к$ дан ортиб кетиши, яъни двигателнинг ўта қўзғалиши ток $\dot{I}_1$ ни ошириб юборади, лекин энди бу ток кучланиш $\dot{U}_1$ га нисбатан олдин кетувчи (сиғимий) бўлади. Шундай қилиб, *чала қўзғатилганда синхрон двигатель орқада қолувчи ток билан, ўта қўзғатилганда* эса — олдин кетувчи ток билан ишлайди. Синхрон двигатель учун статор токининг қўзғатиш токи $i_к$ га боғлиқлиги U-симон эгри чизиқлар билан кўрсатилган (18.3-расм).

Қўзғатиш токи $I_к'$ синхрон двигателнинг қувват коэффициенти $\cos\varphi_1 = 1$ бўлган ҳолда ишлашига мос келади. Двигатель ўта қўзғатилганда ($I_к > i_к'$) статор занжирида олдин кетувчи ток пайдо бўлади; бошқача айтганда, тармоққа ўта қўзғатилган синхрон двигателни улаш шу тармоққа муайян сиғимни улашга эквивалентдир. Синхрон двигателларнинг бу хусусияти уларнинг қимматли сифати бўлиб, ундан электр установкаларнинг қувват коэффициентини оширишда фойдаланилади. Одатда, синхрон двигателлар бирга тенг қувват коэффициенти билан ишлайди, чунки бунда двигателдаги исрофлар минимал ва ф. и. к. энг катта бўлади.

18.3-§. Синхрон двигателнинг иш характеристикалари

Синхрон двигателнинг иш характеристикалари роторнинг айланиш тезлиги n_2, статор чулғамидаги ток I_1 двигателга киришдаги қувват P_1, фойдали момент M_2 ва қувват коэффициенти $\cos\varphi_1$ нинг двигателнинг фойдали қуввати P_2 га боғлиқлигидир (18.4- расм).



18.4- расм. Синхрон двигателнинг иш *характеристикалари.*

Роторнинг айланиш тезлиги n_2 доимо синхрон тезлик $n_1 = \frac{f_1 60}{p}$ га тенг бўлади, шу сабабли график $n_2 = f(P_2)$ абсциссалар ўқига параллел тўғри чизиқ кўринишида бўлади. Синхрон двигателнинг валидаги фойдали момент қувват P_2 га қуйидагича боғлиқ бўлади:

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega_1}.$$

Иш характеристикалари $\omega_1 = \text{const}$ бўлган шароитда олинганлиги сабабли график $M_2 = f(P_2)$ координаталар бошидан чиқувчи тўғри чизиқ кўринишида бўлади.

Двигателга кириш олдидаги қувват

$$P_1 = P_2 + \sum p.$$

Нагрузка P_2 нинг ортиши билан исрофлар $\sum p$ ҳам кўпаяди, шунинг учун қувват P_1 қувват P_2 га қараганда тезроқ кўпаяди ва график $P_1 = f(P_2)$ бир оз эгри чизиқ кўринишида бўлади. Эгри чизиқ $\cos\varphi_1 = f(P_2)$ двигателнинг салт ишлаш режимида қўзғатилиш характерига боғлиқ бўлади. Агар салт ишлашда $\cos\varphi_1 = 1$ бўлса, *нагрузка кўпайганида у камаяди* (18.3- расмга қаранг).

Двигателнинг статори чулғамидаги ток қиймати қуйидагига тенг:

$$I_1 = \frac{P_1}{m_1 U_1 \cos \varphi_1}.$$

Бу ифодадан кўриниб турибтики, нагрузка P_2 ортганда ток I_1 нинг кўпайиши $\cos \varphi_1$ камайгандаги қувват P_1 нинг кўпайишидан тезроқ бўлади.

Синхрон двигателнинг ротори статор майдони айланган томонга айланганлиги сабабли роторнинг айланиш йўналиши статор чулғамида фазаларнинг кетма-кет келиш тартиби ва статор фаза чулғамларининг жойлашиш тартиби билан аниқланади. Уч фазали синхрон двигателнинг айланиш йўналишини ўзгартириш учун тармоқдан статор чулғамларига келтирилган линия симларидан иккитасини алмаштириб улаш керак.

18.4-§. Синхрон двигателларни ишга тушириш

Синхрон двигателни бевосита тармоққа улаш йўли билан ишга туширишнинг иложи йўқ, чунки роторнинг инерция моменти катталиги сабабли тезлиги бир онда қарор топадиган айланувчан статор майдонига тезда илашиб айланиб кета олмайди. Натижада статор билан ротор орасида магнитавий боғланиш вужудга келмайди. Синхрон двигателни ишга тушириш учун махсус усуллар қўллашга тўғри келади; бу усулларнинг моҳияти роторни олдиндан синхрон ёки унга яқин тезликда айлантириб, статор билан ротор орасида магнитавий боғланиш вужудга келтиришдан иборат.

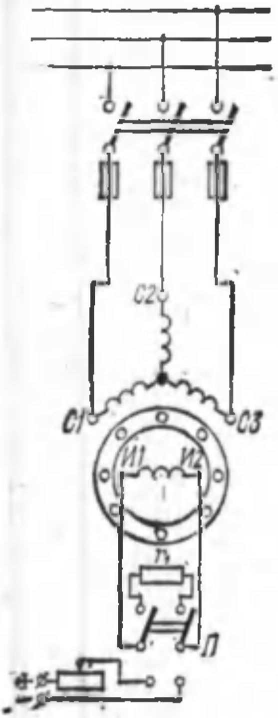
Амалда синхрон двигателларни ишга туширишнинг икки усули: ёрдамчи двигатель воситасида ишга тушириш ва асинхрон ишга тушириш усуллари қўлланилади.

С и н х р о н д в и г а т е л н и ё р д а м ч и д в и г а т е л ь в о с и т а с и д а и ш г а т у ш и р и ш. Бунда ишга тушириш процесси синхрон генераторни параллел ишлашга улаш процесси каби кечади. Қўзғатилган двигателнинг ротори синхрон тезликкача айлантирилади ва синхронловчи қурилма ёрдамида тармоққа уланади. Сўнгра ёрдамчи двигатель узиб қўйилади. Одатда, ишга тушириш двигателининг қуввати синхрон двигатель қувватининг 5—15 процентини ташкил этади. Бу ҳол синхрон двигателни фақат нагрузкасиз ёки валга тушадиган нагрузка кичик бўлгандагина ишга туширишга имкон беради. Қуввати нагрузкали синхрон двигателни ишга туширишга етарли бўлган ишга тушириш двигателини ишлатиш мақсадга мувофиқ эмас, чунки бунда қурилма қўпол ва тежамсиз бўлади.

Ишга тушириш (ёрдамчи) двигатели сифатида, одатда, қутблар сони синхрон двигателнинг қутблар сонидан иккита кам бўлган фаза роторли асинхрон двигатель ишлатилади. Синхрон двигателнинг роторини синхрон тезликка яқин тезликда

айлантириш мумкин бўлсин учун шундай қилинади. Айланиш тезлигини ростлаб туриш учун асинхрон двигателнинг ротори занжирига ростлаш реостати (23.5 § га қаранг) уланади. Ишга туширишнинг баён қилинган бу усули ҳозирги вақтда фақат катта қувватли синхрон компенсаторлар учунгина қўлланилади.

Синхрон двигателларни асинхрон усулда ишга тушириш. Бу усулдан роторнинг қутб учликларида синхрон генераторнинг тинчлантирувчи чулғамларига (17.9- расмга қаранг) ўхшаш ишга тушириш чулғами бўлгандагина фойдаланиш мумкин. Ишга туширишнинг бу усулида двигателни улаш схемаси 18.5- расмда келтирилган. Қўзғатилмаган синхрон двигатель уч фазали ток тармоғига уланади. Бунда статорнинг айланувчи магнитавий майдони роторнинг ишга тушириш чулғамида э. ю. к. индукциялайди, бу э. ю. к. чулғамнинг туташ (ёпиқ) стерженларида токлар ҳосил қилади. Бу токларнинг статор майдони билан ўзаро таъсиридан двигатель роторини айлантирувчи момент ҳосил бўлади* Роторнинг айланиш тезлиги синхрон тезликнинг тахминан 95 процентига етганда қўзғатиш чулғамига ток берилади ва двигатель синхрон ишлай бошлайди. Бу ҳолда ишга тушириш чулғами двигателнинг ишига таъсир этмайди, чунки унинг стерженларида э. ю. к. пайдо бўлмайди.



18,5- расм. Синхрон двигателни асинхрон ишга тушириш схемаси.

Асинхрон усулда ишга тушириш процессида қўзғатиш чулғамини узилган ҳолда қолдириб бўлмайди, чунки ишга туширишнинг бошланғич даврида уни синхрон тезлик билан кесиб ўтувчи статорнинг магнитавий оқими бу чулғамда э. ю. к. ҳосил қилади. Қўзғатиш чулғамининг ўрамлар сони кўп бўлганлиги сабабли бу э. ю. к. 3000—4000 *в* гача етади ва ундан ҳам ортиб кетади, бу эса чулғамнинг ўзи учун ҳам, хизмат қилаётган ходимлар учун ҳам хавфлидир. Бунинг олдини олиш учун роторни тезлаштириш даврида қўзғатиш чулғами унинг қаршилигидан тахминан ўн марта катта актив қаршилик r_1 билан туташтирилади. Қўзғатиш чулғами-

---

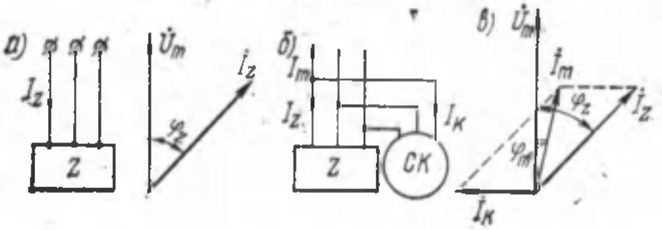
* Асинхрон двигателларнинг электромагнитавий айлантирувчи моментини ҳосил қилиш принципи 19.2- § да батафсил баён қилинган.

нинг $И_1$ ва $И_2$ клеммаларини қаршилик r_1 дан узиб, қўзғатувчининг клеммаларига улаш учун переключатель $П$ ишлатилади (18.5- расм).

Синхрон двигателларни бевосита ўзгарувчан ток тармоғига улаш тармоқ қуввати етарли даражада катта, ишга тушириш токининг двигателнинг номинал токига нисбатан беш етти марта катта қийматларига ҳам чидай оладиган бўлганда қўлланилади. Тармоқ қуввати етарли бўлмаганда ишга тушириш токларини чеклаш учун двигатель пасайтирилган кучланишда: автотрансформатор ёки реактор воситасида ишга туширилади (23.3- § га қаранг).

18.5- §. Синхрон компенсатор

Синхрон компенсатор нагрузкасиз ишлайдиган синхрон двигателдир. 18.2- § да баён қилинганлардан синхрон двигатель ўта қўзғатилган ҳолатда ишлаганида статор чулғамининг занжирида фаза бўйича тармоқ кучланиши $U_т$ дан олдин кетувчи ток I_1 пайдо бўлади деган хулоса келиб чиқади 18.6- расм, *а*



18.6- расм. Қувват коэффициентини ошириш учун синхрон компенсаторнинг қўлланилиши.

да тармоқ кучланиши $U_т$ нинг ва истеъмолчи z занжиридаги ток I_z нинг вектор диаграммаси кўрсатилган, бунда ток I_z фаза жиҳатдан кучланиш $U_т$ дан φ_z бурчакка орқада қолади, яъни ток I_z нинг реактив ташкил этувчиси индуктив бўлади. Ўта қўзғалиш билан ишлайдиган ва шу сабабли занжирда фаза жиҳатдан кучланиш $U_т$ дан олдин кетадиган ток $I_к$ ҳосил қилувчи синхрон компенсатор истеъмолчи Z га параллел равишда улангандан кейин тармоқда қуйидаги ток пайдо бўлади:

$$\dot I_т = \dot I_z + \dot I_к .$$

Бу токнинг кучланишга нисбатан фаза силжиши $\varphi_т \varphi_z$ дан анча кичик бўлади (18.6- расм, *б*). Бундан ташқари, ток $I_т$ нинг қиймати ҳам кичик бўлиб қолади ($I_т < I_z$). Қуйидаги мулоҳазаларга асосланиб бунга ишонч ҳосил қилиш мумкин. Синхрон компенсатор нагрузкасиз ишлайди, шунинг учун унинг актив қуввати катта эмас, чунки у фақат компенсатордаги исроф-

ларни қоплашгагина сарфланади. Бу исрофларни эътиборга олмасак, тармоқда компенсатор улангунга қадар бўлган қувват $P_z = \sqrt{3}\, I_z U_т = \cos\varphi_z$ ни компенсатор улангандан кейинги қувват $P_т = \sqrt{3}\, I_т = U_т \cos\varphi_т$ га тенглаштириш мумкин. $\cos\varphi_т > \cos\varphi_z$ ва $P_z = P_т$ бўлганлиги сабабли $I_т < I_z$. Натижада электр станция генераторлари ҳамда линия нагрузкаси ва, демак, энергия исрофлари ҳам камаяди. Синхрон компенсаторлар фақат ўта қўзғалиш режимидагина эмас, балки чала қўзғалиш режимида ҳам ишлаши ва тармоққа фаза жиҳатдан кучланишдан орқада қолувчи реактив ток бериши мумкин. Одатда, синхрон компенсаторларни қўзғатишни бошқариш автоматлаштирилади. Синхрон компенсаторнинг қуввати у компенсациялаши лозим бўлган реактив қувват катталиги билан аниқланади. Буни мисолда кўриб чиқамиз.

Мисол. Истеъмолчининг тўла қуввати $\cos\varphi = 0{,}70 (\sin\varphi = 0{,}70)$ бўлганда $S = 1500$ *ква*. Тармоқдаги қувват коэффициентини $\cos\varphi' = 0{,}95$ $(\sin\varphi' = 0{,}31)$ гача ошириш учун зарурий синхрон компенсаторнинг қувватини аниқланг. Тармоқдаги нагрузка токининг компенсациялашдан олдинги ва кейинги қийматларини ҳам аниқланг, тармоқ кучланиши $U_т = 6{,}3$ *кв*.

Е ч и л и ш и. Тармоқнинг синхрон компенсатор уланишидан олдинги реактив қуввати

$$Q = S \sin\varphi = 1500 \cdot 0{,}70 = 1050 \text{ квар},$$

тармоқдаги нагрузка токининг қиймати эса

$$I_т = \frac{S}{\sqrt{3}\, U_т} = \frac{1500}{1{,}73 \cdot 6{,}3} = 138 \text{ a},$$

унинг актив ташкил этувчиси

$$I_{та} = I_т \cos\varphi = 138 \cdot 0{,}70 = 97 \text{ a}.$$

Компенсациядан кейин реактив қувват

$$Q' = S \sin\varphi' = 1500 \cdot 0{,}31 = 450 \text{ квар}$$

гача камайди.

Шундай қилиб, установканинг қувват коэффициентини $\cos\varphi = 0{,}70$ дан $\cos\varphi' = 0{,}95$ гача ошириш учун реактив қуввати $Q_к = 1050 - 450 = 600$ *квар* бўлган синхрон компенсатор улаш талаб этилади. Бунда токнинг актив ташкил этувчиси ўзгармайди ($I_{та} = 97$ *а*), реактив ташкил этувчиси эса

$$I_{тр} = \frac{Q'}{\sqrt{3}\, U_т} = \frac{450}{1{,}73 \cdot 6{,}3} = 42 \text{ a бўлади.}$$

Демак, компенсациялашдан кейин линиядаги ток

$$I'_т = \sqrt{I^2_{та} + I^2_{тр}} = \sqrt{97^2 + 42^2} = 104 \text{ a}.$$

$\cos\varphi$, одатда, 0,92 — 0,95 гача оширилади, чунки $\cos\varphi$ ни 1 гача оширишдан келадиган фойда кўпаядиган сарфларни қопламайди. Масалан, агар кўриб чиқилаётган мисолда $\cos\varphi'$

ни 1 гача ошириш исталса, у ҳолда қуввати 1050 *квар*, яъни $\cos\varphi' = 0{,}95$ бўлгандагига қараганда икки марта катта қувватли компенсатор ишлатишга тўғри келарди.

Синхрон компенсаторлар тармоқдаги кучланишни стабиллаш учун ҳам ишлатилади.

Синхрон компенсаторда иш жараёнида механикавий нагрузка бўлмайди, яъни у салт ишлайди. Бу ҳол синхрон компенсаторларни енгиллаштирилган конструкцияли қилиб тайёрлашга имкон беради ва уларнинг нархи шу туфайли синхрон двигателларга нисбатан арзон бўлади.

Синхрон компенсаторларни ишга туширишда синхрон двигателларни ишга тушириш усулларининг ўзи қўлланилади (18.4- § га қаранг). Лекин компенсатор валида нагрузканинг йўқлиги ишга тушириш процессини осонлаштиради (ишга тушириш токлари камаяди, роторни тезлаштириб юбориш вақти эса қисқаради). Синхрон компенсаторлар валининг чиқиб турувчи учи бўлмайди, шунинг учун уларнинг корпусини (станинасини) осон герметизациялаш мумкин, бу эса уларда водородли совитиш усулидан (28.5- § га қаранг) фойдаланишда жуда муҳимдир.

18.6- §. Реактив синхрон двигатель

Реактив двигателнинг ротори аён қутбли роторли одатдаги синхрон двигателлардан қўзғатиш чулғамининг йўқлиги билан фарқ қилади.

Реактив двигателнинг ишлаш принципини тушуниб олиш учун аён қутбли машинанинг электромагнитавий моменти ифодасига мурожаат қиламиз (17.4):

$$M = \frac{m_1 U_1 E_0}{\omega_1 x_d} \sin\theta + \frac{m_1 U_1^2}{2\omega_1}\left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d}\right)\sin 2\theta = M_{асос} + M_р,$$

бундан кўриниб турибтики, агар машина қўзғатилмаса ($E_0 = 0$), у ҳолда электромагнитавий моментнинг асосий ташкил этувчиси бўлган биринчи қўшилувчи нолга тенг бўлиб қолади. У ҳолда бундай қўзғатилмаган двигателнинг роторига электромагнитавий моментнинг реактив ташкил этувчисигина (17.6) таъсир этади:

$$M_р = \frac{m_1 U_1^2}{2\omega_1}\left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d}\right)\sin 2\theta.$$

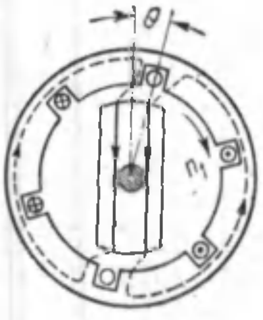
Демак, $x_q < x_d$ шарт бажарилгандагина, яъни ротор аён қутбли бўлгандагина синхрон двигателни қўзғатиш чулғамисиз қилиб ясаш мумкин. *Реактив синхрон двигатель* ана шундай двигатель ҳисобланади. Реактив двигатель роторининг

айланишини физикавий тушунтириш мумкин (18.7- расм): статор чулғами тармоққа уланганда айланувчан магнитавий майдон вужудга келади ва у роторни магнитлайди. Бунда ротор статор майдонида минимал магнитавий қаршиликка мос келадиган ҳолатни эгаллашга ҳаракат қилади. Статор майдони айланганлиги сабабли двигатель ротори ҳам худди шундай тезлик билан айлана бошлайди.

Реактив момент ифодасидан кўриниб туриптики, реактив двигателнинг айлантирувчи моменти қиймати двигателга берилган кучланишнинг квадратига пропорционал, яъни $M_р = U_1^2$, бу ҳол тармоқда кучланиш ўзгарганда катта аҳамиятга эга.

Реактив синхрон двигателнинг қуввати ушбу ифодадан аниқланади:

$$P_2 = \frac{m_1 U_1^2}{2}\left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d}\right)\sin 2\theta. \qquad (18.1)$$



18.7- расм. Реактив синхрон двигатель.

Бу ифода $E_0 = 0$ деб қабул қилинганда аён қутбли синхрон машинанинг қуввати ифодасидан (17.2) олинади.

Бундан реактив двигателнинг қуввати габаритлари шундай, лекин қўзғатиш чулғамли синхрон двигателнинг қувватидан кам, деган хулоса келиб чиқади.

Реактив двигателнинг электромагнитавий моменти иккиланган бурчак θ нинг синусига пропорционалдир. Бу двигателнинг бурчак характеристикаси 18.2- расмда *2*- эгри чизиқ билан кўрсатилган.

Реактив двигатель моментининг максимал қиймати $\theta_{кр} = 45°$ бурчакка тўғри келади, ўзининг катталиги жиҳатдан эса у қўзғатиш чулғамли двигателнинг максимал моментидан бир неча марта кичик бўлади.

Реактив двигателларнинг камчиликлари қаторига қувват коэффициентининг кичиклигини ҳам киритиш керак, бу коэффициент қиймати роторнинг конструкциясига, яъни x_d/x_q нисбатнинг катталигига боғлиқ бўлади.

Масалан, $x_d/x_q = 4$ бўлганда қувват коэффициенти $\cos\varphi_1$ нинг энг катта қиймати 0,6 ни ташкил этади, $x_d/x_q = 5$ бўлганда эса $\cos\varphi_1 = 0{,}67$. Реактив синхрон двигателларнинг ўзига хос барча хусусиятларини эътиборга олиб, уларни ўрта ва айниқса, катта қувватли юритмаларда ишлатиш иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқ эмас. Одатда, бу двигателлар кичикроқ қувватга (бир неча ўн ватт) мўлжаллаб тайёрланади ва автоматикада ишлатилади.

Реактив двигателларни мустақил ишга тушириш мумкин бўлсин учун улар роторида асинхрон усулда ишга туширишга имкон берадиган ишга тушириш клеткаси (17.9- расмга қаранг) билан таъминланади.

Уч фазалилари билан бир қаторда бир фазали реактив двигателлар ҳам ишлатилади. Бундай двигатель статорининг чулғами бир фазали қилинади ва ўзгарувчан токнинг бир фазали тармоғига бир фазали асинхрон двигателларни улаш схемалари бўйича уланади (XXIV бобга қаранг).

Реактив синхрон двигателларнинг афзаллиги шундаки, улар конструкцияси жиҳатдан оддий, ишлаши ишончли (сирпанувчан контактларнинг йўқлиги) ва ишлатишга қулайдир, чунки уларни улаш учун ўзгармас кучланиш талаб этилмайди. Шу билан бир вақтда синхрон двигателларда синхрон машиналарнинг муҳим хоссаси бўлади — уларнинг ротори валдаги нагрузка қандай бўлишидан қатъи назар, ўзгармас тезлик билан айланади.

ТЎРТИНЧИ БЎЛИМ

АСИНХРОН МАШИНАЛАР

XIX боб

УЧ ФАЗАЛИ АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ИШЛАШ ПРИНЦИПИ ВА КОНСТРУКЦИЯСИ

19.1-§. Дастлабки мулоҳазалар

Асинхрон машиналарнинг ишлаши статор айланувчи магнитавий майдонининг ротор чулғамидаги токлар билан ўзаро таъсирига асосланган.

Синхрон машиналардан фарқ қилиб, асинхрон машина роторининг айланиш тезлиги берилган кучланишнинг частотасигагина эмас, балки нагрузканинг (валда тескари таъсир этувчи моментнинг) қийматига ҳам боғлиқ бўлади.

Асинхрон машинанинг қайтарлик хусусияти бор ва генератор режимида ҳам, двигатель режимида ҳам ишлаши мумкин. Лекин амалда асинхрон двигателлар энг кўп ишлатилади. Бошқа электродвигателлардан конструкциясининг оддийлиги ва ишончли ишлаши билан фарқ қилганлиги сабабли ҳозирги вақтда асинхрон двигателлар саноатда, қурилишда, қишлоқ хўжалигида турли хил механизмларни юритиш учун ишлатиладиган электродвигателларнинг асосий типи ҳисобланади.

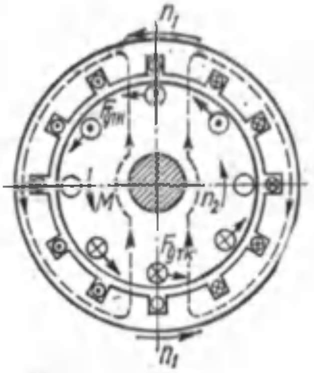
19.2-§. Уч фазали асинхрон двигателнинг ишлаш принципи

Асинхрон двигателнинг қўзғалмас қисми — статорнинг уч фазали чулғами бўлади, у тармоққа уланганда айланувчи магнитавий майдон ҳосил бўлади (16.1-§ га қаранг). Бу майдоннинг айланиш тезлиги

$$n_1 = \frac{f_1 60}{p}.$$

Статор расточкасида двигателнинг айланувчи қисми – ротор жойлашган, у вал, ўзак ва чулғамдан таркиб топган (19.1-расм). Ротор чулгами ўзак пазларига жойлаштирилган ва икки томонидан ҳалқалар билан уланган стерженлардан иборат.

Статорнинг айланувчи майдони ротор чулғамининг ўтказгичларини (стерженларни) кесиб ўтади ва уларда э. ю. к. ҳосил қилади. Лекин ротор чулғами ёпиқ бўлганлиги учун стерженларда токлар пайдо бўлади. Бу токларнинг статор майдони билан ўзаро таъсирлашуви ротор чулғамининг ўтказгичларида электромагнитавий кучлар $F_{ўт}$ ҳосил қилади, бу кучларнинг йўналиши „чап қўл" қоидаси билан аниқланади. 19.1-расмдан кўриниб турибдики, $F_{ўт}$ кучлар роторни статор магнитавий майдонининг айланиш йўналишида буришга ҳаракат қилади. Алоҳида ўтказгичларга тушадиган $F_{ўт}$ кучларнинг йиғиндиси роторда электромагнитавий момент M ни вужудга келтиради ва роторни n_2 тезлик билан айлантиради. Роторнинг айланиши вал орқали ижрочи механизмга узатилади.



19.1-расм. Асинхрон двигателнинг ишлаш принципини тушунтиришга доир.

Шундай қилиб, тармоқдан статор чулғамига келадиган электр энергияси механикавий энергияга айланади.

Статор магнитавий майдонининг айланиш йўналиши ва, бинобарин, роторнинг айланиш йўналиши ҳам статор чулғамига берилган кучланиш фазаларининг кетма-кетлик тартибига боғлиқ. Асинхрон двигатель роторининг айланиш йўналишини ўзгартириш зарурати туғилганда статор чулғамини тармоқ билан уловчи симлардан исталган бир жуфтининг жойларини алмаштириш керак. Масалан, фазаларнинг кетма-кетлик тартиби ABC бўлса, уни CBA қилиб ўзгартириш лозим. Асинхрон двигатель роторининг айланиш тезлиги n_2 ҳамма вақт майдоннинг айланиш тезлиги n_1 дан кам бўлади, чунки фақат шу ҳолдагина ротор чулғамида э. ю. к. пайдо бўлиши мумкин. Ротор тезлиги билан статорнинг айланувчан майдон тезлиги орасидаги фарқ *сирпаниш* дейиладиган катталик билан характерланади:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}. \qquad (19.1)$$

Сирпаниш, кўпинча, процентларда ифодаланади $\left(s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} 100\right)$. Асинхрон двигателнинг сирпаниши 0 дан 1 гача оралиқда ўзгариши мумкин. Бунда $s \approx 0$ двигатель роторига қарши таъсир этувчи моментлар таъсир этмайдиган салт ишлаш режимига, $s = 1$ эса қисқа туташув режимига мос келади, бунда двигателнинг қарши таъсир этувчи моменти айлантирувчи мо-

менгдан ортиб кетади ва шу сабабли двигатель ротори қўзғалмас бўлади ($n_2 = 0$).

Двигателнинг номинал нагрузкасига мос келадиган сирпаниш *номинал сирпаниш* дейилади. Масалан, қуввати 1 дан 1000 гача *квт* бўлган нормал тайёрланган двигателлар учун номинал сирпаниш тахминан, тегишлича 0,06—0,01, яъни 6—1% ни ташкил этади.

Асинхрон двигатель роторининг айланиш тезлиги (19.1) га кўра қуйидагига тенг:

$$n_2 = (1 - s)\, n_1. \qquad (19.2)$$

Двигатель шчитида номинал айланиш тезлиги $n_н$ кўрсатилади. Бу катталик синхрон айланиш тезлиги n_1 ни, номинал сирпаниш $s_н$ ни, шунингдек, статор чулғамининг қутблар сони $2p$ ни аниқлашга имкон беради.

Мисол. Частотаси $f_1 = 50$ *гц* бўлган тармоққа улаш учун мўлжалланган асинхрон двигателнинг шчитида айланиш тезлиги $n_н = 1440$ *айл/минут* кўрсатилган; номинал сирпанишни аниқлаш талаб этилади.

Ечилиши. $f_1 = 50$ *гц* да $n_н = 1440$ *айл/минутга* мос келадиган синхрон тезлик $n_1 = 1500$ *айл/минутга* тенг (16.1-жадвалга қаранг;) бунда статор чулғамининг жуфт қутблари сони

$$p = \frac{f_1 \cdot 60}{n_1} = \frac{50 \cdot 60}{1500} = 2, \text{ яъни } 2p = 4.$$

Двигателнинг номинал сирпаниши

$$s_н = \frac{n_1 - n_н}{n_1} = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0{,}04 \text{ ёки } 4\%.$$

19.3- §. Асинхрон двигателларнинг конструкцияси

Асинхрон двигателлар ўзининг тузилишига кўра бир-биридан фақат роторнинг конструкцияси билан фарқ қиладиган икки типга бўлинади: қисқа туташтирилган роторли двигателлар ва фаза роторли двигателлар; фаза роторли двигателлар контакт ҳалқали двигателлар ҳам дейилади. 19.2-расмда қисқа туташтирилган роторли уч фазали асинхрон электродвигателнинг, 19.3-расмда эса фаза роторли уч фазали асинхрон двигателнинг тузилиши кўрсатилган. Бу двигателлар асосий қисмларининг конструкциясини кўриб чиқамиз.

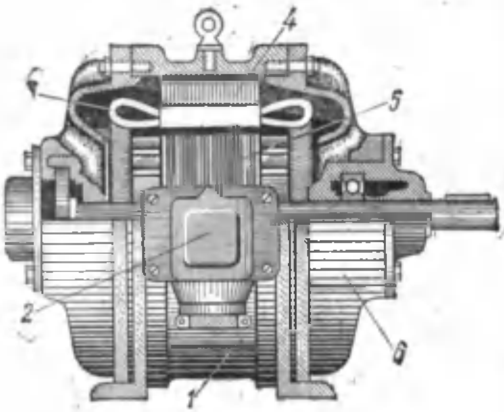
Асинхрон двигателнинг **статори** конструктив жиҳатидан синхрон машинанинг статоридан фарқ қилмайди. У корпус, ўзак ва чулғамдан таркиб топган.

Статор корпуси чулғамли ўзакни ва подшипник шчитларини маҳкамлаш учун хизмат қилади. Корпус кичикроқ двигателларда пўлат ёки чўяндан қуйиш йўли билан, йирик машиналарда эса пайвандлаб тайёрланади.

Статор ўзаги қалинлиги 0,35 ёки 0,5 *мм* ли электротехникавий пўлат листлардан йиғилади, уларни йиғишдан ол-

дин икки томонига изоляцион лак суртилади, бу ўзак пулатида ҳосил бўладиган уюрма токлар катталигини чеклайди. Ўзакнинг ички юзасида бўйлама пазлар бўлиб, уларга статор чулғами жойлаштирилган бўлади.

Статор чулғамлари синхрон машиналарнинг чулғамларини тайёрлаш принципида тайёрланади (XV бобга қаранг). Чулғамлар бир қатламли ёки икки қатламли, тўла одимли ёки



19.2- расм. Қисқа туташтирилган роторли асинхрон двигателнинг тузилиши:

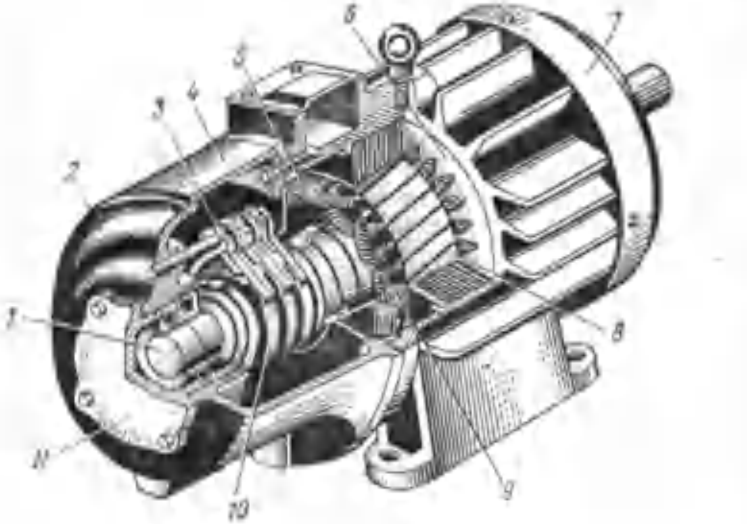
1- статор корпуси; 2—клеммалар қутиси; 3—статор чулғами; 4—статор ўзаги; 5- ротор; 6—подшипниклар шчити.

қисқартирилган одимли бўлиши мумкин. Статор чулғами, кўпинча, икки қатламли қисқартирилган одимли қилиб тайёрланади. Чулғам учлари учликлар қутисининг клеммаларига чиқарилади ва 14.2- жадвалга мувофиқ ҳолда белгиланади. Асинхрон двигатель статорининг чулғамини юлдуз ёки учбурчак усулида улаш мумкин. Бу ҳол бир хил двигателларнинг ўзини тармоқнинг $\sqrt{3}$ нисбатда бўлган турли хил икки кучланишда, масалан, 127/220 ёки 220/380 *в* кучланишларда ишлатишга имкон беради. Бунда чулғамни юлдуз усулида улаш двигателни юқори кучланишга улашга мос келади. Масалан, агар двигатель 220/380 *в* кучланишга мўлжалланган бўлса, у ҳолда тармоқ кучланиши 380 *в* бўлганда унинг статор чулғамини юлдуз усулида улаш, тармоқ кучланиши 220 *в* бўлганда эса—учбурчак усулида улаш лозим. Ҳар иккала ҳолда ҳам фаза кучланиши 220 *в* га тенглигича қолади. Бу айтиб ўтилган узиб-улашларни соддалаштириш учун статор чулғамининг клеммалари муайян тартибда жойлаштирилади (19.4- расм).

Асинхрон двигателнинг **ротори** вал, ўзак ва чулғамдан таркиб топган.

Ротор ўзаги цилиндр шаклида бўлади ва статор ўзаги каби, электротехникавий пўлат листларидан йиғилади. Қисқа туташтирилган роторли двигателларда ротор чулғами ротор ўзагининг пазларида жойлаштирилган ва торец томонидан ҳалқалар билан туташтирилган мис ёки алюминий стерженлар

қаторидан иборат (19.5-расм). Ротор пазлари, одатда, овал шаклда бўлади (19.6-расм); улар баъзан қалинлиги тахминан 0,5 *мм* бўлган кўприкча билан бекитилган бўлади. Қуввати 100 *квт* гача бўлган двигателларда ротор чулғами пазларга

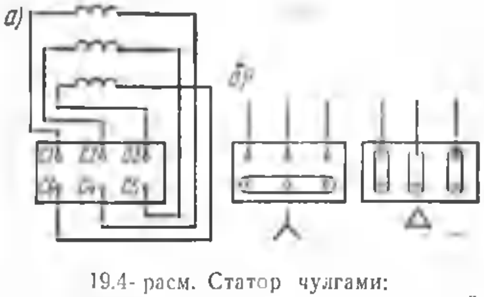


19.3-расм. Фаза роторли уч фазали асинхрон двигателнинг тузилиши (типи МТ-22-6; 75 *квт*):

1 — вал; *2* — подшипниклар щчити; *3* — чўтка тутқич; *4* — люкнинг қопқоғи; *5* — статор чулғами; *6* — статор ўзаги; *7* — вентиляторнинг кожухи; *8* — ротор ўзаги; *9* — ротор чулғами; *10* — контакт ҳалқалар; *11* — подшипник қопқоғи.

босим остида эритилган алюминий қуйиш йўли билан тайёрланади. Бунда бир вақтнинг ўзида туташтирувчи ҳалқалар вентиляцион қанотчалар билан бирга қуйилади (19.7-расм).

Фаза роторли двигателда (19.3-расмга қаранг) юқорида кўрсатилган қисмлардан ташқари, учта контакт ҳалқа ҳам бў-

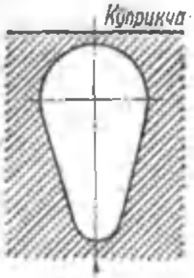


19.4-расм. Статор чулғами:
а — чулғам учларининг двигатель щчитида жойлашиши; *б* — чулғамнинг юлдуз ва учбурчак шаклида уланиши.

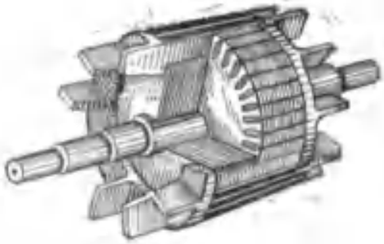
19.5-расм. Роторнинг қисқа туташтирилган чулғами.

лади. Ҳалқалар валга мустаҳкам қилиб ўрнатилган втулкага маҳкамланади. Контакт ҳалқалар втулкадан ва бир-биридан изоляция қилинади (19.8- расм).

Чўткаларни ўрнатиш учун двигателда олтита чўтка тутқич (ҳар қайси контакт ҳалқага иккитадан) бўлади.



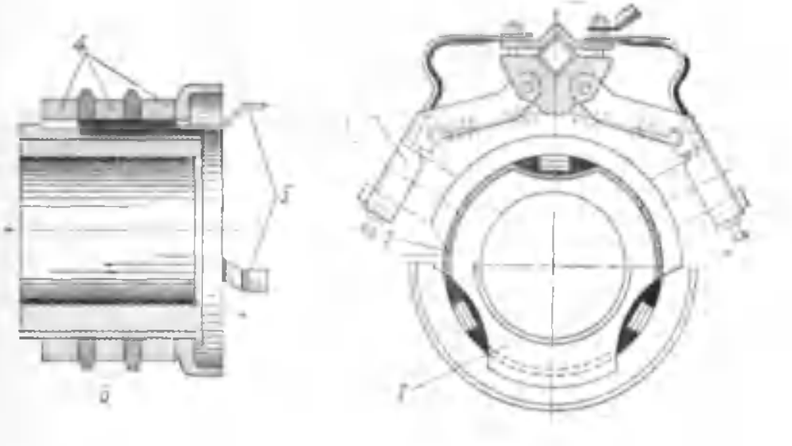
19.6- расм. Ротор пази.



19.7- расм. Қуйма алюминий чулғамли қисқа туташтирилган ротор.

Исрофларни ва чўтканинг ейилишини камайтириш учун фаза роторли ўрта ва катта қувватли баъзи двигателлар махсус механизм билан таъминланади, у двигатель ишга туширилгандан кейин чўткаларни кўтаришга, бир вақтнинг ўзида контакт ҳалқаларни қисқа туташтиришга имкон беради (23.3- расмга қаранг).

Контакт ҳалқали двигатель роторининг чулғами статор чулғами ясалган схемалар бўйича ясалади. Чулғам, одатда, юлдуз усулида уланади, унинг учлари эса контакт ҳалқаларга туташтирилади. Бу ҳолда ротор пазлари ярим ёпиқ қилинади (14.9- расм, *б* га қаранг).



19.8- расм. Фаза роторли асинхрон двигателнинг контакт ҳалқалари:

1—чўян втулка; *2*—миканит; *3*—чўтка тутқич; *4*—контакт ҳалқалар; *5*—ротор чулғамига уланадиган ток ўтказгич пластинкалар; *6*—изоляцияловчи ҳалқалар.

Двигателнинг подшипник шчитлари подшипниклар учун таянч вазифасини ўтайди. Шчитлар статор корпусига болтлар ёрдамида маҳкамланади ва, корпус сингари, қуйма ёки пайвандланадиган қилинади.

Кичик қувватли асинхрон машиналарнинг корпуси ҳамда подшипник шчитлари, кўпинча, алюминий қотишмасидан қуйилади, бу эса двигателнинг вазнини камайтиради ва уни арзонлаштиради. Статор корпусига статор чулғамининг олтита учи чиқарилган учликлар қутиси ўрнатилади. Ротор чулғамининг учлари P_1, P_2, P_3 билан белгиланади.

Двигатель корпусига жадвалча маҳкамланган бўлиб, унда двигателнинг типи, тайёрловчи завод, ишлаб чиқарилган йили, шунингдек, двигателга оид номинал маълумотлар: фойдали қуввати, двигатель уланиши мумкин бўлган кучланишлар, ток қиймати, қувват коэффициенти, айланиш тезлиги ва ф. и. к. кўрсатилган бўлади.

XX боб

АСИНХРОН МАШИНАНИНГ ИШ ПРОЦЕССИ

20.1-§. Асинхрон двигателнинг чулғамларида ҳосил қилинадиган э. ю. к.

Асинхрон двигателнинг ишлаш принципидан кўриниб туриптики, ротор чулғами электр жиҳатдан статор чулғами билан боғланмаган. Бу чулғамлар орасида фақат магнитавий боғланиш бор ва бир чулғам энергияси иккинчисига магнитавий майдон воситасида узатилади. Шу жиҳатдан асинхрон двигатель статор чулғами бирламчи, ротор чулғами эса иккиламчи бўлган трансформаторга ўхшайди.

Асинхрон двигателнинг ишлаш процессида статор ва ротор чулғамларидаги токлар машинада иккита магнитловчи куч: роторнинг м. к. и ва статорнинг м. к. ини ҳосил қилади. Бу м. к. ларнинг двигателда биргаликда таъсир этишидан статорга *нисбатан синхрон тезлик* n_1 *билан айланадиган* умумий магнитавий оқим вужудга келади. Трансформатордаги каби бу магнитавий оқимни статор чулғами билан ҳам, ротор чулғами билан ҳам илашган асосий оқим Ф ва иккита сочилиш оқимларидан: статор чулғамининг сочилиш оқими Φ_{c_1} ва ротор чулғамининг сочилиш оқими Φ_{c_2} дан иборат деб қараш мумкин.

Двигатель чулғамларида қандай э. ю. к. лар ҳосил бўлишини кўриб чиқамиз.

С т а т о р ч у л ғ а м и д а. n_1 тезлик билан айланадиган асосий магнитавий оқим Ф статорнинг қўзғалмас чулғамида каталиги (15.16) ифодадан аниқланадиган э. ю. к. E_1 ҳосил қилади:

$$E_1 = 4{,}44\, f\, \Phi w_1 k.$$

Статорнинг сочилиш магнитавий оқими Φ_{c_1} статор чулғамида сочилиш э. ю. к. и E_{c_1} ни вужудга келтиради, унинг қиймати статор чулғамида кучланишнинг индуктив тушиши билан аниқланади:

$$-\dot{E}_{c_1} = j\dot{I}_1 x_1 \qquad (20.1)$$

бунда x_1 — статор чулғами битта фазасининг сочилиш индуктив қаршилиги.

Бундан ташқари, статор чулғамидаги ток I_1 актив қаршиликда кучланиш тушишини вужудга келтиради:

$$\dot{E}_r = \dot{I}_1 r_1 \qquad (20.2)$$

бунда r_1 — статор чулғами битта фазасининг актив қаршилиги.

Шундай қилиб, статор чулғамига берилган тармоқ кучланиши U_1 шу чулғамда ҳосил қилинган э. ю. к. лар йиғиндиси билан мувозанатлашади:

$$\dot{U}_1 = (-\dot{E}_1) + (-\dot{E}_{c_1}) + \dot{E}_r,$$

ёки

$$\dot{U}_1 = (-\dot{E}_1) + j\dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1 \qquad (20.3)$$

(20.3) ифода асинхрон двигатель статор чулғамининг э. ю. к. и тенгламасидир.

Ротор чулғамида. Двигателнинг ишлаш процессида ротор статорнинг магнитавий майдони айланадиган томонга n_2 тезлик билан айланади. Шунинг учун статор майдонининг роторга нисбатан айланиш тезлиги тезликлар айирмаси $n_1 - n_2$ га тенг. Статор чулғамининг асосий магнитавий оқими Ф роторни $n_1 - n_2$ тезлик билан қувиб ўтиб, ротор чулғамида э. ю. к. ҳосил қилади:

$$E_{2s} = 4{,}44 f_2 \Phi w_2 k_2 \qquad (20.4)$$

бунда k_2 — ротор чулғамининг чулғам коэффициенти;
w_2 — ротор чулғами битта фазасининг кетма-кет уланган ўрамлари сони;
f_2 — э. ю. к. E_{2s} нинг частотаси.

Частота f_2 статор магнитавий майдонининг роторга нисбатан айланиш тезлиги $n_1 - n_2$ ва статор чулғамининг қутб жуфтлари сони билан аниқланади:

$$f_2 = \frac{p(n_1 - n_2)}{60} \qquad (20.5)$$

(20.5) ифодани ўзгартириб, қуйидагини оламиз:

$$f_2 = \frac{p(n_1 - n_2)}{60} \cdot \frac{n_1}{n_1} = \frac{p \cdot n_1}{60} \cdot \frac{n_1 - n_2}{n_1} = f_1 s, \qquad (20.6)$$

яъни ротор чулғамидаги э. ю. к. частотаси сирпанишга пропорционалдир.

Кўпчилик асинхрон двигателлар учун бу частота катта эмас ва $f_1 = 50$ *гц* бўлганда у бир неча герцдан ошмайди. Масалан, сирпаниш $s = 0{,}05$ ва $f_1 = 50$ *гц* бўлганда ротор чулғамидаги э. ю. к. частотаси $f_2 = 0{,}05 \cdot 5 = 2{,}5$ *гц* га тенг.

(20.4) формулага (20.6) ифодани қўйсак, қуйидагини оламиз:

$$E_{2s} = 4{,}44\, f_1 s \Phi w_2 k_2 = E_2 s \tag{20.7}$$

Бу ерда E_2 сирпаниш $s_1 = 1$, яъни ротор қўзғалмас бўлганда ротор чулғамида ҳосил бўлган э. ю. к ни билдиради.

Роторнинг сочилиш оқими Φ_{c_2} ротор чулғамида сочилиш э. ю. к. и E_{c_2} ни вужудга келтиради, унинг қиймати шу чулғамда кучланишнинг индуктив тушиши билан аниқланади:

$$\dot{E}_{c_2} = -j\dot{I}_2 s x_2 \tag{20.8}$$

бунда x_2 — ротор қўзғалмас бўлганда ($s = 1$) чулғамнинг сочилиш индуктив қаршилиги.

Двигателнинг ишлаш жараёнида ротор қисқа туташтирилганлиги сабабли ротор занжиридаги э. ю. к. йиғиндиси нолга тенг, яъни

$$s\dot{E}_2 - j\dot{I}_2 s x_2 - \dot{I}_2 r_2 = 0 \tag{20.9}$$

бунда r_2 — ротор занжирининг актив қаршилиги.

(20.9) тенгликнинг барча ҳадларини s га бўлиб, ротор чулғамининг занжири учун э. ю. к. тенгламасини оламиз:

$$\dot{E}_2 - j\dot{I}_2 x_2 - \dot{I}_2 \frac{r_2}{s} = 0 \tag{20.10}$$

20.2-§. Асинхрон двигателнинг магнитловчи кучлари ва токлари тенгламалари

Асинхрон двигателда асосий магнитавий оқим Ф статор чулғамининг магнитловчи кучи F_1 билан ротор чулғамининг м. к. и F_2 нинг биргаликда таъсир этишидан ҳосил бўлади:

$$\Phi = \frac{F_1 + F_2}{R_м} = \frac{F_0}{R_м}$$

бунда $R_м$ — двигатель магнитавий системасининг оқим Ф га кўрсатадиган магнитавий қаршилиги;

$F_0 = F_1 + F_2$ — асинхрон двигателнинг умумий м. к. и, бу куч сон жиҳатдан статор чулғамининг салт ишлаш режимидаги м. к. и га тенг бўлади.

Бу м. к. нинг қиймати (16.1) га ўхшаш ифода билан аниқланади:

$$F_0 = 0{,}45\, m_1 \frac{I_0 w_1}{p} K_1 \tag{20.11}$$

бунда I_0 — салт ишлаш токи, яъни салт ишлаш режимида статор чулғамидаги ток.

Статор ва ротор чулғамларининг двигатель нагрузка билан ишлаш режимидаги магнитловчи кучлари:

$$F_1 = 0{,}45 m_1 \frac{I_1 w_1}{p} K_1 \tag{20.12}$$

$$F_2 = 0{,}45 m_2 \frac{I_2 w_2}{p} K_2 \tag{20.13}$$

бунда m_2 — ротор чулғамидаги фазалар сони,

K_2 — ротор чулғамининг чулғам коэффициенти.

Двигатель валига тушадиган нагрузка ўзгарганида чулғамлардаги I_1 ва I_2 токлар ўзгаради, бу эса статор ва ротор чулғамларидаги магнитловчи кучларнинг тегишлича ўзгаришига олиб келади. Лекин бунда асосий магнитавий оқим Ф ўзгармай қолади. Гап шундаки, статор чулғамига берилган кучланиш ўзгармасдир (U_1 = const) ва статор чулғамининг э. ю. к. и E_1 билан деярли батамом мувозанатлашади (20.3):

$$\dot U_1 \approx (-\dot E_1)$$

Лекин э. ю. к. E_1 асосий магнитавий оқим Ф га пропорционал (15.16) бўлгани сабабли нагрузка ўзгарганида оқим ўзгармай қолади. Бу ҳолни м. к. F_1 ва F_2 ларнинг ўзгаришига қарамай умумий м. к. F_0 нинг ўзгармаслиги билан изоҳлаш мумкин:

$$\dot F_0 = \dot F_1 + \dot F_2 = \text{const}.$$

F_0, F_1 ва F_2 лар ўрнига уларнинг (20.11), (20.12) ва (20.13) даги қийматларини келтириб қўйсак, $0{,}45\, m_1 \frac{I_0 w_1}{p} K_1 = 0{,}45\, m_1 \frac{I_1 w_1}{p} K_1 + 0{,}45 m_2 \frac{I_2 w_2}{p} K_2$ ни оламиз. Бу тенгликни $m_1 \frac{w_1}{p} K_1$ га бўлиб, асинхрон двигателнинг токлар тенгламасини ҳосил қиламиз:

$$\dot I_0 = \dot I_1 + \frac{m_2 w_2 K_2}{m_1 w_1 K_1} \dot I_2 = \dot I_1 + \dot I_2'. \tag{20.14}$$

$\dot I_2' = \frac{m_2 w_2 K_2}{m_1 w_1 K_1} \dot I_2$ катталик *статор чулғамига келтирилган ротор токидир.*

(20.14) тенгламани ўзгартириб, статор токининг ифодасини ҳосил қиламиз:

$$\dot I_1 = \dot I_0 + (-\dot I_2') \tag{20.15}$$

Бундан кўриниб турибтики, асинхрон двигатель статори токининг иккита ташкил этувчиси $\dot I_0$ — магнитловчи ташкил этувчиси ва $\dot I_2'$ — ротор токининг магнитсизловчи таъсирини компенсациялайдиган ташкил этувчиси бўлади.

Демак, ротор токи $\dot I_2$ двигателнинг магнитавий системасига трансформатор иккиламчи чулғамининг токи каби (10.3- §

га қаранг) магнитсизловчи таъсир кўрсатади. Двигатель валига тушадиган нагрузканинг ҳар қандай ўзгаришида статор чулғамидаги ток I_1 нинг тегишлича ўзгаришини худди ана шу билан изоҳлаш мумкин. Гап шундаки, двигатель валига тушадиган нагрузка ўзгарганида сирпаниш s ўзгаради. Бу ўз навбатида ротор чулғамининг э. ю. к. и га (20.7) ва, бинобарин, ротор токи I_2 нинг қийматига ҳам таъсир этади. Лекин ток I_2 двигателнинг магнитавий занжирига магнитсизловчи таъсир этиши сабабли унинг ўзгариши статор занжирида ток I_1 нинг $-I_2'$ ташкил этувчи ҳисобига тегишлича ўзгаришини келтириб чиқаради. Масалан, двигатель валига нагрузка тушмайдиган ва $s \approx 0$ бўладиган салт ишлаш режимида ток $I_2' \approx 0$ бўлади.

Бу ҳолда статор чулғамидаги ток $I_1 \approx I_0$. Агар статор чулғамини тармоқдан узмасдан туриб ротор тормозланса (қисқа туташув режими), сирпаниш $s = 1$ ва ротор чулғамининг э. ю. к. и E_{2s} ўзининг энг катта қиймати E_2 га эришади, Ток I_2' ва, бинобарин, статор чулғамидаги ток I_1 ҳам ўзининг энг катта қийматига етади.

20.3- §. Ротор чулғамининг параметрларини статор чулғамига келтириш

Статор ва ротор чулғамлари катталикларининг векторларини биз трансформаторлар учун қилганимиз каби битта вектор диаграммада тасвирлаш мумкин бўлсин учун ротор чулғамининг параметрларини статор чулғамига келтириш керак. Бунда роторнинг фазалар сони m_2, чулғам коэффициенти K_2 ва фазадаги ўрамлар сони w_2 бўлган чулғамини m_1, K_1 ва w_1ли чулғамга алмаштирилади. Бундай алмаштиришда ротордаги энергетикавий баланс ўзгармасдан қолиши керак, яъни келтирилган роторда қувватлар ва векторларнинг фаза бўйича силжиш бурчаклари келтирилгунга қадар бўлган ҳолида қолиши керак.

Шундай қилиб, ротор чулғамининг параметрларини статор чулғамига келтириш трансформаторнинг иккиламчи чулғами параметрларини бирламчи чулғамга келтиришга (10.4- § га қаранг) ўхшайди.

Ротор чулғамининг реал параметрлари қуйидаги формулалар асосида келтирилган параметрларга айлантирилади.

Роторнинг $s = 1$ даги келтирилган э. ю. к. и

$$E_2' = E_2 K_e, \tag{20.16}$$

бунда $K_e = \frac{E_1}{E_2} = \frac{K_1 w_1}{K_2 w_2}$ — ротор қўзғалмас бўлганда ($s = 1$) асинхрон машинада кучланишни трансформациялаш коэффициенти.

Роторнинг келтирилган токи

$$I_2' = I_2 \frac{1}{K_I} \quad (20.17)$$

бунда $K_I = \frac{m_1 w_1 K_1}{m_2 w_2 K_2} = \frac{m_1}{m_2} K_e$ — асинхрон машинада токни трансформациялаш коэффициенти.

Трансформаторлардан фарқли равишда, асинхрон двигателларда кучланиш бўйича K_e ва ток бўйича K_I трансформациялаш коэффициенти бир-бирига тенг эмас, чунки умумий ҳолда статор чулғамидаги фазалар сони m_1 билан ротор чулғамидаги фазалар сони m_2 бир хил эмас; $m_1 = m_2$ бўладиган фаза роторли двигателлардагина бу коэффициентлар бир-бирига тенг бўлади.

Ротор чулғамининг актив ва индуктив келтирилган қаршиликлари

$$r_2' = r_2 K_e K_I \quad (20.18)$$

$$x_2' = x_2 K_e K_I \quad (20.19)$$

Роторнинг қисқа туташтирилган чулғамида фазалар сони m_2 билан ўрамлар сони w_2 ни аниқлашнинг ўзига хос баъзи хусусиятларига (19.5-расмга қаранг) эътибор бериш лозим.

Бу чулғамнинг ҳар қайси стерженини фаза чулғами деб қараш мумкин. Шунинг учун ротор чулғамининг битта фазасидаги ўрамлар сони қуйидагига тенг деб қабул қилинади:

$$w_2 = \frac{1}{2};$$

ротор чулғамининг чулғам коэффициенти $K_2 = 1$, фазалар сони m_2 эса стерженлар сонига тенг деб қабул қилинади:

$$m_2 = Z_2$$

20.4-§. Асинхрон двигателнинг вектор диаграммаси

Асинхрон двигатель учун ҳам, трансформатор учун бўлгани каби токлар ва э. ю. к. ларнинг вектор диаграммасини қуриш мумкин. Диаграмма э. ю. к. тенгламалари (20.3), (20.10) ва токлар тенгламаси (20.15) асосида қурилади. Ясашлар қулай бўлсин учун бу тенгламаларни қайтадан ёзамиз, бунда ротор занжири учун э. ю. к. тенгламасини келтирилган кўринишда ёзамиз:

$$\dot{U} = (-\dot{E}_1) + j\dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1;$$

$$0 = \dot{E}_2' - j\dot{I}_2 x_2' - \dot{I}_2' \frac{r_2'}{s},$$

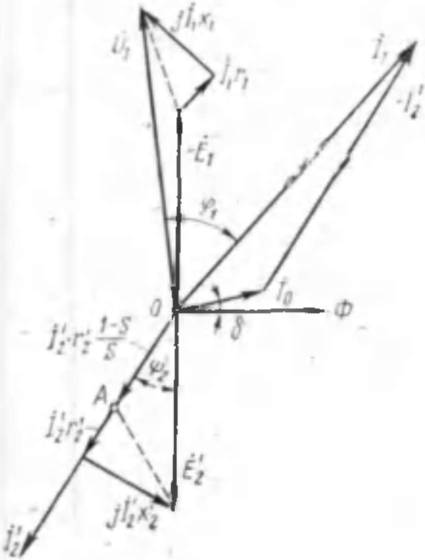
$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2').$$

$\frac{r_2'}{s}$ катталикни қуйидагича кўрсатиш мумкин:

$$\frac{r_2'}{s} = \frac{r_2'}{s} - \frac{r_2's}{s} + r_2' = r_2' + r_2'\frac{1-s}{s}, \qquad (20.20)$$

у ҳолда ротор занжири учун э. ю. к. тенгламаси ушбу кўринишга келади:

$$0 = \dot{E}_2' - j\dot{I}_2'x_2' - \dot{I}_2'r_2' - \dot{I}_2'r_2'\frac{1-s}{s} \qquad (20.21)$$



20.1- расм. Асинхрон двигателнинг вектор диаграммаси.

Э. ю. к. $\dot{E}_2'$ билан ротор токи $\dot{I}_2'$ орасидаги фаза бўйича силжиш бурчаги қуйидаги формуладан аниқланади:

$$\Psi_2 = \operatorname{arc\,tg}\frac{x_2 s}{r_2'} \qquad (20.22)$$

Асинхрон двигателнинг вектор диаграммаси трансформаторнинг тенгламаларига ўхшаш э. ю. к. ва токлар тенгламалари асосида қурилганлиги сабабли бу диаграммани қуриш тартиби трансформаторнинг вектор диаграммасини қуриш тартибига (10.6-§ га қаранг) ўхшайди.

20.1- расмда асинхрон двигателнинг вектор диаграммаси кўрсатилган. У трансформаторнинг вектор диаграммасидан фақат шу билан фарқ қиладики, ротор чулғамида (иккиламчи чулғамда) кучланишлар тушишининг йиғиндаси $u_2 = 0$ да ротор чулғамининг э. ю. к. и E_2' билан мувозанатлашади. Бунга сабаб шуки, ротор чулғами трансформаторнинг иккиламчи чулғами сингари нагрузкага уланган эмас, балки қисқа туташтирилган. Лекин, агар кучланиш тушиши $OA = \dot{I}_2'r_2'\frac{1-s}{s}$ ни ротор чулғамининг клеммаларига уланган маълум нагрузка $r_2'\frac{1-s}{s}$ даги кучланиш сифатида қаралса, у ҳолда асинхрон двигателнинг вектор диаграммасини иккиламчи чулғамининг клеммаларига ўзгарувчан қаршилик $r_2'\frac{1-s}{s}$ уланган трансформаторнинг вектор диаграммаси сифатида қараш мумкин. Бош-

қача айтганда, асинхрон двигатель электр жиҳатдан актив нагрузка $r_2 \frac{1-s}{s}$ да ишлайдиган трансформаторга ўхшайди.

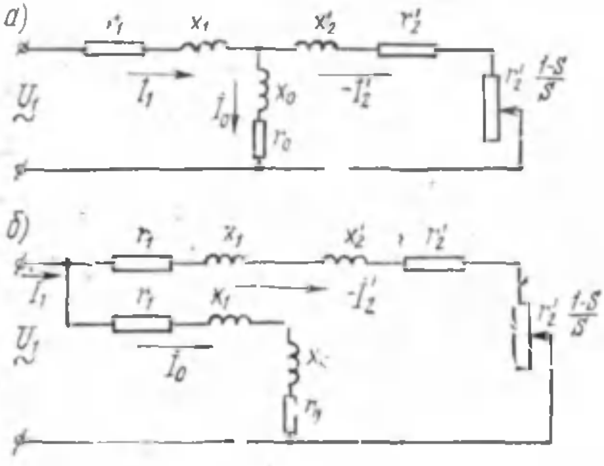
Бундай трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги қувват

$$P_2' = m_1 I_1'^2 r_2' \frac{1-s}{s} \qquad (20.23)$$

асинхрон двигатель ҳосил қиладиган *тўла механикавий қувват* бўлади.

20.5- §. Асинхрон двигателни алмаштириш схемаси

Асинхрон двигателнинг э. ю. к. ва токлар тенгламасига, шунингдек, вектор диаграммасига (20.1- расм) *асинхрон двигателни алмаштириш схемаси* дейиладиган электр схема (20.2- расм, *а*) мос келади.



20.2- расм. Асинхрон двигателни алмаштириш схемаси.

Шундай қилиб, статор ва ротор занжирлари электромагнитавий боғланган асинхрон машина эквивалент электр схема билан алмаштирилди. Актив қаршилик $r_2' \frac{1-s}{s}$ ни қўзғалмас роторнинг чулғамига уланган ташқи қаршилик сифатида қараш мумкин. Бу ҳолда асинхрон машина актив нагрузкали трансформатор сифатида ишлайди. Қаршилик $r_2' \frac{1-s}{s}$ схеманинг ягона ўзгарувчан параметри ҳисобланади.

Бу қаршиликнинг қиймати сирпаниш, бинобарин, асинхрон двигателнинг валига тушадиган механикавий нагрузка билан аниқланади. Масалан, агар двигатель валидаги нагрузка мо-

менти $M_2 = 0$ бўлса, у ҳолда сирпаниш $s \approx 0$. Бунда $r_2' \frac{1-s}{s} = \infty$, бу ҳол двигателнинг салт ишлаш режимида ишлашига мос келади. Агар двигатель валига тушадиган нагрузка моменти унинг айлантирувчи моментидан катта бўлса, у ҳолда двигателнинг ротори тўхтайди ($s = 1$). Бунда $r_2' \frac{1-s}{s} = 0$, бу асинхрон двигателнинг қисқа туташув режимига мос келади.

Асинхрон двигателни алмаштиришнинг ҳосил қилинган схемасини ўзгартириб, анча оддий кўринишга келтириш мумкин. Шу мақсадда магнитловчи контур $Z_0 = r_0 + jx_0$ умумий клеммаларга чиқарилади. Бунда магнитловчи ток I_0 нинг қиймати ўзгармасин учун r_1 ва x_1 қаршиликлар кетма-кет уланади (20.2- расм, б). Алмаштиришнинг ҳосил қилинган схемасида статор ва ротор контурларининг қаршиликлари кетма-кет уланган бўлади; улар ишчи контурни ҳосил қилади, магнитловчи контур ана шу контурга параллел уланган бўлади. Ишчи контурдаги ток қиймати

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(r_1 + r_2' + r_2' \frac{1-s}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

ёки (20.20) ифодадан фойдалансак,

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2}}, \qquad (20.24)$$

бунда U_1 — статор чулғамига бериладиган фаза кучланиши.

XXI боб

АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ ЭЛЕКТРОМАГНИТАВИЙ МОМЕНТИ ВА ИШ ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

21.1- §. Асинхрон двигателдаги исрофлар ва унинг ф. и. к. и

Асинхрон двигателда энергияни ўзгартириш, бошқа электр машиналаридаги каби, энергия исрофлари билан боғлиқ. Бу исрофлар механикавий, магнитавий ва электр исрофларга бўлинади.

Тармоқдан статор чулғамига қувват P_1 келади. Бу қувватнинг бир қисми статор ўзагидаги *магнитавий исрофлар* p_{n_1} ни, шунингдек, статор чулғамида чулғамнинг қизиб кетиши билан боғлиқ бўлган *электр исрофларни* қоплашга сарфланади:

$$p_{э_1} = m_1 I_1^2 r_1 \qquad (21.1)$$

Қувватнинг қолган қисми магнитавий оқим ёрдамида роторга узатилади ва шу сабабли *электромагнитавий қувват* дейилади:

$$P_{эм} = P_1 - (p_{п1} + p_{э1}) \qquad (21.2)$$

Электромагнитавий қувватнинг бир қисми *ротор чулғамидаги электр исрофларни* қоплашга сарфланади:

$$p_{э2} = m_2 I_2^2 r_2 = m_1 I'^2_2 r'_2. \qquad (21.3)$$

Электромагнитавий қувватнинг қолган қисми двигателнинг механикавий қувватига айланади ва *тўла механикавий қувват* дейилади:

$$P'_2 = P_{эм} - p_{э2} \qquad (21.4)$$

(21.3) формуладан фойдаланиб, тўла механикавий қувватнинг қуйидаги ифодасини ҳосил қилиш мумкин:

$$P'_2 = m_1 I'^2_2 r'_2 \frac{1-s}{s} = p_{э2} \frac{1-s}{s}$$

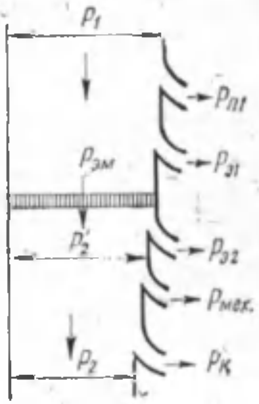
Олинган ифодани (21.4) формулага қўйсак,

$$p_{э2} \frac{1-s}{s} = P_{эм} - p_{э2}$$

Бу тенгламани ўзгартириб қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$p_{э2} = sP_{эм}, \qquad (21.5)$$

яъни *ротордаги электр исрофлар қуввати сирпанишга пропорционалдир.* Шунинг учун асинхрон двигателнинг ишлаши сирпанишнинг кичик қийматларида анча тежамли бўлади.



21.1- расм. Асинхрон двигатель қувватининг айланиш диаграммаси.

Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, двигатель роторида магнитавий исрофлар ҳам вужудга келади, лекин ротор токининг частотаси кичик ($f_2 = f_1 s$) бўлганлиги сабабли бу исрофлар ҳисобга олмаса бўладиган даражада кам бўлади.

Двигатель валидаги механикавий қувват P_2 тўла механикавий қувват P'_2 дан *механикавий* $p_{мех}$ ва қўшимча $p_{қўш}$ исрофлар қиймати қадар кам бўлади:

$$P_2 = P'_2 - (p_{мех} + p_{қўш}) \qquad (21.6)$$

Асинхрон двигателдаги механикавий исрофлар подшипниклардаги ишқаланишлар ва айланувчи қисмларнинг ҳавога ишқаланишидан юзага келади. Қўшимча исрофлар двигателда сочилиш майдонининг борлиги ва ротор ҳамда статор тишларида майдоннинг пульсацияланишидан вужудга келади.

Шундай қилиб, асинхрон двигателнинг фойдали қуввати

$$P_2 = P_1 - \sum p,$$

бунда $\sum p$ — асинхрон двигателдаги исрофлар йиғиндиси.

$$\sum p = p_{п1} + p_{э1} + p_{э2} + p_{мех} + p_{қўш} \quad (21.7)$$

21.1- расмда асинхрон двигателнинг энергетикавий диаграммаси кўрсатилган. Унинг фойдали иш коэффициенти

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{\sum p}{P_1} \quad (21.8)$$

Коллектори йўқлиги сабабли асинхрон двигателларнинг ф. и. к. и ўзгармас ток двигателлариникидан юқори бўлади. Асинхрон двигателларнинг ф. и. к. лари уларнинг қувватига қараб номинал нагрузкада 83 дан 95% гача оралиқда бўлиши мумкин (юқори чегара катта қувватли двигателларга мос келади).

Мисол. Уч фазали асинхрон двигатель валида номинал нагрузка бўлганда $P_1 = 10$ *квт* қувват истеъмол қилади, 380 *в* кучланишда двигателга оид маълумотлар қуйидагича: $s_н = 4\%$, $\cos\varphi_н = 0{,}8$, $p_{мех} = 3\%$, $p_{п1} = 3{,}3\%$ ва $p_{қўш} = 0{,}5\%$ (P_1 га нисбатан). $r_{75} = 0{,}28$ *ом*, статор чулғами юлдуз усулида уланган. Двигателнинг номинал нагрузкасидаги ф. и. к. и ни аниқланг.

Ечилиши. Статорнинг фаза чулғамидаги ток

$$I_{1н} = \frac{P_1 \cdot 10^3}{m_1 U_1 \cos\varphi_н} = \frac{10 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0{,}8} = 19 \ a;$$

статор чулғамидаги электр исрофлар

$$p_{э1} = m_1 I_{1н}^2 r_{75} = 3 \cdot 19^2 \cdot 0{,}28 = 300 \ вт;$$

статор ўзагидаги магнитавий исрофлар

$$p_{п1} = 0{,}033 \cdot 10\,000 = 330 \ вт;$$

двигателнинг электромагнитавий қуввати

$$P_{эм} = P_1 - (p_{п1} + p_{э1}) = 10000 - (330 + 300) = 9370 \ вт;$$

ротордаги электр исрофлар

$$p_{э2} = s_н P_{эм} = 0{,}04 \cdot 9370 = 375 \ вт;$$

механикавий исрофлар

$$p_{мех} = 0{,}03 \cdot 10000 = 300 \ вт;$$

қўшимча исрофлар

$$p_{қўш} = 0{,}005 \cdot 10000 = 50 \ вт;$$

исрофлар йиғиндиси

$$\sum p = 330 + 300 + 375 + 300 + 50 = 1355 \ вт = 1{,}355 \ квт.$$

двигателнинг ф. и. к. и $\eta_н = 1 - \frac{\sum p}{P_1} = 1 - \frac{1{,}355}{10} = 0{,}865$ ёки 86,5%.

21.2- §. Асинхрон двигателнинг электромагнитавий моменти

Асинхрон двигателнинг электромагнитавий моменти ротор чулғамидаги токнинг айланувчан магнитавий майдон билан ўзаро таъсиридан вужудга келади. Электромагнитавий момент M электромагнитавий қувватга пропорционалдир.

$$M = \frac{P_{эм}}{\omega_1} \qquad (21.9)$$

бунда $\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60}$ — статор магнитавий майдонининг айланиш бурчак тезлиги.

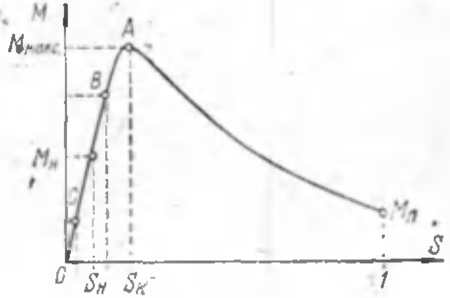
Синхрон тезлик $n_1 = \frac{f_1 60}{p}$ бўлганлиги сабабли,

$$\omega_1 = \frac{2\pi f_1 60}{60\,p} = \frac{2\pi f_1}{p}.$$

(21.9) ифодага электромагнитавий қувватнинг қийматини (21.5) формуладан келтириб қўйсак, қуйидагини оламиз:

$$M = \frac{P_{э2}}{\omega_1 s} = \frac{m_1 I_2'^2 r_2'}{\omega_1 s} \qquad (21.10)$$

яъни асинхрон двигателнинг электромагнитавий моменти ротор чулғамидаги электр исрофлар қувватига пропорционалдир.



21.2- расм. Асинхрон двигателнинг механикавий характеристикаси.

(21.10) формулага (20.24) формуладан ток I_2' нинг қийматини, шунингдек, $\omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p}$ қийматни келтириб қўйсак қуйидагини оламиз:

$$M = \frac{m_1 p U_1^2 \frac{r_2'}{s}}{2\pi f_1 \left[\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2\right]} [н \cdot м] \qquad (21.11)$$

Агар бу ифоданинг махражига 9,81 ни қўйсак, у ҳолда момент ифодасини $кГ/м$ ларда оламиз.

Моментнинг ифодаси (21.11) двигатель электромагнитавий моментининг сирпанишга боғлиқлик графиги $M = f(s)$ ни қуришга имкон беради, бу график двигателнинг *механикавий характеристикаси* (21.2- расм) дейилади. Двигателнинг механикавий характеристикасини қуришда (21.11) формулага ки-

рувчи барча катталиклар, сирпаниш s дан ташқари, ўзгармасдир деган қоидага асосланилади, чунки $m_1 r_1 r'_{21} x_1$ ва x'_2 катталикларни двигатель конструкцияси белгилайди, f_1 ва U_1 лар эса двигателни таъминловчи тармоқнинг ўзгармас параметрлари ҳисобланади.

Двигателни ишга тушириш пайтида $n_2 = 0$ ва $s = 1$. Бунда вужудга келадиган *ишга тушириш моменти*

$$M_{и.т.} \frac{m_1 p U_1^2 r_2}{2\pi f_1 \left[(r_1 + r_2^1)^2 + (x_1 + x_2')^2\right]} \tag{21.12}$$

Момент $M_{и.т.}$ таъсирида двигателнинг ротори айлантирилади, бунда сирпаниш камаяди, момент эса ортади. $s_к$ сирпанишда момент максимал қийматига етади. *Критик* сирпаниш $s_к$ нинг максимал моментга мос келадиган қийматини топиш учун момент ифодасидан (21.11) s бўйича ҳосила олиб, уни нолга тенглаштириш керак:

$$\frac{dM}{ds} = 0$$

Бундан изланаётган қийматни топамиз:

$$s_к = \pm \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}} \tag{21.13}$$

Бу ерда „плюс“ ишора асинхрон машинанинг двигатель режимида ишлашига мос келади.

Одатда, $(x_1 + x_2')$ нинг 10—12 процентидан ошмайдиган қаршилик r_1 нинг қийматини эътиборга олмасак, критик сирпанишнинг анча оддий ифодасини ҳосил қиламиз:

$$s_к \approx \pm \frac{r_2'}{x_1 + x_2'} \tag{21.14}$$

Критик сирпанишнинг қийматини (21.13) дан (21.11) ифодага келтириб қўйсак, асинхрон двигатель *максимал* электромагнитавий моментининг формуласи келиб чиқади:

$$M_{макс} = \frac{m_1 p_1 U_1^2}{4\pi f_1 \left[r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}\right]} \tag{21.15}$$

Механикавий характеристика $M = f(s)$ ни анализ қилишга қайтайлик. Моментнинг қиймати $M_{макс}$ га етгандан кейин роторнинг айланиш тезлиги ортишда давом этади, момент эса камая бошлайди. Бу ҳол электромагнитавий момент қарши таъсир этувчи моментлар йиғиндисига тенг бўлгунга қадар давом этади:

$$M = M_0 + M_2 = M_{ст},$$

бундан M_0 — салт ишлаш моменти;

M_2 — фойдали нагрузка моменти, яъни двигатель валидаги момент.

Валдаги қарши таъсир этувчи момент M_2 двигателнинг номинал нагрузкасига мос келади, деб фараз қилайлик.

Бу ҳолда двигателнинг барқарор иш режими механикавий характеристикада координаталари $M = M_н$ ва $s = s_н$ бўлган нуқта билан аниқланади, бунда $M_н$ ва $s_н$ электромагнитавий момент ва сирпанишнинг номинал қийматлари.

Механикавий характеристикани анализ қилишдан яна шундай хулоса ҳам келиб чиқадики, асинхрон двигатель сирпаниш $s < s_к$ бўлганда, яъни механикавий характеристиканинг OA қисмида барқарор ишлаши мумкин. Гап шундаки, ана шу участкада двигателнинг валидаги нагрузка ўзгарганида электромагнитавий момент ҳам тегишлича ўзгаради. Масалан, агар двигатель номинал режим ($M_н$; $s_н$) да ишлаётган бўлса ва двигатель валидаги нагрузка моменти M_2 кўпайса, у ҳолда моментларнинг тенглиги бузилади.

$$M_Н < M_0 + M_2$$

ва роторнинг айланиш тезлиги камая бошлайди (сирпаниш орта бошлайди). Лекин бу электромагнитавий моментнинг ортишига олиб келади. Момент M қарши таъсир этувчи моментлар йиғиндисига тенг бўлгунча ортиб боради. Шундан кейин двигателнинг ишлаш режими, гарчи момент ва сирпанишнинг бошқа қийматларига мос келса ҳам, барқарор бўлиб қолади (21.2- расмдаги B нуқта). Валдаги нагрузка моменти ўзининг номинал қиймати $M_Н$ гача камайганда

$$M_н > M_0 + M_2$$

роторнинг тезлиги орта бошлайди (сирпаниш камаяди).

Бунинг натижасида электромагнитавий момент қарши таъсир этувчи моментлар йиғиндисига тенг қийматгача камаяди ва двигателнинг барқарор ишлаш режими момент ва сирпанишнинг бошқа қийматларида (C нуқта) тикланади.

Асинхрон двигателнинг ишлаши сирпанишнинг $s \geqslant s_к$ қийматларида беқарор бўлади. Масалан, агар двигателнинг электромагнитавий моменти $M = M_{макс}$, сирпаниш эса $s = s_к$ бўлса, у ҳолда нагрузка моменти M_2 озгина кўпайганда ҳам s ортади, бинобарин, электромагнитавий момент камаяди. Бунинг натижасида сирпаниш яна орта бошлайди ва ҳоказо.

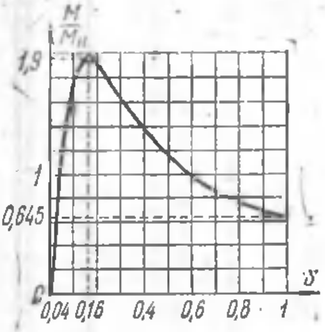
Бу ҳол сирпаниш s бирга тенг бўлгунча, яъни двигателнинг ротори тўхтагунча давом этади.

Шундай қилиб, электромагнитавий момент максимал қийматига етганда двигателнинг барқарор ишлаш чегараси вужудга келади. Демак, асинхрон двигателнинг барқарор ишлаши учун номинал момент максимал моментдан кам бўлиши зарур. Бу ҳолда двигатель фақат номинал нагрузкада барқа-

рор ишлайдигина эмас, балки қисман ортиқча нагрузкаларга ҳам чидайди, бу ҳол двигателнинг электр юритмада ишончли ишлаши учун зарурдир. Бошқача айтганда, двигатель *ўта юкланиш қобилиятига* эга бўлиши керак, у максимал момент $M_{макс}$ нинг номинал момент $M_н$ га нисбати билан аниқланади. Умумий мақсадларда ишлатиладиган асинхрон двигателлар учун,

$$\frac{M_{макс}}{M_н} = 1{,}7-2{,}5.$$

Шунга ҳам эътибор бериш керакки, асинхрон двигателнинг ишлаши сирпаниш $s < s_к$ бўлганда, яъни механикавий характеристиканинг иш участкасида энг тежамли бўлади, чунки у сирпанишнинг кичик қийматларига, бинобарин, ротор чулғамидаги электр исрофлар кам бўлган $p_{э2} = sP_{эм}$ ҳолга мувофиқ келади.



21.3- расм. Мисолга доир.

Баъзан электромагнитавий момент нисбий бирликларда, момент M нинг берилган қийматларининг унинг номинал қиймати $M_н$ га нисбати сифатида ифодаланади.

Бу ҳолда механикавий характеристика $\frac{M}{M_н} = f(s)$ боғланишдан иборат бўлади, унда моментнинг номинал қиймати эса ординаталар ўқидаги бир (21.3- расм) билан аниқланади.

Мисол. Уч фазали асинхрон двигатель $f_1 = 50$ *гц* частотада кучланиши $U_1 = 220$ *в* бўлган тармоқдан ток олиб ишлайди. Номинал нагрузкада роторнинг айланиш тезлиги $n_1 = 720$ *айл/минут* (синхрон тезлик $n_1 = 750$ *айл/минут*). Двигатель чулғамига оид маълумотлар қуйидагича: $r_1 = 0{,}13$ *ом*; $x_1 = 0{,}50$ *ом*; $r_2' = 0{,}15$ *ом*; $x_2' = 0{,}46$ *ом*. Двигателнинг механикавий характеристикасини қуриш талаб этилади.

Ечилиши. Номинал сирпаниш

$$s_н = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{750 - 720}{750} = 0{,}04.$$

Статор чулғамидаги қутблар сони $2p = 8$. Электромагнитавий моментнинг номинал қиймати (21.11)

$$M_н = \frac{3\cdot 4 \cdot 220^2 \frac{0{,}15}{0{,}04}}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \left[\left(0{,}13 + \frac{0{,}15}{0{,}04}\right)^2 + (0{,}5 + 0{,}45)^2\right]} = 443\ н.м.$$

Сирпанишнинг критик қиймати (21.14).

$$s_к = \frac{0{,}15}{0{,}50 + 0{,}46} = 0{,}16$$

Электромагнитавий моментнинг максимал қиймати (21.15)

$$M_{\text{макс}} = \frac{3 \cdot 4 \cdot 220^2}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 50\,[0{,}13^2 + \sqrt{0{,}13^2 - (0{,}5+0{,}46)^2}]} = 845 \text{ н.м.}$$

Двигателнинг ўта юкланиш қобилияти

$$\frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{н}}} = \frac{845}{443} = 1{,}90.$$

Бошланғич ишга тушириш моменти (21.12)

$$M_{\text{иш-т}} = \frac{3 \cdot 4 \cdot 220^2 \cdot 0{,}15}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50[(0{,}13 + 0{,}15)^2 + (0{,}5 + 0{,}46)^2]} = 277 \text{ н. м.}$$

Механикавий характеристикани қуриш учун олинган маълумотлар етарли эмас, шунинг учун қўшимча равишда сирпанишга 0,02, 0,08, 0,2, 0,5 қийматларни бериб, (21.11) формуладан электромагнитавий моментнинг қатор қийматларини ҳисоблаб топамиз.

Ҳисоблаш натижаларини 21.1- жадвал тарзида ёзамиз ва нисбий бирликларда механикавий характеристикани қурамиз (21.3- расм).

21.1- жадвал

s	0	0,02	0,04	0,08	0,16	0,2	0,5	1
M, н.м	0	236	430	648	845	785	463	277
$\frac{M}{M_{\text{н}}}$	0	0,55	1	1,47	1,90	1,83	1,07	0,645

21.3-§. Тармоқ кучланишининг ва ротор чулғами актив қаршилигининг асинхрон двигателнинг механикавий характеристикасига таъсири

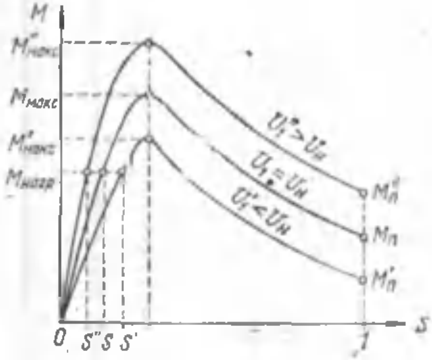
(21.11), (21.12) ва (21.15) ифодалардан кўриниб турибтики, асинхрон двигателнинг электромагнитавий моменти, шунингдек, унинг ишга тушириш ва максимал қийматлари статор чулғамига берилган кучланиш U_1 нинг квадратига пропорционалдир:

$$M \equiv U_1^2.$$

Шу билан бирга, (21.13) ифодани анализ қилиш критик сирпанишнинг қиймати кучланиш U_1 га боғлиқ эмаслигини кўрсатади. Бу ҳол кучланиш U_1 нинг турли қийматлари учун механикавий характеристикалар $M = f(s)$ ни қуришга имкон беради (21.4-расм); бу характеристикалардан кўриниб турибтики, кучланиш U_1 ўзининг номинал қийматига нисбатан ўзгарганида максимал ва ишга тушириш моментларигина эмас, балки айланиш тезлиги ҳам ўзгаради.

Буни тушуниб олиш учун механикавий характеристикалар $M = f(s)$ тўпламининг (21.4- расм) ординаталар ўқида нагрузка моменти $M_{\text{нагр}}$ нинг маълум бир қийматини белгилаймиз ва

абсциссалар ўқига параллел тўғри чизиқ ўтказамиз. Бу тўғри чизиқнинг характеристикалар билан кесишиш нуқталари валдаги ўзгармас нагрузкага, лекин турли кучланиш U_1 ларга мос келадиган сирпанишларни билдиради. Кучланиш камайиши билан сирпаниш кўпаяди (айланиш тезлиги камаяди).



21.4- расм. Кучланишнинг асинхрон двигателнинг механикавий характеристикасига таъсири.

Кучланиш U_1 нинг максимал момент қийматига таъсир этиши натижасида тармоқда кучланиш U_1 нинг мумкин бўлган ўзгаришлари асинхрон двигателнинг ўта юкланиш қобилиятини анча ўзгартиради.

Масалан, агар кучланиш U_1 номинал қиймати $U_{1н}$ га нисбатан 30% пасайса, яъни $U_1 = 0{,}7\ U_{1н}$ га тенг бўлса, у ҳолда двигателнинг максимал моменти қуйидаги қийматгача камаяди:

$$M'_{макс} = 0{,}7^2\ M_{макс} = 0{,}49\ M_{макс},$$

яъни икки мартадан кўпроқ камаяди.

Бунда двигателнинг ўта юкланиш қобилияти қанчага камаяди? Агар, масалан, номинал кучланишда $\frac{M_{макс}}{M_н} = 2$ бўлса, у ҳолда кучланиш 30% камайганида $\frac{M'_{макс}}{M_н} = \frac{0{,}49\ M_{макс}}{M_н} = 0{,}49 \times$

21.5- расм. Ротор чулғами актив қаршилигининг асинхрон двигатель механикавий характеристикасига таъсири: $r'_{2I} < r'_{2II} < r'_{2III} < r'_{2IV}$

$\times\ 2 = 0{,}98$, яъни двигатель ҳатто номинал нагрузкани ҳам кўтара олмайдиган бўлиб қолади.

(21.15) формуладан кўриниб турибдики, двигатель максимал моментининг қиймати актив қаршилик r'_2 га боғлиқ эмас. Критик сирпаниш $s_к$ га келсак, (21.13) формуладан кўриниб

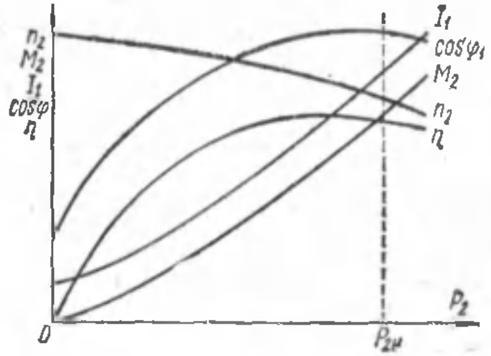
турибдики, у қаршилик r_2' га пропорционалдир. Шундай қилиб, агар асинхрон двигателда ротор занжирининг актив қаршилиги аста-секин ошириб борилса, у ҳолда максимал моментнинг қиймати ўзгармасдан қолади, критик сирпаниш эса кўпаяди (21.5 расм). Бунда двигателнинг ишга тушириш моменти $M_{и.т.}$ қаршилик r_2' нинг ортиши билан маълум қийматгача ортади.

21.5-расмда бу қаршилик r_{2m}' билан кўрсатилган, бунда ишга тушириш моменти максимал бўлади. Қаршилик r_2' янада ортганда ишга тушириш моменти камаяди.

21.5-расмда келтирилган $M = f(s)$ графикларни анализ қилиш ҳам қаршилик r_2' ўзгарганда айланиш тезлиги ўзгаришини кўрсатади: нагрузка моменти $M_{нагр}$ ўзгармас бўлганда қаршилик r_2' ортиши билан айланиш тезлиги камаяди (21.5-расмдаги *1*, *2*, *3* ва *4* нуқталар).

21.4-§. Асинхрон двигателнинг иш характеристикалари

Асинхрон двигателнинг иш характеристикалари $U_1 = \text{const}$ ва $f_1 = \text{const}$ бўлганда айланиш тезлиги n_2, фойдали иш коэффициенти η, фойдали момент M_2, қувват коэффициенти $\cos\varphi_1$ ва ток I_1 қийматининг фойдали қувват P_2 га боғлиқлик графикларидир. 22.6-расмда асинхрон двигателнинг иш характеристикалари кўрсатилган. Улардан баъзиларини кўриб чиқамиз.



21.6-расм. Асинхрон двигателнинг иш характеристикалари.

Т е з л и к х а р а к т е р и с т и к а с и $n_2 = f(P_2)$. Сирпанишнинг формуласи (19.1) дан $n_2 = n_1(1-s)$ келиб чиқади. Лекин шу билан бир вақтда (21.5) га мувофиқ.

$$s = \frac{p_э^2}{P_{эм}}, \tag{21.16}$$

яъни двигателнинг сирпаниши ва, бинобарин, унинг айланиш тезлиги ротордаги электромагнитавий исрофларнинг электромагнитавий қувват $P_{эм}$ га нисбати билан аниқланади.

Салт ишлаш исрофларини эътиборга олмасак, двигатель нагрузкасиз ишлаганда $p_{э2} \approx 0$, деб қабул қилиш мумкин, шунинг учун $s \approx 0$ ва $n_2 = n_1$. Нагрузка орта бориши билан (21.16) нисбат кўпая бориб, номинал нагрузкада унинг қиймати 0,01—0,06 га етади. Шунга мувофиқ ҳолда $n_2 = f(P_2)$ боғланиш абсциссалар ўқига салгина оғган эгри чизиқдан иборат бўлади.

Лекин роторнинг актив қаршилиги r_2' кўпайганда бу эгри чизиқнинг оғиш бурчаги ҳам ортади, яъни нагрузка P_2 ўзгариб турганда роторнинг айланиш тезлиги n_2 нинг ўзгаришлари ҳам кўпаяди. Бунга сабаб шуки, r_2' ортиши билан ротордаги электр исрофлар $P_{э2}$ кўпаяди (21.3).

$M_2 = f(P_2)$ боғланиш. Двигатель валидаги фойдали моментнинг қувват P_2 га боғлиқлиги қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega_2} = \frac{60\,P_2}{2\,\pi\,n_2}\ [н.\ м] \qquad (21.17)$$

ёки

$$M_2 = 0{,}975\,\frac{P_2}{n_2}\ [кГм],$$

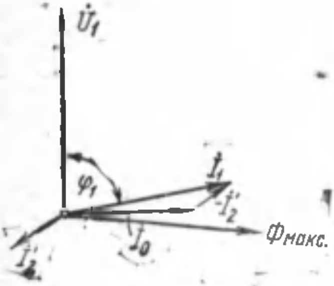
бунда P_2— двигателнинг фойдали қуввати, *вт.*

Бу ифодалардан кўриниб турибтики, агар $n_2 = \mathrm{const}$ бўлса, у ҳолда график $M_2 = f(P_2)$ тўғри чизиқ кўринишида бўлар эди. Лекин асинхрон двигателда P_2 ортиши билан айланиш тезлиги камаяди, шу сабабли фойдали момент M_2 нагрузка кўпайганда P_2 га қараганда тезроқ кўпаяди ва, бинобарин, график $M_2 = f(P_2)$ эгри чизиқ кўринишида бўлади.

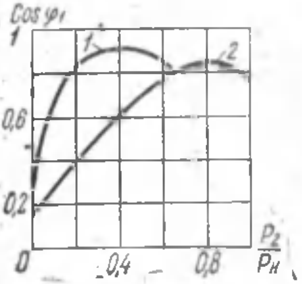
$\cos\varphi_1 = f(P_2)$ боғланиш. Асинхрон двигателда статор токи I_c нинг статорнинг магнитавий майдонини ҳосил қилиш учун зарурий реактив (индуктив) ташкил этувчиси борлиги сабабли асинхрон двигателларнинг қувват коэффициенти бирдан кичик бўлади. Қувват коэффициентининг энг кичик қиймати салт ишлаш режимига мос келади. Бунга сабаб шуки, салт ишлаш токи I_0 нинг катталиги ҳар қандай нагрузкада ҳам амалда ўзгармас бўлиб қолади. Двигателнинг нагрузкаси кам бўлганда роторнинг келтирилган токи кичик, статор токи $\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2')$ нинг анчагина қисми реактив бўлади ва шу сабабли фаза жиҳатдан кучланиш U_1 га нисбатан φ_1 бурчакка силжиган бўлади; φ_1 бурчак 90° дан салгина кичикдир (21.7- расм). Салт ишлаш режимида асинхрон двигателларнинг қувват коэффициенти, одатда, 0,2 дан ошмайди. Двигатель валига тушадиган нагрузка кўпайганда токнинг актив ташкил этувчиси I_1 кўпаяди. Бу ҳолда қувват коэффициенти ҳам орта бориб, номиналга яқин нагрузкада энг катта қийматига (0,80—0,90) эришади.

Нагрузка янада кўпайганда $\cos\varphi_1$ камаяди, бу ҳол сирпанишнинг кўпайиши ҳисобига роторнинг индуктив қаршилиги $(x_2 s)$ нинг ортиши билан изоҳланади. Асинхрон двигателлар-

нинг қувват коэффициентининг катта бўлиши учун двигатель доимо ёки ҳеч бўлмаганда, кўпроқ вақт номинал нагрузка билан ишлаши ниҳоятда муҳимдир. Бунга эришиш учун двигателнинг қувватини тўғри танлаш лозим. Агар двигатель кўп вақт нагрузка билан ишламаса, у ҳолда $\cos\varphi_1$ ни ошириш учун двигателга бериладиган кучланиш U_1 ни камайтириш мақсадга мувофиқдир. Бунинг учун статорининг чулғами учбурчак усулида уланиб ишлайдиган двигателларда статор чулғамини уч-



21.7- расм. Асинхрон двигателнинг кичик нагрузкадаги вектор диаграммаси.



21.8- расм. Статор чулғамини юлдуз (1—эгри чизиқ) ва учбурчак (2—эгри чизиқ) шаклида уланганда қувват коэффициентининг нагрузкага боғлиқлиги.

бурчакдан юлдузга қайта улаш лозим, шунда фаза кучланиши $\sqrt{3}$ марта камаяди. Бунда статорнинг магнитавий оқими, бинобарин, статорнинг магнитловчи токи ҳам тахминан $\sqrt{3}$ марта камаяди. Бундан ташқари, статор токининг актив ташкил этувчиси бирмунча ортади. Буларнинг ҳаммаси двигатель қувват коэффициентининг ортишига олиб келади. 21.8- расмда асинхрон двигателнинг статор чулғами юлдуз усулида (1—эгри чизиқ) ва учбурчак усулида уланганда (2—эгри чизиқ) $\cos\varphi_1$ нинг нагрузкага боғлиқлик графиги кўрсатилган.

Кам қувватли двигателларнинг иш характеристикаларини ҳосил бўладиган нагрузка моментини ўлчашга имкон берадиган бирор тормоз ёрдамида бевосита нагрузка методи билан олиш мумкин. Ўрта ва катта қувватли двигателларнинг иш характеристикалари айни двигатель учун унинг ҳисобий маълумотлари ёки тажрибада олинган маълумотлар асосида қурилган айланма диаграмма воситасида аниқланади (XXII бобга қаранг).

21.5- §. Асинхрон машинанинг генератор ва тормоз режимлари

Агар кучланиши U_1 бўлган тармоққа уланган асинхрон машинанинг ротори бирламчи двигатель воситасида статор майдонининг айланиш йўналишида, лекин $n_2 > n_1$ тезлик билан

айлантирилса, у ҳолда роторнинг статор майдонига нисбатан ҳаракати ўзгаради (шу машинанинг двигатель режимидагига қараганда), чунки ротор статор майдонини қувиб ўтади.

Бунда сирпаниш манфий бўлади, статор чулғамида ҳосил қилинган э. ю. к. E_1 нинг йўналиши ва, бинобарин, ток I_1 нинг йўналиши тескари томонга ўзгаради. Натижада роторда электромагнитавий момент ҳам йўналишини ўзгартиради ва айлантирувчи ҳолдан (двигатель режимида) қарши таъсир этувчига (бирламчи двигателнинг айлантирувчи моментига нисбатан) айланиб қолади. Бу шароитларда асинхрон машина двигатель режимидан *генератор режимига* ўтади ва бирламчи двигателнинг механикавий энергиясини электр энергиясига айлантиради.

Асинхрон машинанинг генератор режимида сирпаниш қуйидаги оралиқда ўзгариши мумкин:

$$-\infty < s < 0,$$

бунда асинхрон двигатель э. ю. к. ининг частотаси ўзгармасдан қолади, чунки у статор майдонининг айланиш тезлиги билан аниқланади, яъни асинхрон двигатель уланган тармоқдаги токнинг частотаси каби бўлади.

Асинхрон машинанинг генератор режимида статорнинг айланувчан майдонини ҳосил қилиш шартлари двигатель режимидаги каби (иккала режимда ҳам статор чулғами U_1 кучланишли тармоққа уланади) бўлиши ва тармоқдан магнитловчи ток I_0 билан таъминланиши сабабли асинхрон машина генератор режимида алоҳида хоссаларга эга бўлади: у тармоқдан статорнинг айланувчан майдонини ҳосил қилиш учун зарурий реактив энергияни олади, лекин тармоққа бирламчи двигателнинг механикавий энергиясини ўзгартириш натижасида олинган актив энергияни беради. Шунга эътибор бериш керакки, асинхрон генераторлар фақат синхрон генераторлар билан биргаликдагина ишлаши мумкин, бунда синхрон генераторлар реактив энергия манбаи вазифасини ўтайди.

Синхрон генераторлардан фарқ қилиб, асинхрон генераторларда синхронизмдан тушиб қолиш хавфи бўлмайди. Лекин асинхрон генераторлар кенг кўламда ишлатилмайди, чунки уларнинг синхрон генераторларга қараганда кўпгина камчиликлари бўлади.

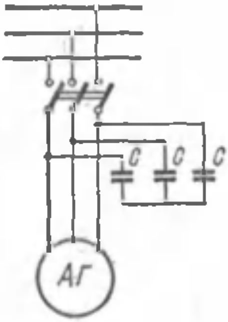
Асинхрон генераторларнинг энг муҳим камчиликларидан бири уларнинг тармоқдан кўп реактив қувват олишидир. Бу қувватнинг катталиги магнитловчи ток I_0 га пропорционал бўлади ва машина номинал қувватининг 25—45% ига етиши мумкин.

Бу айтилганлардан кўриниб турибдики, 3—4 асинхрон генераторнинг ишлаши учун қуввати битта асинхрон генераторнинг қувватига тенг бўлган битта синхрон генератордан фойдаланиш зарур.

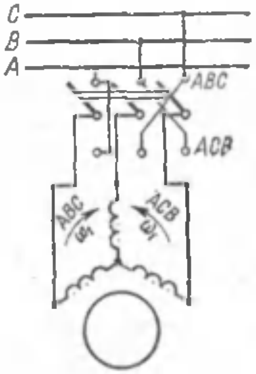
Агар асинхрон генераторлар бир неча синхрон генераторлар билан умумий тармоқда параллел ишласа, у ҳолда асинхрон генераторлар қўзғатиш реактив қувватининг катта бўлиши бутун электр тармоғининг қувват коэффициентини анча пасайтиради.

Асинхрон генератор автоном шароитда, яъни умумий тармоққа уланмасдан ҳам ишлаши мумкин. Лекин бу ҳолда генераторни магнитлашга зарурий реактив қувватни олиш учун генератор клеммаларига нагрузкага параллел қилиб уланган конденсаторлар батареясидан фойдаланилади.

Асинхрон генераторларнинг бундай ишлаши учун зарурий шарт—ротор пўлатида қолдиқ магнитланишнинг бўлишидир,



21.9- расм. Ўз-ўзидан қўзғалишли асинхрон генераторнинг схемаси.



21.10- расм. Статорнинг айланувчан майдони йўналишини ўзгартириш учун фазаларни алмаштириб улаш схемаси.

бу генераторнинг ўз-ўзидан қўзғалиш процесси учун зарур. Статор чулғамида ҳосил қилинган кичикроқ э. ю. к. $E_{қолд}$ конденсаторлар занжирида (21.9- расм) ва, бинобарин, статор чулғамида ҳам қолдиқ оқим $Ф_{қолд}$ ни кучайтирувчи унчалик катта бўлмаган реактив ток ҳосил қилади. Кейинчалик ўз-ўзидан қўзғалиш процесси параллел қўзғатишли ўзгармас ток генераторидаги сингари (5.3- § га қаранг) кучаяди. Конденсаторларнинг сиғимини ўзгартириб, магнитловчи токнинг катталигини, бинобарин, генераторлар кучланишининг қийматини ҳам ўзгартириш мумкин.

Конденсаторлар батареяларининг ниҳоятда қўполлиги ва жуда қимматлиги сабабли ўз-ўзидан қўзғатишли асинхрон генераторлар кўп ишлатилмайди. Асинхрон генераторлар кам қувватли ёрдамчи электр станцияларда, масалан, шамол-куч қурилмаларидагина ишлатилади.

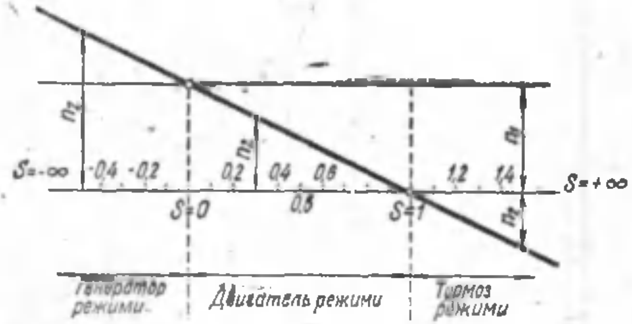
Асинхрон машинанинг *тормоз режими* двигатель роторини тез тўхтатиш зарур бўлган ҳоллардагина қўлланилади. Бу ре-

жим двигателни тескари улаш йўли билан ҳосил қилинади. Бунинг учун статор магнитавий майдонининг айланиш йўналишини ўзгартириш зарур. Ана шу мақсадда статор чулғамини тармоқ билан туташтирадиган жуфт симлардан исталган бирини ўзгартириб улаш, яъни статор клеммаларида фазаларнинг кетма-кетлик тартибини ўзгартиришнинг ўзи кифоя (21.10- расм).

Туташтирувчи симлар ўзгартириб улангандан кейинги дастлабки моментда двигатель айланувчи қисмлари билан ижрочи механизмнинг инерция кучлари роторни аввалги йўналишида айлантиришда давом этади, статорнинг айланувчи майдони эса тескари йўналишда айлана бошлайди. Бу шароитларда асинхрон машинанинг сирпаниши бирдан катта бўлади:

$$s = \frac{-n_1 - n_2}{-n_1} > 1,$$

ротор занжиридаги электр исрофлар $p_{э2} = sP_{эм}$ эса электромагнитавий қувватдан катта бўлади.



21.11- расм. Асинхрон машинанинг иш режимлари.

Шундай қилиб, тормоз режимида машинанинг электромагнитавий қуввати ротордаги электр исрофларнинг фақат бир қисмини ташкил қилади, холос. Исрофларнинг бошқа қисми двигателнинг инерция бўйича айланаётган қисмларининг ва ижрочи механизмнинг механикавий қуввати ҳисобига қопланади.

Бунда электромагнитавий момент йўналиши статор майдонининг айланиш йўналиши каби, яъни роторнинг айланиш йўналишига тескари бўлади ва роторни айлантирувчи моментга нисбатан тормозловчи бўлади. Бу усулда тормозлашнинг камчиликлари қуйидагилардир: ротор чулғамининг қизиб кетиши туфайли энергия исрофларининг кўплиги, шунингдек, статор чулғами симларини ўзгартириб улаш пайтида ток ўзгаришининг катталиги. Контакт ҳалқали двигателларда тескари улаш йўли билан тормозлашда токнинг бундай ўзгаришини чеклаш учун ротор занжирига қаршилик уланади. Бундан ташқари,

двигателни бу усулда тормозлашда уни тўхтатиш пайтида тармоқдан узиб қўйиш лозим, чунки акс ҳолда реверсирланиш содир бўлади, яъни двигателнинг ротори тескари йўналишда айлана бошлайди.

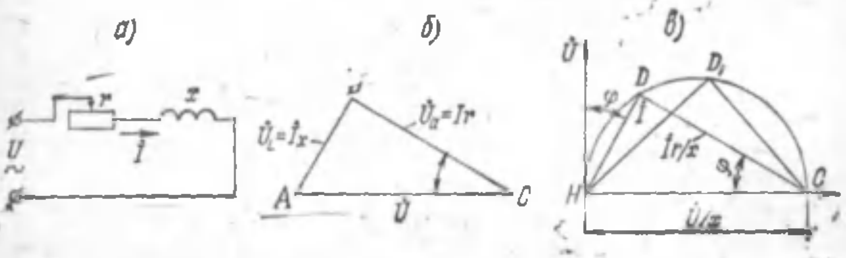
Шундай қилиб, асинхрон машина уч хил режимда: двигатель, генератор ва тормоз режимида ишлаши мумкин. Бу режимларнинг ҳар бирида сирпаниш муайян диапазонда ўзгаради: двигатель режимида сирпаниш нолдан ($n_2 = n_1$) биргача ($n_2 = 0$), генератор режимида нолдан $-\infty$ гача, тормоз режимида эса бирдан $+\infty$ гача ўзгаради (21.11-расм).

XXII боб

АСИНХРОН ДВИГАТЕЛНИНГ АЙЛАНМА ДИАГРАММАСИ

22.1-§. Асосий тушунчалар

Кетма-кет уланган актив r ва индуктив x қаршиликлардан туэилган ўзгарувчан ток электр занжирини (22.1-расм, *а*) кўриб чиқамиз. Бу занжирдаги электр токи I унинг қисмларида кучланиш тушишини вужудга келтиради, бинобарин, кучланиш U нинг иккита: актив $U_a = I_r$ ва индуктив $U_L = I \cdot x$ ташкил этувчиси бор. Бу кучланишларни векторлар билан



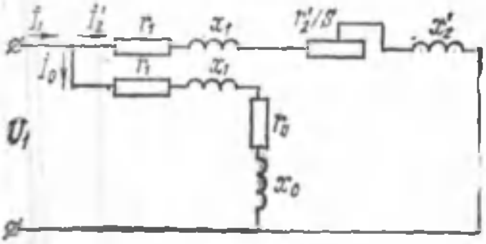
22.1-расм Ўзгарувчан токнинг тармоқланмаган электр занжири учун айланма диаграмма қуриш.

тасвирлаб, кучланишлар учбурчаклиги *ABC* ни ҳосил қиламиз (22.1-расм, *б*), бунда $U = \sqrt{U_a^2 + U_L^2}$ бўлади. *ABC* учбурчакликнинг ҳар қайси томонини x га бўлиб, *HDC* учбурчакликни оламиз, бу учбурчакликнинг *HD* катети ток вектори I ни ифодалайди (22.1-расм, *в*). Ток I векторига $\varphi = \operatorname{arctg} \frac{x}{r}$ бурчак остида ордината ўқининг мусбат йўналишида кучланиш вектори $\dot{U}$ ни ўтказамиз. Агар актив қаршилик r нинг катталиги ўзгартирилса, у ҳолда занжирдаги токнинг қиймати ўзгаради, учбурчакликнинг катетлари эса янги HD_1 ва D_1C ҳолатни

эгаллайди. Лекин учбурчакликнинг гипотенузаси U/x ўзгармасдан қолади. Шундай қилиб, электр занжирининг янги иш режими диаграммада D_1 нуқтанинг ҳолати билан белгиланади. Агар занжирнинг актив қаршилиги кенг доирада (нолдан чексизгача) ўзгартирилса, у ҳолда ток I вертикал диаграммада ҳар хил ҳолатларни эгаллаб, унинг учи (D нуқта) диаметри $\dot{U}/x = \text{const}$ бўлган айлана чизади. $r = 0$ (нагрузка соф индуктив) бўлганда D нуқта C нуқта билан устма-уст тушади. $r = \infty$ бўлганда ток $I=0$, шунинг учун D нуқта H нуқта билан устма-уст тушади. Қаршиликнинг исталган оралиқ қийматида ток $\dot{I}$ векторининг учи HDC айланада турли ҳолатларни эгаллайди, бу айлана *токлар айланаси* дейилади.

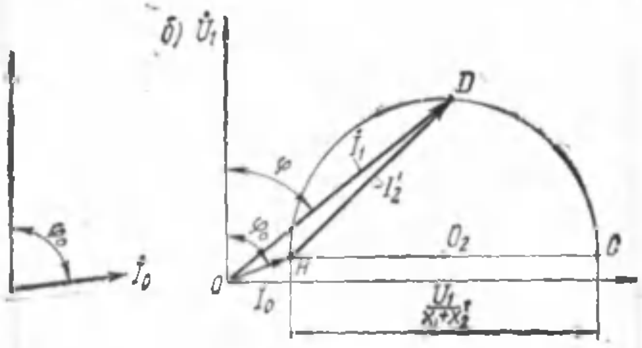
22.2- §. Айланма диаграмма

Асинхрон двигателнинг 22.2- расмда кўрсатилган алмашиниш схемасида иккита шохобча: токи I_0 бўлган магнитловчи шохобча ва токи I_2^1 бўлган асосий (ишчи) шохобча бўлади. Иккала шохобча гўё бир-биридан мустақил ишлайди. Ўзгармас



22.2- расм. Умумий клеммаларга чиқарилган магнитловчи шохобчали асинхрон двигателни алмаштириш схемаси.

қаршиликлар уланган магнитловчи шохобча параметрлари 22.3-расм, *а* да кўрсатилган диаграмма билан аниқланади. Алмашиниш схемасининг асосий шохобчасида, 22.1- расм, *а* даги электр схемага ўхшаш, ўзгармас индуктив қаршилик $x_1 + x_2^1$



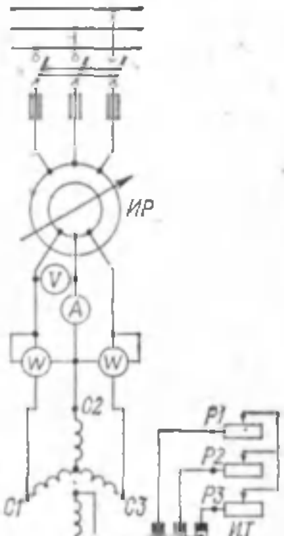
22.3- расм. Алмаштириш схемаси учун (22.2- расм) магнитловчи шохобчанинг вектор диаграммаси (*а*) ва айланма диаграмма (*б*).

ва ўзгарувчан актив қаршилик $r_1 + \frac{r_2^1}{s}$ бўлади. Сирпаниш s ўзгарганида бу шохобчанинг турли режимда ишлаши ток векторининг *диаграммадаги ҳолати* билан белгиланади (22.1- расм, *в*). Магнитловчи шохобча (22.3- расм; *а*) билан асосий шохобча (22.1- расм, *в*) диаграммаларини бирга қўшиб *асинхрон двигателнинг айланма диаграммасини* (22.3- расм, *б*) ҳосил қиламиз; бу диаграммада статор токи $\dot{I}_1$ қуйидаги геометрик йиғиндига тенг:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2').$$

22.3- §. Асинхрон двигателнинг айланма диаграммасини салт ишлаш ва қисқа туташув тажрибалари асосида қуриш

Асинхрон двигателнинг айланма диаграммасини қуриш учун қуйидагиларни билиш зарур: тармоқ (фаза) кучланиши U_1 ни, салт ишлаш (фаза) токи I_0 ни, салт ишлаш режимида ток билан кучланиш орасидаги фазалар силжиш бурчаги φ_0 ни, қисқа туташув токи $I_{1к}$ ни, қисқа туташув режимида ток билан кучланиш орасида фазалар силжиш бурчаги $\varphi_к$ ни ва статор чулғами фазасининг актив қаршилиги r_1 ни. Бу параметрларни аниқлаш учун, одатда, асинхрон двигателнинг салт ишлаш ва қисқа туташув тажрибаларидан олинган маълумотлардан фойдаланилади.



22.4- расм. Салт ишлаш ва қисқа туташув тажрибаларида асинхрон двигателни улаш схемаси.

С а л т и ш л а ш т а ж р и б а с и. Двигателни салт ишлаш тажрибаси учун улаш схемаси 22.4-расмда кўрсатилган. Индукцион регулятор ИР двигателга зарур кучланиш беришга имкон беради. Двигатель салт ишлаш режимида ($M_2 = 0$) ишлайди. Статор чулғамига берилган номинал кучланиш $U_{1н}$ да ўлчов асбобларнинг кўрсатишларига мувофиқ ток I_0 ва қувват P_0 аниқланади. Сўнгра қувват коэффициенти аниқланади:

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{m_1 U_{1н} I_0}. \qquad (22.1)$$

Қ и с қ а т у т а ш у в т а ж р и б а с и. Двигателни улаш схемаси аввалгича қолади. Тажриба пасайтирилган кучланиш $U_{1к} = (0{,}15 - 0{,}30)\ U_{1н}$ да ўтказилади. Двигатель ротори ол-

диндан тормозлаб қўйилади. Статорнинг номинал токи $I_{1н}$ га мос келадиган кучланиш $U_{1қ}$ да ваттметрларнинг кўрсатиши бўйича қисқа туташув қуввати $P_қ$ аниқланади, сўнгра эса қувват коэффициенти ҳисоблаб топилади:

$$\cos\varphi_қ = \frac{P_қ}{m_1 U_{1қ} I_{1н}}. \qquad (22.2)$$

Берилган номинал кучланиш $U_{1н}$ да қисқа туташув токининг катталиги қуйидагига тенг:

$$I_{1қ} = I_{1н}\frac{U_{1н}}{U_{1қ}}. \qquad (22.3)$$

Токлар айланасини ясаш. Координаталар ўқларини ўтказиб, кучланиш вектори $\dot{U}_{1н}$, сўнгра эса ток масштаби $m_I[a/мм]$ ни танлаб олиб, $\dot{I}_0$ вектор ($\dot{U}_{1н}$ га φ_0 бурчак остида) ва $\dot{I}_{1қ}$ вектори ($\dot{U}_{1н}$ га $\varphi_қ$ бурчак остида) қурилади. Шундай қилиб, H ва K нуқталар олинади (22.5- расм). Бу нуқталарни HK тўғри чизиқ билан бирлаштириб ва HC тўғри чизиқни ўтказиб (абсциссалар ўқига параллел), HK чизиқнинг ўртасидан HC тўғри чизиқ билан кесишгунча MO_2 перпендикуляр чиқарилади. O_2 нуқтадан HO_2 радиус билан токлар айланаси чизилади.

22.4- §. Айланма диаграмманинг двигатель параметрларини аниқлаш учун ишлатилиши

Токларни аниқлаш O нуқтадан токлар масштабида статор номинал токининг вектори $\dot{I}_{1н}$ ни шундай қўямизки, бу векторнинг учи (D нуқта) токлар айланасида ётадиган бўлсин:

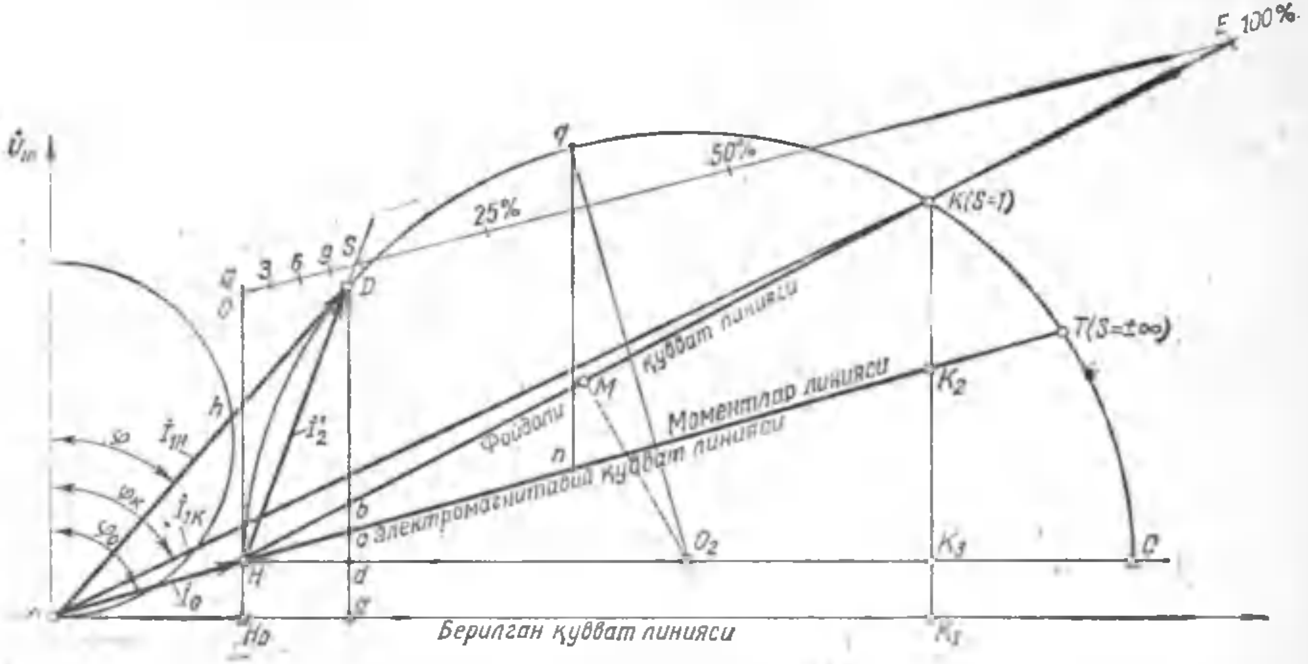
$$OD = \frac{I_{1н}}{m_I}[мм].$$

Сўнгра, D нуқтани H нуқта билан бирлаштириб, токлар учбурчаклиги ODH ни ҳосил қиламиз (22.5- расм), унинг томонлари қуйидаги токларни белгилайди:

$$I_0 = m_I \cdot OH;$$
$$I_2' = m_I \cdot HD;$$
$$I_1 = m_I \cdot OD.$$

Бундан ташқари, D нуқтадан абсциссалар ўқига перпендикуляр (Da) тушириб, тўғри бурчакли учбурчаклик ODa ни ҳосил қиламиз, ундан статор токининг актив ва реактив ташкил этувчиларини аниқлаймиз:

$$I_{1a} = m_I Da;$$
$$I_{1p} = m_I Oa.$$



22.5- расм. Асинхрон двигателнинг айланма диаграммасини қуриш.

Б е р и л г а н қ у в в а т P_1. Маълумки, $P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos\varphi_1$. Лекин $U = \text{const}$ ва $I_1 \cos\varphi_1 = I_{1a}$ бўлганлиги учун қувват P_1 статор токининг актив ташкил этувчисига пропорционал бўлади ($P_1 \equiv I_{1a}$).

Айланма диаграммада I_{1a} катталик Da кесма билан аниқланади, шу сабабли берилган қувват, яъни двигателга киришдаги қувват қуйидагига тенг:

$$P_1 = m_\text{р} Da,$$

бунда $m_\text{р} = m_1 U_{1\text{н}} m_I$ — қувват масштаби [*вт/мм*].

Берилган қувват абсциссалар ўқидан бошлаб (у *берилган қувват чизиғи* дейилади) токлар айланасидаги берилган нуқтагача ҳисобланади

Фойдали қувват P_2. Айланма диаграммада фойдали қувват деганда вертикал бўйича токлар айланасидан токлар айланасида фойдали қувват нолга тенг бўладиган нуқталарни бирлаштирувчи тўғри чизиққача бўлган масофа тушунилади. Бундай нуқталардан бири салт ишлаш нуқтаси H, иккинчиси — қисқа туташув нуқтаси $Қ$ дир. Шундай қилиб, $HҚ$ чизиқ *фойдали қувват чизиғи* бўлади. Токлар айланасидаги берилган нуқта учун

$$P_2 = m_\text{р} Db.$$

Э л е к т р о м а г н и т а в и й қ у в в а т в а э л е к т р о м а г н и т а в и й м о м е н т. Айланма диаграммада электромагнитавий қувват қиймати *электромагнитавий қувват чизиғининг* ҳолати билан белгиланади. Бу чизиқни ясаш учун токлар айланасида электромагнитавий қувват (яъни айланувчан майдон статордан роторга узатадиган қувват) нолга тенг бўладиган нуқталар орқали тўғри чизиқ ўтказиш лозим. H ва T ана шундай нуқталардир. Биринчи нуқта сирпаниш $s = 0$ бўлган ҳолатга, иккинчиси эса $s = \pm\infty$ бўлган ҳолатга тўғри келади. Лекин агар H нуқта салт ишлаш тажрибаси маълумотлари асосида олиниши мумкин бўлса, T нуқтани тажриба йўли билан олиб бўлмайди. Шунинг учун электромагнитавий қувват чизиғини H ва K_2 нуқталарга кўра чизамиз, бунда K_2 нуқта KK_3 кесмани $\frac{r_\text{қ}}{r_1}$ нисбатда икки қисмга бўлиш орқали аниқланади:

$$\frac{KK_3}{K_2K_3} = \frac{r_\text{қ}}{r_1}.$$

Бунда $r_\text{қ} = \frac{P_\text{қ}}{m_1 I^2_{1\text{н}}}$ — двигатель бир фазасининг қисқа туташув тажрибасидаги актив қаршилиги;

r_1 — статор чулғами битта фазасининг актив қаршилиги.

Токлар айланасидаги берилган нуқта D учун электромагнитавий қувват қуйидагига тенг:

$$P_{\text{эм}} = m_{\text{р}} Dc.$$

Двигателнинг электромагнитавий моменти,

$$M = \frac{P_{\text{эм}}}{\omega_1} = \frac{30 P_{\text{эм}}}{\pi n_1} = \frac{30 m_{\text{р}} Dc}{\pi n_1}$$

ёки

$$M = m_{\text{м}} Dc,$$

бунда $m_{\text{м}}$ — моментлар масштаби,

$$m_{\text{м}} = \frac{30 \cdot m_{\text{р}}}{\pi \cdot n_1} \, [н \cdot м/мм]$$

ёки

$$m_{\text{м}} = 0{,}975 \frac{m_{\text{р}}}{n_1} \, [кГм/мм].$$

HT чизиқ *моментлар чизиғи* ҳам дейилади.

Қувват коэффициенти. Қувват коэффициенти $\cos \varphi_1$ ни аниқлаш учун ординаталар ўқида ихтиёрий диаметрда ярим айлана чизилади. У ҳолда токлар айланасидаги берилган D нуқта учун

$$\cos \varphi_1 = \frac{Oh}{Of}$$

ни оламиз.

Ҳисоблаш қулай бўлиши учун ярим айлананинг диаметрини 100 *мм* га тенг деб қабул қилиш мақсадга мувофиқдир. Бу ҳолда,

$$\cos \varphi_1 = \frac{Oh}{100}.$$

Сирпаниш. Айланма диаграммада сирпаниш s сирпаниш шкаласи бўйича аниқланади; бу шкалани қуриш учун абсциссалар ўқидаги H_0 нуқтадан H дан ўтувчи H_0Q перпендикуляр кўтарилади. Сўнгра Q нуқтадан электромагнитавий қувват чизиғига параллел қилиб фойдали қувват чизиғининг давоми билан кесишгунча QE тўғри чизиқ ўтказилади. QE кесма юзта тенг бўлакка бўлинади ва сирпанишлар шкаласи ҳосил қилинади. Токлар айланасидаги берилган D нуқта учун сирпаниш HD чизиқни S нуқтада сирпаниш шкаласи билан кесишгунча давом эттириш орқали аниқланади. Сирпаниш шкаласида шу нуқтага тўғри келувчи рақам сирпанишнинг процент ҳисобидаги қийматини ифодалайди.

Двигателнинг ф. и. к. Маълумки,

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}.$$

Айланма диаграммада $P_2 = Db \cdot m_р$, $P_1 = Da \cdot m_р$, у ҳолда

$$\eta = \frac{Db}{Da}.$$

Двигателнинг ф. и. к. и шу усулда аниқланганда анча хато бўлади, чунки бунда қўшимча исрофлар ҳисобга олинмайди. Шунга кўра, двигателнинг ф. и. к. ини қуйидаги формуладан аниқлаш мақсадга мувофиқдир:

$$\eta = 1 - \frac{\sum p}{P_1} \quad \text{ёки} \quad \eta = 1 - \frac{\sum p}{P_2 + \sum p},$$

бунда $\sum p = p_{мех} + p_{п1} + p_{э1} + p_{э2} + p_қ$ ҳисобий усулда аниқланади.

Статор пўлатидаги механикавий ва магнитавий исрофлар йиғиндиси

$$p_{мех} + p_{п1} = P_0 - m_1 I_0^2 r_1$$

бунда P_0 ва I_0 — салт ишлаш қуввати ва токи;
r_1 — статор фаза чулғамининг актив қаршилиги.

Статор мисидаги электр исрофлар (21.1).

$$p_{э1} = m_1 I_1^2 r_{75}.$$

Бу ерда I_1 — айланма диаграммадан олинади;
r_{75} — статор фаза чулғамининг 75°С температурага келтирилган (8.4) актив қаршилиги.

Ротор чулғамидаги электр исрофлар (21.5)

$$p_{э2} = sP_{эм}.$$

ГОСТ 183—66 га мувофиқ, номинал режимда ишлаганда қўшимча исрофлар $p_қ$ двигателга берилган қувватнинг 0,5 процентини ташкил этади:

$$p_{қн} = 0,005\ P_1. \tag{22.4}$$

Қўшимча исрофлар ток I_1 нинг квадратига пропорционал бўлади, дейиш қабул қилинган. У ҳолда номинал бўлмаган режимда қўшимча исрофлар қиймати қуйидагича бўлади:

$$p_қ = p_{қн}\left(\frac{I_1}{I_{1н}}\right)^2. \tag{22.5}$$

Д в и г а т е л н и н г ў т а ю к л а н и ш х у с у с и я т и. Двигателнинг максимал моментини аниқлаш учун O_2 нуқтадан электромагнитавий қувват чизиғига перпендикуляр тушириш ва уни токлар айланаси билан кесишгунча (q нуқта) давом эттириш керак. q нуқтадан ординаталар ўқига параллел қилиб, электромагнитавий қувват чизиғи билан кесишгунча (n нуқта) тўғри чизиқ ўтказамиз. У ҳолда моментлар масштабида олинган qn кесма максимал моментнинг катталигини билдиради

$$M_{макс} = qn \cdot m_М.$$

Агар токлар айланасидаги D нуқта номинал иш режимига мос келса, двигателнинг ўта юкланиш хусусияти,

$$\frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{н}}} = \frac{q_{л}}{Dc}$$

Бошланғич ишга тушириш моменти. Двигателнинг бошланғич ишга тушириш моменти сирпаниш $s = 1$ га мос келадиган нуқтанинг токлар айланасидаги ҳолати билан белгиланади. K нуқта ана шундай нуқтадир.

У ҳолда бошланғич ишга тушириш моменти,

$$M_{\text{иш. т.}} = KK_2 m_M.$$

Иш характеристикаларини қуриш. Статор токларига турли қийматлар, масалан, $I_1 = \left(\frac{1}{4}; \frac{2}{4}; \frac{3}{4}; \frac{4}{4}; \frac{5}{4}\right) I_{1н}$ бериб, ҳамда токлар айланасида D_1, D_2, D_3 ва ҳоказо нуқталарни белгилаб, двигателнинг иш характеристикаларини қуриш учун зарурий маълумотлар (22.4-§ га қаранг) аниқланади.

Мисол. Уч фазали асинхрон двигателнинг айланма диаграммасини қуринг. Двигателга оид маълумотлар: $P_{1н} = 100$ *квт*, $f = 50$ *гц*, $U_{1н} = 220$ *в*, $I_{1н} = 190$ *а*, $2p = 4$. Салт ишлаш ва қисқа туташув тажрибаларида олинган маълумотлар 22.1-жадвалда келтирилган.

22.1-жадвал.

Салт ишлаш				Қисқа туташув				
U_1, *в*	I_0, *а*	P_0, *квт*	$\cos\varphi_0$	$U_{1қ}$, *в*	$I_{1н}$, *а*	$P_қ$, *квт*	$\cos\varphi_қ$	$r_қ$, *ом*
220	55	6,5	0,2	58	190	9,5	0,3	0,08

Статор чулғамининг актив қаршилиги $r_1 = 0{,}035$ *ом*. Айланма диаграммадан фойдаланиб статор токи $I_1 = 0{,}75 \times I_{1н} = 143\,а$ га мос келадиган фойдали қувват P_2 двигателга берилган қувват P_1, қувват коэффициенти $\cos\varphi_1$, айлантирувчи момент M, айланиш тезлиги n_2 ва двигателнинг ф. и. к. ини аниқланг.

Ечилиши. Берилган $\cos\varphi_0$ ва $\cos\varphi_қ$ лар асосида φ_0 ва $\varphi_қ$ бурчакларни аниқлаймиз:

$$\varphi_0 = \arccos 0{,}2 = 78°,$$

$$\varphi_қ = \arccos 0{,}3 = 72°.$$

Номинал кучланишга келтирилган қисқа туташув токи,

$$I_{1қ} = I_{1н}\frac{U_{1н}}{U_{1қ}} = 190\,\frac{220}{58} = 720\ а,$$

Ток масштабини танлаб оламиз,

$$m_I = 8{,}5\ а/мм,$$

Ў ҳолда қувват масштаби,

$$m_p = m_1 U_{1н} m_I = 3 \cdot 220 \cdot 8,5 = 5500 \ вт/мм = 5,5 \ квт/мм$$

ва момент масштаби:

$$m_M = \frac{30 m_p}{\pi n_1} = \frac{30 \cdot 5500}{3,14 \cdot 1500} = 33 \ н \cdot м/мм.$$

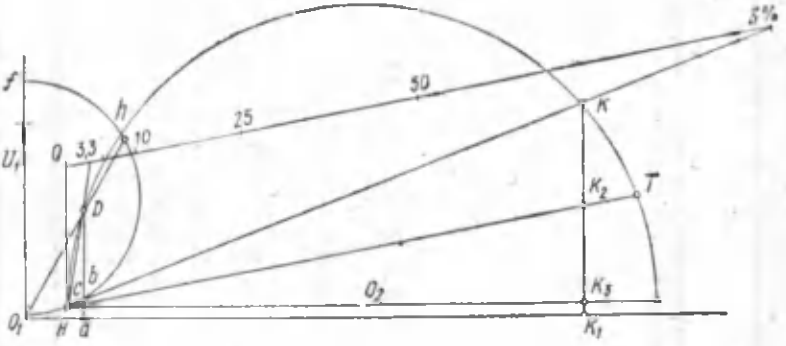
Векторларнинг узунлигини аниқлаймиз:

$$OH = \frac{I_0}{m_I} = \frac{55}{8,5} = 6,5 \ мм,$$

$$OK = \frac{I_{1қ}}{m_I} = \frac{720}{8,5} = 85 \ мм.$$

Ординаталар ўқига φ_0 бурчак остида I_0 векторини ва $\varphi_{қ}$ бурчак остида $I_{1қ}$ векторини чизиб, H ва K нуқталарнинг ҳолатини топамиз (22.6- расм). Сўнгра токлар айланасини ўтказамиз ва KK_3 кесмани ўлчаб, K_2 нуқтанинг ҳолатини аниқлаймиз электромагнитавий қувват чизиғини шу нуқта орқали ўтказамиз:

$$K_2K_3 = KK_3 \frac{r_1}{r_қ} = 29 \frac{0,035}{0,08} = 12,7 \ мм.$$



22.6- расм. Айланма диаграмма (мисолга доир).

Шундан кейин $\cos\varphi_1$ ни ва сирпанишлар шкаласини аниқлаш учун ярим айлана чизамиз. Масала шартида талаб қилинган катталикларни аниқлаш учун O нуқтадан $\frac{143}{m_I} = \frac{143}{8,5} = 16,8$ *мм* узунликда OD кесмани қўямиз. Сўнгра ушбу параграфда баён қилинган усуллар билан изланаётган катталикларнинг қийматларини аниқлаймиз.

Фойдали қувват,

$$P_2 = Db m_p = 12 \cdot 5,5 = 66 \ квт.$$

Бериладиган қувват,

$$P_1 = Da m_p = 15 \cdot 5,5 = 82,5 \ квт.$$

Қувват коэффициенти,

$$\cos\varphi_1 = \frac{Oh}{Of} = \frac{28}{32} = 0,87.$$

Электромагнитавий момент,

$$M = Dc m_M = 13 \cdot 33 = 430 \ н \cdot м.$$

Айланиш тезлиги,

$$n_2 = n_1(1 - s_1) = 1500(1 - 0{,}033) = 1450 \text{ айл/минут.}$$

Механикавий ва магнитавий исрофлар йиғиндиси,

$$p_{мех} + p_{п_1} = P_0 - m_1 I_0^2 r_1 = 6500 - 3 \cdot 55^2 \cdot 0{,}035 = 6180 \text{ вт.}$$

Статор мисидаги электр исрофлар,

$$p_{э_1} = m_1 I_1^2 r_{75} = 3 \cdot 143^2 \cdot 0{,}043 = 2600 \text{ вт,}$$

бунда,

$$r_{75} = 0{,}035[1 + 0{,}004(75^\circ - 20^\circ)] = 0{,}043 \text{ ом.}$$

Ротор чулғамидаги электр исрофлар,

$$p_{э2} = sP_{эм} = 0{,}033 \cdot 71500 = 2350 \text{ вт,}$$

бунда,

$$P_{эм} = D_c m_p = 13 \cdot 5{,}5 = 71{,}5 \text{ квт.}$$

Қўшимча исрофлар,

$$p_қ = p_{қн}\left(\frac{I_1}{I_{1н}}\right)^2 = 500\left(\frac{143}{190}\right)^2 = 280 \text{ вт,}$$

бунда

$$p_{кн} = 0{,}005\, P_{1н} = 0{,}005 \cdot 100\,000 = 500 \text{ вт.}$$

Исрофлар йиғиндиси

$$\sum p = p_{мех} + p_{п_1} + p_{э1} + p_{э2} + p_қ = 6180 + 2600 + 2350 + 280 =$$
$$= 11410 \text{ вт} = 11{,}41 \text{ квт.}$$

$I_1 = 143$ *а* бўлганда двигателнинг ф. и. к. и

$$\eta = 1 - \frac{\sum p}{P_2 + \sum p} = 1 - \frac{11{,}41}{66 + 11{,}41} = 0{,}85.$$

XXIII боб

АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЛАРНИ ИШГА ТУШИРИШ ВА АЙЛАНИШ ТЕЗЛИГИНИ РОСТЛАШ

23.1- §. Двигателнинг ишга тушиш хоссалари

Асинхрон двигателнинг ишга тушиш хоссалари унинг ишга тушиш характеристикалари билан баҳоланади:

а) ишга тушириш токи $I_{и.т.}$ нинг қиймати ёки унинг карралилиги $I_{и.т.}/I_{1н}$;

б) ишга тушириш моменти $M_{иш.т.}$ нинг қиймати ёки унинг карралилиги $M_{и.т.}/M_н$;

в) двигателни ишга туширишнинг давомийлиги ва равонлиги;

г) ишга тушириш операциясининг мураккаблиги;

д) ишга тушириш операциясининг тежамлилиги (ишга тушириш аппаратларининг нархи ва ишончлилиги) билан баҳоланади.

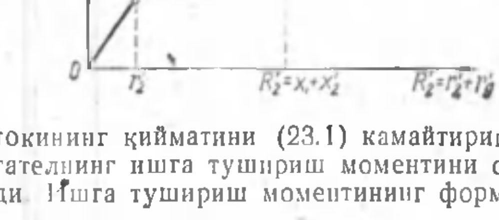
Ишга туширишнинг бошланғич пайтида сирпаниш $s = 1$, шунинг учун, салт ишлаш токини эътиборга олмай, ишга тушириш токи $I_{и.т.}$ нинг қийматини (20.24) формуладан унга $s = 1$ қийматни қўйиб аниқлаш мумкин:

$$I_{и.т.} = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2}} \qquad (23.1)$$

(23.1) ифодадан, шунингдек, ишга тушириш моментининг ифодаси (21.12) дан кўриниб турибдики, двигателнинг ишга тушиш хоссаларини ротор занжирида актив қаршилик r_2' ни кўпайтириш йўли билан яхшилаш мумкин, чунки бунда ишга тушириш токи камаяди ва ишга тушириш моменти ортади. Шу билан бирга кучланиш U_1 ишга тушириш характеристикаларига турлича таъсир этади: U_1 камайиши билан ишга тушириш токи камаяди, бу эса двигателнинг ишга тушиш хоссаларига ижобий таъсир этади, лекин бир вақтнинг ўзида ишга тушириш моментининг камайишига сабаб бўлади. Ишга тушириш характеристикаларини яхшилашнинг қайси усулини қўллаш мумкинлиги двигателнинг ишлатилиш шароитларига ва унга қўйиладиган талабларга қараб белгиланади.

23.2-§. Контакт ҳалқали двигателни ишга тушириш

Контакт ҳалқали двигателларда ротор занжирига ишга тушириш реостати $r_д$ ни улаш мумкин, бу билан ротор занжирининг актив қаршилиги оширилади. Бунда ишга тушириш



23.1-расм. Ишга тушириш моментининг ротор занжиридаги актив қаршиликка боғлиқлиги.

токининг қийматини (23.1) камайтиришгина эмас, балки двигателнинг ишга тушириш моментини оширишга ҳам эришилади. Ишга тушириш моментининг формуласидаги (21.12) r_2' ўрнига ротор занжирининг умумий актив қаршилиги $R_2' = r_2' + r_д'$ ни қўйиб ва $r_д'$ га турлича қийматлар бериб, ишга тушириш моментининг ротор занжирининг актив қаршилигига боғлиқлиги $M_{и.т.} = f(r_2' + r')$ ни ҳосил қиламиз (23.1-расм). Двигателнинг энг катта ишга тушириш моменти ротор занжирининг актив қаршилиги $r_2' + r_д' = x_1 + x_2'$ га мос келади.

Ишга тушириш қаршилиги $r'_д$ ни танлашда нагрузка моментининг қийматига асосланилади. Масалан, нагрузка моменти катта бўлганда $r'_д$ нинг қиймати ишга тушириш моментининг қиймати энг катта бўлишини таъминлай оладиган бўлиши керак. Нагрузка моменти кичик, ишга тушириш моментининг қиймати ишга туширишда ҳал қилувчи аҳамиятга эга бўлмайдиган пайтларда қаршилик $r'_д$ нинг қийматини унинг энг катта ишга тушириш моментига мос келадиган қийматидан бироз каттароқ қилиб танлаб олиш мақсадга мувофиқдир. Бу ҳолда ишга тушириш моментининг қиймати энг катта қийматидан бирмунча кичик бўлади, лекин ишга тушириш токининг катталиги анча камаяди.

23.2- расм, *а* да ишга тушириш реостати ИТР ни контакт ҳалқали двигатель занжирига улаш схемаси кўрсатилган.

Ишга тушириш реостатининг босқичлари шундай узиб уланадики, бунда двигателни ишга тушириш жараёнида ротор токи тахминан ўзгармас бўлиб қолади, ишга тушириш моментининг ўртача қиймати эса энг катта қийматига яқин бўлади.

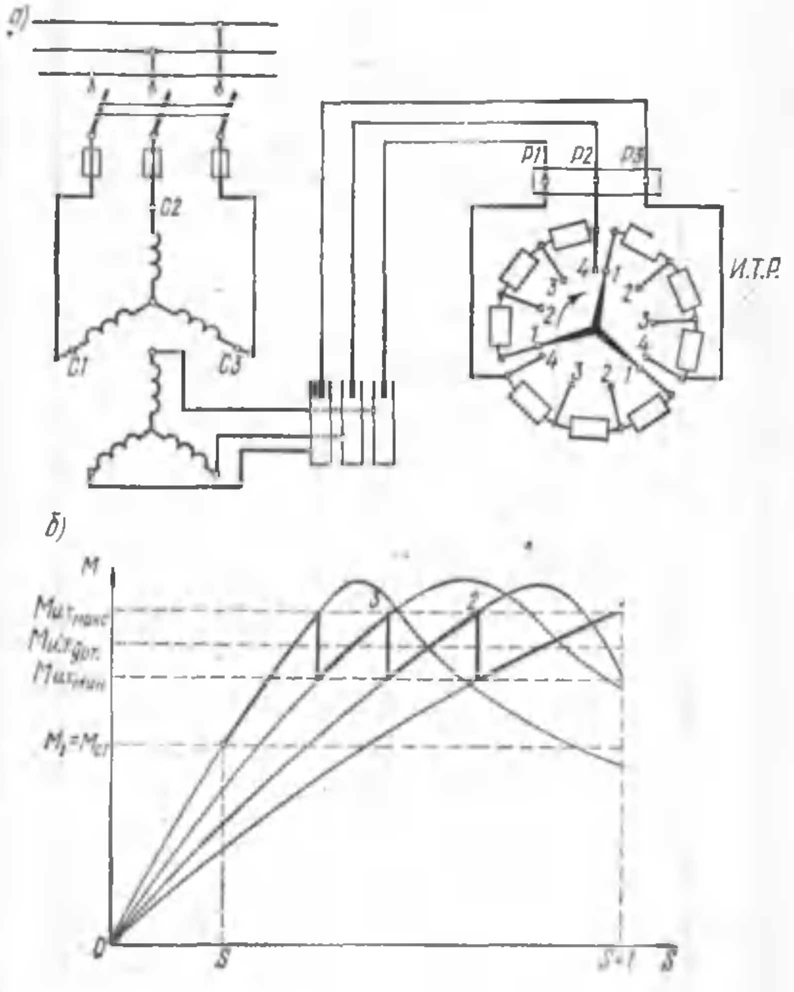
23.2- расм, *б* да ишга тушириш реостатининг тўртта босқичида двигатель ишга тушириш моментининг ўзгариш графиги кўрсатилган. Масалан, ишга туширишнинг дастлабки пайтида (биринчи босқич) ишга тушириш моменти $M_{иш. т.}$ OA га тенг. Двигатель ишга тушиб, маълум тезликка эриша бориши билан унинг моменти l эгри чизиқ бўйича камаяди. Момент қиймати $M_{иш. т. мин.}$ га тенглашуви билан реостат ричаги реостатнинг камроқ қаршилигига мос келадиган иккинчи босқичга сурилади. Бу ҳолда $M = f(s)$ боғланиш 2 эгри чизиқ билан ифодаланади ва двигателнинг ишга тушириш моменти $M_{иш. т. макс}$ қийматгача кўпаяди. Худди шу йўл билан реостат ричаги учинчи, сўнгра эса тўртинчи босқичга ўтказилади; бунда ишга тушириш жараёни тугалланади ва айлантирувчи моментнинг қиймати тескари таъсир этувчи момент $M_{ст}$ га тенглашади.

Шундай қилиб, бутун ишга тушириш жараёни давомида ишга тушириш моментининг катталиги тахминан ўзгармас, ўртача қиймати $M_{иш. т. ўр.}$ га тенг бўлиб қолади. Бунда ишга тушириш токининг қиймати нисбатан катта бўлмайди, двигателнинг номинал токидан бир ярим-икки марта кўп бўлади, холос.

Ишга тушириш реостатлари металл сим ёки лентадан спирал тарзида ўралган қилиб ёки чўян қуймалардан тайёрланади. Улар ҳаво ёки мой билан совитилиши мумкин. Мой билан совитишда спираллар мой тўлдирилган бакка жойлаштирилади.

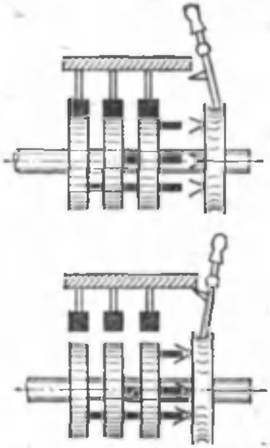
Шуни назарда тутиш керакки, ишга тушириш реостатлари токнинг қисқа вақт ўтишига ҳисоб қилинган бўлади, шунинг учун реостат ричагини оралиқ босқичларда узоқ вақт тутиб туриш ярамайди, чунки бунда реостат қаршиликлари куйиб кетиши мумкин. Ишга тушириш процесси тугагач ва реостат

қаршиликлари узиб қўйилгандан кейин, двигатель ротори қисқа туташтирилган чулғам билан ишлайди. Чўткалар ейилишининг олдини олиш, шунингдек, ишқаланиш туфайли бўладиган исрофларни камайтириш учун контакт ҳалқали асинхрон двигателлар, кўпинча, махсус механизм билан таъминланади; бу механизм ишга тушириш процесси тугаганда ҳалқаларни олдиндан қисқа туташтириб, чўткаларни кўтаришга имкон беради. Двигатель ҳалқалари двигателнинг подшипник шчитла



23.2- расм. Ишга тушириш реостатини улаш схемаси (а) ва контакт ҳалқали асинхрон двигателнинг ишга тушириш моменти графигини қуриш (б).

ридан бир ига маҳкамланган дастани буриш билан туташтирилади (23.3- расм). Чўткалар ҳам шу даста воситасида кўтарилади. Лекин бундай механизм ишлатиш двигателнинг конструкциясини мураккаблаштиради. Шунинг учун у фақат ўрта ва катта қувватли двигателлардагина қўлланилади. Кам қувватли двигателлар, одатда, доимий ёпишиб турувчи чўткалар билан ишлайди.


23.3- расм. Асинхрон двигателнинг ҳалқаларини туташтирувчи механизмнинг тузилиши.

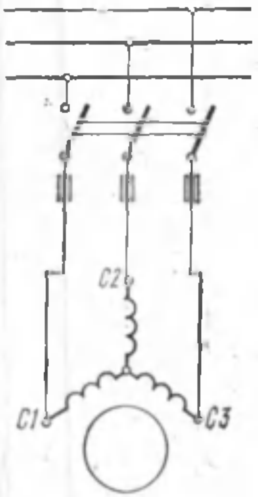
Ниҳоят, шуни таъкидлаб ўтамизки, контакт ҳалқали асинхрон двигателларда ишга тушириш моменти билан ишга тушириш токи орасидаги нисбат энг яхши бўлади: ишга тушириш токи унчалик катта бўлмаганда ҳам ишга тушириш моментининг анчагина катта бўлишига эришилади, бу эса валида анчагина катта нагрузка бўлган двигателни ишга туширишда ниҳоятда муҳимдир. Лекин бу двигателларнинг ишга тушиш хоссаларидаги баъзи камчиликларни ҳам ёдда тутиш лозим: ишга тушириш операцияси мураккаб, узок давом этади ва тежамли эмас.

23.3-§. Қисқа туташтирилган роторли двигателни ишга тушириш

Бевосита тармоққа улаш йўли билан ишга тушириш (23.4-расм). Ишга туширишнинг бу усули бошқа усуллардан ўзининг оддийлиги билан фарқ қилади. Лекин двигателни тармоққа улаш пайтида статор занжирида катта — двигателнинг номинал токидан беш-етти марта катта ишга тушириш токи пайдо бўлади. Ижрочи механизмнинг инертлиги кам бўлганда двигателнинг тезлиги белгиланган қийматгача жуда тез ортади ва ток камайиб, двигателнинг нагрузкасига мос келадиган қийматга етади. Бундай шароитларда ишга тушириш токининг катта бўлиши двигатель учун хавфли эмас, чунки у тез камаяди ва машинанинг чулғамларини ўта қиздириб юбора олмайди. Лекин двигатель занжирида токнинг бирданига камайиши таъминловчи тармоққа таъсир этади ва тармоқнинг қуввати етарли даражада бўлмаганда бу таъсир натижасида тармоқ кучланиши сезиларли даражада ўзгариши мумкин. Лекин ҳозирги замон қудратли энергетика системалари ва тармоқларида қисқа туташтирилган роторли двигателлар, одатда, бевосита тармоққа, тўла кучланишга улаш йўли билан ишга туширилади.

Ишга тушириш токини камайтириш зарур бўлганда пасайтирилган кучланишда ишга тушириш усулларидан бири қўлланилади.

Пасайтирилган кучланишда ишга тушириш. (23.1) ифодага мувофиқ двигателнинг ишга тушириш токи кучланиш U_1 га пропорционал, шунинг учун кучланиш U_1 пасайтирилганда ишга тушириш токи ҳам тегишлича камаяди.

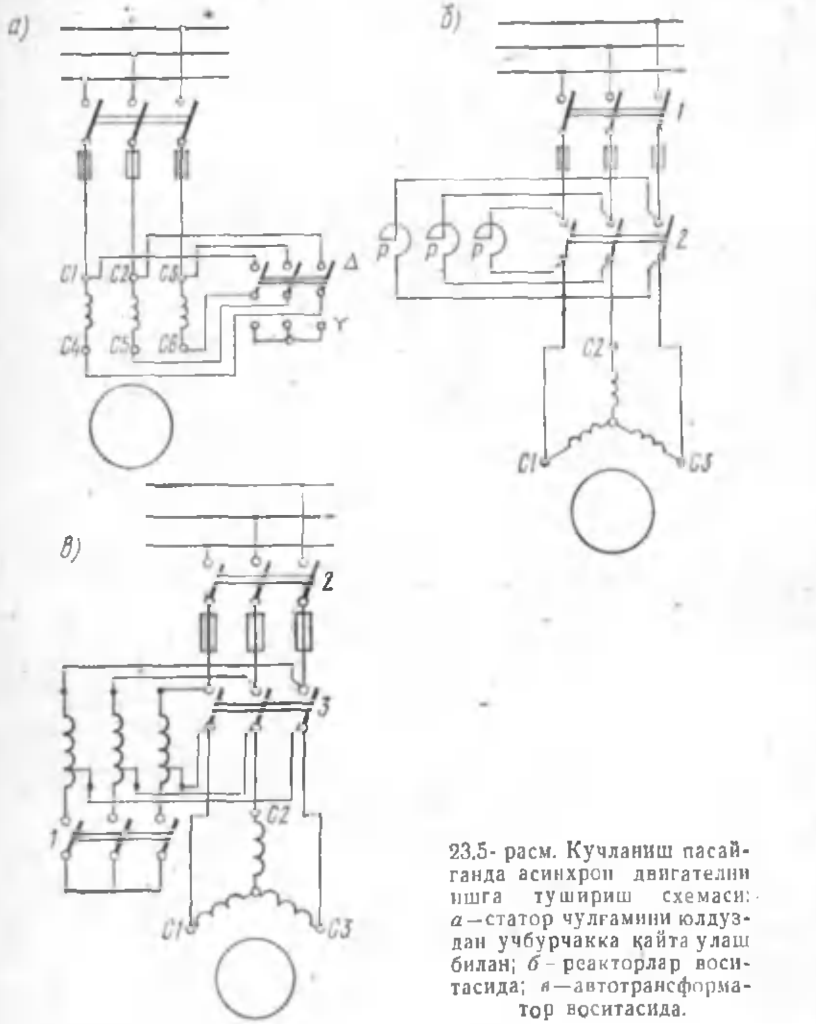


23.4-расм. Қисқа туташтирилган роторли асинхрон двигателни тармоққа бевосита улаш схемаси.

Ишга тушириш моментида кучланиш U_1 ни пасайтиришнинг бир неча усуллари бор.

Статор чулғами учбурчак усулида уланганда ишлайдиган, яъни фаза кучланиши тармоқ кучланишига тенг бўлган асинхрон двигателлар учун ишга туширишнинг статор чулғамини юлдуздан учбурчакка қайта улаш усулидан фойдаланиш мумкин (23.5-расм, *а*). Двигателни тармоққа улаш пайтида переключатель „юлдуз" ҳолатига ўрнатилади, бунда статор чулғами юлдуз усулида уланган бўлади. Бу ҳолда статорда фаза кучланиши $\sqrt{3}$ марта пасаяди. Двигателнинг фаза чулғамларидаги ток ҳам шунча марта камаяди. Бундан ташқари, чулғамлар „юлдуз" усулида уланганда линия токи фаза токига тенг бўлади, учбурчак усулида уланганда эса бу ток фаза токидан $\sqrt{3}$ марта катта бўлади. Демак, ишга туширишнинг статор чулғамини юлдуздан учбурчакка қайта улаш усулининг қўлланилиши натижасида ишга тушириш (линия) токи двигателни бевосита тармоққа улашдаги ишга тушириш токига нисбатан уч марта камаяди. Двигатель роторининг айланиш тезлиги номинал тезликка яқинлашгандан кейин переключатель тезда „учбурчак" ҳолатига ўтказилади. Бунда токнинг бирданига ўзгариши унчалик катта бўлмайди ва тармоқнинг ишига таъсир этмайди. Лекин ишга туширишнинг баён қилинган бу усулининг жиддий камчилиги бор. Гап шундаки, ишга туширишда фаза кучланишининг $\sqrt{3}$ марта камайиши натижасида ишга тушириш моменти $(\sqrt{3})^2 = 3$ марта камаяди, чунки (21.12) ифодага кўра, двигателнинг ишга тушириш моменти кучланишнинг квадратига тўғри пропорционал. Ишга тушириш моментининг сезиларли даражада бундай камайиши валида нагрузка билан уланадиган двигателлар учун ишга туширишнинг бу усулини қўллашни чеклаб қўяди.

Асинхрон двигателни ишга туширишда кучланиш U_1 ни реакторлар ёки автотрансформаторлар ёрдамида ҳам пасайтириш мумкин. *Асинхрон двигателни реакторлар* (реактив қаршиликлар) *воситасида ишга тушириш* схемаси 23.5 расм, *б* да кўрсатилган. Уланиш тартиби қуйидагича Рубильник *2* узиб қўйилган ҳолатда рубильник *1* уланади. Ток тармоқдан статор чулғамларига реакторлар *P* орқали келади; бу реакторларда кучланиш тушиши jI_1x_p (бунда x_p — реакторнинг индуктив қаршилиги) содир бўлади. Натижада двигателнинг ста-



23.5- расм. Кучланиш пасайганда асинхрон двигателни ишга тушириш схемаси: *а* — статор чулғамини юлдуздан учбурчакка қайта улаш билан; *б* - реакторлар воситасида; *в* — автотрансформатор воситасида.

тор чулгами клеммаларига пасайтирилган кучланиш $\dot{U}_1' = \dot{U}_1 - j\dot{I}x_p$ келади. Двигатель ротори тезлашиб олиб, ишга тушириш токи камайгандан кейин рубильник *2* уланади ва двигатель тармоқнинг тўла кучланиши таъсирида бўлиб қолади.

Ишга туширишнинг бу усулининг камчилиги шундаки, кучланиш $U_1'/U_{1н}$ марта пасайтирилганда двигателнинг бошланғич ишга тушириш моменти $M_{иш.т.}(U_1'/U_{1н})^2$ марта камаяди. Реакторнинг зарурий қаршилиги ушбу формуладан аниқланади:

$$x_p = \frac{U_{1н}(1 - K_p)}{K_p I_{и.т.}} \tag{23.2}$$

бунда $U_{1н}$ — статор чулғамининг номинал (фаза) кучланиши;

$K_p = I_{и.т.}'/I_{и.т}$ — двигатель реактор орқали ишга туширилганда статор ишга тушириш токи $I_{и.т.}'$ нинг бевосита тармоққа улаш йўли билан ишга туширишдаги двигатель токи $I_{и.т.}$ га нисбати; одатда, $K_p = 0{,}65$.

Мисол. Статор чулғамлари юлдуз усулида уланганда 380 *в* кучланишли тармоқдан ток олиб ишлайдиган, қуввати 61 *квт* ли қисқа туташтирилган роторли уч фазали асинхрон двигателни реактор ёрдамида ишга тушириш учун реактив ғалтакларнинг қаршилигини аниқланг; ишга тушириш токининг карралилиги $\frac{I_{и.т.}}{I_{1н}} = 5{,}5$; қувват коэффициенти 0,8.

Е ч и л и ш и. Номинал фаза кучланиши,

$$U_{1н} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ в}.$$

Статорнинг номинал токи,

$$I_{1н} = \frac{65 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0{,}8} = 123 \text{ а}.$$

Двигателнинг бошланғич ишга тушириш токи,

$$I_б = 5{,}5 \cdot 123 = 675 \text{ а}.$$

$K_p = 0{,}65$ бўлганда реакторнинг қаршилиги (24.2)

$$x_p = \frac{220(1 - 0{,}65)}{0{,}65 \cdot 675} = 0{,}175 \text{ ом}.$$

Автотрансформатор билан ишга туширишда (23.5- расм, *в*) дастлаб автотрансформатор чулғамларини юлдуз усулида улайдиган рубильник *1* туташтирилади. Сунгра рубильник *2* уланади ва двигатель пасайтирилган кучланиш U_1' га уланган бўлиб қолади. Бу ҳолда двигателнинг автотрансформатордан чиқиш олдида ўлчанган ишга тушириш токи K_a марта камаяди бунда K_a' — автотрансформаторнинг трансформациялаш коэффициенти. Автотрансформаторга кириш олдида ўлчанган токка

келсак, у двигатель бевосита тармоққа улангандаги ишга тушириш токига нисбатан K_a^2 марта камаяди. Гап шундаки, пасайтирувчи автотрансформаторда бирламчи ток иккиламчи токдан K_a марта кичик бўлади, шунинг учун автотрансформатор билан ишга туширишда ишга тушириш токи $K_a \cdot K_a = K_a^2$ марта камаяди. Масалан, агар двигатель бевосита тармоққа уланганда ишга тушириш токининг карралилиги $\frac{I_{и.\,т.}}{I_{1н}} = 6$, тармоқ кучланиши эса 380 *в* бўлса, у ҳолда автотрансформатор воситасида кучланишни 220 *в* гача пасайтириб ишга туширишда ишга тушириш токининг карралилиги қуйидагича бўлади:

$$\frac{I'_{и.\,т.}}{I_{1н}} = \frac{6}{\left(\frac{380}{220}\right)^2} = 2.$$

Двигатель ротори айлана бошлагандан кейин рубильник *1* узиб қўйилади ва автотрансформатор реактив ғалтакка айланади. Бунда статор чулғамининг учларида кучланиш бирмунча ошади. Рубильник *3* ни улаб, двигатель клеммаларига тармоқнинг тўла кучланиши $U_{1н}$ берилади. Шундай қилиб, автотрансформатор *билан ишга тушириш учта босқич билан боради:* биринчи босқичда двигателга номинал кучланишнинг 50—70% и қадар кучланиш берилади; иккинчи босқичда трансформатор реактор сифатида хизмат қилади, бунда кучланиш номинал кучланишнинг 70 - 80% ини ташкил этади. Автотрансформатор ишлатилганда ишга тушириш токи K_a^2 марта камайганлиги сабабли,

$$I'_{и.\,т.} = \frac{I_{и.\,т.}}{K_a^2},$$

ишга тушириш автотрансформатори қуйидаги қувватга ҳисобланиши лозим:

$$S_a = 3U_{1н} I_{и.\,т.} \frac{1}{K_a^2},$$

бунда $U_{1н}$ — статор чулғамининг номинал (фаза) кучланиши;

$I_{и.\,т.}$ — бевосита тармоққа улаш йўли билан ишга туширишда двигателнинг ишга тушириш токи.

Мисол. Тармоқ кучланиши 380 *в* дан 220 *в* гача пасайганда асинхрон двигателни ишга тушириш учун ишлатиладиган автотрансформаторнинг қувватини аниқланг. Двигателга оид маълумотлар: двигателнинг номинал токи $I_{1н} = 70$ *а*, ишга тушириш токининг карралилиги $I_{и.\,т.}/I_{1н} = 6$, статор чулғами юлдуз усулида уланган.

Ечилиши. Двигатель бевосита тармоққа уланганда ишга тушириш токи,

$$I_{и.\,т.} = I_{1н} \cdot 6 = 70 \cdot 6 = 420\ a,$$

Автотрансформаторнинг трансформациялаш коэффициенти,

$$K_a = \frac{380}{220}\sqrt{3}.$$

Ишга тушириш автотрансформаторининг қуввати,

$$S_a = 3U_{1н}I_{н.т.}\frac{1}{K_a^2} = 3 \cdot 220 \cdot 420\frac{1}{3} = 92500\ ва = 92{,}5\ ква.$$

Ишга туширишнинг автотрансформатор усулида, асинхрон двигателларни ишга туширишнинг бериладиган кучланишни камайтиришга асосланган бошқа усулларидаги каби, ишга тушириш моменти камаяди, чунки унинг қиймати кучланиш квадратига тўғри пропорционалдир. Ишга тушириш токлари ва ишга тушириш моментлари нуқтаи назаридан ишга туширишнинг автотрансформатор усули реактор усулидан афзалроқдир, чунки кучланиш бир хилда пасайтирилганда реактор усулида ишга тушириш токи $\frac{U_1'}{U_{1н}}$ марта, автотрансформатор билан ишга тушириш усулида эса $\left(\frac{U_1'}{U_{1н}}\right)^2$ марта камаяди. Лекин ишга тушириш операциясининг мураккаблиги ва аппаратуранинг анча қимматлиги асинхрон двигателларни ишга туширишнинг автотрансформатор усулини қўллашни маълум даражада чеклаб қўяди.

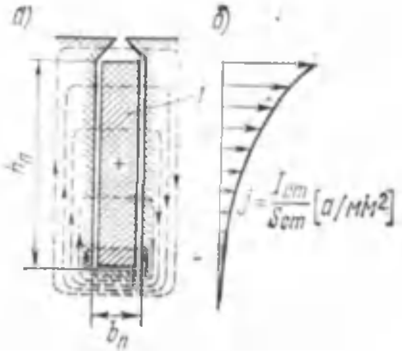
23.4- §. Ишга тушириш характеристикалари яхшиланган қисқа туташтирилган асинхрон двигателлар

Оддий типдаги қисқа туташтирилган роторли асинхрон двигателнинг ишга тушиш хоссалари қониқарли эмаслиги ишга тушиш хоссалари яхшиланган ишга тушириш токи кичик бўлганда ишга тушириш моменти катта бўладиган қисқа туташтирилган роторли двигатель яратиш заруратини туғдирди. Бундай двигателлардан бири *чуқур пазли двигателдир.* Чуқур пазли двигатель нормал қисқа туташтирилган двигателдан роторининг конструкцияси билангина фарқ қилади. Бу двигатель роторининг пазлари чуқур тирқишлар бўлиб, уларга ротор чулғамининг ингичка мисленталар кўринишидаги стерженлари жойлаштирилган бўлади. Стерженлар иккала томонидан туташтирувчи мис ҳалқаларга кавшарлаб бириктирилган. Пазнинг ўлчамлари тахминан қуйидаги нисбатда бўлади:

$$\frac{h_п}{b_п} = 9 - 10$$

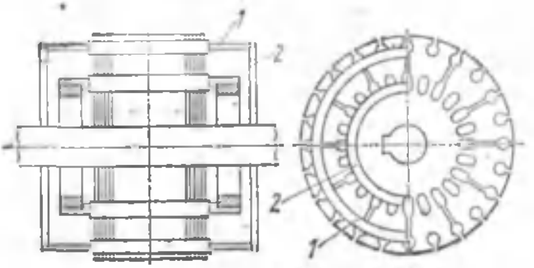
бунда $h_п$ — пазнинг баландлиги;
$b_п$ — пазнинг эни.

Двигатель уланган моментда, роторда ток частотасининг қиймати энг катта $f_2 = f_1$ бўлганда стержень пастки қисмининг индуктив қаршилиги юқори қисмининг индуктив қаршилигидан анча катта бўлади. Бунга сабаб шуки, стерженнинг пастки қисми сочилиш оқими магнитавий индукциясининг жуда кўп чизиқлари билан кесишади (23.6-расм, *а*). 23.6-расм, б да чуқур пазли двигатель роторининг стерженида ишга тушириш токи зичлигининг тақсимланиш эгри чизиғи кўрсатилган. Бу эгри чизиқдан кўриниб турибтики, ротор токининг деярли ҳаммаси стерженнинг юқори қисми орқали ўтади, бу қисмининг кўндаланг кесими бутун стерженнинг кўндаланг кесимидан анча кичикдир. Бу ҳол чулғам актив қаршилигининг ортиши билан баравардир, актив қаршиликнинг ортиши ротордаги ток қийматини чеклайди ва двигатель ишга тушириш моментининг кўпайишига ёрдам беради (23.2-§ га қаранг).



23.6-расм. Роторнинг чуқур пази (*а*) ва ишга тушириш токи зичлигининг стерженда тақсимланиши (*б*).

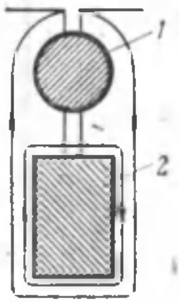
Шундай қилиб, чуқур пазли двигателда ишга тушириш токининг кичик қийматида ишга тушириш моменти юқори бўлади. Роторнинг айланиш тезлиги орта бориши билан роторда ток частотаси f_2 аста-секин камаяди. Шу муносабат билан чулғамнинг индуктив қаршилиги ҳам камаяди. Ротор стерженида токнинг тақсимланиши анча равон бўлиб қолади, бу эса ротор чулғами актив қаршилигининг камайишига олиб келади. Двигатель номинал режимда ишлаганида, $f_2 \ll f_1$ бўлганда, *токни сиқиб чиқариш* процесси деярли тўхтайди ва двигатель одатдаги қисқа туташтирилган роторли двигатель каби ишлай бошлайди.



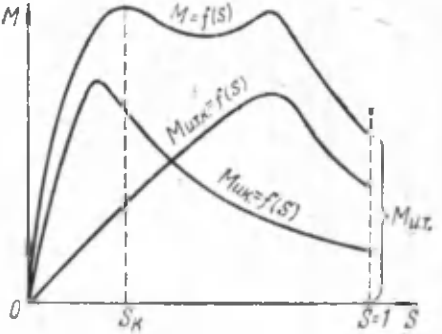
23.7-расм. Икки катакли двигателнинг ротори.

Ишга тушиш хоссалари янада яхшироқ двигатель ҳосил қилиш йўлидаги ҳаракат *қўш катакли асинхрон двигател-*

нинг яратилишига олиб келди. Қўш катакли асинхрон двигателнинг роторида қисқа туташтирилган иккита чулғам (катак) бор. Роторнинг юқориги катаги *1* ишга тушириш катаги, пастки катаги *2* эса иш катаги ҳисобланади (23.7- расм). Ишга тушириш катаги *1* нинг стерженлари латунь ёки бронзадан ясалади, бу эса уларнинг актив қаршилиги юқори бўлишини таъминлайди. Бу катакнинг индуктив қаршилиги катта эмас, чунки у ротор сиртига яқин жойлашган ва шунинг билан бирга икка-



23.8- расм. Икки катакли двигатель ротори ўзагининг пази.



23.9- расм. Икки катакли двигателнинг механикавий характеристикаси.

ла томонида тирқишлари бор (23.8- расм). Иш катаги *2* нинг стерженлари мисдан ясалади. Уларнинг кесими ишга тушириш катаги стерженларининг кесимидан катта бўлади. Буларнинг ҳаммаси иш катаги стерженларининг актив қаршилиги кам бўлишини таъминлайди. Иш катаги стерженларининг индуктив қаршилигига келсак, у ишга тушириш катаги стерженларининг индуктив қаршилигидан катта (айниқса, ишга тушириш даврида, роторда ток частотаси нисбатан катта бўлган вақтда) бўлади.

Двигателни ишга тушириш моментида ротор токи, асосан, индуктив қаршилиги кам бўлган юқориги (ишга тушириш) катакдан ўтади. Бу катак актив қаршилигининг катталиги ишга тушириш токининг қиймати паст бўлганда двигателнинг ишга тушириш моменти анча катта бўлишини таъминлайди. Айланиш тезлиги орта бориши билан ротор токининг частотаси камаяди. Двигатель иш катагининг индуктив қаршилиги ҳам тегишлича камаяди ва ундаги ток кўпаяди. Шу билан бир вақтда двигателнинг ишга тушириш чулғамида ток камаяди. Шу муносабат билан, айлантирувчи момент двигателнинг ишга тушириш ва иш катаклари орасида қайта тақсимланади. Роторнинг иккала чулғами бир томонга йўналган айлантирувчи моментлар ҳосил қилади. Чулғамларнинг актив қаршиликлари бир хил бўлмаганлиги сабабли ҳар қайси чулғамнинг $M = f(s)$ боғланиши турли хил эгри чизиқлар билан тасвирланади (23.9- расм). Ишга ту-

шириш катагининг актив қаршилиги юқори бўлгани учун унинг максимал моменти $M_{и.т.кат.}$ катта сирпанишлар томонига силжиган бўлади. Қўш катакли двигателнинг айлантирувчи моменти иккала катакнинг моментлари йиғиндисига тенг:

$$M = M_{и.т.кат.} + M_{и.кат.}$$

бунда $M_{и.т.кат.}$ ва $M_{и.кат}$ — тегишлича ишга тушириш катаги ва иш катаги вужудга келтирган айлантирувчи моментлар.

Умумий момент эгри чизиғи $M = f(s)$ нинг иккита максимуми бор. Қўш катакли двигателлар чуқур пазли двигателларга нисбатан анча яхши ишга тушириш характеристикалари олишга имкон беради.

Яхши ишга тушириш характеристикаларини таъминлаш билан бирга чуқур пазли ва қўш катакли двигателларнинг қатор камчиликлари ҳам бор:

1) ротордаги қўшимча индуктивлик туфайли $\cos\varphi_1$ нинг паст бўлиши;

2) роторнинг актив қаршилиги катталиги сабабли ф.и.к. нинг кичик бўлиши;

3) роторни тайёрлаш мураккаблиги сабабли двигателнинг қимматга тушиши.

Чуқур пазли двигателлар қуввати 100 *квт* дан юқори, қўш катаклилари эса 200 *квт* дан юқори қилиб ясалади.

23.1- жадвалда ҳозирги замон қисқа туташган роторли двигателларнинг: нормал, чуқур пазли ва қўш катакли двигателларнинг ишга тушириш характеристикалари келтирилган.

23.1- жадвал

Двигатель	$I_{и.т}/I_{1н}$	$M_{и.т}/M_{н}$
Нормал	4,5 — 8,0	0,9 — 1,7
Чуқур пазли	3,5 — 5,0	1,2 — 1,6
Қўш катакли	3,0 — 5,5	1,0 — 3,0

23.5- §. Асинхрон двигателнинг тезлигини ростлаш

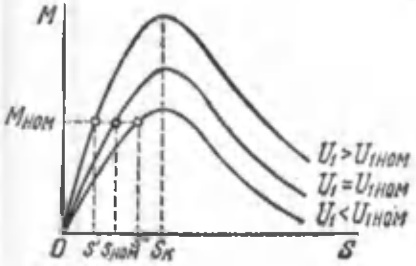
Асинхрон двигатель роторининг айланиш тезлиги ушбу ифодадан аниқланади:

$$n_2 = n_1 (1 - s) = \frac{60 f_1}{p} (1 - s)$$

Бу ифодадан кўриниб турибдики, асинхрон двигателнинг тезлигини учта катталикдан бирини: сирпаниш, статор токининг частотаси ёки жуфт қутблар сонини ўзгартириш йўли билан ростлаш мумкин. Сирпанишни ўзгартириш йўли билан асинхрон двигателнинг тезлигини икки усулда: статор чулғами-

га бериладиган кучланишни ўзгартириш ва ротор занжирининг актив қаршилигини ўзгартириш йўли билан ростлаш мумкин [двигателнинг механикавий характеристикаси ифодасига қаранг (21. 11)].

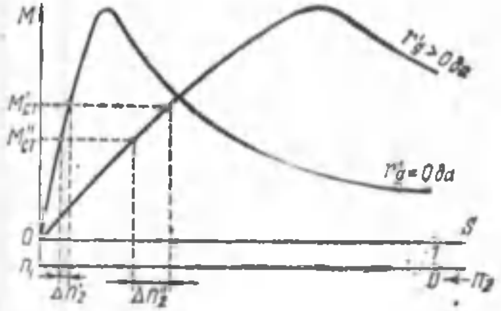
Манба кучланиши U_1 ни ўзгартириш йўли билан асинхрон двигателларнинг айланиш тезлигини ростлаш мумкинлигини U_1 нинг турли қийматлари учун қурилган $M = f(s)$ графиклари ҳам тасдиқлайди (23.10- расм). Двигатель валига тушадиган нагрузка ўзгармас бўлганда кучланишнинг кўпайиши айланиш тезлигининг ортишига олиб келади. Лекин тезликнинг ростлаш диапазони қуйидаги сабабларга кўра катта бўлмайди:



23.10- расм. Асинхрон двигателнинг турли кучланишлардаги механикавий характеристикалари.

а) двигатель турғун ишлаш зонасининг торлиги; бу зона критик сирпаниш қиймати билан чегараланган бўлади;

б) кучланишнинг номинал қийматидан кўп четга чиқишига йўл қўйиб бўлмаслиги, чунки U_1 номинал қийматидан ортиб кетганда электр ва магнитавий исрофлар кўпайиши сабабли



23.11- расм. Ротор занжири қаршилигининг асинхрон двигатель айланиш тезлигининг ўзгаришига таъсири.

двигатель ҳаддан ташқари қизиб кетади, U_1 анчагина камайганда эса двигателнинг ўта юкланиш хусусияти жуда сусайиб кетади (21.2- § га қаранг).

Двигателга бериладиган кучланиш ростлаш автотрансформатори воситасида ёки статор занжирининг узилиш жойига уланган реакторлар воситасида ўзгартирилади. Ростлаш диапазонининг торлиги ва тежамли эмаслиги (қўшимча қурилмаларнинг зарурлиги) сабабли тезликни ростлашнинг ўрганилаётган усули кенг тарқалмаган.

Асинхрон двигателларнинг айланиш тезлигини фақат контакт ҳалқали двигателлардагина ротор занжирининг актив қар

шилиги ҳисобига сирпанишни ўзгартириш йўли билан ростлаш мумкин.

Асинхрон двигателнинг ротор занжири актив қаршилигининг турли қийматлари учун қурилган механикавий характеристикалари (21.5- расмга қаранг) шуни кўрсатадики, ротор занжирининг актив қаршилиги ортиши билан сирпанишнинг берилган нагрузка моментига тўғри келадиган қиймати катталашади. Бунда двигателнинг айланиш тезлиги камаяди. Сирпанишнинг (айланиш тезлигининг) ротор занжирининг актив қаршилигига боғлиқлиги (21.10) ифодани ўзгартириш натижасида олинган формула билан ифодаланади:

$$S = \frac{m_1 I_2'^2 r_2'}{\omega_1 M} \tag{23.3}$$

Амалда ротор занжири актив қаршилигининг қиймати ишга туширирш реостатига ўхшаш, лекин узоқ вақт ишлаш режимига мўлжалланган ростлаш реостати киритиш йўли билан ўзгартирилади. Бу реостатнинг уланиш схемаси 23.2- расм, *а* да кўрсатилган схемадан фарқ қилмайди.

Айланиш тезлиги фақат нагрузка уланган двигателдагина сирпанишни ўзгартириш йўли билан ростланади. Салт ишлаш режимида ротор занжирининг актив қаршилигини ўзгартириш айланиш тезлигига деярли таъсир этмайди.

(21.5) ифодага мувофиқ, ротор занжиридаги электр исрофлар сирпанишга пропорционалдир:

$$p_{э2} = sP_{эм}$$

Бундан кўринадики, двигатель сирпанишининг ортиши натижасида ротор занжирида электр исрофлар кўпаяди ва, бинобарин, двигателнинг ф.и.к. и камаяди. Масалан, агар $M_2 = \text{const}$ бўлган двигателнинг сирпаниши 0,02 дан 0,5 гача оширилса (бу айланиш тезлигининг тахминан икки марта камайишига тўғри келади), у ҳолда ротор занжиридаги исрофлар двигателнинг бутун электромагнитавий қувватининг ярмини ташкил этади. Бу ҳол ростлашнинг бу усулининг тежамсизлигидан далолат беради.

Бундан ташқари, ўз-ўзидан совитиладиган двигателда айланиш тезлиги камайганида ротор занжирида исрофларнинг кўпайиши билан совитилиш шароити ёмонлашади, чунки роторнинг айланиш тезлиги камайганда машина орқали ўтадиган совитувчи ҳаво миқдори камаяди (28.4- § га қаранг).

Ростлашнинг кўриб чиқилаётган усулининг яна бир камчилиги шуки, механикавий характеристиканинг двигателнинг турғун ишлашига мос келадиган қисми ротор занжирига $r_к'$ қаршилик киритилганда анча қия бўлиб қолади. Шунинг учун ҳам нагрузканинг ўзгариши ($M_{ст}$) двигателнинг айланиш тезлигига кучли таъсир этади. Бу айтилганлар 23.11- расмда тасвирланган; расмдан кўриниб турибтики, агар двигателнинг нагрузка

моменти $\Delta M_{ст} = M'_{ст} - M'_{ст}$ қийматга ўзгарса, у ҳолда айланиш тезлигининг ростлаш реостати узиб қўйилгандаги ($r'_{қўш} = 0$) ўзгариши $\Delta n'_2$ ни, реостат улангандагиси эса $\Delta n'_2$ ни ташкил этади. Тезликнинг реостат улангандаги ўзгариши анча катта бўлади.

Лекин кўрсатилган камчиликларга қарамасдан, тезликни ротор занжирига актив қаршилик киритиш йўли билан ростлаш контакт ҳалқали двигателларда кенг қўлланилади, чунки бу усулда ростлашнинг равонлиги билан бирга у двигателнинг ишга тушиш хоссаларининг яхшиланишини таъминлайди.

Асинхрон двигателларнинг тезлигини частота f_1 ни ўзгартириш йўли билан ростлаш статор майдонининг айланиш тезлигини ўзгартиришга асосланган:

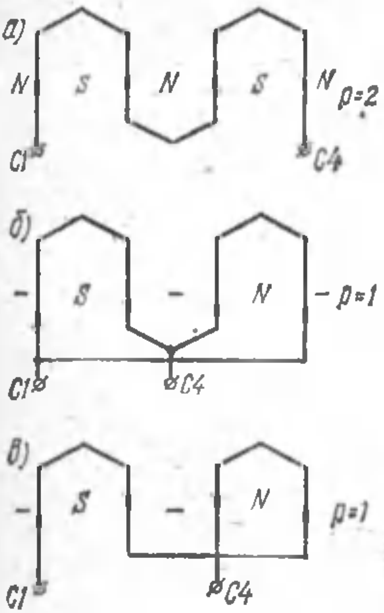
$$n_1 = \frac{f_1 60}{p}$$

Бу ҳолда тезлик равон ва кенг доирада ростланади. Лекин частота f_1 ни ўзгартириш учун ростланадиган ҳар қайси двигателда частотани ўзгартиргич бўлиши зарур, чунки таъминловчи тармоқ частотаси доимо ўзгармас бўлиши керак. Натижада установка мураккаб ва қиммат бўлади. Бу усул амалда умумий тармоққа уланган бир неча асинхрон двигателни бир вақтда ростлашда, масалан, рольганг двигателларнинг тезлигини ростлашда қўлланилади.

Статор чулғамининг қутблари сонини ўзгартириш йўли билан тезликни ростлаш босқичли бўлади, чунки 50 *гц* да ва p нинг турлича қийматларида синхрон тезликнинг қуйидаги қийматларинигина олиш мумкин: n_1: 3000, 1500, 1000, 750, 600, 500 *айл/минут* ва ҳоказо. Двигатель статорининг чулғамидаги қутблар сонини ўзгартириш учун статорда жуфт қутблари сони турлича бўлган иккита чулғам жойлаштириш ёки статорда конструкцияси двигателда ҳар хил сондаги қутблар олишга имкон берадиган битта чулғам жойлаштириш керак. Бу иккала усулдан биргаликда фойдаланиш ростлаш босқичлари кўп бўлган двигателлар олишга имкон беради. Қутблар 1 : 2 нисбатда қайта уланганда энг оддий чулғам олинади.

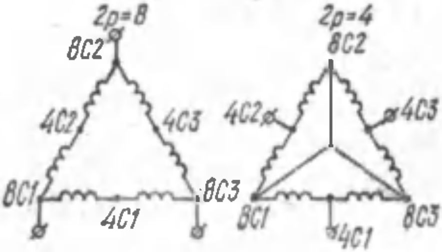
Тўрт қутбли чулғамни икки қутбли чулғамга айлантириш принципи 23.12- расмда кўрсатилган: иккита секция кетма-кет уланганда улар вужудга келтирадиган магнитавий оқим тўртта қутб ҳосил қилади (22.12- расм, *а*); худди шу секциялар параллел уланганда икки қутбли чулғам олинади (23.12- расм, *б*). Секциялар параллел уланган ҳолатда ҳам чулғамни икки қутблига айлантириш мумкин (23.12- расм, *в*). 23.13 расмда статор чулғамини $2p = 8$ дан $2p = 4$ га ўтказиш мумкин бўлган схемалардан бири кўрсатилган, бу синхрон тезликнинг 750 дан 1500 *айл/минут* гача ўзгаришига мос келади. Агар статорда худди шундай чулғамлардан иккитаси жойлаштирилса, у ҳолда тўрт

та тезликли двигатель олинади. Секцияларга ажратилган статор чулғамларини қутблар сонини ўзгартиришга имкон берадиган учлари одатдаги статор чулғамларининг учлари каби белгиланади, лекин уларда 23.2- жадвалда кўрсатилгани каби, шу секциядаги қутблар сонини кўрсатувчи қўшимча рақамлар ҳам бўлади.



23.12- расм. Статорнинг фаза чулғамини турли қутблар сонига қайта улаш схемалари.

Кўп тезликли двигателлар айланиш тезликлари икки, уч ва тўрт тезликли қилиб чиқарилади. Бунда двигатель статорида битта ёки иккита чулғам бўлиши мумкин. Масалан, Т серияли, Т — 42/8 — 6 — 4 — 2 типдаги асинхрон электродвигателнинг статорида қутблар сонини 8, 6, 4 ва 2 га ўзгартиришга имкон берадиган битта чулғам бўлади.



23.13- расм. Икки тезликка эга бўлган асинхрон двигателнинг статор чулғамини „учбурчакдан—қўш юлдузга" қайта улаш схемаси.

Частота 50 *гц* бўлганда бундай ўзгартириш 750, 1000, 1500 ва 3000 *айл/минут* синхрон айланиш тезликларига мос келади.

23.2- жадвал

Икки қутб учун	Тўртта қутб учун	Олтита қутб учун	Саккизта қутб учун
2C1	4C1	6C1	8C1
2C2	4C2	6C2	8C2
2C3	4C3	6C3	8C3

Бу двигатель статори чулғамининг 21 та клеммаси (учи) бор. Статор чулғамининг қутблар сонини ўзгартириш йўли билан айланиш тезлигини ростлаш усули, асосан, қисқа туташтирилган роторли двигателларда қўлланилади. Бунга сабаб шуки,

қисқа туташтирилган роторда қутблар сони доимо статор чулғамининг қутблари сонига тенг бўлади. Шу сабабли, двигателнинг айланиш тезлигини ўзгартириш учун статор чулғамини ўзгартириб улашнинг ўзи билан чекланиш кифоя. Фаза роторли двигателларда эса статор чулғамини ўзгартириб улашдан ташқари, ротор чулғамини ҳам тегишлича ўзгартириш зарур бўлади.

Кўп тезликли асинхрон двигатель валга тушадиган нагрузканинг турига қараб қуйидаги икки режимнинг бирида ишлаши мумкин:

а) двигатель бир айланиш тезлигидан иккинчисига ўтказилганда айлантирувчи момент M_2 ўзгармай қолади, қувват эса айланиш тезлиги n_2 га пропорционал равишда ўзгаради (ўзгармас моментли двигатель):

$$P_2 = M_2 \frac{2\pi n_2}{60};$$

б) двигатель бир айланиш тезлигидан бошқасига ўтказилганда қувват P_2 тахминан ўзгармай қолади, момент M_2 эса айланиш тезлигининг ўзгаришига мувофиқ ҳолда ўзгаради (ўзгармас қувватли двигатель).

$$M_2 = \frac{30 P_2}{\pi n_2}$$

Статор чулғамларини улашнинг турли схемаларини қўллаб, двигателнинг у ёки бу иш режимини таъминлаш мумкин.

Статор чулғамининг қутблари ўзгартириладиган кўп тезликли двигателларнинг одатдаги двигателларга нисбатан баъзи камчиликлари бор, бу камчиликлар асосан қуйидагилардан иборат: а) габарити катта; б) нархи қиммат; в) уларда кўп контактли қўпол қайта улаш қурилмаси бўлади.

Юқорида баён қилинганлардан кўриниб турибдики, асинхрон двигателлар тезлигини ростлашнинг қўлланиладиган барча усулларининг жиддий камчиликлари бор. Асинхрон двигателлар, қатор конструктив афзалликларига қарамай, жиддий камчиликлари борлиги сабабли ҳам тезликни кенг чегарада равон ростлаш талаб қилинадиган установкаларда ҳозирга қадар ўзгармас ток двигателларини сиқиб чиқара олгани йўқ.

23.6-§. Ҳозирги замон асинхрон двигателларининг типлари

Юқорида айтиб ўтилганидек, асинхрон двигателлар халқ хўжалигининг кўпчилик соҳаларида кенг кўламда ишлатилади. Бунга сабаб уларнинг конструкцияларининг оддийлиги, ишончли ишлаши ва иш характеристикаларининг қониқарли эканлигидир. СССР да бир йилда ишлаб чиқариладиган асинхрон двигателларнинг умумий қуввати бир неча миллион киловаттни ташкил этади.

Умумий мақсадларда ишлатиладиган асинхрон двигателлар саноатда ягона сериялар билан ишлаб чиқарилади. Бу двигателлардан халқ хўжалигининг барча соҳаларида кенг кўламда фойдаланилади.

Булардан асосийлари уч фазали асинхрон двигателларнинг ягона серялари бўлиб, уларда қувватларнинг бутун диапазони тўртта қисмга бўлинади.

қуввати 0,6 *квт* гача; 0,6 дан 100 *квт* гача; 100 дан 1000 *квт* гача ва 1000 *квт* дан юқори бўлган двигателлар серияси.

Уч фазали асинхрон двигателларнинг қуввати 0,6 *квт* гача бўлган серияси АОЛ билан белгиланади; бу серияга уч хил габаритли (нолинчи, биринчи ва иккинчи), синхрон тезликлари 3000 ва 1500 *айл/минут* ҳамда номинал кучланишлари 127 / 220 ва 220/380 *в* бўлган қисқа туташтирилган роторли двигателлар киради. Бу двигателлар ёпиқ ҳолда шамоллатиладиган қилиб тайёрланади.

Қуввати 0,6 дан 100 *квт* гача бўлган уч фазали асинхрон двигателларнинг ягона серияси А ва АО билан белгиланади, у АОЛ сериянинг давоми бўлиб, бир-биридан статор ўзаги ташқи диаметрининг ўлчамлари билан фарқ қиладиган еттита габаритли (учинчидан тўққизинчигача) двигателлардан таркиб топади. Серия 14 тип-ўлчамли двигателлардан таркиб топган бўлиб, конструктив тузилиши икки хил: ҳимояланган А ва ёпиқ ҳолда шамоллатиладиган — АО бўлади.

Асосий тузилишдагисидан ташқари, бу сериядаги двигателларнинг қатор модификациялари ҳам бўлади:

АП ва АОП — бошланғич ишга тушириш моменти катта, қисқа туташтирилган двигателлар;

АС ва АСО — сирпаниши катта қисқа туташтирилган ва кўп тезликли қисқа туташтирилган двигателлар;

АОТ — ФИКи ва $\cos \varphi_н$ катта бўлган қисқа туташтирилган двигателлар;

АК — *ротори контакт ҳалқали двигателлар*;

АВ — қисқа туташтирилган, ускунанинг ўзига жойлаштириладиган двигателлар.

Двигателлар турли хил синхрон тезликлар (3000, 1500, 1000 ва 750 *айл/минут*) га ҳамда 127/220, 220/380 ва 500 *в* номинал кучланишга мўлжаллаб ясалади.

Ҳозирги вақтда саноатда янги А2 ва АО2 сериялар ишлаб чиқариш йўлга қўйилган, улар А ҳамда АО сериялардан энергетикавий ва эксплуатацион кўрсаткичларининг анча юқорилиги билан фарқ қилади.

Қуввати 100 дан 1000 *квт* гача бўлган двигателлар қуйидагича белгиланади:

А — қисқа туташтирилган двигателлар;

АК — ротори контакт ҳалқали двигателлар.

Қувватлар шкаласининг ана шу бўлагига 10 — 13 габаритли двигателлар киради. Двигателлар синхрон тезлиги 500

дан 3000 *айл/минут* гача ва 6000 *в* кучланишга мўлжаллаб ясалади.

Қуввати 1000 *квт* дан юқори бўлган двигателлар қуйидагича белгиланади:

АН — қисқа туташтирилган;

АКН — ротори контакт ҳалқали двигателлар.

Двигателлар синхрон тезлиги 250 дан 1000 *айл/минут* гача ва 6000 *в* номинал кучланишга мўлжаллаб ясалади. Бу серияга синхрон тезлиги 250 дан 750 *айл/минут* гача, қуввати 200 дан 800 *квт* гача бўлган двигателлар ҳам киради.

Саноатда асинхрон двигателларнинг махсус сериялари кенг кўламда ишлатилади.

МТ серия—кран двигателлари, УД=25% бўлганда (28.2- § га қаранг) қуввати 2 дан 160 *квт* гача бўладиган, айланиш тезлигини равон ростлаш учун контакт ҳалқали қилиб чиқарилади (19.3- расмга қаранг).

ВАО серия — қуввати 100 *квт* гача, портлашлар таъсир этмайдиган двигателлар.

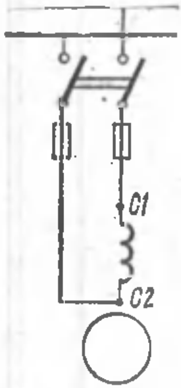
Асинхрон двигателларнинг яна кўпгина махсус сериялари бор, уларнинг ҳар бири муайян шароитда фойдаланишга мўлжалланган.

Фан ва техника ривожланиб борган сари электродвигателларнинг янги, такомиллашган, электр юритмага қўйиладиган катта талабларга жавоб берадиган сериялари яратилмоқда.

XXIV боб

БИР ФАЗАЛИ АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЛАР

24.1 - §. Бир фазали асинхрон двигателнинг ишлаш принципи

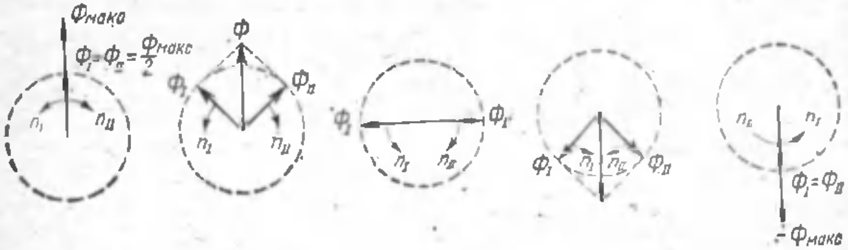


24.1- расм. Бир фазали асинхрон двигателни улаш схемаси.

Бир фазали асинхрон двигатель статорининг бир фазали чулғами бўлиб, у одатда статор ўзагидаги пазлар умумий сонининг 2/3 қисмини эгаллайди. Двигателнинг ротори қисқа туташган қилинади.

Двигатель бир фазали тармоққа уланганда (24.1- расм) статор чулғами айланувчи эмас, балки амплитудаси $\pm\Phi_{макс}$ бўлган *пульсацияланувчи* магнитавий оқим ҳосил қилади. Бу оқимни қарама-қарши томонларга айланадиган иккита Φ_I ва Φ_{II} оқимларга ажратиш мумкин, улардан ҳар бири $\frac{\Phi_{макс}}{2}$ га тенг бўлади (24.2- расм) ва $n_1=\frac{f_1 60}{p}$ тезлик билан айланади.

Двигателнинг ротори соат стрелкасининг ҳаракатига тескари, яъни Φ_I оқим йўналишида айланади, деб фараз қилайлик (24.2- расм). Бунда Φ_I оқимни *тўғри*, Φ_{II} оқимни эса *тескари* оқим деймиз.



24.2- расм. Пульсацияланаётган магнитавий оқимни иккита айланувчан оқимга ажратиш.

У ҳолда двигателнинг тўғри оқим Φ_I га нисбатан сирпаниши қуйидагига тенг:

$$s_I = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

тескари оқим Φ_{II} га нисбатан сирпаниши эса

$$s_{II} = \frac{n_1 - (-n_2)}{n_1} = \frac{n_1 + n_2}{n_1} > s_I$$

Φ_I ва Φ_{II} оқимлар ротор чулғамида E'_{2I} ва E'_{2II} э. ю. к лар ҳосил қилади, улар эса I'_{2I} ва I'_{2II} токларни вужудга келтиради. Маълумки, ротор чулгамларидаги ток частотаси сирпанишга пропорционал $f_2 = f_1 s \cdot s_I < s_{II}$ бўлгани учун ротор чулғамида тескари оқим Φ_{II} ҳосил қилган ток I'_{2II} нинг частотаси ротор чулғамида тўғри оқим Φ_I вужудга келтирган ток I'_{2I} нинг частотасидан анча катта бўлади. Масалан $n_1 = 1500$ *айл/минут*, $n_2 = 1450$ *айл/минут* ва $f_1 = 50$ *гц* бўлган бир фазали двигатель учун қуйидагиларни оламиз:

$$s_I = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0{,}033; \qquad f_{2I} = 0{,}033 \cdot 50 = 1{,}8 \text{ гц};$$

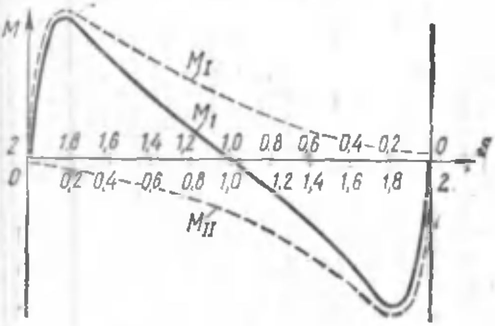
$$s_{II} = \frac{1500 + 1450}{1500} = 1{,}96; \qquad f_{2II} = 1{,}96 \cdot 50 = 98 \text{ гц};$$

Ротор чулғамининг ток I'_{2II} га индуктив қаршилиги унинг актив қаршилигидан кўп марта катта бўлади. Шунинг учун ток I'_{2II} деярли соф реактив бўлиб тескари оқим Φ_{II} га кучли магнитсизловчи таъсир этади Натижада двигателнинг тескари оқими анча сусаяди.

Бир фазали двигателнинг айлантирувчи моменти M қуйидаги моментларнинг биргаликда таъсир этишидан вужудга келади;

$$M = M_{I} + M_{II}$$

Бунда M_{I} — тўғри оқим Φ_{I} нинг ток I'_{2I} билан ўзаро таъсир этишидан ҳосил бўлган момент, M_{II} эса — тескари оқим Φ_{II} нинг ток I'_{2II} билан ўзаро таъсир этишидан ҳосил бўлган момент.



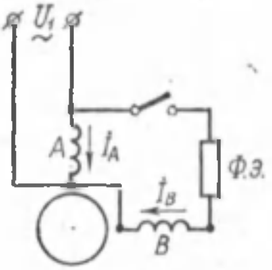
24.3- расм. Бир фазали асинхрон двигателнинг механикавий характеристикалари.

24.3- расмда айлантирувчи момент M нинг сирпаниш функцияси $s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$ даги боғлиқлик графиги кўрсатилган. Бу график $M_1 = f(s_1)$ ва $M_{II} = f(s_{II})$ графикларни устма-уст қўйиш натижасида олинган. Сирпаниш s нинг двигателнинг номинал нагрузка чегарасида ишлашига мувофиқ келадиган кичик қийматларида айлантирувчи момент M ни асосан, M_{I} момент ҳосил қилади. $s_1 = s_{II} = 1$ бўлганда M_1 ва M_{II} моментлар ўзаро тенг, шунинг учун бир фазали двигателнинг айлантирувчи ишга тушириш моменти нолга тенг. Демак, бир фазали асинхрон двигатель тармоққа уланганда ўз-ўзидан айланиб кета олмайди, балки уни айлантириш учун дастлабки туртки бўлиши керак, чунки $s < 1$ бўлгандагина двигатель роторига айлантирувчи момент таъсир эта бошлайди.

24.2-§. Бир фазали асинхрон двигателни ишга тушириш

Зарурий ишга тушириш моменти ҳосил қилиш учун бир фазали двагатель *қўшимча ишга тушириш* чулғами билан таъминланади. Бу чулғам пазларнинг бўш қолган 1/3 қисмида шундай жойлаштириладики, унинг м. к. и статорнинг иш (асосий) чулғами м. к. ига нисбатан 90 эл. градусга силжиган бўлади. Бундан ташқари, ишга тушириш чулғамининг занжи-

рига *фаза силжитувчи* элементи уланади 24.4-расм) бу иш чулғамидаги I_A ва ишга тушириш чулғамидаги ток I_B лар орасида фаза силжишини вужудга келтириш учун зарур. Фаза силжитувчи элемент (ФЭ) сифатида актив қаршилик, индуктивлик ёки сиғим ишлатилиши мумкин. Двигатель ротори барқарор тезликка яқин тезлик олгандан кейин ишга тушириш чулғами узиб қўйилади.



24.4-расм. Статорида иш чулғами *A* ва ишга тушириш чулғами *B* бўлган бир фазали асинхрон двигателнинг схемаси.

Статордаги фазода бир-бирига нисбатан 90° бурчакка силжиган иккита чулғам воситасида айланувчан майдон ҳосил қилиш учун қуйидаги шартларга риоя қилиш зарур:

а) иш чулғамининг F_A ва ишга тушириш чулғамининг F_B магнитловчи кучлари ўзаро тенг ва фазода бир-бирига нисбатан 90° га силжиган бўлиши керак;

б) статор чулғамларидаги токлар I_A ва I_B фаза жиҳатдан бир-бирига нисбатан 90° га силжиган бўлиши лозим.

Бу шартларга қатъий риоя қилинганда статорнинг айланувчан майдони *айланма* (доиравий) бўлади, бу эса электромагнитавий моментнинг энг катта қийматига тўғри келади. Кўрсатилган шартлардан бирортаси бузилса, айланувчан майдон *эллипс* шаклида бўлиб, катталиги жиҳатдан бир-бирига тенг бўлмаган, турли томонларга айланадиган иккита: тўғри ва тескари айланма майдонлардан таркиб топади. Тескари айланувчан майдон роторда тормозлаш моментини вужудга келтиради ва двигателнинг иш хоссаларини ёмонлаштиради.

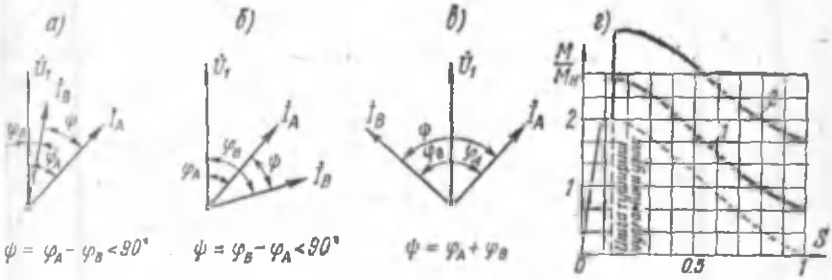
24.5-расмда келтирилган вектор диаграммалардан кўриниб турибдики, актив қаршилик ёки индуктивлик статор чулғамларидаги $\dot{I}_A$ ва $\dot{I}_B$ токлар орасида фаза силжиши ψ, 90° бўлишини таъминламайди. Фаза силжитувчи элемент сифатида сиғим С ишлатилгандагина $\psi = 90°$ бўлади. Бу сиғимнинг катталиги шундай танлаб олинадики, двигателни ишга тушириш моментида ($s = 1$) ишга тушириш чулғамидаги ток I_B фаза жиҳатидан кучланиш $\dot{U}_1$ дан φ_B га (φ_A бурчакни 90° гача тўлдирувчи) олдин кетадиган бўлсин:

$$\psi = \varphi_A + \varphi_B = 90°.$$

Агар бунда иккала чулғам бир хил магнитловчи кучлар ҳосил қилса, двигатель тармоққа уланган пайтда унда доиравий айланувчан майдон вужудга келади ва двигателнинг бошланғич ишга тушириш моменти катта бўлади.

Шунлай қилиб, сиғим энг яхши фаза силжитувчи элемент бўлиб, бир фазали двигателнинг ишга тушиш хоссалари яхши бўлишини таъминлайди.

Лекин конденсаторлар габаритларининг катта бўлиши сиғимни фаза силжитувчи элемент сифатида ишлатишни баъзан чеклаб қўяди, ваҳоланки, электр двигателни ишга туширишда



24.5- расм. Фаза силжитувчи элементларнинг хоссаларини таққослаш: *а*—актив қаршилик; *б*—индуктивлик; *в*—сиғим; *г*—турли фаза силжитувчи элементларда двигателнинг механикавий характеристикалари: *1*—актив қаршилик; *2*—сиғим.

доиравий айланувчан майдон ҳосил қилиш учун катта сиғим бўлиши зарур. Масалан, двигателнинг қуввати 200 *вт*, иш кучланиши 300 – 500 *в* бўлганда сиғим $C = 30$ *мкф* бўлиши керак.

Ана шу мулоҳазаларга кўра фаза силжитувчи элемент сифатида актив қаршилик ишлатиладиган бир фазали асинхрон двигателлар энг кўп ишлатилади. Ишга тушириш чулғами уланган ҳолда оз вақт туриши сабабли (фақат двигателни ишга тушириш даврида) у кичикроқ кесимли симдан ясалади. Бу ҳол ишга тушириш чулғамининг актив қаршилиги юқори бўлишини таъминлайди. Бундан ташқари, ишга тушириш чулғамининг бир қисми баъзан бифилляр қилиб ясалади, бу билан унинг индуктивлиги камайтирилади. Натижада ишга тушириш чулғами иш чулғамидан актив қаршилигининг катталиги ва индуктивлигининг камлиги билан фарқ қилади. $\dot{I}_A$ ва $\dot{I}_B$ токлар орасидаги фазалар силжиш бурчаги барибир 90° дан кичик бўлса ҳам, бу двигателларнинг ишга тушиш хоссалари тўла қониқарли бўлади.

$$\frac{M_{и.м.}}{M_н} = 1,0 - 1,2; \quad \frac{I_{и.т.}}{I_н} = 6,5 - 9.$$

Ишга тушириш чулғамининг актив қаршилиги юқори бўлган электр двигателлар ишга тушириш моментининг катта бўлиши талаб қилинмайдиган жойларда ишлатилади.

Катта ишга тушириш моменти олиш зарур бўлганда фаза силжитувчи элемент сифатида сиғим ишлатилади. Бу ишга ту-

шириш моментини қуйидаги қийматгача оширишга имкон беради:

$$\frac{M_{и.т.}}{M_{н}} = 1,6 - 2.$$

24.5- расм, *г* да бир фазали асинхрон двигателнинг фаза силжитувчи элементлари турлича бўлгандаги механикавий характеристикалари келтирилган. Яққол тушиниш учун момент *М* нинг қийматлари нисбий бирликларда берилган.

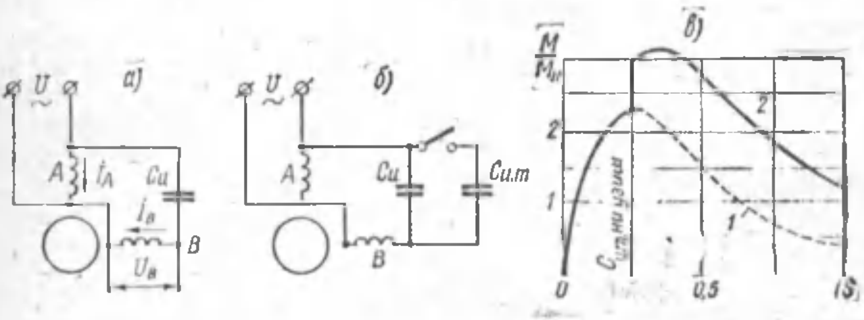
Юқорида айтиб ўтилганидек, ишга тушириш процесси тугагандан кейин ишга тушириш чулғамининг занжирини узиб қўйиш лозим. Агар шундай қилинмаса, кичикроқ кесимли симдан тайёрланган ва узоқ вақт ток ўтиб туришига мўлжалланмаган ишга тушириш чулғами қаттиқ қизиб кетади.

Ишга тушириш чулғамини узиб қўйиш, одатда автоматлаштирилади ва реле воситасида амалга оширилади.

24.3- §. Конденсаторли асинхрон двигателлар

Конденсаторли асинхрон двигатель статорида бир хил сондаги пазларни эгаллаган ва фазода бир-бирига нисбатан 90° бурчакка силжиган иккита чулғам бўлади. Двигатель ротори қисқа туташтирилган қилиб ясалади. Статор чулғамларидан бири, *асосий* чулғам дейиладигани бевосида бир фазали тармоққа уланади, *ёрдамчи* чулғам дейиладиган иккинчиси эса шу тармоқнинг ўзига, лекин ишчи конденсатор дейиладиган конденсатор $C_и$ орқали уланади (24.6- расм, *а*).

Илгари кўриб ўтилган бир фазали асинхрон двигателдан фарқ қилиб, конденсаторли двигателда ёрдамчи чулғам ишга туширишдан кейин узиб қўйилмайди ва двигателнинг бутун ишлаш жараёнида уланганича қолаверади.



24.6- расм. Конденсаторли двигатель:
а—иш сиғимли; *б*—иш сиғимли ва ишга тушириш сиғимли; *в*—механикавий характеристикалари:
1—иш сиғими бўлганда, *2*—иш сиғими ва ишга тушириш сиғимлари бўлганда.

Сиғим $C_и$ ёрдамчи чулғам занжирида $\dot{I}_A$ ва $\dot{I}_B$ токлар орасида фаза жиҳатдан силжишни вужудга келтиради.

Шундай қилиб, агар бир фазали асинхрон двигатель ишга тушириш процесси тугагандан кейин статорнинг пульсацияланувчи магнитавий майдони билан ишласа, конденсаторли электр двигатель эса доиравий ёки доирага яқин шаклда айланувчан магнитавий майдон билан ишлайди. Шунинг учун конденсаторли бир фазали двигателлар ўзининг хоссалари жиҳатидан уч фазали асинхрон двигателларга яқинлашади.

Доиравий айланувчан майдон ҳосил қилиш учун зарурий сиғим $C_и$ нинг катталиги қуйидаги ифодадан аниқланиши мумкин:

$$C_и = \frac{I_A \sin \varphi_A}{2\pi f_1 U_A K^2} 10^6 [мкф]. \qquad (24.1)$$

бунда асосий $U_A = U_1$ ва қўшимча U_B чулғамлардаги кучланишлар нисбати шундай бўлиши керак:

$$\frac{U_A}{U_B} = \frac{\operatorname{tg} \varphi_A}{K} \neq 1.$$

Бу ифодаларда:

φ_A — майдон доиравий бўлганда ток $\dot{I}_A$ билан кучланиш $\dot{U}_A$ орасидаги фазалар силжиш бурчаги;

K — трансформациялаш коэффициенти, бу қўшимча ва асосий чулғамлар ўрамларининг эффектив сонлари нисбатидир:

$$K = \frac{w_B K_B}{w_A K_A},$$

бунда K_B ва K_A — статор чулғамларининг чулғам коэффициентлари (15.8-§ га қаранг).

(24.1) ифодани анализ қилиш шуни кўрсатадики, берилган K ва $\frac{U_A}{U_B}$ ларда сиғим $C_и$ двигателнинг фақат битта, муайян иш режимидагина доиравий айланувчан майдон олинишини таъминлайди, чунки иш режими ўзгарганида $\dot{I}_A$ ва φ_A ҳам ўзгаради. Шундай қилиб, двигателнинг иш режими ҳисобий режимдан ўзгарса, айланувчан майдон эллипс шаклида бўлиб қолади ва двигателнинг иш хоссалари анча ёмонлашади. Кўпинча, конденсаторли двигателлар номинал ёки унга яқин нагрузкада доиравий айланувчан майдон олинадиган қилиб ҳисоб қилинади.

Конденсаторли двигателларнинг ф. и. к. ($\eta = 60 - 75\%$) ва қувват коэффициенти нисбатан юқори ($\cos\varphi_1 0{,}8 - 95$) бўлади. Лекин двигателнинг ишга тушиш хоссалари қониқарли эмас. Гап шундаки, ишга тушириш пайтида двигателнинг магнитавий майдони доиравий бўлмайди, чунки доиравий айланувчан

майдон нагрузканинг фақат муайян қийматигагина мос келади. Шунинг учун конденсаторли двигателнинг ишга тушириш моменти, одатда номинал моментининг 50% идан ошмайди. Шунинг учун ҳам конденсаторли двигателларни ишга тушиш шароитлари енгил бўлган механизмлар юритмаси учун ишлатиш мақсадга мувофиқдир. Конденсаторли двигателнинг ишга тушириш моментини ошириш учун схемага 24.6-расм, *б* да кўрсатилганидек, иккита конденсатор уланади.

$C_{и.т.}$ конденсатор ишга тушириш конденсатори дейилади ва у ишга тушириш вақтидагина уланади. $C_{и.т.}$ сиғимнинг катталиги энг катта ишга тушириш моменти олинадиган қилиб танланади. 24.6-расм, *в* да конденсаторли двигателнинг механикавий характеристикалари кўрсатилган.

Ротор тезлашиб олгач, ишга тушириш сиғимини узиб қўйиш лозим, чунки кичикроқ сирпанишларда кучланишлар резонанси содир бўлиши, натижада конденсатор клеммаларидаги ва статор чулғамларидаги кучланиш тармоқ кучланишидан 2—3 марта ортиб кетиши мумкин.

Иш сиғими ва ишга тушириш сиғими бор конденсаторли двигателлар ишга тушириш шароитлари оғир бўлган механизмларнинг юритмаси учун ишлатилади.

24.4-§. Универсал асинхрон двигателлар

Ҳозирги вақтда универсал асинхрон двигателлар кенг кўламда ишлатилмоқда. Бундай двигатель кичикроқ қувватли, роторининг чулғами қисқа туташтирилган ва статорининг чулғами уч фазали бўлган асинхрон двигателдир. Бу двигателнинг универсал дейилишига сабаб шуки, конструкциясига ҳеч қандай ўзгариш киритмасдан ундан уч фазали двигатель сифатида ҳам, бир фазали сифатида ҳам фойдаланиш мумкин.

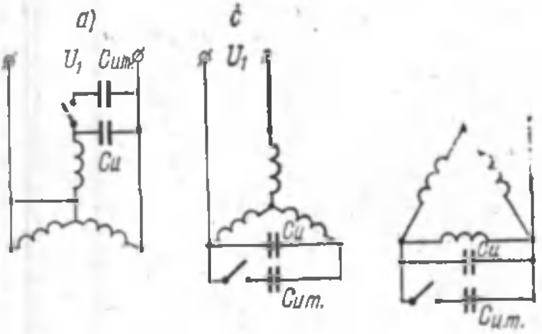
Универсал асинхрон двигателдан бир фазали двигатель сифатида фойдаланишда статорнинг чулғамлари 24.7-расм, *а*, *б* да келтирилган схемаларнинг бири бўйича уланади.

24.1-жадвал

Двигателнинг типи	Фазалар сони	Қуввати, *вт*	Кучланиш, *в*	Айланиш тезлиги, *айл/минут*	Ток кучи, *а*	Ф.И.К.	cos φ
УАД-54	3	9	127/220	1280	0,17	0,25	0,55
	1	8	220	1300	0,16	0,25	0,88
УАД-64	3	20	127/220	1280	0,23	0,4	0,6
	1	15	220	1300	0,23	0,35	0,85
УАД-74	3	30	127/220	1280	0,3	0,5	0,5
	1	25	220	1300	0,3	0,45	0,85

Бу ерда ҳам конденсаторли двигателлардаги каби, иш сиғими нагрузканинг муайян қувватига, масалан номинал нагрузкага ҳисоб қилинади, шунинг учун нагрузка ўзгарганида двигателнинг иш хоссалари ёмонлашади. Двигателнинг хавфли даражада ортиқча юкланиши ёки чала юкланиш ҳоллари ҳам рўй бериши мумкин, бундай ҳолларда бирор фазанинг чулғамлари куйиб кетади.

Универсал асинхрон двигателдан бир фазали режимда фойдаланилганда унинг қуввати уч фазали режимдагига қараганда



24.7- расм. Бир фазали тармоққа улашда уч фазали чулғамни туташтириш схемалари.

пасаяди 24.1- жадвалда УАД сериядаги универсал асинхрон двигателлар баъзи типларининг паспорт маълумотлари келтирилган. Бу двигателлар бир фазали режимда конденсаторли двигателлар сифатида фойдаланилади

Универсал асинхрон двигатель сингари одатдаги уч фазали асинхрон двигателдан ҳам бир фазали двигатель сифатида фойдаланиш мумкин. Бундай двигатель статорининг чулғами бир фазали режимда 24.7- расмда келтирилган схемалардан бири бўйича уланиши мумкин.

Ток частотаси 50 *гц* бўлганда иш сиғими $C_и$ нинг *мкф* да ифодаланган катталигини қуйидаги формулаларнинг бири бўйича аниқлаш мумкин (16- А):

$$\left.\begin{aligned} &24.7,\ a \text{ схема учун} \quad C_и = 2740\frac{I_{1н}}{U_{1н}};\\ &24.7,\ б \text{ схема учун} \quad C_и = 2800\frac{I_{1н}}{U_{1н}};\\ &24.7,\ в \text{ схема учун} \quad C_и = 4800\frac{I_{1н}}{U_{1н}}.\end{aligned}\right\} \qquad (24.2)$$

Агар двигатель салт ишлаш режимида ёки валига озроқ нагрузка бўлганда ишга туширилса, у ҳолда ишга тушириш сиғими талаб этилмайди. Агар двигатель валида анчагина катта нагрузка бўлганда ишга тушириладиган бўлса, у ҳолда ишга тушириш сиғими $C_{и.т.}$ зарур бўлади.

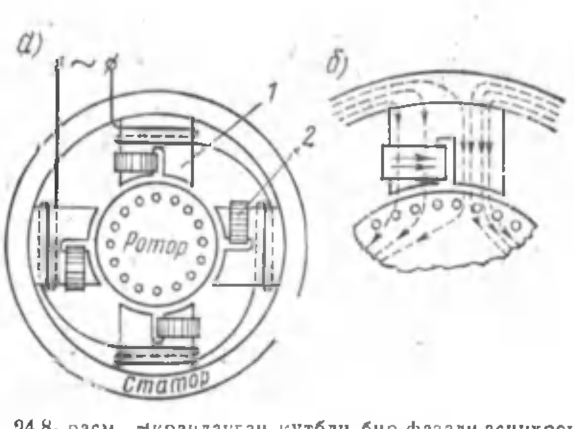
Бу сиғимнинг катталиги $C_{и.т.} = (2,5 - 3)\ C_и$ деб қабул қилинади. Бу ҳолда двигателнинг ишга тушириш моменти номинал моментга яқин бўлади. Ишга тушириш моментини янада катталаштириш зарур бўлса, сиғим $C_{и.т.}$ ни кўпайтириш лозим. Масалан, $C_{и.т.} = (6 - 8)\ C_и$ да ишга тушириш моменти максимал моментга яқинлашади.

Шуни эсда тутиш керакки, уч фазали двигателдан фаза чулғамларидан бирини узиб қуйиб бир фазали режимда фойдаланилганда унинг қуввати 60% фойдаланилади холос, бир фазали конденсаторли режимда эса 75—80% фойдаланилади.

24.5-§. Ҳимояланган (экранланган) қутбли бир фазали двигатель

Кам қувватли (5 — 25 *вт*) бир фазали двигателларда айлантирувчи ишга тушириш моменти ҳосил қилиш учун аён қутбли конструкция ишлатилади (24.8- расм, *а*), бир фазали чулғам ана шу қутбларда жойлашади. Қутблар *1* ажраладиган конструкцияда бўлиб, ҳар қайси қутбнинг ажралган қисмларидан бирига мис ҳалқа *2* кўринишда қисқа туташтирилган ўрам (экран) кийдирилган бўлади. Двигатель ротори одатдаги қисқа туташтирилган конструкцияли бўлади. Статор чулғамлари тармоққа уланганда унда ҳосил бўлган пульсацияланувчи магнитавий оқим таъсирида қисқа туташтирилган ўрамда ток пайдо бўлиб, у қутбнинг шу қисмида оқимнинг кўпайишига тўсқинлик қилади (24.8- расм, *б*). Натижада ҳар қайси қутбнинг иккала қисмидаги оқимлар бир-бирига нисбатан фаза жиҳатдан силжиган бўлади; бу эса, ўз навбатида, двигателда айлантирувчи магнитавий майдон ҳосил бўлишига олиб келади. Двигателнинг ишга тушиш ва иш характеристикаларини яхшилаш учун кўпинча, қутблар орасига пўлат пластинкалар кўринишидаги магнитавий шунтлар жойлаштирилади.

Аён қутбли бир фазали двигателлар, одатда, катта ишга тушириш моменти талаб этилмайдиган қурилмаларда ишлатилади. Масалан, улар кичикроқ вентиляторлар, электр проигривателлар ва бошқаларда ишлатилади.



24.8- расм. Экранланган қутбли бир фазали асинхрон двигатель.

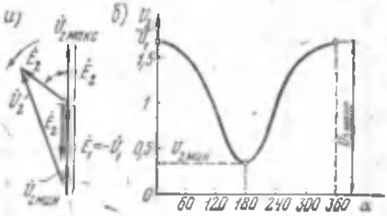
XXV боб

МАХСУС АСИНХРОН МАШИНАЛАР

25.1- §. Индукцион регулятор ва фазорегулятор

Индукцион регулятор контакт ҳалқали тормозланган асинхрон двигателдир. Унинг ёрдамида кучланишни кенг чегарада ростлаш мумкин. Индукцион регуляторда статор ва ротор чулғамлари электр жиҳатдан уланган бўлади (25.1- расм), лекин роторнинг бурилиши билан улар бир-бирига нисбатан силжий олади. Индукцион регулятор тармоққа уланганда айланувчи магнитавий майдон статор ва ротор чулғамларида E_1 ҳамда E_2 э. ю. к. лар ҳосил қилади. Чулғамларнинг ўқлари бир-бирига мос келганда E_1 ва E_2 фаза жиҳатдан мос тушади ва регуляторнинг чиқиш клеммаларида максимал кучланиш $U_{2макс}$ қарор топади (25.2- расм, *а*). Ротор бурилганда чулғам

25.1- расм. Индукцион регуляторни улашлар схемаси.



25.2- расм. Индукцион регуляторнинг вектор диаграммаси (*а*) ва $U_2 = f(\alpha)$ боғланиш графиги (*б*).

ўқи бирор α бурчакка бурилади. Вектор $\dot{E}_2$ ҳам ана шундай бурчакка силжийди. Бунда регуляторнинг чиқиш клеммаларидаги $\dot{U}_2 = \dot{E}_1 + \dot{E}_2$ геометрик йиғиндига тенг бўлган кучланиш камаяди. Роторни $\alpha = 180$ эл. градус бурчакка буриб, регулятордан чиқишдаги кучланишни минимал қиймат $U_{2\,мин}$ га келтирамиз. 25.2- расм, *б* да индукцион регулятордан чиқишдаги кучланишнинг роторнинг бурилиш бурчагига боғлиқлик графиги $U_2 = f(\alpha)$ келтирилган.

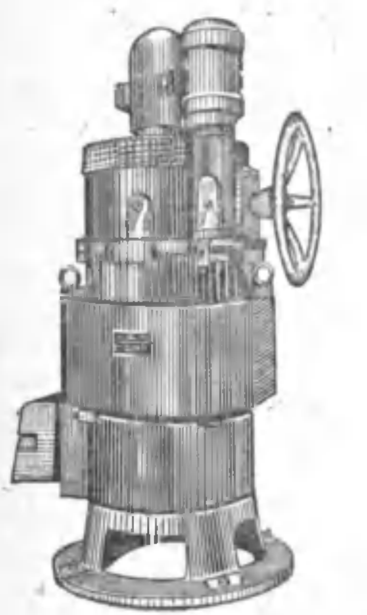
Индукцион регуляторлар лаборатория практикасида, автоматикада, шунингдек, тақсимлаш тармоқларида кучланишни ростлаш учун ишлатилади.

Индукцион регуляторда роторни буриш учун, одатда червякли узатма ишлатилади, роторни тормозлаш ҳам шу узатма воситасида бир вақтнинг ўзида амалга оширилади.

25.3- расмда қуввати 15 *ква* бўлган АИ61-100 типдаги индукцион регулятор кўрсатилган. Регуляторда мажбурий совитиш қурилмаси бор, бу унинг қувватини оширади. Роторни дастаки усулда маховик билан ёки регуляторни узоқдан бош-

қаришга имкон берадиган электр двигатель воситасида буриш мумкин.

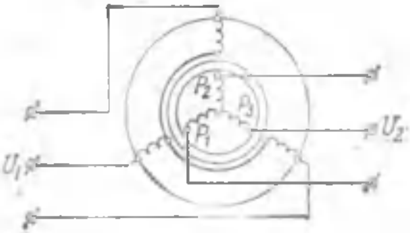
Фазорегулятор иккиламчи кучланиш фазасини бирламчи кучланиш фазасига нисбатан ўзгартириш учун ишлатилади. Бунда иккиламчи кучланиш қиймати ўзгармасдан қолади.



25.3- расм. Қуввати 15 *ква* бўлган АИ61-100 типидаги индукцион регуляторнинг ташқи кўриниши.

Фазорегулятор махсус буриш қурилмаси (одатда червякли узатма) билан тормозланган контакт ҳалқали уч фазали асинхрон машинадир. Кучланиш статор чулғамига берилади ва ротор чулғамининг чиқиш учларидан олинади.

Индукцион регулятордан фарқ қилиб, фазорегуляторда статор ва ротор чулғамлари бир-бири билан электр жиҳатдан боғланмаган (25.4- расм). Иккиламчи кучланиш фазаси роторни статорга нисбатан буриш йўли билан ўзгартирилади.



25.4- расм. Фаза регуляторни улашлар схемаси.

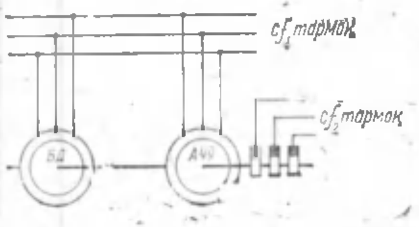
Фазорегуляторлар автоматикада ва ўлчаш техникасида ишлатилади. Ватанимиз саноатида қуввати 7,5 ва 15 *ква* бўлган ФРО сериядаги (шамол уриб совитиладиган фазорегулятор) фазорегуляторлар ишлаб чиқарилади. ФРО сериядаги фазорегуляторларда роторни равон буриш фазорегуляторни узоқдан бошқаришга имкон берадиган электр двигатель воситасида амалга оширилади.

25.2- §. Асинхрон частота ўзгартиргич

Маълумки, асинхрон машина роторининг занжиридаги ток частотаси сирпанишга боғлиқ, яъни статор ва ротор айланувчан майдони тезликларининг фарқи билан аниқланади:

$$f_2 = sf_1 = \frac{n_1 - n_2}{n_1} f_1.$$

Асинхрон машинанинг бу хоссаси ундан частота ўзгартиргич сифатида фойдаланишга имкон беради. Бу ҳолда статор чулғами саноат частотаси f_1 ли тармоққа уланади, ротор эса бошқа двигатель воситасида статор майдонига тескари йўналишда, яъни унинг машина двигатель режимида ишлаганда айланганига тескари йўналишда айлантирилади. Бунда сирпаниш бирдан бошлаб кўпаяди ва ундан ҳам ортади, ротор токининг частотаси f_2 эса таъминловчи тармоқ токининг частотаси f_1 га нисбатан кўпаяди.



25.5- расм. Асинхрон частота ўзгартиргични улашлар схемаси.

Агар таъминловчи тармоқ частотасини камайтириш талаб қилинса, у ҳолда ўзгартиргичнинг ротори статор майдонининг айланиш йўналишида айлантирилади. Ротор чулғамида ҳосил бўлган э. ю. к. E_2 контакт ҳалқалари ва чўткалар орқали истеъмолчига берилади. 25.5- расмда асинхрон частота ўзгартиргич (АЧЎ) ни улаш схемаси кўрсатилган.

Ротор занжирининг электр қуввати P_2' статорнинг айланувчан майдони роторга узатадиган электромагнитавий қувват $P_{эм}$ билан бирламчи двигатель БД нинг механикавий қуввати $P_{мех}$ йиғиндисидан иборат бўлади;

$$P_2' = P_{эм} - P_{мех}$$

$P_{эм}$ ва $P_{мех}$ қувватлар орасидаги нисбат сирпанишга боғлиқ. Масалан, АЧЎ $s=2$ сирпаниш билан ишлаганда бу қувватлар ўзаро тенг бўлади ва ротор қувватнинг ярмини статордан, ярмини эса бирламчи двигателдан олади.

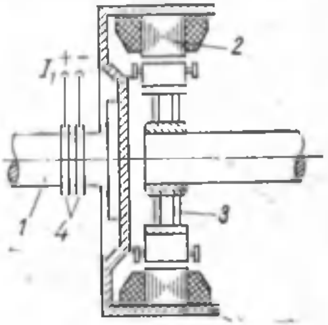
Асинхрон частота ўзгартиргичдан чиқишда частотани равон ростлаш зарур бўлганда бирламчи двигатель сифатида тезлиги равон ростланадиган электр двигателлар, масалан ўзгармас ток двигателлари ишлатилади. Лекин кўпинча АЧЎ муайян (белгиланган) частота f_2 олишда фойдаланилади. Бунда бирламчи двигатель сифатида асинхрон ёки синхрон двигатель ишлатилади.

25.3- §. Электромагнитавий асинхрон муфта

Электромагнитавий асинхрон муфта асинхрон электр двигатель принципида тузилган бўлиб, айлантирувчи моментни бир (етакчи) валдан бошқа (етакланувчи) валга узатиш учун хизмат қилади. Етакчи вал *1* да муфтанинг кутблар системаси *2* жойлашади, бу аён кутблар системаси бўлиб, унда қўзғатиш галтаклари бўлади. Ўзгармас ток қўзғатиш ғалтагига контакт

ҳалқалар 4 орқали узатилади (5.6 расм). Муфтанинг етакланувчи қисми 3 асинхрон двигателнинг ротор катаги типида ясалади.

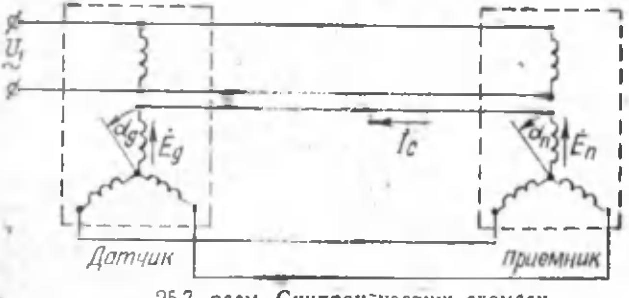
Муфтанинг ишлаш принципи асинхрон двигателнинг ишлашига ўхшайди, фақат бунда айланувчан магнитавий оқим қутб қисмининг механикавий айланишидан ҳосил бўлади. Айлантирувчи момент етакчи валдан етакланувчи валга магнитавий оқим орқали узатилади. Муфта қўзғатиш токи I_1 ни узиш йўли билан ажратилади. Ток катталигини ростлаш муфтани узоқдан туриб бошқаришга (етакчи ва етакланувчи валларни равон тишлатиш ҳамда ажратишга) имкон беради. Бундан ташқари, муфта, асинхрон двигатель каби, максимал моментга эришганда беқарор ишлаш режимига ўтади, бу эса бирламчи двигателни нагрузканинг ҳаддан ташқари ортиб кетишидан ва унинг кескин ўзгаришларидан сақлайди.



25.6- расм. Асинхрон электромагнитавий муфтанинг тузилиши.

25.4 §. Асинхрон машинанинг синхрон узатма системасида ишлатилиши

Автоматика қурилмаларида баъзан бир-биридан узоқда жойлашган ва ўзаро механикавий боғланмаган механизмларнинг валларини бир вақтда (синхрон) айлантириш ёки маълум бурчакка буриш зарур бўлиб қолади. Бу процессни амалга ошириш учун синхрон узатма ишлатилади, унда механизмларнинг валлари орасидаги механикавий боғланиш электр боғланишга



25.7- расм. Синхрон узатиш схемаси.

алмаштирилган бўлади. Бундай синхрон узатманинг асосий элементлари *сельсинлардир.*

Сельсин иккита чулғами: қўзғатиш чулғами дейиладиган бир фазали чулғам ва юлдуз усулида уланган, синхронлаш чулғами дейиладиган уч фазали чулғамга эга бўлган электр машинадир. Чулғамлардан бири роторда, иккинчиси эса статорда жойлашган бўлади.

Энг оддий синхрон узатмада иккита сельсин: *сельсин-датчик* ва *сельсин-приёмник* булади (25.7- расм). Сельсинларнинг

қўзғатиш чулғамлари U_1 кучланишга уланганида ҳар қайси сельсинда пульсацияланувчи магнитавий оқим Ф вужудга келади.

Бу оқим датчикнинг синхронлаш чулғамида э. ю. к. $E_д$ ҳосил қилади. Оқим Ф ҳам приёмникнинг синхронлаш чулғамида э. ю. к. $E_п$ ҳосил қилади. $E_д$ ва $E_п$ э. ю. к. лар синхронлаш занжирида бир-бирига қарши йўналган. Агар приёмник роторининг статорига нисбатан эгаллаган ҳолати датчик роторнинг ўз статорига нисбатан ҳолати каби бўлса, $E_д$ ва $E_п$ э. ю. к. ларнинг қиймати бир-бирига тенг бўлади. Бу ҳолда синхронлаш занжирида э. ю. к. лар йиғиндиси нолга тенг ва синхрон узатма мувозанат ҳолатида бўлади. Агар сельсин-датчикнинг ротори бирор $\alpha_д$ бурчакка бурилса, у ҳолда синхронлаш занжирида э. ю. к. $E_д$ нинг қиймати ўзгаради ва $E_д$ билан $E_п$ нинг тенглиги бузилади. Бунда синхронлаш занжирида якуний э. ю. к. таъсир этади:

$$\Delta\dot{E} = \dot{E}_д + \dot{E}_п \qquad (25.1)$$

бу э. ю. к. синхронлаш токини вужудга келтиради:

$$I_c = \frac{\Delta\dot{E}}{Z_д + Z_п + Z_л}$$

бунда $Z_д$, $Z_п$ ва $Z_л$ датчик приёмник синхронлаш чулғамларининг ҳамда линия симларининг қаршилиги

Датчикнинг синхронлаш токи қўзғатиш магнитавий оқими билан ўзаро таъсир этади ва датчик роторида шу роторнинг бурилишига қарши йўналган, яъни тескари таъсир этувчи электромагнитавий момент ҳосил қилади.

Бу моментни датчик роторини берилган $\alpha_д$ бурчакка бурадиган механизм енгиб ўтади.

Приёмникнинг синхронлаш токи ҳам қўзғатиш магнитавий оқими билан ўзаро таъсир этади ва датчик роторининг бурилиш томонига йўналган электромагнитавий момент ҳосил қилади. Синхронловчи момент дейиладиган бу момент таъсирида приёмник ротори бурилади.

Лекин у $\alpha_п \approx \alpha_д$ бурчакка бурилиб, статорга нисбатан датчик ротори каби ҳолатни эгаллагандан кейин э. ю. к. $E_п$ яна э. ю. к. $E_д$ га тенг бўлиб қолади, яъни системада мувозанат қарор топади.

Агар датчик ротори яна бирор бурчакка бурилса, у ҳолда приёмникда ҳам ротор шундай бурчакка бурилади. Датчик ротори муайян тезлик билан айланганида приёмник ротори ҳам шу томонга ва шундай тезлик билан айланади.

Аммо датчик ротори бурилган бурчак билан приёмник ротори бурилган бурчак орасида қисман фарқ — *номувофиқлик* бўлади. Гап шундаки, приёмник роторининг бурилиши учун синхронловчи момент подшипниклар ва контакт ҳалқалардаги ишқаланиш кучлари, баъзан эса приёмник валидаги фойдали

нагрузка туфайли ҳам ҳосил бўладиган қарши таъсир этувчи моментни енгиши керак. Бурилиш бурчаклари орасидаги фарқ (хато) *номувофиқлик бурчаги* дейиладиган катталик билан баҳоланади:

$$\theta = \alpha_{д} - \alpha_{п}. \tag{25.2}$$

Сельсин—приёмникнинг ротори датчик ротори кетидан синхрон равишда эргашиб боради, лекин сельсинларнинг роторлари орасида номувофиқлик бурчаги ҳамма вақт мавжуд бўлади ва сельсин приёмник валига қарши таъсир этувчи момент қанчалик катта бўлса бу бурчак ҳам шунчалик катта бўлади.

Номувофиқлик бурчаги одатда, 2,5° дан ошмайди, юқори аниқликдаги сельсинларда эса у кўпи билан 0,75° бўлади.

Сельсин—приёмникнинг синхронловчи моменти $M_с$ нинг катталиги ушбу ифодадан аниқланади:

$$M_{с} = M_{с.макс} \sin \theta. \tag{25.3}$$

бунда $M_{с\,макс}$ — синхронловчи моментнинг номувофиқлик бурчаги 90° бўлишига тўғри келадиган максимал қиймати.

(25.3) ифодадан кўриниб турибдики, номувофиқлик бурчаги нолдан 90° гача катталашганда синхронловчи момент ортади, бу эса синхрон узатманинг барқарор ишлашини таъминлайди. Солиштирма синхронловчи момент қанчалик катта бўлса, сельсин—приёмникнинг ишлаш аниқлиги ҳам шунчалик юқори бўлади; бу момент номувофиқлик бурчаги бир градусга ўзгарганида синхронловчи моментнинг қанчага ўзгаришини кўрсатади:

$$M_{с\,сол.} = \frac{dM_c}{d\theta} M_{с.макс} \cos \theta \tag{25.4}$$

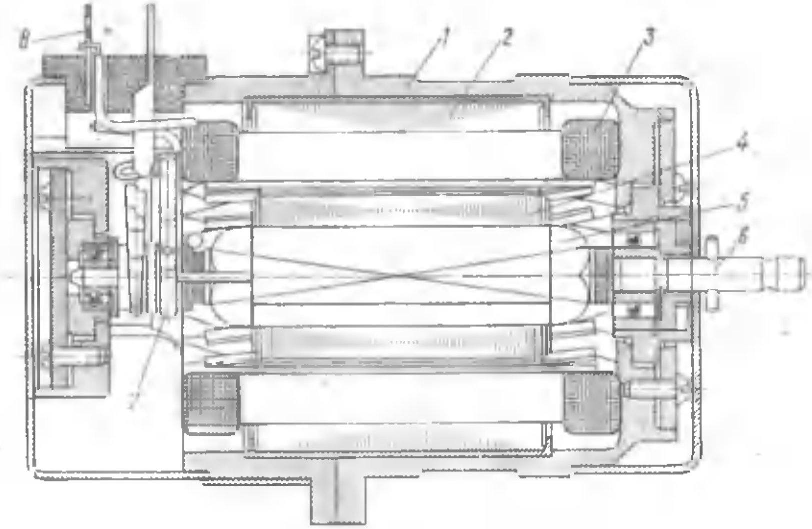
бундан $M_{с.\,сол}$ — солиштирма синхронловчи моменти, *н.м/град*.

Сельсинлар конструкцияси жиҳатидан контактли ва контактсиз сельсинларга бўлинади. *Контактли* сельсинлар контакт ҳалқали асинхрон двигателлардан асосан фарқ қилмайди (25.8- расм).

Баъзи конструкцияларда сельсиннинг статори ёки ротори аён қутбли қилиб ясалади. Бундай конструкция синхронловчи моментнинг катталигини бирмунча оширишга имкон беради.

Сельсинда контакт ҳалқалар сони қўзғатиш чулғамининг қаерда жойлашганлигига боғлиқ бўлади. Агар у роторда жойлашган бўлса, сельсинда иккита контакт ҳалқа, агар статорда жойлашган бўлса—учта контакт ҳалқа бўлади. Контакт ҳалқалар борлиги контактли сельсинларнинг асосий камчилигидир, чунки ҳалқалар сельсиннинг ишлашидаги ишончлиликни камайтиради, унинг параметрларини беқарор қилиб қўяди. Энг такомиллашгани совет олимлари А. Г. Иосифьян ва Д. В. Сверчарник ишлаб чиққан *контактсиз* сельсинлардир. Бу сельсинларда сирпанувчи контактлар бўлмайди, чунки уларда иккала чулғам ҳам статорда жойлашган (25.9- расм).

Контактсиз сельсиннинг ротори, асосан ферромагнитавий материалдан ясалган, номагнитавий қатлам билан магнитавий изоляцияланган икки қисмга—қутбларга ажратилган цилиндрдан иборат. Магнитавий изоляция сифатида алюминий ишла-

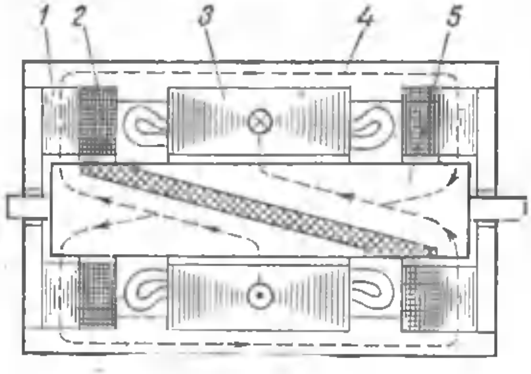


25.8- расм. Контактли сельсиннинг тузилиши:

1—корпус; *2*—статор ўзаги; *3*—синхронлаш чулғами (статорда); *4*—ротор ўзаги; *5*—қўзғатиш чулғами (роторда); *6*—вал; *7*—контакт ҳалқалар; *8*—учлар

тилади, у роторга қуйилади ва бир вақтнинг ўзида ротор қисмларини бириктирувчи материал хизматини ҳам ўтайди.

Сельсиннинг олд ва орқа томонларида электротехникавий пўлат листлардан ясалган тороидал (ғилдираксимон) ўзаклар жойлашган. Бу ўзакларнинг ички юзаси ротор устида жойлашади, уларнинг ташқи юзасига эса ташқи магнит ўтказгич



25.9- расм. Контактсиз сельсиннинг конструктив схемаси:

1—тороидал ўзак; *2*—қўзғатиш ғалтаги; *3*—синхронлаш чулғамига эга бўлган ўзак; *4*—ташқи магнит ўтказгич; *5*—ротор.

стерженлари тегиб туради. Қонтактсиз сельсиннинг бир фазали қўзғатиш чулғами иккита диск ғалтаклар кўринишида ясалади ва синхронлаш чулғами билан тороидал ўзаклар орасида сельсиннинг ўқи бўйлаб статорнинг қарама-қарши томонларида жойлашган бўлади.

Сельсиннинг ишлаш процессида пульсацияланувчи магнитавий қўзғатиш оқими статорнинг уч фазали чулғами билан илашиб, сельсиннинг магнитавий занжирида туташади. Қўзғатиш оқимининг туташиш йўли 25.9- расмда пунктир чизиқ билан кўрсатилган. Кўриб чиқилаётган пайтда қўзғатиш чулғамида токнинг йўналиши шундайки, бунда магнитавий қўзғатиш оқими ўнг қўзғатиш ғалтагидан чап ғалтакка йўналади, деб фараз қилайлик.

Магнитавий оқим ўнг ғалтакдан чап ғалтакка фақат роторни ажратиб турувчи магнитавий изоляцияни айланиб ўта олади. Шунинг учун оқим ўнг тороидал ўзак билан ротор орасидаги зазордан роторнинг ўнг қутбига ўтади, сўнгра ротор билан статор орасидаги зазордан статор ўзагига ўтади; шундан кейин синхронлаш чулғами билан илашиб статор ўзаги орқали ўтади, сўнгра статор билан ротор орасидаги зазордан чап қутбга ўтади ва ниҳоят, чап тороидал ўзакка ўтади. Магнитавий оқим чап тороидал ўзакдан ташқи магнит ўтказгич орқали ўнг тороидал ўзакка ўтади ва роторнинг ўнг қутбида туташади.

Сирпанувчи электр контактнинг йўқлиги контактсиз сельсинларнинг контактли сельсинларга қараганда нида ишончлилигини ва хоссаларининг барқарорлигини оширади.

Лекин контактсиз сельсинларнинг камчиликлари ҳам бор: конструкциясининг бир оз мураккаблиги, оғирлиги ва габаритларининг катталиги ҳамда қўзғатиш токининг нисбатан катталиги унинг камчиликларидир. Қўзғатиш токининг катталиги магнитавий оқим йўлида магнитавий қаршиликлар кўплигидандир магнитавий оқим ҳаво зазори орқали тўрт марта ўтади.

25.5- §. Ижрочи асинхрон двигатель

Ижрочи асинхрон двигателлар автоматика қурилмаларида ишлатилади ва электр сигналларни механикавий силжишга айлантириш учун хизмат қилади.

Бу двигателнинг статорида иккита чулғам: ўзгарувчан ток тармоғига доимий уланган қўзғатиш чулғами билан клеммаларига сигнал U_c бериладиган бошқариш чулғами бўлади (25.10- расм).

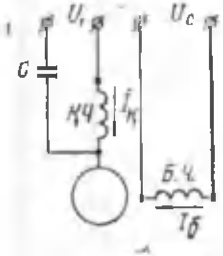
Чулғамларнинг ўқлари фазода бир-бирига нисбатан 90° остида силжиган. Қўзғатиш чулғамининг занжирига сиғим уланади, у $I_в$ ва $I_д$ токлар орасида фаза силжишини вужудга келтиради. Буларнинг ҳаммаси двигателда айланувчан магнитавий майдон ҳосил бўлишини таъминлайди. Агар бошқариш чулғамига сигнал берилмаган бўлса, у ҳолда двигателда пульсацияланувчи майдон таъсир этиб туради ва у айлантирувчи момент ҳосил қилмайди (24.1- § га қаранг).

Лекин сигнал U_c тўхтагандан кейин двигатель одатдаги бир фазали двигатель каби ишлашда давом этади. *Ўз-ўзидан юриши* дейиладиган бу

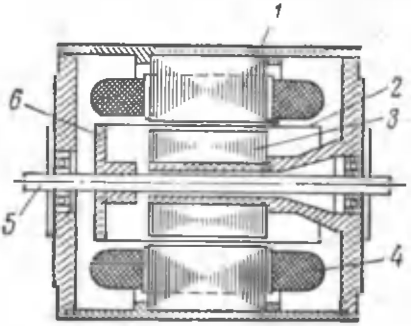
ҳодисага ижрочи двигателда йўл қўйиб бўлмайди, чунки у двигателни бошқариб бўлмайдиган қилиб қўяди. Ўз-ўзидан юришини йўқотиш учун ижрочи двигателнинг ротори актив қаршилиги юқори қилиб ясалади.

Буни тушунтириш учун 25.12-расм, *а* да бир фазали двигателнинг механикавий характеристикалари келтирилган.

Сигнал U_c бўлганида двигатель айланувчан магнитавий май-



25.10- расм. Ижрочи асинхрон двигателни улаш схемаси.



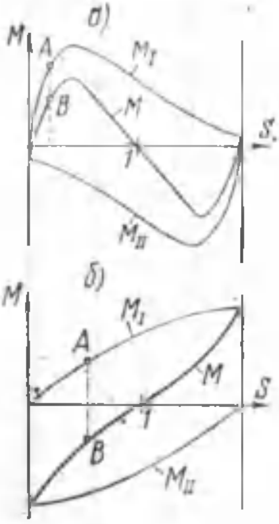
25.11- расм. Ички ковак номагнитавий роторли асинхрон двигателнинг конструкцияси:

1—ташқи статор; *2*— ротор стакани; *3*—ички статор; *4*—статор чулғами; *5*—вал; *6*—ротор стакани маҳкамланадиган втулка.

дон билан ишлайди ва унинг механикавий характеристикаси $M_1 = f(s)$ эгри чизиқ кўринишида бўлади. Двигатель *A* нуқтага мувофиқ келадиган режимда ишлайди, деб фараз қилайлик. Сигнал U_c тўхтагандан кейин статор майдони пульсацияланадиган бўлиб қолади ва двигателнинг механикавий характеристикаси $M = f(s)$ эгри чизиқ кўринишини олади.

Двигателнинг янги иш режими *B* нуқта билан аниқланади, бунда двигателнинг электромагнитавий моменти мусбатлигича қолади ва двигатель ротори айланишда давом этади.

Агар роторнинг актив қаршилиги оширилса, $M_1 = f(s)$ ва $M_п = f(s)$ графиклар ўзгаради: момент максимуми катта сирпанишлар соҳасига силжийди (21.3-§ га қаранг). Якуний момент графиги $M = f(s)$ ҳам ўз шаклини шундай ўзгартиради (25.12-расм, *б*). Энди сигнал U_c тўхтагандан кейин, яъни ижрочи двигатель бир фазали режимга ўтишида электромагнитавий момент манфий бўлиб қолади (*B* нуқта ва двигателнинг роторига тормозловчи таъсир этиб, ўз-ўзидан юришини йўқотади.



25.12- расм. Ижрочи асинхрон двигателнинг ўзи юришини йўқотиш.

Ижрочи двигателга қўйиладиган талаблардан яна бири *инертлиги кам* бўлиши (тез ҳаракатга келиши) дир, яъни бошқариш чулғамига сигнал берилиши билан двигателнинг ротори белгиланган айланиш тезлигини тезроқ олиши лозим. Бу талабни қаноатлантириш учун ижрочи двигателнинг ротори енгил қилинади: унда ўзак ва чулғам бўлмайди. Бундай двигатель *номагнитавий ички ковак роторли двигатель* дейилади (25.11-расм). Двигатель роторида чулғам ўрнига юпқа деворли алюминий стакан қўйилган бўлади, бу двигателда,

биринчидан, роторнинг актив қаршилигини оширади, бинобарин, ўз-ўзидан юришини йўқотади ва, иккинчидан, ротор инерция моментининг кичик, яъни инертлигининг кам бўлишини таъминлайди.

Двигателда иккита: чулғамли ташқи ва чулғамсиз ички статор бўлади, ички статор ичи ковак роторнинг ичига кириб туради. Ички статор асосий оқимга магнитавий қаршиликни камайтириш учун зарур.

Одатдаги конструкцияли асинхрон двигателларга нисбатан номагнитавий ичи ковак роторли двигателларнинг габаритлари катта ва ф. и. к. анча кичик бўлади. Бу ҳол ҳаво зазорининг катталиги билан тушунтирилади; бу двигателларда ҳаво зазори ташқи статор билан ротор стакани орасидаги зазор, номагнитавий стакан деворининг қалинлиги ва ротор стакани билан ички статор орасидаги зазордан таркиб топади.

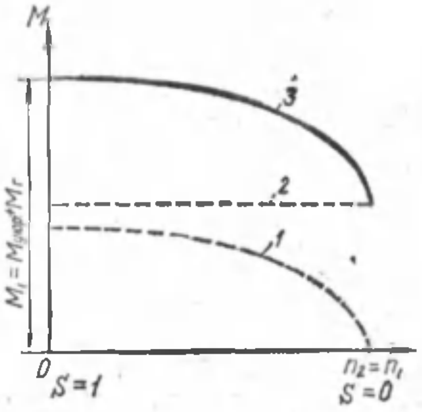
Ҳаво зазорининг катта бўлиши магнитловчи токнинг кўпайишига ва исрофларнинг ортишига олиб келади.

25.6- §. Гистерезисли двигатель

Гистерезисли двигателда уч фазали ёки бир фазали чулғами бор статор ва магнитавий қаттиқ (гистерезис сиртмоғи кенг) материалдан тайёрланган чулғамсиз цилиндрдан иборат ротор бўлади. Статор чулғами тармоққа уланганида айланувчан магнитавий майдон вужудга келади, бу эса вазмин роторда уюрма токлар ҳосил қилади. Бу токларнинг статор майдони билан ўзаро таъсири роторда айлантирувчи момент $M_{уюр_1}$ вужудга келтиради, унинг катталиги сирпанишга боғлиқ (25.13- расм, *1*- эгри чизиқ). Қўзғалмас роторда ($s=1$) момент $M_{уюр}$ нинг қиймати энг катта бўлади. Тезлик орта бориши (*сирпаниш камайиши*) билан *момент* $M_{уюр}$. камаяди. Роторда уюрма токлар таъсирида вужудга келган айлантирувчи моментнинг қиймати ушбу ифодадан аниқланади:

$$M_{уюр.} = \frac{s \cdot P_{уюр.\,қ}}{\omega_1}$$

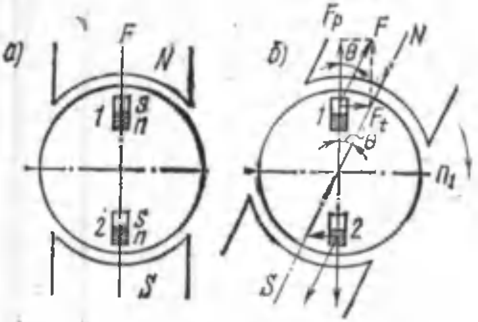
бунда $P_{уюр.\,қ}$ — $s=1$ бўлганда, яъни қисқа туташув режимида двигатель роторида уюрма токларга бўладиган исрофлар.
ω — синхрон бурчак тезлик.



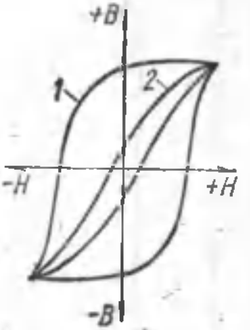
25.13- Гистерезисли двигателнинг механикавий *характеристикалари.*

Лекин айлантирувчи момент $M_{уюр.}$ дан ташқари, гистерезисли двигатель роторида *гистеризис моменти* ҳам вужудга келади; унинг табиатини тушуниб олиш учун гистерезисли двигатель моделига мурожаат қиламиз (25.14- расм). Реал двигателдан фарқ қилиб, кўриб чиқилаётган моделда айланувчан майдон магнит қутблари жуфти $N-S$ нинг айланишидан ҳосил бўлади. Двигателнинг ротори статор майдонида шундай магнитланадики, статорнинг шимолий магнит қутбига роторнинг жанубий магнит қутби мос келади. Бу 25.14- расм, *а* дан кўриниб турипти; расмда ротор (шартли равишда) ташқи майдон йўналишига мувофиқ ориентирланган элементар магнитчалардан иборат қилиб кўрсатилган. Элементар магнитчалар билан магнит $N-S$ орасида магнит $N-S$ нинг ўқи бўйлаб йўналган ўзаро таъсир кучи F вужудга келади. Ташқи майдон айланганида ротор ўта магнитланади. Бунда

элементар магнитчалар гўё ташқи майдон кетидан бурилади. Лекин ротор магнитавий қаттиқ материалдан ясалганлиги сабабли *магнитавий кечикиш* оқибатида элементар магнитчаларнинг ориентирланиши ташқи майдоннинг айланишидан қисман орқада қолади. Шунинг учун ротор майдони ташқи майдонга нисбатан Θ бурчакка бурилган бўлиб қолади (25.14- расм, *б*). Бу ҳолда ҳар қайси элементар магнитчанинг ташқи майдони билан ўзаро таъсир кучи F ни радиал $F_p = F\cos\Theta$ ва тангенциал $F_t = F\sin\Theta$ ташкил этувчиларга ажратиш мумкин. Барча элементар магнитчаларнинг F_t ташкил



25.14- расм. Гистерезисли двигателнинг модели.



25.15- расм. Гистерезис сиртмоқлари.

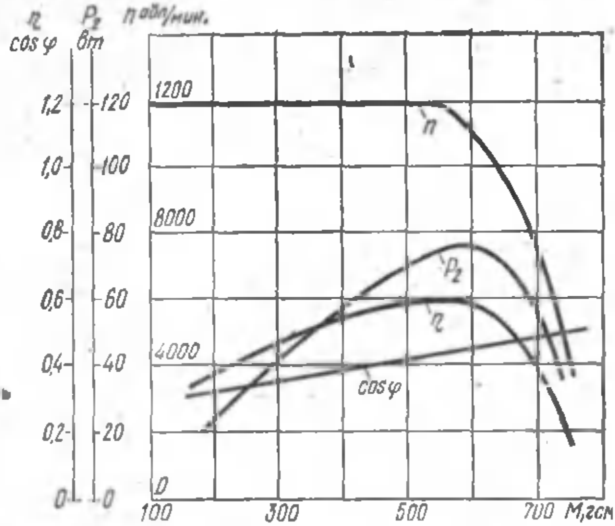
этувчилари роторда айланувчан гистерезис моменти $M_г$ ни вужудга келтиради. Моментнинг қиймати бурчак Θ нинг катталигига боғлиқ бўлади, бурчак эса роторнинг материали билан белгиланади: ротор магнитавий материалининг гистерезис сиртмоғи қанчалик кенг бўлса, гистерезис моментининг қиймати ҳам шунчалик катта бўлади. Масалан, гистерезис сиртмоғи бор викаллой типидаги магнитавий қаттиқ материал ишлатиш (25.15- расмдаги *1*-эгри чизиқ) катта гистерезис моменти олишга имкон беради. Одатдаги пўлатларнинг гистерезис сиртмоғи тор бўлади (25.15- расм, 2-эгри чизиқ), шунинг учун улар катта гистерезис моменти олишга имкон бермайди. Гистерезис моменти $M_г$ нинг қиймати роторда $s = 1$ бўлганда гистерезис туфайли бўладиган исрофларга пропорционал, яъни двигатель қисқа туташув режимида ишлаганида $M_г = \frac{P_{г.қ}}{\omega_1}$ бўлади. Гистерезис моменти сирпанишга боғлиқ бўлмаганлиги учун график $M_г = f(s)$ абсциссалар ўқига параллел тўғри чизиқ кўринишида бўлади (25.13- расм, 2- эгри чизиқ).

Шундай қилиб, гистерезисли двигателнинг айлантирувчи моментини иккита моментнинг: уюрма токлардан ҳосил бўладиган момент $M_{уюр.}$ билан гистерезис моменти $M_г$ нинг йиғиндиси сифатида қараш мумкин:

$$M = M_{уюр.} + M_г = \frac{s \cdot P_{уюр.қ.}}{\omega_1} + \frac{P_{г.қ.}}{\omega_1}$$

Гистерезисли двигателнинг механикавий характеристикаси $M = f(s)$, $M_{уюр.} = f(s)$ ва $M_г = f(s)$ графиклардаги бир хил нуқталарнинг ординаталарини қўшиш йўли билан олиниши мумкин (25.13- расм, *3*-эгри чизиққа қаранг). Бу характеристиканинг кўриниши $M_{уюр.}$ ва $M_г$ моментларнинг нисбатига боғлиқ. Масалан, агар гистерезисли двигателнинг ротори листлардан йиғилган бўлса, уюрма токларнинг кичиклиги туфайли $M_{уюр.}$ амалда нолга тенг бўлади. Бунда $M \approx M_г$, яъни двигатель фақат гистерезис моментининг таъсири остидагина ишлайди.Бундай двигатель роторининг айланиш тезлиги синхрон тезликка тенг. Яхлит (оғир) роторли двигателлар гистерезис моменти ва уюрма токлар туфайли вужудга келадиган момент таъсири остида

ишлайди. Бундай двигателлар синхрон режимда ҳам, асинхрон режимда ҳам ишлай олади. Лекин двигателнинг асинхрон режимда ишлаши тежамли эмас, чунки у магнитавий қаттиқ материалдан ясалган роторнинг ўта магнитланишига бўладиган исрофлар билан боғлиқ. Сирпаниш кўпайганида (тезлик



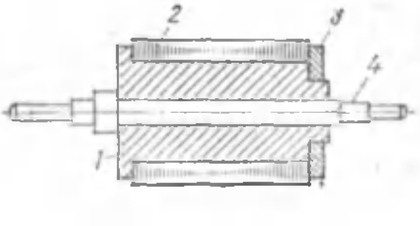
25.16- расм. Гистерезисли двигателнинг иш характеристикалари ($U_{1н}$ = 127 в; f_1 = 400 гц; n_1 = 1200 айл/минут m_1 = 3).

камайганида) бу исрофлар кўпаяди. Шунинг учун гистерезисли двигателлардан, одатда, синхрон режимда фойдаланилади. Асинхрон режимда эса фақат сирпаниш кам бўлгандагина ишлатилади.

Гистерезисли двигателларнинг муҳим афзалликлари қуйидагилардир: конструкциясининг оддийлиги, ишлатишда ишончлилиги, ишга тушиш моментининг катталиги, синхронизмга равон кириши, ф. и. к. нинг анча юқорилиги (60% гача) ва шовқинсиз ишлаши.

Гистерезисли двигателнинг камчиликларига аввало, қувват коэффициентининг кичиклиги (одатда 0,45 дан ошмайди) ва нотекис айланиши киради.

25.16- расмда гистерезисли двигателнинг иш характеристикалари кўрсатилган. Қиммат турадиган магнитавий қаттиқ материални тежаш мақсадида гистерезисли двигателларнинг роторлари йиғма қилиб ясалади. Бундай роторда магнитавий қаттиқ материал втулкага кийдирилган шихталанган ҳалқа кўринишида ишлатилади (25.17- расм). Гистерезисли двигателлар, одатда кичик қувватли қилиб (микродвигателлар) тайёрланади ва автоматикада ишлатилади.

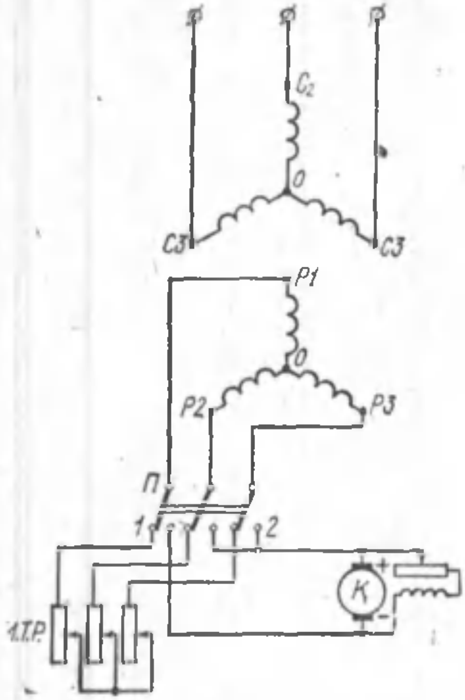


25.16- расм. Гистерезисли двигателнинг йиғма ротори:

1—втулка; 2—магнитавий қаттиқ материалдан шихталаб тайёрланган ҳалқа; 3—бекитувчи ҳалқа; 4—вал.

25.7-§. Синхронлаштирилган асинхрон двигатель

Синхронлаштирилган асинхрон двигатель синхрон ва асинхрон двигателларнинг уйғунлашган бирикмасидан иборат. Шу туфайли унда асинхрон двигателнинг яхши ишга тушиш хоссалари билан синхрон машина қувват коэффициентининг юқорилиги мужассамлашган бўлади. Синхронлаштирилган двигатель конструктив жиҳатдан контакт ҳалқали асинхрон двигателдан кам фарқ қилади. Лекин двигатель схемасида переключатель П бор, унинг воситасида ротор чулғами ишга тушириш реостати ИГР ёки қўзғатгич Қ га уланиши мумкин (25. 8-расм). Ишга туширишда переключатель *1* ҳолатга қўйилади ва двигатель асинхрон двигатель каби айлана бошлайди. Синхрон тезликка яқин айланиш тезлигига эришилгач, переключатель *2* ҳолатга ўтказилади, натижада ўзгармас ток қўзғатгичдан ротор чулғами орқали ўтади ва двигатель синхрон ишлай бошлайди. Катта ўта юкланишларда синхронлаштирилган двигатель синхронизмдан чиқади, лекин асинхрон двигатель каби ишлайверади, чунки двигателнинг асинхрон режимда ишлагандаги максимал айлантирувчи моменти синхрон режимда ишлагандаги максимал айлантирувчи моментидан катта бўлади. Нагрузка камайтирилганида двигатель яна синхрон ишлай бошлайди.



25.18- расм. Қўзғатишли синхронланган двигателнинг схемаси.

Қўзғатгичнинг бўлиши синхронлаштирилган двигателнинг нархини ошириб юборади. Шунинг учун қўзғатишли двигателлар 60—70 *квт* дан юқори қувватли қилиб тайёрланади. Кам қувватли синхронлаштирилган двигателларда алоҳида қўзғатгич бўлмайди. Ўзгармас ток олиш учун бу двигателлар коллекторли мухсус чулғам билан таъминланади.

XXVI боб

ЎЗГАРУВЧАН ТОК КОЛЛЕКТОРЛИ МАШИНАЛАРИ

26.1-§. Асосий тушунчалар

Ўзгармас ток двигателининг ишлаши учун ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантирадиган ўзгартгич зарур. Бундай ўзгартгичнинг борлиги установкани мураккаблаштиради ҳамда қимматлаштиради, унинг ишончлилигини пасайтиради. Ле-

кин шу билан бирга ўзгармас ток двигателлари, ўзгарувчан ток коллекторсиз двигателларига ёт бўлган яхши ростлаш хоссаларига эга.

Ростлаш хоссалари яхши бўлган, лекин ўзгарувчан ток тармоғидан ишлайдиган двигатель ҳосил қилишга интилиш ўзгарувчан ток коллекторли двигателларининг яратилишига олиб келади.

Бу двигателлар бир фазали ва уч фазали бўлиши мумкин Улар юқори қувват коэффициентини сақлаган ҳолда, тезликни катта чегараларда ва бир текис ростлашга имкон беради. Аммо шу билан бирга бу двигателларда ўзгарувчан ток коллекторсиз двигателларига қараганда коммутация шароити оғир, конструктив жиҳатдан улар мураккаброқ ва қимматроқ туради. Бу кўрсатилган камчиликлар ўрта ва катта қувватли ўзгарувчан ток коллекторли двигателларининг қўлланишини чеклаб қўяди.

Ҳам ўзгармас ток тармоғидан, ҳам ўзгарувчан ток тармоғидан ишлайдиган универсал коллекторли двигателлар энг кўп тарқалган.

26.2-§. Бир фазали кетма-кет қўзғатишли коллекторли двигатель

Асосан, ўзгармас ток коллекторли электр двигатели ўзгарувчан ток тармоғидан ҳам ишлаши мумкин, чунки бу ҳолда якорь чулғамида ва қўзғатиш чулғамида токларнинг йўналиши бир пайтда ўзгаради; шунингдек, якорь токи I_a нинг ва қўзғатиш магнитавий оқими Φ нинг йўналишлари (ишоралари) бир пайтда ўзгаради.

Натижада электромагнитавий моментнинг бир давр ичидаги ўртача қиймати мусбатлигича қолади.

$$M_{ўр} = C_м (\pm \Phi)(\pm I_a) > 0.$$

Коллекторли двигателнинг ўзгарувчан ток тармоғидан ишлаши мумкинлиги 26.1-расмда тасвирланган. Расмдан кўринадики, ўзгарувчан кучланиш мусбат ярим даврдан манфий ярим даврга ўтганда электромагнитавий моментнинг йўналиши ўзгармаслигича сақланади.

Бир фазали коллекторли двигателлар, кўпинча, кетма-кет қўзғатишли бўлади.

Бу ҳолда параллел қўзғатишнинг қўлланиши шу билан чегараланадики, кетма-кет қўзғатиш чулғамига нисбатан ўрамлар сони кўп бўлган параллел қўзғатиш чулғамининг катта индуктивлиги якорь токи I_a ва қўзғатиш токи $I_к$ орасида ψ бурчакка тенг бўлган катта фаза силжиши ҳосил қилади (26.2-расм, *а*). Бу ҳолда электромагнитавий моментнинг ўртача қиймати (5.4) ифодага ўхшаш, лекин якорь токи ва магнитавий

оқим орасидаги фаза силжиш бурчагини ҳисобга олувчи ифода билан аниқланади

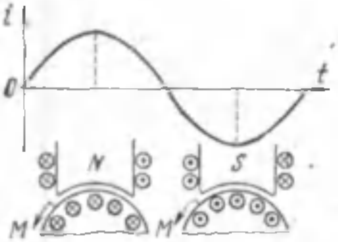
$$M_{пар} = C_м \frac{\Phi_{макс}}{\sqrt{2}} I_a \cos(\psi + \delta) \qquad (26.1)$$

бу ерда $\Phi_{макс}$ — магнитавий оқимнинг максимал қиймати;
ψ — якорь токи ва қўзғатиш токи орасидаги фаза бўйича силжиш бурчаги;
δ — қўзғатиш токи ва магнитавий оқим орасидаги, машинада бўладиган магнитавий исрофлар билан боғлиқ бўлган фаза бўйича силжиш бурчаги

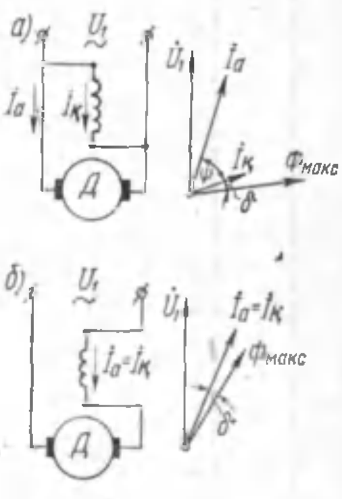
Кетма-кет қўзғатишли электр двигателида якорь токи I_a ҳамда қўзғатиш токи $I_к$ фаза жиҳатдан мос келади $\psi = 0$ (26.2-расм, *б*).

Шунинг учун кетма-кет қўзғатишли двигателда айлантирувчи электромагнитавий моментнинг ўртача қиймати $M_{кет}$ параллел қўзғатишли двигателдагига нисбатан каттароқ бўлади:

$$M_{кет} = C_м \frac{\Phi_{макс}}{\sqrt{2}} I_a \cos \delta. \qquad (26.2)$$



26.1-расм. Қўзғатиш чулғами ва якорь чулғамидаги ток йўналишининг бир пайтда ўзгариши электромагнитавий моментнинг йўналишига таъсир этмайди.



26.2-расм Параллел (*а*) ва кетма-кет (*б*) қўзғатишли коллекторли двигателларни ўзгарувчан ток тармоғига улашдаги улаш схемалари ва вектор диаграммалари.

Бир фазали коллекторли двигателлар ўзининг конструкциясига кўра ўзгармас ток двигателларидан шу билан фарқ қиладики, уларнинг станиналари ҳамда бош қутблари электротехникавий пўлат листлардан шихталанган қилиб ишланади

Бу, двигатель ўзгарувчан ток тармоғидан ишлаганда ошиб кетадиган магнитавий исрофларни камайтиришга имкон беради, чунки қўзғатиш чулғамидаги ўзгарувчан ток машинанинг станина ҳамда қутб ўзаклари билан бирга бутун магнитавий занжирининг ўга магнитланишига олиб келади.

Бир фазали коллекторли двигателларнинг асосий камчилиги коммутация шароитларининг оғирлигидир. Бунинг сабаби, коммутацияловчи секцияларда реактив э. ю. к. $e_р$ ва ташқи майдон э. ю. к. $e_к$ дан ташқари (4.2- § га қаранг), таъсир этувчи қиймати қуйидагича бўлган трансформатор э. ю. к. и ҳосил бўлади:

$$E_т = 4{,}44\, f_1 w_s \Phi_{макс}.$$

бу ерда f_1 — қўзғатиш чўлғамидаги ўзгарувчан токнинг частотаси;

w_s — секциядаги ўрамлар сони.

Бу э. ю. к. нинг пайдо бўлишини ўзгарувчан ток қўзғатиш чулғамида ўзгарувчан магнитавий оқим ҳосил қилади ва у коммутацияловчи секцияларни кесиб ўтиб, уларда трансформатор э. ю. к. ини индукциялайди, деб тушунтириш мумкин.

Трансформация э. ю. к. ни камайтириш учун $\Phi_{макс}$ оқимни камайтириш керак. Бунда двигателнинг қуввати аввалгича қолиши учун эса, двигателдаги қутблар сони оширилади.

Двигателнинг якорь чулғамида бир ўрамли секцияларни қўллаш ҳам э. ю. к. $E_т$ нинг катталигини чеклашга ёрдам беради. Лекин, бунда коллектордаги пластинкалар сони кўпаяди, бинобарин унинг ўлчамлари катталашади.

Якорь занжирига кетма-кет уланган чулғамли қўшимча қутблар ёрдамида коммутацияловчи секцияларда $e_р$ ва $e_т$ э. ю. к. ларни қисман компенсацияловчи э. ю. к. $e_к$ ҳосил қилинади. Бироқ, кўрсатилган э. ю. к. ларнинг ўзаро тўла компенсацияланишига якорь токи ва унинг айланиш тезлигининг фақат маълум қийматларидагина эришиш мумкин. Двигателнинг бошқа иш режимларида коммутация шароити оғирлигича қолади. Двигателни юргизиш пайтида коммутация шароити энг оғир бўлади, чунки бу пайтда айланиш э. ю. к. и нолга тенг, $e_р$ ва $e_т$ э. ю. к. лар эса энг катта қийматларга эришади.

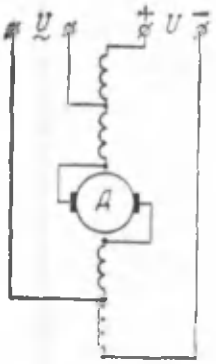
Бир фазали коллекторли двигателнинг тезлигини, кетма-кет қўзғатишли ўзгармас ток двигателидаги усуллар билан ростлаш мумкин. Шунинг билан бир қаторда айланиш тезлигини, двигателга бериладиган кучланишни ростлаш трансформатори ёрдамида ўзгартириш йўли билан ростлаш қабул қилинган.

Бир фазали коллекторли двигателларда айланиш йўналишини ўзгартириш ўзгармас ток двигателларидаги каби қўзғатиш чулғамининг (ёки якорь чулғамининг) учларини алмаштириш билан амалга оширилади.

Кичик қувватли (150 *вт* гача) бир фазали коллекторли двигателларда компенсацияловчи чулгам ҳам, қўшимча қутблар ҳам бўлмайди, чунки қувват кичик ва таъминловчи токнинг частотаси 50 *гц* бўлганда коммутация шароити бусиз ҳам қониқарли бўлади.

Бу двигателлар ўзгармас ток тармоғидан ҳам, ўзгарувчан ток тармоғидан ҳам ишлай олади, шунинг учун ҳам улар универсал коллекторли двигателлар деб аталади.

Универсал коллекторли двигателларда номинал нагрузкада ўзгармас токда ҳам, ўзгарувчан токда ҳам тахминан бир хилдаги тезликка эришишга ҳаракат қилинади. Бунга электродвигатель қўзғатиш чулғамини тармоқланган қилиб ясаш билан эришилади: двигатель ўзгармас ток тармоғидан ишлаганда қўзғатиш чулғамидан тўла фойдаланилади, ўзгарувчан ток тармоғидан ишлаганда эса қўзғатиш чулғамининг фақат бир қисми уланади (26.3-расм).

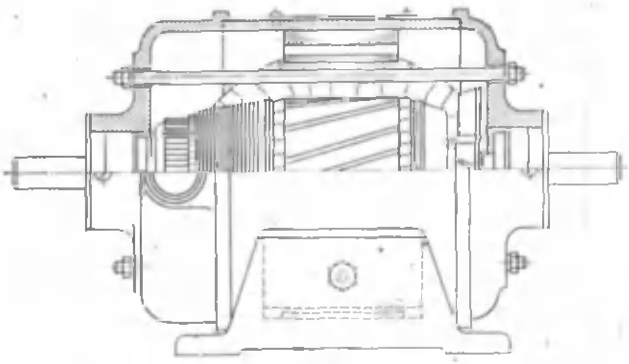


26.3- расм. Коллекторли универсал двигателнинг схемаси.

Бундан ташқари, ўзгармас ва ўзгарувчан ток тармоқларидан ишлаганда қўзғатиш ўрамлар сонини ўзгартириш двигателнинг ўзгармас ҳамда ўзгарувчан токдаги характеристикаларини бирмунча яқинлаштиришга имкон беради. Характеристикаларининг тўғри келмаслигини электродвигатель ўзгарувчан ток тармоғидан ишлаганда токнинг катталиги ва фазасига якорь ҳамда қўзғатиш чулғамларининг индуктив қаршиликлари таъсир этиши билан тушунтириш мумкин. Бироқ, қўзғатиш чулғамининг ўрамлар сонини камайтириш фақат номиналга яқин бўлган нагрузкадагина характеристикаларнинг яқинлашишини таъминлайди.

26.1-жадвалда УМТ—22 типдаги коллекторли универсал двигателнинг маълумотлари келтирилган. Бу двигателнинг тузилиши 26.4 расмда тасвирланган.

Универсал двигателларнинг статор токи I_1 нинг қиймати ўзгарувчан ток тармоғидан ишлаганда, шу электродвигатель



26.4- расм. УМТ сериядаги коллекторли универсал двигатель.

ўзгармас ток тармоғидан ишлагандагига қараганда каттароқ бўлади, чунки ўзгарувчан ток, актив ташкил этувчидан ташқари, яна реактив ташкил этувчига ҳам эга.

Универсал двигателларнинг ф. и. к. и ўзгарувчан токда магнитавий исрофларнинг ошганлиги сабабли ўзгармас токдагига нисбатан паст бўлади. Коллекторли универсал двигателларнинг қўлланиш соҳалари етарли даражада кенг: улар автоматикада, турли электр асбобларининг, уй-рўзғор электр асбобларининг ва ҳ. к. ларнинг юритмаларида ишлатилади.

26.1-жадвал.

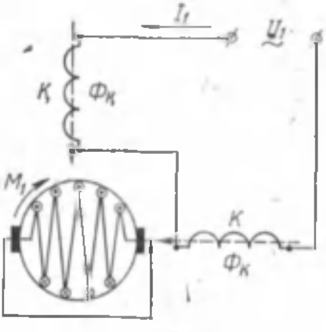
Қуввати $P_н$, вт		Кучланиши $U_н$, в		Айланиш тезлиги айл/мин	Номинал ток, а		Ф. и. к, %		cos φ	Частотаси, гц.	Оғирлиги, кг
Ўзгармас ток	Ўзгарувчан ток	Ўзгармас ток	Ўзгарувчан ток		Ўзгармас ток	Ўзгарувчан ток	Ўзгармас ток	Ўзгарувчан ток			
55	55	110	127	2500	1	1,5	54—56	49—51	0,71—0,73	50	4,5

26.3- §. Статори икки чулғамли репульсион двигатель

Репульсион двигателда статор ва якорь чулғамлари орасидаги электр боғланиш трансформатор боғланиш билан алмаштирилган. Двигателнинг статорида иккита; қўзғатиш чулғами $Қ$ ҳамда компенсацияловчи чулғам $К$ бор (26.5-расм. Чулғамлар фазода бир-бирига нисбатан 90° га бурилган (26.5- расмда $p = 1$ бўлган конструкция назарда тутилади).

Репульсион двигателнинг коллекторида чўткалар бор, лекин улар қисқа туташтирилган (26.5- расмда шартли чўткалар кўрсатилган).

Двигатель ўзгарувчан ток тармоғига уланганида статорнинг иккала чулғами ҳам пульсацияланувчи магнитавий оқим ҳосил қилади. Бу оқимларнинг якорь чулғами билан ўзаро таъсирини тушунтириш учун бу чулғамни шартли равишда учлари чўткалар ёрдамида туташтирилган ғалтак ҳолида тасвирлаймиз. Бунда чўткалар ўқи бир пайтнинг ўзида якорь чулғамининг ҳам ўқи бўлади.



26.5- расм. Статори икки чулғамли репульсион двигатель.

Қўзғатиш чулғамининг магнитавий оқими $Φ_Қ$ якорь чулғамининг ўқига перпендикуляр йўналган, шунинг учун ҳам якорь чулғамида э. ю. к. индукцияламайди. Компенсацияловчи чулғамнинг магнитавий оқими $Φ_К$ якорь чулғами ўқи бўйлаб йўналган ва шу чулғамда трансформация э. ю. к. и деб

аталувчи $E_т$ ни индукциялайди. Двигателнинг чўткалари уланганлиги сабабли $E_т$ э. ю. к. якорь чулғамида I_a токини ҳосил қилади. Қолган бошқа ҳолларда репульсион двигателнинг ишлаши кетма-кет қўзғатишли бир фазали коллекторли двигателнинг ишлашидан асосан фарқ қилмайди: якорь чулғамининг актив ўтказгичларидаги токлар қўзғатиш чулғамининг магнитавий оқими $\Phi_қ$ билан ўзаро таъсирлашади ва якорда, катталиги тахминан

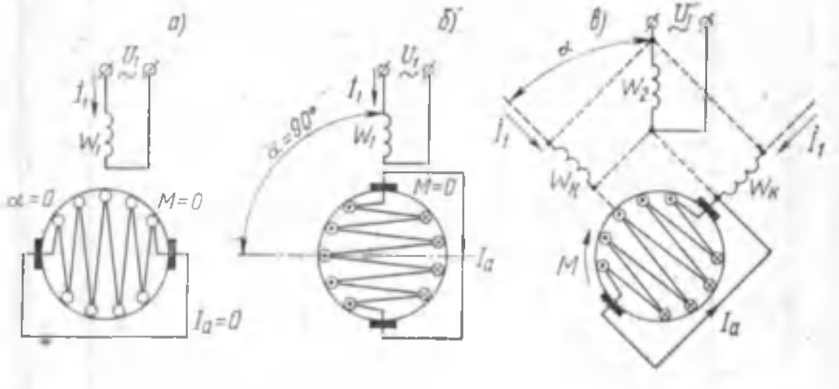
$$M = C_м \Phi_қ I_a \qquad (26.3)$$

га тенг бўлган электромагнитавий момент M ни ҳосил қилади.

Репульсион двигателда статор ҳамда ротор чулғамлари орасида электр боғланишнинг йўқлиги, чўткалар контактининг ишончлироқ ишлашини таъминлайди Гап шундаки, двигателнинг якорь чулғами таъминловчи тармоқнинг кучланишидан қатъий назар, ҳар қандай кичик кучланишга мўлжаллаб ишланиши мумкин. Бу эса коммутация процессини анча енгиллаштиради.

26.4-§. Статори бир чулғамли репульсион двигатель.

Бу двигатель аввалгисидан фарқли равишда битта статор чулғамига эга, бу ҳолда якордаги қисқа туташтирилган чўткалар (26.6- расм) статор чулғамига нисбатан бурилиши мумкин. Статор ҳамда якорь чулғамлари ўқларининг ўзаро ҳолати бурчак α билан аниқланади. $\alpha = 0$ бўлганда статор ва якорь чулғамлари ўзаро перпендикуляр бўлади (26.6- расм, a). Бу ҳолда якорь



6.6- расм. Статори бир чулғамли репульсион двигатель.

чулғамининг трансформация э. ю. к. и нолга тенг, шунга мос равишда якорь токи I_a ва айлантирувчи момент M ҳам нолга тенг бўлади.

$\alpha = 90°$ бўлганда стотор ва якорь чулғамлари бир ўқ бўйлаб жойлашади, бунда якорь чулғамида трансформация э. ю. к. и индукцияланади. Бироқ якорь қимирламай тураверади, чунки якорь чулғами ўтказгичларидаги токнинг қўзғатиш оқими билан ўзаро таъсири ушбу ҳолда айлантирувчи момент ҳосил қилмайди (26.6- расм, $б$). Чўткаларнинг бундай ҳолати қисқа туташиш ҳолати деб аталади. Двигателнинг иш режими $0 < \alpha < 90°$ қийматларга тўғри келади. Бу ҳолда статори бир чулғамли кўрилаётган репульсион двигатель статори иккита: бири ўрам сони

$$w_қ = w_1 \cos \alpha$$

бўлган қўзғатиш ва иккинчиси ўрамлар сони

$$w_к = w_1 \sin \alpha$$

бўлган компенсацияловчи чўлғамли репульсион двигателга келтирилиши мумкин

Бунда, чулғамларнинг ҳар бирида ток I_1 га тенг. Бу чулғамларнинг магнитловчи кучлари ҳосил қилган магнитавий оқимлар мос равишда $\Phi_к = \Phi_1 \cos\alpha$ ва $\Phi_к = \Phi_1 \sin\alpha$ га тенг деб фараз қилинади. Қўрилаётган двигатель электромагнитавий моментининг катталиги (26.3) ифода ҳисобга олингани ҳолда

$$M \approx C_м \Phi_к \cdot I_я \approx C_м \Phi_1 I_я \cos\alpha \qquad (26.4)$$

га тенг.

Агар машинанинг магнитавий системаси тўйинмаган бўлса, статор чулғамининг магнитавий оқими Φ_1 шу чулғамнинг магнитловчи кучига *пропорционал бўлади*

$$\Phi_1 = K \cdot I_1 \cdot w_1 \qquad (26.5)$$

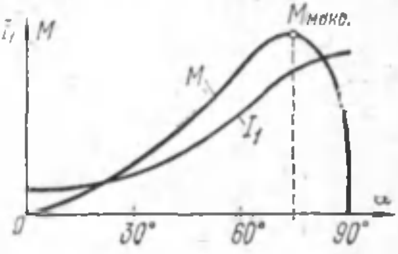
бунда K — пропорционаллик коэффициенти,

I_1 — статор чулғамидаги токнинг катталиги.

(26.5) ифодани (26.4) га қўйиб:

$$M = C_м K I_1 w_1 I_я \cos\alpha \qquad (26.6)$$

олинади.



26.7- расм. Статори бир чулғамли репульсион двигателнинг $M = f(\alpha)$ ва $I_1 = f_1(\alpha)$ графиклари.

Трансформатор боғланишга эга бўлган якорь чулғами ва статорнинг компенсацион чулғамидаги токлар, шу чулғамларнинг ўрамлар сонига тескари пропорционал

$$\frac{I_1}{I_я} = \frac{w_я}{w_1 \sin\alpha}$$

бундан

$$I_я = I_1 \frac{w_1 \sin\alpha}{w_я} \qquad (26.7)$$

бунда $w_я$ — якорь чулғамидаги ўрамлар сони.

Якорь токи ифодаси (26.7) ни момент формуласи (26.6) га қўйиб

$$M_1 \approx C_м K I_1 w_1 I_1 \frac{w_1}{w} \sin\alpha \cos\alpha;$$

ёки

$$M_1 \approx C_м^1 I_1^2 \sin 2\alpha \quad \text{ни оламиз.} \qquad (26.8)$$

бунда

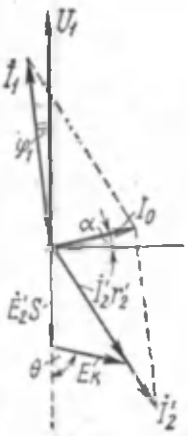
$$C_м^1 = C_м \frac{K w_1^2}{2 w_я}$$

Шундай қилиб, статори бир чулғамли репульсион двигателнинг электромагнитавий моменти, двигатель тармоқдан *истеъмол қиладиган токнинг квадратига* пропорционалдир. Агар чўткалар сурилганда U_1 кучланиш шундай ўзгартирилсаки; бунда I_1 ток ўзгармасдан қолса, у ҳолда (26.8) ифодага мувофиқ энг катта электромагнитавий момент $\alpha = 45°$ қийматга мос келади. Лекин, одатда, двигатель $U_1 = \text{const}$ ҳолда ишлайди, шунинг учун чўткаларнинг бурилиши билан I_1 ток ҳам ўзгаради. Бу ҳолда электромагнитавий *моментнинг энг катта* қиймати $\alpha = 70 - 80°$ га мос келади (26.7- расм).

Двигатель ишлаганида чўткаларнинг коллектордаги ҳолати ўзгариб турганлиги сабабли, унда коммутацияни яхшилаш мақсадида қўшимча қутбларни қўллаш мумкин бўлмайди.

26.5-§. Уч фазали коллекторли двигатель

Асинхрон двигателнинг $\cos\varphi_1$ ва тезлигини ротор занжирига қўшимча э. ю. к. киритиш йўли билан ростлаш. Уч фазали коллекторли двигатель, айланувчан магнитавий майдонли, фаза роторига $f_2 = sf_1$ частотали қўшимча э. ю. к. $E_к$ киритиладиган уч фазали асинхрон двигателдан иборат. Шунинг учун, уч фазали коллекторли двигателнинг ишлашини ўрганишга ўтишдан аввал, нормал асинхрон двигателда ротор занжирига қўшимча э. ю. к. киритилганда бўладиган процессларни кўриб чиқамиз.



26.8- расм. Асинхрон двигателнинг ротор занжирига қўшимча э. ю. к. киритилгандаги вектор диаграммаси.

Ротор занжирининг э. ю. к. и тенгламаси (20.9) дан

$$s\dot{E}_2 = \dot{I}_2(r_2 + js\,x_2) \tag{26.9}$$

Асинхрон двигателнинг сирпаниши, одатда, жуда кичик, шунинг учун тахрибан $sx_2 = 0$ деб қабул қилсак,

$$s\dot{E}_2 = \dot{I}_2 r_2$$

бўлади, бундан ротор занжирида қўшимча э.ю. к. бўлмаганда $(E_к=0)$ асинхрон двигателнинг сирпаниши

$$s = \frac{I_2 r_2}{E_2} \tag{26.10}$$

Ротор занжирига f_2 частотали қўшимча э. ю. к. $E_к$ киритилганда қуйидаги э. ю. к. тенгламасини ҳосил қиламиз.

$$s' E_2 + E_к = I_2 r_2 \tag{26.11}$$

Агар э. ю. к. $E_к$ э. ю. к. E_2 га мос равишда йўналган бўлса, у ҳолда

$$s' E_2 + E_к = I_2 r_2$$

бундан

$$s' = \frac{I_2 r_2}{E_2} - \frac{E_к}{E_2} = s - \frac{E_к}{E_2}, \tag{26.12}$$

яъни двигателнинг ротор занжирига қўшимча $E_к$ э. ю. к. киритилгандан кейинги сирпаниши бошланғич сирпаниш s дан $\dfrac{E_к}{E_2}$ қийматича кичик бўлади.

Агар $E_к$ э. ю. к. E_2 э. ю. к. га қарши йўналган бўлса, (26.11) ифода қуйидаги кўринишга келади:

$$s' E_2 - E_к = I_2 r_2$$

бундан

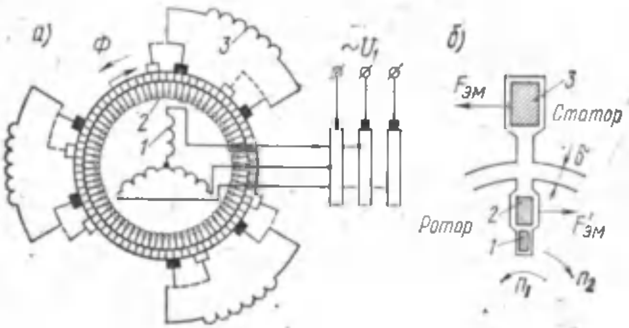
$$s' = s + \frac{E_к}{E_2}, \tag{26.13}$$

яъни двигателнинг сирпаниши сирпаниш s га нисбатан ошади. Бунда ротор-нинг айланиш тезлиги камаяди.

Ротор занжиридаги f_2 частотали қўшимча э. ю. к. $E_к$ двигателнинг қувват коэффициентига таъсир этади. Бунга ишонч ҳосил қилиш учун асинхрон двигателнинг ротор занжирига $\dot{E}_2$ га нисбатан фаза бўйича θ бурчакка силжиган қўшимча $\dot{E}_к$ э. ю. к. киритилган ҳол учун вектор диаграммасини қурамиз (26.8- расм). Диаграммадан кўриниб турибтики, $\dot{I}^1$ векторининг йўналиши $\dot{I}_2^1 r_2^1$ векторининг (26.11) тенглама асосида қурилган ҳолати билан аниқланади. Э. ю. к. $E_к$ нинг фазаси ёки катталиги ўзгариши билан $\dot{I}_2^1$ векторининг йўналиши, бинобарин $\cos\varphi_1$ ҳам ўзгаради. Бу ҳолда $\cos\varphi_1$ нинг ўсишига, одатда, қўшимча $E_к$ э. ю. к. фаза бўйича $\dot{E}_2^1$ э. ю. к. дан олдин кетгандаги олдин кетувчи бурчак θ мос келади.

Параллел қўзғатишли уч фазали коллекторли двигатель. Бу двигателнинг роторида иккита чулғам (26.9- расм, *а*): ҳар қайси фазаси контакт ҳалқага уланган уч фазали чулғам *1* ҳамда ўзгармас ток машинасининг якорь чулғамига ўхшаш қилиб ишланган ва коллекторга уланган чулғам *2* бўлади. Двигатель статорида уч фазали чулғам *3* жойлашган, унинг ҳар қайси фазаси коллекторга қўйилган чўткалар жуфтига уланган. Двигателда ишлаш жараёнида коллектордаги чўткаларни бир-бирига нисбатан суриб яқинлаштириш ёки узоқлаштиришга, шунингдек, барча чўткалар системасини роторнинг айланиши бўйича ёки унга тескари йўналишда силжитишга имкон берадиган қурилма бор.

Роторнинг тармоққа уланган уч фазали чулғами *1* айланувчан магнитавий майдон ҳосил қилади, бу майдон синхрон тезлик билан айланиб (шу чулғамга нисбатан), статор чулғами *3* да э. ю. к. E_2 ни индукциялайди. Чулғам *3* ёпиқ (туташган) бўлганлиги сабабли унда ток пайдо бўлади, бу ток ротор чулғамининг айланувчан майдони билан ўзаро таъсирлашиб, статор



26.9- расм. Параллел қўзғатишли уч фазали коллекторли двигателнинг схемаси.

чулғамининг симларида айланувчан майдон томонга йўналган электромагнитавий куч $F_{эм}$ ни вужудга келтиради (26.9- расм, *б*). Бунда ротор чулғамининг симларига айланувчан майдонга қарши йўналган $F_{эм}$ куч таъсир эта бошлайди. Натижада ротор ва у вужудга келтирган магнитавий майдон қарама-қарши томонга айланади. Бунда ротор асинхрон тезлик n_2 билан айланади, статор э. ю. к. ининг частотаси эса $f_2 = sf_1$ бўлади. Роторнинг чулғам *1* вужудга келтирган айланувчан майдони роторнинг тинч туриши ёки айланишидан қатъи назар чулғам *2* да частотаси тармоқ частотаси f_1 га тенг бўлган э. ю. к. ни индукциялайди: чунки бу чулғамнинг актив томонлари ҳам чулғам *1* нинг актив томонлари жойлашган пазларнинг ўзида жойлашган (26.9- расм, *б*). Чулғам *2* нинг э. ю. к. и коллектор ва чўткалар орқали статор фаза чулғамининг клеммаларида кучланиш ҳосил қилади; бу кучланишнинг частотаси $f_2 = sf_1$ статорнинг фаза чулғамларида чулғам *1* нинг айланувчан майдони индукциялаган э. ю. к. E_2 нинг частотаси каби бўлади.

Шундай қилиб, статор занжирига статорнинг э. ю. к. и E_2 билан биргаликда ток I_2 ҳосил қиладиган қўшимча э. ю. к. $E_қ$ киритилади. Бу токнинг ротор токи билан ўзаро таъсири айлантирувчи моментнинг қийматини ва, бинобарин, двигателнинг айланиш тезлигини белгилайди. Статор занжири э. ю. к. ларнинг мувозанат тенгламаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\dot{E}_2 \pm \dot{E}_қ = \dot{I}_2 Z_2 \qquad (26.14)$$

бунда Z_2 — статор занжирининг тўла қаршилиги.

Бу тенгликдаги „плюс" ишора $E_қ$ ва E_2 э. ю. к ларнинг мос йўналишига, „минус" ишора эса — уларнинг қарши йўналишига тўғри келади.

Статор чулғамининг э. ю. к. и

$$E_2 = 4{,}44\, f_1\, s\, \Phi\, w_2\, K_2$$

Агар ҳар қайси фазанинг чўткалари орасида чулғам 2 нинг w_x ўрами бўлса, у ҳолда бу ўрамларнинг э. ю. к. и (қўшимча э. ю. к.):

$$E_{\text{қ}} = 4{,}44\, f_1 \Phi w_x K_1$$

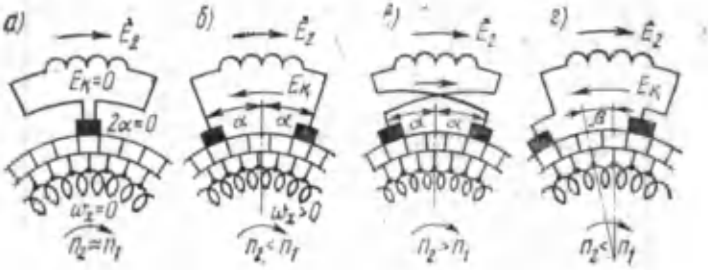
(26.14) ифодада $\dot{I}_2 Z_2$ нинг кичик қийматини эътиборга олмасак $\dot{E}_2 = \pm \dot{E}_{\text{қ}}$ бўлади, ёки $\dot{E}_2$ ва $E_{\text{қ}}$ ларнинг қийматларини ўрнига қўйсак,

$$w_2 s K_2 = \pm\, w_x K_1 \qquad \text{бўлади,}$$

бундан двигателнинг сирпаниши

$$s = \pm\, \frac{w_x K_1}{w_2 K_2} \qquad (26.15)$$

Бу ерда „плюс“ ишора э. ю. к. ларнинг қарама-қарши йўналишига „минус“ ишора эса шу э. ю. к. ларнинг мос йўналишига тўғри келади.



26.10- расм. Параллел қўзғатишли уч фазали коллекторли двигателнинг айланиш тезлигини ва қувват коэффициентини ростлаш.

26.10- расмдан кўриниб турибдики, w_x нинг қиймати чўткалар орасидаги очилиш бурчаги 2α га боғлиқ.

Чўткалар қўшилганида $2\alpha = 0$ (26.10- расм, *а*). Бу ҳолда двигатель салт ишлаш режимида $n_2 = n_1$ тезлик билан одатдаги асинхрон двигатель каби ишлайди, нагрузка орта бориши билан тезлик қисман камаяди, бурчак 2α катталашганда (26.10-расм, *б*) ўрамлар сони w_x кўпаяди ва статорнинг фаза чулғамларида қўшимча э. ю. к. таъсир эта бошлайди. $E_{\text{қ}}$ э. ю. к. E_2 га нисбатан қарши таъсир этади деб фараз қилайлик. У ҳолда сирпаниш *мусбат* [(26.15) формуладаги „плюс“ ишора] бўлади ва двигатель синхрон тезликка қараганда кичикроқ тезлик билан айланади. Чўткаларнинг 26.10- расм, *в* да кўрсатилган ҳолатида қўшимча э. ю. к. $E_{\text{қ}}$ ўз йўналишини ўзгартиради ва э. ю. к. E_2 билан мос йўналишда таъсир этади. Бу ҳолда сирпаниш *манфий* бўлади [(26.15) формуладаги „минус“ ишора]. Айланиш тезлиги кўпаяди ва синхрон тезликдан ортиб кетади. Двигателнинг айланиш тезлигини 3 : 1 ($-0{,}5 < s < +0{,}5$) чегарада ростлаш мумкин.

Двигателнинг қувват коэффициентини, айниқса, паст айланиш тезликларида яхшилаш учун ҳар қайси фазада чўткалар орасидаги очилиш бурчаги 2α ни ўзгартирмай туриб, барча чўткалар системаси айланаётган роторга қарши β бурчакка силжитилади (26.10- расм, *г*). Натижада қўшимча э. ю. к. $E_{\text{қ}}$ фаза жиҳатдан э. ю. к. E_2 дан θ бурчакка олдинга кетади (26.8-расмга қаранг), бу эса двигатель $\cos\varphi_1$ инининг ортишига ёрдам беради. Двигателни ишга туширишда э. ю к. $E_{\text{қ}}$ қарши йўналганида чўткалар энг катта

бурчак 2α га силжитилади, бу минимал айланиш тезлигига мос келади. Бундай шароитда қўшимча э. ю. к. ишга тушириш токининг қийматини чеклайди, ишга тушириш моментининг қиймати эса анча катталигича қолади.

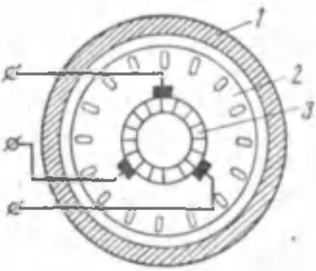
Кўриб чиқилаётган двигателнинг жиддий камчилиги чўткаларга кучланиш берилишидир, бу двигателга бериладиган кучланишнинг йўл қўйиладиган катталигини чеклаб қўяди; бу кучланиш амалда 500 *в* дан ортмайди.

Двигателда коллектор, контакт ҳалқалар ва роторида иккита чулғам борлиги двигателнинг ф. и. к. ни камайтиради, у ҳатто катта қувватли двигателларда ҳам 85% дан ошмайди.

Уч фазали коллекторли двигателлар ўзгарувчан ток электр юритмаларида айланиш тезлигини кенг чегарада ростлаш зарур бўлган ҳолларда ишлатилади.

26.6-§. Фазокомпенсатор

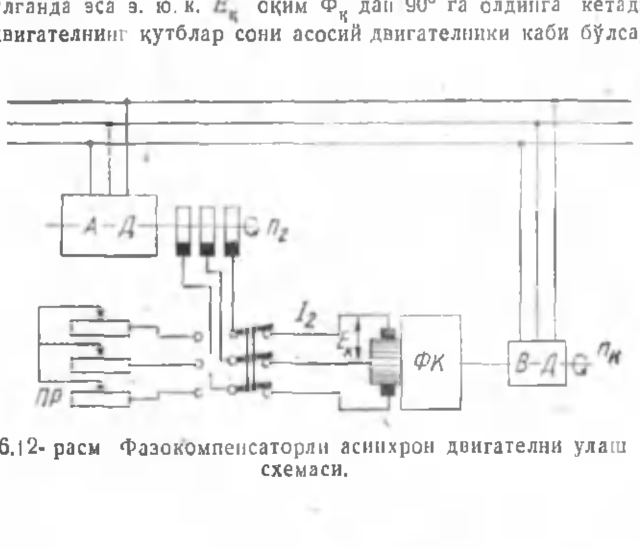
Фазокомпенсатор контакт ҳалқали асинхрон двигателларнинг қувват коэффициентини ошириш учун хизмат қилади. Фазокомпенсатор (ФК) да чулғамли ва коллекторли ротор *2* ҳамда чулғамсиз статор *1* бўлади, статор машинанинг фақат магнит ўтказгичи вазифасини бажаради. Коллектор *3* да бир-бирига нисбатан 120° бурчак остида учта қўзғалмас чўтка жойлашган (26.11- расм). Асинхрон двигатель (АД) нинг ротор чулғамидан олинган ток I_2 (26.12- расм) ФК да айланувчан магнитавий оқим $\Phi_к$ ни вужудга келтиради, унинг айланиш тезлиги ротордаги ток частотаси f_2 га боғлиқ бўлади. Ёрдамчи двигатель (ЁД) воситасида фазокомпенсаторнинг ротори оқим $\Phi_к$ нинг айланиш йўналишида $n_к$ тезлик билан айлантирилади. Бунда ФК нинг ротор чулғамида қуйидагича э. ю. к. индукцияланади:



26.11- расм. Фазокомпенсаторнинг тузилиши.

$$E_к = 4{,}44\,(f_2 - f_к)w_к\Phi_к K_к$$

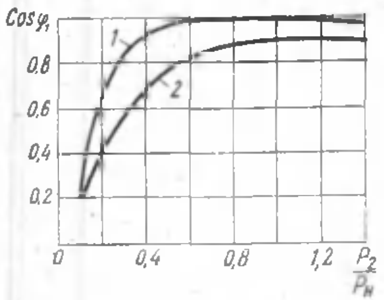
бунда $f_к = \frac{p_к n_к}{60}$ — фазокомпенсатор роторининг айланиш частотаси. $f_к < f_2$ бўлганда э. ю. к. $E_к$ фаза жиҳатдан оқим $\Phi_к$ дан 90° га орқада қолади. $f_к > f_2$ бўлганда эса э. ю. к. $E_к$ оқим $\Phi_к$ дан 90° га олдинга кетади. Агар ёрдамчи двигателнинг қутблар сони асосий двигателники каби бўлса, у ҳол-



26.12- расм. Фазокомпенсаторли асинхрон двигателни улаш схемаси.

да ЁД амалий жиҳатдан нагрузкасиз ишлагани учун унинг роторининг айланиш тезлиги асосий двигатель роторининг айланиш тезлигидан катта, $n_к > n_2$, бинобарин, $f_к > f_2$ бўлади.

Шундай қилиб, компенсаторнинг э. ю. к. и $E_к$ фаза жиҳатдан оқим $Ф_к$ дан 90° бурчакка олдинга кетади. Лекин оқим $Ф_к$ ни ток I_2 вужудга келтиргани ва фаза жиҳатдан у билан мос тушиши сабабли э. ю. к. $E_к$ ротор токи I_2 га нисбатан олдинга кетадиган бўлади. Э. ю. к. $E_к$ асинхрон двигателнинг, ротор чулғамига киритилади, яъни ротор занжиридаги қўшимча э. ю. к. ҳисобланади. 26.5-§ дан маълумки, асинхрон двигатель роторининг занжирига фаза жиҳатдан ток I_2 дан олдинга кетувчи қўшимча э. ю. к. киритиш двигателнинг $\cos\varphi_1$ ини оширади (26.8-расмга қаранг). Фазокомпенсатор асосий двигателнинг $\cos\varphi_1$ ини фақат нагрузка улангандагина оширади, чунки салт ишлашда $I_2 \approx 0$, асинхрон двигатель роторининг айланиш тезлиги эса компенсаторнинг айланиш тезлиги каби бўлади ($n_2 \approx n_к$). Натижада $f_к$ ва f_2 частоталар бир хил бўлиб қолади, э. ю. к. $E_к = 0$ бўлади, яъни компенсатор ишламайди. 26.13-расмда асинхрон двигатель фазокомпенсатор билан (*1*-эгри чизиқ) ва фазокомпенсаторсиз (*2*-эгри чизиқ) ишлагандаги $\cos\varphi_1$ нинг ўзгариш эгри чизиқлари кўрсатилган; бу эгри чизиқлардан кўриниб турибдики, номинал нагрузканинг 30% ига тенг нагрузкадан бошлаб компенсаторли двигателнинг $\cos\varphi_1$ анча ошади. Нагрузка номинал қийматининг 60% идан ортиб кетганда фазокомпенсаторли двигатель $\cos\varphi_1 \approx 1$ да ишлайди.



26.13-расм. Фазокомпенсаторли асинхрон двигателнинг $\cos_1 = f(P_2)$ эгри чизиқлари.

Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, фазокомпенсатор билан ишлайдиган асинхрон двигателнинг ф. и. к. и нагрузканинг баъзи қийматларида фазокомпенсаторсиз ишлайдиган асинхрон двигателнинг ф. и. к. идан катта бўлиши ҳам мумкин. Бу ҳол, асосан $\cos\varphi_1$ қийматининг катта эканлиги билан тушунтирилади. Қўшимча двигателнинг қуввати масаласига келсак, унинг актив ташкил этувчиси жуда кичик бўлади ва фазокомпенсатордаги фақат механикавий исрофлар катталиги билан аниқланади, чунки у асинхрон двигателнинг ротори занжирига соф реактив қувватни беради.

XXVII боб

ЭЛЕКТР-МАШИНАВИЙ ЎЗГАРТИРГИЧЛАР

27.1-§. Двигатель-генератор типидаги электр-машинавий ўзгартиргичлар

Электр энергиясини бошқа турдаги токли, бошқа кучланишли, бошқа частотали ва ҳоказоли электр энергиясига айлантириш учун мўлжалланган электр машина электр-машинавий ўзгартиргич дейилади.

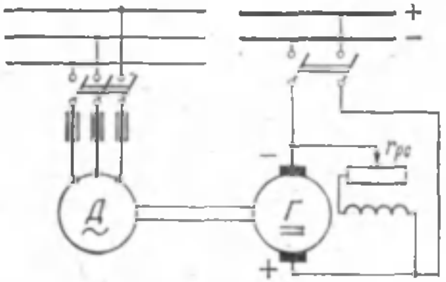
Электр машинавий ўзгартиргичларнинг ишлаш принципи энергияни икки марта ўзгартиришга асосланган: электр энер-

гияси механикавий энергияга айлантирилади, сўнгра бу энергия яна электр энергиясига, лекин бошқа турдаги ток, бошқа кучланишли ва ҳоказоли электр энергиясига айлантирилади.

Электр-машинавий ўзгартиргичлар двигатель-генератор агрегатлари ёки бир якорли ўзгартиргичлар кўринишида тайёрланади.

Қандай мақсадда ишлатилишига қараб электр-машинавий ўзгартиргичлар ўзгарувчан токни ўзгармас токка (ёки аксинча) айлантирадиган ўзгармас-ўзгарувчан ток ўзгартиргичлари, ўзгармас токнинг кучланишини ўзгартирадиган ўзгармас ток ўзгартиргичлари, частота ўзгартиргичлар ва ҳоказоларга бўлинади.

Двигатель-генератор типидаги электр-машинавий ўзгартиргич ўзаро механикавий боғланган двигатель ва генератордан иборат агрегатдир. Баъзан бу электр машиналарнинг иккаласи ҳам битта умумий корпусда жойлашган қилиб ясалади.



27.1- расм. Двигатель—генератор типидаги ўзгартиргич схемаси.

Уч фазали ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантириш учун мўлжалланган ўзгартиргич уч фазали асинхрон ёки синхрон двигатель билан ўзгармас ток генераторидан таркиб топган (27.1- расм). Синхрон двигателлар катта (100 *квт* ва ундан юқори) қувватли агрегатларда ишлатилади.

Двигатель билан генератор орасида электр боғланишнинг йўқлиги ўзгартиргичга киришдаги кучланиш қандай бўлишидан қатъи назар ўзгартиргичдан чиқишда исталган кучланишли ўзгармас ток олишга имкон беради.

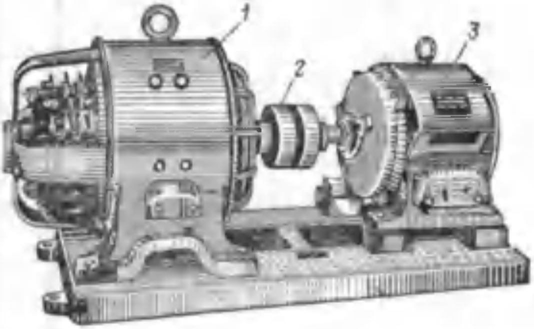
Электр-машинавий ўзгартиргичларда ўзгармас токни ўзгарувчан токка айлантириш учун параллел ёки аралаш қўзғатишли ўзгармас ток электр двигатели ва синхрон генератор (бир фазали ёки уч фазали) ишлатилган.

27,2- расмда аккумулятор батареяларини зарядлаш учун ишлатиладиган АЗД (зарядлаш агрегати, динамо) серияли зарядлаш агрегатининг ташқи кўриниши кўрсатилган.

Агрегат ЗД типидаги параллел қўзғатишли ўзгармас ток генератори *1* билан ягона А сериядаги уч фазали асинхрон двигатель *3* дан таркиб топган; улар чўян фундамент плита *4* га ўрнатилган ва ўзаро эластик муфта *2* орқали механикавий бирлаштирилган.

Двигатель-генератор принципида ясалган барча электр-машинавий ўзгартиргичларнинг умумий камчилиги нархининг анча қимматлиги ва ф. и. к. ининг кичиклигидир.

Ф. и. к. нинг кичик бўлишига сабаб шуки, ўзгартиргичга келаётган электр энергияси икки марта: дастлаб электродвигателда ва сўнгра генераторда ўзгаради. Шу муносабат билан двигатель-генератор агрегатнинг ф. и. к. η электродвигателнинг ф. и. к. $\eta_д$ билан генераторнинг ф. и. к. $\eta_г$ кўпайтмасидан аниқланади:



27.2- расм. Ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантирадиган двигатель-генератор.

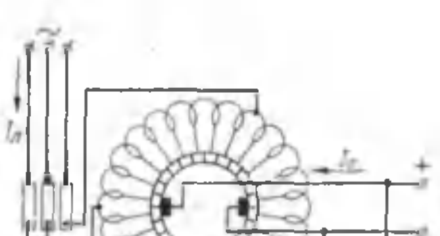
$$\eta = \eta_д \cdot \eta_г$$

Масалан, агар электродвигателнинг ф. и. к. $\eta_д = 75\%$, генераторнинг ф. и. к. эса $\eta_г = 80\%$ бўлса, у ҳолда ўзгартиргичнинг ф. и. к. қуйидагига тенг:

$$\eta = 0{,}75 \cdot 0{,}80 = 0{,}60 \text{ ёки } 60\%.$$

27.2- §. Бир якорли ўзгартиргичлар

*Бир якорли ўзгартиргич*да электродвигатель билан генератор битта машина ҳолида қўшилган: унда умумий якорь (ротор) ва умумий қўзғатиш чулғами бўлади. *Ўзгармас-ўзгарувчан* ток бир якорли ўзгартиргичнинг ишлашини кўриб чиқамиз.



27.3- расм Бир якорли узгартиргич схемаси.

Бу ўзгартиргич якорининг чулғами якорнинг бир томонидан коллекторга, иккинчи томонидан эса контакт

ҳалқаларга уланади (27.3- расм). Контакт ҳалқалар сони ўзгарувчан ток тармоғидан ўзгартиргичга уланадиган линия симларининг сони билан белгиланади: бир фазали токда иккита ҳалқа, уч фазалида—учта, олти фазада олтита ва ҳоказо бўлади. Ўзгартиргич статорида қўзғатиш чулғамли асосий қутблар бўлади. Бир якорли ўзгартиргич ишлаганида ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантириш учун ўзгарувчан ток тармоғидан контакт ҳалқаларга кучланиш берилади. Ўзгарувчан ток якорь чулғамида айланувчан магнитавий майдон ҳосил қилади. Натижада ўзгартиргич якори айлана бошлайди. Шундай қилиб, бир якорли ўзгартиргич ўзгарувчан ток тармоғи томондан синхрон электродвигатель сифатида ишлайди. Шу билан бир вақтда якорь чулғамида э. ю. к. вужудга келади ва у коллектор ҳамда чўткалар туфайли ўзгартиргичнинг чиқиш клеммаларида ўзгармас кучланиш ҳосил қилади. Демак, ўзгартиргич коллектор томондан параллел қўзғатишли ўзгармас ток генератори режимида ишлайди. Ўзгармас ва ўзгарувчан ток занжирлари орасида электр боғланиш борлиги сабабли ўзгармас ток кучланиши $U_{ўзгарм.}$ нинг қиймати ўзгарувчан ток кучланиши $U_{ўзгарув.}$ билан муайян нисбатда бўлади; бу нисбат қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$U_{ўзгарув.} = \frac{\sin\frac{\pi}{m}}{\sqrt{2}} E_{ўзгарм.}$$

бунда $U_{ўзгарув.}$ — ўзгарувчан токнинг фаза кучланиши;
$E_{ўзгарм.}$ — ўзгармас токнинг э. ю. к. и;
m — ўзгартиргичдаги контакт ҳалқалар сони.

Бир фазали ўзгартиргич учун ($m = 2$) $U_{ўзгарув.} = 0{,}707\ E_{ўзгарм.}$
Уч фазали ўзгартиргич учун ($m = 2$) $U_{ўзгарув.} = 0{,}613\ E_{ўзгарм.}$
Олти фазали ўзгартиргич учун ($m = 6$) $U_{ўзгарув.} = 0{,}354\ E_{ўзгарм.}$
Бир якорли ўзгартиргичда токлар нисбати

$$I_{ўзгарув.} = \frac{2\sqrt{2}}{m} I_{ўзгарм.}$$

бунда $I_{ўзгарув.}$ — ўзгарувчан токнинг (линия токининг) қиймати;
$I_{ўзгарм.}$ — ўзгармас токнинг қиймати.

Мисол. 460 *в* кучланишда 600 *а* ўзгармас ток олиш учун олти фазали бир якорли ўзгартиргичнинг ҳалқаларига қандай ўзгарувчан кучланиш ва ток берилиши кераклигини аниқланг.

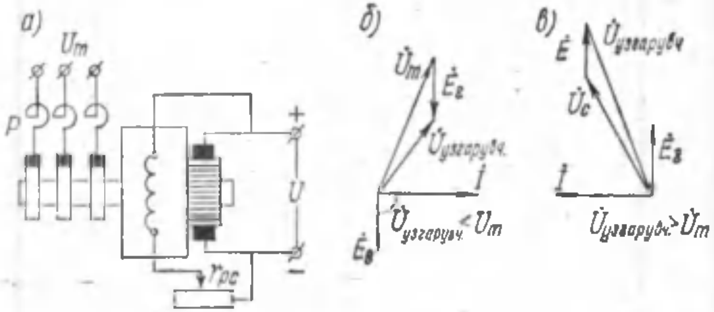
Ечилиши. $U_{ўзгарув.} = 0{,}354.\ E_{ўзгарм.} = 0{,}354 \cdot 460 = 163$ *в*;

$$I_{ўзгарув.} = \frac{2\sqrt{2}}{m} I_{ўзгарм.} = \frac{2\sqrt{2}}{6} 600 = 282\ a.$$

Бир якорли ўзгартиргичда ўзгармас ток томони ўзгарувчан ток томони билан электр жиҳатдан боғланган, шунинг учун ҳам ўзгартиргичдан чиқишдаги кучланишни ростлаш учун унга киришдаги кучланишни ўзгартириш лозим. Бу иш ўзгарувчан ток тармоғи билан ўзгартиргичнинг ҳалқалари орасига уланган

автотрансформатор, индукцион регулятор ёки реактив ғалтаклар ёрдамида амалга оширилади.

Кучланишни реактив ғалтаклар билан ростлаш усулини батафсилроқ кўриб чиқамиз. Бу ҳолда ҳалқалар билан тармоқ орасига реактив ғалтаклар P уланади (27.4-расм, *а*). Ростлаш реостати r_{pc} воситасида ўзгартиргичнинг қўзғатиш токи ўзгартирилади. Бунда агар ўзгартиргич ўта қўзғалиб кетса, якорь занжирида фаза жиҳатдан кучланиш $U_т$ дан орқада қоладиган



27.4-расм. Бир якорли ўзгартиргичнинг кучланишни ростлашдаги схемаси (*а*) ва вектор диаграммалари (*б*).

индуктив ток I вужудга келади, агар ўзгартиргич чала қўзғатилган бўлса, у ҳолда якорь занжирида фаза жиҳатдан кучланиш $U_т$ дан олдин кетадиган сиғимий ток I пайдо бўлади.

Ўзгартиргич чала қўзғатилган ва якорь занжиридаги ток индуктив бўлган ҳолни кўриб чиқамиз. Бунда реактив ғалтакларда ток $\dot{I}$ дан фаза жиҳатдан 90° га орқада қолувчи э. ю. к. $\dot{E}_ғ$ ҳосил бўлади. Бу ҳолда ўзгартиргич ҳалқаларидаги кучланиш

$$\dot{U}_{ўзгарув.} = \dot{U}_т + \dot{E}_ғ$$

бунда $\dot{U}_т$ — тармоқ кучланиши;

$\dot{E}_ғ$ — реактив ғалтакнинг э. ю. к. и.

Вектор диаграмма қуриб (27.4-расм, *б*), ўзгартиргич чала қўзғатилганда, э. ю. к. $\dot{E}_ғ$ фаза жиҳатдан ток $\dot{I}$ дан орқада қолганда ҳалқалардаги кучланиш $U_{ўзгарув.}$, бинобарин, ўзгармас ток томондаги кучланиш ҳам камайишини кўрамиз.

Ўзгартиргич ўта қўзғатилганда ток $\dot{I}$ фаза жиҳатдан кучланиш $\dot{U}_т$ дан олдин кетади (27.4-расм, *в*). Бу ҳолда ўзгартиргичга киришдаги кучланиш кўпаяди. Бу усул ўзгартиргичдан чиқишдаги кучланишни ± 10% атрофида ростлашга имкон беради. Бундай чекланиш якорь чулғамининг ундаги катта токлар туфайли қизиб кетиши билан боғлиқ.

Бир якорли ўзгартиргичдан ўзгармас токни ўзгарувчан токка айлантиришда ҳам фойдаланиш мумкин. Двигатель-генера-

торга нисбатан бир якорли ўзгартиргичнинг габаритлари кичик ва ф. и. к. и анча юқори бўлади.

Бир якорли ўзгартиргични қуйидаги усуллар билан ишга тушириш мумкин.

Ўзгармас ток томонидан ишга тушириш. Бундай ишга тушириш ўзгармас ток манбаи борлигидагина мумкин бўлади. Ўзгартиргич тармоққа ўзгармас ток двигатели каби уланади. Ротор айлана бошлагач, ўзгартиргич синхронлаштирилади ва ўзгарувчан ток тармоғига уланади (17.2- § га қаранг).

Асинхрон ишга тушириш. Ўзгартиргични бундай ишга тушириш синхрон двигателни асинхрон ишга туширишга ухшайди (18.4- § га қаранг).

Ёрдамчи двигатель воситасида ишга тушириш (18.4- § га қаранг). Ҳозирги вақтда бир якорли ўзгартиргичлар кам ишлатилади, чунки техниканинг кўпгина соҳаларида улар анча тежамли ва ишлатишга қулай бўлган симобли тўғрилагичлар ҳамда яримўтказгичли ўзгартиргичлар томонидан сиқиб чиқарилмоқда. Бир якорли ўзгартиргич баъзан қўш генератор режимида, яъни ўзгармас ва ўзгарувчан ток генератори сифатида фойдаланилади. Бу ҳолда якорни бошқа двигатель механикавий равишда айлантиради.

Ўзгармас ток кучланишини ўзгартириш учун хизмат қиладиган *бир якорли ўзгармас ток ўзгартиргичларида* битта якорнинг пазларига жойлаштирилган иккита иш чулғами бўлади. Ҳар қайси чулғам ўзининг коллекторига уланган. Якорь чулғамларидан бири паст кучланишга, бошқаси эса юқори кучланишга мўлжалланган бўлади. Ўзгартиргичлардан, одатда, кучланишни ошириш учун фойдаланилади. Бу ҳолда якорнинг паст кучланиш чулғами коллекторига кучланиш берилади, яъни бу чулғамдан двигатель чулғами сифатида фойдаланилади, генератор чулғами сифатида фойдаланиладиган юқори кучланиш чулғамининг коллекторидан эса кучланиш олинади.

Бир якорли ўзгартиргичда битта магнитавий система борлиги сабабли двигатель чулғамида ҳам, генератор чулғамида ҳам э. ю. к. ларни битта магнитавий оқим ҳосил қилади.

Шунинг учун двигатель чулғамининг э. ю. к. $E_{дв.}$ генератор чулғамининг э. ю. к. $E_г$ билан муайян нисбатда бўлади, бу нисбат двигатель чулғамидаги $N_{дв.}$ ва генератор чулғамидаги $N_г$ актив ўтказгичлар сонига боғлиқ бўлади:

$$\frac{E_г}{E_{дв.}} = \frac{N_г}{N_{дв.}} \qquad (27.2)$$

Генератор чулғамининг э. ю. к. и ушбу ифодадан аниқланади:

$$E_г = U_г + I_{аг.} \sum r_г \qquad (27.3)$$

двигатель чулғамининг э. ю. к. и эса,

$$E_{дв.} = U_{дв.} - I_{а\,дв.} \sum r_{дв.} \qquad (27.4)$$

Бу ерда $U_г$ ва $U_{дв.}$ — генератор ва двигатель чулғамларининг чўткаларидаги кучланиш;

$I_{аг}$ ва $I_{адв.}$ — генератор ва двигатель чулғамларидаги токлар;

$\sum r_г$ ва $\sum r_{дв.}$ — генератор ва двигатель чулғамларининг занжирларидаги қаршиликлар.

(27.2), (27.3), ва (27.4) ифодалардан фойдаланиб, бир якорли ўзгармас ток ўзгартиргичидан чиқишдаги кучланиш формуласини ҳосил қиламиз:

$$U_г = E_г - I_{аг}\sum r_г = E_{дв.}\frac{N_г}{N_{дв.}} - I_{аг}\sum r_г =$$

$$= \left(U_{дв.} - I_{а\,дв.}\sum r_{дв.}\right)\frac{N_г}{N_{дв.}} - I_{аг}\sum r_г \qquad (27.5)$$

(27.5) тенгламадан кўриниб турибтики, бир якорли ўзгармас ток ўзгартиргичидан чиқишдаги кучланишнинг қиймати ўзгартиргичга киришдаги кучланишга боғлиқ, бинобарин, $U_г$ кучланишни фақат $U_{дв.}$ кучланишни ўзгартириш йўли билангина ростлаш мумкин. Ўзгартиргичнинг қўзғатиш чулғамидаги токнинг ўзгариши кучланиш $U_г$ га жуда оз таъсир этади. Бунга сабаб шуки, қўзғатиш токи кўпайиши билан асосий магнитавий оқим кўпаяди, бу эса $U_г$ нинг ортишига ёрдам беради; лекин шу билан бирга оқим кўпайганида якорнинг айланиш тезлиги камаяди, бу эса $U_г$ нинг камайишига олиб келади. Натижада ўзгартиргичдан чиқишдаги кучланиш амалда ўзгармай қолади.

Ўзгармас ток бир якорли ўзгартиргичлари 10 — 5000 *вт* қувватга мўлжаллаб тайёрланади; уларда киришдаги кучланиш 6; 12 ва 24 *в*, чиқишдаги кучланиш эса 220; 450; 750; 1000 ва 1500 *в* ва айланиш тезликлари 4000 — 10 000 *айл/минут* бўлади.

XXVIII боб

ЭЛЕКТР МАШИНАЛАР ВА ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ ҚИЗИШИ ВА УЛАРНИ СОВИТИШ

28.1-§. Электр машиналар ва трансформаторларнинг қизиши

Электр машина ишлаганида ҳамма вақт қизийди, бу ҳар қандай электр машинада содир бўладиган энергия исрофлари натижасидир.

Электр исрофларнинг ҳамма турлари пировард оқибатда иссиқликка айланади ва унинг бир қисми теварак-атрофдаги муҳитга тарқалади, бир қисми эса машинанинг қизишига сарф бўлади. Электр машиналарнинг қизиш қонунини тушуниб олиш учун шартли равишда машинанинг бутун ҳажми бир меёрда исийди, иссиқлик эса унинг бутун сиртидан тарқалади, деб ҳисобланади.

Ана шу шароит учун иссиқлик баланси тенгламасини ёзамиз:

$$Qdt = Gcd\tau + S\lambda\tau dt \qquad (28.1)$$

бунда Q — машинада вақт бирлиги ичида ажралиб чиқаётган иссиқлик миқдори;

t — вақт;

G — қизиётган машинанинг оғирлиги;

c — солиштирма иссиқлик сиғими, яъни 1 *кг* айни моддани 1°С қиздириш учун зарурий иссиқлик миқдори, килокалория ҳисобида;

τ — машина температурасининг теварак-атрофдаги муҳит температурасига нисбатан ортиши;

S — иссиқлик чиқиб тарқалаётган сирт;

λ — тарқалиш коэффициенти, температуранинг ортиши 1°С бўлганда 1 секундда 1 $см^2$ юзадан тарқаладиган иссиқлик миқдорини билдиради.

(28.1) тенгламада Qdt — машинада dt вақт ичида ажралиб чиққан иссиқлик миқдори; $Gcdt$ — машина қисмларига ютиладиган ва уларнинг исишига сарфланадиган иссиқлик миқдори; $S\lambda\tau dt$ — машина сиртидан теварак-атрофга тарқаладиган иссиқлик миқдори.

Бошланғич ишлаш даврида машинанинг температураси теварак-атроф муҳит (ҳаво) нинг температурасидан амалда фарқ қилмайди, яъни $\tau\approx 0$. Бу ҳолда $S\lambda\tau dt\approx 0$, шунинг учун ҳам машинада ажраладиган барча иссиқлик унинг қисмлари температурасининг ортишига сарфланади. Сўнгра теварак-атроф муҳитга тарқаладиган иссиқлик миқдори кўпаяди. Ва, ниҳоят, маълум вақт ўтгач, машина шунчалик қизиб кетадики, бунда машинада вақт бирлиги ичида ажралиб чиқадиган иссиқликнинг ҳаммаси теварак-атроф муҳитга тарқалади. Бу ҳолда машина температураси янада кўтарилишдан тўхтайди ва иссиқлиқ мувозанати режими қарор топади, бу режимда машинада ажраладиган барча иссиқлик унинг сиртидан теварак-атроф муҳитга тарқалади:

$$Qdt = S\lambda\tau_m dt \qquad (28.2)$$

Бунда τ_m — машинанинг қарор топган ўта қизиш температураси, яъни машина айни шароитда қизиши мумкин бўлган энг юқори температура.

(28.2) ифодадан кўриниб турибдики,

$$\tau_m = \frac{Q}{S\lambda}, \qquad (28.3)$$

яъни машинанинг қарор топган ўта қизиш температураси машинанинг оғирлигига боғлиқ эмас, балки машинада вақт бирлиги ичида ажралиб чиқадиган иссиқлик миқдори, совиётган сиртнинг юзаси ва тарқалиш коэффициенти билан белгиланади.

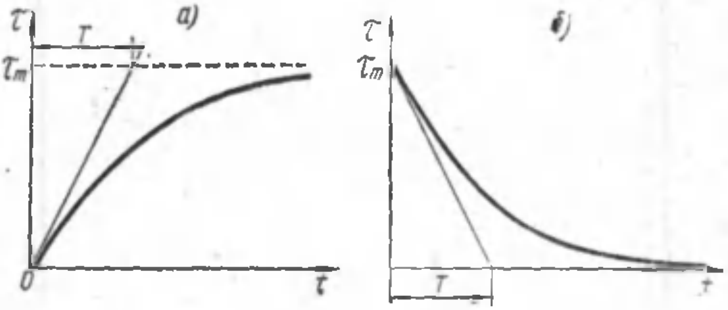
Машинанинг ўта қизиш температураси τ нинг вақт t га боғлиқлиги қуйидаги тенглик билан ифодаланади:

$$\tau = \tau_m\left(1 - e^{\frac{t}{T}}\right) \qquad (28.4)$$

бунда $e = 2{,}718$ — натурал логарифмлар асоси;

T — қизиш доимийси; у иссиқлик теварак-атроф муҳитга тарқалмаганда айни жисм энг юқори барқарор температурагача қизиши учун кетадиган вақтни кўрсатади.

(28.4) ифодага мувофиқ қурилган қизиш эгри чизиғи $\tau = f(t)$ электр машина барқарор ўта қизиш температурасига узоқ вақт ўтгандан кейингина етишини кўрсатади (28.1-расм, *а*).



28.1-расм. Электр машинасининг қизиш (*а*) ва совиш (*б*) эгри чизиқлари.

$\tau = f(t)$ эгри чизиқнинг бошланғич қисмига уринма ўтказиб, қизиш доимийси T га сон жиҳатдан тенг бўлган кесмани оламиз. Масалан, агар машина тармоқдан узилганда унинг қизиши тўхтаса, иссиқлик балансининг тенгламаси қуйидаги кўринишга келади:

$$0 = Gcd\tau + S\lambda\tau dt$$

ёки

$$-Gcd\tau = S\lambda\tau dt, \tag{28.5}$$

яъни машина сиртидан иссиқликнинг нурланиши унда тўпланган иссиқлик ҳисобига бўлади, шунинг учун машина совий бошлайди. Ўта қизиш температураси машинанинг совиш жараёнида қуйидаги ифодага мувофиқ ўзгаради:

$$\tau = \tau_m e^{-\frac{t}{T}} \tag{28.6}$$

Совиш эгри чизиғи $\tau = f(t)$ 28.1-расм, *б* да кўрсатилган. Электр машиналарнинг баён қилинган қизиш ва совиш қонунлари трансформаторлар учун ҳам қўлланилиши мумкин.

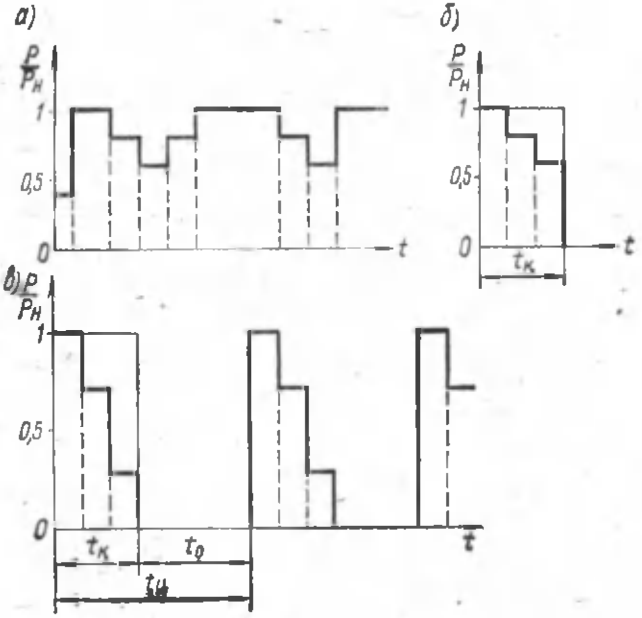
28.2-§. Электр машиналарнинг номинал ишлаш режимлари

ГОСТ 183—66 электр машиналарнинг учта номинал иш режимини белгилаб беради.

Узоқ давом этадиган номинал иш режими, бунда машинанинг нагрузка билан ишлаш даври узоқ вақт давом

этади, шу сабабли унинг барча қисмлари температуранинг барқарор қийматларигача қизийди. Бунда машинанинг нагрузкаси бутун ишлаш даври давомида ўзгармаслиги ёки ўзгариб туриши мумкин (28.2-расм, *а*). Машинанинг узоқ вақт ишлагандаги қизиш ва совиш эгри чизиқлари 28.1-расмда кўрсатилган.

Қисқа муддатли номинал иш режими, бунда номинал нагрузка билан ишлаш даврлари машинани вақтинчали



28.2-расм. Электр машиналарининг иш режимлари графиклари: *а*—узоқ муддатли режим; *б*—қисқа муддатли режим; *в*—такрор-қисқа муддатли режим.

узиб қўйиш билан алмаштириб турилади, ана шу вақт давомида машина теварак-атроф муҳит температурасигача совишга улгуради (28.2-расм, *б*). Қисқа муддатли иш режимида ишлаганида мишина температурасининг ўзгариш графиги 28.3-расм, *а* да кўрсатилган.

Такрор-қисқа муддатли номинал иш режими, бунда машина номинал нагрузкада қисқа муддатли ишлаш даврлари узиб қўйиш даврлари t_0 (паузалар) билан алмаштириб турилади (28.2-расм, *в*). Бунда нагрузка уланган даврда машина қисмларининг қизиш температураси барқарор қийматгача кўтарила олмайди, пауза вақтида эса теварак-атроф муҳит температурасигача совишга улгурмайди. Кўрсатилган бу

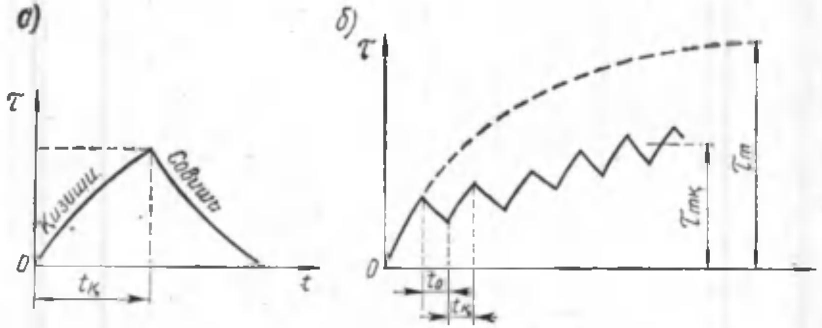
режим *улашнинг нисбий давомийлиги* дейиладиган катталик билан характерланади, яъни

$$УД = \frac{t_к}{t_ц} 100,$$

бунда $t_к$ — нагрузка билан ишлаш вақти;

$t_ц$ — бутун цикл (нагрузка даври ва узиб қўйилган даври) вақти.

Нормал нисбий уланиш давомийлиги УД=25% бўлади. Лекин УД 15, 40 ёки 60% бўлиши ҳам мумкин. Бунда циклнинг



28.3- расм. Температуранинг қисқа муддатли (*а*) ва такрор қисқа муддатли (*б*) иш режимларидаги ўзгариш графиклари.

давомийлиги 10 минутдан ошмайди. Узоқ давом этадиган режимда УД=100% бўлади. Такрор-қисқа муддатли иш режимида машинанинг қизиш эгри чизиғи 28.3- расм, *б* да кўрсатилган.

Агар узоқ вақт ишлаш режимига мўлжалланган машинадан унинг қуввати номинал бўлганда қисқа муддатли ёки такрор-қисқа муддатли иш режимида фойдаланилса, у ҳолда барқарор қизиш температураси $\tau_{mк}$ машинанинг узоқ вақт ишлаш режимидаги τ_m ға қараганда паст бўлади (28.3- расм, *б*). Демак, машина узоқ вақт ишлаш режимидан қисқа муддатли ёки такрор қисқа муддатли иш режимига ўтказилганда унинг рухсат этиладиган қуввати ортади.

28.3-§. Электр машиналар қисмларининг энг юқори ўта қизиш температуралари ва температураларни ўлчаш усуллари

Машинанинг ўта қизишига энг таъсирчан қисми чулғамларнинг электр изоляциясидир. Юқори температуралар таъсирида изоляциянинг иссиқдан эскириши содир бўлади, бу унинг изоляцион ва механикавий хоссаларининг ёмонлашувида намоён бўлади.

Электр машиналар ва трансформаторларда ишлатиладиган электр-изоляцион материаллар иссиқбардошлиги жиҳатдан етти классга бўлинади. Электр машинасозлигида А классга тегишли изоляцион материаллари энг кўп тарқалган. Изоляциянинг бу классига суюқ диэлектрик шимдирилган ёки унга ботирилган целлюлоза ёки ипак каби толали электр-изоляция материаллари, эмаль — симлар изоляцияси, ёғоч ва қатламли пластиклар киради.

Изоляциянинг ҳар қайси классига йўл қўйиладиган энг юқори қизиш температураси мос келади, изоляция бу температурада узоқ вақт давомида ишончли ишлай олади. А классга оид изоляция учун бу температура 105°С га тенг. Температура кўрсатилган қийматидан ортиб кетганда изоляциянинг хизмат муддати кескин қисқаради. Масалан, 90° температурада А классга оид изоляциянинг хизмат қилиш муддати 20 йилга яқин. Температура 110°С гача кўтарилганда бу муддат 4 йилгача камаяди, 150°С да эса у 1,5 ойгача камаяди.

Машинанинг қаттиқ қизиб кетиши унинг бошқа элементларига ҳам салбий таъсир этиши мумкин. Масалан, қаттиқ қизиб кетганда коллектор тўғри геометрик шаклини йўқотиши, якорь чулғами билан коллектор орасидаги „тож“ ларнинг кавшарланган жойлари бузилиши, шунингдек, подшипниклар ишдан чиқиши мумкин.

Машина айни қисми температурасининг теварак-атроф муҳит температурасига нисбатан кўтарилиши ушбу ифодадан аниқланади:

$$\tau = \theta - \theta_0$$

бунда θ — машина айни қисмининг температураси;

θ_0 — совитувчи муҳит (ҳаво, водород, сув ва ҳоказо) температураси.

Асосий совитувчи муҳит сифатида ГОСТ 183 — 66 да йўл қўйиладиган энг юқори температураси $\theta_0 = 35°C$ бўлган ҳаво қабул қилинган. ГОСТ 183 — 66 да А ва В класс материаллари билан изоляция қилинган чулғамлар, шунингдек, машинанинг бошқа қисмлари учун теварак-атрофдаги ҳаво температураси $+35°C$ бўлгандаги рухсат этиладиган энг юқори температура температурани ўлчаш методига қараб белгилаб берилган. Ана шу чеклашларга риоя қилиш машинанинг узоқ вақт яхши ишлашини таъминлайди.

ГОСТ 183—66 да температурани ўлчашнинг учта методи: термометр методи, қаршилик методи ва термодетекторлар қўйиб ўлчаш ёки ўрнатилган термодетекторлар методи назарда тутилган.

Термометр методи машинанинг юза қисмларига тегиб турадиган температура ўлчагичлар ишлатишга асосланган. Температура ўлчагичлар сифатида симобли ёки спиртли термометрлар, ўрнатилмаган термопаралар ва ўрнатилган қаршилик тер-

мометрлари ишлатилади. Температурани термометр билан ўлчашнинг камчилиги шундаки, у машина ёки трансформатор қисмининг фақат ташқи сиртининг температурасини ўлчайди. Агар температура ўзгарувчан магнитавий майдонлар таъсир этадиган жойларда ўлчанса, у ҳолда симобли термометрлар ишлатиб бўлмайди, чунки бундай шароитда уларнинг кўрсатиши нотўғри бўлади.

Қаршилик методи чулғамларнинг актив қаршилигини қизишидан олдин ва кейин ўлчашга асосланган. Бу методда чулғамларнинг ўртача температураси олинади. Чулғам температурасининг кўтарилиши қуйидаги формуладан аниқланади:

$$r_2 = r_1[1 + \alpha(\theta - \theta_0)];$$

бундан

$$\tau = \theta - \theta_0 = \frac{r_2 - r_1}{r_1} \cdot \frac{1}{\alpha},$$

бунда r_2 — чулғамнинг қизиган ҳолатдаги актив қаршилиги;
r_1 — чулғамнинг совиган ҳолатдаги ($\theta_0 = +35°C$ даги) актив қаршилиги;
α — температура коэффициенти: мис учун $\alpha = 0{,}004$ $^1/$*град*

Ўрнатилган температура детекторлари методи машинани тайёрлашда унинг энг юқори температура бўлиши эҳтимоли бўлган нуқталарига температура детекторлари ўрнатишга асосланган. Температура детектори сифатида термопаралар ёки қаршилик термометрлари ишлатилади.

Трансформаторларнинг қизиш ва совиш процесслари, асосан, айланувчан машиналардаги процессларга ўхшайди. Мойли трансформаторларда энг кўп ишлатиладиган изоляция тури қоғоздир, у мойнинг ичида 95 — 105°C температураларга чидаши мумкин, бунда у ўзининг изоляция хоссаларини узоқ вақт давомида деярли ўзгартирмайди.

ГОСТ 401—41 га мувофиқ, теварак-атрофдаги ҳаво температураси +35°C бўлганда трансформатор қисмлари температурасининг ошиши 28.1-жадвалда кўрсатилган қийматлардан ортиб кетмаслиги керак.

28.1-жадвал

Трансформатор қисмлари	Температуранинг энг юқори кўтарилиши, *град*	Ўлчаш методи
Чулғам	70	Қаршилик методи
Ўзак (сиртида)	75	Термометр методи
Мой (юқори қатламларида) .	60	Ву ҳам

Шундай қилиб, электр машина ёки трансформаторни берилган қувватга ҳисоблашда мис ва пўлатга тушадиган солиштирма нагрузкаларни шундай танлаш керакки, бунда энергия

исрофлари ва, бинобарин, айрим қисмларининг қизиши йўл қўйиладиган чегарадан ошиб кетмасин. Агар солиштирма нагрузкаларни камайтириш йўлидан борилса, бу ҳол машина ёки трансформаторнинг ўлчамлари ва таннархининг ортишига олиб келади. Шунинг учун лойиҳалашдаги асосий вазифа машина ёки трансформаторнинг берилган қувват учун оптимал ўлчамларини топишдан иборат. Иссиқбардош изоляция ишлатиш машинанинг солиштирма нагрузкасини оширишга ва, бинобарин, унинг габаритларини камайтиришга имкон беради.

28.4-§. Электр машиналарни вентиляция қилиш

Иссиқлик баланси тенгламаси (28.1) дан кўринишича, электр машинада ажраладиган иссиқликнинг фақат бир қисмигина унинг қизишига сарф бўлади. Бу иссиқликнинг бошқа қисми машинанинг сиртидан тарқалади. Иссиқлик, асосан, конвекция йўли билан—иссиқликни ҳаво оқимлари олиб кетиши туфайли тарқалади. Агар машинага шамол урилса, машина сиртидан тарқалаётган иссиқлик миқдори ошади, бу ҳол машина қисмлари барқарор температурасининг пасайишига ва, бинобарин, унинг қувватининг ошишига олиб келади. Машинанинг қизиган қисмларига ҳаво ёки бошқа совитувчи модда билан шамол уриш — ***вентиляция*** деб аталади. Электр машиналарини вентиляция қилиш ёрдамида машинанинг актив материалларидан тўлароқ фойдаланилади, бу билан унинг оғирлиги ҳам камаяди.

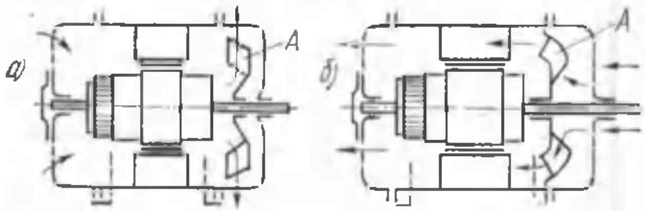
Машинани совитишнинг бир неча усуллари бор.

Машинанинг валида вентилятори бўлмаган ҳолдаги ўз-ўзидан (табиий ҳолда) совиши; бу усул қуввати 1 *квт* гача бўлган машиналарда, шунингдек, очиқ қилиб ишланган, катта қувватли секин ишловчи машиналарда қўлланилади.

Ўз-ўзини вентиляция қилиш, яъни машинанинг қизийдиган қисмларини роторда жойлашган вентилятор ёрдамида совитиш. Ўз-ўзини вентиляция қилиш ички ва ташқи бўлиши мумкин. Вентиляторнинг ишлаш характерига қараб, ички ўз-ўзини совитиш ўз навбатида ҳайдаш ҳамда сўриш йўли билан совитишга бўлинади. Сўриш йўли билан вентиляция қилишда совуқ ҳаво бевосита машинанинг совитиладиган қисмларига келиб тегади (28.4-расм, *а*), ҳайдаш йўли билан вентиляция қилишда эса совуқ ҳаво машинанинг совитиладиган қисмларига тушишдан аввал, вентилятор А дан ўтиб, бир оз (3 — 7°С га) исийди, бу вентиляция эффектини пасайтиради. Шу сабабли сўриш йўли билан ўз-ўзини вентиляция қилиш, ҳайдаш йўли билан вентиляция қилишга қараганда яхшироқдир.

Машинанинг қизиган қисмларини яхшироқ совитиш учун унинг турли қисмларида ҳаво ўтиши учун вентиляцион каналлар кўзда тутилади. Одатда бундай каналлар ротор ва статор ўзакларида қилинади. Каналлар машина ўқига параллел ёки

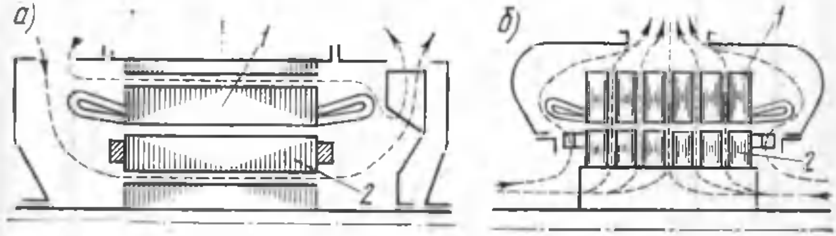
радиал (машина ўқига перпендикуляр) йўналишда бўлиши мумкин. Биринчи ҳолда шамоллатиш *аксиал* (28.5- расм, *а*), иккинчи ҳолда эса *радиал* (28.5- расм, *б*) дейилади. Статор ва ротор ўзакларида радиал вентиляцион каналлар актив пўлатнинг умумий узунлигини эни 40—80 *мм* дан бўлган пакетлар-



28.4- расм. Вентиляция системалари:
а—сўриш системаси; *б*—ҳайдаш системаси.

га бўлиш билан ҳосил қилинади. Пакетлар орасида ҳар бири 10 *мм* дан оралик қолдирилади, улар радиал вентиляцион каналлар ҳисобланади.

Ташқи ўз-ўзини вентиляция қилишда вентилятор валнинг ташқи учига чиқариб ўрнатилади. У қиррали (қобирғали) ки-



28.5- расм. Вентиляциянинг аксиал (*а*) ва радиал (*б*) системалари:
1—статор; *2*—ротор.

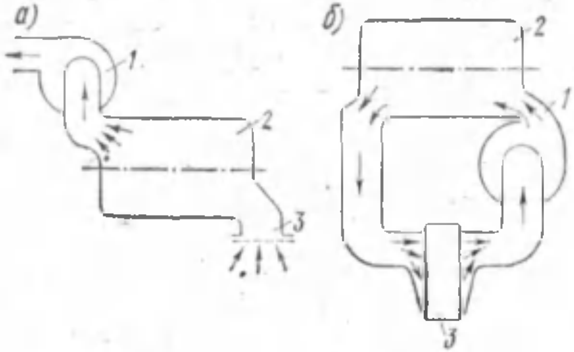
либ ишланган станинанинг ташқи юзасига ҳаво пуфлайди (19.3- расм, *б* га қаранг). Ташқи ўз-ўзини вентиляция қилиш совитувчи ҳаво таркибида портлаш хавфи бўлган ёки машинанинг изоляциясига зарарли таъсир этадиган қўшимча моддалар бўладиган ҳолларда қўлланилади.

Мустақил вентиляция катта қувватли машиналарда қўлланилади. Бу ҳолда совитувчи муҳит машинага махсус қурилма (вентилятор ёки насос) ёрдамида берилади.

Мустақил вентиляция *бўйлама* ёки *ёпиқ* бўлиши мумкин. Бўйлама вентиляцияда конструкцияси жиҳатдан ёпиқ бўлган машинадан ташқаридан бериладиган ҳаво ўтказилади ва сўнгра у машина орқали ўтгач, ташқарига чиқариб юборилади 28.6- расм, *а*). Машинага ташқаридан ҳаво беришда ҳаво машинага

кирадиган тешикка ҳавони чангдан тозалаш учун фильтр ўрнатилади.

Вентиляциянинг ёпиқ системасида машинада совитувчи газнинг бир хил миқдори айланиб юради, у ёпиқ контур бўйича совитгич орқали ўтади (28.6-расм, *б*). Вентиляциянинг ёпиқ



28.6-расм. Вентиляциянинг мустақил системалари: *а*—бўйлама (чўзиқ), *б*—ёпиқ.

1—вентилятор; 2—электр машина; 3—совитгич.

системаси машинани унга чанг тушишидан ва, бундан ташқари, ички қисқа туташув туфайли содир бўлиши мумкин бўлган ёнғин таъсиридан сақлайди. Бунга сабаб шуки, машинада айланиб юрувчи ҳаво миқдори чекланганлиги туфайли ёнғин чиққанда кислород тез тугаб қолади ва изоляция ёнишдан тўхтайди.

28.5-§. Водород билан совитиш

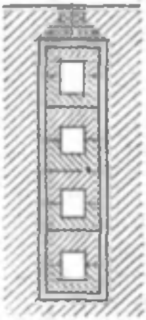
Вентиляциянинг ёпиқ системасида совитувчи муҳит сифатида фақат ҳаво эмас, балки водород ишлатишга ҳам рухсат этилади. Водороднинг ўзига хос алоҳида хусусиятлари борлиги сабабли водород билан совитишнинг ҳаво билан совитишга қараганда бир қанча афзалликлари бор.

1. Водород ҳаводан 14 марта енгил, бу вентиляцияга кетадиган исрофларни камайтиради ва, бинобарин, машинанинг ф. и. к. ни оширади. Масалан, қуввати 150 000 *квт* бўлган турбогенераторда ҳаво билан совитишда вентиляцияга кетадиган исрофлар 1000 *квт* бўлса, водород билан совитишда атиги 140 *квт* бўлади, холос.

2. Водороднинг иссиқ ўтказувчанлиги ҳавоникига қараганда олти-етти марта катта бўлганлиги сабабли у машинани тезроқ совитади. Бу ҳол габаритлари бир хил бўлганда машинанинг қувватини ҳаво билан совитишдагина қараганда 20 - 25% оширишга имкон беради.

3. Водород билан совитилганда машинада ёнғин чиқмайди, чунки водород ёнишга ёрдам бермайди.

4. Водород билан совитиш изоляциянинг хизмат муддатини узайтиради, чунки корона ҳодисасида машинада азот йўқлиги сабабли изоляциянинг органик ташкил этувчиларини емирадиган нитратлар ҳосил бўлмайди. Машина ичида қалдироқ газ ҳосил бўлганида портлаш хавфини йўқотиш учун машина орқали олдин карбонат ангидрид гази ўтказилади. Сўнгра машина атмосфера босимидан юқорироқ босимда водород билан тўлдирилади, бу эса машина ичига ҳаво киришининг олдини олади. Водородли совитиш усули турбогенераторларда ва кучли синхрон компенсаторларда қўлланилади. Турбогенераторларни водород билан совитиш туфайли уларнинг қувватини 300 000 *квт* гача етказиш мумкин бўлди. Машина чулғамларининг мисини ички совитиш усулини татбиқ этиш йўли билан турбогенераторларнинг қуввати янада оширилди. Бу ҳолда чулғам симлари ичи ҳавол қилинади (28.7-расм). Бундай усулда совитиладиган турбогенераторларнинг қуввати 500000 *квт* гача етказилди. Машинада водороднинг босими оширилиши билан водородли совитишнинг самарадорлиги ортади. Водороднинг босими 3 — 4 *ат* гача етадиган машиналар ҳам бор. Ниҳоят, шуни таъкидлаб ўтиш керакки, водородли совитиш машинанинг ўзини ҳам, уни ишлатишни ҳам мураккаблаштиради ва қимматлаштиради. Шунинг учун водородли совитиш фақат катта қувватли (20 000 *квт* дан юқори) машиналардагина қўлланилади.



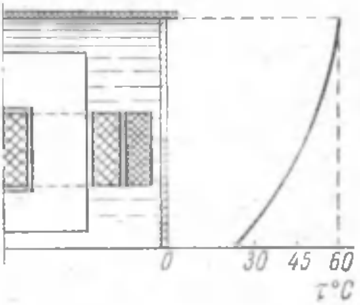
28.7- расм. Чулғамни водород билан ичдан совитиш.

28.6- §. Трансформаторларни совитиш

Қуввати бир неча киловольтампер бўлган трансформаторлар *қуруқ* — ҳаво билан табиий совитиладиган қилиб ясалади. Бу трансформаторлар магнит ўтказгичи ва чулғамларининг сирти иссиқликни теварак-атрофдаги ҳавога тарқатиш учун етарли бўлади, бунда трансформатор қисмларининг температураси рухсат этиладиган нормалардан ортиб кетмаслиги лозим

Ўрта ва катта қувватли трансформаторларда табиий совитиш етарли бўлмайди. Гап шундаки, трансформаторларнинг қуввати ошганда уларда исрофлар чизиғий ўлчамларининг кубига пропорционал равишда кўпаяди, совитилиш сирти эса чизиғий ўлчамларининг квадратига пропорционал равишда кўпаяди. Бу ҳол совитишнинг анча самарали усулидан—*мой билан совитиш* усулидан фойдаланиш заруратини туғдиради. Бунда магнит ўтказгич чулғамлар билан бирга трансформатор

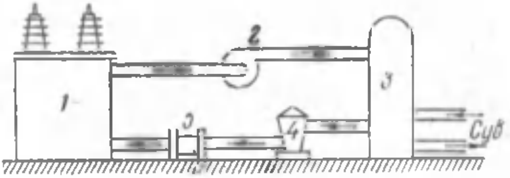
мойи солинган бакка ботириб қўйилади. Мой заррачалари трансформаторнинг чулғамлари ва магнит ўтказгичга тегиб исийди ва бакнинг юқори қисмига кўтарилади. Уларнинг ўрнини мойнинг совуқроқ заррачалари эгаллайди. Юқорига кўтарилган мой заррачалари бакнинг деворлари ва қопқоғига тегиб ўз иссиқлигини беради, совийди ва бакнинг пастки қисмига тушади. Шундай қилиб, мойнинг тўхтовсиз айланиб юрадиган оқими вужудга келади, у трансформаторнинг магнит ўтказгичи ва чулғамларидан иссиқликни олиб, бакнинг деворларига беради ва бу ердан иссиқлик атрофдаги ҳавога тарқалади. Мойнинг исиган заррачалари доимо бакнинг юқори қисмига интилганлиги сабабли мой температурасининг ортиши бакнинг баландлиги бўйлаб турлича: бакнинг юқориги қисмида кўп бўлади (28.8-расм).



28.8-расм. Мой температурасининг трансформатор бакининг баландлиги бўйлаб ортиши.

Совитишни кучайтириш учун магнит ўтказгич стерженларида вентиляция каналлари бўлади (9.11-расмга қаранг).

Қуввати 20—30 *ква* дан юқори бўлган трансформаторларда бакларга қатор вертикал трубалар ўрнатилган бўлади. Катта



28.9-расм. Трансформаторни сунъий усулда сув-мойли совитиш схемаси:

1—трансформатор; *2*—мой насоси; *3*—совитгич; *4*—ҳаво совитгич; *5*—фильтр.

қувватли трансформаторларда бу трубалар совитгич-радиаторлар тарзида бирлаштирилади ва улар баъзан ҳаво уриб совитилади (9.13-расмга қаранг). Бу ҳолда вентиляторлардан келаётган ҳаво оқими трансформаторнинг бак ва радиаторларига урилиб ўтади ва бу билан иссиқлик тарқалишини тезлаштиради. Ҳаво уриб совитиш усулини қўллаш трансформаторнинг қувватини 30% дан кўпроқ оширишга имкон беради.

Катта қувватли трансформаторларда сунъий усулда *ҳаво-мой* ёки *сув-мой* билан совитиш ҳам қўлланилади. Бу ҳолда қизиган мой насос воситасида бакнинг юқориги қисмидан олинади, совитгич орқали ўтказилади, сўнгра эса бакнинг пастки қисмига берилади.

Ҳаво-мой билан совитишда совитгичга ҳаво урилади, сув-мой билан совитишда эса совитгични оқар сув ювиб ўтади. 28.9-

расмда сув-мой билан совитишнинг принципиал схемаси келтирилган. Трансформаторларни сув-мой билан сунъий совитиш усули, одатда, етарли миқдорда оқар сув бўладиган гидростанцияларда қўлланилади.

Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, трансформатор мойи яхши совитиш билан бирга чулғамларнинг электр изоляцияси анча ишончли бўлишини ҳам таъминлайди. Шунинг учун юқори кучланишда ишлайдиган барча трансформаторлар, шу жумладан кам қувватли трансформаторлар ҳам, масалан, кучланиш ўлчов трансформаторлари мой билан совитилади.

XXIX боб

ЭЛЕКТР МАШИНАЛАР ВА ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИ СИНАШ

29.1-§. Электр машиналарни синаш

Электр машиналар заводдан чиқарилишидан олдин сифатини текшириш ва бу машиналарнинг характеристикалари ҳисобий маълумотларга қай даражада мос келишини аниқлаш мақсадида синаб кўрилади. Электр машиналар ишлатилиш жараёнида ва жорий ёки капитал ремонтдан кейин ҳам синаб кўрилади. Синашнинг бир неча турлари бор.

Типавий синаш янги типдаги электр машинанинг параметрларини аниқлаш мақсадида, шунингдек, электр машинанинг конструкциясига муҳим ўзгартиришлар киритилгандан кейин ёки машина тайёрлаш технологияси ўзгарганда ўтказилади. Типавий синаш программаси ГОСТ 183—66 да белгилаб берилган.

Қабул қилиш-топшириш синовлари йирик агрегатларни ўрнатилган жойида қабул қилишда ўтказилади.

Контрол синовлар машина заводдан тайёрлаб чиқарилаётганда, шунингдек, машина ремонт қилингандан кейин ўтказилади. Контрол синовлар электр машинани синашнинг асосий тури ҳисобланади.

Профилактик синовлар планли-олдини олиш ремонти графиги бўйича ўтказилади. Бу синовларнинг программаси ускунанинг ишлаш режимига боғлиқ ҳолда маҳаллий инструкцияларда белгилаб берилган бўлади.

Қуйида электр машиналарни контрол синовлардан ўтказишнинг ГОСТ 183—66 да назарда тутилган программаси келтирилади.

А. Барча машиналар учун умумий программа

1. Чулғамлар билан корпус орасидаги ва чулғамлараро изоляциянинг қаршиликларини ўлчаш.
2. Чулғамларнинг электр қаршиликларини ўзгармас токда оләтдаги совуқ ҳолатида ўлчаш.
3. Чулғамларнинг машина корпусига нисбатан изоляциясининг ва чулғамлар орасидаги изоляциянинг электр мустаҳкамлигини синаб кўриш.
4. Ўрамлараро изоляцияни синаб кўриш.

Б. Ўзгармас ток машиналари учун

1. Катта айланиш тезлигида синаб кўриш.
2. Ток бўйича қисқа вақт ўта юкланганда (қисқа туташув режимида бунга йўл қўйилади) коммутацияни текшириш.

3. Двигателнинг нагрузкаси режимида номинал кучланишда ва чулғамлар иш ҳолатига уланганида якорнинг айланиш тезлигини аниқлаш.

В. Синхрон машиналар учун

1. Катта айланиш тезлигида роторни синаб кўриш.
2. Салт ишлаш характеристикасини аниқлаш.
3. Барқарор қисқа туташув характеристикасини аниқлаш.
4. Қўзғатувчини синаб куриш (А ва В пунктлардаги программа бўйича ўтказилади).

Г. Асинхрон двигателлар учун

1. Трансформация коэффициентини аниқлаш (контакт ҳалқали двигателлар учун).
2. Салт ишлаш токини ва ундаги исрофларни аниқлаш (салт ишлаш тажрибаси).
3. Қисқа туташув токини ва ундаги исрофларни аниқлаш (қисқа туташув тажрибаси).

Қуйида контрол синовлар программаси бўйича операцияларни бажариш тартиби кўриб чиқилади.

Чўлғамлар билан корпус орасидаги ва чулғамлар орасидаги *изоляциянинг қаршиликлари,* одатда, мегомметр билан ўлчанади, 500 *в* дан юқори кучланишда ишлайдиган машиналар учун камида 1000 *в* кучланишга мўлжалланган мегомметр ишлатиш керак. Бошқа машиналар учун 500 *в* га мўлжалланган мегомметрдан фойдаланишга рухсат этилади.

Аввало бутун чулғам билан корпус орасидаги изоляциянинг қаршилиги ўлчанади. Агар изоляциянинг қаршилиги қониқарли бўлса, синаш шунинг ўзи билан тугатилиши мумкин. Агар у нормадан кам бўлса, у ҳолда изоляцияси ёмон жойларни аниқлаш учун барча чулғамлар ажратилади ва улардан ҳар бирининг изоляциясининг қаршилиги ўлчанади.

Ўлчашни машинанинг иссиқ ва совуқ ҳолатларида ўтказиш лозим. Совук ҳолатда изоляциянинг қаршилиги, одатда, иссиқ ҳолатдагидан катта бўлади.

Машина изоляциясининг иш температурасига яқин температурадаги қаршилиги қуйидаги формула бўйича топиладиган қийматдан кам бўлмаслиги лозим:

$$r_{\text{из.}} = \frac{U_{\text{н}}}{1000+0{,}01\,P_{\text{н}}}$$

бунда $r_{\text{из.}}$ — изоляциянинг қаршилиги, *Мом*;

$U_{\text{н}}$— машина чулғамидаги номинал кучланиш, *в*;

$P_{\text{н}}$— машинанинг номинал қуввати, *ква*;

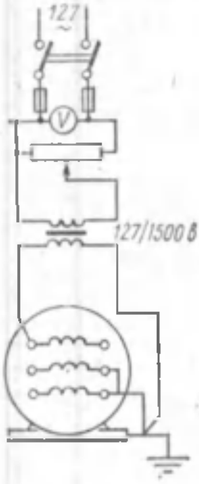
Чулғамлар орасидаги изоляциянинг қаршилигини ўлчашда мегомметр симларининг учи (шчуплар) айрим чулғамларнинг клеммаларига турли-туман тартибда қўйилади.

Ўзгармас токда *чулғамларнинг қаршиликларини* ўлчов кўприги воситасида ёки амперметр-вольтметр усулида ўлчаш мумкин. Қаршиликларнинг ўлчанган қийматлари 75°С температурага келтирилиши лозим.

Чулғам ҳар қайси фазасининг қаршиликлари қийматлари заводда қўйилган маълумотдаги қийматидан кўпи билан 2—3% га ва уларнинг ўртача қийматидан кўпи билан 4% га фарқ қилиши керак, холос. Чулғамларнинг қаршилигини ўлчаш билан бир вақтда уларнинг температурасини ҳам ўлчаш лозим. Бунда ишлатиладиган ўлчов асбобларининг аниқлик класси камида 0,5 бўлиши керак.

Чулғамлар билан корпус орасидаги изоляциянинг ва чулғамлар орасидаги изоляциянинг электр мустаҳкамлигини синаш машинанинг қўзғолмас ҳолатида ўтказилади; турбогенераторлар бундан мустасно, уларда бундай синаш ишлари ротор номинал тезлик билан айланаётган пайтда ўтказилади. Агар машинанинг қизишга чидамлилиги синаб кўриладиган бўлса, у ҳолда изоляциянинг электр мустаҳкамлиги дарҳол шу синовдан кейин, яъни ма-

шинанинг иш температурасига яқин температурада текшириб кўрилади. Акс ҳолда синаш машинанинг табиий совуқ ҳолида ўтказилади. Лекин иккала ҳолда ҳам изоляциянинг мустаҳкамлигини синаш катта айланиш тезлигида ток бўйича қисқа муддатли ортиқча нагрузкада синашдан ва изоляциянинг қаршилигини синашдан олдин ўтказилиши керак. Чулғамларнинг машина корпусига нисбатан изоляциясининг ва чулғамлар орасидаги изоляциянинг электр мустаҳкамлигини синашда электр жиҳатдан мустақил бўлган ҳар қайси занжир навбатма-навбат текширилади. Бунда синов кучланиши манбаининг битта қутби синалаётган чулғам клеммасига, иккинчи қутби эса машинанинг ерга туташтирилган корпусига уланади: айни чулғамни синаб кўриш пайтида бошқа чулғамлар шу корпусга электр жиҳатдан уланади (29.1-расм). Изоляциянинг электр мустаҳкамлигини синаш синов кучланишининг 1/3 қисмидан ошмайдиган кучланишдан бошланади. Сўнгра кучланиш тўла қийматигача босқичма-босқич ошириб борилади; бунда ҳар қайси босқич синов кучланишининг 5% идан ортиб кетмаслиги лозим. Синов кучланишини ярим қийматидан тўла қийматигача кўтариш учун кетадиган вақт камида 10 секунд бўлиши керак. Синов кучланиши тўла қийматига етказилгач, шу ҳолатда 1 минут тутилади (сақланади), сўнгра кучланиш бошланғич ҳолатдаги қийматининг 1/3 игача равон камайтирилади ва узиб қўйилади.



29.1-расм. Изоляциянинг электр мустаҳкамлигини текширишда улашлар схемаси.

Умумий мақсадларда ишлатиладиган машиналар учун синов кучланишининг қийматлари 29.1-жадвалда келтирилган. Синалаётган кучланиш амалда синусоидал, частотаси 50 *гц* бўлиши лозим.

Чулғамларнинг *ўрамлараро изоляцияси* айланаётган машиналарда синалади. Машина паст кучланишли тармоққа уланади. Машина айлана бошлагач, унга номинал кучланиш берилади, сўнгра бу кучланиш 30% гача оширилади ва 5 минут давомида ўзгартирмай сақлаб турилади. Ўзгармас ток машиналари якорлари чулғамининг ўрамлари изоляцияси, албатта машинани катта айланиш тезлигида синаб кўрилгандан кейин синалади. Бунда кучланиш оширилганда қўшни коллектор пластинкалари

29.1-жадвал

Электр машина ёки унинг қисмлари	Синов кучланишининг таъсир этувчи қиймати
Қуввати 1 *ква* (1 *квт*) дан кам бўлган машиналар, шунингдек, куни билан 36 *в* номинал кучланишга мўлжалланган барча машиналар	500 *в* плюс номинал кучланишнинг иккига кўпайтирилгани
Номинал кучланиши 36 *в* дан юқори, қуввати 1 *ква* (*квт*) дан ? *ква* (2 *квт*) гача бўлган машиналар	1000 *в* плюс номинал кучланишнинг иккига кўпайтирилгани
Кучланиши 36 *в* дан ортиқ, қуввати 3 *ква* 3 *квт*) дан катта бўлган машиналар	1000 *в* плюс номинал кучланишнинг иккига кўпайтирилгани, лекин камида 1500 *в*

орасидаги кучланишни текшириб кўриш керак, бу кучланиш 24 *в* дан ортиқ бўлмаслиги (коллекторда айлана олов вужудга келишининг олдини олиш учун) лозим. Контакт ҳалқали уч фазали асинхрон двигатель учун кучланиш роторнинг қўзғалмас ва узилган ҳолатида, қисқа *туташтирилган* роторли двигателлар учун эса салт ишлаш режимида оширилади.

Катта айланиш тезлигида синашдан мақсад машинанинг механикавий мустаҳкамлигини аниқлашдир. ГОСТ 183—66 га мувофиқ, барча машиналар катта айланиш тезлигида 2 минут давомида синаб кўришга чидаши (шикастланмай ва қолдиқ деформациясиз) керак. Синов айланиш тезлиги машинанинг шчитида кўрсатилган тезликдан 20% катта бўлиши керак.

Ток бўйича қисқа муддатли ортиқча нагрузкага синашларда машинанинг механикавий мустаҳкамлиги ва коммутациянинг тўғрилиги текшириб кўрилади. Ўзгармас ток машинаси салт ишлашдан номинал нагрузкагача бўлган оралиқда амалда учқунсиз (чўткаларнинг ҳолати ўзгармаган ҳолда) ишлаши керак. Нагрузка номинал қийматидан 50% гача ортиб кетганида машина хавфли даражада учқунланмасдан ва коллектор ҳамда чўткалари шикастланмасдан ишлаши керак. Бунда коллекторда учқун чиқиши учқунланиш шкаласи бўйича аниқланади (4.1- жадвалга қаранг).

Коммутациянинг тўғрилиги машинанинг иш температурасига яқин температурада текшириб кўрилади.

Контакт ҳалқали двигателларда трансформация коэффициенти роторнинг қўзғалмас ҳолатида ва контакт ҳалқалар очиқ бўлган ҳолда аниқланади. Трансформация коэффициенти, одатда, кучланишнинг номинал қиймати $U_{1н}$ да кучланишлар нисбати U_1/U_2 билан аниқланади.

Салт ишлашдаги ток ва исрофлар қиймати машинанинг салт ишлаш режимида аниқланади. Масалан, уч фазали машиналарда ток учала фазада ҳам ўлчанади, бунда номинал кучланишда турли фазалар токларининг қийматлари орасидаги фарқ 5% дан, салт ишлаш токининг қиймати эса 29.2-жадвалда келтирилган қийматлардан ортиб кетмаслиги керак. Салт ишлаш токининг ортиб кетиши машина чулғамларида нуқсонлар борлигини ёки статор билан ротор орасидаги ҳаво зазори катталашиб кетганини билдиради.

29.2- жадвал

Машинанинг қуввати, *квт*	Салт ишлаш токининг қиймати (номинал иш токига нисбатан), %
0,5 дан кам	95 гача
0,5 дан 2 гача	70—60
2 дан 10 гача	50—40
10 дан 100 гача	40—30
100 дан юқори	30—25

Салт ишлаш исрофлари ваттметр билан ўлчанади. Машинанинг подшипникларини машинани 1—2 соат давомида салт ишлатиб қиздириш лозим.

Қисқа туташув токи ва ундаги исрофлар машинани қисқа туташув тажрибасига улаб аниқланади (22.3- § га қаранг). Қисқа туташув токининг катталиги қуйидаги формуладан аниқланади:

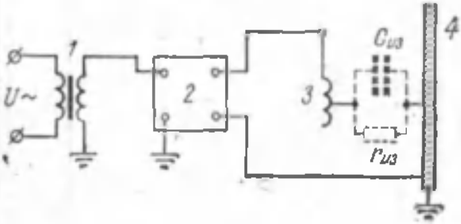
$$I_{1қ} = I_{1н}\frac{U_{1н}}{U_қ}$$

Қисқа туташувдаги исрофлар ваттметр билан ўлчанади. Агар роторда контакт ҳалқалар бўлса, уларни қисқа туташтириб қўйиш керак.

29.2- §. Трансформаторларни синаш

Трансформаторни контрол синовдан ўтказиш қуйидаги программада бажарилади:

1. Трансформация коэффициентини аниқлаш.
2. Уланиш группасини текшириш.
3. Чулғамларнинг электр қаршилигини ўлчаш.
4. Изоляциянинг электр мустаҳкамлигини юқори частотада берилган кучланиш билан синаш.
5. Изоляциянинг электр мустаҳкамлигини юқори частотада индукцияланган кучланиш билан синаш.
6. Салт ишлашдаги ток ва исрофларни ўлчаш (салт ишлаш тажрибаси).
7. Қисқа туташув кучланишини ва чулғамлардаги электр исрофларни ўлчаш (қисқа туташув тажрибаси).
8. Бакнинг мустаҳкамлигини синаш.



29.2- расм. tg δ ни ўлчаш схемаси:

1—кўприкчани юқори кучланиш билан таъминлайдиган кучайтирувчи трансформатор; *2*—исрофлар бурчагини аниқлайдиган ўлчов кўприкчаси; *3*—синалаётган трансформаторнинг чулғами; *4*—бак девори.

Трансформаторларни типавий синовлардан ўтказишда, юқорида айтиб ўтилган синашлардан ташқари, қизишга чидамлилиги ҳам синаб кўрилади ва турли аппаратлар (переключателлар, газ релеси ва ҳоказо) нинг сифати текширилади.

Чулғамлар изоляциясининг қаршилигини чулғамларнинг совуқ ва иссиқ ҳолатида 1000—2500 *в* кучланишга мўлжалланган мегомметр билан ўлчаш тавсия этилади.

Изоляциянинг намланиш даражасини баҳолаш учун tg δ ни аниқлаш усули қўлланилади (29.2- расм). tg δ кучланиши 10 *в* гача бўлган сиғимий кўприкча ёрдамида ўлчанади. Мойли трансформаторларда иш кучланиши 35 *кв* гача ва $f = 50$ гц бўлганда

$$\operatorname{tg}\delta < 1 + 20\left(\frac{\theta}{100}\right)^2 \tag{29.1}$$

бўлса, чулғамлар изоляциясининг ҳолатини қониқарли деб ҳисоблаш мумкин; бу формулада θ — чулғамларнинг ўлчаш пайтидаги температураси. Иш кучланиши 100 *кв* ва ундан юқори бўлганда tg δ нинг қиймати кўрсатилган қийматидан (29.1) тахминан 1,3 марта кичик бўлади. Агар tg δ нинг ўлчанган қийматлари кўрсатилган чегарадан 1,5 марта ортиб кетса, изоляция яхши эмас деб ҳисобланади. Трансформатор чулғамлари изоляциясининг электр мустаҳкамлиги номинал частотали юқори кучланишда 1 минут давомида синаб кўрилади.

29.3- жадвал

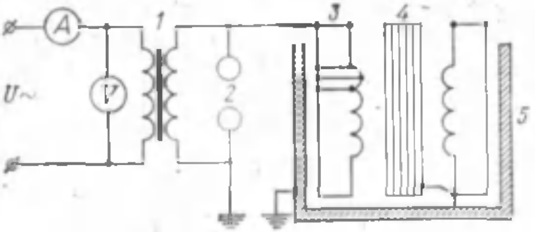
Энг катта иш кучланиши, *кв*	3,5	6,9	11,5	17,5	40,5	121	169	242
Куч трансформаторларини синаш кучланиши	18	25	35	45	85	230	320	460

Синов кучланишининг қиймати трансформаторнинг иш кучланишига боғлиқ бўлади (29.3- жадвал). Ҳар қайси чулғамнинг изоляцияси қизиган

ҳолатда синаб кўрилади. Синаш даврида трансформатор чулғамлари қисқа *туташтирилади ва ерга туташтирилган бакка* улаб қўйилади. Кучланиш синалаётган чулғам билан бак орасига берилади (29.3- расм). Синалаётган кучланиш 10 секунд давомида аста-секин ошириб борилади ва шу ҳолида 1 минут тутиб турилади.

Агар изоляция ва қопламалар тешилмаган бўлса, ҳамда шу туфайли асбоблар ток қиймати ортганлигини ва кучланиш пасайганлигини кўрсатмаса синаш натижалари ижобий ҳисобланади.

Сўнгра ҳосил қилинган кучланиш билан изоляция синалади. Бу синовдан мақсад, берилган кучланиш билан изоляция синалганда чулғамнинг



29.3- расм. Трансформаторнинг изоляцийсини синаш схемаси:

1—кучайтирувчи трансформатор; *2*—шарсимон разрядловчи; *3*- синалаётган чулғам; *4*—магнит ўтказгич; *5*—бак.

изоляциясига шикаст етган-етмаганлигини аниқлашдан иборат. Синаш қуйидагича бўлади. Чулғамларнинг бирига бир минут давомида номинал кучланишнинг икки баравари бериб турилади. Бунда бошқа чулғамлар узуқлигича қолади, яъни синаш салт ишлаш режимида ўтказилади. Лекин салт ишлаш токи рухсат этиладиган қийматлардан ортиб кетмаслиги учун бериладиган кучланишнинг частотасини икки марта ($f_{\text{син.}} = 2f_н = 100$ *гц*) оширилади. Юқори частотали кучланиш ҳосил қилиш учун махсус генераторлар қўлланилади. Чулғамларнинг бирига синов кучланиши берилганда, қолган ҳар бир чулғамда уларнинг ўз номинал кучланишининг иккиланган қийматига тенг, иккиланган частотали э. ю. к. индукцияланади. Одатда, кучланиш ПК чулғамларининг бирига берилади. Бу ҳол синовни паст кучланишда ўтказишга имкон беради. Бутун синов давомида чулғамнинг магнитловчи токи берилган трансформатор учун нормал қийматга эга бўлиши керак. Токнинг кўрсатилган қийматдан ортиб кетиши чулғам изоляциясида нуқсон борлигидан далолат беради.

Ўрамлараро изоляциянинг электр мустаҳкамлигини синашни номинал қийматидан 1,3 марта катта, $f = 50$ *гц* ли кучланиш бериб, *трансформаторнинг салт ишлашида ўтказилади.* Синаш давомийлиги 1 минут. Салт ишлаш (11.1- § га қаранг) ва қисқа туташув (11.2- § га қаранг) тажрибаларини ўтказишда салт ишлаш токи ва бундаги исрофлар, шунингдек, қисқа туташув кучланиши ва исрофларининг 75°С температурага келтирилган қийматлари берилган типдаги трансформатор учун каталогдан олинадиган маълумотлар билан солиштирилади. Агар кўрсатилган катталикларни ўлчашда олинган маълумотлар каталогда берилган маълумотлардан кўпи билан ±10% га фарқ қилса, синов натижалари қониқарли ҳисобланади.

АДАБИЁТ

1. Петров Г. Н. Электрические машины. I қ., ГЭИ, 1956.
2. Петров Г. Н. Электрические машины. II қ., ГЭИ, 1963.
3. Петров Г. Н. Электрические машины. III қ., „Энергия" нашриёти 1969.
4. Костенко М. П. и Пиотровский Л. М. Электрические машины. I қ, ГЭИ, 1957.
5. Костенко М. П. и Пиотровский Л. М. Электрические машины. II қ., ГЭИ, 1958.
6. Пиотровский Л. М. Электрические машины. ГЭИ, 1958.
7. Сергеев П. С. Электрические машины. ГЭИ, 1955.
8. Проектирование электрических машин. П. С. Сергеева, таҳрири остида. ГЭИ, 1956.
9. Пиотровский Л. М. ва б. Испытание электрических машин. ГЭИ, 1960.
10. Кацман М. М., Юферов Ф. М. Электрические машины автоматических систем. „Высшая школа" нашриёти, 1969.
11. Толвинский В. А. Электрические машины постоянного тока. ГЭИ, 1956.
12. Находкин. М. Д. Электрические машины постоянного тока. ВЗИИТ, 1960.
13. Зимин В. И. ва б. Обмотки электрических машин. ГЭИ, 1961.
14. Бертинов А. И. Электрические машины авиационной автоматики. Оборонгиз, 1961.
15. Сыромятников И. А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей. ГЭИ, 1963.
16. Торопцев Н. Д. Применение трехфазного асинхронного двигателя в схеме однофазного включения с конденсатором. ГЭИ, 1963.
17. Завалишин Д. А. ва б. Электрические машины малой мощности. ГЭИ, 1963.
18. Казанский В. М. и Основич Л. Д. Малоинерционные электродвигатели постоянного тока с печатной обмоткой якоря. „Энергия" нашриёти, 1965.
19. Ривлин Л. Б. Электродвигатели и их эксплуатация. ГЭИ, 1950.

МУНДАРИЖА

Русча нашрига сўз боши

Кириш

1- §. Электр машиналарининг вазифаси ва классификацияси 5
2- §. Электр машиналарида энергияни бир турдан иккинчи турга айлантириш 7
3- §. Электр машиналари ва трансформаторларнинг ривожланиши ҳақида тарихий маълумотлар 10
4- §. Ватанимиз электр машинасозлиги ва унинг ривожланиш истиқболлари 12

Биринчи бўлим

Ўзгармас ток коллекторли машиналари

I боб. **Ўзгармас ток коллекторли машиналарининг тузилиши ва ишлаш принципи** 15

1. 1- §. Ўзгармас ток генераторининг ишлаш принципи 15
1. 2- §. Ўзгармас ток коллекторли машинасининг тузилиши ва унинг асосий қисмларининг конструкцияси 19

II боб. **Ўзгармас ток машиналари якорларининг чулғамлари** . . . 26

2. 1 -§. Асосий тушунчалар 26
2. 2- §. Оддий калава чулғам 28
2. 3- §. Якорь чулғамининг параллел шохобчалари 32
2. 4- §. Мураккаб калава чулғам 34
2. 5- §. Оддий тўлқинсимон чулғам 36
2. 6- §. Мураккаб тулқинсимон чулғам 39
2. 7- §. „Ўлик" секцияли тўлқинсимон чулғам 41
2. 8- §. Сунъий йўл билан туташтирилган тўлқинсимон чулғам . . . 42
2. 9 §. Чулғамнинг симметрик бўлиш шартлари 43
2. 10- §. Тенглаштирувчи туташмалар 44
2. 11- §. Аралаш чулғам 49
2. 12- § Якорь чулғамларини амалда ясаш 50
2. 13- §. Якорь чулғамининг электр юритувчи кучи 52
2. 14- § Якорь чулғами секциялари кенглигининг ва чўткалар ҳолатининг машина э. ю. к. инииг қийматига таъсири 54
2. 15- §. Якорь чулғамининг типини танлаш 56
2. 16- §. Ўзгармас ток машиналарининг якорь чулғамларини қайта ҳисоблаш 58

III боб. **Ўзгармас ток машиналарининг магнитавий системаси** . . 60

3. 1- §. Ўзгармас ток машинасининг магнитавий занжири 60
3. 2- § Машинанинг магнитланиш характеристикаси 64
3. 3- §. Якорь реакцияси 65
3. 4- §. Якорь реакциясининг зарарли таъсирини йўқотиш 70

IV боб. **Ўзгармас ток машиналарида коммутация** 71

4. 1- §. Коллекторда учқун чиқиш сабаблари 71
4. 2- §. Коммутациянинг физикавий моҳияти ва унинг машина ишига таъсири 73
4. 3- §. Коммутацияни яхшилаш усуллари 78
4. 4- §. Коллектор сиртида айлана олов 85
4. 5- §. *Коммутацияни текшириш ва созлаш* 86

V боб. **Ўзгармас ток генераторлари** 88

5. 1-§. Асосий тушунчалар 88
5. 2-§. Мустақил қўзғатишли генератор 92
5. 3-§. Параллел қўзғатишли генератор 96
5. 4-§. Кетма-кет қўзғатишли генератор 100
5. 5-§. Аралаш қўзғатишли генератор 100
5. 6-§. Ўзгармас ток генераторларининг параллел ишлаши 102

VI боб. **Ўзгармас ток электр двигателлари** 106

6. 1-§. Асосий тушунчалар 106
6. 2-§. Моментларнинг мувозанат тенгламаси 108
6. 3-§. Двигателнинг айланиш тезлиги 110
6. 4-§. Двигателларнинг турғун ишлаш шартлари 110
6. 5-§. Двигателни ишга тушириш 112
6. 6-§. Ишга тушириш реостатлари 114
6. 7-§. Параллел қўзғатишли двигатель 115
6. 8-§. Ўзгармас ток машинасининг ишлаш режимлари 118
6. 9-§. Кетма-кет қўзғатишли двигатель 120
6. 10-§. Кетма-кет қўзғатишли двигателларнинг айланиш тезлигини ростлаш 122
6. 11-§. Аралаш қўзғатишли двигатель 123
6. 12-§. „Генератор—двигатель" системаси 124
6. 13-§. Ўзгармас ток двигателларини тормозлаш 125
6. 14-§. Ўзгармас ток двигателининг генератор режимида ишлатилиши 127

VII боб. **Умумий мақсадларда ишлатиладиган ўзгармас ток машиналарининг асосий типлари ва махсус ўзгармас ток машиналари** 129

7. 1-§. Асосий тушунчалар 129
7. 2-§. Кранларда ва металлургияда ишлатиладиган двигателлар ҳамда тортувчи двигателлар 130
7. 3-§. Электр-машинавий кучайтиргич 130
7. 4-§. Ўзгармас ток тахогенераторлари 136
7. 5-§. Якори босма чулғамли ўзгармас ток двигателлари 139

VIII боб. **Ўзгармас ток машиналаридаги исрофлар ва уларнинг фойдали иш коэффициенти** 141

8. 1-§. Исрофларнинг турлари 141
8. 2-§. Фойдали иш коэффициенти 143

Иккинчи бўлим

Трансформаторлар

IX боб. **Трансформаторларнинг ишлаш принципи ва тузилиши** 146

9. 1-§. Асосий тушунчалар 146
9. 2-§. Трансформаторнинг ишлаш принципи 148
9. 3-§. Трансформаторларнинг конструкцияси 149

X боб. **Трансформатор иш процессининг физикавий асослари** 155

10. 1-§. Дастлабки мулоҳазалар 155
10. 2-§. Электр юритувчи кучлар 155
10. 3-§. Магнитловчи кучлар тенгламаси 157

10. 4-§. Келтирилган трансформатор 160
10. 5-§. Трансформаторнинг алмаштирилган электр схемаси 162
10. 6-§. Трансформаторнинг вектор диаграммаси 163
10. 7-§. Уч фазали трансформатор 165
10. 8-§. Трансформаторлар магнитланганда вужудга келадиган ҳодисалар 167
10. 9-§. Трансформаторлардаги ўтиш процесслари 170
10. 10-§. Чулғамларни улаш схемалари 174

XI боб. **Трансформаторларнинг иш хоссалари** 174

11. 1-§. Салт ишлаш режими 174
11. 2-§. Қисқа туташув тажрибаси 178
11. 3-§. Трансформаторнинг соддалаштирилган вектор диаграммаси 182
11. 4-§. Иккиламчи кучланишнинг ўзгариши 184
11. 5-§. Трансформатордаги исрофлар ва унинг фойдали иш коэффициенти 186
11. 6-§. Трансформаторларнинг кучланишини ростлаш 188

XII боб. **Трансформаторларнинг параллел ишлаши** 190

12. 1-§. Дастлабки мулоҳазалар 190
12. 2-§. Чулғамларнинг уланиш схемалари 191
12. 3-§. Трансформаторларни параллел ишлашга улаш 195

XIII боб. **Махсус трансформаторлар** 198

13. 1-§. Уч чулғамли трансформатор 198
13. 2-§. Автотрансформатор 199
13. 3-§. Электр ёйи ёрдамида пайвандлашда ишлатиладиган трансформатор 203
13. 4-§. Кучланиш ва токни ўлчаш трансформаторлари 203
13. 5-§. Ўзгарувчан токнинг фазалар сонини ўзгартириш трансформатори 205
13. 6-§. Кучланиш стабилизатори 205
13. 7-§. Частотани ўзгартириш трансформаторлари 207

Учинчи бўлим

Синхрон машиналар

XIV боб. **Синхрон генераторларнинг ишлаш принципи ва конструкцияси** 209

14. 1-§. Асосий тушунчалар 209
14. 2-§. Синхрон генераторнинг ишлаш принципи 210
14. 3-§. Синхрон машиналарни қўзғатиш 211
14. 4-§. Синхрон машиналарнинг типлари ва уларнинг конструкцияси 213

XV боб. **Ўзгарувчан ток машиналари статорларининг чулғамлари ва синхрон генераторнинг э. ю. к. и** 217

15. 1-§. Асосий тушунчалар 217
15. 2-§. Уч фазали икки қатламли чулғам 218
15. 3-§. Статор чулғамларининг секция группаларини улаш усуллари 221
15. 4-§. Статорларнинг бир қатламли уч фазали чулғамлари 224
15. 5-§. Бир фазали чулғамлар 227
15. 6-§. Синхрон генераторнинг э. ю. к. ига қўйиладиган талаблар 227

15. 7-§. Магнитавий индукциянинг синхрон машинанинг ҳаво аазорида тақсимланиши 228
15. 8-§. Статор фаза чулғамининг электр юритувчи кучи 232

XVI боб. **Якорь реакцияси ва синхрон генераторнинг характеристикалари** 236

16. 1-§. Статор чулғамининг магнитавий майдони 236
16. 2-§. Якорь реакцияси 239
16. 3-§. Синхрон генераторнинг э. ю. к. тенгламаси 243
16. 4-§. Синхрон генераторнинг вектор диаграммалари 246
16. 5-§. Синхрон генераторнинг характеристикалари 247
16. 6-§. Синхрон генератор э. ю. к. ининг амалий диаграммаси . . . 253
16. 7-§. Синхрон машиналардаги исрофлар ва уларнинг фойдали иш коэффициенти 255

XVII боб. **Синхрон генераторларнинг параллел ишлаши** 257

17. 1-§. Синхрон генераторларни параллел ишлашга улаш шартлари 257
17. 2-§. Генераторларни параллел ишлашга улаш усуллари 257
17. 3-§. Параллел ишлашга уланган генераторнинг нагрузкаси . . . 260
17. 4-§. Асинхрон генераторнинг бурчак характеристикалари 262
17. 5-§. Синхрон генераторларнинг тебранишлари 267
17. 6-§. Синхрон машиналарнинг синхронлаш қобилияти 269
17. 7-§. Синхрон генераторнинг U-симон эгри чизиқлари 272

XVIII боб. **Синхрон двигателлар** 274

18. 1-§. Синхрон двигателнинг ишлаш принципи 274
18. 2-§. Синхрон двигателнинг U-симон эгри чизиқлари 277
18. 3-§. Синхрон двигателнинг иш характеристикалари 278
18. 4-§. Синхрон двигателни ишга тушириш 279
18. 5-§. Синхрон компенсатор 281
18. 6-§. Реактив синхрон двигатель 283

Тўртинчи бўлим

Асинхрон машиналар

XIX боб. **Уч фазали асинхрон двигателнинг ишлаш принципи ва конструкцияси** 286

19. 1-§. Дастлабки мулоҳазалар 286
19. 2-§. Уч фазали асинхрон двигателнинг ишлаш принципи 286
19. 3-§. Асинхрон двигателнинг конструкцияси 288

XX боб. **Асинхрон машинанинг иш процесси** 292

20. 1-§. Асинхрон двигателнинг чулғамларида ҳосил қилинадиган э. ю. к. 292
20. 2-§. Асинхрон двигателнинг магнитловчи кучлари ва токлари тенгламаси 224
20. 3-§. Ротор чулғамининг параметрларини статор чулғамига келтириш 296
20. 4-§. Асинхрон двигателнинг вектор диаграммаси 297
20. 5-§. Асинхрон двигателни алмаштириш схемаси 299

XXI боб. **Асинхрон двигателнинг электромагнитавий моменти ва иш характеристикалари** 300

21. 1-§. Асинхрон двигателдаги исрофлар ва унинг ф. и. к. и. . . . 300
21. 2-§. Асинхрон двигателнинг электромагнитавий моменти 303

21. 3-§. Тармоқ кучланишининг ва ротор чулғами актив қаршилигининг асинхрон двигателнинг механикавий характеристикасига таъсири 307
21. 4-§. Асинхрон двигателнинг иш характеристикалари 309
21. 5-§. Асинхрон машинанинг генератор ва тормоз режимлари . . . 311

XXII боб. **Асинхрон двигателнинг айланма диаграммаси** 315

22. 1-§. Асосий тушунчалар 315
22. 2-§. Айланма диаграмма 316
22. 3-§. Асинхрон двигателнинг айланма диаграммасини салт ишлаш ва қисқа туташув тажрибалари асосида қуриш 317
22. 4-§. Айланма диаграмманинг двигатель параметрларини аниқлаш учун ишлатилиши 318

XXIII боб. **Асинхрон двигателларни ишга тушириш ва айланиш тезлигини ростлаш** 325

23. 1-§. Двигателнинг ишга тушиш хоссалари 325
23. 2-§. Контакт ҳалқали двигателни ишга тушириш 326
23. 3-§. Қисқа туташтирилган роторли двигателни ишга тушириш . . 329
23. 4-§. Ишга тушириш характеристикалари яхшиланган қисқа туташтирилган асинхрон двигателлар 334
23. 5-§. Асинхрон двигателнинг тезлигини ростлаш 337
23. 6-§. Ҳозирги замон асинхрон двигателларининг типлари 342

XXIV боб. **Бир фазали асинхрон двигателлар** 344

24. 1-§. Бир фазали асинхрон двигателнинг ишлаш принципи 344
24. 2-§. Бир фазали асинхрон двигателни ишга тушириш 346
24. 3-§. Конденсаторли асинхрон двигателлар 349
24. 4-§. Универсал асинхрон двигателлар 351
24. 5-§. Ҳимояланган (экранланган) қутбли бир фазали двигатель . . 353

XXV боб. **Махсус асинхрон машиналар** 354

25. 1-§. Индукцион регулятор ва фазорегулятор 354
25. 2-§. Асинхрон частота ўзгартиргич 355
25. 3-§. Электромагнитавий асинхрон муфта 356
25. 4-§. Асинхрон машинанинг синхрон узатма системасида ишлатилиши 357
25. 5-§. Ижрочи асинхрон двигатель 361
25. 6-§. Гистерезисли двигатель 363
25. 7-§. Синхронлаштирилган асинхрон двигатель 366

XXVI боб. **Ўзгарувчан ток коллекторли машиналари** 366

26. 1-§. Асосий тушунчалар 366
26. 2-§. Бир фазали кетма-кет қўзғатишли коллекторли двигатель 367
26. 3-§. Статори икки чулғамли репульсион двигатель 371
26. 4-§. Статори бир чулғамли репульсион двигатель 372
26. 5-§. Уч фазали коллекторли двигатель 374
26. 6-§. Фазокомпенсатор 377

XXVII боб. **Электр-машинавий ўзгартиргичлар** 378

27. 1-§. Двигатель-генератор типидаги электр-машинавий ўзгартиргичлар 378
27. 2-§. Бир якорли ўзгартиргичлар 380

XXVIII боб. **Электр машиналар ва трансформаторларнинг қизиши ва уларни совитиш** 384

28. 1-§. Электр машиналар ва трансформаторларнинг қизиши 384
28. 2-§. Электр машиналарнинг номинал ишлаш режимлари 386
28. 3-§. Электр машиналар қисмларининг энг юқори ўта қизиш температуралари ва температураларни ўлчаш усуллари 388
28. 4-§. Электр машиналарни вентиляция қилиш 391
28. 5-§. Водород билан совитиш 393
28. 6-§. Трансформаторларни совитиш 394

XXIX боб. Электр машиналар ва трансформаторларни синаш . . 396

29. 1-§. Электр машиналарни синаш 396
29. 2-§. Трансформаторларни синаш 400

Адабиёт 402

На узбекском языке

МАРК МИХАЙЛОВИЧ КАЦМАН

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
И ТРАНСФОРМАТОРЫ

Учебник для энергетических и электротехнических
специальностей техникумов

Перевод с третьего издания „Высшая школа", М:, 1971

Издательство „Ўқитувчи" ● *Ташкент — 1976*

Таржимон *А. А. Раҳимов* Бадиий муҳаррир *Е. Соин*
Муҳаррир *Ф. Ғуломов* Техн. муҳаррир *Э. Вильданова*
Корректор *Д. Умарова.*

Теришга берилди 10/XI-1975 й. Босишга рухсат этилди 24/V-1976 й. Қоғози № 3. 60×90¹/₁₆.
Физ. б. л. 25,5. Нашр л. 24,6. Тиражи 5000.

„Ўқитувчи" нашриёти. Тошкент, Навоий кўчаси, 30. Шартнома 110-75. Баҳоси 66 т.
Муқоваси 10 т.

Нашриётлар, полиграфия ва китоб савдоси ишлари Область бошқармасининг Морозов номли босмахонасида босилди. Самарқанд ш. Кузнецкая кўчаси, 82. 1976 й. Заказ № 390.

Типография имени Морозова областного управления по делам издательств полиграфии и книжной торговли. Самарканд ул. Кузнецкая, 82.