

У3Б
621.313
М13



С. МАНИДОВ

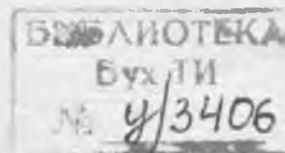
Электрик машиналар ва электрик юритмалар

С. МАНИДОВ

Электрик машиналар ва электрин юритмалар

ЎЗБЕКИСТОН ССР
ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИК МИНИСТРЛИГИ
ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИК ТЕХНИКУМЛАРИНИНГ
ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ ЭЛЕКТРЛАШТИРИШ
ИХТИСОСЛИКЛАРИ УЧУН ДАРСЛИК
СИФАТИДА ТАВСИЯ ЭТГАН

2- НАШРИ



ТОШКЕНТ — «ЎҚИТУВЧИ» — 1979

Ушбу дарслик электр энергияси ишлаб чиқарувчи генераторлар, бу энергияни узатиш ва тақсимлашда ишлатиладиган трансформаторлар ҳамда электрик моторлар ва улар воситасида ҳаракатга келтириладиган система, яъни электрик юритмаларни урганишга мўлжалланган.

Дарслик икки қисмдан иборат бўлиб, биринчи қисмида ўзгармас ва ўзгарувчан ток машиналари ҳамда трансформаторларнинг конструкцияси, ишлаш принципи, электромагнитавий ҳодисалар, электрик моторларнинг механикавий ва иш характистикалари, уларни ишга тушириш ва тезлигини ростлашга оид масалалар баён қилинган. Бу қисмда автоматика соҳасида кенг ишлатиладиган микромашиналар ҳақида ҳам тегишли маълумотлар берилган. Иккинчи қисм электрик юритма асослари ва уни автоматик бошқариш масалаларига бағишланади. Бунда электрик юритманинг классификацияси, унинг ўткинчи режимлари, электрик юритмани танлаш, уни автоматик бошқаришда ишлатиладиган аппаратлар, электрик юритмани автоматик бошқариш воситалари ва уларга тааллуқли схемалар ҳақида маълумотлар берилган. Электрик машина ва турли типдаги статикавий ўзгартгичларга тегишли маълумотлар ҳам китоб саҳифаларида ёритилади.

Электрик машиналар ва электрик юритма курси программасига биноан ўзбек тилида биринчи маротаба яратилган бу китоб қишлоқ хўжалигини электрлаштириш ва халқ хўжалигининг бошқа соҳаларига электр техниклари тайёрлайдиган техникум талабаларига дарслик бўлиб, бундан қишлоқ хўжалигини электрлаштириш ва механизациялаштириш, оғир ва енгил саноат олий техника ўқув юртлари студентлари ҳамда қишлоқ хўжалиги, саноат ва бошқа соҳаларда ишловчи мутахассислар ҳам фойдаланишлари мумкин.

Рецензентлар:

техника фанлари доктори, профессор

М. З. Ҳомидхонов

техника фанлари кандидати, доцент

Н. М. Усмонхужаев

© „Ўқитувчи“ нашриёти, 1979

М 30307—276
353 (04)—79 149—79, 2302030000

Сўз боши

Қишлоқ хўжалигида меҳнат унумини кескин кўтариш учун ишлаб чиқариш машина-механизмларини ҳамда турли процессларни комплекс механизациялаштириш ва автоматлаштириш лозим. Бунинг учун эса уларни даставвал электрлаштириш зарур. КПСС XXV съезди қарорларида кўрсатилган конкрет тадбирлар, хусусан, қишлоқ хўжалиги давлат энергетик системасидан етарли миқдорда электр энергияси билан таъминланаётгани сабабли, уни электрлаштириш кенг кўламда олиб борилмоқда.

„...Владимир Ильич Ленин қишлоқдаги бутун турмуш укладини социалистик негизда қайта қуришдаги асосий нарсаси — „деҳқончиликда оммавий кўламда қўлланиладиган моддий база, техника, трактор ва машиналар, оммавий миқёсдаги электрлаштиришдир“ деб уқтирган эди“¹.

Шу талаблар нуқтаи назаридан олганда, бизнинг социалистик қишлоғимизнинг ҳозирги қиёфаси қандай? Ҳозирги вақтда мамлакатимиздаги ҳамма колхозлар ва совхозлар электрлаштирилган бўлиб, электр энергияни асосан давлат электр станцияларидан олиб турибди. Фақат Ўзбекистон қишлоқ хўжалигигина 1965 йили 700 млн. кВт.соат электр энергия истеъмол қилиб, 1978 йилга келиб эса бу миқдор 10 мартага кўпайди. Қишлоқ хўжалигидаги трактор, комбайн ва автомобиль дви-

¹ КПСС XXV съезди материаллари, Т., „Ўзбекистон“ нашриёти, 1976, 155 — 156-бетлар.

гателларининг жами қуввати кейинги 10 йил ичида тахминан 80 процент, қишлоқ хўжалигидаги меҳнатнинг машина электр қуввати билан таъминланиши эса бир ходим ҳисобига икки баравардан зиёд кўнайди.

Қишлоқ хўжалигининг чорвачилик, паррандачилиқ ва бошқа соҳаларида ҳам кўпчилиқ ишлаб чиқариш процесслари электрлаштириш асосида автоматлаштириляпти. Шунинг учун генератор, трансформатор ва электрик моторнинг хусусиятлари билан яқиндан таниш бўлган ва улардан тўғри фойдалана оладиган техник кадрларни тайёрлаш муҳим масалалардан бири ҳисобланади. Бу соҳада етук малакали кадрлар тайёрлаш учун даставвал дарслиқ бўлиши лозим.

Ушбу китоб муаллифнинг Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаштириш инженерлари институти, политехника институти ҳамда қишлоқ хўжалигини механизациялаштириш ва электрлаштириш техникуми, гидромелиорация техникумида электрик машиналар ва электрик юритма фани юзасидан кўп йиллар давомида олиб борган педагоглик тажрибаси асосида яратган дарслигининг иккинчи нашридир.

Олий ва ўрта билим юрти ўқитувчилари томонидан китобнинг биринчи нашрига юборилган мулоҳаза ва истакларни муаллиф миннатдорчилиқ билан ҳисобга олиб, унинг иккинчи нашрига қўшимча материаллар ва тегишли ўзгартишлар киритди.

Дарслиқни янада яхшилаш борасидаги барча истак ва мулоҳазаларни муаллиф миннатдорчилиқ билан қабул қилади.

*Бизнинг адрес: Тошкент — 700129,
Навоий кўчаси, 30-уй, „Ўқитувчи“
нашриётининг умумтехника фан-
лари адабиёти редакцияси*

Биринчи қисм

Электрик машиналар ва трансформаторлар

1 БОБ. ЭЛЕКТРИК МАШИНАЛАР ТЎҒРИСИДА УМУМҲИЙ ТУШУНЧАЛАР

1 — 1. Электрик машиналарнинг вазифаси ва классификацияси

Электрик машиналарни бир неча Вт дан тортиб то бир неча юз минг кВт қувватга мўлжаллаб тайёрлаш ҳамда уларни осонгина автоматик бошқариш имкони борлиги сабабли улар саноат, транспорт ва қишлоқ хўжалигини электрлаштиришда асосий иш машинаси сифатида ишлатилади. Буғ ва сув турбиналари, дизель ва бошқа моторлар воситасида механикавий энергияни электр энергиясига айлантириб берувчи машина электр генератори дейилади. Халқ хўжалигининг турли соҳаларида истеъмол қилинадиган электр энергиясининг кўпчилиқ қисми иш машинаси ва механизмларни ҳаракатга келтириш учун керак бўлган механикавий энергияга айлантирилади. Электр энергиясини механикавий энергияга айлантириб берувчи машина электрик мотор дейилади. Электрик машиналарнинг асосий афзалликларидан бири уларнинг генератор, мотор ҳамда электромагнитавий тормозлар сифатида ишлаш имкони ҳисобланади. Бундай машиналар ўзгарувчан токни ўзгармас токка, ёки паст кучланишли ўзгармас токни юқори кучланишли ўзгармас токка ўзгартириб берувчи ўзгартгичлар сифатида ҳам қўлланилади.

Электрик машиналар ёрдамида электрик сигналларни кучайтириш имкони ҳам мавжуддир. Бундай машиналар электрлик машинавий кучайтиргичлар дейилади.

Электрик машиналар турли сигналларнинг электромеханикавий ўзгартгичи сифатида ҳам кенг ишлатилади. Бундай электрик машиналарнинг қуввати жуда кичик бўлгани учун улар микромашиналар деб аталади. Микромашиналар ижрочи моторлар, тахогенераторлар, синхрон боғлаш машиналари сифатида ишлатилади.

Ижрочи моторлар билан электрик сигналлар механикавий командага, тахогенераторлар билан эса механикавий сигналлар электрик командага айлантирилади. Синхрон боғлаш машина-

лари воситасида механикавий усулда ўзаро боғланмаган икки валнинг синхрон бурилиши ёки айланишига эришилади.

Қувват бўйича электрик машиналар шартли равишда қуйидаги туркумларга бўлинади:

қуввати бир неча Ваттдан 500 Ваттгача бўлган электрик машиналар микромашиналар туркумига киритилади. Бундай машиналар ўзгармас токда, частотаси нормал ҳамда юқори ($400 \div 500$ Гц) бўлган ўзгарувчан токда ишлатилади;

қуввати 0,5 дан 10 кВт гача бўлганлари кичик қувватли машиналар туркумига киритилади. Бундай машиналар ўзгармас токда ва частотаси нормал ҳамда юқори бўлган ўзгарувчан токда ишлатилади;

қуввати 10 кВт дан бир неча юз кВт гача бўлганлари ўрта қувватли машиналар туркумига киритилади;

қуввати бир неча юз кВт дан юқорилари катта қувватли (қудратли) машиналар дейилади.

Электрик машиналарда ишлатилувчи изоляция материалларининг янги турлари ихтиро қилиниши натижасида гидрогенераторлар кучланиши 110, 165 кВ гача кўтарилмоқда. Бу эса электр энергиясини узоқ масофаларга трансформаторларсиз узатиш имконини яратади. Ток турига кўра электрик машиналар ўзгармас ва ўзгарувчан ток машиналарига бўлинади. Ишлаш принципига кўра эса ўзгарувчан ток машиналари асинхрон ва синхрон машиналарга бўлиниб, улар бир, икки ва уч фазали тузилишда ишлаб чиқарилади.

1 — 2. Электрик машиналар ва трансформаторларнинг ишлаш принципи

Электрик машиналар ва трансформаторларнинг ишлаш принципи электромагнитавий индукция ва электромагнитавий куч ҳақидаги физикавий ҳодисаларга асосланади. Электромагнитавий индукция қонунини кашф этган Фарадейнинг таърифига биноан магнитавий куч чизиқларини маълум частота билан кесиб ўтувчи ўтказгичда электр юритувчи куч (э. ю. к.) ҳосил булади (1 — 1-расм). Ўтказгичда ҳосил бўлган э. ю. к. нинг қиймати магнитавий куч чизиқларининг зичлиги (магнитавий индукция), ўтказгич узунлигининг актив қисми ва ўтказгичнинг ҳаракат тезлигига пропорционал бўлиб, қуйидагича аниқланади:

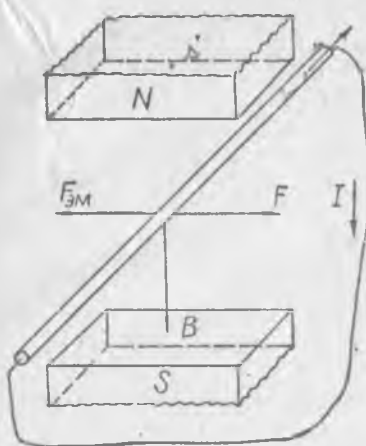
$$E = Blv, \quad (1 - 1)$$

бунда E — ўтказгичда ҳосил бўлган э. ю. к., В;

B — магнитавий индукция, Тл;

l — ўтказгичнинг актив, яъни магнитавий куч чизиқларини кесиб ўтувчи қисми узунлиги, м;

v — ўтказгичнинг ҳаракат частотаси, $\frac{м}{сек}$.



1-1- расм. Ўтказгичда э. ю. к. ҳосил бўлиши.

Э. ю. к. йўналиши ўнг қўл қондаси билан аниқланади: агар ўнг қўл кафтига магнитавий куч чизиқлари тик бўлса, у ҳолда кафт текислигига нисбатан 90° бурилган бош бармоқ томон ҳаракатланаётган ўтказгичда ҳосил бўлган э. ю. к. нинг йўналиши кафт текислиги томон чўзилган тўрт бармоқ йўналишида бўлади (1-2- расм).

Э. ю. к. ҳосил қилинган ўтказгични бирор истеъмолчига ёки уз-ўзига туташтирилса, у ҳолда бу ёпиқ занжирдан қуйидаги ифода билан аниқланувчи ток ўта бошлайди (1-1- расм);

$$I = \frac{E}{R_0 + R}, \quad (1-2)$$

бунда I — ўтказгичдан ўтаётган ток, А;

R_0 — ток манбаининг ички қаршилиги ёки э. ю. к. ҳосил қилинган ўтказгич қаршилиги, Ом;

R — истеъмолчининг қаршилиги, Ом.

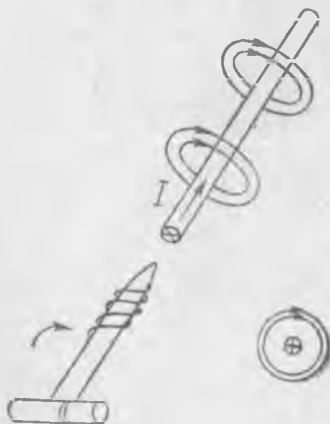
Бу ёпиқ занжирда ҳосил бўлган токнинг йўналиши э. ю. к. йўналиши билан бир хил бўлади.

Ўтказгичнинг кундаланг кесимида биздан қарши томонга йўналган э. ю. к. ва тоқларни $\oplus$ белги билан, биз томонга йўналганларини $\ominus$ белги билан белгилаш қабул қилинган.

Токли ўтказгич атрофида магнитавий оқим Φ ҳосил бўлиб, унинг йўналиши ўнг парма қондаси билан аниқланади.



1-2- расм. Ўтказгичда ҳосил бўлган э. ю. к. йўналишини аниқлаш.



1-3- расм. Ўтказгичдаги токдан ҳосил бўлган магнитавий оқим йўналишини аниқлаш.

Агар парманинг йўналиши ўтказгичдаги ток йўналишида бўлса, у ҳолда ток атрофида ҳосил бўлган магнитавий оқим парма дастасининг айланиши бўйича йўналган бўлади (1—3-расм).

Электрик ва магнитавий ҳодисалар асосан электромагнитавий индукция билан аниқланиб, унинг қонуни Максвелл томонидан қуйидагича таърифланган:

Ёпиқ занжирда ҳосил қилинган э. ю. к. ($\mathcal{E}$) нинг оний қиймати шу занжирни кесиб ўтувчи магнитавий оқимнинг ўзгариш частотасига пропорционал бўлади:

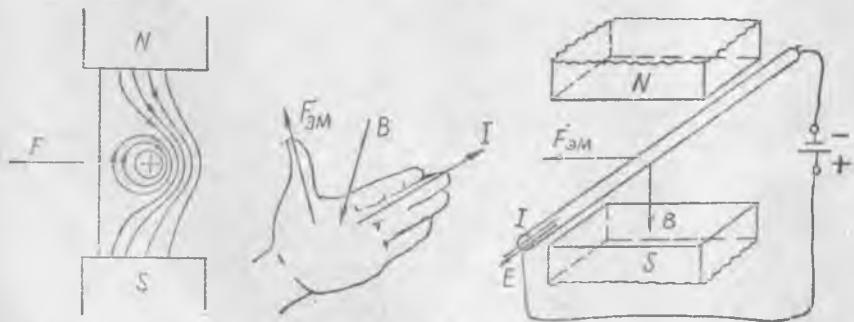
$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi}{dt}, \quad (1-3)$$

бунда $\frac{d\Phi}{dt}$ — магнитавий оқим Φ нинг жуда кичик dt вақт ичидаги ўзгариш частотаси (1—3). Ифодадаги манфий (—) белги Ленц қондасига биноан э. ю. к. таъсирида ёпиқ занжирда ҳосил бўлган ток атрофидаги магнитавий оқимнинг йўналиши бу занжирни кесиб ўтувчи асосий магнитавий оқимнинг ўзгаришига тескари бўлишини англатади. Агар ёпиқ занжирни кесиб ўтувчи магнитавий оқимнинг қиймати камайса, занжирдаги токдан ҳосил бўлган магнитавий оқим асосий магнитавий оқим томон йўналиб, унинг камайишига халақит беради.

Шундай қилиб, электромагнитавий индукция қонунига биноан ўтказгич магнитавий майдонни ёки магнитавий майдон ўтказгични берилган частота билан кесиб ўтса, бу ўтказгичда э. ю. к., ўтказгич билан ҳосил қилинган ёпиқ занжирда эса ток пайдо бўлади.

Демак, элементар ток манбаини, яъни генераторни ҳосил қилиш учун магнитавий майдон билан ёпиқ занжирдан иборат ўтказгич бўлиши kifоя.

Электрик моторнинг ишлаш принципи электромагнитавий кучга асосланган. Электромагнитавий куч ҳодисасига биноан агар токли ўтказгич магнитавий майдонга киритилса, у ҳаракатга келади (1—4-расм). Ўтказгични ҳаракатга келтирувчи



1—1- расм. Токли ўтказгичда таъсир этувчи электромагнитавий куч йўналишини аниқлаш.

бундай $F_{эм}$ куч электромагнитавий куч дейлади: Электромагнитавий кучнинг қиймати магнитавий индукция, ўтказгичдаги ток ва ўтказгич узунлигининг қийматларига тўғри пропорционал бўлиб, қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$F_{эм} = BIl, \quad (1-4)$$

бунда $F_{эм}$ — электромагнитавий куч, Н;

B — магнитавий индукция, Тл;

l — ўтказгичнинг узунлиги, м.

Электромагнитавий кучнинг йўналиши чап қўл қондаси билан аниқланади.

Агар чап қўл қафтига магнитавий индукция тик бўлиб, ўтказгичдаги токнинг йўналиши қафт текислиги бўйлаб ҳўзилган тўрт бармоқ йўналишида бўлса, у ҳолда ўтказгичга таъсир этувчи электромагнитавий кучнинг йўналиши қафт текислигига нисбатан 90° га бурилган бош бармоқ томон йўналган бўлади. (1—4-расм).

Электромагнитавий куч таъсирида токли ўтказгич ҳаракатга келиб, магнитавий майдонни кесиб ўтади ва унда э. ю. к. ҳосил бўлади. Аммо бу э. ю. к. нинг йўналиши ўнг қўл қондасига биноан ўтказгичдаги ток йўналишига тескаридир (1—4-расм). Демак, генераторда э. ю. к. ва ток йўналиши ўзаро мос бўлса, моторда эса қарама-қарши бўлади. Шундай қилиб, элементар ҳаракат манбаини, яъни электрик моторни ҳосил қилиш учун магнитавий майдон билан токли ўтказгич булиши кифоя.

Электрик машиналарнинг ишлаши учун керак бўлган магнитавий майдон, одатда, электромагнитавий усул билан ҳосил қилинади. Бунинг учун пўлат ўзакдан иборат бўлган қўтблардаги ғалтакка ўзгармас ток берилиб, кучли магнитавий майдонни ҳосил қилиш лозим. Ғалтакдан ўтаётган токнинг қиймати ва йўналишини ўзгартириш билан магнитавий индукциянинг қиймати ва йўналишини осонгина ўзгартириш имкони туғилади. Демак, электрик машиналарга керак бўлган кучли магнитавий майдон ҳосил қилиш мақсадида ўзгармас магнитга нисбатан электромагнитдан фойдаланиш қулайроқдир.

1—3. Электрик машиналар ва трансформаторлар тараққиётининг қисқача тарихи

1831 йилда М. Фарадей томонидан электромагнитавий индукция қонуни аниқлангандан сўнг электрик машиналар ва трансформаторлар яратила бошланди.

Биринчи ўзгармас ток генератори ака-ука Пиксилар томонидан 1832 йилда яратилган, биринчи ўзгармас ток мотори эса В. С. Якоби томонидан 1834 йилда ясалган. Бу дастлабки генератор ва моторларда магнитавий майдон ўзгармас магнитлар билан ҳосил қилинган бўлса, 1860 йилларга келиб эса электромагнитлар билан ҳосил қилинди. Электрик машинанинг

мотор ва генератор сифатида ишлаш имкони тўғрисида академик Ленцнинг 1833 йилда айтган фикри 1838 йилда исботланди.

Темир йўл транспортни электрлаштириш натижасида электрик моторлар ва генераторларга бўлган талаб жуда ҳам ортиб кетди.

Ўтган асрнинг 80-йилларида электр энергиясини узоқ масофаларга узатиш масаласи ўртага ташланади. 1882 йилда ўзгармас ток электр энергиясини узатиш биринчи тажрибадан ўтказилди. Аммо юқори кучланишли ўзгармас ток энергиясини коллекторли электрик машинадан олиш қўй қоулайликларга эга. Бу эса электротехник олимларнинг ўзгарувчан токка қизиқишларини яна ҳам орттирди.

Ўзгарувчан токдан амалий электротехникада фойдаланиш ва уни ривожлантиришда рус олими П. Н. Яблочковнинг жуда катта ҳиссаси бор. Бу олим ўзи яратган электрик лампаларга кенг равишда ўзгарувчан ток ишлатди.

1876 йилда П. Н. Яблочков биринчи бўлиб трансформаторни кашф этди ва ундан ўзи яратган электрик лампаларни ўзгарувчан ток билан таъминлашда фойдаланди. Яблочков трансформаторнинг пўлат ўзаги очиқ бўлган, замонавий, яъни пўлат ўзаги берк бўлган трансформаторлар эса 1944 йилда яратилган. Ўзгарувчан ток моторлари ишлаш принципининг асоси бўлмиш айланувчи магнитавий майдон ҳодисаси тўғрисида италиялик физик Г. Феррарис 1888 йилда биринчи бўлиб ўз мақоласини эълон қилди. Феррарис билан бир вақтда серб Н. Тесла ҳам айланувчи магнитавий майдон ҳодисасини кашф этиб, унинг асосида икки фазали асинхрон моторни яратган. Аммо ўзгарувчан ток машиналари ва трансформаторларнинг кенг миқёсда ривожланиши ва ишлатилишида М. О. Доливо-Добровольскийнинг хизмати жуда ҳам улкан. М. О. Доливо-Добровольский 1889 йилда уч фазали ток системаси, чулғамларни учбурчак ва юлдуз схемалари билан улаш, уч фазали асинхрон мотор ва уч фазали трансформаторни биринчи бўлиб кашф этган.

1891 йилда эса М. О. Доливо-Добровольский биринчи бўлиб уч фазали трансформатор билан 15 000 В кучланишли уч фазали ўзгарувчан токни 175 км масофага узатиш линиясини қурдириб, бу қурилмани Франкфурт-на Майне шаҳрида ўтказилган электротехника кўргазмасида намойиш қилди. М. О. Доливо-Добровольский тажрибасидан сўнг катта қувватли ўзгарувчан токни узоқ масофаларга қоникарли фойдали иш коэффиценти билан узатиш имконияти борлиги тасдиқланди.

Шу пайтдан бошлаб саноат ва транспортни электрлаштириш жадал суръатлар билан ривожланиб кетди. Натижада электр станцияларининг қуввати орта борди, катта қувватли генератор ва трансформаторлар яратила бошланди.

Агар 1900 йилларда генераторларнинг қуввати 5000 кВА дан ошмаган бўлса, 1920 йилда қуввати 60000 кВА бўлган турбогенераторлар яратилди.

Ҳозирги пайтда, водород билан совитиладиган қуввати бир неча юз минг кВА бўлган турбогенераторлар яратилган.

1 — 4. СССР да электрик машиналарнинг ишлаб чиқарилиши ва унинг ривожланиш истиқболлари

Чор Россиясида чет мамлакатларга қарашли фирмаларнинг баъзи заводларигина электрик машиналар ишлаб чиқарар эди. Улуғ Октябрь социалистик революциясидан сўнг мамлакатимизда электрик машина ишлаб чиқарувчи заводлар қурила бошлади. СССР халқ хўжалигини электрлаштириш, даставвал, ГОЭЛРО плани асосида бошланди. 1920 йилда Россияни электрлаштириш бўйича тузилган бу давлат планига биноан 10 — 15 йиллар ичида умумий қуввати 1 млн 700 минг кВт га эга бўлган 30 та электр станцияси қуриш мўлжалланган эди. ГОЭЛРО плани 1931 йилнинг январида муддатидан илгари ортиғи билан бажарилди.

Шундан сўнг совет электрик машиналари қурилиши тез суръатлар билан ривожланиб борди ва 1940 йили Ватанимиз бу соҳада саноати ривожланган энг йирик капиталистик мамлакатларга етиб олди.

Ҳозирги пайтда мамлакатимиздаги электрик машиналар ишлаб чиқарадиган заводларда қуввати 1 млн 200 минг кВА гача бўлган генераторлар яратилмоқда, 1500 000 кВА ли генераторларнинг лойиҳалари эса тайёрланмоқда. Қуввати бир неча ваттдан бир неча минг кВт гача бўлган турли серия ва типдаги электрик моторлар ҳам кўплаб чиқарилмоқда. Ватанимиз заводлари турли тип ва қувватли трансформаторларни яратишда ҳам катта муваффақиятларга эришмоқда.

II БОБ. ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАЛАРИНИНГ ИШЛАШ ПРИНЦИПИ ВА ТУЗИЛИШИ

2 — 1. Ўзгармас ток генераторининг ишлаш принципи

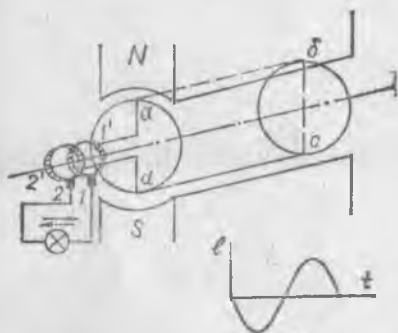
2 — 1- расмда энг оддий ўзгарувчан ток генераторининг принципнол схемаси кўрсатилган.

Бунда N ва S қутбларнинг магнитавий майдонида цилиндр шаклидаги пулат узакка ўрнатилган бир ўрамдан иборат ўтказгич соат стрелкасининг йўналишига тескари томонга n частота билан айлантирилади. Ўтказгичнинг учлари валга ўрнатилиб, изоляцияланган иккита ҳалқага туташтирилади ва, демак, ҳалқалар ҳам ўтказгич билан бир хил частотада айланади. Ҳалқалар устига қўзғалмас чўткалар ўрнатилган бўлиб, уларга ташқи нагрузка уланади. Бундай генераторнинг шимолӣ қутби остидаги ўтказгичда ҳосил бўлган э. ю. к. йўналиши b дан a га, жанубийдагисида d дан c томон бўлади.

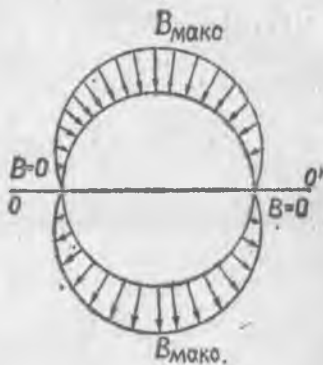
Демак, э. ю. к. дан ҳосил бўлган ток ҳам, ҳалқа 1' дан чўтка 1 томонга, ташқи нагрузка эса чўтка 2 дан ҳалқа 2' томонга йўналган бўлади.

Генератордан чиққан токни ташқи занжирга узатувчи чўтка 1 ни мусбат, ташқи занжирдан ўтувчи токни генераторга қайтариб берувчи чўтка 2 ни манфий потенциалга эга деб қараш қилинади ва уларни тегишлича (+) ҳамда (-) белгилар билан кўрсатилади (2—3- расм). Генератор ўтказгичи айланитирилиб, 180° га бурилганда унинг *аб* ва *сд* томонлари ўзаро ўринлари билан алмашади. Бунда мусбат потенциалли чўтка манфий, манфийлиги эса мусбатга айланиб, нагрузкадан ўтаётган ток ўз йўналишини ўзгартиради.

Шундай қилиб, *abcd* ўтказгич ва ташқи нагрузкадан иборат ёпиқ занжирда ўзгарувчан э. ю. к. ва ток ҳосил бўлиб, ўтказгичнинг бир марта тўла айланишида улар ўз йўналишини икки марта ўзгартиради. Ўзгарувчан э. ю. к. ва,



2—1- расм. Ўзгарувчан ток генераторининг принципл схемаси.



2—2- расм. Пўлат цилиндрга ўрнатилган ўтказгич атрофида магнитавий куч чизиқларининг тақсимланиши.

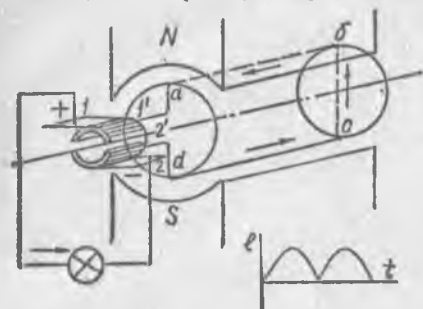
демак, токнинг ўзгариш эгри чизиғи магнит қутбларининг шаклига боғлиқ бўлади. Амалда, генератор ўтказгичларида ҳосил қилинган э. ю. к. синусоидага яқин шаклда бўлади. Бунинг учун ўтказгич ўрнатилган пўлат цилиндр атрофидаги магнитавий куч чизиқлари 2—2- расмда кўрсатилгандек тақсимланиши лозим.

Ҳақиқатан, ўзгармас частота билан айланитирилатган генератордаги э. ю. к. нинг оний қиймати $e = Blv$; $B = \text{const}$ бўлгани учун унинг ўзгариш қонуни ҳам магнитавий индукция B нинг тақсимланишига боғлиқдир.

Қутбларнинг ўртасида магнитавий индукциянинг қиймати $B = B_{\text{макс}}$ бўлиб, икки қутб оралиғининг ўртасида эса $B = 0$ бўлади (2—2- расм).

Генераторда ҳосил бўлган ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантириш учун коллектордан фойдаланилади.

Энг оддий коллектор сифатида мисдан ясалган ва бир-биридан изоляцияланган иккита ярим ҳалқадан фойдаланиш мумкин. Демак, 2 — 1- расмдаги ўтказгич учларини иккита ҳалқа ўрнига иккита ярим ҳалқаларга уланса, у ҳолда энг оддий ўзгармас ток генераторининг принципаал схемаси олинади (2 — 3- расм).



2—3- расм. Ўзгармас ток генераторининг принципаал схемаси.

изоляцияланган ҳолда ўрнатилиб, улар вал ва, демак, ўтказгич билан бир хил частотада айланади.

Шунга кўра, *abcd* ўрамда илгаригидек ўзгарувчан э. ю. к. ҳосил қилинади, аммо коллектор бўлгани сабабли чўткалар ўзгармас потенциалларга эга бўлиб қолади. Ҳақиқатан, 2 — 3- расмга биноан чўтка 1 ярим ҳалқа 1' билан контакт ҳосил қилиб мусбат потенциалга эга бўлса, ўтказгич айнаलिб

180° га бурилганида ҳам чўтка 1 ярим ҳалқа 2' билан улашиб, яна мусбат потенциалга эга бўлиб қолади.

Демак, *abcd* ўрамда ўзгарувчан э. ю. к. ва ток ҳосил бўлишига қарамай, ташқи нагрукзадан ўтадиган ток фақат бир хил йўналишда бўлиб, унинг қиймати ўзгариб (пульсацияланиб) туради (2 — 4- расм, *a*). Ток пульсациясини камайтириш учун генератор чулғамининг ўрамлари сонини ва, демак, коллектор пластинкалари (ярим ҳалқалар) сонини кўпайтириш

лозим.



2-4 расм. Ўзгармас ток генераторидан олинган токнинг пульсацияланиши:

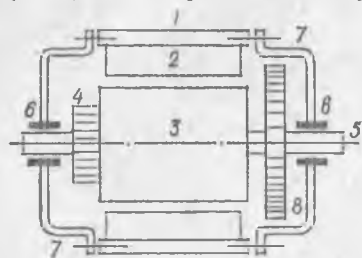
a — бир ўрамдаги ўтказгич ва икки коллектор пластинкаси ва *б* — икки ўрамдаги ўтказгич ҳамда тўртта коллектор пластинкаси бўлган генератордан олинган токнинг пульсацияланиши.

2 — 4- расм, *б* да икки ўрамдан иборат ўтказгич ва тўртта коллектор пластинкаси бўлган генератордан олинган ток графиги кўрсатилган. Бунда ток пульсацияси 2 — 4- расм, *a* дагига нисбатан кескин камаяди.

Нормал типли ўзгармас ток машиналаридаги коллектор пластинкаларининг сони 50 + 80 та бўлиб, улардан олинган токнинг қиймати деярли ўзгармас бўлади.

2—2. Ўзгармас ток машинасининг асосий қисмлари

Ўзгармас ток машинаси асосан икки қисмдан иборат бўлиб, унинг магнитавий оқим ҳосил қилувчи биринчи қисми индуктор, э. ю. к. ҳосил қилувчи иккинчи қисми эса якорь деб аталади. Индуктор ўз навбатида станина 1 ҳамда асосий (бош) қутблар 2 дан иборат бўлиб, якорь эса якорь ўзаги 3,



2—5- расм. Ўзгармас ток машиналарининг конструктив схемаси.

коллектор 4, вал 5, подшипник 6, подшипник қалқони 7 ва вентилятор 8 дан иборат бўлади (2—5-расм).

2—5- расмда ўзгармас ток машиналарининг конструктив схемаси кўрсатилган. Бунда станина машинанинг қўзғалмас қисми бўлиб, у катта қувватли машиналарда пўлатдан, кичик қувватлиларда эса чуъндан қуйиб ясалади (2—6- расм, а)

Цилиндр шаклидаги станина 3 нинг ички қисмига аён кўринишга эга бўлган, яъни бўртиб чиққан асосий 1 ва қўшимча 2 қутбларнинг ўзаклари, унинг икки ён томонларига эса подшипник қалқони болтлар билан маҳкамланиб қўйилади.

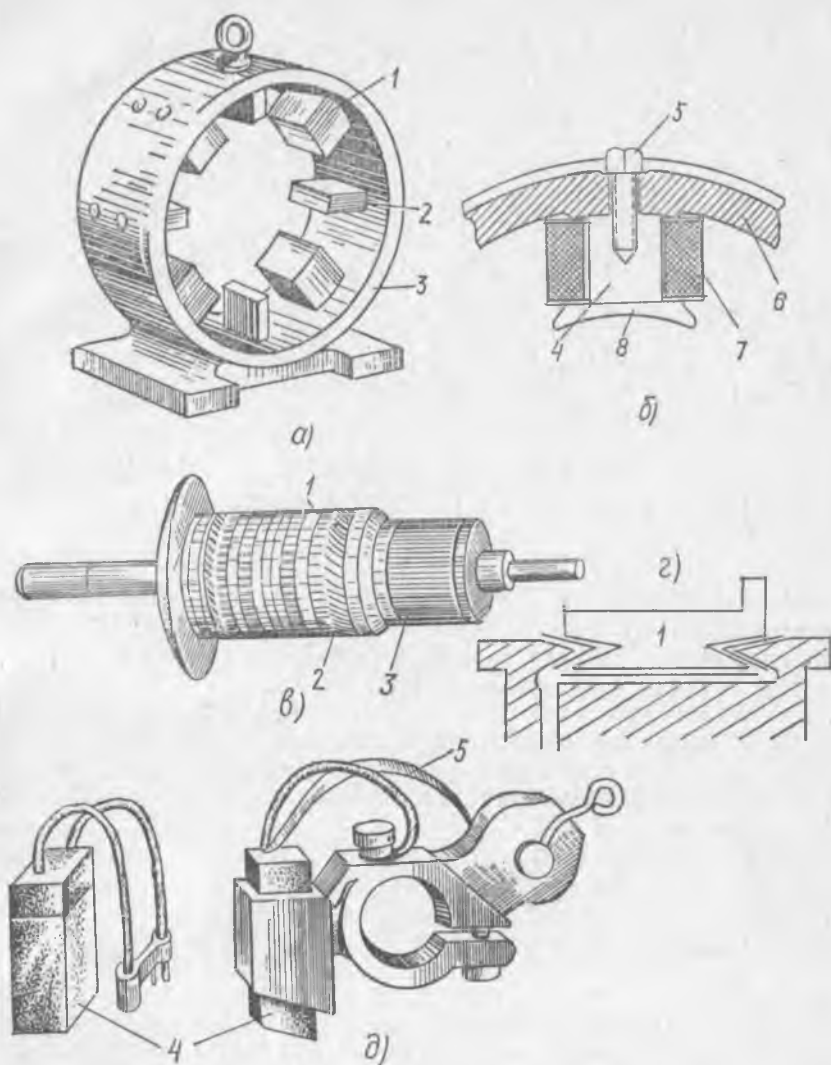
2—6- расм, б да ўзгармас ток машинасининг асосий қутби кўрсатилган, бунда 4—қутб ўзаги. Унинг қалинлиги 1 мм бўлган электротехникавий пўлат листларидан йиғилиб ҳосил қилинади; 8—магнитавий оқимнинг берилган қонун бўйича тарқалишини таъминловчи қутб бошмоғи; 7—ўзгармас ток билан таъминланиб, бош қутбларда асосий магнитавий оқимни ҳосил қилувчи қўзғатувчи чулғам; 5—станина б га қутб ўзагини маҳкамловчи болт. Уюрмавий токлардан ҳосил бўлувчи қувват исрофини камайтириш учун қутб ўзагини ташкил қилувчи пўлат листлар бир-биридан лак билан изоляция қилинади.

Кичик қувватли машиналарда эса қутб ўзаги қуйма пўлатдан ясалади.

Катта қувватли машиналарда коммутация шароитини яхшилаш мақсадида қўшимча қутблар ҳам ишлатилади (коммутацияга қаранг).

2—6- расм, в да ўзгармас ток машинасининг айланувчи қисми бўлган якорь кўрсатилган, бунда 1—якорь ўзаги, 2—э. ю. к. ҳосил қилинувчи якорь чулғами, 3—коллектор. Якорь ўзаги қалинлиги 0,5 мм бўлган электротехникавий пўлат листлардан йиғилади. Уюрма токлардан ҳосил бўлувчи қувват исрофини камайтириш учун бу листлар бир-биридан лак билан изоляцияланади.

Якорь ўзагини ташкил қилиш учун пўлат листлар махсус андазада валга штампланади. Якорь ўзаги чулғам ўтказгичлари ўрнатилиши учун пазли (ариқчали) қилиб тайёрланади.



2—6- расм. Ўзғармас ток машинасининг асосий қисмлари:

а — станина; б — станинага маҳкамланган асосий бош қутб ўзағи; в — якорь; г — коллектор;
 д — чўтка тутқич ва унга ўрнатилган чўткалар.

Якорь чулғами пресшпан ёки лакотканлар билан ўзакдан изоляцияланиб, пазларга ёғоч поналар ва улар устидан ўралган пулат симли белбоғлар билан маҳкамланади. Коллектор эса қалдирғоч қуйруғи шаклидаги мис пластинкаларидан тайёрланиб, якорь валига ўрнатилади (2—6- расм, г). Коллектор пластинкалари бир-биридан ва якорь валидан изоляцияланган.

Бу пластинкаларнинг ҳар бирига якорь чулғамининг ўтказгичлари кавшарлаб туташтирилиши лозим. Коллектор ўзгармас ток генераторининг энг нозик ва мураккаб қисми бўлиб, якорь чулғамидаги ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантириб берувчи механикавий тўғрилагичдир.

Айланиб турувчи якорь чулғамидаги токни ташқи нагрузкага узатиш учун графит, кумир-графит ёки бронза-графитдан тайёрланган чўткалардан фойдаланилади. Қўзғалмас ҳолатдаги чўткалар махсус чўтка туткичларга ўрнатилиб, улар яхши контакт ҳосил қилиши мақсадида пружина ёрдамида коллектор пластинкаларига босилиб туради (2—6- расм, д). Чўтка туткичлар траверсга, траверс эса подшипник қалқонига ёки станинага маҳкамланади. Якорь валига ўрнатилган вентилятор у билан бирга айланиб машинани шамоллатиб туради.

III БОБ. ЯКОРЬ ЧУЛҒАМЛАРИ ВА УЛАРДА ҲОСИЛ БЎЛАДИГАН ЭЛЕКТР ЮРИТУВЧИ КУЧ

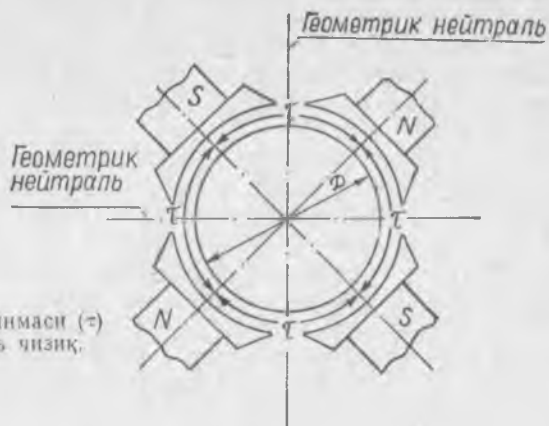
3 — 1. Умумий тушунчалар

Ҳозир ўзгармас ток машиналарида фақат барабанли якорь ишлатилади. Бунда чулғам ўтказгичлари якорь ўзагининг ташқи қисмидаги пазларга жойлаштирилиб, унинг актив (э. ю. к. ҳосил бўлувчи фойдали қисми) қисми ҳалқасимон якордагига нисбатан икки марта ортиқ. Якорь чулғамида ҳосил бўладиган э. ю. к. қийматини кўпайтириш, унинг пульсациясини эса камайтириш учун якорь пазларига жойлаштириладиган ўтказгич ўрамлари сонини кўпайтириш ҳамда коллекторни кўп пластинкалардан ясаш лозим.

Якорь чулғамининг асосий элементи секция ҳисобланади. Чулғам схемасига биноан коллекторнинг икки қўшни пластинкасига уланган бир ёки бир неча ўрамлардан иборат якорь чулғами қисми секция деб аталади. Ҳар бир секция якорь пазларига жойлашган икки актив ва пазлардан ташқарида жойлашган актив бўлмаган томонларга эга. Секция актив томонининг бири шимолий қутб остидаги пазларга жойлаштирилса, иккинчиси жанубий қутб остидаги пазларга жойлаштирилади.

Демак, секциянинг актив томонлари бир-биридан қутб бўлинмаси т оралиғига фарқланиб, уларда ҳосил бўлган э. ю. к. лар бир-бири билан қўшилади. Якорнинг ташқи сирти бўйича ҳисобланган шимолий ва жанубий қутб орасидаги масофа қутб бўлинмаси деб аталади ва т ҳарфи билан белгиланади (3—1- расм).

Қўшни секциялардаги э. ю. к. ларнинг қўшилиши учун бу секциялар бир-бирлари билан кетма-кет уланиб, берк системали якорь чулғамини ҳосил қилиши даркор.



3—1- расм. Қутб бўлини (τ) ва геометрик нейтраль чизик.

Бунинг учун ҳар бир коллектор пластинкасига бир секциянинг охири ва чулғам схемасига биноан жойлашган қўшни секциянинг боши кавшарлаб туташтирилади. Электрик машинанинг қутблари сонини $2p$, жуфт қутблари сонини эса p билан белгилаб, якорь айланаси узунлиги πD ни қуйидагича ифодалаш мумкин:

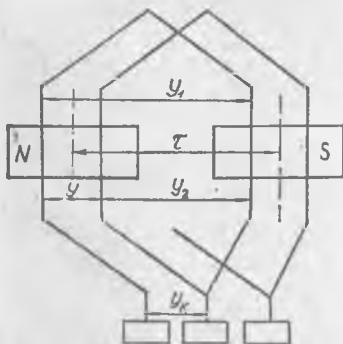
$$\pi D = 2p\tau, \quad (3-1)$$

бунда $\pi = 3,14$; D — якорь диаметри, m .

Демак, қутблар сони $2p$ ни қутб бўлини τ га кўпайтирилса, якорь айланаси узунлигини аниқлаш мумкин. Машинадаги шимолий ва жанубий қутблар оралигининг ўртасидан ўтувчи хаёлий чизик геометрик нейтрал деб аталади.

Геометрик нейтрал чизикларининг сони машинадаги жуфт қутблар сонига тенг бўлади (3—1- расм).

Якорь чулғамини тузиш учун қуйидаги маълумотларга эга бўлиш лозим:



3—2- расм. Сиртмоқсимон чулғамининг тузилиш схемаси.

1) биринчи қисман қадам. Якорь чулғами секциясининг актив томонлари жойлашган пазлар оралигидаги масофа, яъни секциянинг кенглиги чулғамининг биринчи қисман қадами деб аталади ва y_1 билан белгиланади. 3—2- расмда сиртмоқли чулғам қадамлари курсатилган;

2) иккинчи қисман қадам. Якорь чулғами бир секциясининг охириги актив томони билан чулғам схемасига биноан келгуси секциясининг бошланғич томони жойлашган пазлар оралигидаги масофа чулғамининг

иккинчи қисмга қадами деб аталади ва U_2 билан белгиланади;

3) тўла қадам. Якорь чулғамининг схемасига биноан жойлаштирилган икки қўшни секция бош томонлари ораллигидаги масофа чулғамнинг тўла қадами деб аталади ва U билан белгиланади;

4) чулғамнинг коллектор бўйича қадами. Якорь чулғамининг секция боши билан охири уланган коллектор пластинкалари ораллигидаги масофа чулғамнинг коллектор бўйича қадами деб аталади ва U_k билан белгиланади. Бу масофа секция боши ва охири уланган коллектор пластинкалари орасидаги изоляцияловчи қатламлар сони билан ўлчанади.

Шунингдек, чулғамнинг якорь бўйича қадамлари U_1 , U_2 ва U ни якорь пазларининг сони билан ҳам ўлчаш мумкин.

Ҳозирги замон ўзгармас ток машиналарида секция кенглиги U_1 ни қутб бўлиниши τ дан бир оз кичикроқ, яъни амалда $U_1 = 0,8 \tau$ қилиб олинади. Бундай секциянинг қадами қисқартирилган секция дейилади. Секция қадамини бундай қисқартириш билан унга таъсир этувчи асосий магнитавий оқимнинг камайиши сезиларли бўлмай, унинг паздан ташқарига жойлашган қисмига сарфланадиган рангли металл бирмунча камайтиради. Машинанинг асосий қутбларига ўрнатиладиган қўзғатувчи чулғамнинг тузилиши оддий электромагнитавий чулғамларники сингаридир. Аммо якорь чулғами махсус схемалар асосида тузилади.

Ҳозирги замон ўзгармас ток машиналари якоридида сиртмоқсимон оддий, сиртмоқсимон мураккаб, тўлқинсимон оддий, тўлқинсимон мураккаб ва аралаш схемали чулғамларни учратиш мумкин. Бу чулғамлар амалда икки ва кўп қатламли қилиб тайёрланади.

3—2. Сиртмоқсимон оддий чулғам

Боши ва охири ёнма-ён жойлашган коллектор пластинкаларига уланадиган секциялардан тузилган чулғам сиртмоққа ўхшашлиги сабабли ў сиртмоқсимон оддий чулғам дейилади (3—2- расм). Сиртмоқсимон чулғам умуман бир, икки ва кўп қатламли бўлиши мумкин.

Якорь пазига бирорта секциянинг биргина актив томонини жойлаштириш билан тузилган чулғам бир қатламли чулғам дейилади. Бундай чулғамда $Z = 2S$ ва ҳар бир коллектор пластинкасига бир секциянинг боши, иккинчисининг охири улангани учун $S = K$ бўлади, бунда Z — якорь ўзагидаги пазлар сони, S — якорь чулғами секцияларининг сони, K — коллектор пластинкаларининг сони.

Бир қатламли сиртмоқсимон оддий чулғамни қуйидаги формулалар асосида ҳисоблаш мумкин:

$$Y = Y_1 - Y_2, \quad (3-2)$$

$$Y_K = 1, \quad (3-3)$$

$$Y = 2 Y_K = 2, \quad (3-4)$$

$$Y_1 = \frac{Z \pm b}{2p}, \quad (3-5)$$

бунда b — секциянинг кенглиги, яъни Y_1 ни бутун сонга айлантирувчи энг кичик сон;

$2p$ — қутблар сони.

Чулғам схемасини тузиш принципи қуйидаги оддий масалада кўрсатилган.

3—1- масала. Тўрт қутбли ўзгармас ток машинаси учун олти секциядан иборат булган якорь чулғамнн схемасини тузинг.

Берилган: $2p = 4$; $S = 6$.

Е ч и ш. Бир қатламли чулғам учун

$$Y_K = 1, Y = 2, Y_K = 2, K = S = 6 \text{ ва } Z = 2 \cdot S = 2 \cdot 6 = 12.$$

Демак,

$$Y_1 = \frac{Z \pm b}{2p} = \frac{12 \pm 0}{4} = 3.$$

Чулғам қуйидаги тартибда тузилади: коллектор пластинкалари ва якорь пазлари мунтазам ўсиб бориш тартибда номерланиб, сунгра бирор секция бошини 1- номерли коллектор пластинкасига уланади. Бу секциянинг биринчи актив томонини 1- номерли пазга жойлаштирилади. Секциянинг иккинчи актив томонини жойлашадиган паз номерини аниқлаш учун унинг биринчи томони жойлашган паз номерига y_1 ни қўшиш лозим. Демак, секция иккинчи актив томонини $1 + y_1 = 1 + 3 = 4$, яъни 4- номерли пазга жойланади. Секция охири эса 2- номерли коллектор пластинкасига уланади. Навбатдаги секциянинг боши ҳам 2- номерли коллектор пластинкасига уланиши лозим. Бу секциянинг биринчи актив томони жойлашадиган паз номерини аниқлаш учун илгариги секция биринчи актив томони жойлашган паз номерига y ни қўшиш лозим. Демак, секция иккинчи актив томонини $1 + y_1 = 1 + 3 = 4$, яъни 4- номерли пазга жойланади. Секция охири эса 2- номерли коллектор пластинкасига уланиши лозим. Бу секциянинг биринчи актив томони жойлашадиган паз номерини аниқлаш учун илгариги секция биринчи актив томони жойлашган паз номерига y ни қўшиш лозим. Демак, иккинчи секциянинг биринчи актив томонини $1 + y = 1 + 2 = 3$, яъни 3- номерли пазга жойланади. Шу принциппа якорь чулғамининг тўла схемаси тузилади. 3—3- расмда якорь чулғамининг ёйилган ва радиал схемалари кўрсатилган.

Амалда ўзгармас ток машиналари пазларидан тўлароқ фойдаланиши мақсадида икки ва кўп қатламли чулғамлар ишлатилади. Бир пазга турли секцияларнинг икки актив томони жойлашган чулғамни икки қатламли чулғам дейилади. Икки ва кўп қатламли чулғамларни ҳисоблашда элементар паз деган тушунча қўлланилади. Турли секцияларнинг иккита актив томонлари жойланган битта ҳақиқий паз элементар паз деб аталади. Ҳақиқий пазга иккитадан ортиқ, масалан, тўртта, олтига актив томонларни ҳам жойлаштирилади (масалан, мураккаб чулғамларда).

3—4- расмда битта ва иккита элементар пазларга эга булган ҳақиқий паз кўрсатилган.

Иккита актив томонли секцияга битта элементар паз ва битта коллектор пластинкаси тўғри келиши сабабли икки ва кўп қатламли чулғамлар учун $S = K = Z_{эл}$ бўлади, бунда $Z_{эл}$ — элементар пазлар сони.

иккинчи қисмаш қадами деб аталади ва U_2 билан белгиланади;

3) тула қадам. Якорь чулғамнинг схемасига биноан жойлаштирилган икки қўшни секция бош томонлари оралиғидаги масофа чулғамнинг тула қадами деб аталади ва U билан белгиланади;

4) чулғамнинг коллектор бўйича қадами. Якорь чулғамнинг секция боши билан охири уланган коллектор пластинкалари оралиғидаги масофа чулғамнинг коллектор бўйича қадами деб аталади ва U_k билан белгиланади. Бу масофа секция боши ва охири уланган коллектор пластинкалари орасидаги изоляцияловчи қатламлар сони билан ўлчанади.

Шунингдек, чулғамнинг якорь бўйича қадамлари U_1 , U_2 ва U ни якорь пазларининг сони билан ҳам ўлчаш мумкин.

Ҳозирги замон ўзгармас ток машиналарида секция кенглиги U_1 ни қутб бўлинмаси τ дан бир оз кичикроқ, яъни амалда $U_1 = 0,8 \tau$ қилиб олинади. Бундай секциянинг қадами қисқартирилган секция дейилади. Секция қадамини бундай қисқартириш билан унга таъсир этувчи асосий магнитавий оқимнинг камайиши сезиларли бўлмай, унинг паздан ташқарига жойлашган қисмига сарфланадиган рангли металл бирмунча камайтиради. Машинанинг асосий қутбларига ўрнатиладиган қўзғатувчи чулғамнинг тузилиши оддий электромагнитавий чулғамларники сингаридир. Аммо якорь чулғами махсус схемалар асосида тузилади.

Ҳозирги замон ўзгармас ток машиналари якоридида сиртмоқсимон оддий, сиртмоқсимон мураккаб, тўлқинсимон оддий, тўлқинсимон мураккаб ва аралаш схемали чулғамларни учратиш мумкин. Бу чулғамлар амалда икки ва кўп қатламли қилиб тайёрланади.

3—2. Сиртмоқсимон оддий чулғам

Боши ва охири ёнма-ён жойлашган коллектор пластинкаларига уланадиган секциялардан тузилган чулғам сиртмоққа ўхшашлиги сабабли ў сиртмоқсимон оддий чулғам дейилади (3—2- расм). Сиртмоқсимон чулғам умуман бир, икки ва кўп қатламли бўлиши мумкин.

Якорь пазига бирорта секциянинг биргина актив томонини жойлаштириш билан тузилган чулғам бир қатламли чулғам дейилади. Бундай чулғамда $Z = 2S$ ва ҳар бир коллектор пластинкасига бир секциянинг боши, иккинчисининг охири улангани учун $S = K$ бўлади, бунда Z — якорь ўзагидаги пазлар сони, S — якорь чулғами секцияларининг сони, K — коллектор пластинкаларининг сони.

Бир қатламли сиртмоқсимон оддий чулғамни қуйидаги формулалар асосида ҳисоблаш мумкин:

$$Y = Y_1 - Y_2, \quad (3-2)$$

$$Y_K = 1, \quad (3-3)$$

$$Y = 2Y_K = 2, \quad (3-4)$$

$$Y_1 = \frac{Z \pm b}{2p}, \quad (3-5)$$

бунда b — секциянинг кенглиги, яъни Y_1 ни бутун сонга айлантирувчи энг кичик сон;

$2p$ — қутблар сони.

Чулғам схемасини тузиш принципи қуйидаги оддий масалада кўрсатилган.

3—1- масала. Тўрт қутбли ўзгармас ток машинаси учун олти секциядан иборат бўлган якорь чулғамини схемасини тузинг.

Берилган: $2p = 4$; $S = 6$.

Е ч и ш. Бир қатламли чулғам учун

$$Y_K = 1, Y = 2, Y_K = 2, K = S = 6 \text{ ва } Z = 2 \cdot S = 2 \cdot 6 = 12.$$

Демак,

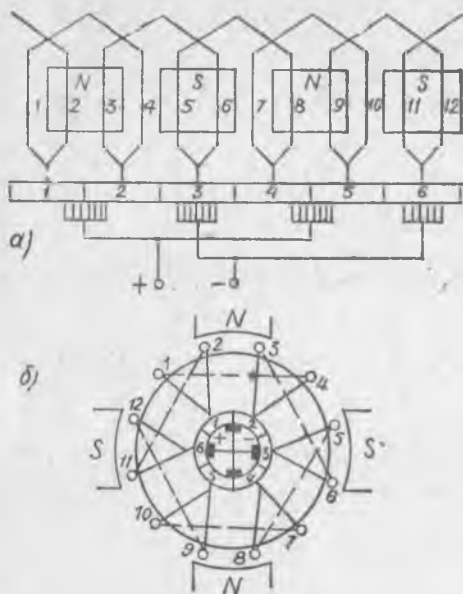
$$Y_1 = \frac{Z \pm b}{2p} = \frac{12 \pm 0}{4} = 3.$$

Чулғам қуйидаги тартибда тузилади: коллектор пластинкалари ва якорь пазлари мунтазам ўсиб бориш тартибида номерланиб, сўнгга бирор секция бошини 1- номерли коллектор пластинкасига уланади. Бу секциянинг биринчи актив томонини 1- номерли пазга жойлаштирилади. Секциянинг иккинчи актив томони жойлашадиган паз номерини аниқлаш учун унинг биринчи томони жойлашган паз номерига y ни қўшиб лозим. Демак, секция иккинчи актив томонини $1 + y_1 = 1 + 3 = 4$, яъни 4- номерли пазга жойланади. Секция охири эса 2- номерли коллектор пластинкасига уланади. Навбатдаги секциянинг боши ҳам 2- номерли коллектор пластинкасига уланиши лозим. Бу секциянинг биринчи актив томони жойлашадиган паз номерини аниқлаш учун илгариги секция биринчи актив томони жойлашган паз номерига y ни қўшиб лозим. Демак, иккинчи секциянинг биринчи актив томонини $1 + y_1 = 1 + 3 = 4$, яъни 4- номерли пазга жойланади. Секция охири эса 2- номерли коллектор пластинкасига уланиши лозим. Бу секциянинг биринчи актив томони жойлашадиган паз номерини аниқлаш учун илгариги секция биринчи актив томони жойлашган паз номерига y ни қўшиб лозим. Демак, иккинчи секциянинг биринчи актив томонини $1 + y = 1 + 2 = 3$, яъни 3- номерли пазга жойланади. Шу принципда якорь чулғамининг тўла схемаси тузилади. 3—3- расмда якорь чулғамининг ёйилган ва радиал схемалари кўрсатилган.

Амалда ўзгармас ток машиналари пазларидан тўлароқ фойдаланиш мақсадида икки ва кўп қатламли чулғамлар ишлатилади. Бир пазга турли секцияларнинг икки актив томони жойлашган чулғамини икки қатламли чулғам дейилади. Икки ва кўп қатламли чулғамларни ҳисоблашда элементар паз деган тушунча қўлланилади. Турли секцияларнинг иккита актив томонлари жойлашган битта ҳақиқий паз элементар паз деб аталади. Ҳақиқий пазга иккитадан ортиқ, масалан, тўртта, олтига актив томонларни ҳам жойлаштирилади (масалан, мураккаб чулғамларда).

3—4- расмда битта ва иккита элементар пазларга эга бўлган ҳақиқий паз кўрсатилган.

Иккита актив томонли секцияга битта элементар паз ва битта коллектор пластинкаси тўғри келиши сабабли икки ва кўп қатламли чулғамлар учун $S = K = Z_{эл}$ бўлади, бунда $Z_{эл}$ — элементар пазлар сони.



3—3- расм. Якорга жойлаштирилган сиртмоқсимон чулғамнинг:

a — ёйилган ва *б* — радиал схемалари.

Шунга биноан икки қатлам-ли сиртмоқсимон оддий чулғам куйидагича ҳисобланади, яъни

$$Y_k = 1; Y = Y_k = 1; Y_1 = \frac{Z_{эл}}{2p} \pm b$$

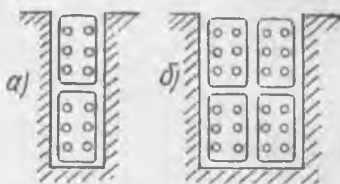
бўлади

3—2- масала. Тўрт қутбли ўзгармас ток машинаси учун 12 секциядан иборат икки қатламли чулғам схемаси тузинг.

Берилган: $2p = 4; S = K = Z_{эл} = Z = 12$.

Е ч и ш. $Y_1 = \frac{Z_{эл}}{2p} \pm b = \frac{12}{4} \pm 0 = 3;$

$$Y = Y_k = 1.$$



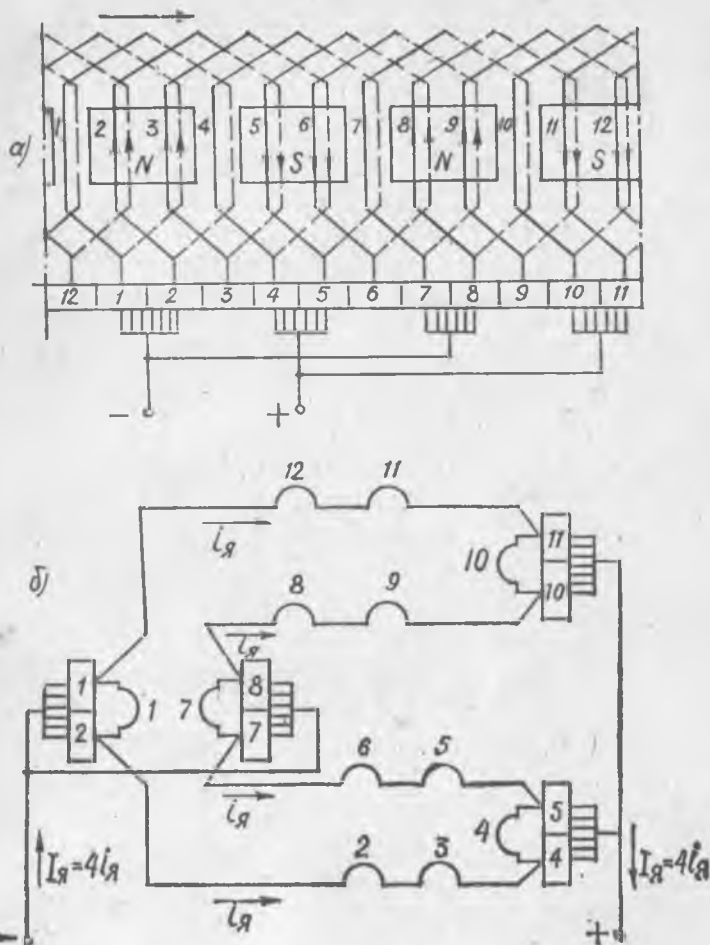
3—4- расм. *a* — битта, *б* — иккита элементар пазга эга бўлган ҳақиқий пазлар.

Икки қатламли чулғамни тузиш тартиби ҳам бир қатламликки синга-ри бўлади. Бунда фақат секциянинг биринчи актив томони пазнинг юқори-ги қисмига жойлаштирилиб, унинг иккинчи томони эса бошқа пазнинг пастки қисмига жойлаштирилади (3—5- расм). 3—5- расмда икки қатламли чулғамнинг ёйилган ва параллел шохобчаларининг схемалари кўрсатилган.

Чулғамнинг қарама-қарши қутбли чўткалари орасидаги қисми унинг параллел шохобчалари деб аталади. 3—2- масала учун қурилган чулғам схемасида тўртта параллел шохобча бўлиб, ҳар бир параллел шохобча ик-кита кетма-кет уланган секциялардан иборат. Демак, якорь чулғаминда ҳосил буладиган э. ю. к. қиймати битта параллел шохобчадаги э. ю. к. би-дан аниқланиб, чулғамдан олинадиган ток эса ҳар бир параллел шохобча тоқларининг йиғиндисига тенг бўлади. Сиртмоқсимон оддий чулғам пара-лел шохобчаларининг сони машина қутблари сонига тенг, яъни

$$2a = 2p, \quad (3-6)$$

бунда *a* — параллел шохобчаларнинг жуфт сони. Демак, қутблар сон $2p$ ни ўзгартириш билан генератордан олинадиган кучланиш ёки ток кучи қийматларини ўзгартириш мумкин. Чулғам схемасида коллектор пластин-калари устига ўрнатиладиган чўткалар ўрни магнит қутблари *N* ва *S* лар ўртасидан ўтган чиқиқлар билан аниқланади (3—5- расм, *a*, *б*). Бунда чўт-канинг бир коллектор пластинкасида иккиччисига утишида геометрик пейтрад бўйича жойлашган секцияларининг қисқа туташади. Бу секциялар-да э. ю. к. ва демак, ток ҳосил бўлмагани учун коммутация процесси яхши-утади. 3—5- расм, *a* да кўрсатилган чулғам секцияларидаги э. ю. к. йўна-лишига қараб мусбат ва манфий қутбли чўткалар аниқланади. Бир хил қутбли чўткалар бир-бири билан қисқа туташтирилади.



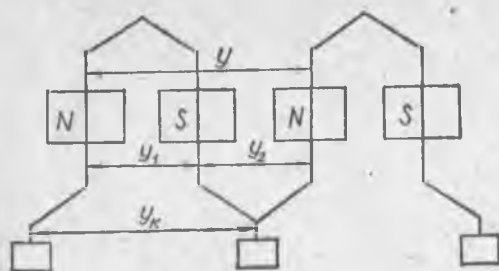
3—5- расм. Икки қатламли чулғамнинг:
а — ёйилган ва б — параллел шохобчаларининг схемалари.

3—3. Тўлқинсимон оддий чулғам

Бундай чулғамнинг схемаси тўлқин шаклида бўлгани учун уни тўлқинсимон чулғам дейилади. Бу чулғам ҳам икки ва кўп қатламли бўлиши мумкин.

3—6-расмда тўлқинсимон чулғамнинг тузилиш схемаси кўрсатилган.

Икки қатламли тўлқинсимон чулғам қуйидагича ҳисобланади:



3—6- расм. Тўлқинсимон чулғамнинг тузилиш схемаси.

$$Y = Y_1 + Y_2, \quad (3-7)$$

$$y = y_k = \frac{k \pm 1}{p}, \quad (3-8)$$

$$2a = 2, \quad (3-9)$$

$$Z_{эл} = S = K, \quad (3-10)$$

$$Y_1 = \frac{Z_{эл}}{2p} \pm b. \quad (3-11)$$

Тўлқинсимон чулғам схемасини тузиш тартиби қуйидаги масалада кўрсатилган.

3—3- масала. Тўрт қутбли ўзгармас ток машинаси учун 9 секциядан иборат икки қатламли тўлқинсимон чулғам схемасини тузинг.

Берилган: $2p = 4$; $S = K = Z_{эл} = 9$.

Е ч и ш. $K = K_k = \frac{K \pm 1}{d}$. Бу ифодадаги (+) ишора ўнг, (—) ишора эса чап томонга суриладиган чулғам схемаларига тааллуқли.

$$Y = y_k = \frac{K-1}{p} = \frac{9-1}{2} = \frac{8}{2} = 4,$$

$$Y_1 = \frac{Z_{эл}}{2p} - b = \frac{9}{4} - \frac{1}{4} = 2,$$

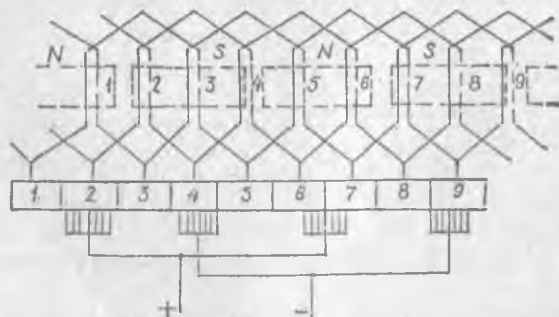
$$Y_2 = Y - Y_1 = 4 - 2 = 2.$$

3—7- расмда бу тўлқинсимон чулғамнинг ёйилган схемаси кўрсатилган. Тўлқинсимон чулғамнинг схемаси ҳам сиртмоқсимонники сингари тартибда тузилади.

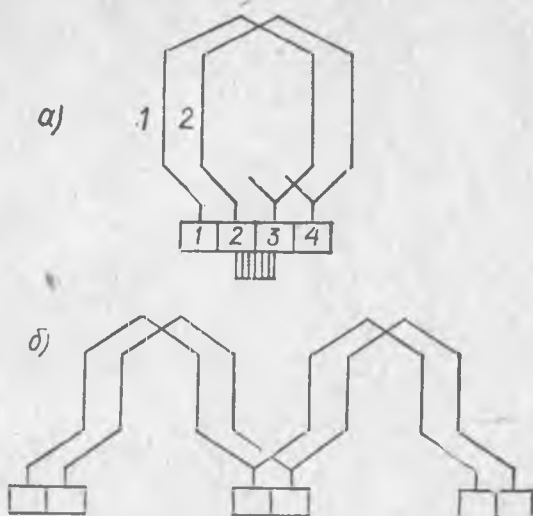
Ўзгармас ток машинасидаги қутблар сони қанча бўлишидан қатъи назар, тўлқинсимон оддий чулғамда иккита параллел шохобча бўлади. Демак, электрик машинадан катта кучланиш олиш учун тўлқинсимон, катта ток олиш учун эса сиртмоқсимон чулғам ишлатилиши мақсадга мувофиқ.

3—4. Сиртмоқсимон ва тўлқинсимон мураккаб чулғамлар

Сиртмоқсимон чулғамли машинадан кичик кучланиш ва катта ток олиш учун унинг қутблари сонини кўпайтириш ло-



3—7- расм. Тўлқинсимон чулғамнинг ёйилган схемаси.



3—8- расм. Мураккаб чулғамлар:

a — сиртмоқсимон ва *б* — тўлқинсимон.

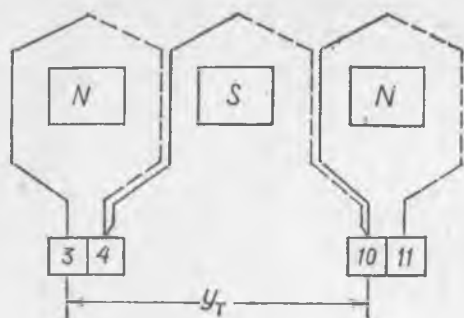
зм. Бунинг натижасида машина габарити катталашиб, унинг пархи ҳам ортади.

Электрик машина қутблари сонини ўзгартирмай унинг параллел шохобчалари сонини кўпайтириш, яъни ундан катта ток олиш учун сиртмоқсимон мураккаб чулғам ишлатилади. Бундай мураккаб чулғам якорь пазлари бўйича бир хилда жойлаштирилган бир неча сиртмоқсимон оддий чулғамлардан иборатдир (3—8- расм, *a*). Мураккаб чулғамда $2a = 2pt$ ва $Y_k = Y = t$ бўлади, бунда t — оддий чулғамлар сони. Секция кенглиги Y_1 нинг қиймати оддий чулғамникидан фарқ қилмайди. Катта қувватли машиналардан катта кучланиш олиш учун тўлқинсимон мураккаб чулғамдан фойдаланилади. Бундай чулғам ҳам бир неча тўлқинсимон оддий чулғамлардан иборатдир (3—8- расм, *б*).

Тўлқинсимон мураккаб чулғамда $2a = 2mt$ ва $Y_k = Y = \frac{K \pm m}{p}$ бўлади, бунда m — тўлқинсимон оддий чулғамлар сони. Мураккаб чулғамлар схемаси ҳам оддийларники сингари тартибда тузилади.

3—5. Аралаш схемали чулғамлар

Секцияларининг актив томонлари сиртмоқсимон ва тўлқинсимон схемаларда якорь пазларига аралаш жойлаштирилиб, секция учлари эса умумий коллектор пластинкасига уланган чулғам аралаш схемали чулғам деб аталади (3—9- расм).



3—9- расм. Аралаш схемали якорь чулғами.

Аралаш схемали чулғам, асосан, катта қувватли электрик машиналарда қўлланилади. Бундай чулғамда потенциалларни тенглаштирувчи уланма вазифасини тўлқинсимон чулғам секцияси бажаради. Демак, аралаш схемали чулғам учун махсус тенглаштирувчи уланмага ҳожат йўқ. Бу унинг афзаллиги ҳисобланади. Тенглаштирувчи уланманинг ўзи нима? Ҳар бир

параллел шохобчадаги э. ю. к. қийматини бир хил қилиш мақсадида зарур бўлган барча шартларни чулғам тузишда ҳисобга олинса ҳам, лекин кўпинча, шимолий ёки жанубий қутблардаги магнитавий оқимларнинг бир-бирига тенг бўлмаслиги сабабли сиртмоқсимон чулғамда бунга эришиб бўлмайди. Магнитавий оқимларнинг бу тенгсизлиги магнит занжирдаги турли етишмовчиликларга боғлиқдир. Тўлқинсимон чулғамнинг параллел шохобчаларидаги секциялари ҳамма қутблар остида бир хилда тақсимланиши сабабли улардаги э. ю. к. қийматига магнитавий оқим тенгсизлиги айтарли таъсир кўрсатмайди. Сиртмоқсимон чулғамда эса ҳар бир параллел шохобчадаги секциялар фақат бир жуфт қутблар остида жойлашгани сабабли магнитавий оқим турлича бўлган қутблар остида жойлашган параллел шохобчалардаги э. ю. к. қиймати ҳам ўзаро тенг бўлмайди. Потенциаллар тенгсизлиги натижасида чулғам занжирида тенглаштирувчи ток ҳосил бўлади. Бу ток нагрузка токига қўшилиб баъзи чўткаларнинг остида учқунланишини зўрайтириб юбориши мумкин. Тенглаштирувчи токни ташқи нагрузка занжирига чиқармаслик, яъни уни чўткалардан ўтказмаслик мақсадида бир хил потенциалга эга бўлган чулғам нуқталари мис симлар билан ўзаро қисқа туташтирилади. Бу симлардан тенглаштирувчи тоқлар ўтгани учун уларга тенглаштирувчи уланмалар деб ном берилган. Бир хил потенциалга эга чулғам нуқталари орасидаги масофа—потенциал қадами қуйидаги ифодадан аниқланади (3—9- расм):

$$U_T = \frac{K}{p}$$

Тенглаштирувчи уланмалар сони N_T эса қуйидагича аниқланади:

$$N_T = \frac{K}{a}$$

3—6. Якорь чулғамининг электр юритувчи кучи

Электромагнитавий индукция қонунига биноан, якорь чулғамида ҳосил бўладиган э. ю. к. қиймати машина қутбларидаги магнитавий оқимга, чулғам параметрларига ва якорь чулғамининг магнитавий оқими билан кесилиш частотасига боғлиқ бўлади. Чулғамдаги э. ю. к. ни аниқлаш учун даставвал, наг-рузкасиз ишлаётган машина якорида ҳосил бўладиган э. ю. к. топилади. Бунда якорь чулғами секциясининг кенглиги $U_1 = \tau$ ҳамда чўткаларнинг геометрик нейтрал бўйича жойлашган секциялари уланадиган коллектор пластинкалари устига ўрна-тилган деб фараз қилинади. 3—10- расмда асосий қутблар ос-тидаги магнитавий индукциянинг тақсимланиш эгри чизиғи кўрсатилган. Якорь чулғамининг ҳар бир ўтказгичида ҳосил бўлувчи э. ю. к. ўртача қиймати e_{yp} ни аниқлаш учун магни-тавий индукция B нинг ўртача қиймати B_{yp} ни белгилаш ло-зим. Бунинг учун 3—10- расмда кўрсатилган B эгри чизиғи баландлиги B_{yp} бўлган тўғри тўртбурчаклик юза билан алмаш-тирилади. Бунда эгри ва тўғри чизиқлар билан чегараланади-ган юзалар ўзаро тенг қилиб олинishi шарт. Демак, чулғам-нинг ҳар бир ўтказгичида қуйидаги ифодадан аниқланувчи э. ю. к. ҳосил бўлади:

$$e_{yp} = B_{yp} l v, B,$$

бунда B_{yp} — магнитавий индукциянинг ўртача қиймати, Тл;

l — ўтказгич узунлигининг актив қисми, м;

v — ўтказгичнинг ҳаракат частотаси, $\frac{м}{сек}$.

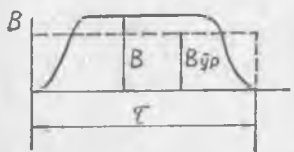
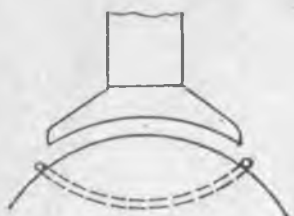
Маълумки, ўзгармас ток машинасининг э. ю. к. қиймати якорь чулғамидаги параллел шохобчада ҳосил бўлувчи э. ю. к. га тенг бўлади.

Демак, машинада ҳосил бўлувчи э. ю. к. ни аниқлаш учун даставвал параллел шохобчага тегишли ўтказгичлар сонини белгилаш зарур.

Якорь чулғамидаги ўтказгичлар сонини N , параллел шо-хобчалар сонини $2a$ билан белгиласак, ҳар бир параллел шо-хобчадаги ўтказгичлар сони $\frac{N}{2a}$ бўлади. Шунга биноан, якорь чулғамида ҳосил бўлувчи э. ю. к. E_y нинг ўртача қийматини қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$E_y = e_{yp} \frac{N}{2a} = B_{yp} l v \frac{N}{2a}, B, \quad (3-12)$$

Машина паспортида якорнинг айланиш частотаси n $\left[\frac{айл}{мин} \right]$ берилади, шу сабабли E_y нинг ифодасидаги чизиғий частота v ни n орқали белгилаш лозим, яъни $v = \frac{\pi D n}{60}$, аммо $\pi D = 2\pi r$



3—10- расм. Асосий қутблар остида (якорнинг сиртида) магнитавий индукциянинг тақсимланиши.

бўлгани учун $v = \frac{2p\tau n}{60}$ бўлади. v нинг қийматини (3—12) ифодага қўйиб қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$E_a = B_{yp} l \frac{2p\tau n}{60} \frac{N}{2a},$$

бунда $B_{yp} l \tau = B_{yp} \cdot S = \Phi$ — бир жуфт қутблар остидан якорнинг сатҳи $S = \tau l$ га ўтадиган магнитавий оқим. Шунга биноан якорда ҳосил бўлувчи э. ю. к. нинг қиймати қуйидагича ифодаланади:

$$E_a = \frac{pN}{60a} n \Phi = k_E n \Phi, \quad (3-13)$$

бунда $k_E = \frac{pN}{60a} = \text{const}$ — машина параметрларига боғлиқ бўлган э. ю. к. доимийси. Демак, ўзгармас частота n билан айланадиган якорь чулғамида ҳосил бўлган э. ю. к. нинг қиймати

магнитавий оқим Φ га тўғри пропорционал бўлади. Мисол учун қутбларидаги магнитавий оқим $\Phi = 0,1$ Вб, ўтказгичлари сони $N = 360$, $2p = 2a = 4$ ва айланиш частотаси $n = 1000 \frac{\text{а\ddot{и}л}}{\text{мин}}$ бўлган ўзгармас ток машинасида ҳосил бўлган э. ю. к. қиймати қуйидагича аниқланади:

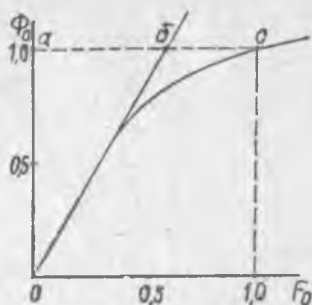
$$E_a = \frac{pNn\Phi}{60a} = \frac{2 \cdot 360}{60 \cdot 2} 1000 \cdot 0,1 = 600 \text{ В.}$$

IV БОБ. ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАСИНING МАГНИТАВИЙ ЗАНЖИРИ, ЯКОРЬ РЕАКЦИЯСИ ВА КОММУТАЦИЯСИ

4—1. Магнитавий занжир ва уни ҳисоблаш

Машина қутбларига ўрнатилган қўзғатувчи чулғамга ўзгармас ток берилса, қутбнинг пўлат ўзагидаги элементар магнитчалар чулғамдаги токдан ҳосил бўлган ташқи магнитавий майдон томон бурила бошлайди. Чулғамдаги ток қиймати ортиши билан ташқи магнитавий майдон томон бурилувчи элементар магнитчалар сони ҳам қўпайиб боради. Пўлат ўзакдаги элементар магнитчалар қўзғатилиши билан умумий магнитавий майдон кескин равишда зўрая боради. Шунга биноан, пўлат ўзакдаги элементар магнитчаларни қўзғатиш учун чулғамга бериладиган ток қўзғатиш токи деб, чулғам эса қўзғат

тувчи чулғам деб аталади. Аста-секин кўпайтирилатган қўзғатиш токининг бирор қийматидан бошлаб, ташқи майдон томон буриладиган ўзакдаги магнитчаларнинг сони камайиб боради ва токнинг бошқа бирор қийматида атрофдаги магнитавий майдонга қўшилувчи ўзак магнитчаларининг сони тугайди. Шунга биноан, пулат ўзакнинг элементар магнитчаларининг барчаси ташқи магнитавий майдон томон бурилиб бўлган ҳолати унинг *тўйинган ҳолати* деб, бу ҳолатни олиш учун керак бўлган қўзғатиш токининг қиймати *тўйиниш токи* деб аталади. Ўзак магнитчаларининг ташқи магнитавий майдонга пропорционал равишда ортиб боровчи ҳолати ўзакнинг *тўйинмаган ҳолати* деб аталади. Қутбларда ҳосил бўлувчи магнитавий оқим Φ нинг магнит юритувчи куч F га боғланишини ифодаловчи $\Phi = f(F)$ эгри чизиги машинанинг магнитланиш характеристикаси деб юритилади (4—1- расм).



4—1- расм. Ўзгармас ток машинасининг магнитланиш характеристикаси.

Магнит юритувчи кучнинг миқдори ампер-ўрамлар сони билан ўлчаниб, ўзгармас ток машинаси учун унинг қиймати қўзғатувчи чулғамдаги токнинг чулғам ўрамлари сонига кўпайтмасидан аниқланади (агар $F = 100$ ампер-ўрам бўлса, у ҳолда 100 ўрамли чулғамдан 1 ампер токни ёки бир ўрамли чулғамдан 100 ампер токни ўтказиш мумкин). Ўзгармас ток машинасининг магнитавий занжири стапна, қутб ўзаги, қутб ўзаги билан якорь ўртасидаги ҳаво оралиғи, якорь ўзагининг тишли қисми ва якорь ўзагидан иборат бўлиб, булар турли магнитавий қаршиликларга эгадир. Булар орқали қутбларда ҳосил қилинган магнитавий оқимнинг асосий қисми Φ ўтиши керак. Якорь чулғамида ҳосил қилиниши лозим бўлган э. ю. к.

$E_{\text{я}}$ ни олиш учун $\Phi = \frac{E_{\text{я}}}{k_{\text{е}} n}$ магнитавий оқим зарур бўлади.

Бу магнитавий оқимни магнитавий занжирлардан ўтказиш учун зарур бўлган магнит юритувчи куч қиймати қуйидаги принципда ҳисобланади. Бунда 4—2- расмда кўрсатилган ўзгармас ток машинасининг магнитавий занжири, занжир қисмларининг кўндаланг кесими ва уларга тавсия қилинган магнитавий индукция қийматлари берилган бўлади.

Магнитавий занжирнинг ҳар бир қисми учун магнит юритувчи куч қиймати тула ток қонунини ифодаловчи қуйидаги формуладан аниқланади:

$$\sum Hl = \sum IW = F,$$

бунда H — магнитавий майдоннинг кучланганлиги, $\frac{A}{м}$;

l — магнитавий занжир қисмининг узунлиги ёки баландлиги, м;

I — қўзғатувчи чулғамдаги ток, А;

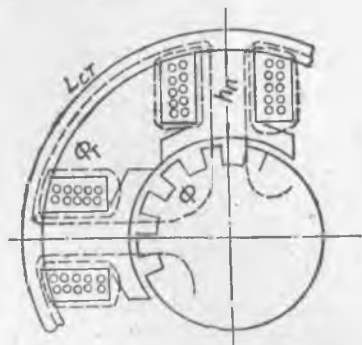
W — қўзғатувчи чулғамнинг ўрамлари сони.

Магнитавий занжир ҳар бир қисмининг узунлиги ёки баландлиги 4—2- расмдан аниқланади. Бу қисмлардаги магнитавий майдоннинг кучланганлиги эса магнитланиш эгри чизиғи $B = f(H)$ дан топилади.

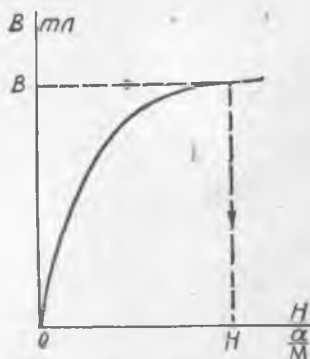
B нинг H га боғланишини ифодаловчи эгри чизиқ магнитланиш эгри чизиғи деб аталади. Электрик машиналар учун ишлатиладиган пўлат хиллари учун магнитланиш эгри чизиқлари справочникларда келтирилади. 4—3- расмда магнитавий занжирнинг ҳар бир қисмига тавсия этилган B лар билан магнитланиш эгри чизиғидан H ларни топиш кўрсатилган.

Шундай қилиб, магнитавий занжир ҳар бир қисмининг узунлиги l ни H га кўпайтириб магнит юритувчи куч $F = Hl$ аниқланади. Магнитавий занжирдаги ҳаво бўшлиғи учун $F_6 = 2 \frac{B_6}{\mu_0} \delta k_6$ бўлади, бунда F_6 — ҳаво бўшлиғидаги магнит юритувчи куч; 2 — магнитавий оқимнинг магнитавий занжир бўйича икки марта ҳаво бўшлиғидан ўтгани учун олинган коэффициент; $B_6 = (0,5 \div 1,1)$ — ҳаво бўшлиғига тавсия этилувчи магнитавий индукциянинг қиймати, Тл; $\mu_0 = 1,25$ — ҳаво бўшлиғи учун магнитавий сингдирувчанликнинг қиймати; δ — ҳаво бўшлиғининг узунлиги, м; $k_6 = 1,1 \div 1,3$ — якорь ўзаги тишли бўлгани учун ҳаво бўшлиғи катталашганлигини ифодаловчи коэффициент.

Шунга ўхшаш, қутб ўзаги учун магнит юритувчи куч $F_k = 2H_k h_k$ бўлиб, бунда H_k — қутб магнитавий майдонининг



4—2- расм. Ўзгармас ток машинасининг магнитавий занжири.



4—3- расм. Ферромагнит материалларнинг магнитланиш эгри чизиғи.

кучланганлиги; унинг қийматини қутб учун тавсия қилинган $B_k = (1,2 \div 1,6)$ Тл га биноан магнитланиш эгри чизигидан топилади; h_k — қутб ўзагининг баландлиги. Станина учун $F_{ст} = H_{см} \cdot L_{ст}$. Бунда ҳам, $H_{ст}$ нинг қиймати станина учун тавсия қилинган $B_{ст} = (1 \div 1,4)$ Тл га биноан топилади. Якорь ўзагининг тишли қисми учун $F_{тиш} = 2H_{тиш} \cdot h_{тиш}$. Бунда $H_{тиш}$ қиймати якорьнинг тишли қисми учун тавсия қилинган $B_{тиш} = (1,8 \div 2,3)$ Тл га биноан топилади. Якорь ўзаги учун $B_y = H_y L_y$. Бунда H_y қиймати якорь ўзаги учун тавсия қилинган $B_y = (0,8 \div 1,3)$ Тл га биноан топилади.

Шундай қилиб, машинанинг магнитавий занжиридан бир жуфт қутбга тегишга магнитавий оқимни ўтказиш учун зарур бўлган магнит юритувчи кучнинг қиймати қуйидагича аниқланади:

$$F = F_b + F_k + F_{ст} + F_{тиш} + F_y.$$

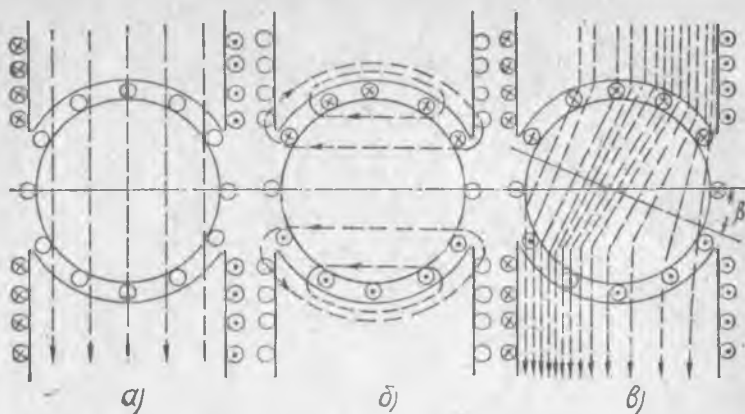
Жуфт қутблар сони p бўлган ўзгармас ток машинасидаги магнит юритувчи кучнинг тўла қиймати $F_{тўла} = F \cdot p$ бўлади. Магнит юритувчи куч ҳисобланганидан сўнг машинанинг магнитланиш характеристикаси $\Phi = f(F)$ ни қуриш мумкин.

4—2. Якорь реакцияси

Ўзгармас ток машинасининг нагрузкаси, яъни салт иш режимида унинг қутбларидаги магнитавий майдон фақат кўзга тувчи чулғамга берилган токдан ҳосил бўлади. Нагрузка билан ишлаётган машинада эса якорь чулғамининг токли ўтказгичлари атрофида ҳам магнитавий майдон пайдо бўлиб, бу майдон қутблардаги асосий магнитавий майдонга таъсир қилиши мумкин. Якорь магнитавий майдонининг қутблардаги асосий магнитавий майдонга таъсири якорь реакцияси деб аталади.

4—4- расмда b — салт иш режимида машина қутбларида ҳосил бўлган асосий магнитавий майдон; b — якорь чулғамининг токли ўтказгичлари атрофида ҳосил бўлган магнитавий майдон ва σ — машина қутбларидаги асосий магнитавий майдонга якорь магнитавий майдоннинг таъсири натижасида ҳосил бўлган умумий магнитавий майдон кўрсатилган.

Машина қутбларининг бир чеккасида якорь магнитавий майдонни асосий магнитавий майдон томон йўналиб, умумий майдонни зурайтирса, унинг бошқа чеккасида эса тескари йўналиб, уни заифлаштиради. Қутб ўзагининг тўйиниб қолиши сабабли унинг бир чеккасидаги магнитавий майдоннинг зурайишига нисбатан иккинчи чеккасида заифлашиши кўпроқ бўлади. Демак, якорь реакцияси натижасида машинанинг умумий магнитавий майдонни бир оз камаяди. Бундан ташқари, умумий магнитавий майдоннинг ўқи қутб ўқларига нисбатан



4—4- расм. Якорь реакции.

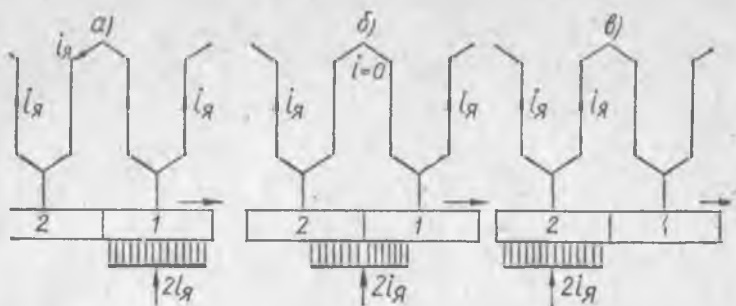
бирор β бурчакка бурилиб қолади. Бунда қутб магнитавий майдонининг зўрайган томони остидаги чулғам секцияларида коллектор пластинкалари орасидаги изоляцияга хавфли булган катта э. ю. к. ҳосил бўлиши мумкин. Якорь марказидан умумий магнитавий майдон уқига перпендикуляр ўтказилса, магнитавий индукция нолга тенг булган ва геометрик нейтралга нисбатан β бурчагига бурилган нейтрал чизиқ олинади. Бу нейтрал чизиқ физикавий нейтрал деб аталади. Физикавий нейтралнинг ҳолати генераторда геометрик нейтралга нисбатан β бурчагига якорь айланиши томон бурилиб олинса, моторда эса якорь айланишининг тескари томонига бурилиб олинади. Машинанинг салт иш режимида физикавий нейтрал геометрик нейтралга мос, яъни $\beta = 0$ бўлса, нагрузканинг кўпайиши билан эса физикавий нейтралнинг геометрик нейтралга нисбатан бурилиш бурчаги β нинг қиймати ортиб боради. Шунга биноан, нагрузка ўзгариши билан чўтканинг ҳолати генераторда якорь айланиши томон, моторларда эса тескари томонга турли β бурчакларига бурилиши лозим.

Амалда, чўтканинг учқунланиш энг кам бўлгандаги ҳолати унинг физикавий нейтралда бўлган ҳолати ҳисобланади.

4—3. Ўзгармас ток машинасининг коммутацияси

Ўзгармас тезлик билан айланаётган якордаги коллектор пластинкалари қўзғалмас ҳолатдаги чўткадан сирғалишиб ўтиб, у билан кетма-кет контактда бўлиб туради.

4—5- расмда чўтка билан коллекторнинг: *а* — фақат биринчи пластинкаси; *б* — биринчи ва иккинчи пластинкаси ва *в* — фақат иккинчи пластинкаси контактда бўлган, яъни чулғам секциясининг коммутация бошланишидаги, ўртасидаги ва тугалланганидаги ҳолатлари кўрсатилган. 4—5- расм, *б* га биноан



4—5- расм. Тўғри чизикли коммутация даврида қисқа туташган секциядаги токнинг ўзгариши.

якорь чулғамининг биринчи ва иккинчи номерли коллектор пластинкалари билан туташган секцияси, бир дақиқа бўлса ҳам, чўтка орқали қисқа туташиб қолади. Шу билан бирга, чўтканинг 4—5- расм, *а* даги ҳолатида коллекторнинг биринчи ва иккинчи пластинкаларига туташган секция якорь чулғамининг бирор параллел шохобчасига тегишли бўлади, 4—5- расм, *в* даги ҳолатида эса чулғамнинг бошқа параллел шохобчасига тегишли бўлиб қолади. Чўтканинг коллектор бир пластинкасида иккинчисига ўтиши натижасида секциянинг бирор параллел шохобчадан иккинчисига ўтиб қолиши ва бу секциянинг қисқа туташиб қолишидаги процесслар биргаликда коммутация деб аталади. Даставвал, қисқа туташган секциянинг магнитавий индукция ноль, яъни $B = 0$ бўлган пазларга жойлашган деб фараз қилиб, коммутация процесси текширилади. Бунда 4—5- расм, *а* га биноан, параллел шохобчадаги ток $i_я$ деб олинса, коллекторнинг биринчи пластинкасига иккита параллел шохобчанинг учлари улангани сабабли чўткага келадиган токнинг қиймати $2i_я$ бўлади. Чўтканинг 4—5-расм, *б* даги ҳолатига биноан қисқа туташиб қолган секцияда $B = 0$ бўлгани учун унда э. ю. к. ва, демак, ток ҳам ҳосил бўлмайди.

Чўтканинг 4—5- расм, *в* даги ҳолатида эса 1 ва 2- номерли коллектор пластинкалари билан уланган секция бошқа параллел шохобчага тегишли бўлиб қолгани сабабли ундаги ток тескари йўналишга эга. Демак, коммутация даврида қисқа туташган секциядаги токнинг йўналиши ва қиймати $+i_я$ дан $-i_я$ гача ўзгаради. Қисқа туташган секцияда токнинг кескин ўзгариши сабабли унда ўзиндукция ёки реактив деб аталувчи э. ю. к. e_p ҳосил бўлади. Бу реактив э. ю. к. Ленц принципа биноан, қисқа туташган секциядаги токнинг ўзгаришига тескари таъсир кўрсатади. Қисқа туташган чулғамга реактив э. ю. к. дан ташқари коммутацияловчи э. ю. к. e_k ҳам таъсир этиши мумкин. Қутблардаги асосий магнитавий оқимнинг

қисқа туташган секция билан кесилиши натижасида ҳосил бўлган э. ю. к. коммутацияловчи э. ю. к. деб аталади. Коммутация даврида қисқа туташган секциядаги ток i нинг ўзгариш қонунини аниқлаш мақсадида даставвал унинг йўналишини 4—6- расм, а даги сингари бўлади деб, қисқа туташган секцияга таъсир этувчи э. ю. к. лар йиғиндисини нолга тенг, яъни $e_k + e_p = 0$ ва чўтканинг кенглиги коллектор пластинкасининг кенглигига тенг бўлади деб қабул қилинади. Агар чўтка билан коллекторнинг биринчи пластинкаси орасидаги ўткинчи қаршилиқни r_1 иккинчиси орасидагини r_2 деб олинса, у ҳолда бу қаршилиқлар билан контакт юзалари F_1 ва F_2 лар қуйидаги пропорцияга эга бўлади, яъни $\frac{r_1}{r_2} = \frac{F_2}{F_1}$. 4—6- расм, а га биноан F_1 нинг қиймати коммутация бошланганидан сўнг ўтган вақт t га пропорционал, яъни $F_1 \equiv t$ деб қабул қилинса, F_2 нинг қиймати $F_2 \equiv T - t$ бўлади, бунда T — коммутация даври.

Чўтканинг коллектор бир пластинкасидан иккинчисига ўтиш учун кетган вақт коммутация даври деб аталади ва T ҳарфи билан белгиланади.

4—6- расм, а да кўрсатилган i_1 ва i_2 токлари учун қуйидаги пропорцияларни тузиш мумкин:

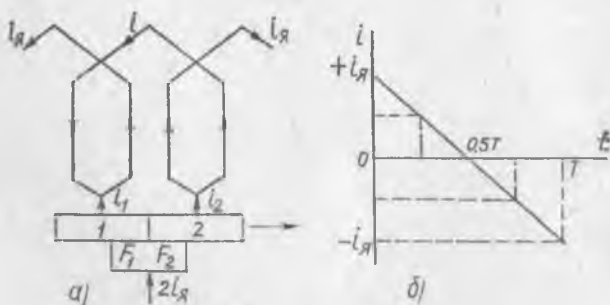
$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{F_1}{F_2} = \frac{t}{T-t}, \quad (4-1)$$

бунда $i_1 = i_{\text{я}} - i$ ва $i_2 = i_{\text{я}} + i$ бўлгани учун уларнинг қийматини 4—1- пропорцияга қўйиб, қуйидаги тенглама олинади:

$$\frac{i_{\text{я}} - i}{i_{\text{я}} + i} = \frac{t}{T-t}.$$

Бу тенгламани i га нисбатан ечиб, коммутация даврида қисқа туташган секциядаги токнинг ўзгариш қонуни қуйидагича аниқланади:

$$i = i_{\text{я}} \frac{T-2t}{T} [A]. \quad (4-2)$$



4—6- расм. Ҳўғри чизикли коммугация:

а — коммутация даврида қисқа туташган секциядаги токнинг йўналиши; б — унинг ўзгариш графиги.

Демак, бу тенгламага бинноан, коммутация даврида қисқа туташган секциядаги ток i тўғри чизиқ бўйича ўзгарар экан.

4-6-расм, б да $i=f(t)$ графиги кўрсатилган. Бу графикни қуриш учун (4-2) тенгламадаги t нинг ўрнига 1-жадвалда келтирилган турли қийматларини қўйиб, унга тегишли тоқлар аниқланади.

1-жадвал

t	0	0,25 T	0,5 T	0,75 T	T
i	i_a	0,5 i_n	0	-0,5 i_n	$-i_a$

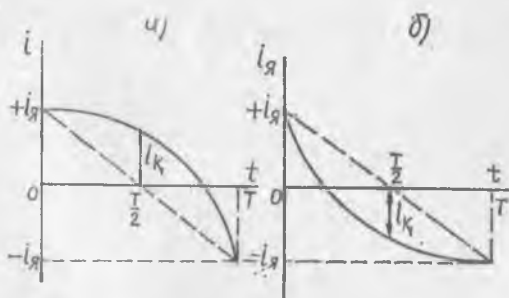
Коммутация даврида қисқа туташган секциядаги ток тўғри чизиқ бўйича ўзгаргани учун уни тўғри чизиқли коммутация деб аталади.

Демак, $e_k + e_p = 0$ бўлганда тўғри чизиқли коммутация олинади. Бунда чўткалар остидаги ток зичлиги бир хил бўлиб, учқунланиш бўлмайди. Шу сабабли тўғри чизиқли коммутация яхши ва енгил вазиятда ўтувчи коммутация ҳисобланади. Аммо бундай коммутацияга эришиш жуда қийин ва мураккаб масаладир. Амалда $e_k + e_p$ нолга тенг бўлмайди ва натижада эгри чизиқли коммутация олинади. Агар $e_k < e_p$ бўлса, у ҳолда e_p таъсирида қисқа туташган секциядан қўшимча ток i_k ўтиб, бу секциядаги умумий токнинг ўзгариши секинлашади, бунда секинлашган коммутация олинади (4-7-расм, а).

Агар $e_p < e_k$ бўлса, у ҳолда e_k таъсирида қўшимча ток i_k пайдо бўлиб, қисқа туташган секциядаги умумий токнинг ўзгариши тезлашади, бунда тезлашган коммутация олинади (4-7-расм, б).

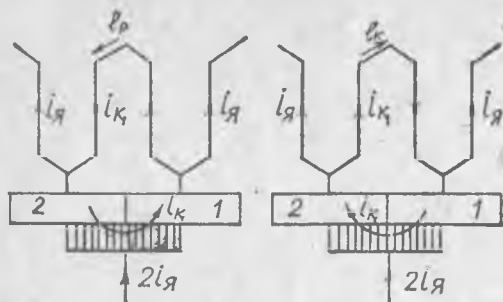
Қўшимча токнинг содир бўлиши билан секинлашган коммутацияда чўтка остининг ўнг томонида, тезлашган коммутацияда эса чўтка остининг чап томонида учқунланиш зўраяди. Эгри чизиқли коммутацияларни яхшилаш учун қуйидаги ифодадан аниқланувчи қўшимча ток қийматини камайтириш зарур:

$$i_k = \frac{e_k + e_p}{R_{r1} + R_{r2}} = \frac{\Sigma e}{\Sigma R}.$$



4-7-расм. Эгри чизиқли коммутация:

а — секинлашган, б — тезлашган коммутациялар.



4—8- расм. Генераторнинг қўшимча қутбларидаги N ва S ларнинг асосий қутбникига нисбатан жойлашиш тартиби.

Демак, қўшимча ток қийматини камайтириш учун $\sum e$ ни нолгача камайтириш ёки катта қаршиликли чўткалардан фойдаланиш лозим. Катта қаршиликли чўткалардан кичик қувватли машиналарда фойдаланиш мумкин, катта қувватлиларда эса чўтканинг ўта қизиши сабабли, фойдаланиш мумкин эмас. Коммутацияни яхшилаш учун кўпинча $\sum e$ нинг қийма-

тини нолгача камайтириш усулидан фойдаланилади.

Қисқа туташган секцияга таъсир этувчи $\sum e = e_k + e_p$ қийматини нолгача камайтириш учун коммутация зонасида шундай магнитавий майдон яратиш керакки, ундан ҳосил бўлган e_k нинг қиймати e_p га тенг, йўналиши эса унга тескари бўлсин. Бунинг учун ҳозирги замон машиналарида қўшимча қутб қўлланилади. Қўшимча қутб ўзагининг кўндаланг кесими асосий қутбникига нисбатан анча кичик бўлади. Бу қутб ўзагига ўрнатилган чулғам якорь чулғамига кетма-кет уланади. Бунда қўшимча қутбнинг шимолий ва жанубий томонлари асосий қутбникига нисбатан қуйидаги, яъни генераторларда $N-s$ — $S-n$, моторларда эса $N-n$ — $S-s$ тартибда жойлашиши керак.

Қўшимча қутб чулғамидан нагрузка токнинг ўтиши сабабли унда ҳосил бўлган магнитавий майдоннинг қиймати якорь токига пропорционал равишда ўзгариб туради. Шунга биноан, қўшимча қутбда ҳосил бўладиган магнитавий майдон якорда ҳосил бўладиган магнитавий майдонга тескари йўналтирилиб даставвал якорь реакциясининг таъсирини йўқотиш имкони олинади. Агар қўшимча қутбда $\Phi_k = \Phi_n + \Phi_k$ қийматли магнитавий оқим ҳосил қилинса, у ҳолда якорь реакцияси таъсирини йўқотиш билан бирга коммутация зонасида Φ_k га тенг бўлган магнитавий оқим ҳосил қилинади. Бунинг натижасида $\sum e$ қийматини нолгача камайтирилиб, коммутация яхшиланади, яъни тўғри чиқиқли коммутация ҳосил қилинади. Қўшимча қутбга эга бўлган машиналарда нагрузка ўзгариб туришига қарамай чўтканинг ҳолати ўзгартирилмайди.

Катта қувватли машиналарда якорь реакцияси таъсирини йўқотиш учун компенсацияловчи чулғам қўлланилади. Бу чулғам асосий қутб ўзакларига ўрнатилиб, якорь чулғамига кетма-кет уланади. Компенсацияловчи чулғамдан нагрузка токи

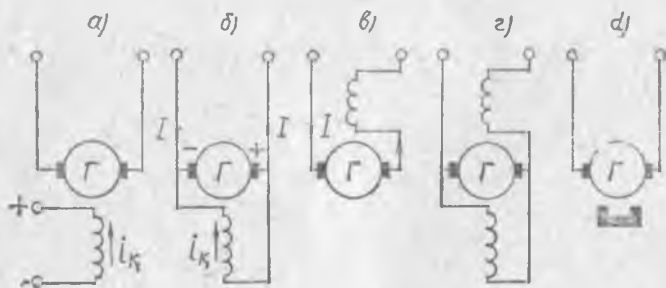
ўтганда унда якорь токига пропорционал бўлган магнитавий майдон ҳосил қилинади. Бу чулғамдаги магнитавий майдонни якорь магнитавий майдонига тескари йўналтириб, якорь реакция таъсирини турли нагрузкаларда ҳам автоматик равишда йўқотиш имкони олинади. Аммо компенсацияловчи чулғамга эга машиналарнинг конструкцияси бирмунча мураккаб бўлгани учун улар қимматга тушади.

У Б О Б. ЎЗГАРМАС ТОК ГЕНЕРАТОРЛАРИ

5—1. Умумий тушунчалар

Электр машинасининг ишлаши учун зарур бўлган магнитавий майдон ҳосил қилиш усулига кўра ўзгармас ток машиналари электромагнит ва доимий магнит билан қўзғатиловчи машиналарга бўлинади. Доимий магнит билан қўзғатиловчи машиналар магнито-электрик машина деб ҳам аталади. Бундай машиналар жуда кам учрайди, улар асосан тахогенератор ва шу сингари махсус машиналар сифатидагина ишлатилади.

Электромагнит билан қўзғатиловчи машиналар қўзғатувчи чулғамининг уланиш схемасига кўра мустақил ва ўз-ўзидан қўзғатишли ўзгармас ток генераторларига бўлинади. Агар генераторнинг қўзғатувчи чулғами ташқи ток манбандан таъминланса, мустақил, ўз якорида таъминланганда эса ўз-ўзидан қўзғатишли генератор олинади. Ўз-ўзидан қўзғатишли генераторлар ўз навбатида параллел (шунт), кетма-кет (серпес) ва аралаш (компаунд) қўзғатишли генераторларга бўлинади. Параллел қўзғатишли генераторда қўзғатувчи чулғам якорь чулғамига параллел уланса, кетма-кетликда кетма-кет уланади, аралашликда эса қўзғатувчи чулғам иккита бўлиб, уларнинг бири якорь чулғамига параллел, иккинчиси кетма-кет уланади. 5—1-расмда: *a*—мустақил; *b*—параллел; *в*—кетма-кет; *г*—аралаш ва *d*—ўзгармас магнит билан қўзғатишли генера-



5—1- расм. Генераторларнинг принцинал схемаси.

торлар улаишининг принцинал схемалари кўрсатилган. 5—1-рasm, d даги генератор схемасида қўзғатувчи чулғам бўлмаганлиги сабабли унинг ўрнида ўзгармас магнит белгиси кўрсатилган.

Генераторнинг ишлаш процессида унинг якориь чулғамида $E_a = k_E n \Phi$ га тенг бўлган э. ю. к. ҳосил бўлади. Э. ю. к. ҳосил бўлган якориь чулғамига нагрузка сифатида бирор электр истезмолчиси уланса, у ҳолда якориь занжиридан нагрузка токи I_a ўтади.

Бунда якориь занжири учун э. ю. к. ларнинг қуйидаги мувозанат тенгламасини тузиш мумкин:

$$E_a = I_a R_a + I_a \sum R = U + I_a \sum R, \quad (5-1)$$

бунда $U = I_a R_a$ — генератор қисмаларидаги кучланиш (нагрузкада кучланишининг тушуви):

$I_a \sum R = I_a (R_a + R_k + R_k + R_c + R_d)$ — тегишлича якориь, қушимча қутб, компенсацияловчи ва кетма-кет чулғам ҳамда чулка қаршиликларида кучланишининг тушуви.

Агар якориь чулғамига нагрузка уланмаса, у ҳолда $I_a = 0$ бўлади. Генераторнинг нагрузкасииз, яъни $I_a = 0$ билан ишлаш режими салт иш режими деб аталади. Демак, салт иш режимида генератор кучланиши унинг якорида ҳосил бўлган э. ю. к. га тенг, яъни $U = E_a$ бўлади. Нагрузка берилиши билан генератор кучланиши якоридаги э. ю. к. га нисбатан $I_a \sum R$ ҳисобига кам, яъни

$$U = E_a - I_a \sum R$$

бўлади. Генераторни ишлатиш учун, даставвал, унинг якори-ни бирламчи мотор билан керакли частотада айлантририш зарур. Бунда генератор валига таъсир этувчи моментларнинг мувозанат тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

$$M_1 = M_o + M_{эм}, \quad (5-2)$$

бунда M_1 — бирламчи-моторнинг айлантрирувчи моменти;

M_o — салт иш моменти (нагрузкасииз ишлаётган генератор якорини айлантриришда механикавий ишқаланишларга сарфланадиган момент);

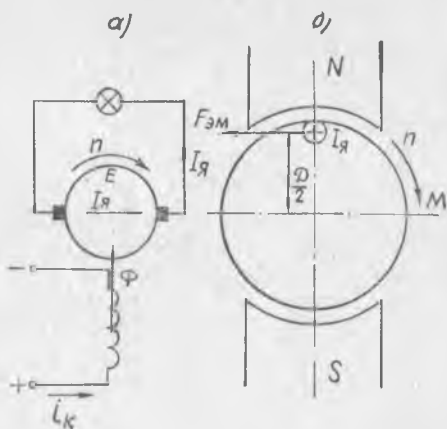
$M_{эм}$ — электромагнитавий момент (нагрузка билан ишлаётган генераторда ҳосил бўлувчи момент).

Генератор электромагнитавий моментининг ифодаси қуйидагича аниқланади. Нагрузка билан ишлаётган генератор чулгамининг ҳар бир параллел шохобчасидан $i_a = \frac{I_a}{2a}$ га тенг бўл-

ган ток утади. Якорнинг бу токли ўтказгичларига асосий қутбдаги магнитавий оқим таъсир этиши натижасида электромагнитавий куч $F_{эм}$ ҳосил бўлади. 5—2- расмда якорнинг ҳар бир токли ўтказгичига таъсир этувчи электромагнитавий куч кўрсатилган.

Бу кучнинг қиймати $F_{эм} = B_{ур} i_a l$ бўлиб, унинг йўналиши чап қўл қондасига биноан аниқланади.

Демак, якорь ўтказгичларига таъсир этувчи электромагнитавий момент ифодасини қуйдагича ёзиш мумкин:



5—2- расм. Генераторда ҳосил бўладиган электромагнитавий момент.

$$M_{эм} = F_{эм} \frac{D}{2} N = B_{ур} i_a l \frac{D}{2} N.$$

Бу тенгламада $i_a = \frac{I_a}{2a}$, $D = \frac{2p\tau}{\pi}$ ва $B_{ур} l \tau = \Phi$ бўлгани учун уни қуйдагича ифодаланади:

$$M_{эм} = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_a = k_m \Phi I_a, \text{ Нм}, \quad (5-3)$$

бунда $k_m = \frac{pN}{2\pi a} = \text{const}$ — момент доимийси деб аталувчи ва машина параметрлари билан аниқланувчи ўзгармас коэффициент. Генератордаги электромагнитавий моментнинг қиймати қутблардаги магнитавий оқим Φ билан якорь токи I_a га пропорционал бўлиб, унинг йўналиши бирламчи моторнинг айлантирувчи моментига тескари бўлади (5—2-расм). Шунинг учун генераторда ҳосил бўладиган электромагнитавий момент тор-моз momenti деб ҳам аталади.

Генераторнинг узок давр ичида нормал ишлашини таъминлайдиган режими унинг номинал режими деб аталади. Бу режим қуйдаги миқдорлар билан характерланади:

P_n , U_n , I_n ва n_n — тегишлича номинал қувват, кучланиш, ток ва айланиш частотаси. Бу номинал миқдорлар генераторнинг паспортида (шчитида) келтирилади.

Электрик машиналарнинг хусусиятлари графикавий усул билан ифодаланган, характеристика деб аталувчи боғланишлар билан аниқланади. Генераторнинг асосий характеристикалари қуйдагилардан иборат бўлиб, улар ўзгармас частота, яъни $n = \text{const}$ да олиниши керак.

1) Салт иш характеристикаси. Генератор кучланиши U_0 нинг унинг қўзғатувчи чулғамдаги қўзғатиш токи i_k га боғланишини ифодаловчи эгри чизиқ, яъни $U_0 = f(i_k)$ салт иш характеристикаси деб аталади. Бунда $I_a = 0$ ва $n = \text{const}$ бўлиши керак.

2) Нагрузка. характеристикаси. Генераторнинг нагрузка билан ишлаётган режимидаги $U = f(i_k)$ унинг нагрузка характеристикаси деб аталади. Бунда якорь токининг қиймати ўзгармас, яъни $I_a = I_n = \text{const}$ қилиб сақланиши ва $n = \text{const}$ бўлиши керак.

3) Ташқи характеристика. Нагрузка билан ишлаётган генератор кучланишининг якорь токига боғланишини ифодаловчи эгри чизиқ, яъни $U = f(I_a)$ генераторнинг ташқи характеристикаси деб аталади. Бунда $R_p = \text{const}$ қўзғатиш токини ростлаб туриш учун киритилган резистор қаршилиги ва $n = \text{const}$ қилиб сақланиши керак.

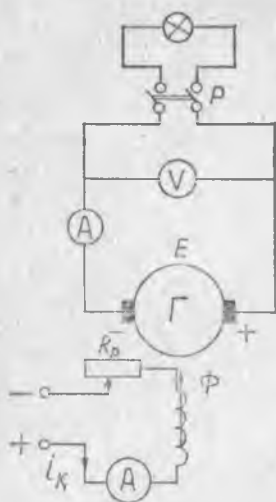
4) Ростлаш характеристикаси. Нагрузка билан ишлаётган генератордаги $i_k = f(I_a)$ боғланиш ростлаш характеристикаси деб аталади. Бунда нагрузка токи I_a нинг ўзгаришига қарамай, генератор кучланиши ўзгармас, яъни $U = U_n = \text{const}$ ва $n = \text{const}$ бўлиб қолиши керак.

5 — 2. Мустақил қўзғатишли ўзгармас ток генератори ва унинг характеристикалари

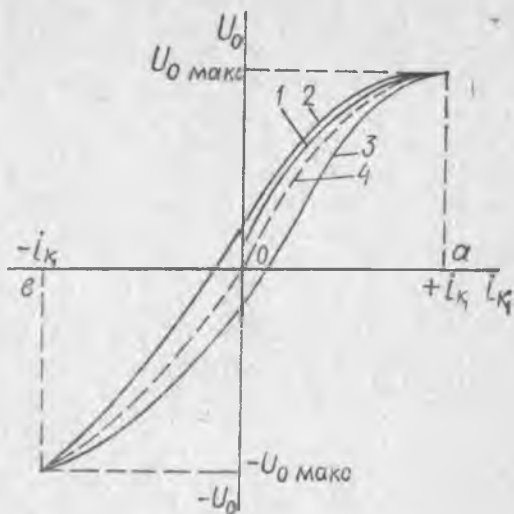
5 — 3-расмда мустақил қўзғатишли ўзгармас ток генераторининг уланиш схемаси кўрсатилган. Бунда қўзғатувчи чулғам занжирига киритилган ростлаш резистори R_p билан қўзғатиш токи i_k ва, демак, машинанинг асосий магнитавий оқими Φ ни ростлаш мумкин. Генераторнинг қўзғатувчи чулғамига бериладиган ўзгармас токни аккумулятор, турли типдаги статикавий тўғрилагичлар ёки қўзғатгич деб аталувчи ўзгармас ток машинаси каби мустақил ток манбаларидан олинади.

Салт иш характеристикаси. 5 — 4-расмда кўрсатилган салт иш характеристикаси $U_0 = f(i_k)$ ни ҳосил қилиш учун нагрузкасиз генераторнинг якори ўзгармас частота билан айлантирилиб, унинг қўзғатувчи чулғамдаги токнинг қиймати $+i_k = 0$ а гача аста-секин кўпайтирилади. Бунда кучланишнинг қиймати $U_0 \approx 1,15 U_n$ гача ўзгариб, I эгри чизиқ олинади. Қўзғатиш токини $i_k = 0$ гача камайтириб бу токнинг йўналиши ўзгартирилади ва сўнгра унинг қийматини $-i_k = 0$ в гача кўпайтирилади.

Натижада эгри чизиқли характеристика 2 олинади. Қўзғатиш токини кўпайтириш билан характеристиканинг I эгри чизигини олиш вақтида машина қутбларидаги қолдиқ магнетизмнинг кўпайиб қолгани сабабли 2 эгри чизиги 1 га нисбатан



5 — 3- расм. Мустақил қўзғатишли генераторнинг уланishi схемаси.



5 — 4- расм. Мустақил қўзғатишли генераторнинг салт иш характеристикаси.

юқорироқ жойлашади. Шунга ухшаш, қўзғатиш токини $-i_K = Oa$ дан $+i_K = Oa$ гача ўзгартириб характеристиканинг 3 эгри чизиги олинади. Салт иш характеристикасининг 2 ва 3 эгри чиқиқларидан ҳосил бўлган сиртмоқ гистерезис сиртмоғи деб аталади. Гистерезис сиртмоғининг ўртасидан ўтказилган 4 эгри чизиги эса ҳисоблашларда қўлланиладиган салт иш характеристикаси дейилади. Салт иш характеристикасининг тўғри чизиги қисми машина магнит системасининг тўйинмаган, унинг эгри чизиги қисми эса тўйинган ҳолатига тааллуқлидир. Демак, салт иш характеристикаси, бошқа масштабда, машинанинг магнитланиш характеристикасини ифодалаб, ундан машинанинг магнитавий занжири хусусиятларини аниқлашда фойдаланиш мумкин.

Нагрузка характеристикаси. Генераторнинг 5 — 5-расмдаги 1 эгри чиқиқ билан курсатилган $U = f(i_K)$ нагрукка характеристикаси $I_n = I_n = \text{const}$ бўлган нагрукка токида олингани сабабли 1 эгри чиқиқ салт иш характеристикаси 2 га нисбатан пастда жойлашади. Қўзғатиш токини камайитириш билан нагрукка токи I_n ни ўзгартирмай сақлаш учун нагрукка қаршилиғи R_n ни камайитириш лозим.

5 — 5-расмда курсатилган 1 ва 2 эгри чиқиқлардан фойдаланиб, реактив ёки характеристик деб аталувчи учбурчакликларни қуриш мумкин. Бу учбурчакликлар орқали нагрукка токининг ортиши билан генератор кучланишининг пасайиши

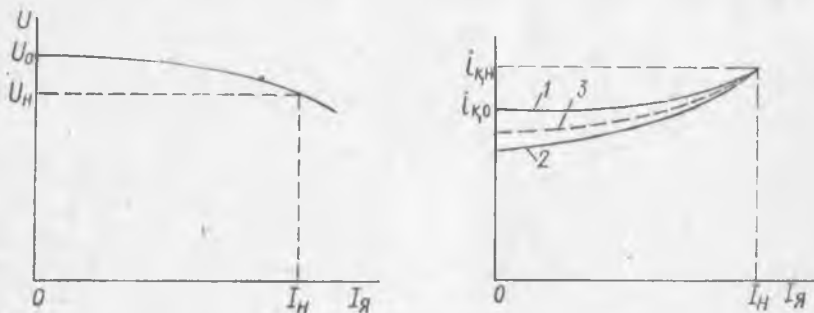
ва $i_k = i_{kн}$ булиши лозим. Сунгра қўзғатувчи чулғам занжиридаги резистор қаршилиги R_p ни ўзгартирмай, нагрузка токи қийматини нолгача камайтирилади ва $U = f(I_n)$ ни қуриш учун керакли кўрсаткичлар олинади. 5 — 6- расм, *a* да кўрсатилган ташқи характеристикадан кўриниб турибдики, нагрузка токининг ортиб бориши билан кучланиш камайиб боради. Ҳақиқатан, нагрузка токнинг ортиши билан $I_n \sum R$ нинг кўпайиши, якорь реакцияси магнитсизлантириш таъсирининг зўрайиши ва демак, э. ю. к. E_y нинг камайиши содир бўлиб, кучланиш қиймати камайиб боради.

Ташқи характеристика қаттиқлигини, яъни унинг абсцисса ўқиға бўлган эгилиш қиймати ΔU_n ни қуйидагича аниқланади:

$$\Delta U_n \% = \frac{U_0 - U_n}{U_n} 100. \quad (5 - 4)$$

Мустақил қўзғатишли ўзгармас ток генераторлари учун $\Delta U_n = (5 + 10) \%$ бўлади.

Генераторнинг рoстлаш характеристикаси. Нагрузка ўзгаришиға қарамай, кучланиш қийматини бир меъёрда, кўпинча, $U = U_n = \text{const}$ қилиб сақлаш ёки маълум қонуният билан ўзгартариш учун қўзғатиш токи i_k нинг қийматини ўзгартариш қонунини аниқлайдиган $i_k = f(I_n)$ ни генераторнинг рoстлаш характеристикаси дейилади. Бунда ҳам $n = \text{const}$ бўлиши лозим. 5 — 6- расм, *b* да мустақил қўзғатишли генераторнинг рoстлаш характеристикаси кўрсатилган. Бу характеристикани олиш учун, даставвал генераторда номинал кучланиш ва унга тегишли номинал ток ҳосил қилинади. Агар нагрузка токи нолгача камайтирилса, у ҳолда генератор кучланиши 5 — 6- расм, *a* да кўрсатилгани сингари қонунда ўзгаради. Нагрузка токини камайтириш билан кучланиш қийматини $U = U_n = \text{const}$ қилиб сақлаш учун қўзғатиш токи i_k ни маълум қонун бўйича камайтириш кифоя. Демак, i_k нинг камайиш қонуни ташқи характеристикадаги кучланиш кўпайиш

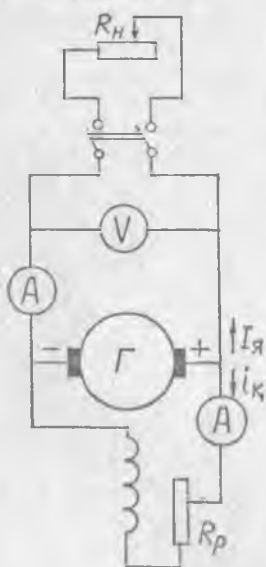


5—6- расм. Мустақил қўзғатишли генераторнинг:
a — ташқи ва *b* — рoстлаш характеристикалари.

қонуининг тескариси бўлади. Ўзгармас ток генераторининг мустақил қўзғатишли схемада ишлаши учун ўзгармас ток манбаининг зарур бўлиши унинг асосий камчилиги ҳисобланади.

5 — 3. Параллел қўзғатишли генератор ва унинг характеристикалари

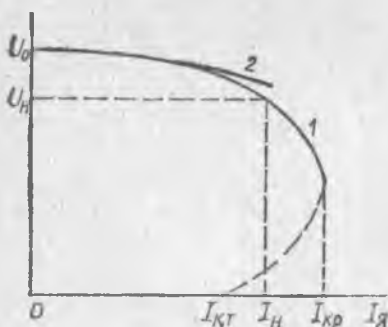
Ўзгармас ток манбаи бўлмаган ҳолларда мустақил қўзғатишли ўзгармас ток генераторини параллел қўзғатишли принципда ишлатиш мумкин. Параллел қўзғатишли генераторнинг ишлаш принципи магнитлантирилган машина қутблари ва станинисида ҳосил бўладиган қолдиқ магнетизм $\Phi_{\text{қол}}$ га асосланади. $\Phi_{\text{қол}}$ нинг қиймати тўла магнитавий оқимнинг 2 + 3 процентини ташкил этади. 5 — 7-расмда параллел қўзғатишли генераторнинг уланиш схемаси кўрсатилган. Бунда қўзғатувчи чулғам учун ўзгармас ток манбаи сифатида шу генераторнинг якори хизмат қилади. Ҳақиқатан, машина қутбларидаги $\Phi_{\text{қол}}$ ўзгармас частотада айлантириладиётган якори билан кесилиши натижасида якори чулғамда кичик қийматли, яъни $E_{\text{қол}} = k_E n \Phi_{\text{қол}}$ га тенг бўлган э. ю. к. ҳосил бўлади. Бу э. ю. к. таъсирида якори чулғамига параллел уланган қўзғатувчи чулғам занжиридан кичик қийматли қўзғатиш токи $i_k = \frac{E_{\text{қол}}}{R_a + R_k + R_p}$ ўтиши мумкин. Агар бу қўзғатиш токидан



5—7- расм. Параллел қўзғатишли генераторнинг уланиш схемаси.

қутбларда ҳосил қилинган магнитавий оқимнинг $\Phi_{\text{қол}}$ га қўшилиши натижасида умумий магнитавий оқим кўпайса, у ҳолда генератор ўз-ўзидан қўзғатилиши мумкин. Ҳақиқатан, қутблардаги магнитавий оқимнинг кўпайиши билан якори чулғамда ҳосил булувчи э. ю. к. қиймат ҳам кўпаяди ва натижада қўзғатувчи чулғамдан ўтувчи токнинг қиймати кўпайиб, қутблардаги магнитавий оқимнинг қиймати яна ҳам кўпаяди. Бундай ўз-ўзини қўзғатиш процесси давомида якори чулғамда ҳосил булувчи э. ю. к. қиймати қутб ўзақларининг тўйиниши ва қўзғатувчи чулғам занжиридаги R_p билан чекланади.

Агар қўзғатувчи чулғамдаги токдан $\Phi_{\text{қол}}$ га тескари йўналган магнитавий оқим ҳосил бўлса, у ҳолда машина магнитсизланади ва, натижада, умумий магнитавий оқимнинг қиймати $\Phi_{\text{қол}}$ га нисбатан қамайиб машина ўз-ўзидан қўзғатилмайди. Бунда генераторни ўз-ўзидан қўзғатиш учун қўзғатувчи чулғамдаги



5 — 8- расм. Параллел қўзғатишли генераторнинг ташқи характеристикаси.

токнинг йўналишини ёки якорнинг айланиш йўналишини ўзгартириш керак. I_k нинг йўналишини ўзгартириш учун қўзғатувчи чулғам занжирининг якорга уланувчи $ш_1$ ва $ш_2$ учаларини ўзаро алмаштириш kifoya.

Агар генераторга нагрузка уланган бўлса, у ҳолда токнинг катта қисми якорь занжиридан ўтиб, қўзғатиш чулғамидан ўтувчи ток қиймати генераторни ўз-ўзидан қўзғатиш учун етарли бўлмайди. Демак, параллел қўзғатишли генераторни ўз-ўзидан қўзғатиш пайтида

унинг якорь занжири нагрузкадан ажратилган бўлиб, генератор нормал кучланишгача қўзғатилгандан сунг унга нагрузка берилиши мумкин.

Агар қўзғатувчи чулғам занжиридаги резистор қаршилиги катта бўлса, у ҳолда бу занжирда ҳосил булган токнинг қиймати кичик бўлиб, генераторни ўз-ўзидан қўзғатиш учун бу токнинг қиймати етарли бўлмайди. Бунда генераторни ўз-ўзидан қўзғатиш учун резистор қаршилиги нолгача камайтирилади.

Параллел қўзғатишли генераторнинг салт иш характеристикаси мустақил қўзғатишлиникидан фарқ қилмайди, ташқи характеристикаси эса кескин фарқ қилади. 5 — 8-расмда: 1 — параллел ва 2 — мустақил қўзғатишли схемадаги генераторларнинг ташқи характеристикалари курсатилган.

Параллел қўзғатишли генераторда ҳам нагрузка токнинг ортиб бориши билан кучланиш камайиб боради. Критик қиймат $I_{кр}$ ли токка эга генератор нагрузкаси яна купайтирилса, унинг кучланиши билан биргаликда якорь токнинг ҳам камайиши содир бўлади. Нагрузка қиймати қисқа туташигача купайтирилса, нагрузка токнинг қиймати қисқа туташиш токи $I_{кт}$ билан чекланади (5 — 8-расм).

Демак, параллел қўзғатишли генераторда нагрузка токнинг қисқа туташини қиймати $I_{кт} \leq I_n$ бўлса, мустақил қўзғатишлида эса $I_{кт} = (10 : 12) I_n$ бўлади.

Параллел қўзғатишли генератор нагрузкасининг ортиб бориши билан унинг кучланиши даставвал мустақил қўзғатишли генераторники сингари сабабларга биноан камайиб боради. Якорь чулғами қисқичларидаги кучланишнинг камайиши билан унга параллел уланган қўзғатувчи чулғамдаги токнинг қиймати ҳам камайиб боради. Бунинг натижасида э. ю. к. ва, демак, кучланишнинг қиймати яна камаяди. Мустақил қўзғатишли генераторда қўзғатиш токнинг қиймати генератор кучланишига боғлиқ бўлмайди, параллел қўзғатишли генераторда эса

$i_k = \frac{U}{R_k + R_p}$ бўлади, яъни унинг қиймати генератор кучланишига пропорционал равишда ўзгаради. Шу сабабли, параллел қўзғатишли генератор нагрукасининг қиймати номиналга нисбатан $I_{кр} = (2 \div 2,5) I_n$ марта кўпайиши мумкин. Агар нагрукка қиймати $I_{кр}$ га нисбатан бир озгина кўпайса, у ҳолда генератор кучланиши ўз-ўзидан кескин равишда нолгача камаяди. Бунда якорь токининг қисқа туташииш $I_{кт}$ қиймати фақат қолдиқ э. ю. к. билангина аниқланиб, $I_{кт} \approx I_n$ бўлади.

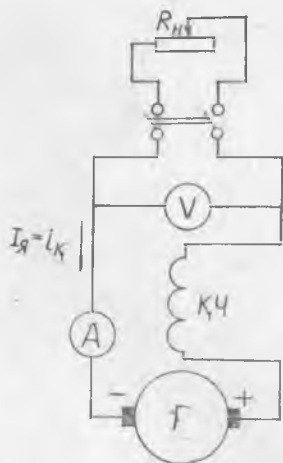
5 — 4. Кетма-кет қўзғатишли генератор ва унинг характеристикалари

5 — 9- расмда кетма-кет қўзғатишли генераторнинг уланиш схемаси кўрсатилган. Бунда қўзғатувчи чулғам якорь чулғамига кетма-кет улангани учун қўзғатиш токи i_k нинг қиймати нагруканинг ўзгаришига боғлиқ бўлиб, якорь токи I_a га тенг, яъни $i_k = I_a$ бўлади. Шу сабабли кетма-кет қўзғатишли генераторнинг хусусиятлари унинг фақат ташқи характеристикаси билан аниқланади. Бу генераторнинг бошқа характеристикаларини олиш учун унинг қўзғатиш чулғамини мустақил ток манбаига улаш даркор.

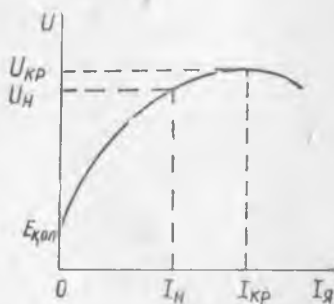
5 — 10- расмда кетма-кет қўзғатишли генераторнинг ташқи характеристикаси кўрсатилган.

Генераторнинг салт иш режимида унинг кучланиши қолдиқ э. ю. к. $E_{кол}$ билан аниқланади. Нагрукка берилиши билан қўзғатувчи чулғамдан $i_k = I_a$ токи ўтиб, генератор кучланиши ортиб боради. Генератор кучланишининг ортиб бориши

$i_k = I_a = I_{кр}$ гача давом этиб, қутб ўзақлари тўйинганидан сўнг эса нагрукка токининг кўпайиши якорь реакциясининг магнитсизлангириш таъсирини зўрайтириб, генераторнинг кучланишини пасайтиради. Кучланиш



5 — 9- расм. Кетма-кет қўзғатишли генераторнинг уланиш схемаси.



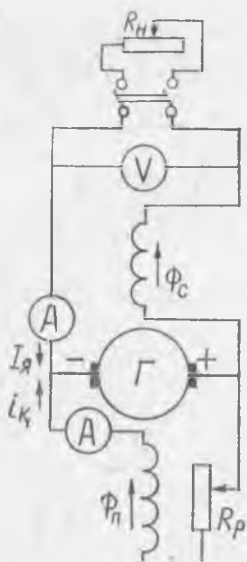
5 — 10- расм. Кетма-кет қўзғатишли генераторнинг ташқи характеристикаси.

қиймати нағрузка токига кескин боғлиқлиги сабабли кетма-кет қўзғатишли генераторлар кам ишлатилади.

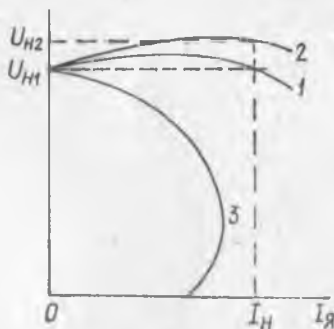
5 — 5. Аралаш қўзғатишли генератор ва унинг характеристикалари

Аралаш қўзғатишли генератор қутбларида иккита қўзғатувчи чулғам ўрнатилган бўлиб, улардан бири якорь чулғамига параллел, иккинчиси эса кетма-кет уланади. Бу қўзғатувчи чулғамлардаги токдан машина қутбларида ҳосил бўлган Φ_n ва Φ_c магнитавий оқимлар бир хил ёки қарама-қарши томонларга йўналиши мумкин. 5 — 11-расмда аралаш қўзғатишли генератор параллел ва кетма-кет қўзғатувчи чулғамларининг мос, яъни $\Phi = \Phi_n + \Phi_c$ бўлиб уланиш схемаси кўрсатилган. Одатда, бундай генераторнинг қўзғатувчи чулғамлари мос схемада уланади. Генераторнинг салт иш режимидаги номинал кучланиши унинг параллел қўзғатувчи чулғамдаги ампер ўрамлар билан аниқланиб, нағрузка сабабли кучланишнинг пасайган қисминигина компенсациялаш кетма-кет чулғамдаги ампер ўрамлар билан аниқланади.

5 — 12-расмда 1 эгри чизик билан аралаш қўзғатишли генератор қўзғатувчи чулғамларининг мос, 3 билан эса номос уланганидаги ташқи характеристикалари кўрсатилган. Кетма-кет чулғамнинг ўрамлари сонини кўпайтириш билан узатиш линиясидаги кучланиш тушувини ҳам компенсациялаш мумкин (5 — 12-расм, 2 эгри чизик). Аралаш қўзғатишли генератор, кўпинча, ўзгармас қийматли кучланиш олиш учун ишлатилади.



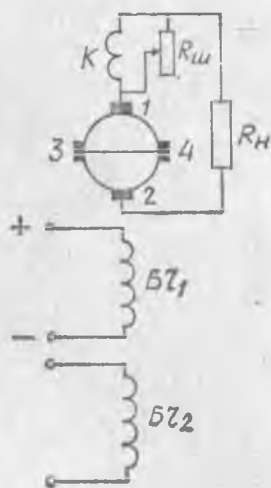
5—11- расм. Аралаш қўзғатишли генераторнинг уланиш схемаси.



5—12- расм. Аралаш қўзғатишли генераторнинг ташқи характеристикалари.

5 — 6. Электрик машинавий кучайтиргичлар

Кириш қисмига бериладиган кичик қийматли сигнални ўзгартириш йўли билан чиқиш қисмидан олинладиган катта қийматли сигнални бошқариш имконига эга бўлган прибор, аппарат ёки машина кучайтиргич деб аталади. Ўзгармас ток генератори ҳам кучайтиргичга мисол бўлиши мумкин. Бунда ўзгармас частота билан айлантириладиган генераторнинг қўзғатувчи чулғами кучайтиргичнинг кириш қисми бўлиб, якорь чулғами эса чиқиш қисми бўлади. Қўзғатувчи чулғам занжирдаги ток қийматини ўзгартириш йўли билан унга нисбатан 20 — 30 марта катта қийматли якорь (нагрузка) токини ростлаш мумкин. Демак, оддий ўзгармас ток машинасидан ҳам кучайтиргич сифатида фойдаланиш мумкин, аммо унинг қувват бўйича кучайтириш коэффициенти нисбатан кичик, яъни $k_p = \frac{P_{\text{чик}}}{P_{\text{кир}}} \approx 20 + 30$ бўлгани сабабли ундан кучайтиргич сифатида фойдаланилмайди. Кучайтиргичлар асосан автоматик системаларда ишлатилади. Бунда системанинг бирор элементининг чиқишидан олинладиган кичик қийматли сигнал унинг бошқа элементи киришига кучайтирилиб берилади. Электрик машинавий кучайтиргич сифатида, умуман, кўндаланг ва бўйлама магнитавий майдонли кучайтиргичлардан фойдаланилади. Амалда, кўпинча, кўндаланг магнитавий майдонли электрик машинавий кучайтиргичлар ишлатилади.



5—13- расм. Кўндаланг магнитавий майдонли электрик машинавий кучайтиргичнинг принципал схемаси.

Кўндаланг магнитавий майдонли электрик машинавий кучайтиргич (ЭМК) икки қутбلى ўзгармас ток машинаси каби конструкцияга ва ишлаш принципига эга бўлади. Бу қутбларга туртагача боқарувчи (қўзғатувчи), компенсацияловчи ва қўшимча қутб чулғамлари ўрнатилади. ЭМК нинг якори эса оддий ўзгармас ток машиналарииники сингари бўлиб, унинг коллекторига икки жуфт чўткалар ўрнатиш бўлади (5—13 расм, 1—2, 3—4). Оддий генераторларда якорь токидан ҳосил бўлган магнитавий оқимнинг кўндаланг қисми асосий магнитавий майдон куч чизикларини қийшайтириб, коммутация процессини ёмонлаштиради, ЭМК да эса якорь реакциясининг кўндаланг ўқ бўйича таъсиридан унинг кириш қисмига берилган сигнал кучайтирилади. Бунинг учун кўндаланг ўқлар бўйича ўрнатиш 3—4 чўткалар узаро қисқа туташтирилади. Агар якори ўзгармас частота билан айлантириладиган

ЭМК нинг бошқариш чулғамларидан бирига, масалан, БЧ₁ га кичик қийматли электрик сигнал берилса, у ҳолда бу токдан пайдо булган магнитавий оқим якорнинг 3 — 4 кўндаланг чўткалар билан қисқа туташтирилган чулғамда кичик қийматли э. ю. к., унинг таъсирида эса катта қийматли ток I_2 ҳосил қилади. Бу якорь токи I_2 дан кўндаланг магнитавий оқим Φ_2 , бундан эса 1 — 2 буйлама чўткалар ҳамда нагрузка билан туташган якорь чулғамда э. ю. к. ва, демак, I_2 га нисбатан бирмунча катта қийматли нагрузка токи I_3 ҳосил булади. Бу токдан ҳосил булган Φ_3 магнитавий оқим Φ_1 га тескари йуналиб, ЭМК ни магнитсизлантириши мумкин. Буйлама уқ буйича якорь реакциясининг магнитсизлантирувчи таъсирини йўқотиш мақсадида якорь чулғамига кетма-кет уланган компенсацияловчи чулғам K дан фойдаланилади. Якорь реакцияси таъсирини компенсациялаш даражасини ростлаш учун K чулғами $R_{ш}$ қаршилиги билан шунтланади. Шундай қилиб, ЭМК ни қувват буйича кучайтириш коэффиценти $k_p = 2000 + 10000$ ва ундан ҳам катта булиши мумкин. Бундай кучайтиргичлар, одатда, синхрон частотаси $3000 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ булган асинхрон моторлари билан айлантирилиб, ЭМК ва уни айлантирувчи мотор умумий корпусли қилиб тайёрланади. ЭМК лардан генератор, қўзғатгич ва ростлагич сифатида ҳам кенг фойдаланилади.

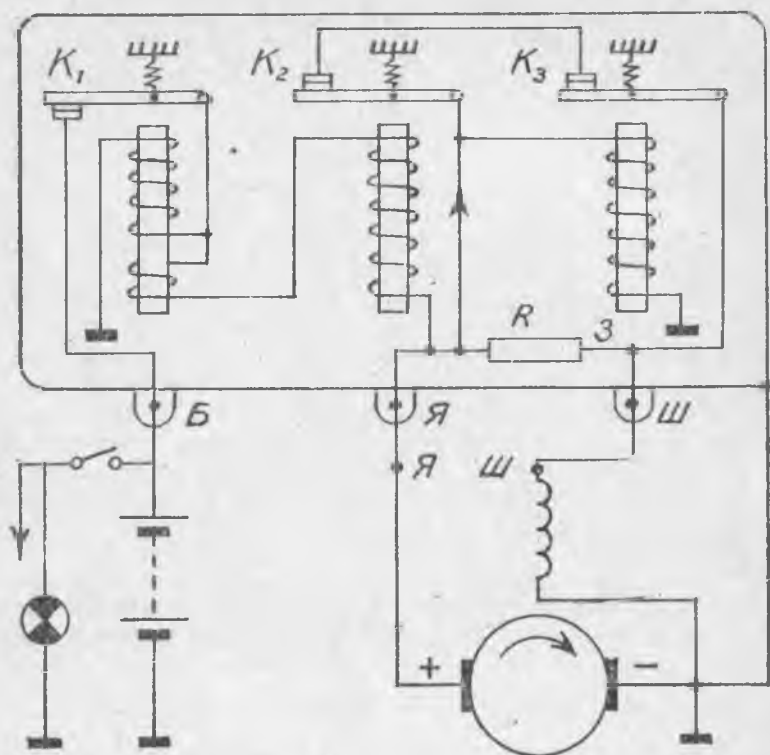
5 — 7. Автотрактор генераторлари ва стартерлари

Автотракторлардаги аккумулятор батареясини зарядлаб туриш ҳамда фара ва бошқа ёритгич лампаларни ўзгармас ток билан таъминлаш учун 12 — 24 вольтли генераторлардан фойдаланилади.

Ҳозир автотракторлар учун, кўпинча, ўзгармас ток генератори ўринга бирмунча қулай булган ўзгарувчан ток генераторлари ишлатилмоқда. Бу генераторлар ярим ўтказгичли ток тўғрилагичлари билан биргаликда чиқарилади.

Автотрактор моторларининг айланиш частоталари турлича, хусусан, тракторларники 1 : 3, автомобилларники эса 1 : 6 нисбатида ўзгариб туради. Шунга биноан автотрактор моторлари билан айлантириладиган генераторлар кучланишини ўзгартирмай номинал қийматда сақлаш учун махсус асбоб — реле-ростлагичлардан фойдаланилади. Реле-ростлагичлар орқали қўзғатиш токини автоматик равишда ўзгартириш йули билан генератор кучланиши қийматини ўзгартирмай сақлашга эришилади (5 — 14-расм).

Маълумки, автотракторларнинг электрик занжири бир симли булади. Иккинчи сим сифатида машинанинг металл корпуси (массаси)дан фойдаланилади. Бунда биринчи чўтка ва қўзғатиш чулғамининг бир томони генератор массасига, иккинчи чўткадаги + J ва реле-ростлагичнинг J қисмалари ўзаро, қўз-



5-14- расм. Автомобиль генераторининг реле-ростлагич билан ула-
нишининг принципиал схемаси.

ғатиш чулғамининг иккинчи Ш томонини эса реле-ростлагич-
нинг Ш (шунт) қисмасига уланади. Генератор айлантирилиши
билан ўз-ўзини қўзғатиш принципи асосида унинг якори чул-
ғамида қолдиқ э. ю. к. ҳосил бўлади. Бу э. ю. к. таъсирида
мусбат чўтка, реле-ростлагичнинг Я қисмаси, нормал берк
K₂ ва K₃ контактлари, Ш қисмаси, қўзғатиш чулғами ва ман-
фий чўтка орқали қўзғатиш токи ўтади. Генератор токининг
бошқа қисми иккинчи реле чулғами, биринчи реленинг пастки
ток ва юқори кучланиш чулғамларидан ўтиб, масса орқали
манфий чўткага келади. Кучланиш қиймати номиналга тенг-
лашганда биринчи реленинг кучланиш чулғами токи ва ундан
ҳосил бўлган магнитавий оқим тортиш кучи таъсирида нормал
очиқ K₁ контакт беркилади ва натижада аккумуляторни заряд-
ловчи ҳамда ёритгич лампалари ва ёндиргич асбоблардан
ўтувчи тоқларга йўл очилади. Айланиш частотаси пасайганда,
генератор кучланиши аккумуляторникига нисбатан камаяди.

Бунда биринчи реленинг тортиш кучи пасаяди ва натижада K_1 контакти очилиб, аккумуляторни генератордан ажратади. Агар аккумулятор токи генератор томон, яъни тескарича ўтгу-дай бўлса, биринчи реле ўзагининг магнитсизланиши натижа-сида K_1 контакти барибир очилади. Шунга кўра биринчи ре-лени тескари ток релеси деб юритилади.

Айланиш частотаси ошиши билан генератор кучланиши кў-пайиб кетса, учинчи реленинг нормал берк K_3 контакти очи-лади ва бунда қўзғатиш чулғамининг занжирига R қаршилиги киритилиб, генератор кучланиши пасайтирилади. Генератор кучланиши пасайиши билан учинчи реледан ўтувчи ток кама-яди ва K_3 контакти яна беркилади. Шундай қилиб, K_3 кон-тактининг очилиб-беркилиши натижасида қўзғатиш токининг қиймати гоҳ кўпайиб, гоҳ камаяди ва натижада генератор кучланиши ўзгармас қийматда сақланади. Шунга биноан учин-чи релени тебранма типли кучланиш релеси деб ҳам юрити-лади. Агар ток қиймати нормадан ошиб кетса, иккинчи реле ўз контакти K_2 ни очиб, қўзғатиш чулғами занжирига яна R қаршилигини киритади. Натижада генератор кучланиши ва, демак, ундан олинаётган ток камаяди. Шу сабабли иккинчи реле ток чекловчи реле дейилади.

Автомобилларда ишлатиладиган генераторларнинг қуввати $200 + 600$ Ваттга тенг. Тракторлардаги генераторларга совитувчи вентилятор ўрнатилмаслиги сабабли уларнинг қуввати автомо-биль генераторлари қувватига нисбатан $25 + 30$ процентга кам бўлади.

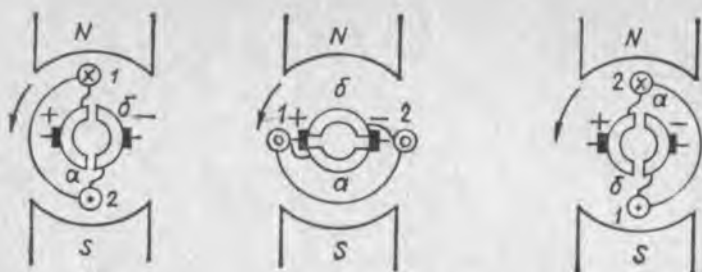
Автотрактор моторларини ишга тушириб юборишда стартёр деб аталувчи 4 қутбли, кетма-кет қўзғатишли ўзгармас ток моторидан фойдаланилади.

Стартёр якориға тўлқинсимон схемали махсус чулғам ўрна-тилади. Стартёрни ишга туширишда унинг якори занжирига резистор қаршилиги киритилмайди. Автотрактор моторлари ишга туширилиши биланоқ стартёр занжири ток манбаидан ажратилади.

VI БОБ. ЎЗГАРМАС ТОК МОТОРЛАРИ

6 — 1. Умумий тушунчалар

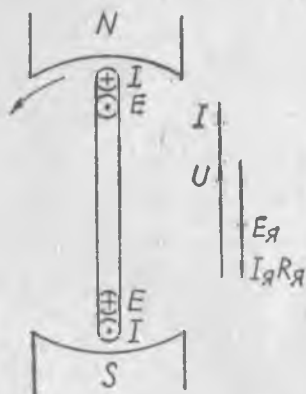
Электрик машиналар генератор ва мотор режимида ишла-ши мумкин. Агар қутбларида етарли магнитавий оқим бўлган ўзгармас ток машинасининг якорь чулғамига ўзгармас ток бе-рилса, у ҳолда якорь чулғамидаги токли ўтказгичларга таъ-сир этувчи электромагнитавий кучлардан якорни айлантирувчи электромагнитавий момент ҳосил бўлади. Бунда электр энер-гияси механикавий энергияга айланиб, электрик машина мотор режимида ишлайди. Якорь чулғами секцияси томонларининг



6—1- расм. Ўзгармас ток моторида якорга берилган токнинг коллектор билан ўзгарувчан токка айлантирилиши.

бири шимолий, иккинчиси эса жанубий қутб остида жойлашган бўлади. Шу сабабли, якорда ҳамма вақт бир томонга айлантирувчи электромагнитавий кучлар ҳосил қилиш учун N ва S қутблар остидан ўтувчи якорь ўтказгичидаги токнинг йўналишини ўзгартириб туриш керак.

Якорь ўтказгичларига бериладиган токнинг йўналиши коллектор билан ўзгартирилиб турилади (6—1-расм). Демак, ўзгармас ток машинасининг генератор режимида унинг коллектори билан якорь чулғамидаги ўзгарувчан ток ўзгармас токка айлантирилади, мотор режимида эса коллектор билан электр тармоғидан берилувчи ўзгармас ток якорь чулғамига турли йўналишларда берилади. Электромагнитавий момент таъсирида ўзгармас частота n билан айланувчи мотор якори-нинг ўтказгичларида э. ю. к. ҳосил бўлади. Бу э. ю. к. нинг қиймати (3—13) ифодадан, йўналиши эса ун-г қўл қондаси билан аниқланади. Генераторда токнинг йўналиши э. ю. к.



6—2- расм. Мотор якорида ҳосил бўлган э. ю. к. ва унинг токка тескари йўналиши.

томон бўлса, мотор якорида ҳосил бўлган э. ю. к. нинг йўналиши эса токка тескаридир (6—2-расм). Шу сабабли бу э. ю. к. тескари э. ю. к. деб ҳам аталади.

Ўзгармас ток моторининг якорь занжири учун э. ю. к. ларнинг мувозанат тенгламаси қуйидагича ифодланади:

$$U = E_{\text{я}} + I_{\text{я}} \sum R, \quad (6-1)$$

бунда U — моторнинг якорь чулғамига бериладиган кучланиш, В;

$E_{\text{я}}$ — якорь чулғамида ҳосил бўлган э. ю. к., В;

$I_{\text{я}} \sum R$ — якорь занжирида кучланишнинг тушуви, В;

$\Sigma R = R_a + R_r$ — якорь чулғами қиришлиғи билан ташқи қаршилиқ йиғиндис, Ом.

Якорь токи (6 — 1) тенгламага биноан қуйидагича ифодаланади:

$$I_a = \frac{U - E_a}{\Sigma R}. \quad (6 - 2)$$

Э. ю. к. лар тенгламасининг икки томонини I_a га кўпайтириб қувватлар тенгламасининг қуйидаги ифодаси олинади:

$$UI_a = E_a I_a + I_a^2 \Sigma R, \quad (6 - 3)$$

бунда UI_a — электр тармоғидан моторга бериладиган қувват, Вт;

$I_a^2 \Sigma R$ — якорь занжирдаги қаршилиқларнинг қизшигга сарфланган қувват исрофи, Вт;

$E_a I_a$ — мотор якорида ҳосил бўладиган қувват, Вт.

Агар E_a ўрнига унинг $E_a = \frac{pN}{60a} \Phi n$ қиймати қўйилса, у ҳолда қуйидаги ҳосил қилинади:

$$E_a I_a = \frac{pN}{60a} \Phi n I_a = \frac{pN}{60a} \Phi \frac{60\omega}{2\pi} I_a = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_a \omega.$$

$\frac{pN}{2\pi a} \Phi I_a = M_{эм}$ тенглама электромагнитавий моментни ифодалагани учун якорда ҳосил бўладиган қувват электромагнитавий қувват деб аталади ва $P_{эм}$ билан белгиланади:

$$E_a I_a = M_{эм} \omega = P_{эм}, \quad (6 - 4)$$

бунда $\omega \left[\frac{\text{рад}}{\text{сек}} \right] = \frac{2\pi n}{60}$ — якорь айланишининг бурчак частота-

си; $n \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$ — якорнинг минутига айланиш сони. Демак, электр-рик моторга берилган UI_a қувватининг механикавий энергияга ўтган қисмини электромагнитавий қувват ташкил этади.

Электромагнитавий қувватнинг асосий қисми мотор валидаги фойдали механикавий қувват P_2 га айланади, қолган кичик қисми P_0 эса айланувчи якордаги механикавий ишқаланишларни енгишга ва моторнинг пўлат қисмларида содир бўлувчи қувват исрофларига бефойда сарфланади. Шунга биноан $P_{эм} = P_2 + P_0$ бўлади.

6 — 2. Электрик мотор валига таъсир этувчи моментлар ва уларнинг мувозанат тенгламаси

Электрик мотор билан бирор иш машинаси ёки механизми ҳаракатга келтирилганда унинг валига қуйидаги моментлар таъсир этиши мумкин:

1) мотор якорини айлантирувчи электромагнитавий момент $M_{эм}$;

2) салт ишлаш моменти M_0 . Бу момент механикавий ва магнитавий қувват исрофлари билан аниқланади. Якорнинг айланишида механикавий ишқаланишларга ва уярма тоқлар билан мотор пўлат узакларининг қизишига сарфланган қувват исрофи P_0 нагрузкага боғлиқ бўлмагани учун M_0 ҳам нагрузкага боғлиқ бўлмайди, унинг қиймати номинал момент (айлантирувчи фойдали моментнинг номинал қиймати) M_n нинг $2 \div 6$ процентини ташкил этади;

3) фойдали момент M_2 . Бу момент мотор билан иш механизмининг ҳаракатга келтиришда механизм томонидан вужудга келтириладиган қаршилик (фойдали нагрузка) моменти билан аниқланади. Қаршилик моменти ўз навбатида машина ёки механизмнинг иш режими (катта ёки кичик қийматли нагрузкалар билан ишлаши) ва механикавий характеристикалари билан аниқланади.

Одатда, M_0 ва M_2 моментлари биргаликда ҳисобланиб, уш M_c билан ифодаланади, яъни $M_0 + M_2 = M_c$ бўлади, бунда M_c — мотор валининг айланишига қаршилик кўрсатувчи статикавий қаршилик моменти. Иш механизмларининг қаршилик моментлари ўз қийматларини частота ўзгариши билан турлича ўзгартирадилар. Шунга биноан, иш механизми қаршилик моменти M_c нинг мотор айланиш частотаси n га нисбатан ўзгаришини ифодаловчи $M_c = f(n)$ боғланиш унинг механикавий характеристикаси дейилади. Иш механизмларининг механикавий характеристикаси $M_c = f(n)$ учун топилган қуйидаги эмпирик формулага биноан уларни турли классларга ажратиш мумкин:

$$M_c = M_{co} + (M_{cn} - M_{co}) \left(\frac{n}{n_{цн}} \right)^x \quad (6-5)$$

бунда M_c — иш механизмининг n частотадаги қаршилик моменти;

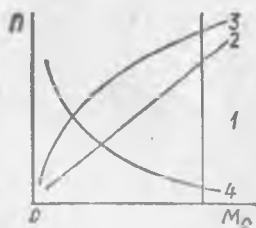
M_{co} — салт иш режимида механизмнинг ҳаракатланувчи қисмларидаги механикавий ишқаланишлардан ҳосил бўлган қаршилик моменти;

M_{cn} — механизмнинг номинал n_n частотадаги қаршилик моменти;

x — частота ўзгариши билан M_c нинг ўзгаришининг характерлайдиган даража кўрсаткичи.

(6-5) ифодага биноан даража кўрсаткичи x учун қуйидаги қийматлар берилиб, турли классларга тегишли иш механизмларининг механикавий характеристикалари олинади.

1) $x = 0$ бўлса, $M_c = M_{cn} = \text{const}$ бўлади. Бунда қаршилик моменти ўзгармас бўлиб, частотага боғлиқ бўлмаган механикавий характеристика олинади (6-3-расм,



6-3-расм. Иш механизмларининг механикавий характеристикалари.

/ эгри чизик). Бундай механикавий характеристикага юк кўтарувчи кранлар, станокларнинг винт ва червяклар билан ҳаракатланувчи қисмлари эга бўлади. Ҳақиқатан, кран механизмининг қаршилик моменти унинг илғагига осилган юк оғирлиги G ва барабан радиуси $\frac{D_0}{2}$ билангина аниқланади, холос, яъни $M_c = G \frac{D_0}{2}$ бўлади.

2) $x = 1$ бўлса, $M_c = M_{co} + \frac{M_{cn} - M_{co}}{n_n}$ бўлади. Бунда қаршилик моменти частотага пропорционал бўлган механикавий характеристика олинади (6—3- расм, 2 чизик). Бундай характеристикага мустақил кўзғатишли ўзгармас ток генератори ва дон тозаловчи қишлоқ хўжалик машинаси кабилар эга бўлади.

3) $x = 2$ бўлса, қаршилик моменти частотанинг иккинчи даражасига пропорционал бўлади. Бундай механикавий характеристикага вентилятор, насос, сепаратор каби механизмлар эга бўлади (6—3- расм, 3 чизик).

4) $x = 3$ бўлса, қаршилик моментининг қиймати частотага тескари пропорционал равишда ўзгаради. Бундай механикавий характеристикага кўпчилик транспорт механизмлари, металл қирқувчи станоклар эга бўлади.

Айрим механизмларнинг қаршилик моменти тезликдан ташқари, бошқа параметрлар таъсирида ҳам ўзгаради. Масалан, кривошип-шатунли механизмларнинг қаршилик моменти частота ва бурилиш бурчагига боғлиқ бўлса, электровозларда частота ва йўл профили (йўлнинг баланд-пастлиги, эгрилиги) га боғлиқ бўлади. Бунда M_c нинг ўзгариш графиги ҳар бир конкрет ҳолда алоҳида келтирилади. Қаршилик моментлари реактив ва актив (потенциал) бўлиши мумкин. Реактив қаршилик моменти қирқиш, ишқалиниш ва шу каби процессларда ҳосил бўлади. Бу моментнинг йўналиши ҳамма вақт моторнинг айлантирувчи моментига тескари бўлади. Актив қаршилик моменти эса икк кўтариш, пружинанинг қисилиши каби процессларда ҳосил бўлиб, бундай момент ҳамма вақт бир хил йўналишга эгадир. Демак, иш механизми ҳаракат йўналишининг ўзгариши билан актив қаршилик моментнинг таъсири ҳам тескарисига ўзгаради. Масалан, юк кўтаришда қаршилик моменти айлантирувчи моментга тескари бўлади, юк туширишда эса бу моментлар бир хил йўналишда бўлади.

Мотор валига таъсир этувчи моментлардан яна бирини динамикавий момент $M_{дин}$ дейилади. Динамикавий момент қуйидагича ифодаланади:

$$M_{дин} = J \frac{d\omega}{dt} = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt}, \quad (6-6)$$

бунда $J = mr^2 = \frac{GD^2}{4} \text{ кГ} \cdot \text{м}^2$ ёки $\text{кГ} \cdot \text{м} \cdot \text{сек}^2$ — мотор вали билан биргаликда айланаётган қисмларнинг инерция моменти;

Агар узатма n элементдан иборат бўлса, у ҳолда (6—13) формуланинг қуйидаги умумий ифодаси олинади:

$$M_c = M_{cm} \frac{1}{i_1 \cdot i_2 \cdot \dots \cdot i_n \cdot \gamma_{y1} \cdot \gamma_{y2} \cdot \dots \cdot \gamma_{yn}}, \quad (6-14)$$

бунда

$$i = \frac{\omega_M}{\omega_1}, \quad i_2 = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

ва ҳоказо.

Ҳар бир валдаги кинетик энергия запаслари йиғиндисининг узгармаслиги асосида тузилган қуйидаги тенгламадан инерция моментларининг мотор валига келтирилган қиймати J топилади:

$$J \frac{\omega_M^2}{2} = J_M \frac{\omega_M^2}{2} + J_1 \frac{\omega_1^2}{2} + J_2 \frac{\omega_2^2}{2} + \dots + J_n \frac{\omega_n^2}{2}.$$

Демак, J нинг қиймати қуйидагича ифодаланади:

$$\begin{aligned} J &= J_M + J_1 \left(\frac{\omega_1}{\omega_M} \right)^2 + J_2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_M} \right)^2 + \dots + J_n \left(\frac{\omega_n}{\omega_M} \right)^2 = \\ &= J_M + \frac{J_1}{i_1^2} + \frac{J_2}{i_1^2 \cdot i_2^2} + \dots + \frac{J_n}{i_1^2 \cdot i_2^2 \cdot \dots \cdot i_n^2}, \end{aligned} \quad (6-15)$$

бунда J_M — мотор якорининг (роторининг) инерция моменти.

Силташ моментларининг мотор валига келтирилган қиймати ҳам юқоридаги сингари ифодадан топилади, яъни

$$GD^2 = GD_M^2 + \frac{GD_1^2}{i_1^2} + \frac{GD_2^2}{i_1^2 \cdot i_2^2} + \dots + \frac{GD_n^2}{i_1^2 \cdot i_2^2 \cdot \dots \cdot i_n^2} \quad (6-16)$$

бунда GD_M^2 — мотор якорининг силташ моменти;

GD^2 — система силташ моментларининг мотор валига келтирилган қиймати.

Агар мотор билан ҳаракатга келтирилувчи система айланма ва илгариллама ҳаракат қиладиган элементлардан иборат бўлса, у ҳолда илгариллама ҳаракат мотор валидаги айланма ҳаракатга келтирилади. Бунда ҳам юқоридаги принципларга асосланилади, яъни оғирлик кучи F_{cm} бўлган юкни v частотада кўтариш учун қуйидаги тенглама тузилади:

$$F_{cm} \cdot v \cdot \frac{1}{\gamma_y} = M_c \omega_M.$$

Ундан

$$M_c = \frac{F_{cm} \cdot v}{\omega_M \cdot \gamma_y}, \quad (6-17)$$

ёки

$$M_c = 9,55 \frac{F_{cm} \cdot v}{n_M \cdot \gamma_y} \quad (6-18)$$

бунда M_c — илгарилама ҳаракатдаги юк қаршилиқ моменти-
нинг мотор валидаги айланма ҳаракатга келтирил-
ган қиймати.

Шунга ўхшаш $\frac{mv^2}{2} = J \frac{\omega_m^2}{2}$ дан мотор валига келтирилган
инерция моментининг қиймати топилади:

$$J = m \left(\frac{v}{\omega_m} \right)^2. \quad (6-19)$$

Силташ моментининг мотор валига келтирилган қиймати қуйи-
дагича ифодаланади:

$$GD^2 = \frac{365 \cdot Gv^2}{n_m^2} = 365 G \left(\frac{v}{n_m} \right)^2. \quad (6-20)$$

Айланма ва илгарилама ҳаракат қиладиган элементлардан
иборат системанинг келтирилган қийматлари умумий ҳолда қу-
йидагича ифодаланади:

$$J = J_m + J_1 \frac{1}{i_1^2} + J_2 \frac{1}{i_1^2 \cdot i_2^2} + \dots + J_n \frac{1}{i_1^2 \cdot i_2^2 \dots i_n^2} + m \left(\frac{v}{\omega_m} \right)^2$$

$$GD^2 = GD_m^2 + \frac{GD_1^2}{i_1^2} + \frac{GD_2^2}{i_1^2 \cdot i_2^2} + \dots + \frac{GD_n^2}{i_1^2 \cdot i_2^2 \dots i_n^2} +$$

$$+ \frac{365 Gv^2}{n_m^2}. \quad (6-21)$$

6 — 4. Ўзгармас ток моторларининг механикавий характеристикаси

Мотор валига таъсир этувчи қаршилиқ моментининг ортиши
билан моторнинг айлантирувчи моменти ортади, камайиши
билан эса камаяди. Бунда моторнинг частотаси ҳам ўзгаради.
Мотор айлантирувчи моментининг ўзгариши билан унинг час-
тотаси қай тарзда ўзгаришини ифодаловчи $n = f(M)$ боғла-
ниш электрик моторнинг механикавий характеристикаси
деб аталади.

Ўзгармас ток моторлари учун механикавий характеристика
тенгламаси унинг қуйидаги асосий кўрсаткичлари, яъни

$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{U - E_{\text{я}}}{\Sigma R} \\ E_{\text{я}} &= k_E n \Phi \\ M &= k_M \Phi I_{\text{я}} \end{aligned} \right\} \text{ифодаларни биргаликда} \\ \text{ешишдан аниқланади.}$$

Бу тенгламалар системасидан $n = f(M)$ боғланишини топиш
учун даставвал моторнинг n частота билан айланишида ҳосил

булган $E_{\text{я}} = k_{\text{Е}} n \Phi$ ифодасидан $n = \frac{E_{\text{я}}}{k_{\text{Е}} \Phi}$ олинади. Частотанинг бу ифодасидаги $E_{\text{я}}$ ўрнига унинг ток формуласидан топилган $E_{\text{я}} = U - I_{\text{я}} \Sigma R$ қийматини қўйиб, қуйидаги тенглама олинади:

$$n = \frac{E_{\text{я}}}{k_{\text{Е}} \Phi} = \frac{U - I_{\text{я}} \Sigma R}{k_{\text{Е}} \Phi} = \frac{U}{k_{\text{Е}} \Phi} - \frac{I_{\text{я}} (R_{\text{я}} + R_{\text{т}})}{k_{\text{Е}} \Phi}. \quad (6-22)$$

Бу ифодадан мотор частотасини ўзгартириш усуллари аниқлаш мумкин. Шунга биноан, (6—22) ифодани мотор частота характеристикасининг тенгламаси дейилади. Ўзгармас ток моторларининг механикавий характеристикаси тенгламасини топish учун (6—22) ифодадаги $I_{\text{я}}$ ўрнига унинг $M = k_{\text{м}} \Phi I_{\text{я}}$ ифодасидан олинган $I_{\text{я}} = \frac{M}{k_{\text{м}} \Phi}$ қийматини қўйиш кифоя, яъни

$$n = \frac{U}{k_{\text{Е}} \Phi} - \frac{I_{\text{я}} \Sigma R}{k_{\text{Е}} \Phi} = \frac{U}{k_{\text{Е}} \Phi} - \frac{\Sigma R}{k_{\text{Е}} \cdot k_{\text{м}} \Phi^2} \cdot M. \quad (6-23)$$

Демак, ўзгармас ток моторларининг (6—23) билан ифодаланган механикавий характеристика тенгламасига биноан идеал салт иш режимида, яъни $M = M_{\text{с}} = 0$ бўлганда моторнинг тургун (ўзгармас) частотаси $n = \frac{U}{k_{\text{Е}} \Phi} = n_0$ бўлади. Мотор ва-лига механизмнинг бирор $M_{\text{с}}$ қийматли қаршилик моменти таъсир этиши билан унинг частотаси n_0 га нисбатан $\frac{\Sigma R}{k_{\text{Е}} k_{\text{м}} \Phi^2} M_{\text{с}}$ ҳисобига камаяди. Бунда моторнинг айлантирувчи моменти $M_{\text{с}}$ гача кўпайиб, яъни $M = M_{\text{с}}$ бўлиб, унинг пасайган тургун частотаси қуйидагича аниқланади:

$$n = n_0 - \frac{\Sigma R}{k_{\text{Е}} k_{\text{м}} \Phi^2} M. \quad (6-24)$$

Ҳақиқатан, мотор частотаси камайиши билан унинг якоридаги э. ю. к. ҳам камайиб боради. Бунда $I_{\text{я}} = \frac{U - E_{\text{я}}}{\Sigma R}$ бўлгани учун моторнинг айлантирувчи $M = k_{\text{м}} \Phi I_{\text{я}}$ моменти қиймати ҳам моментлар мувозанати тиклангунча, яъни $M = M_{\text{с}}$ бўлгунча кўпайиб боради. $M = M_{\text{с}}$ бўлиши билан мотор частотасининг нагрузка сабабли пасайиши тугайди ва мотор янги ўзгармас частота билан тургун режимда ишлай бошлайди. Қаршилик моментининг ўзгариши билан электрик моторларнинг частотаси ва, демак, э. ю. к. қиймати ҳам ўзгариб, натижада уларнинг айлантирувчи моменти ҳам моментлар мувозанати тиклангунча ўз-ўзидан ўзгаради. Электрик моторларнинг бу хусусияти уларнинг асосий афзалликларидан бири ҳисобланади. Электрик моторлар табиий ва сунъий механикавий характеристикаларга эга бўлиши мумкин.

Якорь ёки ротор чулгамига қўшимча ташқи қаршилиқ киритилмай номинал кучланиш ва номинал магнитавий оқимда олинадиган $n = f(M)$ боғланиш электрик моторнинг табиий механикавий характеристикаси дейилади. Якорь ёки ротор чулгамига бирор ташқи қаршилиқ киритилганда ҳамда кучланиш ёки магнитавий оқимнинг қиймати номиналдан фарқ қилганда олинадиган $n = f(M)$ боғланиш моторнинг сунъий механикавий характеристикаси дейилади. Айлантирувчи момент ўзгариши билан мотор частотасининг ўзгариш даражасига қараб қуйидаги механикавий характеристикалар бўлиши мумкин:

1) **мутлақо қаттиқ характеристика.** Айлантирувчи моментнинг номинал қийматгача ўзгаришида частотаси ўзгармай қоладиган мотор мутлақо қаттиқ характеристикага эга мотор дейилади. Бундай механикавий характеристикага синхрон моторлар эга бўлади;

2) **қаттиқ характеристика.** Айлантирувчи моментнинг номинал қийматгача ўзгаришида частотасининг қиймати бир озгина, яъни 5—10 процентга ўзгарувчи мотор қаттиқ характеристикага эга мотор дейилади. Бундай механикавий характеристикага параллел қўзғатишли ўзгармас ток ва нормал тузилишдаги асинхрон моторлар эга бўлади;

3) **юмшоқ характеристика.** Айлантирувчи моментнинг номинал қийматгача ўзгаришида частотасининг қиймати кескин ўзгарувчи мотор юмшоқ характеристикага эга мотор дейилади. Бундай характеристикага кетма-кет қўзғатишли ўзгармас ток ва махсус тузилишдаги асинхрон моторлар эга бўлади.

6 — 5. Ўзгармас ток моторларини ишга тушириш

Агар тинч турган моторни электр тармоғига улаб, унда қаршилиқ моментидан катта бўлган айлантирувчи момент ҳосил қилинса, у айлана бошлайди. Айланиш частотасининг ортиб бориши билан якорда ҳосил бўладиган э. ю. к. ҳам ортиб боради, натижада, якорь токи ва, демак, айлантирувчи момент камайиб боради.

Айлантирувчи момент қиймати қаршилиқ моментигача камайганда, яъни $M = M_c$ бўлиб, моментлар мувозанати тикланганда, частотанинг ортиб бориш процесси тугайди ва мотор берилган ўзгармас частотада ишлай бошлайди. Тинч турган моторни электр тармоғига улаб, унинг частотасини $n = 0$ дан $n = n_c = \text{const}$ гача ортиб боришидаги процесс моторни ишга тушириш процесси дейилади. Бу процесс ишга тушириш токи $I_{\text{ишт}}$, ишга тушириш моменти $M_{\text{ишт}}$ ва ишга тушириш вақти $t_{\text{ишт}}$ лар билан характерланади.

Электр тармоғига уланган моторнинг тинч турган якори чулгамида ҳосил бўлган ток унинг ишга тушириш токи деб аталади. Якорнинг тинч ҳолатида $n = 0$ бўлгани сабабли

$E_{\text{я}} = 0$ бўлади. Демак, ишга тушириш токнинг қиймати қуйидагича ифодаланади:

$$I_{\text{ншт}} = \frac{U}{\Sigma R}, \quad (6 - 25)$$

бунда $\Sigma R = R_{\text{я}} + R_{\text{т}}$ — якорь занжирининг қаршилиги.

Якорь чулғамининг қаршилиги $R_{\text{я}}$ нинг қиймати, одатда жуда кичик, яъни $R_{\text{я}} \simeq (0.1 \div 2)$ Ом бўлади. Шунга биноан номинал тезлик ва номинал ток $I_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н}} - E_{\text{я}}}{R_{\text{я}}}$ билан ишлаётган мотор якоридаги кучланишнинг тушуви $I_{\text{я}} R_{\text{я}} \simeq (3 \div 8) \% U_{\text{я}}$ бўлади. Демак, номинал кучланишли электр тармоғига якорь чулғамини бевосита, яъни ташқи қаршиликсиз уланса, у ҳолда бу чулғамдан ўтадиган якорь токнинг қиймати номиналга нисбатан $10 \div 20$ марта ортиб кетади. Натижада коллектор атрофида айланувчи олов ва ҳаддан ташқари катта айлантувчи момент ҳосил бўлиб, мотордаги изоляция ва айланувчи механикавий қисмлар ишдан чиқиши мумкин. Ишга тушириш токни коммутацияга ва айланувчи қисмларга хавфли бўлмаган қиймат $I_{\text{ншт}} \simeq 2 I_{\text{н}}$ гача ва, демак, $M_{\text{ншт}} \simeq 2 M_{\text{н}}$ гача камайтириш учун якорь чулғамига кетма-кет уланган резистор қаршилиги киритилади. Бу резистор ишга тушириш резистори дейилади. Ишга тушириш токни $2 I_{\text{н}}$ гача камайтирувчи резистор қаршилиги $R_{\text{ншт}}$ нинг қийматининг $I_{\text{ншт}}$ ифодаси орқали $I_{\text{ншт}} \simeq 2 I_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н}}}{R_{\text{я}} + R_{\text{ншт}}}$ дан топилади, яъни

$$R_{\text{ншт}} = R_{\text{т}} = \frac{U_{\text{н}}}{2 I_{\text{н}}} - R_{\text{я}}. \quad (6 - 26)$$

(6 - 26) ифодадан $R_{\text{ншт}}$ нинг қийматини топиш учун $R_{\text{я}}$ ни аниқлаш керак. Ўзгармас ток моторлари учун якорь чулғами қаршилигини қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$R_{\text{я}} \simeq 0.5 (1 - \eta) \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} = 0.5 (1 - \eta) R_{\text{н}}, \quad (6 - 27)$$

бунда $\eta = \frac{P_{\text{н}}}{U_{\text{н}} I_{\text{н}}}$ — мотор фойдали иш коэффициентининг номинал қиймати;

$R_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}}$ — моторнинг номинал қаршилиги. Якорга номинал кучланиш берилганда ундан ўтадиган ишга тушириш токни номинал қийматгача камайтирувчи қаршилиқ ўзгармас ток моторининг номинал қаршилиги деб аталади. Ишга тушириш резистори одатда бир неча поғонадан иборат қилиб тайёрланади. Ишга туширилган мотор частотасининг ортиб бориши билан унинг якорь токи ва, демак, айлантувчи momenti камайиб боради. Мотор частотасининг n_c қийматигача бир текисда ортиб боришини таъминлаш учун айлантувчи моментининг ўртача

қийматини ўзгармас қилиб сақлаш керак. Бунинг учун ишга туширувчи моментнинг қиймати ўзининг $M_{\max} \approx 2M_n = M_{\text{шт}}$ қийматидан $M_{\min} \approx (1,1 + 1,2) M_n$ гача камайганида $R_{\text{шт}}$ қаршилигининг бир погонаси шунтланади. Бунда ток ва, демак, айлантирувчи момент номиналга нисбатан яна икки марта қўпайиши даркор. Шу сингари частота ортиб бориши билан ишга туширувчи резисторнинг қаршилиги камайитрилиб борилади ва $R_{\text{шт}}$ нинг охирги погонаси шунтланганда (резистор қаршилиги нолга тенглаштирилганда) частотанинг қиймати n_c гача ортиб боради. Моментлар мувозанати тикланиб, яъни $M = M_c$ ва $n = n_c$ бўлиши билан ишга тушириш процесси ҳам тугайди.

Ишга тушириш процессининг даври бир неча секундда тугаши сабабли $I_{\text{шт}}$ ва $M_{\text{шт}}$ қийматларининг номиналга нисбатан $2 + 2,5$ марта катта бўлиши мотор учун хавфли бўлмайди (уткинчи режим бобига қаранг).

6 — 6. Электрик моторнинг тормоз режимлари

Машина ва механизмларнинг баъзи режимларида электрик мотор тормоз вазифасини бажариб, турли хил тормоз режимларида ишлайди. Машина ва механизмларни тез ва аниқ тўхтатиш ҳамда уларнинг ҳаракат йўналишини тескарига ўзгартириш учун ҳам электрик мотор турли хил тормоз режимларида ишлатилади. Бу режимларда ҳосил бўлган электромагнитавий момент мотор валининг ҳаракатига тескари йўналган бўлади. Моторнинг тормоз режимида ишлашнинг, масалан, пастликка томон ҳаракат қилаётган электр поездеи мисолида кўрсатиш мумкин. Бунда мотор валига потенциал энергиядан олинган кучлар таъсир этиб, унинг частотасини борган сари орттириб боради. Частотанинг қиймати чегаравий, яъни идеал салт иш режимидаги n_0 дан ҳам ортиб кетса, у ҳолда электр мотори тормоз режимида ишлайди. Бунда э. ю. к. нинг қиймати электр тармоғидаги кучланишдан катта, яъни $E_d > U$ бўлиб, якорь ёки ротор чулғамидаги ток ва, демак, электромагнитавий момент ўз йўналишини ўзгартиради. Шундай қилиб, моторнинг бу режимида ҳосил бўлган электромагнитавий момент унинг валидаги ҳаракатга тескари йўналади. Бунинг натижасида поезднинг тезлиги хавфли даражагача кўтарила олмайди. Электр моторининг бундай тормоз режими унинг генератор режими дейилади. Ҳақиқатан, бу режимда мотор валининг ҳаракатини тезлаштирувчи ташқи механикавий кучлар уни генератор режимида ишлашга мажбур этади. Бу ташқи механикавий кучлар электр энергиясига айланиб, мотор уланган электр тармоғига узатилиб, яъни рекуперацияланиб турилади. Бунда электр тармоғида моторнинг қўзғатиш учун керак бўлган токкина олинади. Моторнинг бундай режими рекуператив тормоз-

ланиш режими деб ҳам аталади. Электр моторининг рекуператив тормозлаш режимидан трактор ва автомашина моторларини чиниқтириш (обкатка этиш) да ҳам фойдаланилади. Рекуператив тормозлаш билан мотор частотасини n_0 га нисбатан пасайтириш мумкин эмас.

Номинал частота билан ишлаб турган машина ёки механизмни тез, аниқ ва равион тўхтатиш учун моторни электродинамикавий усул билан тормозлаш кифоя. Бунинг учун номинал частота билан айланиб турган мотор якори ёки статор чулғами электр тармоғидан ажратилади, уларнинг қўзғатувчи чулғамларини эса электр тармоғидан мотор тўхтагунга қадар ажратилмайди. Бунда моторнинг якори ёки ротори чулғамлари бирор ташқи қаршиликка ёки ўз-ўзига қисқа туташтирилади, натижада инерция кучлари таъсирида моторнинг айланувчи қисми ўз ҳаракатини давом эттириб тормоз режимида ишлай бошлайди. Ҳақиқатан, бу режимнинг дастлабки пайтида $I_n = \frac{-E_n}{R_n + R_{дин}}$ бўлиб, бу тескари ишорали якорь токидан тормозлаш моменти $M_T = - \frac{E_n}{R_n + R_{дин}} \Phi \cdot k_m$ ҳосил бўлади. Тормозлаш моменти таъсирида мотор валининг инерция туфайли айланиш частотаси тезда пасайиб у тўхтатилади. Электрик моторлар тескари улааниш деб аталувчи тормоз режимида ҳам ишлаши мумкин. Моторнинг бундай режими, масалан, кран билан оғир юкни туширишда содир бўлади. Бунда мотор юкни кўтариш томонига уланса ҳам, аммо унинг оғирлиги натижада мотор вали тескари томонга айлана бошлайди. Бунда моторнинг айлантирувчи моменти билан юкнинг қаршилик моменти берилган частотада тенглашиб, юкнинг ўзгармас частота билан туширилиши таъминланади.

Электрик моторларнинг тескари улааниш режимидан уларни тез тўхтатиш ёки айланиш йўналишини ўзгартиришда ҳам фойдаланилади. Номинал частота билан ишлаб турган моторни бу усулда тез тўхтатиш учун якорь электр тармоғидан ажратилиб, сўнгра якорь қисмларини шу тармоққа қайтадан тескари улаш керак. Бунда қўзғатувчи чулғам электр тармоғидан ажратилмайди, якорь занжирига эса катта қаршилик $R_{\tau y}$ киритилиши зарур. Бу режимда $I_n = \frac{-U - E}{R_n + R_{\tau y}}$ бўлиб, тормозлаш моменти ҳосил бўлади. Тормозлаш моменти таъсирида мотор тезда тўхтатилиб, сўнгра айлантирувчи момент таъсирида у тескари томонга мотор режимида айлана бошлайди. Агар мақсад тўхтатиш бўлса, у ҳолда мотор тормозлаш моменти таъсирида тўхташи билан, уни электр тармоғидан ажратиш лозим. Демак, реверсив моторларни тескари улааниш усулида, реверсивмасларни эса электродинамикавий усулда тормозлаб тўхтатиш мақсадга мувофиқ натижалар беради.

6 — 7. Электрик моторлар частотасини ростлаш

Электрик мотор ёки уни таъминловчи ток манбаи параметрларини ўзгартириб, мотор частотасини мажбурий равишда ўзгартириш частотани ростлаш дейилади. Қаршилиқ моментининг ўзгаришида эса электр моторининг частотаси механикавий характеристикага (хусусиятга) биноан табиий равишда ўзгаради, холос. Ишлаб чиқариш процессида машина ва механизмлар турли частоталар билан ишлаши мумкин. Масалан, металл қирқиш станокларида бир хил буюмни турли материаллар (пулат, мис, жез ва ҳ. к.) дан тайёрлаш учун турли қирқиш частоталари талаб қилинади. Бундан ташқари, бир хил материалдан тайёрланадиган буюмни турли қирқиш операциялари учун ҳам турли частоталар керак, масалан, жило бериш операцияси учун талаб қилинадиган қирқиш частотаси $30 + 50 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$.

Машина ва механизмлар валидаги частотани механикавий усул билан ҳам ростлаш мумкин. Аммо илгаридан қўлланиб келган бу усул кўп камчиликларга эга. Машина ва механизмлар учун зарур бўлган частоталарни электрик усуллар билан мотор частотасини ростлаб ҳосил қилиш кўп афзалликларга эга.

Частотани ростлаш усуллари қуйидаги кўрсаткичлар билан характерланади:

1) ростлаш диапазони; 2) ростлаш силлиқлиги; 3) ростлаш тежамлилиги ва 4) ростлаш муътадиллиги. Ростлаш диапазони D ҳарфи билан белгиланиб, у қуйидаги нисбатдан аниқланади:

$$D = \frac{n_{\text{макс}}}{n_{\text{мин}}}, \quad (6-28)$$

бунда $n_{\text{макс}}$, $n_{\text{мин}}$ — ростлаш процессида номинал нагрузкали моторда ҳосил қилинувчи максимал ва минимал айланиш частоталари.

Демак, ростлаш диапазони билан частотанинг неча марта ўзгартирилиши аниқланади.

Ростлаш диапазонидаги турли қийматга эга частоталар сони билан эса ростлаш силлиқлиги φ аниқланиб, уни қуйидаги нисбатдан топилади:

$$\varphi = \frac{n_i}{n_{i-1}}, \quad (6-29)$$

бунда i — турли частоталарнинг тартиб сони; n_i — тартиб сони, i — частотанинг қиймати.

Демак, ростлаш силлиқлигининг қиймати икки қўшни частоталарнинг нисбатидан топилиши мумкин. Ростлаш диапазонидаги турли қийматдаги частоталар сонининг ортиб бориши билан φ нинг қиймати 1 га яқинлашади. Ростлаш тежамлилиги частотани турли усулларга биноан ростлашда қўлланилган аппарат — ускуналар нархи ва ҳосил бўладиган қувват исрофининг қийматлари билан аниқланади.

Частотанинг ростланишида электрик моторлар ўзларининг сунъий характеристикаларида ишлайди. Бунда сунъий характеристиканинг қаттиқлиги табиийникига нисбатан ўзгариши мумкин. Частотанинг ростланишидан олинган сунъий характеристикаларнинг қаттиқлиги қанча юқори бўлса, ростлашдаги муътадиллик ҳам шунча юқори бўлади. Демак, частота юқори муътадиллик билан ростланса, у ҳолда айлантирувчи моментнинг ўзгариши билан мотор частотаси тургун қийматда сақланиди ёки бир озгинага ўзгаради. Ўзгармас ток моторлари частотаси $n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{(R_n + R_T)}{K_E \Phi} I_n$ ифодага биноан уч хил усулда,

яъни кучланиш U , якорь занжирига киритилган ташқи қаршилик R_1 ва магнитавий оқим Φ нинг қийматларини ўзгартириш билан ростланади. Кучланишни ўзгартириш билан моторнинг частотасини ростлашда якорь занжирида ташқи қаршилик R_1 бўлмаслиги ҳамда мотор қутбларида магнитавий оқим $\Phi = \Phi_n$ ўзгармаслиги лозим.

Моторнинг частотасини бу усул билан ростлашда унинг якори, одатда, кучланишни ростладиган ток манбандан таъминланади. Мустақил ток манбаи сифатида ўзгармас ток генератори ёки турли типдаги статикавий ток тўғрилагичлардан фойдаланиш мумкин. Бунда тўғрилагичдан олиннадиган тургунланган кучланишнинг қийматини ростлаш мумкин. Шунга биноан, моторни ишга туширишда унга минимал қийматли кучланиш берилади. Бунда якорь занжирига ташқи қаршилик киритилмаса ҳам, ишга тушириш токини қиймати нормадаги $I_{шт} \approx 2I_n$ дан ортиб кетмайди. Демак, кучланишни аста-секин кўпайтириб, мотор частотасини бир текисда номинал қийматгача ортиб боришини таъминлаш мумкин. Якорь занжирига киритилган қаршилик R_1 нинг қийматини ўзгартириш билан мотор частотасини ростлашда $U = U_n = \text{const}$ ва $\Phi = \Phi_n = \text{const}$ бўлиши лозим.

Частотани ростлаш учун ишлатилган резисторнинг қаршилиги узоқ вақт давом этадиган номинал токка ҳисобланади. Демак, частотани ростлаш учун қисқа вақт ишлашга ҳисобланган ишга тушириш резисторидан фойдаланиш мумкин эмас. Якорь занжирига киритилган ташқи қаршилик қийматини кўпайтириш билан мотор частотасини номиналга нисбатан фақат пасайтириш мумкин.

Қутблардаги магнитавий оқим Φ нинг қийматини ўзгартириш йўли билан моторнинг частотасини ростлашда $U = U_n = \text{const}$ ва $R_T = 0$ бўлиши лозим.

Номинал режимда ишлаб турган моторнинг магнитавий оқимини ўзгартириш билан унинг частотасини ростлаш учун магнитавий оқимни ҳосил қиладиган қўзғатувчи чулғам занжиридаги ток қийматини ростлаш кифоя. Магнитавий оқимни номиналга нисбатан фақат камайитириш имкони бўлгани учун

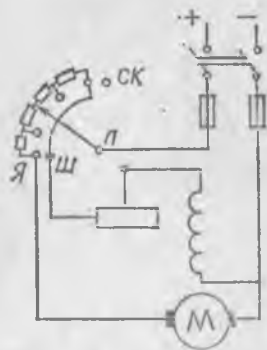
бу усул билан мотор частотасини номиналга нисбатан фақат юқори томонга ростлаш мумкин.

Қўзғатувчи чулғамнинг уланиш схемасига биноан ўзгармас ток моторлари (генераторлар сингари) мустақил, параллел, кетма-кет ва аралаш қўзғатишли моторларга бўлинади. Қўзғатувчи ва якори чулғамлари турли ток манбаларидан таъминланувчи мотор мустақил қўзғатишли мотор дейилади. Мустақил қўзғатишли мотордан, кўпинча частотаси кучланишни эгартириш билан ростланадиган системаларда фойдаланилади.

6 — 8. Параллел қўзғатишли ўзгармас ток мотори

Қўзғатувчи чулғами якори занжирига параллел уланадиган мотор параллел қўзғатишли мотор дейилади. 6 — 4- расмда параллел қўзғатишли моторнинг уланиш схемаси кўрсатилган. Бунда қўзғатиш занжиридаги i_k токининг қиймати нагрузкага, яъни якори токининг қиймати I_a га боғлиқ бўлмайди. Моторни ишга тушириш учун, даставвал, унинг якори занжирига кетма-кет уланган резистор қаршилигини киритиш зарур. Ишга тушириш ва нормал режим билан ишлаш пайтларида моторнинг қўзғатувчи чулғами занжиридаги ростлаш резистори қаршилиги R_p нинг қиймати ноль, яъни $R_p = 0$ бўлиши лозим. Шундай қилиб, электр тармоғига уланган моторда ишга тушириш momenti $M_{ишт} = k_m \Phi I_{ишт} \approx 2M_n$ бўлган айлантирувчи момент ҳосил бўлади, бунда $\Phi = \Phi_n$ — қутбларнинг тўйинган ҳолатига тегишли номинал магнитавий оқим. Магнитавий оқимнинг бу қиймати қўзғатиш чулғами занжирларидаги $i_k = \frac{U}{R_k} = \text{const}$

токи билан аниқлангани учун уни ўзгармас, яъни $\Phi = \Phi_n = \text{const}$ деб қабул қилиш мумкин. Демак, номинал айлантирувчи моментга нисбатан тахминан икки марта катта ишга туширувчи момент таъсирида мотор айлана бошлайди. Мотор частотасининг бир текисда ортиб боришини таъминлаш учун ишга тушириш резистори қаршилигини аста-секин камайтириб бориш керак. Номинал частотага яқинлашиш олдидан $R_{ишт} = 0$ қилинади. Бунда мотор частотаси қаршилик momenti M_c билан аниқланадиган n_c гача ортиб боради ва бу $n_c = \text{const}$ частотада мотор турғун режим билан ишлай бошлайди. Параллел қўзғатишли мотор учун механикавий характеристика тенгламаси (6 — 23) га биноан қуйидагича ифодаланади:



6—4- расм. Параллел қўзғатишли моторнинг уланиш схемаси.

$$n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{(R_u + R_r)}{k_E k_M \Phi^2} M = \frac{U}{C_E} - \frac{(R_u + R_r)}{C_E C_M} M = \\ = n_0 - \frac{\Sigma R}{C_E C_M} M, \quad (6-30)$$

бунда $C_E = k_E \Phi$ ва $C_M = k_M \Phi$ бўлиб, $\Phi = \Phi_n = \text{const}$ бўлгани учун $C_E = \text{const}$ ва $C_M = \text{const}$ бўлади; $n_0 = \frac{U}{C_E}$ — чегаравий ёки идеал салт ишлаш частотаси. Шунга биноан, частота хараakterистикаси тенгламасини ҳам қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$n = \frac{U}{C_E} - \frac{\Sigma R}{C_E} I_{\text{я}} = n_0 - \frac{\Sigma R}{C_E} I_{\text{я}}. \quad (6-31)$$

Номинал режим учун (6-31) ифодадаги n_0 ўрнига унинг $n_0 = \frac{U}{C_E}$ қийматини қўйиб, номуалум C_E ни аниқлаш мумкин:

$$C_E = \frac{U - I_n R_{\text{я}}}{n_n}. \quad (6-32)$$

Ўзгармас коэффициент C_M нинг қийматини аниқлаш учун қуйидаги нисбатдан фойдаланилади:

$$\frac{k_M}{k_E} = \frac{\frac{pN}{2\pi a}}{\frac{pN}{60a}} = 9,55. \quad (6-33)$$

Демак, параллел қўзғатишли мотор учун C_M нинг қиймати қуйидагича топилади:

$$C_M = 9,55 C_E = 9,55 \left(\frac{U_n - I_n R_{\text{я}}}{n_n} \right). \quad (6-34)$$

(6-32) даги C_E нинг ўрнига унинг $C_E = \frac{U_n}{n_0}$ қийматини қўйиб, идеал салт ишлаш частотаси аниқланади:

$$n_0 = \frac{n_n U_n}{U_n - I_n R_{\text{я}}}. \quad (6-35)$$

(6-30) даги механикавий хараakterистика тенгламасига биноан параллел қўзғатишли моторнинг $n = f(M)$ боғланиши тўғри чизиқ бўйича ўзгаради.

6 — 9. Параллел қўзғатишли моторнинг механикавий хараakterистикаларини қуриш

Табиий хараakterистикани қуриш учун координаталари $n = n_0$, $M = 0$ ва $M = M_n$, $n = n_n$ бўлган нуқталарни аниқлаш ва сўнгра уларни бирлаштириш кифоя.

n_0 ва M_n қийматлари мотор шчитиди берилган курсаткичлар асосида юқорида келтирилган ифодаларга биноан аниқланади.

Сунгра n ва M лар учун қабул қилинган масштаблар бўйича n_0 ва M_n қийматлари ордината ва абсцисса ўқларида белгиланади. Абсцисса ўқининг номинал момент M_n га тегишли нуқтасидан юқорига перпендикуляр ўтказилади ва ундан n_n нуқтаси белгиланади. Бу нуқталарни тўғри чизиқ билан бирлаштириб табиий характеристика олинади (6—5-расм).

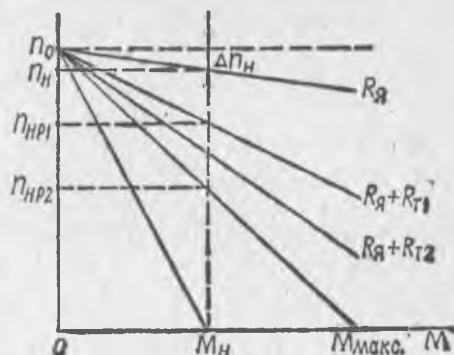
Табиий характеристикага биноан частота пасайиши Δn нинг номинал қийматини қуйидагича аниқланади;

$$\Delta n_n = \frac{n_0 - n_n}{n_n} \quad (6-36)$$

Параллел қўзғатишли моторда $\Delta n_n = 2 + 8\%$ бўлгани учун уни қаттиқ механикавий характеристикага эга деб ҳисобланади. Якорь занжирига ташқи R_t қаршилигининг турли R_{t1} , R_{t2} қийматларини киритиш билан сунъий ёки резисторли деб аталувчи характеристикаларни олиш мумкин. Резисторли характеристикаларни олишда $U = U_n = \text{const}$ ва $\Phi = \Phi_n = \text{const}$ бўлиши лозим. Демак, резисторли характеристикалар ҳам табиий характеристика сингари n_0 нуқтасидан ўтган тўғри чизиқлар билан ифодланади. Аммо якорь занжирига киритиладиган $R_{t1} < R_{t2}$ бўлган ташқи қаршилик қийматларининг кўпайиши билан резисторли характеристикаларнинг абсцисса ўқига қиялиги ортиб боради. Ҳақиқатан, R_{t1} ва R_{t2} ларни якорь занжирига киритиш билан номинал момент M_n да олинadиган номинал n_{np1} ва n_{np2} частоталарининг қийматлари ҳам камайиб боради. Демак, n_0 билан n_{np1} ва n_{np2} нуқталарини тўғри чизиқ орқали бирлаштириб олинган резисторли характеристикаларнинг абсцисса ўқига бўлган қиялиги ҳам якорь занжирдаги $(R_\pi + R_t)$ қаршилиги қайматига пропорционал равишда ортиб боради. Резисторли характеристикаларга тегишли номинал частота n_{np} қийматларини (6—31) га биноан қуйидагича аниқланади:

$$n_{np} = n_0 \left[1 - \frac{I_n (R_\pi + R_t)}{U_n} \right], \quad (6-37)$$

бунда n_{np} — ташқи қаршилик R_t нинг турли R_{t1} , R_{t2} қийматларини якорь занжирига киритиб, номинал M_n моментда олинadиган номинал n_{np1} , n_{np2} частоталар қиймати. Демак, R_t қийматини ўзгартириш билан якорь занжирдаги



6—5- расм. Параллел қўзғатишли моторнинг механикавий характеристикалари.

қаршилик қийматини R_n гача, яъни номинал қаршилик $R_n = R_a + R_r = \frac{U_n}{I_n}$ гача кўпайтириш мумкин. Агар (6—37) даги $(R_a + R_r)$ ўрнига R_n қиймати қўйилса M_n да олинadиган номинал n_{np} частота нолга тенг, яъни $n_{np} = 0$ бўлади. Шунга биноан, координаталари $n = n_0$, $M = 0$ ва $M = M_n$, $n = 0$ бўлган нуқталарни тўғри чизик билан бирлаштириб якорь занжиридаги R_n қаршиликка тегишли резисторли характеристика олинади (6—5-расм). Агар якорь занжирига R_n қаршилиги киритилса, у ҳолда моторнинг ишга тушириш моменти ва, демак, токи ўзининг поминал қийматларига тенг, яъни $M_{ишт} = M_n$; $I_{ишт} = I_n$ бўлади. Аммо ишга тушириш процессининг қулай шароитда ўтишини таъминлаш учун $M_{ишт} \approx 2M_n$; $I_{ишт} \approx 2I_n$ бўлиб, уларнинг ўртача қиймати ўзгармас бўлиши лозим. Бунинг учун эса $R_{ишт} = R_r$ нинг тўла қиймати (6—26) га биноан аниқланган бўлиб, унинг поғоналари қаршилигини қуйидагича ҳисобланади.

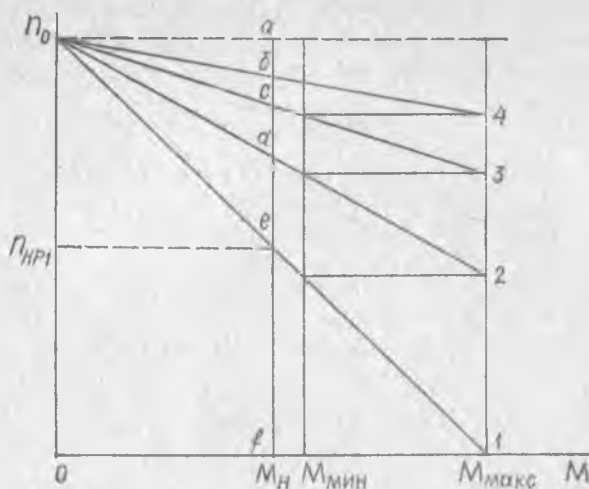
6 — 10. Параллел қўзғатишли моторни ишга тушириш резисторини ҳисоблаш

Якорь занжиридаги қаршиликни R_p ҳисобига кўпайтириш билан номинал нагрузкада, яъни $M_c = M_n = \text{const}$ билан ишлаётган мотор частотаси n нинг n_0 га нисбатан пасайиши Δn ни (6—30) га биноан қуйидагича аниқланади:

$$\Delta n = n_0 - n = \frac{(R_a + R_r)}{C_E C_M} M_n = C(R_a + R_r), \quad (6-38)$$

бунда $C = \frac{M_n}{C_E C_M} = \text{const}$ — ўзгармас коэффициент. Демак, якорь занжиридаги қаршилик $(R_a + R_r)$ нинг қийматини бошқа масштабда олинган частота пасайиши Δn нинг қиймати билан аниқлаш мумкин. Шунга биноан ишга тушириш резисторининг тўла қаршилиги ва ҳар бир поғона қаршиликларини резисторли характеристикаларни қуриш билан, яъни графикавий усулда аниқлаш имкони олинади. 6 — 6-расмда уч поғона билан ишга тушириладиган мотор учун резистор қаршилигини ҳисоблаш кўрсатилган.

Бунинг учун, даставвал, берилган моторнинг параметрларига биноан унинг табиий характеристикаси қурилади. Сўнгра, абсцисса ўқида $M_{\text{макс}} = 2 M_n$ ва $M_{\text{мин}} = (1,1 + 1,2) M_n$ ларга тегишли нуқталар белгиланиб, улардан юқори томонга перпендикулярлар ўтказилади. Демак, ишга тушириш резисторининг тўла қаршилигида ҳосил бўладиган биринчи резисторли характеристикани олиш учун n_0 билан $M_{\text{макс}}$ га тегишли нуқталарни тўғри чизик билан туташтириш кифоя. Бу характеристика бўйича мотор частотаси n_{np1} қийматгача ортиб бориши мумкин. Бунда моторнинг айлантирувчи моменти $M_{\text{макс}}$ дан M_c гача



6—6- расм. Моторни ишга тушириш резистори қаршичилигини графикавий усулда ҳисоблаш.

камайиб, $M = M_c$ бўлганда у ўзгармас қийматга эга, яъни $n = n_{нр1} = \text{const}$ частота билан ишлай бошлайди. Мотор частотасини $n_{нр1}$ га нисбатан купайтириш учун айлантйрувчи момент ва, демак, якорь токи қийматини купайтириш лозим. Бунинг учун эса ташқи қаршилик қиймати R_T ни камайтириш кифоя.

Ишга тушириш процессини жадал ва бир текисда ўтказиш учун $M_{макс}$ нинг $M_{мин}$ гача камайиши билан резисторнинг биринчи поғона қаршилиги R_{T1} шунтланади. Бунда якордаги ток ва, демак, айлантйрувчи момент қиймати яна $M_{макс}$ гача кўпайиши керак. Частота қиймати эса инерция кучлари таъсирида ўзгаришга улгурмагани учун якорь занжиридаги R_{T2} қаршиликка тегишли иккинчи резисторли характеристикани олиш учун n_0 ва 2 нуқталарини тўғри чизик билан бирлаштирилади. Бу характеристика бўйича частотанинг ортиб бориши билан момент қиймати камайиб боради ва, ниҳоят, унинг қиймати $M = M_{мин}$ бўлганда резисторнинг иккинчи поғона R_{T2} қаршилиги шунтланади. Бунда айлантйрувчи момент қиймати яна $M_{макс}$ гача кўпайиб қолиши лозим ва ҳ. к.

Резисторнинг учинчи, яъни охирги поғонаси R_{T3} шунтланганда табиий характеристика бошланадиган 4 нуқта олинса, у ҳолда ҳисоблашнинг графикавий қисми тугайди, акс ҳолда эса $M_{мин}$ қийматини бир оз ўзгартириб график ҳисоблаш қайта бошланади. Амалда, кўпи билан, уч марта қайта қуришдан сўнг ҳисоблаш тугалланади.

Резисторнинг поғона қаршиликлари 6 — 6- расмдаги графикка биноан аниқланади. Графикдаги af кесим (6 — 37) ва

(6 — 38) га биноан номинал қаршилиқ R_n ни ифодалагани учун резисторнинг биричи поғона қаршилигини қуйидаги пропорциядан аниқлаш мумкин, яъни:

$$R_{T1} = R_n \frac{de}{af}, \quad (6 - 39)$$

бунда $R_n = \frac{U_n}{I_n}$ — моторнинг номинал қаршилиги;

$\frac{de}{af}$ — графикдан аниқланувчи de ва af кесмаларнинг нисбати.

Шу сингари, $R_{T2} = R_n \frac{cd}{af}$; $R_{T3} = R_n \frac{bc}{af}$; $R_\Sigma = R_n \frac{ab}{af}$ Ом бўлиб, резисторнинг тўла қаршилиги $R_T = (R_{T1} + R_{T2} + R_{T3})$ Ом бўлади.

6 — 1- масала. Уч поғонада ишга туширилаётган П-61- типли параллел қўзғатишли мотор учун резистор қаршилиги графикавий усулда ҳисоблансин.

Берилган: $P_n = 6$ кВт, $U_n = 110$ В, $I_n = 66$ А, $n_n = 1000 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$, $\eta = 0,825$.

Е чи ш. Даставвал моторнинг табиий характеристикаси қурилади. Бунинг учун n_0 ва M_n қийматлари аниқланади, яъни

$$n_0 = \frac{n_n U_n}{U_n - I_n R_\Sigma} = \frac{1000 \cdot 110}{110 - 66 \cdot 0,5 (1 - \eta_n) R_n} = 1100 \frac{\text{айл}}{\text{мин}},$$

$$M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n} = 9550 \frac{6}{1000} = 57,3 \text{ Нм.}$$

Координаталари $n = n_0$, $M = 0$ ва $M = M_n$, $n = n_n$ бўлган нуқталарни тўғри чизиқ билан бирлаштириб 6 — 6- расмда кўрсатилган табиий характеристика олинади. Резисторли характеристикаларни қуриш учун $M_{\text{макс}}$ ва $M_{\text{мин}}$ қийматлари аниқланади, яъни

$$M_{\text{макс}} = 2M_n = 2 \cdot 57,3 = 114,6 \text{ Нм.}$$

$M_{\text{мин}}$ қиймати эса графикавий усул билан ҳисоблаб аниқланади, яъни

$$M_{\text{мин}} = 1,16 M_n = 1,16 \cdot 57,3 = 63 \text{ Нм.}$$

Резисторли характеристикаларни юқоридаги тартибда қуриб, сўнгра 6 — 6- расмда кўрсатилган графикдан резистор қаршиликлари аниқланади, яъни

$$R_{T1} = R_n \frac{de}{af} = \frac{U_n}{I_n} \frac{de}{af} = 1,67 \cdot 0,213 = 0,355 \text{ Ом,}$$

$$R_{T2} = R_n \frac{cd}{af} = 0,197 \text{ Ом; } R_{T3} = R_n \frac{bc}{af} = 0,121 \text{ Ом,}$$

$$R_\Sigma = R_n \frac{ab}{af} = 0,183 \text{ Ом; } R_T = R_{T1} + R_{T2} + R_{T3} = 0,673 \text{ Ом.}$$

6 — 11. Параллел қўзғатишли мотор тормоз режимларининг механикавий характеристикалари

Параллел қўзғатишли моторни рекуператив, электродинамик ва тескари уланиш каби тормоз режимларида ишлатиш мумкин.

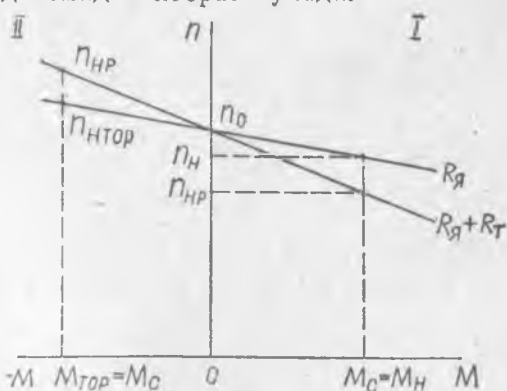
Рекуператив тормозлаш режими. Номинал режимида ишлаб турган моторнинг частотаси ташқи куч таъсирида ортиб бориши билан унинг якориди ҳосил бўлган э. ю. к. қиймати кўпайиб боради ва, ниҳоят, $n = n_0$ бўлганда $E_{\text{я}} = U$ бўлиб, $I_{\text{я}} = \frac{U - E_{\text{я}}}{R_{\text{я}}} = 0$ ва, демак, $M = 0$ бўлади. Агар мотор валидаги n частота ташқи куч таъсирида n_0 дан катта, яъни $n > n_0$ қилинса, у ҳолда $E_{\text{я}} > U$ бўлиб, якорь токи ва, демак, айлантирувчи моменти тескари йўналишга эга бўлади. Бунда n қиймати n_0 га нисбатан қанча катта бўлса, $I_{\text{я}} = \frac{-(E_{\text{я}} - U)}{R_{\text{я}}}$ нинг қиймати ҳам, мотордаги тормозлавчи электромагнитавий момент $M_{\text{т}} = k_{\text{м}} \Phi (-I_{\text{я}}) = -C_{\text{м}} \frac{E_{\text{я}} - U}{R_{\text{я}}}$ нинг қиймати ҳам шунча катта бўлади. Демак, частотани бирор $n > n_0$ қийматида $M_{\text{т}} = M_{\text{с}}$ бўлиб мотор валидаги частота ўзгармас қийматга эга бўлади. Бунда якорь чулғамидан ўтувчи $I_{\text{я}}$ токи электр тармоғидан олинмай, балки унга берилиб турилади ва шу сабабли бу режими моторнинг генератор ёки рекуператив тормозлаш режими дейилади.

Рекуператив тормозлаш режимида якорь токнинг йўналиши ўзгаргани учун, моторнинг бу режимдаги механикавий ва частота характеристикалари тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

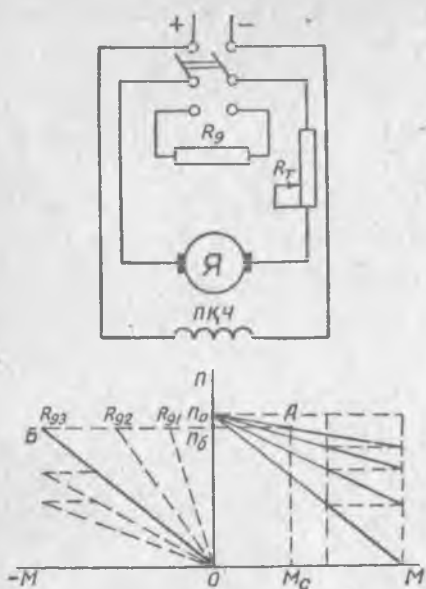
$$n = \frac{U}{C_{\text{Е}}} + \frac{\Sigma R}{C_{\text{Е}} \cdot C_{\text{м}}} M_{\text{т}} = n_0 + \frac{(R_{\text{я}} + R_{\text{т}})}{C_{\text{Е}} C_{\text{м}}} M_{\text{т}} = n_0 + \frac{\Sigma R}{C_{\text{Е}}} I_{\text{я}}. \quad (6-40)$$

6—7-расмдаги координата системаси II квадрантининг юқорисида параллел қўзғатишли моторнинг рекуператив тормозлаш режимидаги механикавий характеристикаси кўрсатилган. Демак, рекуператив тормозлашдаги механикавий характеристика мотор режимидагининг давомидан иборат бўлади.

Электродинамик тормозлаш режими 6—8-расмда параллел қўзғатишли моторни электродинамикавий тормозлаш режимига ўтказиш схемаси ва унга тегишли механикавий характеристикалари кўрсатилган. Номинал режимида ишлаб турган моторни динамикавий тормозлаш режимига ўтказиш учун унинг якорь чулғамини электр тармоғидан ажратиб, би-



6—7- расм. Параллел қўзғатишли моторнинг рекуператив тормозлаш режимидаги механикавий характеристикаси.



6—8- расм. Параллел қўзғатишли моторни электродинамиквий тормозлаш йули билан тўхтатиш схемаси.

вий қаршилик. Бу қаршиликнинг қиймати ҳам $I_{\text{я}} \approx 2I_{\text{н}}$ бўлиши шартидан аниқланади. Демак, тормозлаш моментининг дастлабки қиймати

$$M_{\text{т}} \approx -C_{\text{м}} \frac{E_{\text{я}}}{R_{\text{я}} + R_{\text{дин}}} \approx -2M_{\text{н}}$$

бўлади. Бу момент таъсирида якорнинг айланиш частотаси камайиб натижада э. ю. к. ва демак, якорь токининг қиймати ҳам камая бошлайди. Демак, частота камайиши билан унга пропорционал равишда тормозлаш моментининг қиймати ҳам камайиб боради ва, ниҳоят, $n = 0$ бўлганда $M_{\text{т}} = 0$ бўлади (6—8- расм). Моторни тез ва бир текис тормозлаб тўхтатиш учун частота камайиши билан $R_{\text{дин}}$ қийматини ҳам камайтириб ($R_{\text{дин1}} > R_{\text{дин2}} > R_{\text{дин3}}$) бориш лозим. Бунда тормозлаш моментининг ўртача қиймати ўзгармас бўлиб, моторни тез ва силлиқ тўхтатиш мумкин бўлади.

Тескари уланиш режими. 6—9-расмда параллел қўзғатишли моторни тескари уланиш режимида ўтказиш схемаси ва унга тегишли механикавий характеристика кўрсатилган.

Номинал режимда ишлаб турган моторни тескари уланиш режимида ўтказиш учун унинг якорь занжирига электр тармоғидан узиб, сунгра уни яна шу тармоққа тескари қилиб улаш лозим, қўзғатувчи чулғам эса электр тармоғига уланганича қолиши керак. Бу режимнинг дастлабки пайтида мотор

рор қаршиликка улаш кифоя. Бунда моторнинг қўзғатувчи чулғами электр тармоғига уланганича қолиб унинг якори инерция кучлари таъсирида ўз айланишини давом эттиради ва, демак, мотор генератор режимида ўтиб ишлай бошлайди. Бу режимнинг дастлабки пайтида частота қиймати ўзгаришга улгурмайди, яъни $n = n_{\text{н}} = n_0$ бўлади, бунда n_0 — бошланғич частота.

Демак, электродинамиквий тормозлаш режимининг дастлабки пайтида якорь занжирида ҳосил бўлган токнинг қиймати ва йўналиши қуйидагича бўлади:

$$I_{\text{я}} = -\frac{E_{\text{я}}}{R_{\text{я}} + R_{\text{дин}}}, \quad (6-41)$$

бунда $R_{\text{дин}}$ — якорь занжирига киритилган динамика-

якори инерция кучлари таъсирида ўз айланишини давом эттириверади. Аммо якори токининг қиймати ва йўналиши ўзгариб, яъни $I_{\text{я}} = -\frac{(U + E)}{R_{\text{я}} + R_{\text{ту}}}$ бўлиб қолади, бунда $R_{\text{ту}}$ — якори занжирига киритилувчи тескари уланиш қаршилиги. Бу қаршиликнинг қиймати ҳам $I_{\text{я}} \approx 2I_{\text{н}}$ ҳисобидан аниқланади.

Шунга биноан, мотордаги электромагнитавий момент ҳам ўз йўналишини ўзгартириб, тормозловчи момент $M_{\text{т}} =$

$$= -C_{\text{м}} \frac{(U + E)}{R_{\text{я}} + R_{\text{ту}}}$$

ифода билан аниқланади. Бу момент таъсирида мотор валининг инерция кучлари таъсирида айланиш частотаси кескин камайиб боради ва $n = 0$ бўлганда $E = 0$ бўлиб, мотор валига таъсир этувчи момент қиймати $M =$

$$= -C_{\text{м}} \frac{U}{R_{\text{я}} + R_{\text{ту}}}$$

бўлади. Бу момент таъсирида эса мотор

тескари томонга мотор режимида айлана бошлайди. Демак, моторнинг тескари уланиш билан олинadиган тормоз режими унинг валидаги частота $n = 0$ бўлгунча давом этади. Агар мақсад моторни тезда тўхтатиш бўлса, у ҳолда $n = 0$ бўлиши билан уни электр тармоғидан ажратиш лозим, акс ҳолда мотор тескари томонга айлана бошлайди. 6—9-расмнинг II ва IV квадрантларида моторнинг тескари уланиш режимидаги механикавий характеристикаси кўрсатилган бўлиб, унинг III ва I квадрантлардаги давоми эса мотор режимидаги тегишлидир. Моторнинг тескари уланиш режимидаги қувватларнинг мувозанат тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

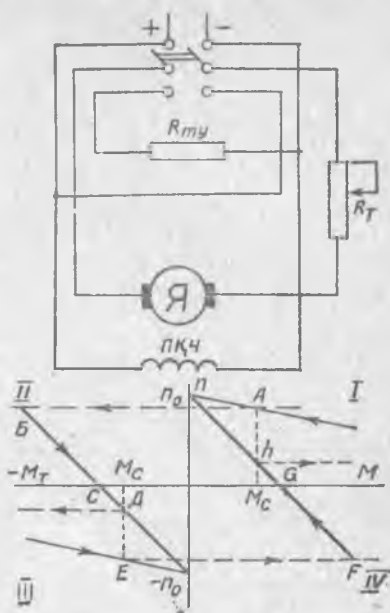
$$P_{\text{эл}} + P_{\text{мех}} = UI_{\text{я}} + E_{\text{я}}I_{\text{я}} = I_{\text{я}}^2 (R_{\text{я}} + R_{\text{ту}}),$$

бунда $P_{\text{эл}} = UI_{\text{я}}$ — электр тармоғидан моторга берилadиган қувват,

$P_{\text{мех}} = E_{\text{я}}I_{\text{я}}$ — мотор валини айлантирувчи инерция кучларидан ҳосил бўлган қувват;

$I_{\text{я}}^2 (R_{\text{я}} + R_{\text{ту}})$ — якори занжиридаги қаршиликларнинг қизишига сарфланган қувват исрофи.

Демак, тескари уланиш режимида электр тармоғидан ҳам



6—9- расм. Параллел қўзғатишли моторни тескари уланиш режимида ўтказиб тормозлаб тўхтатиш схемаси.

қувват олинади. Шунга биноан бу энг тежамсиз тормозлаш режимларидан ҳисобланади.

6- масала. П- 61 типли моторни электродинамикавий тормозлаш усули билан тўхтатиш учун унинг якори занжирга киритиладиган динамикавий қаршилиқ қиймати $R_{дин}$ ни аниқлансин.

Берилган: $P_H = 6$ кВт; $U_H = 110$ В; $I_H = 66$ А ва $n_H = 1000 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$.

Е чи ш. Тормозлаш режимининг дастлабки пайтида $E_{макс} = U_H = 110$ В ва $I_{макс} \approx 2I_H = 2 \cdot 66 = 132$ А деб қабул қилинади. Бунда $R_{дин}$ қийматини қуйидагича аниқлаш мумкин.

$$R_{дин} = \frac{E_{макс}}{I_{макс}} - R_H = \frac{110}{132} - 0,10 = 0,68 \text{ Ом.}$$

6—3- масала. П- 61 типли моторнинг тескари уланиш режимдаги тормозловчи моменти $M_T = 2M_H$ бўлиши учун унинг якори занжирга киритиладиган қаршилиқ $R_{ту}$ аниқлансин.

Е чи ш. Бу режимда ҳам $\Phi = \text{const}$ бўлгани учун $M_T = C_M I$ бўлади. Шунга биноан $R_{ту}$ қаршилиқни қуйидаги тенгламадан аниқлаш мумкин:

$$2I_H = \frac{U + E_H}{R_H + R_{ту}}$$

унда $E_H \approx U = 110$ В

Демак,

$$R_{ту} = \frac{U + E_H}{2 I_H} - R_H = \frac{110 + 110}{132} - 0,15 = 1,45 \text{ Ом.}$$

6—4- масала. 100 А ток билан рекуператив тормозлаш режимда ишлайтган П- 61 типли мотор валидаги частота аниқлансин.

Е чи ш. Бунда якори занжирга ташқи қаршилиқ киритилмаган деб частота қийматини қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$\begin{aligned} n &= n_0 + \frac{R_H}{C_E C_M} M = n_0 + \frac{R_H}{C_E} I_H = \frac{n_H U_H}{U_H - I_H R_H} + \frac{R_H \cdot n_H}{U_H - I_H R_H} I_H = \\ &= 1100 + 150 = 1250 \frac{\text{айл}}{\text{мин}} \end{aligned}$$

Бунда $C_E = \frac{U_H - I_H R_H}{n_H} = 0,1 \text{ В} / \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$.

6—12. Параллел қўзғатишли мотор частотасини ростлаш усуллари

Параллел қўзғатишли моторнинг частотаси ҳам уч хил усулда ростланади. Якори занжирга киритиладиган ташқи қаршилиқ R_T нинг қийматини кўпайтириш билан моторнинг частотасини ростлашда қувват исрофининг қиймати $I^2 (R_H + R_T)$ бўлади. Шунга биноан, қаршилиқни киритиш билан мотор частотасини номиналга нисбатан $25 + 30$ % паст томонга ростлатасия қилинади. Ростлаш диапазони бундан ҳам кўпайтирилса, ростлашдаги тежамлилиқ жуда ҳам пасайиб кетади. Бундан ташқари, R_T қийматининг ортиб бориши билан резисторли характеристикаларнинг қаттиқлиги ва, демак, ростлаш муътадиллиги пасайиб боради. Якори занжирга кетма-кет уланган R_k қаршилиқдан ташқари, параллел уланган $R_{ш}$ қаршилиги

ҳам киритилса, яъни якорь $R_{ш}$ билан шунтланса, у ҳолда n_0 қиймати ҳам ўзгариб, резисторли характеристикалар қаттиқлиги бирмунча юқорилашади. Бунда механикавий характеристика тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

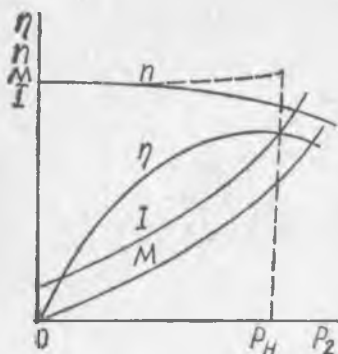
$$n = n_0 \frac{R_{ш}}{R_k + R_{ш}} - \frac{n_0 I_n}{M_n L_n} \left(R_k + \frac{R_k R_{ш}}{R_k + R_{ш}} \right) M, \quad (6 - 42)$$

бунда $n_0 \frac{R_{ш}}{R_k + R_{ш}} = n_{шт}$ — шунтлаш натижасида олинган салт иш режимидаги частота.

Демак, мотор якорини шунтлаш билан n_0 нинг қиймати ҳам ростланиб, натижада ростлаш диапозонини $D = 4 + 5$ гача кенгайтириш имкони олинади. Частотани бундай усул билан ростлаш фақат қисқа вақтли иш режимларида, масалан, мотор валини аниқ ҳолатда тўхтатиш учун зарур бўлган паст частотани олишда қўлланилади.

Магнитавий оқимни ўзгартириш билан параллел қўзғатишли мото рнинг частотасини ростлаш. Магнитавий оқимни ўзгартириш, яъни уни номинал Φ_n га нисбатан камайтириш билан моторнинг частотасини $1,5 + 2$ марта ошириш мумкин. Бу усул билан баъзи типдаги моторлар частотасини тўрт мартагача ҳам кўпайтириш имкони бўлади. Магнитавий оқим қиймати қўзғатувчи занжирдаги ток билан ўзгартирилганлиги сабабли бу усул билан частотани ростлаш жуда ҳам тежамли бўлади. Ўзгармас ток моторларидаги қўзғатиш токи якорь токининг фақат $1 + 5$ процентига тенг бўлгани учун частотани бу усулда катта тежамлилиқ билан ростлаш имкони олинади. Магнитавий оқимни камайтириш билан олинадиган сунъий характеристикалар қаттиқлиги табиийга нисбатан паст бўлади, аммо частотаси қиймати юқорилашгани учун ишлашдаги муътадиллик, деярли пасаймайди. Частотани бу усул билан ростлашда магнитавий оқим қийматини, умуман, қутблардаги қолдиқ магнетизм қийматигача камайтириш мумкин. Амалда эса Φ нинг қийматини Φ_n га нисбатан $1,5 + 2$ мартадан ортиқроқ камайтирилса, якорнинг айланиш частотаси ҳам пропорционал равишда ортиб, коммутация шароити ёмонлашади. Бунда магнитавий оқимнинг камайтиши билан $M = k_m \Phi I_n$ нинг қиймати ҳам камайтиши сабабли моторнинг ишлашдаги муътадиллиги (турғунлиги) пасаяди.

Кучланишни ўзгартириш билан мустақил қўзғатишли мотор частотасини ростлаш. Кучланишни ўзгартириш йўли билан олинадиган сунъий характеристикаларнинг қаттиқлиги ўзгармайди, яъни сунъий характеристикалар табиий характеристикага параллел бўлади. Шу сабабли, якорга бериладиган кучланишни ўзгартириш билан мустақил қўзғатишли моторнинг частотасини кенг миқёсда (диапазонда) ростлаш мумкин. Бу усулда олинадиган ростлаш диапозони қиймати ток манбаидаги кучланишнинг ўзгариш диапозони билан



6—11- расм. Параллел қузғатишли моторнинг иш характеристикалари.

ча ўрамдан иборат чулғам ўрнатилади. Бу чулғам якори занжирга кетма-кет уланиб якори реакцияси таъсирини автоматик равишда камайтириб туради. Шунинг учун буни частотани муътадиллаштирувчи чулғам деб ҳам аталади. Муътадиллаштирувчи чулғами бўлган мотор нагрукасининг ортиб бориши билан унинг частотаси фақат $I_a R_a$ ҳисобига камайнб боради. Мотор якоридаги ток ва электромагнитвий момент қийматлари нагруккага пропорционал равишда ўзгариб боради. Аммо нагрукка кўпайиши билан частота қийматининг 3 ÷ 8 процентга камайнши сабабли момент қиймати юқори томонга бир оз қайрилган чизик бўйича ўзгаради. Нагруканинг тахминан 50 процентига фойдали иш коэффициентини максимал қийматига етади, нагруканинг номиналгача ортиб боришида эса унинг қиймати деярли ўзгармайди. Номиналга яқин ва ундан катта нагрукаларда фойдали иш коэффициентининг қиймати бир оз камай бошлайди.

6 — 13. Механикавий характеристикаларни қуришда нисбий бирликлардан фойдаланиш

Агар бир неча моторнинг механикавий характеристикаси бир хил қияликка эга бўлса, уларни нисбий бирликда битта чизик билан кўрсатиш мумкин. Нисбий бирликдаги механикавий характеристика тенгламасини тузиш учун частота характеристикаси ифодаси $n = n_0 - \frac{\Sigma R}{C_E} I_a = n_0 \left(1 - \frac{\Sigma R}{U} I_a\right)$ нинг чап ва ўнг қисмларини n_0 га бўлиш лозим. Бунда

$$n' = 1 - \frac{\Sigma R}{U} I_a \text{ ёки } n' = 1 - \frac{I_a \frac{\Sigma R}{U}}{I_n} = 1 - I'_a \Sigma R'$$

ши билан I_a нинг қиймати ҳам ортиб боради. Механикавий характеристикага биноан нагруканинг кўпайиши билан частота камайса, якори реакциясининг магнитсизлантириш таъсирида эса Φ нинг қиймати камайнб частота ортади. Агар якори реакциясининг магнитсизлантирувчи таъсирида нагруканинг ортиб бориши билан частота ҳам кўпайиб борса (6 — 11- расм, пунктир чизик), у ҳолда мотор тургул бўлмаган режимда ишлай бошлайди. Якори реакцияси таъсирини камайтириш ёки бутунлай йўқотиш учун, одатда, мотор қутбларига бир не-

олинади. Демак, нисбий бирликда частота характеристикаси $n' = 1 - I_a' \sum R'$ бўлиб, агар $\Phi = \Phi_n = \text{const}$ бўлса, у ҳолда механикавий характеристиканинг нисбий бирликдаги ифодаси $n' = 1 - M' \sum R'$ бўлади.

Частота пасайишининг нисбий бирликдаги ифодаси эса $\Delta n' = -I_a' \sum R' = M' \sum R'$ бўлади. Номинал ток ёки номинал моментда $I_a' = 1$; $M' = 1$ бўлгани учун частота пасайишини яна соддароқ ифодалаш мумкин, яъни $\Delta n' = \sum R'$, бунда: $I_a' = \frac{I_a}{I_n}$ — нисбий бирликдаги ток; $M' = \frac{M}{M_n}$ — момент; $n' = \frac{n}{n_n}$ — частота ва $\sum R' = \frac{R_a + R_r}{R_n}$ — якорь занжиридаги қаршилик.

6 — 14. Кетма-кет қўзғатишли ўзгармас ток мотори

Қўзғатувчи чулғами якорь занжирига кетма-кет уланган мотор кетма-кет қўзғатишли мотор дейилади. 6 — 12- расмда: а — кетма-кет қўзғатишли моторнинг уланиш схемаси ва б — иш характеристикалари кўрсатилган.

Бунда қўзғатиш токининг қиймати якорь токига тенг, яъни $i_k = I_a$ бўлгани учун магнитавий оқим Φ нинг қиймати ҳам нагрузка токига боғлиқдир. Нагрузка токининг кичик қийматларида қутб ўзаклари тўйинмаган ҳолатда бўлгани сабабли магнитавий оқимнинг қиймати нагрузка токига тўғри пропорционал, яъни $\Phi = k I_a$. Электромагнитавий момент $M = k_m \cdot k I_a I_a = C I_a^2$ бўлгани учун нагрузка токининг қиймати қуйидагича бўлади:

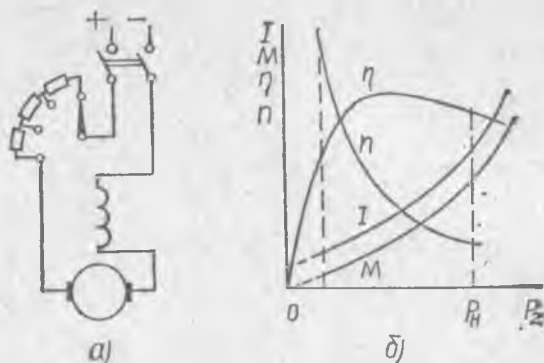
$$I_a = \sqrt{\frac{M}{C}}. \quad (6-45)$$

(6 — 45) га биноан, қаршилик моментининг қиймати номиналга нисбатан, масалан, икки марта кўпайса, нагрузка токининг қиймати I_n га нисбатан фақат 40 процентга кўпаяди. Кетма-кет қўзғатишли моторнинг бу хусусияти унинг асосий афзалликларидан ҳисобланади.

(6 — 45) ифодадаги ток қийматини частота характеристикасининг тенгламасидаги ток ўрнига қўйиб, кетма-кет қўзғатишли моторнинг механикавий характеристикаси тенгламаси олинади, яъни

$$n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{\sum R}{k_E \Phi} I_a = \frac{U}{k_E \cdot k \sqrt{\frac{M}{C}}} - \frac{\sum R}{k_E k} = \frac{A}{\sqrt{M}} - B, \quad (6-46)$$

бунда $A = \frac{U}{k_E k \sqrt{\frac{1}{C}}}$ ва $B = \frac{\sum R}{k_E k}$ — ўзгармас коэффициент-



6—12- расм. Кетма-кет қўзғатишли моторнинг характеристикалари.

лар. (6 — 46) ифодага биноан серияс мотор учун қурилган механикавий характеристика унинг тўғрисида фақат умумий тасаввур беради. Амалда эса номинал режимда ишловчи моторларнинг магнит системалари тўйинган ҳолатда бўлади. Шунга биноан кетма-кет қўзғатишли моторларнинг механикавий характеристикалари графоаналитик усулда қурилади. Бунда маълум типдаги моторлар учун уларни ишлаб чиқарувчи заводлар томонидан каталогда берилган универсал табиий характеристика боғланишларидан, яъни $n' = f(I'_я)$ ва $M' = f(I'_я)$ дан фойдаланилади.

6 — 13- расмда $MП$ ва $П$ типли кетма-кет қўзғатишли моторларнинг $n' = f(I'_я)$ ва $M' = f(I'_я)$ характеристикалари кўрсатилган. Механикавий характеристикаларни графоаналитик усул билан қуриш учун частота характеристикаси тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

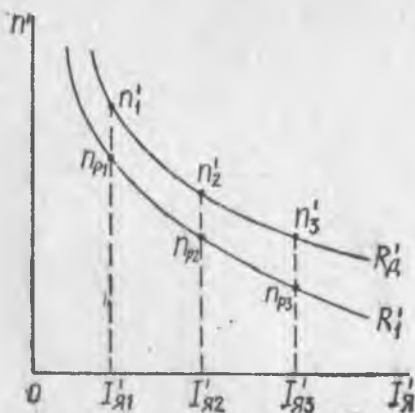
$$n = \frac{U - I_я R_D}{k_E \Phi} = \frac{U}{k_E \Phi} \left(1 - \frac{I_я R_D}{U} \right), \quad (6-47)$$

бунда $R_D = R_я + R_к$ — якорь занжирининг ички қаршилиги. Якорь занжирига ташқи қаршиликни киритиш билан резисторли характеристиканинг қуйидаги ифодаси олинади:

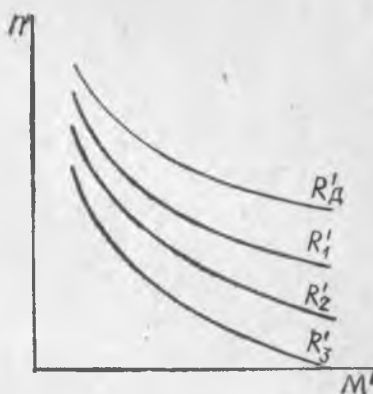
$$n_p = \frac{U}{k_E \Phi} \left[1 - \frac{I_я (R_D + R_T)}{U} \right], \quad (6-48)$$

(6 — 48) ни (6 — 47) га бўлиб, ундан n_p нинг қиймати қуйидагича аниқланади:

$$n_p = n \frac{U - I_я (R_D + R_T)}{U - I_я R_D}, \quad (6-49)$$



6—14- расм. Якорь занжирига ташқи қаршилик киритилган кетма-кет қўзғатишли моторнинг частота характеристикаси.



6—15- расм. Кетма-кет қўзғатишли моторнинг табиий ва сунъий механик характеристикалари.

Якорь занжирига кетма-кет уланган ташқи қаршилик туфайли механикавий характеристиканинг юмшоқлиги яна ҳам ортади. Магнитавий оқимнинг қиймати нагрузка токига боғлиқлиги сабабли нагрузканинг камайиши билан кетма-кет қўзғатишли мотор частотаси хавфли даражагача ортиб кетиши мумкин. Шунга биноан мотор валидаги доимий нагрузканинг минимал қиймати номинал нагрузканинг 25 ± 30 процентини ташкил этиши керак.

Юқорида қайд қилинган хусусиятларга кура кетма-кет қўзғатишли моторлар, кўпинча трамвай, троллейбус, электр поездлари каби транспорт машиналарида ишлатилади.

Кетма-кет қўзғатишли моторни ишга тушириш учун якорь занжирига ташқи қаршилик киритилади, акс ҳолда, токнинг қиймати жуда ортиб кетади.

Моторнинг айланиш частотаси ортиб бориши билан ток ва айлантирувчи момент қийматлари камайиб боради. Айланиш частотаси бир текисда ортиб бориши учун ишга туширувчи резистор айрим поғоналарининг қаршиликларини маълум вақтларда якорь занжиридан чиқариб туриш лозим.

Бу мотор учун ҳам ишга туширувчи резистор қаршилиги графикавий усулда ҳисобланади. Бунинг учун фақат табиий частота характеристикасидан фойдаланиб, сунъий характеристикалар қуришнинг кераги ҳам бўлмайди.

6 — 16- расмда икки поғонали резистор қаршилигини графикавий усулда ҳисоблаш кўрсатилган. Бунда, даставвал, табиий частота характеристикаси қурилиб, унда $I_{\max} \approx 2I_n$ ва $I_{\min} \approx 1,2 I_n$ га тегишли K ва G нуқталар белгиланади.

Бу нуқталардан Af вертикал чизиги билан кесишгунча да-

вом этадиган ва абсцисса ўқига параллел бўлган fG ва eK чизиклари ўтказилади. Af чизиги координата бошининг чап томонидан OA масофада ўтказилади. OA масофа маълум бир масштабда якорь занжирининг ички қаршилиги R_D ни ифодалайди. Шу масштабда $R_1 = \frac{U}{I_{\max}}$ ва $R_2 = \frac{U}{I_{\min}}$ қаршиликларга

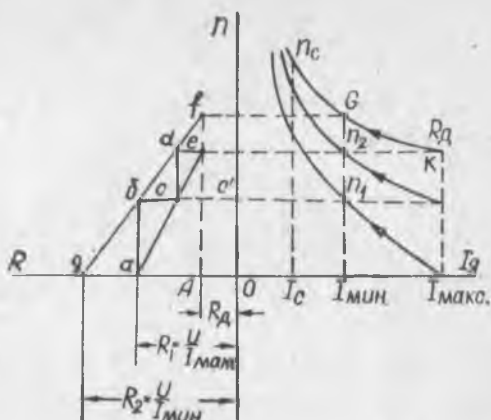
тегишли бўлган oa ва og кесмалари белгиланади. Агар a билан e ва g билан f нуқталар бирлаштирилса, мотор частотасининг якорь занжири қаршилигига боғлиқлигини ифода

лайдиган икки тўғри чизик ae ва gf ҳосил қилинади. Ишга туширувчи резистор поғоналари сонини ва улар қаршилигини аниқлаш учун a нуқтадан gf гача давом этган вертикал ab ва b нуқтадан ae гача давом этган горизонтал bc чизиклари ўтказилади. cd ва ef лар ҳам худди шу тарзда ўтказилади.

Агар охириги горизонтал чизик e нуқтадан ўтса, у ҳолда қаршилиқнинг охириги поғонаси якорь занжиридан чиқарилиши билан табиий характеристика олинади ва шу билан бирга графикавий ҳисоблаш тугайди. Агар горизонтал чизик e нуқтадан ўтмаса, $I_{\min}$ қийматини ўзгартириб, графикавий ҳисоблаш қайта бошланади.

Демак, bc кесмаси қурилишига кўра, резисторнинг биринчи поғона қаршилигини ифодаласа, de эса иккинчи поғона қаршилигини ифодалайди.

Моторни ишга туширишда, якорь занжирига тўла қаршилиқ R_1 киритилади. Частотанинг ортиб бориши билан ток қиймати камайиб боради. Шунга кўра, токнинг $I_{\min}$ ва частотанинг n_1 қийматида биринчи поғона қаршилиги якорь занжиридан чиқарилади. Натижада токнинг қиймати яна $I_{\max}$ гача кўпайиб, частота иккинчи резисторли характеристика бўйича кўпая бошлайди. Бунда якорь занжирдаги қаршилиқ cc' кесмаси билан аниқланади. Частота қиймати n_2 га тенглашганда қаршилиқнинг иккинчи поғонаси занжирдан чиқарилади ва мотор табиий характеристикага ўтиб ишлайди. Кетма-кет қўзғатишли моторларни фақат тескари уланиш ва электродинамикавий тормоз-



6—16- расм. Кетма-кет қўзғатишли мотор якорьга киритиладиган икки поғонали реостат қаршилигини графикавий усулда ҳисоблаш.

лаш режимларида ишлатиш ва улар асосида моторни тормозлаб тўхтатиш мумкин.

6 — 5- масала. Номинал қуввати $P = 25$ кВт, токи $I_n = 134$ А, кучланиши $U = 220$ В ва частотаси $n = 575 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ бўлган МП-51 типли кетма-кет қўзғатишли моторнинг табиий характеристикаси қурилсин ва частотани минутага 200 марта айланишгача камайтириш учун якорь занжирга киритиладиган ташқи қаршилик қиймати аниқлансин, сунгра бу қаршиликка тегишли резисторли характеристика қурилсин. Бунда нагжуа токининг қиймати номиналга тенг, яъни $I_c = I_n$ бўлиши керак.

Ечиш. Табиий характеристика $n = f(I_n)$ ни ҳисоблаш учун 6 — 13- расмда келтирилган $n' = f(I'_n)$ эгри чизигидан фойдаланилади. Бунда $I'_n = 1$, $I_n = 134$ А, $n' = 1$, $n = 575 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ бўлади. Демак, частота характеристикаси қуйидаги ифодадардан аниқланади:

$$I_n = I_n \cdot I'_n; \quad n = n_n n'.$$

Ҳисоблаш натижалари қуйидаги жадвалда келтирилган:

№№	I'_n	I_n	n'	n
	—	А	—	айл/мин.
1	0,4	53,6	1,9	1090
2	0,6	80,4	1,35	776
3	0,8	106,2	1,13	650
4	1	134	0,98	564
5	1,2	160	0,93	535
6	1,4	188	0,86	495
7	1,6	214	0,81	464
8	1,8	240	0,78	447
9	2	268	0,75	430

6 — 17- расмда кўрсатилган табиий частота характеристикаси юқоридаги жадвалда келтирилган миқдорлар асосида қурилган.

Моторнинг номинал қаршилиги $R_n = \frac{U_n}{I_n} = \frac{220}{134} = 1,64$ Ом, унинг фойдали иш коэффициенти эса

$$\eta = \frac{1000 P}{U_n I_n} = \frac{1000 \cdot 25}{220 \cdot 134} = 0,85.$$

Демак, $R_n \approx 0,5 (1 - \eta) R_n = 0,5 (1 - 0,85) 1,64 = 0,11$ Ом. Кетма-кет қўзғатишли чулғам қаршилиги эса

$$R_k \approx 0,5 R_n = 0,5 \cdot 0,11 = 0,055 \text{ Ом}$$

Шунга кўра, $R_D = R_n + R_k = 0,11 + 0,055 = 0,165$ Ом.

Мотор частотасини $n = 200 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ гача камайтириш учун лозим бўлган

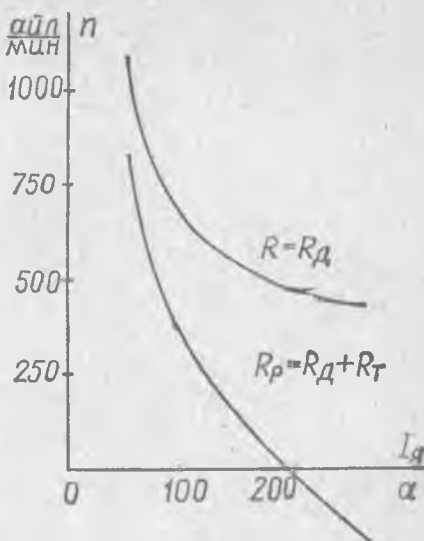
ташқи қаршилик қиймати (6 — 49) ифодадаги якорь токи ўрнига унинг номинал қийматини қўйиб, қуйидагича аниқланади:

$$R_T = \left(1 - \frac{n_{рн}}{n_n}\right) (R_n - R_D) = \\ = \left(1 - \frac{200}{575}\right) (1,64 - 0,165) = 0,958 \text{ Ом.}$$

Моторнинг резисторли хара-
ктеристикаси қуйидаги ифо-
дага биноан ҳисобланади:

$$n_p = n \frac{U_n - I_{я}(R_D + R_T)}{U_n - I_{я}R_D},$$

бунда n — табиий характери-
стикадаги турли нагрузка токла-
рига тегишли частоталар. Ҳисоб-
лаш натижалари қуйидаги жад-
валда келтирилган:



6—17- расм. Кетма-кет қўзғатишли
моторнинг табиий ва сунъий харак-
теристикаларини қуриш.

№№	$I_{я}$	n	n_p
	A	айл/мин	айл/мин
1	53,6	1090	330
2	80,4	776	400
3	106,2	650	325
4	134	564	200
5	160	535	110
6	188	495	26
7	214	464	—50
8	240	447	—125
9	268	430	—195

6 — 17- расмда эса жадвалдаги натижалар асосида қурилган резисторли характеристика кўрсатилган.

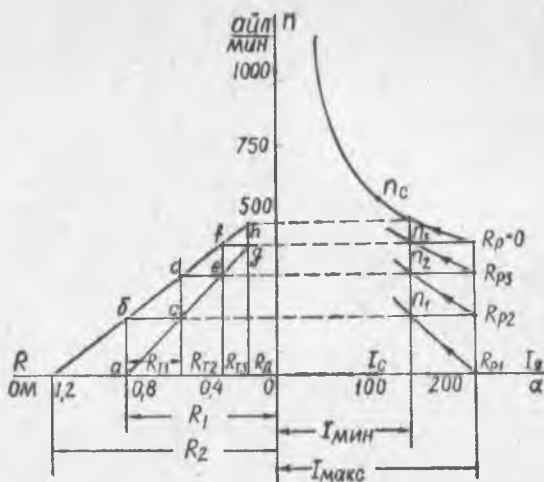
6 — 6- масала. МП- 51 типли кетма-кет қўзғатишли мотор учун уч по-
ғона қаршиликдан иборат ишга туширувчи резистор ҳисоблансин.

Е чи ш. Бу моторнинг юқорида қурилган табиий характеристикасида $I_{макс}$ ва $I_{мин}$ тоқларга тегишли икки нуқта белгиланади ва $I_{макс} = 2I_n$, $I_c = I_n = const$ деб қабул қилинади. Бир неча марта қайта графикавий ҳисоблаш-
лардан сўнг, тоқнинг минимум қиймати $I_{мин} = 1,2 I_c$ га тенглиги аниқланади (6 — 18- расм);

бунда

$$R_1 = \frac{220}{2 \cdot 134} = 0,82 \text{ Ом.}$$

$$R_2 = \frac{220}{1,2 \cdot 134} = 1,37 \text{ Ом.}$$



6—18- расм. Кетма-кет қўзғатишли мотор якорига киритиладиган уч поғонали ишга тушириш реостати қаршилигини графикавий усулда ҳисоблаш.

6 — 18- расмда уч поғона қаршиликдан иборат ишга туширувчи резисторни графикавий усулда ҳисоблаш кўрсатилган. Бу графикдан поғона қаршиликларининг қуйидаги қийматлари аниқланган:

$$R_{T1} = 0,3 \text{ Ом}; R_{T2} = 0,21 \text{ Ом}; R_{T3} = 0,17 \text{ Ом}.$$

Демак,

$$R_{p1} = R_D + R_{T1} + R_{T2} + R_{T3}; R_{p2} = R_D + R_{T2} + R_{T3}; R_{p3} = R_D + R_{T3}.$$

Натижада, резисторнинг тўда қаршилиги $R_p = R_{T1} + R_{T2} + R_{T3} = 0,68 \text{ Ом}$ бўлади.

6 — 15. Кетма-кет қўзғатишли мотор частотасини ростлаш усуллари

Кетма-кет қўзғатишли мотор частотасини ҳам параллел қўзғатишли моторники сингари уч хил усул, яъни: 1) якорь занжирига киритилган ташқи қаршиликни ўзгартириб, 2) якорга берилган кучланишни ўзгартириб ва 3) мотор магнитавий оқимини ўзгартириб ростлаш мумкин. Ташқи қаршиликни якорь занжирига кетма-кет улаб мотор частотасини номиналдан паст томонга ростланади. Бунда ташқи қаршиликнинг ортиб бориши билан резисторли характеристикаларнинг юмшоқлиги ҳам ортиб боради. Шунга биноан частотани ростлаш диапазони $D=2+3$ га ча бориб етади. Бундай усулда частотани ростлаш, ташқи қаршиликни қиздиришга сарфланадиган катта қувват исрофига қарамай, ўзининг соддалиги туфайли, баъзи кранларда, элек-

трик транспорт машиналарида ва шу кабиларда қўлланилади. Моторни ишга тушириш ва унинг частотасини ростлаш учун узоқ муддатли нагрузка токига ҳисобланган умумий резистор ишлатилади. Кетма-кет қўзғатиш чулғамли мотор якориға кетма-кет уланган R_k дан ташқари, параллел уланган ташқи қаршилик $R_{ш}$ лар киритилса, унинг резисторли характеристикаларининг қаттиқлиғи ҳам анча кўтарилади. Бунинг натижасида, моторнинг салт иш режимида ҳам унча хавфли бўлмаган $n_{ош}$ частоталарни олиш мумкин. Шунт қаршилиғи қанча кичик бўлса, идеал частота $n_{ош}$ ҳам шунча паст бўлади.

Шундай қилиб, якорни шунтлаб, частотанинг ростланиш диапазонини $D=3-5$ гача кўтариш мумкин. Агар моторнинг қўзғатиш чулғами шунтланса, у ҳолда магнитавий оқим камайиб, унинг частотаси номиналға нисбатан юқори бўлади. Бунда частотани $D \leq 2$ диапазонида ростлаш мумкин.

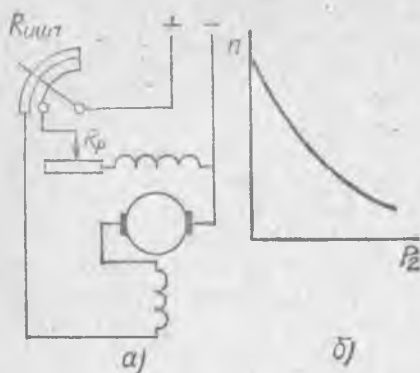
Кучланишни ўзгартириб кетма-кет қўзғатишли мотор частотасини ростлаш усули кўпинча икки моторли, яъни битта валға ўрнатилган иккита мотор орқали ҳаракатлантириладиган механизмларда қўлланилади. Битта мотор ўрниға унинг қувватининг ярмисига мўлжалланган иккита мотор ишлатиш билан частотани ростлашдан ташқари, моторни ишга тушириш ва тормозлаб тўхтатиш вақтини тежаш имкони олинади. Катта габаритли мотор ўрниға кичик габаритли моторларни ўрнатиш анча қулайлик туғдиради ва уларнинг ишлашдаги ишончлилиғи анча юқори бўлади (битта мотор ишдан чиқса, иккинчиси билан вақтинча ишлаш имкони бўлади). Бундай моторлар частотасини ростлаш учун уларнинг ўзаро параллел уланган якорь чулғамларини кетма-кет уланади ёки кетма-кет уланганини параллел улашға ўтказилади. Натижада кетма-кет қўзғатишли моторларнинг ҳар бирини бериладиган кучланиш қиймати электр тармоғидаги кучланишға нисбатан икки марта ўзгартирилади. Демак, частотанинг ростланиш диапазони ҳам $D=2$ га тенг бўлади. Частотани бундай усул билан ростлашдан катта қувватли кран, трамвай ва шу каби транспорт механизмларида фойдаланилади.

6 — 16. Аралаш қўзғатишли ўзгармас ток мотори

Қутбларға ўрнатилган иккита қўзғатувчи чулғамининг бири якорь занжирини параллел, иккинчиси эса унга кетма-кет уланган мотор аралаш қўзғатишли мотор дейилади. 6 — 19- расмда аралаш қўзғатишли моторнинг уланиш схемаси ва иш характеристикаси кўрсатилган.

Бу моторнинг частота характеристикаси қуйидагича ифодаланади:

$$n = \frac{U - I_n \Sigma R}{k_e(\Phi_{ш} \pm \Phi_k)},$$



б—19- расм. Аралаш қўзғатишли моторнинг уланиш схемаси.

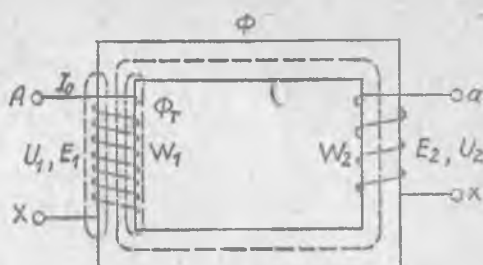
частотанинг қиймати ортиб бориши сабабли мотор тургун бўлган режимда ишлаши мумкин. Аммо кам ўрамлардан иборат кетма-кет чулғамнинг номос уланишида нагруканинг ортиб бориши билан моторнинг частотаси амалда ўзгармас бўлиб қолади. Аралаш қўзғатишли мотор кетма-кет қўзғатишли мотор камчиликларидан (салт иш режимида ишлай олмаслик, характеристика юмшоқлиги) халос бўлса ҳам, бундай мотор мураккаблиги ва қимматлиги сабабли ундан нисбатан кам фойдаланилади (транспорт ва кран механизмларида қўлланилади).

VII БОБ. ТРАНСФОРМАТОРЛАР

7 — 1. Трансформаторнинг тузилиши, ишлаш принципи ва ишлатилиши

Ўзгарувчан ток кучланишини ўзгартириб берадиган электромагнитавий статик аппарат трансформатор деб аталади. Бунда трансформаторга берилган ва ундан олинган ўзгарувчан токнинг қуввати ва частотаси ҳам ўзгармайди. Энг оддий трансформатор қуриш учун ёпиқ занжирдан иборат бўлган пўлат ўзакка ўрамлари сони турлича бўлган иккита чулғам ўрнатиш кифоя. Электр тармоғидаги ёки генератордаги кучланишга ҳисобланган ва унга уланадиган чулғам бирламчи, кучланишни ўзгартириб берадиган иккинчи чулғам иккиламчи чулғам дейилади. Бу чулғамларга тегишли миқдорлар ҳам тегишлича бирламчи ва иккиламчи деб юритилади. 7 — 1- расмда бир фазали трансформаторнинг принципиал схемаси кўрсатилган. Бунда U_1 — бирламчи чулғамга бериладиган бирламчи кучланиш; U_2 — иккиламчи чулғамдан олинадиган иккиламчи кучланиш; I_1 , I_2 — бирламчи ва иккиламчи чулғамларда ҳосил бўлган бир-

ламчи ва иккиламчи токлар; Φ —бирламчи токдан ёпиқ занжирли пўлат узакда ҳосил бўлиб, бирламчи ва иккиламчи чулғамлар билан илашувчи магнитавий оқим; W_1 , W_2 — бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг ўрамлири сони.



7-1- расм. Бир фазали икки чулғамли трансформаторнинг принципиал схемаси.

Агар бирламчи чулғамга U_1 кучланиши бе-

рилса, у ҳолда ўзгарувчан I_1 токи ва, демак, ўзгарувчан магнитавий оқим ҳосил бўлади. Бу магнитавий оқимнинг бирламчи ва иккиламчи чулғамлар билан илашиши натижасида электромагнитавий индукция қонунига биноан бирламчи E_1 ва иккиламчи E_2 э. ю. к. лар ҳосил бўлади. Э. ю. к. лар қиймати қуйидагича аниқланади:

$$E_1 = 4,44 \cdot f_1 \cdot W_1 \cdot \Phi_m, \quad (7-1)$$

$$E_2 = 4,44 \cdot f_1 \cdot W_2 \cdot \Phi_m, \quad (7-2)$$

бунда f_1 — электр тармогидаги кучланишнинг частотаси. СССР саноатида частотаси $f_1 = 50$ герц бўлган электр энергиясидан фойдаланилади;

Φ_m — пўлат узакда ҳосил бўлган магнитавий оқимнинг максимал қиймати.

(7-1) ва (7-2) ларга биноан қуйидаги нисбатни олиш мумкин, яъни

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2}. \quad (7-3)$$

Демак, бирламчи ва иккиламчи чулғамларда ҳосил бўлган э. ю. к. лар нисбатини чулғамлардаги ўрамлир сони нисбати билан аниқлаш мумкин. Трансформаторнинг салт иш режимида унинг бирламчи чулғамида ҳосил бўлган магнитлантириш токининг қиймати номинал токнинг фақат 3 + 5 процентини ташкил қилгани учун $\bar{U}_{1н} = -\bar{E}_1 + \bar{I}_0 Z_1 \approx -\bar{E}_1$ бўлади.

Салт иш режимида иккиламчи чулғамга нагрузка уланмаслиги сабабли $I_2 = 0$, $\bar{U}_{2н} \approx \bar{E}_2$ бўлади;

бунда $\bar{U}_{1н}$ — бирламчи чулғамга бериладиган кучланишнинг номинал қиймати;

$\bar{U}_{2н}$ — салт иш режимида ҳосил бўлиб, иккиламчи чулғамнинг номинал кучланиши деб аталувчи кучланиш;

Z_1 — бирламчи чулғамнинг тула қаршилиги;

R_n — нагрузканинг актив қаршилиги.

Юқори кучланишли чулғамда ҳосил бўлган э. ю. к. нинг паст кучланишли чулғамда ҳосил бўлган э. ю. к. га нисбати трансформаторнинг трансформация коэффиценти деб аталади ва k ҳарфи билан белгиланади. Агар юқори кучланишли чулғам бирламчи бўлиб, паст кучланишли иккиламчи бўлса, у ҳолда трансформаторнинг трансформация коэффиценти қуйидагича аниқланади:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} \approx \frac{U_{1н}}{U_{2н}} \quad (7 - 4)$$

Демак, трансформаторнинг трансформация коэффицентини унинг бирламчи ва иккиламчи чулғамларининг салт иш режимидаги номинал кучланиши билан аниқлаш мумкин.

Иккиламчи кучланиши бирламчи кучланишга нисбатан катта бўлган трансформаторларни кучайтирувчи, кичик бўлганларини эса пасайтирувчи трансформаторлар дейилади. Амалда бир, уч ва кўп фазали трансформаторлар ишлаб чиқарилиб, улар қуйидаги турларда бўлади:

1) катта қувватли электр энергиясини истеъмолчиларга узатиш ҳамда уни тақсимлаш учун куч трансформаторлари деб аталувчи трансформаторлар;

2) берилган кучланиш қийматини бир озгинага ўзгартиришда, ўзгарувчан ток моторларини ишга туширишда ва лабораторияларда автотрансформатор деб аталувчи трансформаторлар;

3) электрик ўлчаш асбобларини кучланиши ва токи турлича бўлган занжирларга улаш учун ўлчаш трансформаторлари;

4) пайвандлашда, симобли тўғрилагичларда, частотани ўзгартириш, медицина, радио ва автоматик қурилмаларда махсус трансформаторлар ишлатилади.

Турли соҳаларда қўлланиладиган бу трансформаторларнинг конструктив шакллари ҳамда чулғам сонлари ҳар хил бўлса ҳам, аммо ишлаш принциплари ва улардаги электромагнитавий ҳодисалар бир-биридан жуда кам фарқ қилади. Шунинг учун, энг кўп тарқалган икки чулғамли, бир ва уч фазали трансформаторлар билан танишиш кифоя. Трансформаторларнинг ниҳоят даражада кенг тарқалишига ва электротехниканинг ривожланишида етакчи ўрин эгаллашга асосий сабаблар қуйидагилардан иборат:

а) трансформатор ёпиқ пўлат ўзақли электромагнитавий статик аппаратдан иборат бўлгани учун унинг фойдали иш коэффиценти жуда ҳам юқори, яъни $\eta \approx 0,98 \div 0,99$ бўлади. Шунинг учун трансформаторга берилган ва ундан олинадиган қувват деярли бир хил бўлади деб айтиш мумкин. Масалан, қуввати $S_n = 100$ кВА, кучланишлари эса $\frac{U_1}{U_2} = \frac{6000 \text{ В}}{230 \text{ В}}$ бўлган уч

фазали трансформаторнинг бирламчи ва иккиламчи чулғамладаги токи қуйидагича аниқланади:

$$I_{1н} = \frac{S_n}{\sqrt{3} U_1} = \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6000} = 9,63 \text{ А.}$$

$$I_{2н} = \frac{S_n}{\sqrt{3} U_2} = \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 230} = 251 \text{ А.}$$

бунда S_n — трансформаторнинг шчитида кўрсатилган номинал қуввати, кВА, бу қувват иккиламчи чулғамга тегишли бўлади;

U_1 ва U_2 — трансформатор шчитида кўрсатилган фазалараро кучланишлар;

б) $\frac{U_{ш}}{U_{2н}} \approx \frac{I_{2н}}{I_{1н}} \approx k$ бўлгани учун, ишлаб чиқарилган электр энергияси кучланишини трансформатор билан ошириб, бу энергияни узоқ масофаларга кам қувват исрофи билан узатиш имкони олинади. Ҳақиқатан, узатиш линиясининг қизишига сарфланган қувват исрофи ундан ўтаётган токнинг квадратига пропорционал, яъни $\Delta P_{\lambda} = I_{\lambda}^2 R_{\lambda}$ бўлади. Демак, трансформатор билан кучланишнинг қиймати, масалан, 5 марта оширилса, узатиш линиясидан ўтадиган ток қиймати эса 5 марта камаяди. Қиймати кичик бўлган токни узатиш учун эса ингичка сим ишлатиш мумкин. Бинобарин, кучланишни ошириб, ток қийматининг камайтирилиши сабабли узатиш линиясида содир бўладиган қувват исрофини камайтириш билан бирга, узатиш қурилмасини анча енгил ва арзон қилиш имкони олинади;

в) электр тармоғи мавжуд бўлган ҳар бир жойда трансформатор билан бу энергияни истеъмолчиларга осонгина тақсимлаш мумкин;

г) генераторлардан олинadиган электр энергиясининг максимал кучланиши 15 ÷ 30 минг вольт ва ундан ҳам юқори бўлади. Трансформатор статикавий (ҳаракатсиз) аппарат бўлгани учун у билан генератор кучланишини 500000 вольт ва ундан ҳам юқорига ошириш имкони олинади.

7 — 2. Трансформатор конструкциясининг асосий қисмлари

Трансформатор конструкциясининг асосий қисмлари пўлат ўзак, чулғам, бак, чинни қисқичлар, кучланишни алмашлаб улагич ва ёрдамчи аппаратлардан иборат бўлади. Уурма тоқлар туфайли содир бўлувчи қувват исрофини камайтириш мақсадида трансформаторнинг магнитавий занжири ҳам биридан изоляция қилинган ва қалинлиги 0,35 ÷ 0,5 мм бўлган электротехникавий пўлат тунукалардан йиғилади. Чулғам ўрнатиладиган пўлат узак трансформатор бакига электрик улалиб ерга туташтирилади. Трансформатор чулғамлари учун изоляцияланган мис ва алюминий симлар ишлатилади. Мой

билан совитиладиган трансформаторларнинг чулғам симлари-
даги ток зичлиги $2 \div 4,5 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ бўлса, қуруқларидагида $1 \div 2,5 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$
бўлади. Пулат узакка паст кучланиш чулғами ўрнатилб,
унинг устига юқори кучланиш чулғами ўралади. Чулғам ўр-
натилган пўлат узак минерал мой тўлдирилган бакка жой-
лаштирилади. Бакдаги минерал мой билан трансформатор
чулғамлари ҳам совитилади, ҳам изоляцияланади. Чулғам
қизиши билан мой ҳам қизий бошлайди. Қизиган мой юқорига
кўтарилади ва совиб, трубалар орқали яна пастга тушади.
Бакнинг тагидаги тиқин билан мойни тушириб юбориш ёки
уни текшириб кўриш мумкин. Бакнинг усти пўлат қопқоқ
билан зич қилиб ёпилади. Қуввати 75 кА дан ва кучланиши
6 кВ дан юқори бўлган трансформаторларда кенгайтиргич
бўлади. Бак қопқоғига ўрнатилган кенгайтиргич цилиндр шак-
лидаги ёпиқ пўлат идишдан иборат бўлиб, труба орқали бак
билан уланган бўлади. Қизиш натижасида бакка сигмай қол-
ган ортиқча мой кенгайтиргичга ўтади. Мойнинг сатҳини ку-
затиб туриш учун кенгайтиргичга махсус шиша найчали
кўрсаткич ўрнатилади. Кўрсаткичда мойнинг турли сатҳига
тегишли температуралари белгиланган бўлади.

Қуввати 1000 кВА дан ортиқ бўлган трансформаторлардаги
кенгайтиргич билан бак уланадиган труба ичига газ релеси
ўрнатилади. Мой сатҳи жуда ҳам пасайиб кетса ёки бак ичи-
да хавфли бўлган портловчи газлар ҳосил булса, газ релеси
трансформаторни ўз-ўзидан электр тармоғидан ажратиб уни
ҳимоялайди.

Трансформаторнинг юқори кучланишли чулғамидаги ўрам-
лар сонини махсус алмашлаб улагич воситасида ўзгартириш
билан унинг трансформация коэффициентини $\pm 5\%$ га ростлаш
мумкин. Нагрузкали трансформаторни электр тармоғидан
ажратмасдан унинг кучланишини алмашлаб улагич воситаси-
да бир оз ростлаш имкони яратилади. Юқори кучланишли
чулғамдаги ток қиймати нисбатан кичик бўлгани учун бу
чулғам ўрамлари сонини алмашлаб улагич билан ўзгартириш
ҳам нисбатан осон бўлади.

7 — 3. Трансформаторнинг салт иш режими

Трансформаторнинг бирламчи чулғамига номинал кучланиш
берилиб, иккиламчи чулғами узук қолдирилса, яъни унга наг-
рузка уланмаса, у ҳолда трансформаторнинг салт иш режими
олинади. Амалда салт иш режими билан трансформатор узук
вақт ишлаб туриши ҳам мумкин. Салт иш режимидаги маг-
нитлантириш токидан магнит юритувчи куч $I_0 W_1$ ҳосил бўла-
ди. Бу магнит юритувчи куч таъсирида ҳосил бўлган магни-
тавий оқимнинг пўлат узак бўйича ёпилувчи ва бирламчи

ҳамда иккиламчи чулғамлар билан илашувчи катта қисми Φ орқали белгила-
ниб, уни асосий магнитавий оқим дейи-
лади. Магнитавий оқимнинг ҳаво бўш-
лиғи орқали фақат бирламчи чулғам
билан илашувчи кичик $\Phi_{\delta 1}$ қисми бу
чулғамда $E_{\delta 1}$ э. ю. к. ни ҳосил қилади.
Бу магнитавий оқим $\Phi_{\delta 1}$ дан иккилам-
чи чулғамда э. ю. к. ҳосил бўлмайди.
Шунга ўхшаш магнитавий оқимнинг яна
кичик $\Phi_{\delta 2}$ қисми ҳаво бўшлиғи ва фа-
қат иккиламчи чулғам билан илашади
ҳамда бу чулғамда э. ю. к. $E_{\delta 2}$ ни ҳо-
сил қилади. Демак, бирламчи чулғам
запжири учун э. ю. к. ларнинг қуйида-
ги тенгламасини тузиш мумкин:

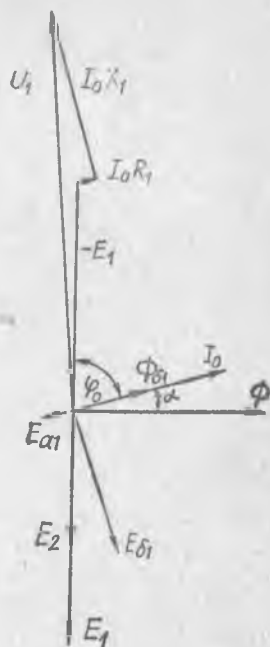
$$\bar{U}_1 = -(\bar{E}_1 + \bar{E}_{\delta 1} + \bar{E}_{a1}). \quad (7-5)$$

7-2-расмда трансформаторнинг салт
иш режимидаги (7-5) ифодага биноан
қурилган векторий диаграммаси кўрсатилган.

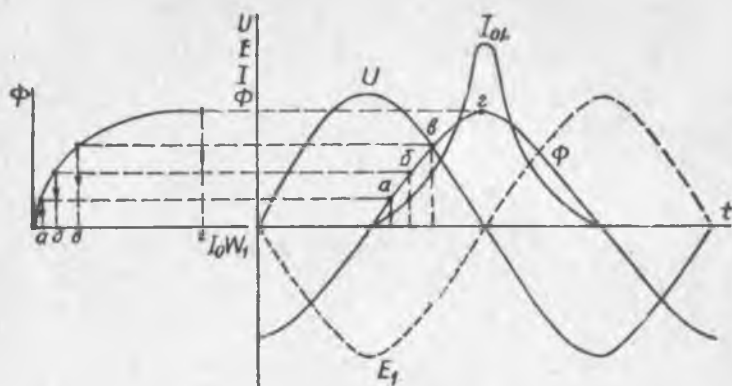
Бунда асосий магнитавий оқим билан
илашиш натижасида ҳосил бўлган E_1 ва
 E_2 э. ю. к. векторлари Φ векторига
нисбатан 90° бурчакка кейинда қолувчи
бўлади. Магнитлантириш токи I_0 нинг
вектори Φ га нисбатан $5 \div 7$ градусга
ўзувчи бўлади. $\Phi_{\delta 1}$ вектори эса I_0 вектори томон йўналади. Бир-
ламчи чулғамда ҳосил бўлган $E_{\delta 1}$ ва E_{a1} э. ю. к. лар қийматини
чулғамнинг индуктив ва актив қаршиликларидаги кучланиш ту-
шуви $E_{\delta 1} = I_0 X_1$ ва $E_{a1} = I_0 R_1$ билан белгилаб, векторий диа-
граммада кўрсатилган U_1 қийматини қуйидаги тенглама
асосида аниқлаш мумкин:

$$\bar{U}_1 = -\bar{E}_1 + \bar{I}_0 X_1 + \bar{I}_0 R_1. \quad (7-6)$$

$I_0 X_1$ ва $I_0 R_1$ қийматлари салт иш режимида жуда кичикли-
ги учун амалда $U_1 \approx E_1$ деб қабул қилинади. Салт иш токи
 I_0 ни икки қисм, яъни актив I_{0a} ва реактив I_{0L} дан иборат
деб, уни қуйидагича ифодаланади: $I_0 = \sqrt{I_{0a}^2 + I_{0L}^2}$, бунда $I_{0a} =$
 $= \frac{P_2}{U_1}$. 7-3-расмда I_0 токининг магнитлантирувчи, яъни
реактив қисми I_{0L} нинг ўзгариш эгри чизигини олиш кўрсатилган.
Кичик қувватли трансформаторларда $I_0 \approx 0,1 I_{1н}$, катта
қувватлиларда эса $I_0 \approx (0,02 \div 0,03) I_{1н}$ бўлиб, $\frac{I_{0a}}{I_0} \leq 0,1$ бўла-
ди. Бирламчи чулғамнинг қизишига сарфланган қувват исро-



7-2-расм. Трансформаторнинг салт иш-
лаш режимидаги век-
торий диаграммаси.



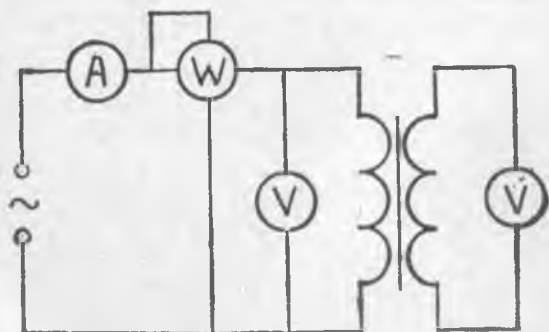
7—3- расм. Трансформаторнинг магнитлаштирувчи токининг ўзгариш эгри чизигини олиш.

фини ҳисобга олинмаса, салт иш режимидаги қувват исрофи P_0 нинг қиймати трансформатор пўлат ўзагининг қизишига сарфланган қувват исрофи P_n билан аниқланади, яъни $P_0 \approx P_n$ бўлади. Бу қувватнинг қиймати нагрузкага боғлиқ бўлмай, магнитавий индукциянинг квадрати билан аниқланади, яъни

$$P_0 \approx P_n \approx B_m^2 \approx \Phi_m^2 \approx E_1^2 \approx U_1^2. \quad (7-7)$$

Демак, салт иш режимида содир бўлувчи қувват исрофининг қиймати бирламчи кучланиш квадратига пропорционал бўлиб, номинал кучланишда $P_0 = P_n \approx (0,2 \div 0,8) \% S_n$ бўлади. 7—4-расмда трансформаторнинг салт иш тажрибасининг схемаси кўрсатилган.

Бунда бирламчи чулғам занжирига уланган ваттметр билан пўлат ўзакдаги қувват исрофи, яъни $P_n = P_0$ аниқланса, бирламчи чулғамга берилган номинал кучланиш ва, демак, шкки-



7—4- расм. Трансформаторнинг салт ишлаш тажрибасининг схемаси.

ламчи чулғамда ҳам ҳосил бўлувчи номиниал кучланишлар нисбати $\left(\frac{U_{1н}}{U_{2н}}\right)$ билан трансформаторнинг трансформация коэффиценти аниқланади. Бу режимда бирламчи чулғам занжирига уланган амперметр эса салт иш токи I_0 ни кўрсатади.

7 — 4. Трансформаторнинг нагрузка режими

Салт иш режимидаги трансформаторни нагрузка режимиға ўтказиш учун унинг иккиламчи чулғамини нагрузкаға улаш кифоя. Бунда иккиламчи чулғам занжиридан иккиламчи, яъни нагрузка токи I_2 ўта бошлайди. I_2 нинг йўналиши актив нагрузкада E_2 томон бўлса, актив-индуктив нагрузкада E_2 дан ψ_2 бурчагига кейинда қолувчи, актив-сигимли нагрузкада эса E_2 дан ψ_2 бурчагига ўзувчи бўлади.

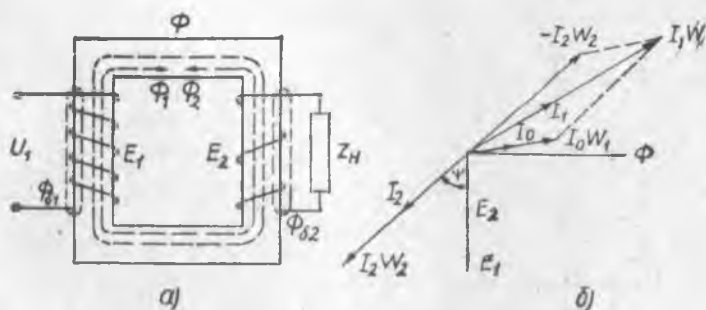
7 — 5- расмда: *а* — трансформаторнинг нагрузка режимидаги уланиш схемаси ва *б* — унинг магнит юритувчи кучларининг векторий диаграммаси кўрсатилган.

Агар бирламчи чулғам занжиридаги кучланиш тушувини ҳисобга олинимаса, у ҳолда $U_1 = E_1 = 4,44 f_1 W_1 \Phi_m$ бўлади. Электр тармоғидаги кучланиш ва частота, одатда, ўзгармас бўлгани учун $U_1 = E_1 = 4,44 f_1 W_1 \Phi_m = \text{const}$ ва, демак, $\Phi_m = \frac{U_1}{4,44 f_1 W_1} = \text{const}$ бўлади. Трансформаторнинг салт иш ва нагрузка режимларидаги магнитавий оқими бир хил қийматга эга бўлгани учун магнит юритувчи кучлар учун қуйидаги тенгламани тузиш мумкин, яъни

$$\bar{I}_0 W_1 = \bar{I}_1 W_1 + \bar{I}_2 W_2. \quad (7-8)$$

Шунга кўра, $\bar{I}_1 W_1 = \bar{I}_0 W_1 - \bar{I}_2 W_2$ бўлади. Бу тенгламага биноан 7 — 5- расм, *б* да магнит юритувчи кучларнинг векторий диаграммаси қурилган.

Демак, бирламчи чулғамдаги м. ю. к. $I_1 W_1$ трансформатор ўзагини магнитлантирса, иккиламчи чулғамдаги $I_2 W_2$ эса

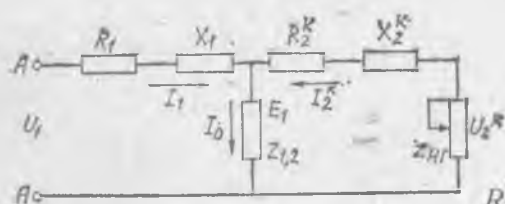


7—5- расм. Трансформаторнинг нагрузка режими.

уни магнитсизлайди. (7—8) нинг чап ва ўнг томонларини W_1 га бўлиб, қуйидагиларни олиш мумкин, яъни $\frac{\overline{I_0} W_1}{W_1} = \frac{\overline{I_1} W_1}{W_1} + \frac{\overline{I_2} W_2}{W_1}$ ёки $\overline{I_0} = \overline{I_1} + \overline{I_2} \frac{W_2}{W_1}$, аммо $\frac{W_2}{W_1} = \frac{1}{k}$ бўлгани учун $\overline{I_0} = \overline{I_1} + \frac{\overline{I_2}}{k}$ бўлади, бунда $\frac{I_2}{k}$ — иккиламчи токнинг бирламчи чулғамга келтирилган қиймати.

Бирламчи ва иккиламчи чулғамлар ўзаро электрик боғланмаганлиги ҳамда уларнинг параметрлари турлича бўлганлигидан бу чулғамларга тегишли вектор миқдорларни бевосита қўшиш ёки айириш мумкин эмас. Демак, векторий диаграммаларини қуриш учун, даставвал, бирламчи ва иккиламчи чулғамларга тегишли миқдорларни бир масштабга келтириш керак. Трансформаторнинг иккиламчи чулғамига тегишли миқдорларни одатда бирламчи чулғам масштабига келтирилади. Келтирилган миқдорларни штрих даража билан белгилаб, улар учун қуйидаги ифодаларни олиш мумкин.

Иккиламчи чулғамдаги э. ю. к. E_2 бирламчидан k марта кичик бўлгани учун келтирилган э. ю. к. E_2 ифодасини топиш учун E_2 ни k га кўпайтириш kifoya, яъни $E_2 = E_2 \cdot k = E_1$. Шунга ўхшаш $U_2' = U_2 \cdot k = U_1$ бўлади. Токнинг келтирилган қиймати бирламчи ва иккиламчи чулғамлардаги қувватни ўзгартмаслик шарти асосида, яъни $E_2 \cdot I_2 = E_2' \cdot I_2'$ дан аниқланади. Демак,



$$I_2' = \frac{E_2 \cdot I_2}{E_2'} = \frac{E_2 I_2}{k E_2} = \frac{I_2}{k}$$

бўлади. Шунга ўхшаш $I_2'^2 R_2' = (I_2')^2 R_2'$ дан

$$R_2' = \frac{I_2 R_2}{(I_2')^2} = \frac{I_2^2 R_2 \cdot k^2}{I_2^2} = k^2 R_2$$

7—6- расм. Келтирилган трансформаторнинг эквивалент схемаси

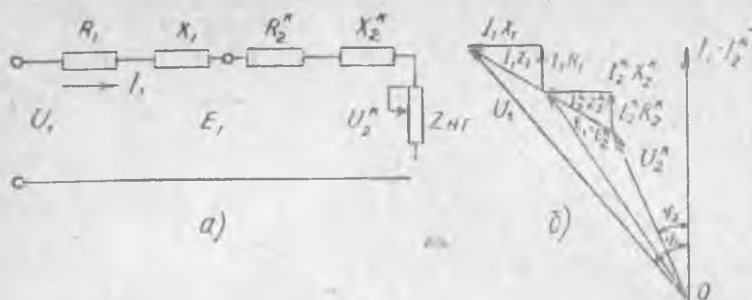
олинади. $E_{02} = I_2 X_2$ бўлгани учун

$$X_2' = \frac{E_{02}}{I_2'} = \frac{k \cdot E_{02}}{\frac{I_2}{k}} = k^2 X_2,$$

тўла қаршилиқнинг келтирилган қиймати эса

$$Z_2' = \sqrt{R_2'^2 + X_2'^2} = k^2 Z_2$$

бўлади. Иккиламчи чулғам параметрларини бирламчига келтириш билан трансформаторнинг иккала чулғамини электрик боғланган деб ҳам тасаввур этиш мумкин. 7—6- расмда ҳар



7—7- расм. Трансформаторнинг:

a — соддалаштирилган эквивалент схемаси; *б* — соддалаштирилган эквивалент схемага тегишли векторий диаграмма.

бир чулғами актив ва индуктив эквивалент қаршиликлар билан ифодаланган актив-индуктив нагрузкали келтирилган трансформаторнинг эквивалент схемаси кўрсатилган.

7—7- расмда, ҳар бир чулғами актив ва индуктив эквивалент қаршиликлар билан ифодаланган трансформаторнинг: *a* — соддалаштирилган эквивалент схемаси ва *б* — соддалаштирилган эквивалент схемага тегишли векторий диаграммаси кўрсатилган. Соддалаштирилган схемада магнитлангириш токи ҳисобга олимайди, яъни $I_0=0$ деб, бу ток занжири кўрсатилмайди. Демак, эквивалент схемада бирламчи ва иккиламчи чулғамлардан умумий ток $I=I_1=I_2'$ ўтади, деб фараз қилинади.

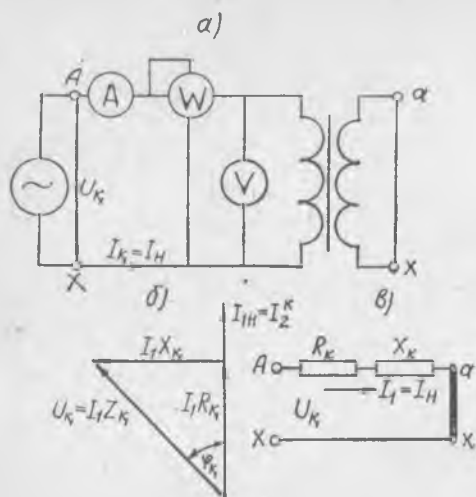
Бундай схемали трансформаторнинг векторий диаграммасини қуриш учун ҳамма иккиламчи келтирилган векторларни 180° бурчакка буриш лозим (7—7- расм, *б*).

Агар $R_1 + R_2' = R_k$ ва $X_1 + X_2' = X_k$ деб қабул қилинса, трансформаторнинг ўта соддалаштирилган эквивалент схемаси ва унга тегишли векторий диаграммаси олинади (7—8- расм, *в, б*).

7—5. Трансформаторнинг қисқа тутатиш режими

Номинал нагрузка билан ишлаётган трансформаторнинг иккиламчи чулғами тасодифан қисқа тутатиш қолса, у ҳолда бу чулғамдан ўтадиган токнинг қиймати номиналга нисбатан $10 \div 20$ марта ортиб кетади. Агар сақлагичлар трансформаторни электр тармоғидан ўз вақтида ажратиб, уни қисқа тутатиш токидан ҳимоялаб қолмаса, оғир авария содир бўлиши турган гап. Трансформаторнинг қисқа тутатиш режимидаги параметрларнинг қисқа тутатиш тажрибасидан аниқланади.

7—8- расмда қисқа тутатиш тажрибасининг схемаси, унга



7—8- расм. Трансформаторнинг:

а — қисқа туташтириш тажрибасининг схемаси; б — унга тегишли векторий диаграмма; в — ўта соддалаштирилган эквивалент схемаси.

ладиган кучланиш қиймати купайтирилиб борилади. Бу режимда номинал токларни ҳосил қиладиган бирламчи чулғамга бериладиган кичик қийматли кучланишни қисқа туташтириш кучланиши дейилади. Қисқа туташтириш кучланишининг қиймати трансформатор шчитида кўрсатилган бўлиб, кучланиши 35 кВ гача бўлган трансформаторларда $U_K = 5,5 \div 7,5 \% U_N$; 110 кВ гача бўлганларда эса $U_K = 10,5 \div 11,5 \% U_N$ бўлади.

Бу тажрибада трансформаторга берилган қувват унинг чулғамидagi мис симларининг қизишига бефойда сарфланади. U_K қиймати паст бўлгани учун пулат ўзакдаги қувват исрофи ҳисобга олинмаса ҳам бўлади. Бунда бирламчи чулғамга уланган ваттметр фақат чулғамларнинг қизишига сарфланган қувват исрофини кўрсатади, яъни $P_m = P_{m1} + P_{m2} = I_N^2 (R_1 + R_2^*)$ бўлиб, $P_K = P_m$ — қисқа туташтириш тажрибасидаги ва, демак, чулғам мис симларининг қизишига сарфланган қувват исрофи.

Трансформаторнинг 7—8- расмда кўрсатилган векторий диаграммасини қуриш учун керак бўлган параметрларни ҳам қисқа туташтириш тажрибасидан аниқлаш мумкин, яъни

$$Z_K = \frac{U_K}{I_K}; \quad R_K = R_1 + R_2^* = \frac{P_K}{I_K^2};$$

$$X_K = X_1 + X_2^* = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}; \quad \cos \varphi_K = \frac{P_K}{I_K U_K}.$$

тегишли векторий диаграмма ва трансформаторнинг ўта соддалаштирилган эквивалент схемаси кўрсатилган.

Трансформаторнинг қисқа туташтириш тажрибасини ўтказиш мақсадида иккиламчи чулғамни қисқа туташтириб (кўпинча бу туташтириш амперметр орқали бўлади) бирламчи чулғамга бериладиган кучланиш қийматини нолдан аста-секин купайтириб бориш лозим. Бунда трансформатор чулғамларидаги ток қиймати кескин равишда ортиб боради. Чулғамлардаги токнинг қиймати номиналга тенглашгунча бирламчи чулғамга бери-

Электр энергиясини узатиш ва тақсимлашга мўлжалланган трансформаторлар учун $P_k \approx (1 \div 3,7) \% S_n$ бўлади.

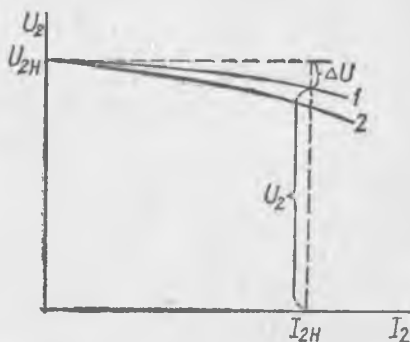
7 — 6. Трансформаторнинг ташқи характеристикаси

Нагрузка токининг ортиб бориши билан трансформаторнинг иккиламчи кучланиши камайиб боради. Иккиламчи чулғамдаги кучланишнинг нагрузка токига боғланишини ифодаловчи график трансформаторнинг ташқи характеристикаси дейилади.

Бу характеристикани олишда $U_1 = \text{const}$, $f_1 = \text{const}$ ва $\cos \varphi_2 = \text{const}$ бўлиши лозим.

7 — 9- расмда трансформаторнинг ташқи характеристикаси кўрсатилган. Бунда 1 эгри чизик $\cos \varphi_2 = 1$ га, 2 чизик $\cos \varphi_2 = 0,8$, яъни актив-индуктив нагрузкага тегишли.

Нагрузканинг ортиб бориши билан кучланишнинг пасайиши ташқи характеристикасига биноан қуйдагича аниқланади:



7—9- расм. Трансформаторнинг ташқи характеристикаси.

$$\Delta U = (U_{2H} - U_2), \text{ В ёки } \Delta U \% = \frac{U_{2H} - R_2}{U_{2H}} 100,$$

бунда U_{2H} — салт иш режимига тегишли иккиламчи номинал кучланиш;

U_2 — номинал нагрузкага тегишли кучланиш. Кучланишнинг пасайиш қиймати аналитик усул билан ҳам аниқланиши мумкин.

$\cos \varphi_2 = 0,8$ ва $U_k = 5,5 \div 10,5 \%$ бўлган трансформаторлар учун $\Delta U = 4 \div 8 \% U_{2H}$ бўлади.

7 — 7. Трансформаторнинг фойдали иш коэффициенти

Трансформатордан олинган актив қувватнинг у қабул қилаётган актив қувватга бўлган нисбати унинг фойдали иш коэффициенти деб аталади, яъни $\eta = \frac{P_2}{P_1}$ ёки $\eta \% = \frac{P_2}{P_1} 100$. Демак, бу коэффициентнинг қийматини бирламчи ва иккиламчи чулғамларга уланган ваттметрлар билан ҳам аниқлаш мумкин. Аммо ҳар бир трансформаторнинг ф. и. к. нагрузка режими билан аниқланса, у ҳолда жуда кўп электр энергия бефойда сарфланади. Амалда салт иш ва қисқа тутатиш таж-

рибаларидан топилган P_n ва P_m лардан фойдаланиб ф. и. к. қийматини осонгина аниқлаш мумкин, яъни

$$\eta_n = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_n + P_m} = \frac{P_{2n}}{P_{2n} + P_n + P_m}, \quad (7-9)$$

бунда η_n — фойдали иш коэффициентининг номинал қиймати; $P_2 = P_{2n}$ — номинал қувват.

Турли қийматдаги нагрузкалар учун $P_2 = k_{ю} \cdot S_n \cos \varphi_2$; $P_m = k_{ю}^2 P_k$ бўлади.

Бунда $k_{ю} = \frac{P_2}{P_{2n}}$ — трансформаторнинг юкланиш коэффициенти. Демак, турли нагрузкаларда фойдали иш коэффициентининг қийматини қуйидаги ифодадан аниқлаш мумкин:

$$\eta = \frac{k_{ю} S_n \cos \varphi_2}{k_{ю} \cdot S_n \cos \varphi_2 + P_0 + k_{ю}^2 P_k}. \quad (7-10)$$

$k_{ю} = 0; 0,25; 0,75$ ва 1 деб, (7-10) ифодадан ф. и. к. қийматлари аниқланади. Фойдали иш коэффициентининг энг катта қиймати нагрузканинг қандай қийматида содир бўлишини аниқлаш учун (7-10) ифодадан $\frac{d\eta}{dk_{ю}}$ ҳосиласини олиб, уни нолга тенгланади ва олинган тенгламага нисбатан ечилади. Бундан $P_0 = k_{ю}^2 P_k$ бўлганда $\eta = \eta_{\max}$ бўлиши аниқланади.

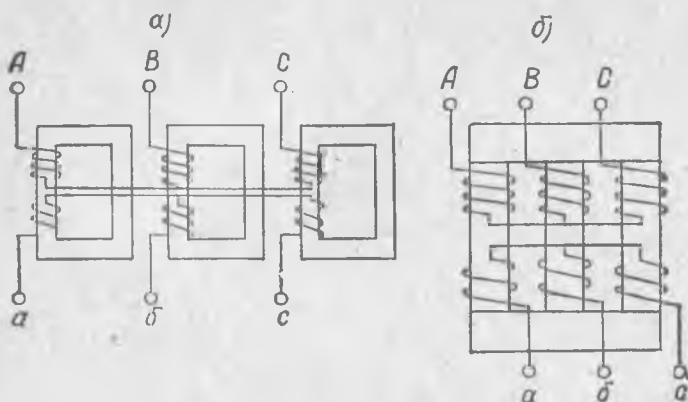
Демак, $\eta_{\max}$ ни олиш шартидан юкланиш коэффициенти-нинг оптимал қийматини қуйидагича аниқлаш мумкин, яъни

$$k_{ю} = \sqrt{\frac{P_0}{P_k}}. \quad (7-11)$$

Ҳозирги замон трансформаторларида $\frac{P_0}{P_k} \cong \frac{1}{3} \div \frac{1}{4}$ ва, демак, $k_{ю} = 0,5 \div 0,58$. Шунга биноан $50 \div 60\%$ нагрузка билан иш-лаётган трансформатор энг юксак η га эга бўлади. Амалда ҳам трансформатор $60 \div 70\%$ нагрузка билан ишлатилади. Трансформаторларнинг фойдали иш коэффициентлари умуман жуда юқори, яъни $\eta = 0,98 \div 0,99$ бўлади.

7—8. Уч фазали трансформаторлар

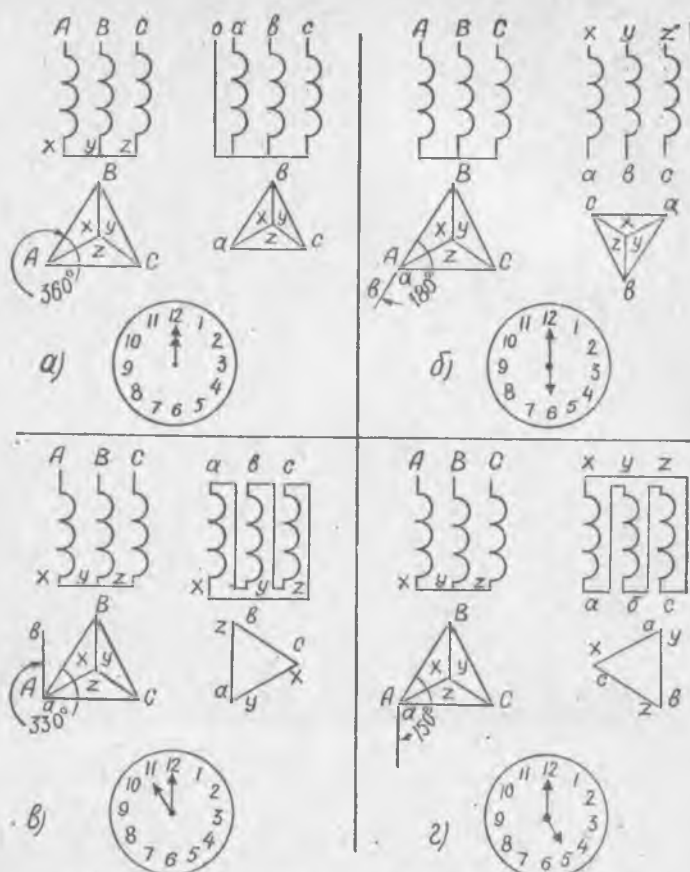
Уч фазали ток кучланишини ўзгартирувчи статик электромагнитавий аппарат уч фазали трансформатор дейила-ди. Бунда трансформаторнинг учта бирламчи ва учта икки-ламчи чулгамлари юлдуз ёки учбурчаклик схемаси билан уланади. Демак, учта бир фазали трансформатор бирламчи ва иккиламчи чулгамларини юлдуз ёки учбурчаклик схемасида улаб, уч фазали трансформаторни олиш мумкин. 7—10- расм, а — учта бир фазали трансформаторлардан олинган уч фазали ва б — уч фазали конструкцияда тайёрланган трансформатор-нинг принципиал схемалари кўрсатилган.



7—10- расм. Уч фазали трансформаторларнинг принципаал схемаси.

Уч фазали конструкциядан тайёрланган трансформаторнинг чулғамлари уч стерженли пулат ўзакка ўрнатилади. Уч стерженли пулат ўзакнинг оғирлиги ва габарити учта бир фазали трансформаторларнинг икки стерженли ўзакларидан бирмунча енгил ва кичик бўлади. Симобли тўғрилагич учун мўлжалланган трансформатор чулғамини зигзаг схемаси билан ҳам уланади. Бунда ҳар бир иккиламчи чулғам фазаси иккита стерженга ўралиб, магнитлантириш токининг ҳар бир фазага бир хилда тақсимланиши содир бўлади. Учта фаза чулғамининг охирилари ўзаро бир нуқтага уланса, юлдуз схемаси олинади. Бунда фаза чулғамининг бошлари электр тармоғига уланади. Фаза охирилари уланган нуқта ноль потенциалга эга бўлади. Ҳақиқатан, ҳар бир фазадаги ток бир-биридан 120° га фарқ қилгани учун уларнинг йигиндиси нолга тенг бўлади. Шунга биноан, ноль потенциалли нуқтани қисқача ноль нуқта деб аталади. Учбурчаклик схемани олиш учун биринчи фазанинг охири, учинчисининг боши, учинчи фазанинг охири иккинчисининг боши ва иккинчи фазанинг охири биринчисининг боши билан уланади ёки биринчи фазанинг охири иккинчисининг боши, иккинчисининг охири учинчисининг боши ва учинчисининг охири биринчи фазанинг боши билан уланади.

7—11- расмда трансформатор чулғамларининг уланиш схемалари, уларга тегишли векторий диаграммалар ва трансформатор уланишининг шартли белгилари кўрсатилган; бунда A, B, C — юқори кучланишли фаза чулғамларининг бошлари, X, Y, Z эса уларнинг охирилари; a, b, c — паст кучланишли фаза чулғамларининг бошлари, x, y, z эса уларнинг охирилари, демак, AX — биринчи, BY — иккинчи ва CZ — учинчи фаза чулғамлари; Y — юлдуз ва Δ — учбурчаклик схемаси билан уланишнинг шартли белгилари; Y/Δ^{11} — юқори кучланишли



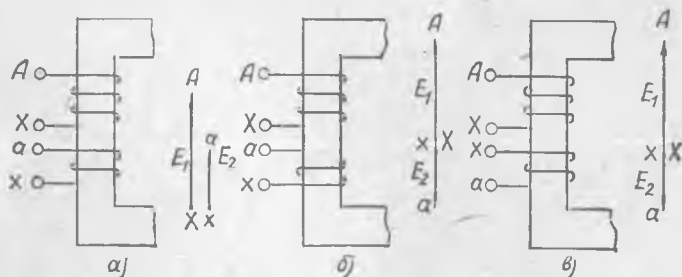
Чулфрамларнинг уланishi схемалари		Векторлиқ диаграммалар		Шартли белгилари
Ю.К.	П.К.	Ю.К.	П.К.	

7—11- расм. Уч фазали трансформаторнинг;

а — 12, б — 6- уланishi группалари.

чулғами юлдуз, паст кучланишлиси эса учбурчаклик схемаси билан уланган, 11 — уланиш группасида бўлган трансформаторнинг шартли белгиси; Y/Y_0^{12} — паст кучланишли чулғамдаги ноль нуқтаси трансформаторнинг ташқи қисмасига чиқарилиб, у билан уланганлигининг белгиси. Трансформаторларни ўзаро параллел улаб ишлатишда уларнинг чулғамлари бир хил уланиш группасида бўлиши зарур.

Трансформатор чулғамларининг уланиш усуллари уланиш группалари билан аниқланиб, улар рақамлар билан белгиланади. Бу сонлар юқори ва паст кучланишли чулғамларнинг фазалараро кучланиш векторлари орасидаги бурчакни ифода-лайди. Агар юқори кучланишли чулғамга тегишли кучланиш векторини 12 сон томон йўналган минутлар стрелкаси билан ифода-лаб, паст кучланишлига тегишлилигини эса векторий диаграм-мадаги ҳолатига биноан соатлар стрелкаси билан ифодаланса, у ҳолда соат стрелкасининг кўрсатган сонига биноан чулғамлар уланиш группасининг номери аниқланади. Масалан, 7 — 11- расм, а да трансформатор чулғамларининг 12- уланиш группаси, яъни Y/Y^{12} кўрсатилган. Агар бу уланишдаги трансфор-матор паст кучланишли чулғамининг боши ва охириларини ўзаро алмаштирилса, у ҳолда 7 — 11- расм, б да кўрсатилган Y/Y 6- уланиш группаси олинади. Бунда қуйидаги мулоҳазага асосланилади. Чулғамларининг боши ва охири деб аталувчи тушунча умуман шартли. Аммо бу тушунчадан чул-ғамларни тўғри улаш учун фойдаланилади. Маълумки, бир-ламчи ва иккиламчи чулғамлар пўлат ўзакнинг бир стержени-га ўрнатилган бўлиб, бир хилдаги магнитавий оқим билан кесилади. Агар иккала чулғам стерженга нисбатан бир хил томонга ўралиб, унинг юқори томондаги учини чулғамнинг боши, паст томондагисини чулғамнинг охири деб қабул қилин-са; у ҳолда бирламчи ва иккиламчи чулғамларда ҳосил бўл-



7—12- расм. Трансформатор чулғамларининг боши ва охири тушунчасига доир расмлар:

а — бирламчи ва иккиламчи чулғамлар ўзакка нисбатан бир хил томонга;
б — турли томонларга ўралган; в — бир хил томонга ўралган чулғамлардан бирининг юқориги ва пастки учларининг белгилари ўзаро алмаштирилган.

ган э. ю. к. векторлари бир томонга, яъни фаза бўйича мос йўналган бўлади (7 — 12- расм, а).

Агар бу чулғамлар стерженга нисбатан турли томонга ўралган бўлса, чулғамларда ҳосил бўлган э. ю. к. векторлари қарама-қарши томонга йўналган бўлади (7 — 12- расм, б).

Агар чулғамлар бир томонга ўралса-ю, аммо улардан бирининг юқориги ва пастки учлари белгилари ўзаро алмаштирилса, у ҳолда ҳам чулғамларда ҳосил бўлган э. ю. к. векторлари қарама-қарши томонга йўналган бўлади (7 — 12- расм, в). Трансформаторларнинг юқори кучланишли чулғами одатда, юлдуз схемаси билан уланади. Бунда фаза чулғами изоляцияси электр тармоғидаги кучланишдан $\sqrt{3}$ марта кичик бўлган кучланишга ҳисобланади. Паст кучланишли чулғам эса, одатда, учбурчаклик схемаси билан уланади. Бунда фаза чулғамидан ўтадиган ток қиймати линиядагидан $\sqrt{3}$ марта кичик бўлади. Демак, Y/Δ схемаси асосида ишлашга тайёрланган трансформатор нархи Δ/Y дагига нисбатан анча арзон бўлади.

Трансформаторнинг Y/Y схемасида фазалараро кучланишлар нисбати k га тенг бўлса, Y/Δ да $\sqrt{3} k$, Δ/Y да эса $\frac{k}{\sqrt{3}}$ бўлади, бунда k — уч фазали трансформаторнинг трансформация коэффиценти. Бу коэффицентнинг қиймати ҳам салт иш режимидан аниқланади, яъни $k = \frac{U_{\Delta x}}{U_{ax}}$ бўлади, бунда $U_{\Delta x}$ ва U_{ax} — юқори ва паст кучланишли чулғамларнинг бир хилдаги фазасига тегишли фаза кучланишлари. Чулғамларнинг Y/Y схемаси, одатда, кичик қувватли трансформаторларда учратилади. Бундай уланишда магнитавий оқимнинг учинчи гармоникаси қўшимча қувват исрофини ҳосил қилади. Магнитавий оқимдаги учинчи гармоникани йўқотиш учун трансформатор чулғамларидан бирини учбурчаклик схемаси билан улаш kifоя. Шунинг учун трансформатор чулғамлари, кўпинча, Y/Δ схемаси билан уланади.

7 — 9. Трансформаторларнинг параллел ишлаши

Трансформаторнинг қуввати истеъмолчиларга етарли бўлмаса ёки узатилиши керак бўлган қувват трансформаторни-кидан катта бўлса, у ҳолда икки ва ундан кўп трансформаторларни параллел ишлашга уланади. Бунда трансформаторларнинг бирламчи чулғамлари уларга умумий бўлган бирламчи электр тармоғига уланса, иккиламчилари эса иккиламчи тармоққа уланади.

7 — 13- расмда иккита уч фазали трансформаторнинг параллел ишлашга уланиш схемаси кўрсатилган.

Трансформаторларни параллел ишлашга улаш учун:

1) уларнинг бирламчи ва иккиламчи чулғамларининг номи-

нал кучланишлари ўзаро тенг, яъни $U_{1I} = U_{1II} = \dots = U_{1n}$ ва $U_{2I} = U_{2II} = \dots = U_{2n}$ бўлиши зарур. Бунда уларнинг трансформация коэффициентлари ҳам ўзаро тенг бўлади, яъни $k_1 = k_2 = \dots = k_n$;

2) уларнинг чулғамларидаги актив ва индуктив кучланиш тушуви ёки уларнинг қисқа туташинишдаги кучланишлари ўзаро тенг, $U_{KI} = U_{KII} = \dots = U_{Kn}$ бўлиши керак;

3) уч фазали трансформаторлар бир хил уланиш группасида бўлиши зарур. Параллел ишлашга уланадиган трансформаторлар

қувватининг нисбати $\frac{S_{nI}}{S_{nII}} = \frac{S_{nII}}{S_{nn}} \leq 3$ бўлиши лозим.

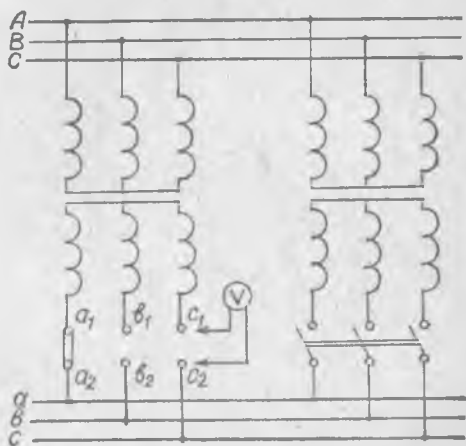
Параллел ишлашга уланган трансформаторларнинг иккиламчи кучланиш фазалари монанд, яъни бир-биринга мос бўлиши керак. Агар иккиламчи чулғамларнинг бир хил номли фазалари, масалан, a_1 ва a_2 ёки c_1 ва c_2 орасидаги кучланиш нолга тенг бўлиб, турли фазаларидаги фазалараро кучланишга тенг, яъни $U_{a_1c_2} = U_L$ ва $U_{c_1a_2} = U_L$ бўлса, у ҳолда кучланиш фазалари монанд бўлади (7—13- расм).

Параллел ишлаш шартларига риоя қилиб уланган трансформаторларга нагрузка берилса, у ҳолда бу нагрузка ҳар бир трансформаторнинг қувватига пропорционал тарзда тақсимланади. Агар параллел ишлашга уланадиган трансформаторлар трансформация коэффициенти турлича бўлса, у ҳолда кучланишлар айирмаси ΔU таъсирида тенглаштирувчи I_T ток ҳосил бўлади, яъни

$$I_T = \frac{\Delta U}{Z_{KI} + Z_{KII}},$$

бунда ΔU — иккиламчи чулғамдаги кучланишлар фарқи;

Z_{KI} , Z_{KII} — трансформаторлар чулғамларининг тўла қаршилиги. Бу ток битта трансформаторнинг нагрузка токига қўшилиб, уни ўта юклантирса, иккинчисининг нагрузка токидан айирлиб, унинг нагрузкасини камайтиради. Демак, бунда трансформаторларнинг қувватидан тўла фойдаланилмайди. Параллел ишлашга уланадиган трансформаторлар трансформация коэффициентларининг айирмаси $\pm 0,5\%$ дан кўп бўлмаслиги керак.



7—13- расм. Уч фазали трансформаторнинг параллел ишлашга уланиш схемалари.

Агар параллел ишлашга уланувчи трансформаторларнинг қисқа туташиш кучланиши турлича бўлса, у ҳолда қисқа туташиш кучланиши кичик бўлган трансформатор ток бўйича ўта юкланиб қолади.

Шу сабабли, қисқа туташиш кучланишларининг айирмаси $\mp 10\%$ дан кўп бўлмаслиги керак. Агар параллел ишлашга уланувчи трансформаторларнинг уланиш группалари турлича бўлса, у ҳолда кучланишлар айирмасидан ҳосил бўлувчи тенглаштирувчи ток қиймати нағрузка токидан бир неча марта катта бўлиши мумкин. Шунинг учун турли уланиш группаларига эга трансформаторларни параллел ишлатиш мумкин эмас.

7 — 10. Махсус трансформаторлар

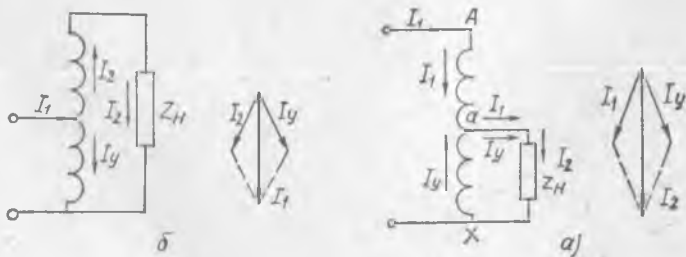
Булар қаторига автотрансформатор, пайвандлаш, ўлчаш ва бошқа типдаги трансформаторларни киритиш мумкин. Бир чулғамдан иборат бўлган трансформатор автотрансформатор деб аталади. Бунинг чулғами ҳам ёпиқ занжирли пўлат ўзакка ўрнатилади. Автотрансформатор кичик трансформация коэффиценти, яъни $k = 1,25 \div 2$ га ҳисобланиб, унинг билан берилган кучланишни кўпайтириш ва пасайтириш мумкин. Пасайтирувчи автотрансформаторда бирламчи чулғамнинг бирор қисмини иккиламчи чулғам ташкил қилса (7 — 14- расм, а), кучайтирувчида эса иккиламчи чулғамнинг бирор қисмини бирламчи чулғам ташкил қилади (7 — 14 расм, б). Автотрансформатордаги қувват исрофини ҳисобга олинмаса, унинг учун ҳам $U_1 I_1 \simeq U_2 I_2$ бўлади. 7 — 14- расм, а да кўрсатилган пасайтирувчи автотрансформатор схемасига биноан чулғам қисмлари ва нағрузкадан ўтадиган тоқлар учун қуйидаги ифодаларни олиш мумкин:

$$I_2 = I_1 + I_y \text{ ёки } I_y = I_2 - I_1,$$

бунда I_2 — нағрузка токи;

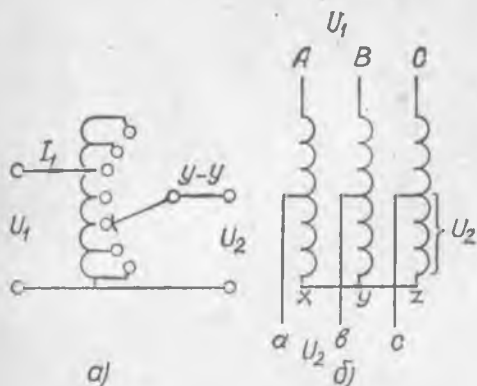
I_1 — электр тармоғидан чулғамга бериладиган ток;

I_y — чулғамнинг ах қисмидан ўтувчи ток.



7—14- расм.

а — пасайтирувчи, б — кучайтирувчи автотрансформаторнинг схемаси.



7—15- расм. Лаборатория автотрансформатори ЛАТР нинг схемаси.

асинхрон ва синхрон моторларни ишга туширишда фойдаланилади. Лаборатория ва маиший хизматда, кўпинча ЛАТР (лаборатория автотрансформатори) деб аталувчи автотрансформатор ишлатилади. ЛАТР сурилмасни чулғамнинг изоляциядан тозаланган қисми бўйича сиргалтириб унинг трансформация коэффициентини ва, демак, иккиламчи кучланишнинг силлиқ ўзгартириш имкони олинади (7—15- расм, а).

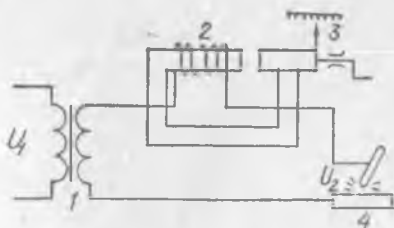
Автотрансформаторлар уч фазали тузилишда ҳам тайёрланади (7—15- расм, б). Бунда улар юлдуз схемаси билан уланиб ишлатилади.

Одатдаги трансформаторларга нисбатан автотрансформаторларга камроқ рангли металл сарфланади, уларнинг фойдали иш коэффициенти юқори ва габарити кичик бўлади. Бирламчи ва иккиламчи кучланишлар бир чулғамдан олингани учун автотрансформатор пасайтирувчи чулғамда ҳосил қилиниши мумкин бўлган $12 \div 24$ В кучланишдан хавфсиз кучланиш сифатида фойдаланиш мумкин эмас. Автотрансформаторнинг трансформация коэффициенти иккидан ортиқ бўлса, у тежамсиз, фойдаланиш ноқулай бўлади.

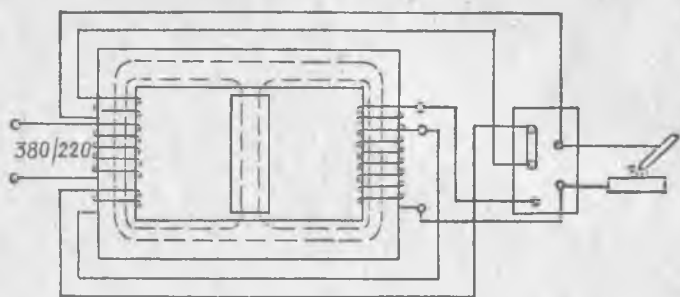
Пайвандлаш трансформаторлари. Салт иш режимида электр тармоғидаги кучланишнинг $60 \div 70$ вольtgача пасайтирувчи бир фазали трансформатор пайвандлаш трансформатори деб аталади. Бу трансформаторларнинг ташқи хараkтеристикаси кескин пасаяувчи хараkтерга эга бўлади. Пайвандлаш трансформаторлари турли типларда тайёрланади.

Демак, автотрансформатор чулғамнинг ax қисмини нагрзука токига нисбатан кичик, яъни $I_2 - I_1$ токига ҳисоблаш мумкин. Шу сннгари, кучайтирувчи автотрансформатор схемаси учун чулғамнинг ax қисмидан ўтувчи I_y токининг қиймати ҳам токларнинг айирмаси $I_1 - I_2$ билан аниқланади (7—14- расм, б).

Автотрансформаторлардан катта қувватли



7—16- расм. СТЭ типли пайвандлаш трансформаторининг принципал схемаси.



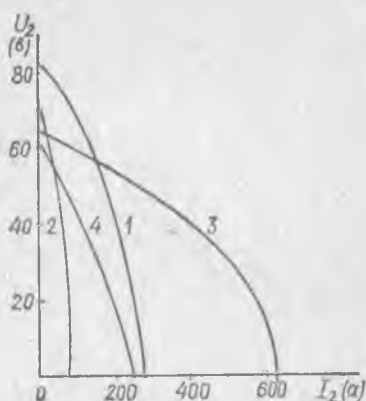
7—17- расм. СТАН-I типли пайвандлаш трансформатори
ва унинг уланиш схемаси.

СТЭ типдаги пайвандлаш трансформатори салт иш режимида $60 \div 65$ В кучланишга эга бўлиб, ёйнинг тургун ёнишини таъминлайди. Бунда пайвандлаш токнинг қийматини ростлаш учун индуктив қаршилиги ростланадиган дроссель ишлатилади (7—16- расм).

Пулат ўзаклар орасидаги ҳаво бўшлиғини катталаштириш билан дроссель чулғамининг индуктив қаршилиги камаёди. Ҳаво бўшлиғини кичрайтириш билан эса дроссель чулғамининг қаршилиги кўпайиб, пайвандлаш токи камаёди. Ҳозирги пайтда ток қийматини ростловчи, дроссели трансформатор кожухининг ичига ўрнатилган СТАН-I типли пайвандлаш трансформаторлари чиқарилмоқда (7—17- расм). Бу типдаги трансформаторларнинг салт иш режимидаги кучланиши СТЭ га нисбатан анча юқори бўлиб, токнинг кичик қиймати, яъни $25 \div 50$ Амперда ҳам ёйнинг тургун ёнишини таъминлайди. СТАН-I нинг иккиламчи чулғами икки қисмдан иборат бўлиб, улар ўзаро мос ўралган бўлади ва, демак, уларда ҳосил бўлган кучланиш ўзаро қўшилади. Асосий иккиламчи чулғам бирламчи чулғам ўрнатилган ўзакка ўрнатилади (бирламчи чулғам устидан). Иккиламчи чулғамнинг реактив қисми бошқа ўзакка ўрнатилади ва шунга кўра унинг индуктив қаршилиги катта бўлади. Ўртадаги қўзгалувчи ўзакдан магнитавий шунт сифатида фойдаланилади. Магнитавий шунт ҳолатини ўзгартириш билан магнитавий оқимнинг тарқалиш йўлидаги қаршилиқ қийматини ўзгартириб, пайвандлаш токи қийматини силлиққина ростлаш имкони олинади. Бунда шунтни ичкарига суриш билан реактив чулғам қаршилиги кўпайтирилиб, пайвандлаш токи камайтирилади, шунтни ичкаридан чиқариш билан эса, қаршилиқ камайтирилиб, пайвандлаш токи кўпайтирилади.

Пайвандлаш токнинг икки (I ва II) поғонада ўзгартириш учун СТАН-I нинг иккиламчи чулғами икки хил схемада

уланади. 7 — 18- расмда СТАН-1 нинг ташқи характери-
калари кўрсатилган, бунда 1
эгри чизиғи — I поғонада ва
магнитавий шунтнинг ичкаридан
чиқарилган ҳолатида олинган
характеристика; 2 эгри чизиғи —
I поғона ва магнитавий шунт-
нинг ичкарига сурилган ҳола-
тига тегишли характеристика;
3 эгри чизиғи — II поғона ва
шунтнинг ичкаридан чиқарилган
ҳолатига тегишли характери-
стика ва 4 эгри чизиғи — II поғо-
на ва магнитавий шунтнинг ичка-
рига сурилган ҳолатига тегишли
характеристика. Бунда дроссел-
нинг таъсири туфайли ташқи ха-
рактеристика кескин ўзгаришга
эга бўлади. Ҳақиқатан, иккиламчи чулғамдаги кучланиш қийма-
ти ёйдаги ва реактив чулғамдаги кучланиш тушувларининг
йиғиндисидан иборат бўлгани учун ёй қаршилигини камайти-
риш билан пайвандлаш токи қийматининг кўпайиши содир бў-
лади. Бу эса дроссель чулғамидagi кучланиш тушувини кўпай-
тириб, ёйдагини камайтиради. Натижада пайвандлаш токи-
нинг қиймати кам ўзгариб пайвандлаш процесси яхши ўтади
(7 — 18- расм).



7—18- расм. Пайвандлаш
трансформатори СТАН-1 нинг
ташқи характеристикалари.

СТАН-1 нинг техникавий кўрсаткичлари

Бирламчи кучланиши $20 + 380$ В

Иккиламчи кучланиши $60 + 70$ В

Пайвандлаш токнинг ростлаш диапазони $60 + 480$ А

Қуввати 22 кВА

Фойдали иш коэффициенти 0,83

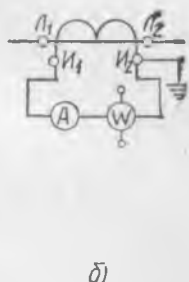
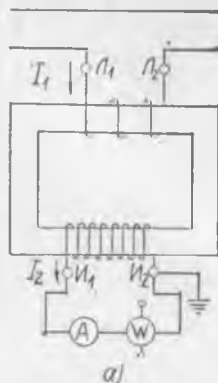
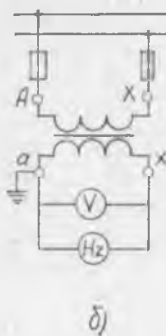
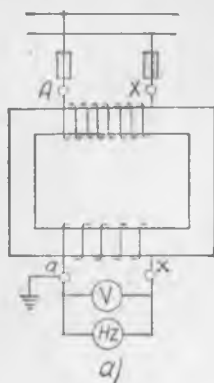
Қувват коэффициенти 0,52

Массаси 185 кг.

Ўлчаш трансформаторлари. Ўлчаш трансформаторлари
юқори кучланишни ва катта қийматли токларни вольтметр ва
амперметр билан ўлчаш ҳамда релели ҳимоялаш ва автома-
тик назорат қилиш занжирларида ишлатилади.

Юқори кучланишли қурилмаларда ўлчаш трансформатор-
ларидан фойдаланиш натижасида ўлчаш асбоблари ҳамда
хизмат қилувчи ходимларнинг хавфсиз ишлаши таъминланади.
Вольтметр, частотромер, ваттметр, сўтчик ва реленинг куч-
ланиш ғалтакларини юқори кучланиш занжирига улаш учун
кучланиш трансформаторлари ишлатилади (7 — 19- расм).

7 — 19- расмда кучланиш трансформаторларининг а — при-
ципал схемаси ва б — шартли белгиси кўрсатилган. Бундай
трансформаторлар ўлчаш асбобларига кучланишни пасайтириб



7—19- расм. Кучланиш трансформатори.

7—20- расм. Ток трансформатори.

беради. Кучланиш трансформаторлари бир ва уч фазали конструкцияда ишлаб чиқарилади.

Электрик ўлчаш асбоблари билан катта қийматли тоқларни ўлчаш учун ток трансформаторлари ишлатилади. Бунда трансформаторнинг бирламчи чулғами ўлчаниши керак бўлган катта тоқли линияга кетма-кет уланади, иккиламчи чулғамига эса ўлчаш асбоблари уланади (7 — 20- расм).

7 — 20- расмда ток трансформаторининг а — принципал схемаси ва б — шартли белгиси кўрсатилган.

Ўлчаш асбоблари кучланиш ғалтакларининг қаршилиги катта бўлгани учун кучланиш трансформаторлари, амалда, салт иш режимида ишлайди, ток ғалтакларининг қаршилиги бир Ом дан ҳам кичик бўлгани учун ток трансформаторлари қисқа туташиниш режимида ишлайди.

Ток трансформаторининг бирламчи чулғамидаги тоқдан Φ_1 магнитавий оқим ҳосил бўлса, иккиламчисидигидан Φ_2 ҳосил бўлади. Иккиламчи чулғамдаги тоқдан ҳосил бўлган магнитавий оқим трансформатор пўлат ўзагини магнитсизлантиради. Шу сабабли пўлат ўзакда ҳосил бўлган умумий магнитавий оқим кичик бўлади. Агар бирламчи чулғамдан нағрузка токи ўтаётганида иккиламчи чулғам узук қолса, у ҳолда $I_2 = 0$ ва, демак, $\Phi_2 = 0$ бўлиб, трансформатор ўзагидаги умумий магнитавий оқим фақат нағрузка токидан ҳосил бўлган Φ_1 га боғлиқ бўлади. Φ_1 қиймати катта бўлгани учун ундан иккиламчи чулғамда ҳосил бўлган э. ю. к. қиймати хизмат қилувчи ходимга хавфли бўлади. Бундан ташқари, Φ_1 оқими пўлат ўзакда катта қувват исрофини ҳосил қилиб, уни ҳаддан ташқари қизитиб юборади. Натижада трансформатор ишдан чиқиши мумкин. Шунинг учун бирламчи чулғамдан нағрузка токи ўтаётганида трансформатор иккиламчи чулғамини узук қолдириш мумкин эмас. Агар ўлчаш асбоблари ремонт қилиш учун

ёки бошқа сабабга кўра схемадан ажратиладиган бўлса, у ҳолда, даставвал, иккиламчи чулғамни ўз-ўзига қисқа туташтириш лозим.

Хизмат қилувчи ходимни ҳимоя қилиш учун кучланиш ва ток трансформаторлари иккиламчи чулғамларининг бир учи ва трансформатор корпуси ерга туташтирилади.

7 — 11. Кучланиш мўътадиллаштиргичи

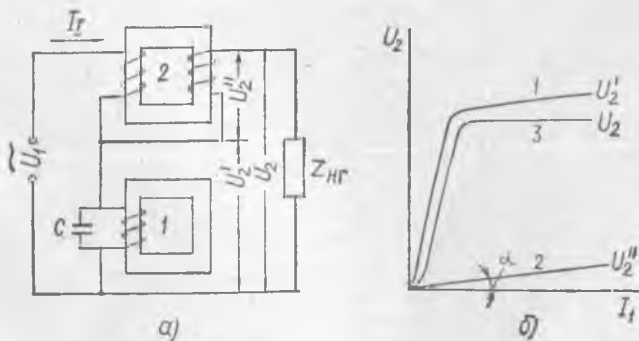
Электротехникавий қурилмалардаги кучланишни ўзгартирмай, яъни мўътадил сақлаш учун, кўпинча электромагнит типдаги (агар қурилма қуввати 5 кВА гача бўлса) мўътадиллаштиргичлардан фойдаланилади. Булар ферромагнит ўзакнинг тўйиниши ҳамда кучланиш ва токнинг феррорезонанс ҳодисаларига асосланиб тузилади. 7 — 21- расмда *а* — феррорезонанс мўътадиллаштиргичнинг схемаси ва *б* — унинг характеристикаси кўрсатилган, бунда *1* — реактив ғалтак. Бу ғалтак ўрнатилган ўзакнинг ҳолати электр тармоғидаги кучланиш U_1 нинг берилган ўзгариш диапозонида тўйинган бўлади; *С* — конденсатор; *2* — ўзаги тўйинмаган ҳолатда ишловчи автотрансформатор.

Автотрансформатор чулғамининг уланиш схемасига биноан мўътадиллаштиргичдан олинувчи U_2 кучланишнинг қиймати қуйидагича бўлади:

$$U_2 = U_2' - U_2'',$$

бунда U_2'' — автотрансформаторнинг иккиламчи кучланиши;

U_2' — реактив ғалтақдан олинувчи кучланиш. Феррорезонанс ҳодисасига биноан реактив ғалтақдаги кучланиш қийматининг I_1 токига боғланиши кескин ўзгарувчи эгри чизиқ шаклига эга бўлади (7 — 21- расм, *б*). Автотрансформатор ўзаги тўйинмаган ҳолатга эгаллиги сабабли $U_2'' = f(I_1)$ боғланиши тўғри чизиқ бўйича ўзгаради. Реактив ғалтак ва авто-



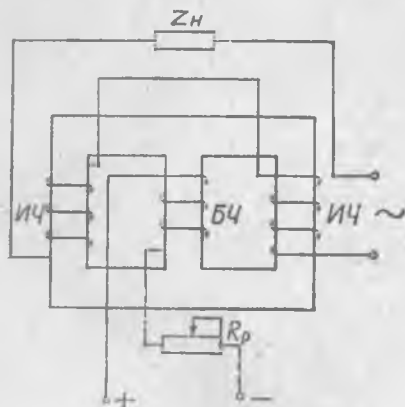
7—21- расм. Феррорезонанс мўътадиллаштиргичи.

трансформатор параметрларини таилаш билан $U_2' = f(I_1)$ эгри чизигининг туйинган ҳолатга тегишли қисмининг абсцисса ўқи-га қиялиги $U_2'' = f(I_1)$ нинг ҳам шу ўққа бўлган қиялиги α га тенг бўлса, у ҳолда $U_2' - U_2'' = \text{const}$ бўлади. Бунда ток I_1 нинг ва, демак, кучланиш U_1 нинг қийматлари ўзгарса ҳам муътадиллаштиргичдан олиннадиган кучланишнинг қиймати ўзгармас, яъни $U_2 = \text{const}$ бўлади. U_2 қиймати ўзгармас ҳолда сақланиши учун U_1 нинг қиймати номиналга нисбатан 30 % дан кўпга ўзгармаслиги керак.

Феррорезонанс муътадиллаштиргичларининг фойдали иш коэффициентлари анча юқори, яъни $\eta = 0,8 \div 0,85$ бўлади. Буларнинг камчилиги, U_2 қийматининг электр тармоғидаги ток частотасига ва нагруканинг қувват коэффициентига боғлиқлиги ҳамда учинчи гармоника сабабли U_2 нинг синусоидадан фарқ қилиши ҳисобланади. Муътадиллаштиргич схемасини мураккаблаштириш билан юқорида кўрсатилган камчиликларни йуқотиш мумкин.

7—12. Магнитавий кучайтиргич

Магнитавий кучайтиргич статик электромагнитавий аппаратдан иборат бўлиб, у автоматик ростлаш системаларида жуда кенг ишлатилади. 7—22- расмда магнитавий кучайтиргичининг схемаси кўрсатилган, бунда ИЧ—иш чулғами; БЧ—бошқариш чулғами; Z_n —нагруканинг тўла қаршилиги; R_p —бошқариш токини ростловчи реостатнинг қаршилиги. Магнитавий кучайтиргичининг ўзгарувчан ток билан таъминланувчи иш чулғами кетма-кет уланган икки қисмдан иборат бўлиб, улар уч стерженли берк пўлат ўзакнинг четки стер-



7—22- расм. Магнитавий кучайтиргичининг принципал схемаси.

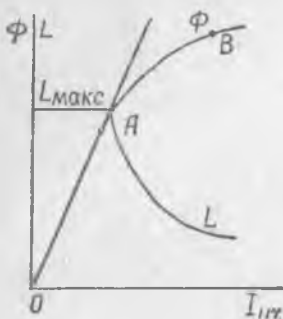
женларига, ўзгармас ток билан таъминланувчи бошқариш чулғами эса ўрта стерженга ўрнатилади. Ом қонунига биноан иш чулғамининг токи

$$I_{\text{ич}} = \frac{U_{\sim}}{\sqrt{R_n^2 + (\omega L + X_n)^2}} \text{ бўлади,}$$

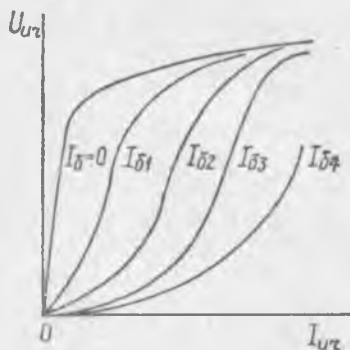
бунда R_n , X_n —тегишлича нагруканинг актив ва индуктив қаршиликлари; ωL —иш чулғамининг индуктив қаршилиги;

$$L = W_{\text{ич}} \frac{d\Phi}{dI_{\text{ич}}} \cdot 10^{-8} [\text{Гн}] \text{— иш}$$

чулғамининг индуктивлиги; $W_{\text{ич}}$ —иш чулғамининг ўрамлар сони.



7—23- расм. Пўлат ўзакнинг магнитланиш характеристикиси.



7—24- расм. Турли қийматдаги бошқариш токлари I_0 га тегишли $U_{нч} = f(I_{нч})$ эгри чизиклари, $U_{нч}$ — иш чулғамида $I_{нч}$ токидан кучланиш тушуви.

7 — 23- расмда пўлат ўзакнинг магнитланиш характеристикиси, яъни магнитавий оқим Φ нинг иш чулғаи токи $I_{нч}$ га боғланишини ифодаловчи эгри чизик кўрсатилган.

Магнитланиш характеристикасига биноан пўлат ўзакнинг тўйинмаган ҳолатида иш чулғамининг индуктивлиги ва, демак, унинг индуктив қаршилиги ўзгармас максимум қийматга эга бўлиб, тўйинишнинг бошланиши билан эса, индуктивликнинг қиймати камайиб боради (7 — 23- расм). Агар бошқариш чулғаи кичик қийматли ўзгармас ток берилса, пўлат ўзакнинг тўйиниши бошланади. Демак, бошқариш токини ўзгартириш билан ўзакнинг тўйиниш даражасини ва иш чулғамининг индуктив қаршилигини ростлаш имкони олинади. Шундай қилиб, магнитавий кучайтиргичнинг ишлаш принципи пўлат ўзакнинг тўйиниш даражасини ўзгартиришга асосланган бўлиб, натижада бошқариш чулғаидаги кичик қийматли ўзгармас токни ўзгартириш билан иш чулғамидан ўтадиган катта қийматли нагрузка токини бошқариш имкони олинади. 7 — 24- расмда турли ўзгармас қийматлардаги бошқариш токлариға тегишли $U_{нч} = f(I_{нч})$ эгри чизиклари кўрсатилган, бунда $U_{нч}$ — нагрузка токи $I_{нч}$ нинг иш чулғамидан ўтиши билан унда ҳосил бўладиган кучланиш тушуви. Демак, бошқариш токи I_0 нинг қиймати ортиб бориши билан иш чулғаи индуктив қаршилигининг камайиши ҳисобига ундаги кучланиш тушуви ҳам камайиб, нагрузкага берилган кучланиш қиймати ортиб боради. Иш чулғаи қисмларидаги токлардан ҳосил бўлган магнитавий оқимлар ўзаро мос йўналган бўлиб, четки стерженлар орқали бекилади. Демак, бу оқимлар ўрта стерженда ўзаро қарши йўналиб, ўзгармас ток ўтувчи бошқариш чулғаиға таъсир этмайди. Турли типдаги магнитавий кучайтиргичлар

учун қувват бўйича кучайтириш коэффициенти $K_p = \frac{P_{\text{нагр}}}{P_0} \approx 20 \cdot 10^3 \div 2 \cdot 10^5$ бўлади. Магнитавий кучайтиргичларни чала ўтказгичли диодлар билан биргаликда бошқарилувчи тўғрилагич сифатида ҳам ишлатиш мумкин.

VIII боб. Ўзгарувчан ток машиналари

8 — 1. Умумий тушунчалар

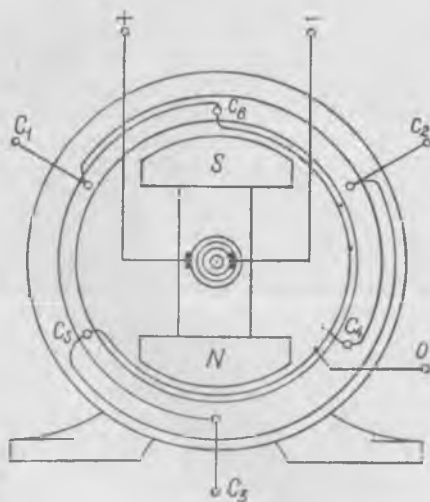
Ўзгарувчан ток машиналари асосан синхрон ва асинхрон деб аталувчи электрик машиналардан иборат бўлиб, уларни ҳам ўзгармас ток машиналари сингари генератор, мотор ва электромагнитавий тормоз режимларида ишлатиш мумкин.

Электр станцияларида ишлаб чиқариладиган уч фазали ток синхрон генераторларда ҳосил қилинади. Синхрон машиналар қўзғалмас статор ва айланувчи ротордан иборат бўлади. Статор ўз навбатида чўян корпус ва унга маҳкамланган пўлат ўзакдан иборат бўлиб, бу ўзак пазларига уч фазали ўзгарувчан ток чулғами жойлаштирилади. Статор ўзагида уярмавий токлардан ҳосил бўлувчи қувват исрофини камайтириш мақсадида уни бир-биридан изоляцияланган пўлат тунукалардан йиғилади (8 — 1- расм).

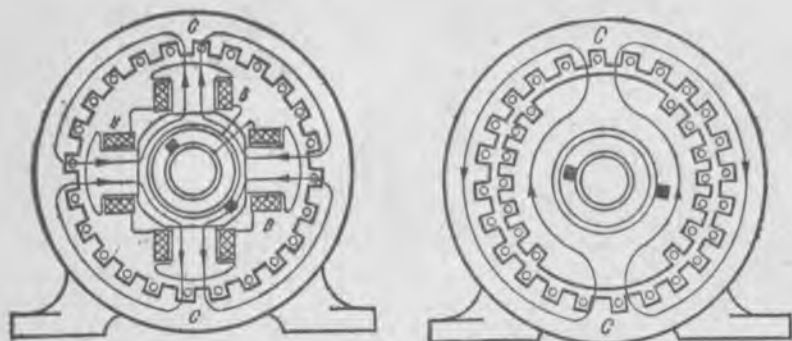
Синхрон машинасининг ротори икки типда, яъни аён ва аён бўлмаган қутбли қилиб тайёрланади. Гидротурбиналар билан паст частотада айлантриладиган кичик ва ўрта қувватли

гидрогенераторлар аён, буғ турбиналари билан юқори тезликда айлантриладиган катта қувватли турбогенераторлар эса, аён бўлмаган қутбли қилиб чиқарилади.

8 — 2- расмда синхрон машинанинг *a* — аён ва *b* — аён бўлмаган қутбли роторлари кўрсатилган. Роторнинг ўзаги, одатда, қуйма пўлатдан ясалиб, унга қўзғатувчи чулғам ўрнатилади. Айланувчи ротордаги бу қўзғатувчи чулғамга чўтка ва ҳалқалар воситасида ўзгармас ток берилиб, асосий магнитавий оқим ҳосил қилинади. Демак, ўзгармас ток билан таъминланган ротор чулғамини бирламчи



8—1- расм. Синхрон машинасининг статори.



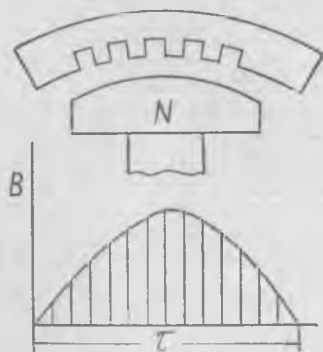
8—2- расм. Синхрон машинасининг роторлари.

мотор (турбина) билан айлантирилса, у ҳолда, электромагнитавий индукция қонунига биноан статор чулғамида ўзгарувчан э. ю. к. ҳосил бўлади.

Бу э. ю. к. синусоида қонунни бўйича ўзгариши учун қутбларда ҳосил бўлган магнитавий индукция синусоида бўйича тақсимланиши керак. Магнитавий индукциянинг $B = B_{\text{макс}} \sin \alpha$ бўйича тақсимланиши учун қутб ўзаги билан статор ўзаги ўртасидаги ҳаво бўшлиғининг 8 — 3- расмда кўрсатилгандек бўлишига эришиш кифоя.

Уч фазали синхрон генераторнинг статорига учта чулғам жойлаштирилади. Бу чулғамлар фазода бир-биридан 120° бурчакка фарқ қилади, улар юлдуз ёки учбурчаклик схемаси билан уланади. Ҳар бир чулғам генераторнинг фазаси дейилиб, бу фазаларда бир-биридан 120° га фарқ қилувчи э. ю. к. лар ҳосил бўлади. Юлдуз ёки учбурчаклик схемаси билан уланган чулғамлардан олинган бу уч фазали э. ю. к. лар системасига уч фазали нагрузка уланса, у ҳолда генераторнинг статор чулғамларидан уч фазали нагрузка токи ўтади. Синхрон машинани қўзғатиш учун керак бўлган ўзгармас токни қўзғатгич ёки чала ўтказгичли туғрилагичлардан олинади. Генератор билан бирга айлантирилувчи ва уни қўзғатишга мўлжалланган ўзгармас ток генератори қўзғатгич деб аталади. Синхрон генераторлар статори чулғамларининг боши ва охирилари қуйидаги жадвалда кўрсатилгандек белгиланади.

Одатда, қуввати 400 кВА гача бўлган синхрон генераторлари



8—3- расм. Ротор қутбларида ҳосил бўлувчи магнитавий индукциянинг синусоидал тақсимланиши.

Фазалар	Фаза чулғамларининг	
	боши	охири
Бириңчи	C_1	C_4
Иккинчи	C_2	C_5
Учинчи	C_3	C_6

400/230 В, 400 кВА дан катталари эса 6300 В ва ундан ҳам юқори кучланишли қилиб тайёрланади.

Қуввати 1000 кВА гача бўлган дизель моторга мўлжалланган СГД типли генераторлар ҳам чиқарилмоқда.

Ленинград „Электросила“ заводида қуввати 500 ва 800 минг кВА бўлган синхрон генераторлар тайёрланмоқда. Катта қувватли генераторлар, масалан, 100000 кВА ли турбогенераторлар жуда юқори фойдали иш коэффициенти, яъни $\eta = 0,98$ га эга бўлади.

Асинхрон машиналарининг статори синхрон машинаникидан деярли фарқ қилмайди, аммо уларнинг роторидаги чулғамига ташқи манбадан ҳеч қандай ток берилмайди.

8 — 2. Ўзгарувчан ток машинасининг чулғамлари

Ўзгарувчан ток машинасининг чулғамлари ҳам ўзгармас ток машинасиники сингари бир ва икки қатламли, қисқартирилган ва тўла қадамли бўлиб, қуйидаги параметрлар билан характерланади:

z — статор ўзагидаги пазлар сони;

m — статор чулғамидаги фазалар сони;

p — жуфт қутблар сони;

q — фаза ва қутбга тўғри келувчи пазлар сони бўлиб, уни қуйидагича аниқланади:

$$q = \frac{z}{2pm}, \quad (8-1)$$

τ — қутб ўрталарининг орасидаги масофа (қутб бўлинмаси);

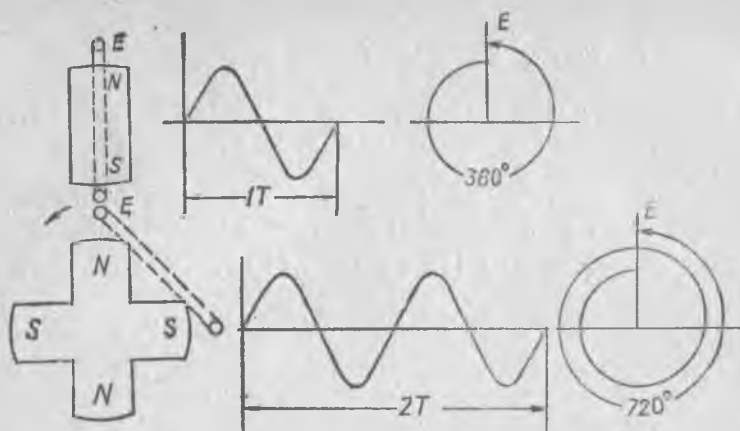
y — чулғам қадами, секциянинг кенглиги;

y_ϕ — фаза чулғамларининг учлари орасидаги масофани кўрсатувчи фаза қадами. Фаза қадами қуйидагича аниқланади:

$$y_\phi = \frac{2}{3}\tau. \quad (8-2)$$

y ва y_ϕ қадамларни, одатда τ нинг бирор бўлаги ёки пазлар сони билан ифодаланади;

$\alpha = \frac{\pi}{Q}$ — электрик градусларда ўлчанган пазлар орасидаги бурчак; бунда Q — статор ўзагининг қутб кенглиги орасидаги пазлар сони.



8—4- расм. Фазовий ва электрик градусларнинг ўзаро боғланишига тегишли расмлар.

Роторнинг бир градусга бурилиш бурчаги фазовий градус, статор чулғамида ҳосил бўладиган э. ю. к. векторининг бурилиш бурчаги электрик градус дейилади.

Икки қутбли машинада роторнинг бир марта тула айланишига бир давр, яъни э. ю. к. векторининг ҳам бир марта тула айланиши тўғри келса, тўрт қутбли машинада роторнинг бир марта тула айланишига икки давр, яъни э. ю. к. векторининг икки марта тула айланиши тўғри келади (8—4- расм).

Демак, қутблар сони $2p$ бўлган кўп қутбли синхрон машинада роторнинг бир марта тула айланишига p сонли давр, яъни э. ю. к. векторининг p марта тула айланиши тўғри келади. Шунга кўра, бир фазовий градус — p электрик градус бўлади.

Қутб бўлинмаси τ ҳамма вақт 180 электрик градусга тенг бўлгани учун $\varphi = \frac{2}{3} \tau = \frac{2}{3} 180 = 120$ электрик градусга тенг бўлади.

8—3. Синхрон генератори статор чулғамининг электр юритувчи кучи

Статор чулғамининг ҳар бир ўтказгичида ҳосил бўлган э. ю. к. нинг ўртача қиймати ҳам электромагнитавий индукция қонунига биноан $E_{ур} = B_{ур} l v$ бўлади, бунда l — статор чулғами ўтказгичи узунлиги, m ; v — магнитавий куч чизиқларининг ҳаракат тезлиги, $\frac{m}{сек}$; $B_{ур}$ — ҳаво бўшлиғидаги магнитавий индукциянинг ўртача қиймати, Тл.

Чизиғий тезлик v ни айланиш частотаси n билан ифода-
лаб ҳамда $\pi D = 2\pi r$ бўлгани учун $v = \frac{\pi D n}{60} = \frac{2\pi r n}{60}$ олинади.

Бундан $\frac{p n}{60} = f$ бўлгани учун $v = 2f \tau$ бўлади. Демак, $E_{ур} =$

$= B_{\text{yp}} l v = B_{\text{yp}} l 2 f \tau$, аммо $B_{\text{yp}} l \tau = \Phi$ бўлгани учун $E_{\text{yp}} = 2 f \Phi$ бўлади.

Ўтказгичдаги э. ю. к. нинг таъсир этувчи қиймати $E = 1,11 E_{\text{yp}}$ бўлади. Бунда 1,11 — синусоидал э. ю. к. нинг эгри шакл-лилиги коэффиценти.

Ҳар бир ўрам икки ўтказгичдан иборат бўлгани учун ўрамдаги э. ю. к. қиймати қуйидагича аниқланади:

$$E_{\text{yp}} = 2 \cdot 1,11 \cdot 2 f \Phi = 4,44 f \Phi. \quad (8-3)$$

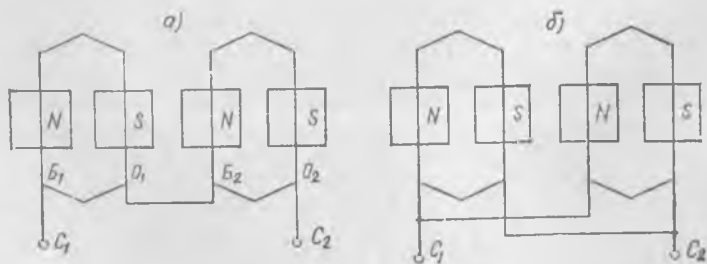
8—4. Статорнинг бир фаза ва бир қатламли чулғамлари

Ўзгарувчан ток машинаси статорига йиғиштирилган ва сочилган схемали чулғамларни ўрнатиш мумкин.

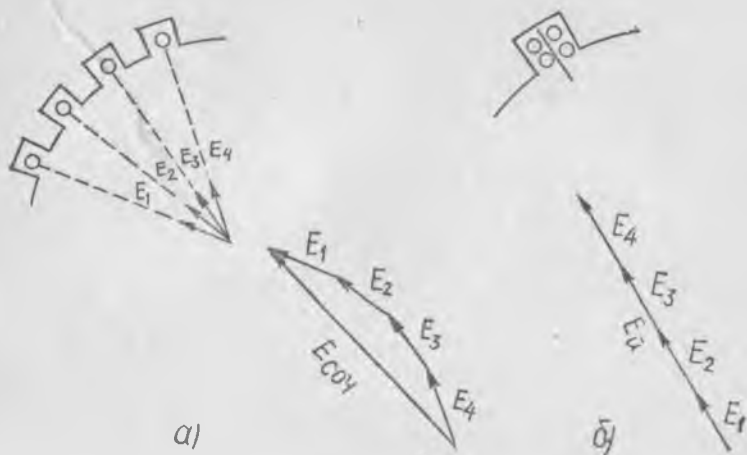
Йиғиштирилган деб аталувчи чулғамда $q = 1$, $y = \tau$ бўлиб, унинг бир жуфт қутблари остидаги ҳамма секциялари (ғалтак-лари) иккита пазга жойлаштирилади. Бу пазларнинг бири шимолий, иккинчиси эса жанубий қутблар остида бўлади. 8—5-расмда қутблар сони $2p = 4$ бўлган йиғиштирилган чулғамнинг α — секциялари кетма-кет ва β — секциялари параллел улангандаги схемалари кўрсатилган. Бу чулғам учун э. ю. к. E_{α} қиймати қуйидагича аниқланади:

$$E_{\alpha} = E_y \cdot W = 4,44 W f \Phi, \quad (8-4)$$

бунда W — кетма-кет уланган ўрамлар сони. Йиғиштирилган чулғамда пўлат узакдан тўла фойдаланиш мумкин бўлмагани учун ундан кам фойдаланилади. Одатда, статор ўзаги бўйича бир хилда сочилиб жойлаштирилган чулғам ишлатилади. Шунга кўра, бундай чулғамни сочилган деб аталади. Сочилган чулғам учун $q = 2, 3, 4$ ва ҳоказо бўлади. Бундай чулғамда пазлар бир-биридан α бурчакка сурилган бўлади. Бу пазлардаги секцияларда ҳосил бўлган э. ю. к. векторлари ҳам ўзаро α бурчакка фарқ қилади. Бир группа секцияларда ҳосил бўлган э. ю. к. лар йиғиндиси ҳар бир секциядаги э. ю. к. E ларнинг геометрик йиғиндисига (8—6- расм, a) тенг, яъни $\bar{E}_{\text{соч}} = \bar{E}_1 + \bar{E}_2 + \bar{E}_3 + \bar{E}_4$ бўлади.



8—5- расм. Статорнинг бир фаза ва бир қатламли чулғам-лари.



8—6- расм. Бир фазали чулғамнинг:

а — сочилган; б — йиғиштирилган чулғам секцияларидаги э. ю. к. лар қиймати.

Йиғиштирилган чулғамда эса тўртта секция бир пазга жойлаштирилиши сабабли, бу секциялардаги э. ю. к. қиймати ҳар бир секциядаги э. ю. к. ларнинг алгебраик йиғиндисига (8—6- расм, б) тенг, яъни

$$E_{\text{я}} = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 = q \cdot E \text{ булади.}$$

Сочилган чулғамдаги э. ю. к. нинг, йиғиштирилгандагига нисбати чулғамнинг сочилиш коэффициенти дейилади ва $k_{\text{соч}}$ деб белгиланади:

$$k_{\text{соч}} = \frac{\bar{E}_{\text{соч}}}{E_{\text{я}}} = \frac{\bar{E}_{\text{соч}}}{q E} \quad (8-5)$$

бунда $\bar{E}_{\text{соч}}$ — секция э. ю. к. лари эффектив қийматларининг геометрик йиғиндис;

$E_{\text{я}}$ — секция э. ю. к. лари эффектив қийматларининг алгебраик йиғиндис.

Амалда $k_{\text{соч}}$ нинг қийматини биринчи гармоника учун э. ю. к. формуласидан топилади, яъни

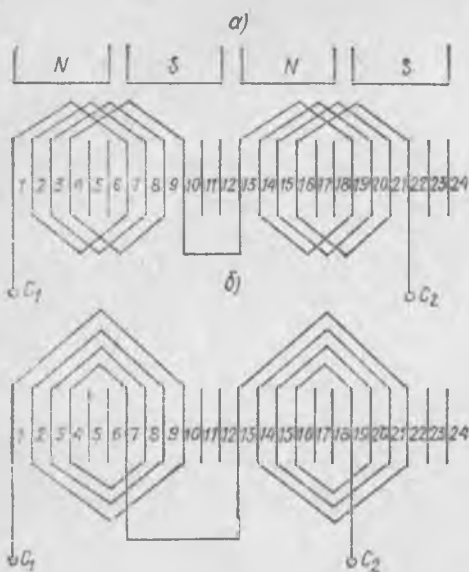
$$k_{\text{соч}} = \frac{\sin q \frac{\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (8-6)$$

бунда α ва q — чулғам учун аниқ бўлган, яъни берилган параметрлар.

Чулғам сочилиш коэффициенти, одатда, бирдан кичик бўлгани учун сочилган чулғам фазасида йиғиштирилган чулғамникига нисбатан кичикроқ э. ю. к. ҳосил булади.

Шунга кўра:

$$E_{\text{соч}} = 4,44 k_{\text{соч}} \cdot W \cdot f \Phi, B \quad (8-7)$$



8-7- расм. Сочилган бир фазали чулғамнинг схемаси.

$Q = 4$ бўлгани учун 2—8, 3—9 ва 4—10-секцияларни ҳам қўшни пазларга жойлаштирилади (8-7- расм). 8-7- расмда *а* — чулғамнинг актив бўлмаган томонлари узаро кесишувчи, *б* — кесилмовчи схемалари курсатилган. Бу секциялар группасини бир жуфт қутблар остидаги пазларга жойлаштирилгандан сунг, иккинчи секциялар группасини иккинчи жуфт қутблар остидаги пазларга жойлаштирилади.

Бунда иккинчи секция группасининг боши жойлаштириладиган паз номерини топиш учун биринчининг боши жойлашган паз номерига 2τ ни қўшимс қиёя. Демак, иккинчи секция группасининг боши $1 + 2\tau = 1 + 2 \cdot 6 = 13$ га, яъни 13- пазга жойлаштирилади. Иккинчи секциялар группасининг схемаси ҳам юқоридаги сингари тузилади.

8-5. Статорнинг уч фазали чулғами

Статор пазларига бошлари бир-биридан $\frac{2}{3}\tau$ га ёки 120° элек-трик градусга фарқ қилувчи учта бир фазали чулғамни жойлаштириб, уларни юлдуз ёки учбурчаклик схемасида уланса, уч фазали чулғам ҳосил қилинади. Бир жуфт қутбли машинанинг уч фазали чулғами энг оддий схемада учта ғалтакдан иборат бўлади. Синхрон генераторлар учун, амалда, икки қатламли, қадами қисқартирилган сочилган чулғам схемаси қўлланилади. Чулғам қадамини қисқартириш билан э. ю. к. эгри чизигининг шакли яхшиланади (синусоидага яқинлашади) ва секциянинг паздан ташқи қисмига сарфланадиган мнс симлар тежаллади.

8-1- масала. Параметрлари $q = 4$, $\alpha = 15^\circ$ бўлган чулғамнинг $k_{\text{соч}}$ қийматини топинг.

$$k_{\text{соч}} = \frac{\sin q \frac{\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\sin 4 \cdot \frac{15^\circ}{2}}{4 \cdot \sin \frac{15^\circ}{2}} = \frac{\sin 30^\circ}{4 \sin 7,5^\circ} \approx 0,96$$

8-2- масала. Қуйидаги параметрларга биноан сочилган чулғам схемасини тузинг.

$$Q = 4; 2p = 4; Z = 24; y = \tau$$

Е чиш. Чулғам қадами

$$y = \tau = \frac{Z}{2p} = \frac{24}{4} = 6 \text{ бўлади.}$$

Чулғам тузишни биринчи паздан бошлаймиз. Биринчи пазга секция бошини жойлаштириб унинг охири жойлашадиган паз номерини топиш учун секция боши жойлашган паз номерига y қўшилади. Демак, секция охири жойлашадиган паз номери $1 + y = 1 + 6 = 7$ бўлади.

8—3- масала. Қадами $\frac{1}{6} \tau$ га қисқартирилган, яъни $u = \frac{5}{6} \tau$ ҳамда $Z = 24$; $2p = 4$; $m = 3$ бўлган икки қатламли, сочилган уч фазали чулғам схемасини тузинг.

$$\text{Ечиш. } q = \frac{Z}{2p m} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2,$$

$$\tau = \frac{Z}{2p} = \frac{24}{4} = 6; \quad u = \frac{5}{6} \tau = 5,$$

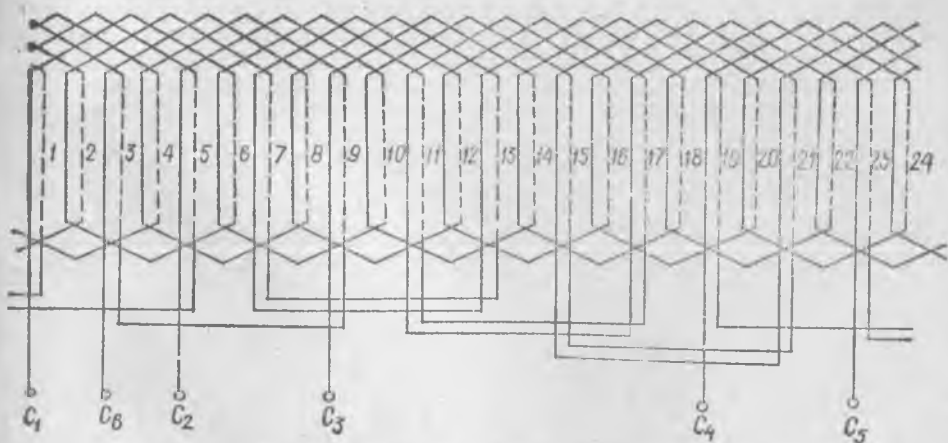
$$u_{\phi} = \frac{2}{3} \tau = 4.$$

Биринчи фаза чулғамини 1-паздан бошлаймиз. Секция охири $1 + u = 1 + 5$, яъни 6-пазга жойлаштирилади. $q = 2$ бўлгани учун бу жуфт кутблар остига яна бир секция, яъни (2—7) ни жойлаштираемиз. Келгуси секциялар группасининг боши жойлашадиган паз номери $1 + 2\tau$, яъни 13 бўлади. Агар биринчи секциялар группаси соат стрелкаси ҳаракати томон ўралган бўлса, у ҳолда иккинчи секциялар группаси соат стрелкаси ҳаракатининг тескари томони бўйича ўралади. Агар ҳисобга биноан иккинчи секциялар группасининг боши 13-пазда бўлса, унинг охири жойлашадиган паз номери $13 + u$, яъни 13—5=8 бўлади.

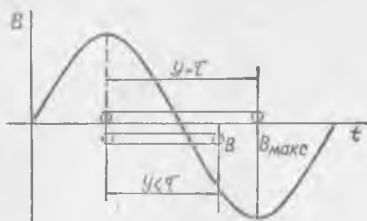
$q = 2$ бўлгани учун, иккинчи жуфт кутблар остига ҳам яна бир секция, яъни (12—7) жойлаштирилади. Демак, икки қатламли ва қадами қисқартирилган чулғамда секциялар сони иккиланади. Биринчи фаза учинчи секциялар группасининг боши жойлашадиган паз номерини топиш учун иккинчи секциялар группаси охирига τ қўшилади. Демак, учинчи секциялар группаси $7 + \tau = 7 + 6 = 13$, яъни 13-паздан бошланади ва ҳоказо. Иккинчи фаза боши жойлашадиган паз номерини топиш учун биринчи фаза бошига u_{ϕ} қўшилади. Демак, иккинчи фазани $1 + u_{\phi} = 1 + 4$, яъни 5-паздан бошлаб, биринчи фаза чулғами сингари тузилади (8—8-расм).

Чулғам қадамини қисқартириш сабабли унда ҳосил бўлувчи э. ю. к. қиймати камайди. 8—9-расмда чулғам қадамини қисқартириш билан унда ҳосил бўладиган э. ю. к. қийматининг камайиши кўрсатилган.

Қадами қисқартирилган чулғамда э. ю. к. нинг бундай камайиши қисқартириш коэффиценти деб аталувчи k_{ϕ} билан ифодаланади. Сочилиш коэф-



8—8- расм. Сочилган уч фазали чулғамнинг схемаси.



8—9- расм. Қадами қисқартирилган чулғамдаги э. ю. к. нинг камайиши.

фиценти билан қисқартириш коэффициентининг кўпайтмаси чулғам коэффициентини дейилади ва k_q билан белгиланади:

$$k_q = k_{\text{соч}} k_k. \quad (8-8)$$

Чулғам коэффициентининг қиймати тахминан $k_q = 0,9 \div 0,95$ бўлади. Бунда қадами қисқартирилган, сочилган чулғам фазасидаги э. ю. к. қиймати қуйидагича аниқланади:

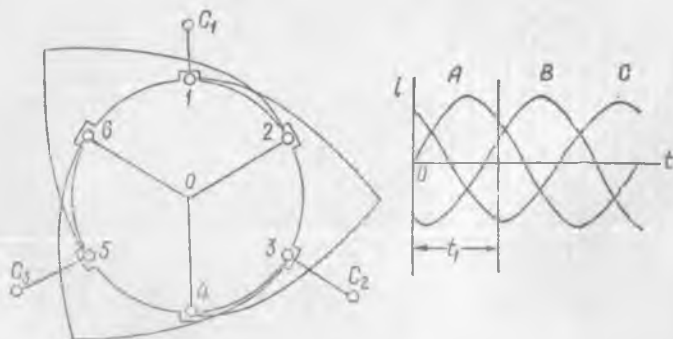
$$E_{\phi} = 4,44 \cdot k_q f \cdot W \Phi. \quad (8-9)$$

Генератор фазавий чулғамларини учбурчаклик схемасида улаш мумкин бўлса ҳам, аммо уларни кўпинча, юлдуз схемаси билан уланади. Чулғамда ҳосил бўладиган э. ю. к. мутлақо синусоидал бўлмагани сабабли унда учинчи гармониканинг таъсири сезиларли бўлади. Шу сабабли чулғамни учбурчаклик схемаси билан уланса, учинчи гармоникадан ҳосил бўлган ток нагрузка токига қўшилиб, генератор чулғамини ток бўйича ўта юклантириши мумкин.

8—6. Статорнинг магнитавий майдони

Симметрик нагрузкага уланган уч фазали синхрон генераторининг фазавий симметрик чулғамларидан бир хил қийматли, фазаси эса бир-биридан 120 электрик градусга фарқ қилувчи тоқлар ўтади. Бу тоқлардан статор ўзагининг гардиши бўйича айланувчи магнитавий майдон ҳосил бўлади ва у ротор билан бир томонга ва бир хил тезликда айланади. Буни ҳар бир фазаси бир ўрамдан иборат бўлган оддий уч фазали чулғам схемасида кўрсатиш мумкин. 8—10- расмда статорнинг юлдуз схемаси билан уланган чулғами ва бу чулғамдаги уч фазали тоқларнинг графиги кўрсатилган.

Тоқнинг бир марта тўла ўзгариш даврини 8—10- расмда кўрсатилган $t = 0$, $t = t_1$ ва ҳоказо моментларида уч фазали



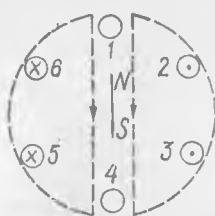
8—10- расм.

а — статор чулғамини юлдуз схемаси билан улаш; б — статор чулғамидаги уч фазали тоқнинг графиги.

токдан ҳосил бўлган бир жуфт қутбли магнитавий майдонлар айланувчи характерга эга бўлади (8—11- расм).

$t=0$ бўлганда A фазада ноль, B да манфий, C да эса мусбат қийматли ток бўлади. B ва C фазалардаги токдан ҳосил бўлган магнитавий майдоннинг йўналиши парма қондасига биноан аниқланади. Шу сингари $t=t_1$

бўлганда уч фазали токдан ҳосил бўлган магнитавий майдон $t=0$ дагига нисбатан маълум бурчакка бурилган. Чулғамдаги токнинг бир марта тула узгариш даврида уч фазали токдан ҳосил бўлган магнитавий майдон 360 электрик градусига айлангани сабабли бу магнитавий майдоннинг айланиш частотаси ток частотасига тенг бўлади. Демак, уч фазали токнинг частотаси $f=50$ гц бўлса, у ҳолда бу токдан ҳосил бўлган магнитавий майдон бир секундда 50 марта айланади. Статор чулғамидаги токдан ҳосил бўлган айланувчи магнитавий майдоннинг айланиш частотаси синхрон частота деб аталади, уни умумий ҳолда қуйидагича аниқланади:



8—11- расм. Статор чулғамида уч фазали токдан ҳосил буладиган айланувчи магнитавий майдон:

$a - t_0$, $b - t_1$ моментларида магнитавий майдоннинг ҳолатлари.

$$n = \frac{60}{p} f, \quad (8-10)$$

бунда p — ротордаги жуфт қутблар сони.

f — жуфт магнитавий қутблар сони p бўлган роторни n частота билан айлантириш натижасида статорнинг фаза чулғамида ҳосил бўлган токнинг частотаси.

Демак, синхрон генератори статорида ҳосил бўлган магнитавий майдоннинг айланиш частотаси билан роторнинг айланиш частотаси бир-бирига тенг, яъни синхрон бўлади. Синхрон сўзи умуман турли ҳодисаларнинг бир хил частотада ва бир вақтда содир бўлишини англатади. Синхрон генераторнинг статор ва ротор чулғамларидаги токлардан ҳосил бўлган магнитавий оқимлар бир томонга ва бир хил частотада айланишлари сабабли уларни ўзаро қўшиш ёки айириш мумкин.

8—7. Якорь реакцияси

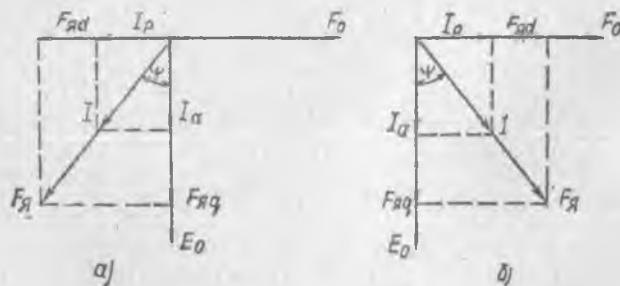
Генераторнинг э. ю. к. ҳосил қилинадиган чулғами якорь чулғами деб аталгани учун синхрон генераторнинг статор чулғамини ҳам якорь чулғами деб аталади. Шу сабабли, статордаги токдан ҳосил бўлган айланувчи магнитавий майдоннинг

ротор қутбларидаги асосий магнитавий майдонга бўлган таъсири якорь реакцияси дейилади. Ўзгармас ток машиналаридаги якорь реакцияси нагрузка токининг қиймати билан аниқланса, синхрон генераторлардаги якорь реакцияси нагрузка токининг қиймати ҳамда унинг характери билан аниқланади. Синхрон генераторлар, одатда, $\cos \varphi = 0,8$ бўлган актив-индуктив характердаги нагрузкага ишлайди деб ҳисобланади. Нагрузканинг индуктив қисми қанча катта бўлса, $\cos \varphi$ қиймати шунча кичик бўлиб, якорь реакциясининг магнитсизлантириш таъсири шунча катта бўлади. Натижада умумий магнитавий оқимнинг қиймати камайиб, синхрон генераторнинг кучланиши пасаяди.

Якорь реакциясининг магнитсизлантириш таъсирини йўқотиш учун ротор чулғамидаги қўзғатиш токини кўпайтириш кифоя. Аммо қўзғатиш токини номиналга нисбатан кўпайтириш билан қўзғатувчи чулғамни хавфли даражагача қизитиб юбориш мумкин. Нагрузка токининг индуктив қисмидан ҳосил бўлган бўйлама магнитавий оқим ротордаги асосий магнитавий оқимга тескари йўналиб, уни камайтиради. Актив қисмидан ҳосил бўлган кўндаланг магнитавий оқим асосий магнитавий оқимни қийшайтириб қутбнинг бир томонида умумий магнитавий оқимни зўрайтирса, унинг иккинчи томондагисини сушлаштиради. 8—12- расмда синхрон генератор магнит юритувчи кучларининг α — актив-индуктив ва β — актив-сигим нагрузкалардаги векторий диаграммалари кўрсатилган.

Ротор чулғамидаги токдан унинг қутбларида магнитавий юритувчи куч F_0 ҳосил бўлади. F_0 векторининг айлантирилиши натижасида статорнинг чулғамларида э. ю. к. E_0 ва, демак, нагрузка токи I ҳосил бўлади. Актив-индуктив нагрузкада I вектори E_0 га нисбатан ψ бурчагига кейинда қолувчи, актив-сигим нагрузкада эса ψ бурчагига ўзувчи бўлиб, унинг қиймати $0^\circ < \psi < 90^\circ$ бўлади.

Нагрузка токидан ҳосил бўлган якорь магнит юритувчи кучи F_{α} нинг вектори ток вектори томон йўналган бўлади. Магнит юритувчи кучнинг бўйлама $F_{\alpha d}$ қисми нагрузка токи векторининг индуктив I_p , кўндаланг $F_{\alpha q}$ қисми эса нагрузка



8—12- расм. Синхрон генератордаги магнит юритувчи кучларнинг векторий диаграммалари.

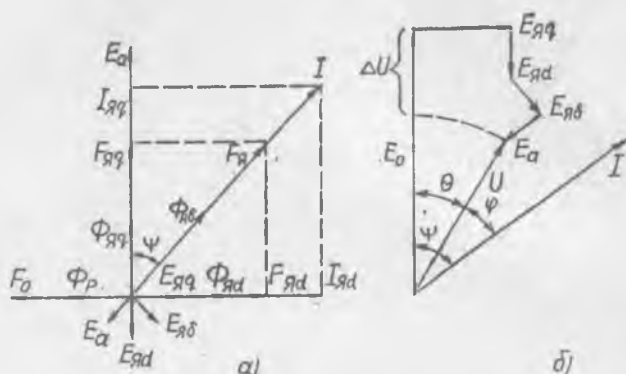
токи векторининг актив I_a қисмлари томон йўналган бўлади. Актив-индуктив характердаги нагрузкада якорь магнит юритувчи кучининг бўйлама $F_{яд}$ қисми F_0 га тескари йўналиб, генератор магнитсизлантирилса, актив-сиғим нагрузкада эса F_0 га мос йўналиб, генератор магнитлантирилади.

8—8. Синхрон генераторнинг векторий диаграммалари

Синхрон генераторнинг нагрузка режимидаги кучланиши якорь реакциясининг магнитсизлантириш таъсири ҳамда якорь чулгамидаги кучланишнинг пасайуви ҳисобига унинг салт иш режимидаги э. ю. к. E_0 дан фарқ қилади. Номинал нагрузкада кучланиш пасайиши $\Delta U_H = \frac{E_0 - U_H}{U_H} \cdot 100 \leq 30 \div 50 \%$ бўлиши лозим. Электр юритувчи кучлар тенгламасини тузиш ва унинг асосида синхрон генераторнинг векторий диаграммасини қуриш, ундан эса ΔU нинг қийматини топиш учун ҳар бир м. ю. к. ўзига тегишли Φ ни, ҳар бир Φ эса ўзига тегишли э. ю. к. ни ҳосил қилади деб фараз қилинади (ҳақиқатда эса, турли F лар таъсирида умумий Φ ҳосил бўлади). Демак, ротор чулгамидаги токдан асосий м. ю. к. F_0 , ундан асосий магнитавий оқим Φ_0 , асосий магнитавий оқимдан эса E_0 , яъни генераторнинг салт иш режимида тегишли э. ю. к. ҳосил бўлади. Генераторнинг нагрузка токи I дан эса якорнинг магнит юритувчи кучи F_a , ундан якорь ва ротор ўзаги орқали бекилувчи якорнинг асосий Φ_a ва ҳаво бўшлиғи ҳамда фақат якорь ўзаги (чулгами) орқали ёпилувчи $\Phi_{яб}$ магнитавий оқимлар ҳосил бўлади. Агар F_a ни бўйлама ва кўндаланг қисмлардан иборат дейилса, улардан тегишлича $\Phi_{яq}$ бўйлама ва $\Phi_{як}$ — кўндаланг магнитавий оқимлар, бу магнитавий оқимлардан эса тегишлича $E_{яq}$ ва $E_{як}$ э. ю. к. лар ҳосил бўлади. Шу сингари, якорнинг $\Phi_{яб}$ магнитавий оқимидан э. ю. к. $E_{яб}$ ҳосил бўлади деб, бу сунъий э. ю. к. лар қийматини қуйидаги ифодалардан аниқланади: 1) $E_{яq} = I_q \cdot x_{яq}$ — якорнинг кўндаланг магнитавий оқимидан ҳосил бўлган э. ю. к., бунда $I_q = I \cos \psi$ — якорь токининг актив қисми; $x_{яq}$ — якорь реакциясининг кўндаланг индуктив қаршилиги; 2) $E_{яд} = I_d \cdot x_{яд}$ — якорнинг бўйлама магнит оқимидан ҳосил бўлган э. ю. к., бунда $I_d = I \sin \psi$ — якорь токининг реактив қисми; $x_{яд}$ — якорь реакциясининг бўйлама индуктив қаршилиги; 3) $E_{яб} = I x_{яб}$ — якорнинг $\Phi_{яб}$ магнитавий оқимидан ҳосил бўлган э. ю. к., бунда $x_{яб}$ — якорь чулғамининг индуктив қаршилиги; 4) $E_a = I R_a$ — якорь чулғамининг актив қаршилигида кучланишнинг пасайуви, бунда R_a — якорь чулғамининг актив қаршилиги.

Демак, магнит кутблари аён бўлган синхрон генератори учун э. ю. к. лар тенгламасини қуйидагича тузиш мумкин:

$$U = \overline{E_0} + \overline{E_{яq}} + \overline{E_{яд}} + \overline{E_{яб}} + \overline{E_a}. \quad (8-11)$$



8—13- расм. Аён қутбли синхрон генераторнинг векторий диаграммалари.

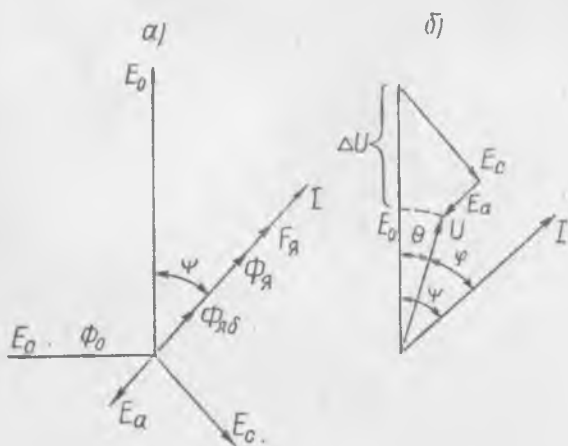
8—13- расмда актив-индуктив нагзузкали магнит қутблари аён бўлган синхрон генераторнинг, а — магнит юритувчи ва б — электр юритувчи кучларининг векторий диаграммалари кўрсатилган.

(8—11) тенгламаси асосида қурилган э. ю. к. лар векторий диаграммаси (8—13- расм, б) ни Блондель диаграммаси деб ҳам аталади. Блондель диаграммасидан фойдаланиб ΔU қийматини аниқлаш 8—13- расм, б да кўрсатилган. Симметрик нагзузкада генератор векторий диаграммасини бир фаза учун қуриш кифоя. Бунда нагзузка токи билан E_o орасидаги φ бурчаги берилган бўлади. Чулғамдаги токдан ҳосил бўлган м. ю. к. ва магнитавий оқим векторлари ток вектори томон йўналган бўлади. Магнитавий оқимдан ҳосил бўлган э. ю. к. вектори эса магнитавий оқим векторидан 90° кейинда қолувчи бўлади. Магнитавий қутблари аён бўлмаган синхрон генераторининг ротор ва статор ўртасидаги ҳаво бўшлиғи кўндаланг ва бўйлама ўқлар бўйича бир хил қийматга эга бўлгани учун $x_{aq} = x_{ad}$ бўлади. Демак, бундай генераторлар учун якорь реакцияси умумий таъсирини ҳисобга олиш, яъни F_a таъсирида Φ_a , ундан эса $E_{ax} = I x_{ax}$ ҳосил бўлади деб эътироф этиш кифоя, бунда E_{ax} — якорь магнитавий оқимининг асосий қисмидан ҳосил бўлган э. ю. к.; x_{ax} — якорь реакциясининг индуктив қаршилиғи. Φ_a ва Φ_{ad} — магнитавий оқимлар якорь чулғамидаги умумий токдан ҳосил бўлгани учун x_{ax} ва x_{ad} қаршиликларини қўшиш мумкин, яъни $x_c = x_{ax} + x_{ad}$, бунда x_c — магнит қутблари аён бўлмаган синхрон машинасининг синхрон қаршилиғи.

Демак, магнит қутблари аён бўлмаган синхрон генератори учун э. ю. к. лар тенгламасини қуйидагича тузиш мумкин:

$$\bar{U} = \bar{E}_o + \bar{E}_c + E_a, \quad (8-12)$$

бунда $E_c = I x_c$ — якорьнинг умумий магнитавий оқимидан ҳосил бўлган э. ю. к.



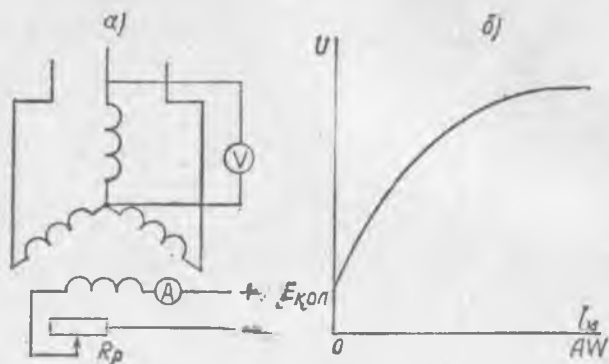
8—14- расм. Магнит қутблари аён бўлмаган синхрон генераторнинг векторий диаграммалари.

8—14- расмда актив-индуктив нагруккали магнит қутблари аён бўлмаган синхрон генераторнинг a — магнит юритувчи ва $б$ — электр юритувчи кучларнинг векторий диаграммалари кўрсатилган.

8 — 13 ва 8 — 14- расм, $б$ ларда кўрсатилган э. ю. к. векторий диаграммаларини қуриш ва ундан ΔU қийматини аниқлашда синхрон машина қутбларидаги пўлат узакнинг тўйиниши ҳисобга олинмаган. Тўйинишни ҳисобга олиб ΔU қиймати, одатда э. ю. к. ларнинг амалий деб аталувчи диаграммасидан графикавий усулда топилади. Амалий диаграммани қуриш учун салт иш ва қисқа туташиш характеристикаларидан фойдаланилади.

Синхрон генераторнинг салт иш характеристикаси $U_0 = E_0 = f(i_k)$ ни 8—15- расм, a да кўрсатилган схема асосида тажриба усули билан олинади. 8—15- расм, $б$ да салт иш характеристикаси кўрсатилган. Бунда ҳам нагрукка токи $I=0$ бўлиб, $n_r = \text{const}$ ёки $f = \text{const}$ бўлиши керак. Роторнинг қўзғатувчи чулғамига ўзгармас ток i_k берилмаган тақдирда ҳам қутблардаги қолдиқ магнетизмга биноан статор чулғамида қолдиқ э. ю. к. $E_{қол}$ ҳосил бўлади. Қўзғатиш токининг ортиб бориши билан э. ю. к. қиймати ҳам даставвал пропорционал равишда, сўнгра тўйиниш сабабли эгри чизиқ бўйича ортиб боради.

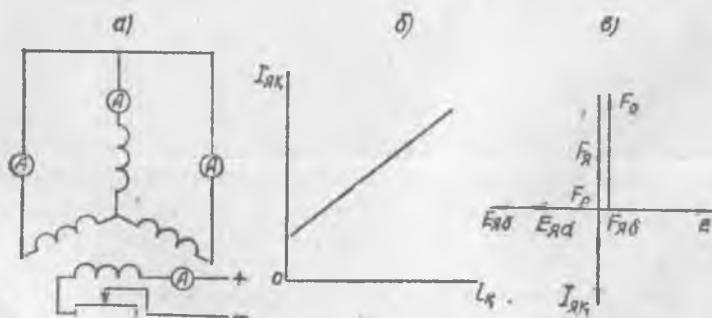
Синхрон генератори қисқа туташтирилган якорь чулғамидаги токнинг қўзғатиш токига боғланишини ифодаловчи график, яъни $I_{як} = f(i_k)$ унинг қисқа туташиш характеристикаси деб аталади. Бунда генератор тезлиги ўзгармас, кучланиши эса ноль, яъни $n_r = \text{const}$, $U_r = 0$ бўлиши керак.



8—15- расм.

а — синхрон генераторнинг салт ишлаш тажрибаси схемаси; **б** — синхрон генераторнинг салт ишлаш характеристикаси.

Қисқа туташтиш характеристикаси қисқа туташтиш тажрибаси асосида 8—16- расм, **а** да кўрсатилган схемага биноан олинади. Бунинг учун статор чулғами амперметрлар билан қисқа туташтирилган генераторни номинал тезликда айлантириб, унинг қўзғатувчи занжиридаги ток қийматини нолдан аста-секин кўпайтирилади. Қўзғатиш занжиридаги ток қийматининг аста-секин кўпайтирилишида якорь токининг кескин кўпайиши кузатилади. Бу тажриба, якорь токини ўзининг номинал қийматига эришгунга қадар қўзғатиш токини кўпайтириш йўли билан олиб борилади. 8—16- расм, **б** да синхрон генераторнинг қисқа туташтиш характеристикаси кўрсатилган. Қутблардаги қолдиқ магнетизм сабабли бу характеристика ҳам нолдан бошланмайди. Статор чулғамининг актив қаршилиги жуда кичик бўлгани учун уни ҳисобга олинмайди. Демак, қисқа туташтиш тажри-



8—16- раси. Синхрон генераторнинг пўлат ўзаги тўйингандаги:

а — қисқа туташтиш тажрибасининг схемаси; **б** — қисқа туташтиш характеристикаси
в — векторий диаграммаси.

басида, генератор нагрузкаси фақат индуктив характерга эга бўлиб, бу индуктив токдан ҳосил бўлган магнитавий оқим асосий магнитавий оқимга тескари йуналган бўлади. Натижада умумий магнитавий оқим пасайиб қутблар тўйинмаган ҳолатда бўлади. Шу сабабли қисқа туташиш характеристикаси тўғри чизиқ бўйича ўзгаради. 8—16- расм, в да қисқа туташиш тажрибасига тегишли э. ю. к. ларнинг векторий диаграммаси кўрсатилган.

Э. ю. к. ларнинг амалий диаграммасини қуришда ҳамма миқдорлар нисбий бирликда олинади. Бунда индуктив қаршиликларнинг нисбий бирликдаги қийматлари, бу қаршиликлардаги кучланиш пасайувининг фаза кучланишининг номинал қийматига бўлган нисбатидан аниқланади, яъни, масалан, $X'_{\text{аб}} = \frac{I_n X_{\text{аб}}}{U_{\text{фн}}}$ якорь чулғамининг нисбий бирликдаги индуктив қаршилиги, Ом;

$U_{\text{фн}}$ — фазавий чулғамдаги номинал кучланиш.

Генераторнинг нисбий бирликда қурилган салт иш характеристикасини унинг нормал салт иш характеристикаси дейилади. Бу характеристикани қуйидаги жадвалда келтирилган миқдорларга биноан қурилади.

№№	I_k	U_0^*
1	0,5	053 + 058
2	1	1
3	1,5	1,21 + 1,23
4	2	1,3 + 1,33
5	2,5	1,4
6	3	1,46
7	3,5	1,51

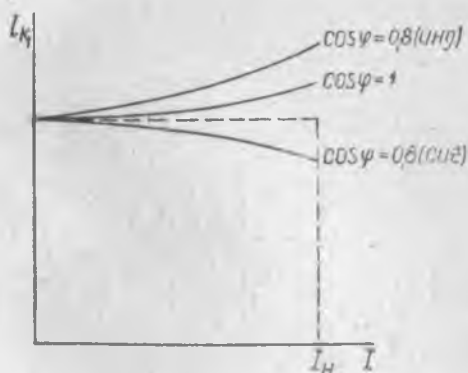
Э. ю. к. ларнинг амалий диаграммасини қуришда қутблари аён бўлган генераторнинг аён бўлмаганидан фарқи ҳисобга олинмайди, яъни F_n кўндаланг ва бўйлама ташкил этувчиларга ажратилмайди. Бу эса қутб ўзагининг тўйинишини ҳисобга олиш имконини беради. Амалий диаграмма билан генераторнинг нагрузкаси олингандаги кучланиш ўзгариши ΔU ни аниқлашда генератор номинал режимда ишлайди деб қабул қилинади. Бунда статор чулғамининг актив қаршилиги жуда кичик бўлганлиги учун уни ҳисобга олинмайди. Амалий диаграммани қуриш учун, даставвал, генераторнинг салт иш ва қисқа туташиш характеристикалари қурилади. Бу характеристикалар қурилган координата системасининг ордината ўқи бўйича $U_n = OA$ ва унга нисбатан φ_n бурчак фарқида I_n векторлари ўтказилади (8—17- расм). $X_{\text{аб}}$ қаршилигининг қиймати маълум

исса ўқига ўтказиб, салт иш характеристикасидан $E_0 = ON$ векторини аниқлаш мумкин. Демак, нагрузка олиниши билан кучланишнинг ўзгариш қиймати $\Delta U = E_0 - U_n = AN$ бўлади. Э.ю. к. ларнинг векторий ёки амалий диаграммасини қуришда керак бўлган синхрон генераторнинг индуктив қаршиликлари, одатда, берилган бўлади. Бу қаршиликлар қийматини ҳисоблаш ҳам мумкин. Бунинг учун генераторнинг салт иш, қисқа туташини ва нагрузка характеристикалари бўлиши керак.

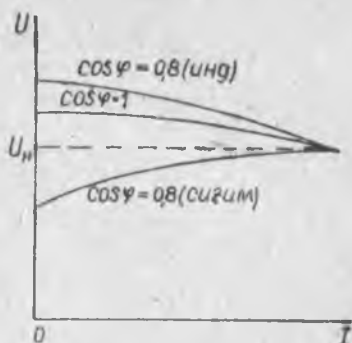
Нагрузка олиниши билан синхрон генератор кучланишининг ўзгаришини унинг ташқи характеристикасидан ҳам аниқлаш мумкин.

Синхрон генератори кучланишини нагрузка токига боғланишини ифодаловчи график, яъни $U = f(I)$ — унинг ташқи характеристикаси деб аталади. Бу характеристикани тажриба усули билан олишда i_κ , f ва $\cos \varphi$ қийматлари ўзгармас бўлиши лозим. 8—18- расмда турли характердаги нагрузкаларда синхрон генераторнинг кучланиш кўпайиши ва кучланиш пасайиши бўйича олинган ташқи характеристикалари кўрсатилган.

Бу характеристикаларга биноан $\Delta U \Rightarrow U_n - U$ ёки $\Delta U \% = \frac{U_n - U}{U_n} 100$ бўлади. ΔU қийматини ташқи характеристика тажрибасидан аниқлаш тежамсиз бўлгани учун уни, одатда юқоридаги диаграммалардан фойдаланиб аниқланади. Турли қийматдаги нагрузкаларда генератор кучланишини ўзгартирмай сақлаш учун унинг қўзгатувчи чулғаидаги ток қийматини маълум қонун бўйича ўзгартириш керак бўлади. Нагрузка токининг ўзгариши билан $U = U_n = \text{const}$ бўлишини таъминловчи $i_\kappa = f(I)$



8—19- расм. Синхрон генераторнинг ростлаш характеристикалари.



8—18- расм. Синхрон генераторининг ташқи характеристикалари.

боғланиш генераторнинг ростлаш характеристикаси дейилади. Бу характеристикани олишда $\cos \varphi$ ва $f = \text{const}$ бўлиши лозим. 8—19- расмда тур-

ли характердаги нагрузкалар учун ростлаш характеристикалари кўрсатилган.

8—1- масала. Номинал қуввати $P_n = 1500$ кВт, кучланиши $U_n = 525$ В, $E_{до} = 700$ В, $\cos \varphi_n = 0,8$, $X'_{я\delta} = 0,16$, $X'_{яq} = 0,45$, $X'_{яd} = 0,84$, $\psi = 42^\circ$, $2p = 8$ бўлган ва юлдуз схемада уланган синхрон генераторнинг векторий диаграммаси қурилсин ва ундан номинал нагрузкага тегишли генератор кучланиши аниқлансин.

Б ч и ш. Статор чулғамининг актив қаршилиги $R_a \approx 0$ бўлгани учун уни ҳисобга олинмайди. Генераторнинг номинал токи

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi_n} = \frac{1500 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 525 \cdot 0,8} = 690 \text{ А.}$$

Э. ю. к. ва кучланишнинг фазавий қийматлари

$$E_{\phi 0} = \frac{E_{до}}{\sqrt{3}} = \frac{700}{1,73} = 405 \text{ В,}$$

$$U_{\phi} = \frac{U_{нл}}{\sqrt{3}} = \frac{525}{1,73} = 304 \text{ В.}$$

Фазага тегишли индуктив қаршилиқлар

$$X_{я\delta} = \frac{X'_{я\delta} U_{\phi}}{I_n} = \frac{0,16 \cdot 304}{690} \approx 0,07 \text{ Ом,}$$

$$X_{яq} = \frac{X'_{яq} U_{\phi}}{I_n} = \frac{0,45 \cdot 304}{690} = 0,198 \text{ Ом,}$$

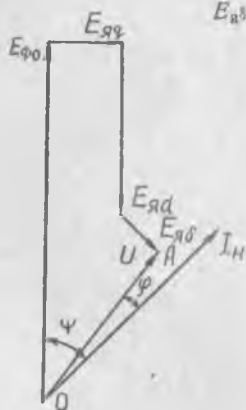
$$X_{яd} = \frac{X'_{яd} U_{\phi}}{I_n} = \frac{0,84 \cdot 304}{690} \approx 0,37 \text{ Ом.}$$

Статор токининг актив ва реактив ташкил этувчилари

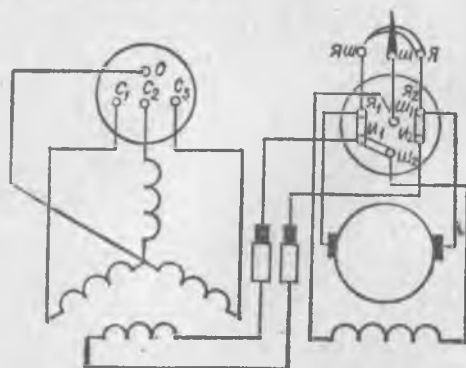
$$I_q = I_n \cdot \cos \psi = I_n \cdot \cos 42^\circ = 690 \cdot 0,74 = 510 \text{ А; } I_d = I_n \sin \psi = I_n \sin 42^\circ = 690 \cdot 0,67 = 460 \text{ А.}$$

Статордаги э. ю. к. лар

$$E_{я\delta} = I_n X_{я\delta} = 690 \cdot 0,07 \approx 48 \text{ В,}$$



8—20- расм. Синхрон генераторнинг векторий диаграммаси.



8—21- расм. Синхрон генераторнинг электрик машинавий қўзғатгич билан қўзғатилиш схемаси.

$$E_{\text{яq}} = I_{\text{q}} \cdot X_{\text{яq}} = 510 \cdot 0,198 \approx 101 \text{ В},$$

$$E_{\text{яd}} = I_{\text{d}} \cdot X_{\text{яd}} = 460 \cdot 0,37 = 170 \text{ В}.$$

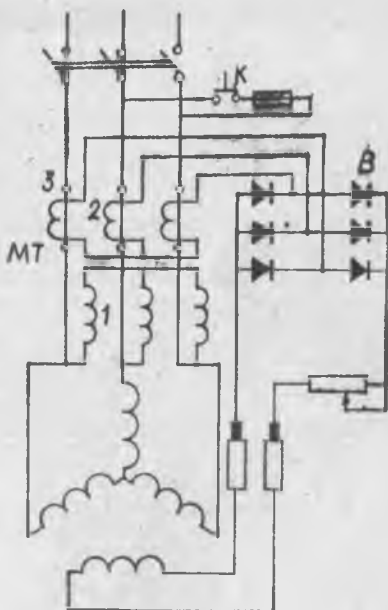
8—20- расмда ҳисобга биноан топишган параметрлар асосида генератор учун қурилган векторий диаграмма кўрсатилган. Бу диаграммани қуриш учун даставвал $E_{\text{фо}}$ ва унга нисбатан ψ бурчак фарқида $I_{\text{н}}$ векторлари ўтказилади. $E_{\text{фо}}$ дан $E_{\text{яq}}$, $E_{\text{яd}}$ ва $E_{\text{я}}$ векторларини айланиш натижасида нагрузка режимига тегишли кучланиш вектори $U_{\text{ф}} = OA$ топилади. Қабул қилинган масштабга биноан $U_{\text{ф}} = OA = 245 \text{ В}$ бўлиб, $U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\text{ф}} \approx 423 \text{ В}$ бўлади.

8—9. Синхрон генераторларнинг қўзғатиш схемалари

Синхрон генераторни қўзғатишнинг бир қанча схемалари мавжуд.

8—21- расмда синхрон генераторнинг электрик машинавий қўзғатгич билан мустақил қўзғатиш схемаси кўрсатилган. Бунда статор чулғами юлдуз схемаси билан уланиб, унинг ноль (нейтрал) нуқтаси $400 \div 230$ вольтли генераторларда ерга туташтирилган бўлади. Қўзғатгич сифатида параллел қўзғатишли ўзгармас ток генераторидан фойдаланилади. Синхрон генераторининг айланиш йўналиши ўзгартириладиган бўлса, қўзғатгичнинг қўзғатувчи чулғамидаги ток йўналишини ўзгартирмаслик учун унинг қўзғатувчи чулғамининг қисмалари ўзаро алмаштирилади (8—21- расм).

Генератор кучланишини ростлаш учун қўзғатгичнинг қўзғатувчи чулғамидаги резистор қаршилигини ўзгартириш кифоя. Электрик машинавий қўзғатгич синхрон генераторнинг валига ўрнатилиб, унинг конструкциясини мураккаблаштиради. Бу қўзғатгичда коллектор ва чўткалар бўлганлиги сабабли синхрон генераторнинг ишлашдаги ишончлилигини пасайтириб юборади. Бу камчиликларни йўқотиш мақсадида С. Б. Юдицкий синхрон генераторнинг янги конструкциясини ишлаб чиқарди. Бунда электрик машинавий қўзғатгич чала ўтказгичли тўғрилигич билан алмаштирилиб, синхрон генератор ўз-ўзини қўзғатиш принципида ишлатилади. 8—22- расмда ўз-ўзини қўзғатувчи синхрон генераторнинг схемаси кўрсатилган, бунда 1—муътадиллаштирувчи уч

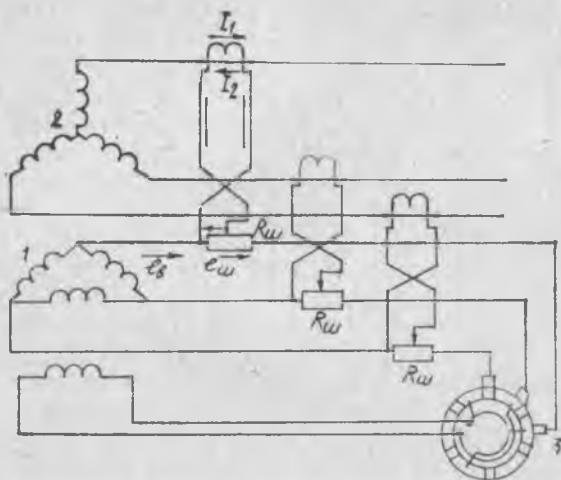


8—22- расм. Ўз-ўзини қўзғатувчи синхрон генераторнинг уланиш схемаси.

чулғамли трансформатор МТ нинг статор чулғамига параллел уланган; 3 — МТ нинг статор чулғамига кетма-кет уланган бирламчи чулғамлари ва 2 — МТ нинг иккиламчи (кучланишни пасайтириб берувчи) чулғами; генераторнинг ўз-ўзини қўзғатиш принципи салт иш режимида ўтказилиб, бунда қолдиқ магнетизмдан статор чулғамида ҳосил бўлган $E_{\text{кол}}$ таъсирида муътадиллаштирувчи трансформаторнинг 1 чулғамидан ток ўтади. Бу токдан ҳосил бўлган магнитавий оқим иккиламчи чулғамда э. ю. к. ҳосил қилади. Бу э. ю. к. вентиль (тўғрилагич) В га берилиб, ундан олинган ўзгармас токни синхрон генераторнинг қўзғатувчи чулғамига берилади ва натижада унинг кучланиши ўз-ўзидан номиналгача ортиб боради. Генераторга нагрузка берилиши билан муътадиллаштирувчи трансформаторнинг чулғами 3 дан ҳам ток ўта бошлайди. Бу чулғамдан нагрузка токининг ўтиши билан ҳосил бўлган магнитавий оқимдан фойдаланиб генератор чулғамидаги кучланишнинг пасайуви ҳамда якорь реакцияси магнитсизлантириш таъсирини мутлақо йўқотиш имкони олинади. Шундай қилиб, муътадиллаштирувчи трансформатор билан генератор кучланишининг берилган қиймати автоматик равишда ўзгартирилмай сақланиб турилади.

Ўз-ўзини қўзғатиш процессини тезлатиш учун синхрон генераторнинг ишга туширишда унинг икки фазаси кнопка К билан қисқа туташтирилади. Бунда $E_{\text{кол}}$ дан ҳосил бўлган қисқа туташиш токи МТ нинг 3 чулғамидан ўтиб унинг 2 чулғамида ҳосил буладиган э. ю. к. қийматини кўпайтиради ва, демак, генераторнинг қўзғатиш токи ҳам тезда ортиб у жадал қўзғатилади. Ўз-ўзини қўзғатиш процессининг бошланиши билан, яъни генератор кучланишининг ортиб бориши билан, К кнопкаси дарҳол ўзининг дастлабки ҳолатига қайтарилади.

Генератор кучланишини ростлаш учун қўзғатиш занжиридаги резистор қаршилигини ўзгартириш кифоя. Бундай схемада нагрузка ўзгариши билан генератор кучланишини берилганга нисбатан ўзгариши 5 % дан кўп бўлмайди. Қуввати $30 \div 50$ кВА дан ортиқ бўлмаган синхрон генераторларни механикавий тўғрилагичлар билан ҳам қўзғатиш мумкин. Механикавий тўғрилагичнинг ишлаш принципи ўзгармас ток машинаси коллекторининг ишлаш принциpidан деярли фарқ қилмайди. Бунда генератор статорининг ўзагига асосий чулғам 1 дан ташқари ёрдамчи қўзғатувчи чулғам 2 ҳам ўрнатилади (8—23- расм). Ёрдамчи чулғамда ҳосил бўлган э. ю. к. механикавий тўғрилагичга берилади. Бу чулғам учбурчаклик схемасида уляниб, унинг ҳар бир фазаси $5 \div 8$ ўрамдан иборат бўлади. Механикавий тўғрилагич эса, 12 қисмга бўлинган контактли мис ҳалқадан иборат бўлиб, ротор валига ўрнатилган бу ҳалқа қисмларининг олтитаси иш, қолгани ёрдамчи қисм ҳисобланади. Жуфт тартиб номерли иш қисмларни ўзаро бириктириб уларни ротордаги қўзғатиш чулғамининг бир учига уланса, тоқ номерликлари эса унинг иккинчи учига уланади (8—23- расм).



8—23- расм. Механикавий тўғрилагич билан қўзғатиловчи СГТ типли синхрон генераторнинг уланиш схемаси.

Ёрдамчи чулғамда ҳосил бўлган э. ю. к. лар механикавий тўғрилагичга чўткалар воситасида берилди. Чўткалар бир-биридан 120 электрик градусига сурилган бўлиб, уларнинг сони жуфт қутблар сонидан уч марта кўп бўлади. Механикавий тўғрилагичдаги мис ҳалқа ёрдамчи қисмининг кенглиги чўтка кенглигидан бир оз катта қилинади. Бунда чўтка ҳалқанинг бир иш қисмидан иккинчисига ўтишида уларни ўзаро қисқа туташтирмайди.

8—23- расмда механикавий тўғрилагич билан қўзғатиловчи СГТ типли синхрон генераторнинг уланиш схемаси кўрсатилган. Бунда нагрузка ўзгариши билан генератор кучланишини автоматик равишда ростлаб туриш учун компаундлаш қўрилмасидан фойдаланилган. Компаундлаш қўрилмаси учта ток трансформатори ва учта 1 Ом ли шунт қаршилигидан иборат бўлиб, улар бошқарувчи панель шчитига ўрнатилади. Компаундлаш даражасини, яъни нагрузканинг ўзгаришида берилган кучланиш қийматини ўзгартирмай сақлаб қолиш даражасини шунт қаршилиги R_w ни ўзгартириш билан ростлаш мумкин. Ҳозирги пайтда ЕС-91-4С ва ЕС-83-6С типли ва (50 ва 30 кВт ли) механикавий тўғрилагич билан қўзғатиловчи синхрон генераторлар ўзлаштирилган. Бунда ток трансформаторининг иккиламчи чулғами зигзаг схемасида уланади. Бунинг натижасида эса, симметрик бўлмаган нагрузка билан ишлашда генератор кучланишини муътадиллаштириш шаронти яхшиланади.

8—10. Синхрон генераторларнинг параллел ишлаши

Электр станцияларида, одатда, бир неча генераторлар ўрнатилади. Бу генераторлар ўз энергияларини умумий шинага узатиб, ўзаро параллел ишлайди. Нагрузка талабига биноан параллел ишловчи генераторларнинг сони ўзгариб туради ва натижада ҳар бир генераторни тула қувват билан ишлатиш имкони олинади. Бундан ташқари, электр станциялари ҳам ўз энергияларини битта умумий энергетик системага бериб, ўзаро параллел ишлашга уланади.

Бунда электр станцияларнинг фойдали иш коэффициенти анча юқори бўлиб, уларда ўрнатилган машина ва ускуналардан яхшироқ фойдаланилади ва ҳар эҳтимолдан асраш (эҳтиётлаш) учун керак бўлган генераторлар сони камайдди. КПСС Программасида СССРдаги энг йирик электр станцияларини яқин келажакда битта энергетик системага бирлаштириш кўзда тутилади.

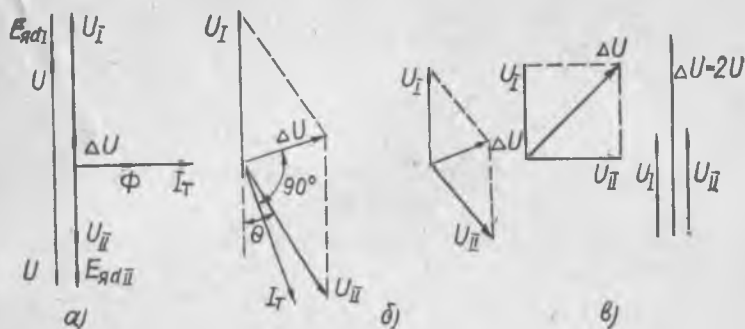
Синхрон генераторларни параллел ишлашга улаш учун қуйидаги шартларга риоя қилиш керак:

1) ишлаб турган ва параллел ишга уланувчи генератор кучланишларининг қиймати ўзаро тенг, яъни $U_1 = U_{II}$, фазалари эса 180° га фарқ қилиши лозим;

2) генераторлар частотаси ўзаро тенг, яъни $f_1 = f_{II}$ ва уларнинг фазалари бир хил кетма-кетликка эга, яъни $A_1 B_1 C_1$ ва $A_2 B_2 C_2$ бўлиши лозим.

Агар $U_1 > U_{II}$ бўлиб, бошқа шартлар бажарилган бўлса, у ҳолда генератор чулғамларида потенциал фарқи ΔU пайдо бўлганлиги сабабли тенглаштирувчи I_T токи ҳосил бўлади (8—24- расм, а). Бунда чулғамнинг актив қаршилиги жуда кичик қийматга эгаллиги учун уни ҳисобга олинмайди. Шу сабабли I_T токини ΔU векторидан 90° га кейинда қолувчи деб қабул қилинади. Бунда тенглаштирувчи ток иккала генератор учун ҳам реактив ток бўлиб, кучланиши катта генераторда I_T — индуктив, кучланиши кичикда эса, I_T — сиғим характерида бўлади. Тенглаштирувчи токдан Φ_{ad} , ундан эса E_{ad1} ҳосил бўлиб, кучланиши ортиқ бўлган биринчи генераторнинг U_1 кучланиши U гача камайдди. Иккинчи генераторда эса, I_T сиғим токи бўлиб, ундан генераторни магнитлантирувчи якорь реакцияси, сўнгра E_{adII} ҳосил бўлади ва натижада генераторнинг U_2 кучланиши U гача кўпаяди. Тенглаштирувчи ток I_T туфайли генератор чулғамларидан номинал нагрузка токини ўтказиш имкони бўлмай, натижада улар қувватидан тула фойдаланилмайди. Аймо, тенглаштирувчи ток реактив бўлгани учун ундан генераторларни айлантирувчи бирламчи мотор моментига тесқари бўлган момент ҳосил бўлмайди.

8—24- расм, а да кучланишлари ўзаро тенг бўлмаган, яъни



8—24- расм. Параллел ишлашга уланган генераторларнинг векторий диаграммалари:

а — кучланишлари ўзаро тенг бўлмаган, яъни $U_I > U_{II}$ бўлгандаги; б — кучланишлари бир-бирига нисбатан 180° бурчакдан кичикроқ бурчакка фарқ қилгандаги; в — частоталари ўзаро тенг бўлмаган, яъни $f_I \neq f_{II}$ бўлгандаги векторий диаграммалар.

$U_I > U_{II}$ бўлган генераторларнинг параллел ишлашидаги векторий диаграммаси кўрсатилган.

Агар генератор кучланишлари фаза бўйича 180° дан кичикроқ бурчакка фарқ қилса, у ҳолда ҳам ΔU сабабли генератор чулғамларидан тенглаштирувчи I_T токи ўтади (8—24- расм, б). Бу ток ҳам ΔU фазасига нисбатан 90° га кейинда қолувчи бўлади. Агар тенглаштирувчи ток вектори деярли U_{II} вектори томон йўналган бўлса, I_T токи иккинчи генераторга актив ток ҳисобланади. Иккинчи генератор чулғамида I_T токи пайдо бўлиши билан у шу онда нагрузка олади ва натижада генератор роторини айлантирувчи бирламчи мотор валида унинг моменти тескари бўлган момент ҳосил бўлади. Тенглаштирувчи ток биринчи генератор чулғамидан ўтиши билан генератор роторининг айланиши томон йўналган электромагнитавий момент ҳосил бўлади. Биринчи генератор ротори ўзининг айланиши томон, иккинчисиники эса, ўзининг айланишига тескари томон бўйича маълум бурчакларга бурилади ва натижада θ бурчаги нолга, U_I ва U_{II} кучланиш фазаларининг фарқи эса 180° га тенг бўлиб қолади.

Генератор кучланишларининг фазалари 180° га нисбатан каттароқ бурчак θ га фарқ қилса, у ҳолда параллел ишлашга улаишда ҳосил бўлувчи кескин механикавий кучлар сабабли генератор ва бирламчи моторлар ишдан чиқиши мумкин. 8—24- расм, б да U_I ва U_{II} кучланишлар фазасининг фарқи 180° га тенг бўлмаган ҳолга тегишли векторий диаграмма кўрсатилган. Агар параллел ишлашга уланувчи генераторларнинг частотаси ўзаро тенг бўлмаса, у ҳолда юқоридаги сингари ҳодиса содир бўлади. Бунда ΔU ва θ қиймати узлуксиз равишда,

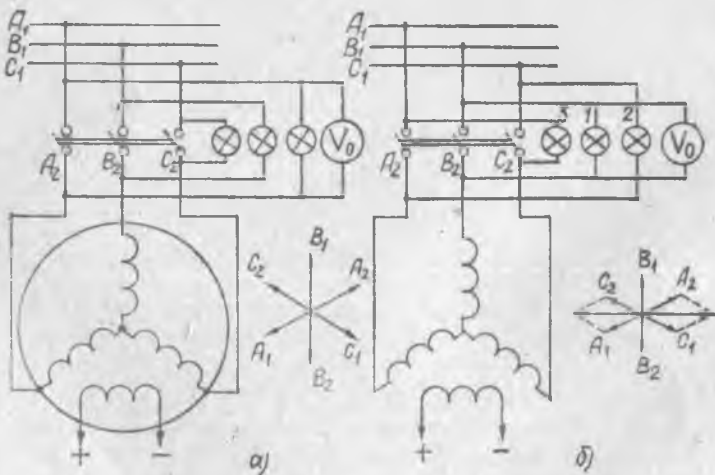
яъни ΔU қиймати нолдан то $2 U_{\phi}$ гача, θ эса нолдан то 180° гача ўзгариб туради (8—24- расм, в).

8—24- расм, в да f_1 ва f_2 частоталари тенг бўлмаган ҳолга тегишли кучланишларнинг векторий диаграммаси кўрсатилган.

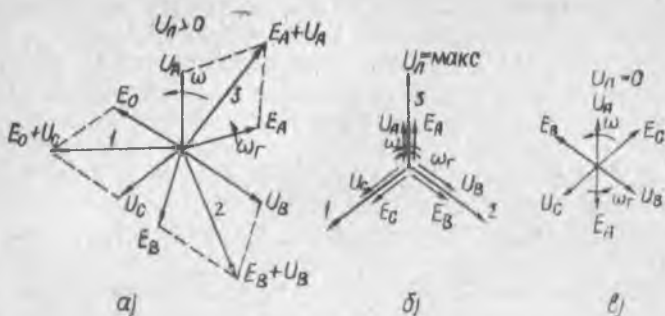
8—11. Синхрон генераторларни параллел ишлашга улаш усуллари

Генераторни икки хил, яъни аниқ синхронизациялаш ва ўз-ўзини синхронизациялаш усулларида электр тармоғидаги генераторлар билан параллел ишлашга улаш мумкин. Аниқ синхронизациялаш усулида генераторни даставвал параллел ишлаш шартларига риоя қилинган, яъни синхронлаштирилган ҳолатга келтирилади. Генераторларнинг бу ҳолати синхроноскоп деб аталувчи асбоб билан аниқланади. Синхроноскоплар стрелкали асбоблар сингарни тузилишда ёки чўғланиш лампаларидан иборат бўлиши мумкин. 8—25- расмда лампали синхроноскопнинг а — ёруғликнинг учини ва б — ёруғликнинг айланишига асосланган уланиш схемалари кўрсатилган.

Агар генератордаги э. ю. к. E_A , E_B ва E_C векторларининг айланиш частотаси ω_r электр тармоғидаги кучланиш U_A , U_B ва U_C векторларининг айланиш частотаси ω дан фарқ қилса, масалан, $\omega_r > \omega$ бўлса, у ҳолда умумий векторнинг қиймати, маълум бир моментда $\vec{E}_A + \vec{U}_A > 0$ бўлиб, бу кучланишнинг таъсирида синхроноскопнинг лампалари ёнади (8—26- расм, а). Бошқа бир дақиқада эса бу векторлар бир томонга мос равишда айланиб умумий векторнинг қиймати $\vec{U}_A +$



8—25- расм. Лампали синхроноскопнинг уланиш схемалари.

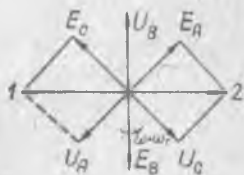


8—26- расм. Ёруғликнинг учишига асосланган синхронизациялашдаги кучланишларнинг векторий диаграммалари.

$+\bar{E}_A = 2\bar{U}_A = 2\bar{E}_A$ бўлади. Бунда чўғланиш лампаларига $2 \cdot U_\phi$ кучланиши берилади (8—26- расм, б). Демак, ҳар бир лампа $2U_\phi$ кучланишига ҳисобланган бўлиши керак. Яна бир дақиқада $\bar{E}_A + \bar{U}_A = 0$, $\bar{E}_B + \bar{U}_B = 0$ ва $\bar{E}_C + \bar{U}_C = 0$ бўлади (8—26- расм, в). Бунда учта лампа бир вақтда ўчади. Агар учала лампа бир вақтда ўчмаса, у ҳолда фазалар кетма-кетлиги турлича бўлади. Бунда бир хил кетма-кетликка эга бўлиш учун электр тармоғидан келувчи икки фаза учларини ўзаро алмаштириш kifoya. ω_c билан ω нинг фарқи катта бўлса, у ҳолда лампалар тез ёниб-ўчиб туради. Генераторни айлантирувчи мотор частотасини ўзгартириш билан $\omega_c = \omega$ ва, демак, $f_c = f$ қилиб, лампаларнинг узоқ вақтгача ўчиб туриши таъминланади ва бу синхронлаштирилган дақиқада генераторни электр тармоғи билан параллел ишлашга уланади.

Аниқ синхронизациялаш усули билан генераторни параллел ишлашга улаш, одатда, ёруғликнинг айланиш схемаси асосида ўтказилади. 8—27- расмда ёруғликнинг айланишига асосланган синхронизациялашдаги кучланишларнинг векторий диаграммаси кўрсатилган.

Бунда лампалардан бири генератор ва электр тармоғининг бир хил фаза учларига уланиб, қолган икkitаси турли фазаларга уланади. Бир хил фаза учларига уланган лампага параллел қилиб вольтметр уланади. Агар $\omega_c \neq \omega$, яъни $f \neq f$ бўлса, лампалар навбатма-навбат ўчиб-ёниб туради. Лампалар бу схемада тенг томонли учбурчакликнинг учларига ўрнатилгани сабабли ёруғликнинг айланиши содир бўлади. Бунда агар уланувчи генератор ишлаб турганга нисбатан кўп-



8—27- расм. Ёруғликнинг айланишига асосланган синхронизациялашдаги кучланишларнинг векторий диаграммаси.

роқ частота билан айланаётган бўлса, у ҳолда ёруғлик соат стрелкаси томон, пастроқ тезликда эса, ёруғлик соат стрелкасининг тескари томонига айланади. Демак, ёруғликнинг айланиш принципига асосланиб тузилган синхронизация схемасида уланувчи генератор частотасини кўпайтириш ёки камайитириш зарурияти аниқ белгиланади. Бу эса схеманинг асосий афзаллигидир.

Айланаётган ёруғликнинг тўхташи, бир хил фаза учларига уланган лампанинг ўчиши ва вольтметрнинг ноль белгисини кўрсатиши биланоқ генератор электр тармоғига параллел ишлашга уланади.

Аниқ синхронизациялаш усулида генераторни тезда параллел ишлашга улаш мумкин эмас. Бу эса унинг асосий камчилигидир. Кейинги пайтларда генераторларни ўз-ўзини синхронизациялаш усули билан параллел ишлашга улаш кенг қўлланилмоқда. Бунда параллел ишлашга уланувчи генератор частотаси ва кучланиши ишлаб турган генераторникдан анчагина фарқ қилса ҳам, уни тезда параллел иш режимига ўтказиш мумкин. Бу усулга биноан қўзғатилмаган ҳолатдаги генераторни бирламчи мотор билан номиналга нисбатан $2 \div 5\%$ га фарқланувчи частота билан айлантирилиб, ишлаб турган биринчи генераторга параллел уланади. Генераторни параллел ишлашга улашдан сўнг, шу оннинг ўзида унинг қўзғатувчи чулғамига ток берилади ва натижада бир, икки секунд ўтиши билан генератор ўз-ўзидан синхронизмга тортилади. Генераторни параллел ишлашга улаш пайтида унинг қўзғатиш чулғами разряд қаршилиги ёки салт иш режимида айланаётган қўзғатгич якориға туташтирилиши лозим. Параллел ишлашга улаш пайтида генератор токи номиналга нисбатан бир неча марта ортиб кетади, аммо қисқа вақт ичида бу ҳодисанинг тугаши сабабли унинг генераторга хавфи айтарлик бўлмайди. Параллел ишлашга уланувчи генератор частотаси тахометр ёки стробоскопик усули билан аниқланади. Қўзғатилган ва қўзғатилмаган генераторлар частотаси кўпинча частота релеси билан аниқланади.

Ўз-ўзини синхронизациялашда генераторни параллел ишлашга улашдан олдин унинг фазалар кетма-кетлигини ишлаб турганникига мослаш лозим. Бунинг учун фаза кўрсаткич асбобдан фойдаланилади. Ўз-ўзини синхронизациялаш усули ноаниқ бўлса ҳам, аммо генераторларни параллел ишлашга улаш тез-тез қайтарилиб туриладиган станция ва системаларда ундан фойдаланиш жуда ҳам қулайлик туғдиради. Бу усулда синхронлаштириш процессини автоматик бошқаришга нисбатан осон ўтказиш мумкин. Одатда, электр тармоғи билан параллел ишлашга уланувчи генератор қуввати тармоқдаги қувватнинг кичик бир қисмини ташкил этади. Шу сабабли генератор параметрларининг турли қийматлар билан ўзгаришида ҳам электр тармоғидаги кучланиш ва унинг частотаси ўзгармас қийматда қолаверади. Синхронлаштириш шартларига риоя қилиниб, па-

раллел ишлашга уланган генератордаги э. ю. к. E_0 нинг қиймати электр тармоғидаги кучланиш U_T га тенг, унинг йўналиши эса кучланишга тескари бўлади. Бунда генератор чулғамидан ток ўтмай, у нагрукасиз ишлайди. Бирламчи моторнинг айлантурувчи моменти кўпайтирилса, генератор роторининг дастлабкига ва, демак, E_0 нинг U_T га нисбатан ҳолатлари θ бурчагига ўзгариб қолади.

E_0 билан U_T векторларининг геометрик йиғиндисидан ҳосил бўлган ΔE вектори таъсирида генератор чулғамидан I_T токи ўта бошлайди. Статор чулғамининг актив қаршилиги ҳисобга олинмаса, I_T токи ΔE дан 90° га кейинда қолувчи бўлади. Бунда генератордан электр тармоғига бериладиган актив қувват $P_2 = m_1 U_T I_T \cos \varphi_T$ бўлиб, электр тармоғидаги кучланиш генератор кучланиши U_T билан мувозанатда бўлади.

Генератор статоридаги I_T токи билан ротор магнитавий оқимининг ўзаро таъсири натижасида электромагнитавий момент ҳосил бўлади. Бу электромагнитавий момент генераторнинг айлантурувчи моментига тескари йўналади. Шу сабабли статор чулғамидан I_T токи ўтиши билан электр тармоғига уланган нагруканинг бир қисми генераторга ўтади. Бунда генераторга электр нагрукаси берилса, уни айлантурувчи бирламчи моторга эса, механикавий нагрука берилади.

Шунга биноан бирламчи моторнинг механикавий қуввати қуйидагича бўлади:

$$P_1 = P_0 + P_{эм},$$

бунда $P_0 = P_{мех} + P_n + P_{қўз}$ — генераторнинг салт иш режимидаги қувват исрофи;

$P_{мех}$ — генератордаги механикавий ишқаланишларга сарфланадиган қувват исрофи;

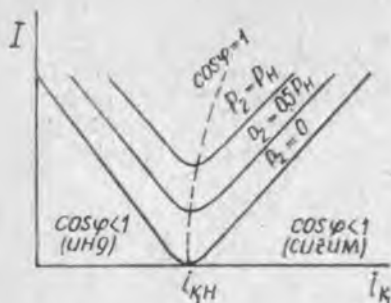
$P_{қўз}$ — генераторни қўзғатишга сарфланадиган қувват исрофи;

$P_{эм}$ — генераторнинг электромагнитавий қуввати.

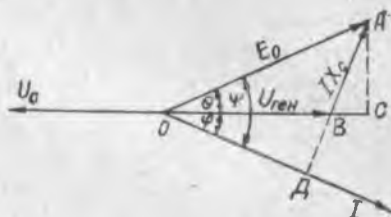
Демак, параллел ишлашга уланган генератордан олинувчи актив қувват $P_T = P_{эм} - m_1 I_1^2 R_1$ ни ростлаш учун бирламчи мотор қуввати P_1 ни ўзгартириш кифоя.

Кучланиш ва частотаси ўзгармас бўлган электр тармоғи билан параллел ишлашга уланган генераторнинг тармоққа бериладиган актив қуввати ўзгармас бўлса, у ҳолда статордаги токнинг ротор қўзғатиш чулғамидаги токка боғланиши U -симон эгри чизиқ билан ифодаланади (8—28-расм).

8—28-расмда синхрон генераторининг $P_2 = 0$; $P_2 = 0,5 P_n$ ва $P_2 = P_n$ га тегишли U -симон эгри чизиқлари кўрсатилган. Агар қўзғатиш токи 8—28-расмда кўрсатилган пунктир чизиқ бўйича ўзгартирилса, статор чулғамидаги ток ўзининг минимал, яъни $I_{мин} = I_T \cos \varphi$ га тенг бўлган актив қисмигагина эга бўлади. Бунда синхрон генератори $\cos \varphi = 1$ билан ишлайди.



8—28- расм. Синхрон генераторининг U -симон диаграммаси.



8—29- расм. Синхрон генератордан олинадиган электромагнитавий қувватни аниқлашга доир диаграмма.

Маълумки, нагрузканинг ортиб бориши билан генератор кучланиши пасайиб боради. Бунда генератор кучланишини бир хил қийматда сақлаш учун унинг қўзғатиш токини пунктир чизик бўйича қўпайтириш даркор. Агар генераторнинг қўзғатиш токи $i_k > i_{кн}$ бўлса, у ҳолда статордаги ток электр тармоғидаги кучланишга нисбатан узувчи бўлади, $i_k < i_{кн}$ да эса кейинда қолувчи бўлади. Шундай қилиб, қўзғатиш токининг ўзгаришида генератор қувватининг фақат реактив қисмигина ўзгаради. Электр тармоғи билан параллел ишлашга уланган генератордан олинадиган актив қувват P_2 нинг ифодасини аниқлаш учун 8—29- расмдан фойдаланилади. Бунда синхрон генератори аён бўлмаган қутбли деб қабул қилинади. Электротехника курсидан маълумки, уч фазали синхрон генераторидан олинадиган электромагнитавий қувват қуйидагича ифодаланади:

$$P_{эм} = 3U_r I \cos \varphi \text{ [Вт]}, \quad (8-13)$$

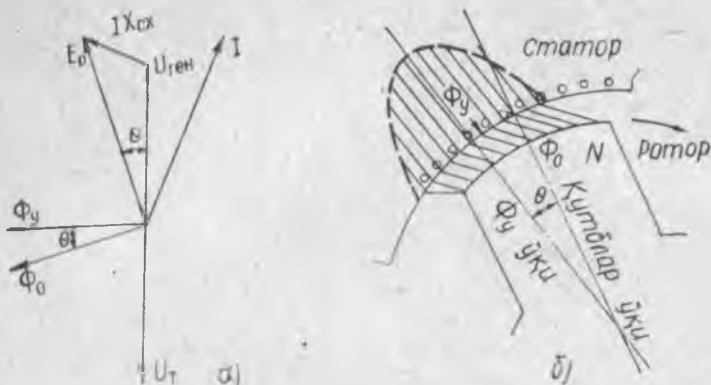
8—29- расмдаги диаграммага биноан эса:

$$P_{эм} = 3E_0 I \cos \psi \text{ [Вт]}. \quad (8-14)$$

$U_r \cos \varphi = E_0 \cos \psi$ бўлгани учун $AC = AB \cos \varphi = I X_c \cos \varphi = E_0 \sin \theta$, $\cos \varphi = \frac{AC}{AB} = \frac{E_0 \sin \theta}{I X_c}$ бўлгани учун эса, $P_{эм} = 3U_r I \frac{E_0 \sin \theta}{I X_c}$ бўлади. Шунга биноан, генератордан электр тармоғига берилувчи қувват қуйидагича ифодаланади:

$$P_{эм} = 3U_r E_0 \frac{\sin \theta}{X_c}. \quad (8-15)$$

Демак, $P_{эм}$ қиймати θ бурчагининг синусига пропорционалдир. Агар векторий диаграммада E_0 ва U_r векторлари орасидаги бурчак θ билан ифодаланса, генераторда эса, θ бурчаги орқали қутб ўқи билан машинада ҳосил бўлган умумий магнитавий

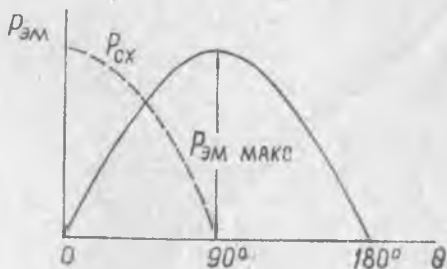


8—30- расм. θ бурчаги тушунчасига тегишли расмлар.

оқимнинг ўқи орасидаги бурчак ифодаланади (8—30- расм, а, б). θ бурчагини катталаштириш учун бирламчи мотор билан роторнинг тезланишини ўзгартириш кифоя. Бунинг учун бирламчи моторга бериладиган ёқилги ёхуд турбинага бериладиган буғ ёки сувни купайтириш зарур.

Синхрон генераторнинг электромагнитавий $P_{эм}$ ёки электр тармоғига бериладиган P_c қувватининг θ бурчагига боғланишини ифодаловчи график унинг бурчагий характеристикаси деб аталади. 8—31- расмда синхрон машинанинг бурчагий характеристикаси кўрсатилган.

(8—15) пфодага биноан генераторнинг электр тармоғига берадиган актив қуввати θ нинг 90° гача ортиб боришида ортади, $\theta > 90^\circ$ бўлиши билан эса камая бошлайди. θ бурчагининг 90° га яқинлашиши билан генераторнинг параллел ишлашдаги турғунлиги камайиб боради ва $\theta = 90^\circ$ булганда генератор синхронизмдан тушиб қолади. Шунга кўра, синхрон генераторларни номинал қувват билан ишлатишда улардаги θ бурчаги $15 \div 25^\circ$ га тенг бўлади. Қишлоқ электр станцияларида параллел ишлашга уланадиган генератор қуввати электр тармоғидаги қувватга яқин бўлиши мумкин. Бунда бир генератордаги қувватни иккинчисига утказиш учун биринчи генераторни айлантирувчи мотор қувватини камайитириш, иккинчисиникини эса купайтириш лозим. Бунда уларнинг кучланишлари ўзгармаслиги учун қўзғатиш тоқлари ўз-



8—31- расм. Синхрон машинанинг бурчагий характеристикаси.

гартирилади. Агар биринчи генератор қўзғатиш токини қўпайтириб, иккинчисиникини камайтирилса, реактив қувватнинг тақсимланиши узгариб, биринчи генератор паст, иккинчиси юқори $\cos \varphi$ билан ишлай бошлайди. Бунда биринчи генераторда ҳосил бўлган реактив қувват электр тармоғидан ташқари, иккинчи генераторга ҳам берилиши мумкин.

IX боб

СИНХРОН МОТОРЛАР

9—1. Синхрон моторнинг ишлаш принципи

Ўзгармас ток машинаси сингари синхрон машина ҳам генератор, ҳам мотор режимида ишлайди. Синхрон моторнинг конструкцияси генераторникидан фарқ қилмайди.

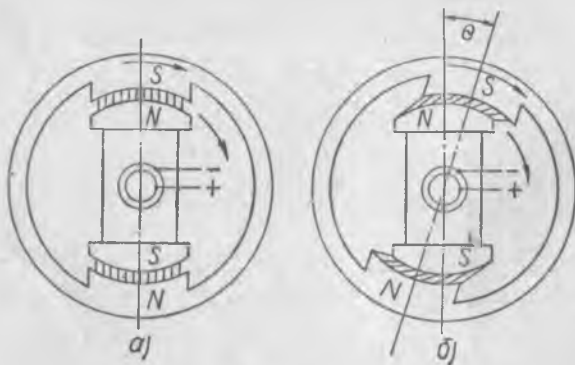
Синхрон машинани мотор режимида ишлатиш учун унинг статор чулғамига уч фазали, ротор чулғамига эса ўзгармас ток берилади. Статор чулғамига берилган уч фазали токдан айланувчи магнитавий майдон ҳосил бўлиб, унинг тезлиги қуйидагича бўлади:

$$n = \frac{60 f}{p}, \quad \frac{\text{айл.}}{\text{мин.}}$$

бунда f — ўзгарувчан токнинг частотаси;

p — статор чулғамига берилган токдан ҳосил бўлган магнитавий майдоннинг жуфт қутблар сони.

Статордаги айланувчи магнитавий майдон билан ротордаги токнинг ўзаро таъсири натижасида электромагнитавий момент ҳосил бўлади. Электромагнитавий моментнинг таъсирида мотор ротори статордаги айланувчи магнитавий майдон йўнали-



9—1- расм. Синхрон моторнинг ишлаш принципи:

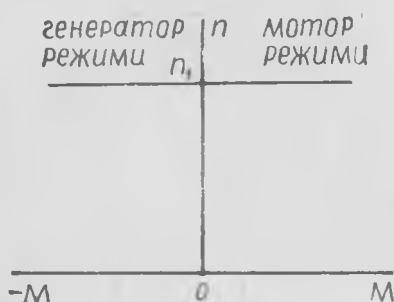
а — салт иш; б — нагрузка режими.

шида айлана бошлайди. Статордаги айланувчи магнитавий майдон N ёки S қутби ротор магнитавий майдонидаги уларга тесқари бўлган қутблари билан эластик занжир сингари боғланишга эгаллиги сабабли роторнинг айланиш частотаси ҳам $n = \frac{60f}{p}$ бўлади. Роторнинг статордаги айланувчи магнитавий майдон частотасига тенг бўлган айланиш частотаси синхрон частота деб, бундай мотор эса синхрон мотор деб аталади. Синхрон моторнинг салт иш режимида унинг статор ва ротор магнитавий майдонларининг ўқлари орасидаги бурчак $\theta = 0$, нагрузка режимида эса $\theta > 0$ бўлади (9 — 1- расм, а, б). Мотор нагрузкасининг ортиб бориши билан θ нинг қиймати ҳам ортиб боради. Аммо нагрузканинг номинал ва ундан бир оз катта қийматгача ўзгаришида ҳам моторнинг частотаси ўзгармас синхрон қийматга эга бўлиб қолаверади.

Агар нагрузка ҳаддан ташқари катта бўлса, у ҳолда $\theta > 90^\circ$ бўлиб, эластик боғланиш гўё узилади ва мотор синхронлаштирилган режимда ишлай олмай, унинг частотаси синхрон қийматдан пасая бошлайди. Бундай режимда моторни ишла-тиш мумкин эмас.

9 — 2. Синхрон моторнинг механикавий ва бурчагий характеристикалари

Айлантирувчи моментнинг ўзгариши билан $n = \frac{60f}{p} = \text{const}$ бўлгани туфайли синхрон моторнинг механикавий характеристикаси абсцисса ўқига параллел бўлган тўғри чизиқ билан ифодаланади, яъни унинг частотаси нагрузкага боғлиқ бўлмайди (9 — 2- расм). Синхрон моторларининг ротори билан статори орасидаги ҳаво бўшлиғи асинхрон моторларникига нисбатан каттароқ бўлиши сабабли синхрон моторлар анча ишончлироқ тузилишда бўлади. Синхрон моторларнинг яна бир афзаллиги шундаки, улар номинал режимида $\cos \varphi = 1$ ёки ўзувчи $\cos \varphi = 0,8$ билан ишлай олади. Натижада, синхрон мотор уланган электр тармоғидаги қувват коэффициентининг қиймати юқорилашади. Ҳақиқатан, синхрон мотори қувват коэффициентининг қиймати нагрузкадан ташқари, ротордаги қўзғатиш чулғамига бериладиган ўзгармас ток I_k га ҳам боғлиқ бўлади. Агар ротор чулғамига бериладиган қўзғатиш токи кўпайтирилиб борилса, статор чулғамига электр тармоғидан ўтаётган ток I ўзининг магнитловчи қисмининг камайиши ҳисобига U -симон эгри чизиқ бўйича ўзгариб боради (8 — 29- расм). Демак, I_k нинг маълум бир $I_{kн}$ қийматида статорга берилаётган токнинг магнитловчи қисми нолга тенг бўлиб, моторнинг қувват коэффициенти $\cos \varphi = 1$ га тенг бўлади. Агар қўзғатиш токи I_k ни $I_{kн}$ га нисбатан кўпайтирилса, у ҳолда синхрон мотор ўзи уланган электр тармоғига реактив энергия узатиб ишлай бошлайди.



9—2. расм. Синхрон моторнинг механикавий характеристикаси.

насос ва шу кабиларда синхрон моторлардан фойдаланиш қулайроқ бўлади.

Синхрон моторнинг бурчагий характеристикаси. 9 — 2-расмда келтирилган характеристика ноаниқ бўлганлиги учун ундан кам фойдаланилади. Ҳақиқатан, $n = f(M)$ характеристикасига биноан нагруканинг ўзгариши билан айлантирувчи моментнинг ўзгариш чегараси номаълумдир. Шу сабабли, купинча бурчагий характеристикадан фойдаланилади. Моторнинг айлантирувчи моментининг θ бурчакка боғланишини ифодаловчи $M = f(\theta)$ эгри чизик синхрон моторнинг бурчагий характеристикаси деб аталади. Бу характеристика тенгламасини топиш учун синхрон машинанинг (8 — 15) ифодада кўрсатилган электромагнитавий қувватдан фойдаланилади. Бунинг учун (8 — 15) ни ω_0 га бўлиш кифоя, яъни

$$M_{эм} = \frac{P_{эм}}{\omega_0} = \frac{3UE \sin \theta}{\omega_0 X_c} = M_{\max} \sin \theta, \quad (9-1)$$

бунда $M_{\max} = \frac{3UE}{\omega_0 X_c}$ — айлантирувчи моментнинг максимал қиймати;

U — электр тармоғидан статор чулғамига берилган фаза кучланиши;

E — ротордаги ўзгармас магнитавий майдоннинг статор чулғами билан кесилишидан ҳосил бўлган э. ю. к. Бу э. ю. к. қиймати тахминан $\bar{U} = (-E)$ бўлади.

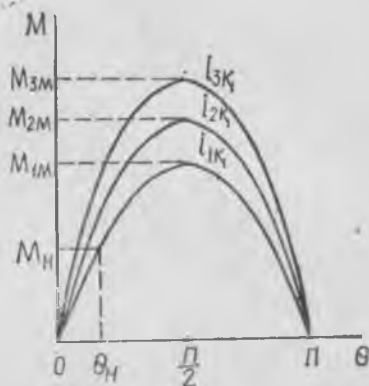
$\omega_0 = \frac{\pi n}{30}$ — роторнинг айланиш бурчагий частотаси;

X_c — қутблари аён бўлмаган синхрон машинанинг синхрон қаршилиги.

9 — 3-расмда синхрон моторнинг турли $I_{k1} < I_{k2} < I_{k3}$ қўзғатиш токлари ва уларга тегишли $E_1 < E_2 < E_3$ э. ю. к. лари-

га биноан (9 — 1) ифода асосида қурилган бурчагий характеристикалари кўрсатилган.

Бу характеристикаларнинг $\theta = 0 + 90^\circ$ гача бўлаги уларнинг турғун, $\theta = 90 + 180^\circ$ гача бўлаги эса уларнинг беқарор қисми дейилади. Характеристиканинг турғун қисмида моторнинг нагрузкаси купайиши билан θ бурчагининг қиймати ортиб боради. Бунда моторнинг айлантирувчи моменти ҳам, яъни қаршилиқ моментига тенглашгунга қадар ўз-ўзидан ортиб боради. Қаршилиқ моменти айлантирувчи моментнинг максимал қийматидан бир оз ортishi билан $\theta > 90^\circ$ бўлиб, синхрон моторнинг айлантирувчи моменти камайиб боради ва моментлар мувозанати



9—3- расм. Синхрон моторнинг бурчагий характеристикалари.

тиклана олмай мотор ўз-ўзидан тўхтаб қолади. Синхрон мотор нагрузкасининг тасодифан кескин ўзгаришини ҳисобга олиб, θ бурчагининг номинал қийматини $25 + 30^\circ$ га тенг қилиб олинади. Демак, синхрон моторнинг ўта юкланиш қобилияти $\frac{M_{\text{макс}}}{M_n} = 2 + 2,5$ бўлади. U ва $f = \text{const}$ бўлса, мотордаги магнитавий оқимнинг умумий қиймати ҳам ўзгармас бўлади. Демак, ротор қўзғатиш чулғамидаги ток купайтирилса, статор чулғамидаги токнинг магнитлантирувчи қисми камаяди. Шунга биноан, қўзғатувчи ток қийматини купайтириш билан электр тармоғидан статорга берилувчи токнинг реактив қисмини нолга тенглаш мумкин. Бунда $\cos \varphi = 1$ бўлиб, индуктив қаршилиқдаги кучланишнинг тушуви ноль бўлади. Натижада статор чулғамида ҳосил бўлган э. ю. к. E купайиб, унинг қиймати кучланишга яқинлашади. Э. ю. к. қийматининг ортиб бориши билан (9 — 1) ифодага биноан айлантирувчи моментнинг максимал қиймати ҳам бирмунча ортади, яъни $M_{1M} < M_{2M} < M_{3M}$ бўлади (9 — 3- расм). (9 — 1) ифодага биноан, синхрон моторнинг максимал моменти кучланиш қийматининг биринчи даражасига пропорционал бўлади. Бу эса унинг яна бир афзаллигидир. Аён қутбли ва, демак, паст частотали синхрон моторларнинг статори билан ротори орасидаги ҳаво бўшлиғи айлана бўйича турли қийматга эга бўлгани учун уларнинг $X_{ад}$ ва $X_{яд}$ қаршилиқлари ўзаро тенг бўлмайди. Шу сабабли якорь реакциясининг таъсири бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича алоҳида ҳисобга олинади. Бунда электромагнитавий момент ҳам икки моментнинг йиғиндисидан иборат, яъни

$$M = \frac{3}{\omega_0} \left[\frac{UE \sin \theta}{X_{\text{яд}}} + \frac{U^2 \sin 2\theta}{2} \left(\frac{1}{X_{\text{як}}} - \frac{1}{X_{\text{яд}}} \right) \right] = M_{\text{син}} + M_{\text{реакт}}$$

деб қабул қилинади,

бунда $X_{\text{як}}$ ва $X_{\text{яд}}$ — тегишлича кўндаланг ва бўйлама индуктив қаршилиқлар;

$M_{\text{син}}$ — моторнинг синхронлаштирувчи моменти;

$M_{\text{реакт}}$ — моторда ҳосил бўлган реактив момент.

Демак, бундай моторларда синхронлаштирувчи моментдан ташқари, реактив момент ҳам ҳосил бўлади. 9 — 4-расмда аён қутбли синхрон моторнинг бурчагий характеристикаси кўрсатилган.

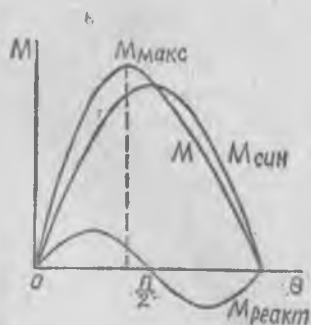
9 — 4-расмга биноан аён қутбли синхрон мотор электромагнитавий моментнинг максимуми 90° дан кичик бўлган θ бурчагида ҳосил бўлади. Аёнимас қутбли синхрон моторларда $X_{\text{яд}} = X_{\text{як}}$ бўлгани сабабли, реактив момент ҳосил бўлмайди.

9 — 3. Синхрон моторни ишга тушириш

Синхрон моторларни ишга туширишда, асосан, асинхрон усул қўлланилади. Бунинг учун синхрон моторларнинг ротори ўзагига асосий қўзғатиш чулғамидан ташқари, катаксмон қисқа туташган чулғам ҳам жойлаштирилади. Бу чулғам ишга тушириш чулғами деб аталади ва унинг ёрдамида синхрон мотор асинхрон мотор сингари ишга туширилади. Бунинг учун, даставвал, унинг қўзғатувчи чулғами разряд қаршилигига туташтирилиб, сўнгра статор чулғами электр тармоғига уланади. Бунда статор чулғамидан уч фазали ток ўтиб, натижада

$$n = \frac{60f}{p}$$

частота билан айланувчи магнитавий майдон ҳосил бўлади. Статорнинг айланувчи магнитавий майдоннинг ротордаги қисқа туташган чулғам билан кесилиши натижасида бу чулғамда э. ю. к. ва, демак, ток ҳосил бўлади. Ротордаги



9—4- расм. Аён қутбли синхрон моторнинг бурчагий характеристикаси.

ток билан айланувчи магнитавий майдонининг ўзаро таъсири натижасида роторни $n_p = 0,95 n$ частота билан айлантирувчи электромагнитавий момент ҳосил бўлади. Синхрон мотори роторининг n_p частотасини асинхрон, яъни синхронмас частота деб аталади. Асинхрон частота билан айланаётган роторнинг қўзғатувчи чулғамини разряд қаршилигидан ажратиб, унга ўзгармас ток берилса, у ҳолда статор ва ротор магнитавий майдон қарама-қарши қутбларининг ўзаро тортишиш кучи ортиб, ротор синхрон частота билан айлана бошлайди. Синхрон

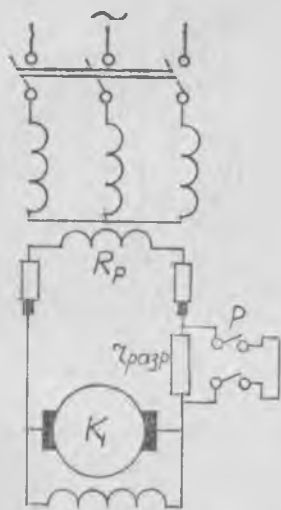
моторни асинхрон усул билан ишга туширишда унинг қўзғатувчи чулғамида катта э. ю. к. ҳосил бўлади. Чулғам изоляциясига бу э. ю. к. дан булган хавфни йўқотиш учун разряд қаршилиги $R_{\text{разр}}$ нинг қиймати қўзғатувчи чулғам қаршилигидан тахминан 10 марта катта қилиб олинади.

Синхрон моторнинг ишга тушириш токи $I_{\text{ншт}} = (3 + 8) I_n$ бўлиб, ишга тушириш моменти эса $M_{\text{ншт}} = (0,5 + 2) M_n$ бўлади. Юқори частотали моторда $I_{\text{ншт}}$ нинг қиймати паст частотали мотордагига нисбатан катта бўлади. Катта қувватли синхрон моторларни ишга туширишда, электр тармоғидаги кучланиш ортиқча пасайиб кетмаслиги ҳамда статор чулғамига таъсир этадиган динамикавий кучларни камайтириш учун, одатда, уларни реактор ёки автотрансформатор орқали уланади. Натижада, статор чулғамига бериладиган кучланиш номиналга нисбатан пасайиб, ишга тушириш токининг қиймати ҳам бирмунча пасайтирилади. Электрик машина тайёрлайдиган заводларнинг кўрсатмаси бўйича 3000 В кучланишли синхрон моторларни электр тармоғига бевосита улаб ишга тушириш учун, уларнинг роторидаги ҳар бир магнит қутбга тўғри келадиган мотор қуввати қуйидагидан катта бўлмаслиги лозим, яъни

$$\frac{P}{p} \leq 250 + 300 \text{ кВт},$$

бунда p — қутблар сони.

6000 вольтли моторни бевосита ишга туширишда эса $\frac{P}{p} \leq 200 + 250 \text{ кВт}$ бўлиши лозим. Электр тармоғига бевосита улаб ишга тушириш мумкин бўлмаган моторлар учун, каталогда, уларнинг статорига берилиши мумкин булган m ксимал кучланиш қиймати $U_{\text{макс}}$ кўрсатилади. Бунда $U_{\text{макс}} \leq 60 + 90 \% U_n$ бўлиши кер к. Ҳозирги пайтда ҳар қандай катта қувватли синхрон моторларни ҳам электр тармоғига бевосита улаб ишга тушириш бўйича илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Илгарилари қўзғатувчи чулғамга берилувчи ўзгармас токни синхрон моторнинг вали билан айлантриладиган параллел қўзғатишли ўзгармас ток генераторидан олинар эди. Ҳозирги вақтда эса ротор чулғамига бериладиган ўзгармас ток купинча алоҳида ўрнатилган статикавий чала ўтказгичли қўзғатгичлардан олинмоқда. Кейинги пайтларда ротор чулғамига ўзгармас токни контактсиз, яъни ҳалқа ва чўткаларсиз бериш имконига эришилди. Бундай контактсиз синхрон моторда ротор ўзаги яхлит пўлатдап қуйилган қутбларга эга бўлиб, бу қутблар роторга ўрнатиладиган ишга тушириш чулғами вазифасини ҳам ўтайди. Натижада синхрон моторнинг конструкцияси содда-лашмоқда, унинг ишлашдаги ишончлилиги анча кўтарилмоқда. Ҳозирги пайтда кичик қийматли қаршилиқ моментлари, яъни $M_c = (0,3 + 0,4) M_n$ билан ёки салт иш режимида ишга тушириладиган синхрон моторлар роторидаги қўзғатувчи чулғамга



9—5- расм. Синхрон моторни ишга тушириш схемаси.

қўзғатгични бевосита улаб қўйиш схемаси кенг қўлланилмоқда. Бунда қўзғатгич якори разряд қаршилиги орқали ёки бевосита ротор чулғамига уланади (9—5-расм). Мотор частотасининг тахминан, $0,95n$ қийматида қўзғатиш занжиридаги разряд қаршилиги рубильник P билан занжирдан чиқарилади. Бунда қўзғатиш занжири узилмаганлиги сабабли синхрон моторни ишга тушириш схемаси анча соддалашади.

Қуввати 2000 кВт гача бўлган синхрон моторларни салт иш режимда, ҳатто разряд қаршилигисиз ҳам ишга тушириш мумкин. Бунда синхрон моторни ишга тушириш учун статор чулғамини электр тармоғига улаш кифоя. Синхрон моторларни бундай ишга тушириш схемалари амалда кенг қўлланилмоқда.

9—4. Контактсиз синхрон моторлар

Маълумки, кичик ва ўрта қувватли асинхрон моторлар жуда кенг тарқалган, лекин уларнинг қўпчилиги технологик сабабларга биноан тула бўлмаган нагрузкада ишлатилади. Бунда уларнинг асосий энергетик кўрсаткичи бўлмиш қувват коэффиценти айниқса пастдир. Электр тармоғи қувват коэффиценти ошириш мақсадида катта қувватли электрик юритмалар учун юқори кучлианишли синхрон моторлар қўлланилмоқда.

Латвия ССР Фанлар академиясининг институтида яхлит пўлат қутбли контактсиз СО серияли синхрон моторнинг яратилиши билан ҳатто кичик ва ўрта қувватли асинхрон моторларни ҳам синхрон моторига алмаштириш имкони олинди.

Оддий синхрон моторнинг қўзғатувчи чулғамига ўзгармас токни чўтка ва контакт ҳалқалари орқали берилади. СО серияли моторда эса қўзғалмас ҳолатдаги подшипник қалқонларига жойлаштирилган қўзғатувчи чулғамга бу токни бевосита, яъни контактсиз узатиш имкони олинди.

Оддий синхрон мотори роторининг ўзаги ўзаро изоляцияланган юпқа пўлат тунукаларидан йиғилган бўлиб, унга қўзғатиш чулғамидан ташқари, қисқа туташтирилган ишга туширувчи чулғам ҳам ўрнатилади. СО серияли моторнинг ротори эса махсус шаклдаги яхлит пўлат қутблардан иборат бўлиб, бу қутблар моторни ишга туширувчи чулғам вазифасини ҳам

ўтайди. Шундай қилиб, контакtsiz синхрон моторлар конструкциясининг оддийлиги жиҳатидан асинхрон моторлардан кам фарқ қилади. Аммо номинал нагрузкада асинхрон моторларнинг қувват коэффициентини $\cos \varphi \approx 0,8 \div 0,85$ бўлиб, нагрузканинг камайиши билан у пасайиб борса, СО серияли моторнинг номинал нагрузкадаги қувват коэффициентини $\cos \varphi = 1$ га ҳисобланиб, нагрузканинг камайиши билан $\cos \varphi$ нинг қиймати узувчи характерга эга бўлади.

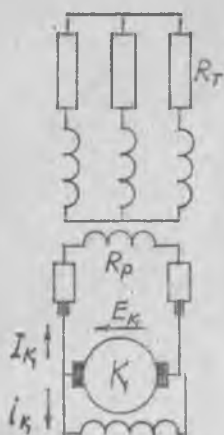
Демак, кичик ва ўрта қувватли асинхрон моторларнинг контакtsiz синхрон моторлари билан алмаштирилиши қувват коэффициентини кескин ошириш имконини беради.

Қуйидаги жадвалда тажриба тариқасида чиқарилган СО серияли синхрон моторларнинг асосий кўрсаткичлари келтирилган:

Мотор типи	Номи- нал кувва- ти, кВт	Номинал нагузказда				$\cos \varphi$	$\frac{M_{\max}}{M_n}$	$\frac{I_{\text{инт}}}{I_n}$	$\frac{M_{\text{инт}}}{M_n}$	$\frac{M_{\text{син}}}{M_n}$	G кг	$GD^2_{\text{рот}}$ кгм ²
		статор токи, А		ф. и. к								
		220 В	380 В									
Айланиш частотаси $n = 1500 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$												
СО41-4	2,2	7,05	4,05	0,82							55	0,04
СО51-4	4	12,20	7,05	0,86	1,0	1,4	2,5	0,7	0,12		90	0,13
СО61-4	7,5	22,40	12,90	0,88							130	0,29
Айланиш частотаси $n = 1000 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$												
СО41-6	1,5	4,85	2,8	0,81							55	0,03
СО51-6	3	9,25	5,35	0,85	1,0	1,4	2	0,8	0,25		90	0,17
СО61-6	5,5	16,75	9,7	0,86							130	0,38

9 — 5. Синхрон моторни тормозлаб тўхтатиш усуллари

Бундай моторларни тезда тўхтатиш учун умуман тескари уланиш ва электродинамикавий усуллари қўллаш мумкин. Аммо тескари уланишда статордан катта ток ўтиши ҳамда частота ноль бўлиши билан уни электр тармоқдан дарҳол ажратадиган қимматбаҳо асбобларнинг керак бўлгани туфайли тескари уланиш билан тормозлаш усули амалда деярли қўлланилмайди. Электродинамикавий усул билан тормозлаш учун ишлаб турган мотор статорини электр тармоқдан ажратиб, уни ташқи актив қаршиликка улаш керак. Бунда ротор чулғамини ўзгармас ток билан таъминлаб туришни давом эттириш лозим (9—6-расм). Натижада, синхрон мотор ўзгарувчан частотали синхрон генератор режимига ўтиб, тормозловчи момент таъсирида тезда тўхтайди.



9-6- расм. Синхрон моторни электродинамиквий усулда тормозлаш схемаси.

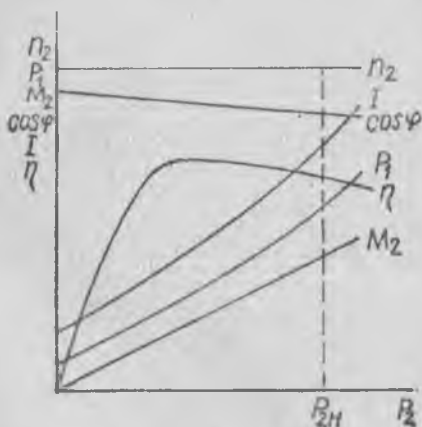
Моторнинг бу режимида ҳосил бўлувчи тормозлаш моментининг қиймати статор чулғамига киритилган R_T ва қўзғатиш занжиридаги ток қийматига боғлиқ бўлади.

Агар динамикавий тормозлаш процессида ротор чулғамига бериладиган ўзгармас ток алоҳида ўрнатилган қўзғатгичдан олинса, у ҳолда, мотор тез тўхтайди, мотор валида айланадиган қўзғатгичдан олинган тақдирда эса частота камайиши билан E ва, демак, I қийматлари ҳам камайиб боради. Бу эса тормозловчи момент қийматини камайтириб, тўхтатиш вақтини узайтириб юборади.

9 — 6. Синхрон моторнинг иш характеристикалари

n , P_1 , $\cos \varphi$, I , η ва M_2 қийматларининг мотор валидаги фойдали қувват P_2 га боғланишини ифодаловчи графиклар синхрон моторнинг иш характеристикалари деб аталади.

Бунда n — мотор валидаги частота. Унинг қиймати нагрузкага боғлиқ бўлмай, ўзгармас, яъни $n = \text{const}$ бўлади; $P_1 = P_2 + \Delta P$ — моторга берилган қувват бўлиб, қувват сарофи ΔP нинг чулғамнинг қизиши учун сарфланган қисми нагрузка токининг квадратига пропорционаллиги учун $P_1 = f(P_2)$ боғланиши эгри чизик билан ифодаланади; $\cos \varphi$ — қувват коэффициентининг қиймати бўлиб, нагрузканинг кўпайиши билан бир озгина камайди; I — статор чулғамигаги ток бўлиб, нагрузка кўпайиши



9-7- расм. Синхрон моторнинг иш характеристикалари.

билан $\cos \varphi$ бир оз камайгани учун унинг қиймати P_1 га нисбатан тезроқ ўзгаради; η — фойдали иш коэффициенти, унинг энг юқори қиймати номинал нагрузканинг $(0.5 \div 0.75) P_n$ қийматида содир бўлади; $M_2 = \frac{P_2}{\omega}$ — мотор валидаги айлантирувчи фойдали момент бўлиб, унинг қиймати $\omega = \text{const}$ бўлгани учун P_2 га пропорционал равишда ўзгаради.

9 — 7- расмда синхрон моторнинг иш характеристикалари кўрсатилган.

9 — 7. Синхрон машинанинг фойдали иш коэффициенти

Синхрон машинанинг генератор ёки мотор бўлиб ишлашида нагрузкага боғлиқ бўлмаган, яъни ўзгармас қийматли ва нагрузкага боғлиқ бўлган ва, демак, ўзгарувчи қийматли қувват исрофлари содир бўлади.

Машина подшипнигидаги ишқаланиш, роторнинг ҳавога ишқаланиши, чўтканинг контакт ҳалқаларига ишқаланиши ва совитувчи каналлардаги ишқаланишлардан содир бўлувчи механикавий исрофлар, статор пўлатидаги гистерезис ва уюрма тоқлардан ҳосил бўлувчи магнитавий исрофлар ҳамда қўзғатиш учун сарфланган қувватларнинг қиймати нагрузкага боғлиқ бўлмай, ўзгармас бўлган қувват исрофига тегишли, яъни $P_0 = P_{\text{мех}} + P_{\text{п}} + P_{\text{к}} = \text{const}$ бўлади. Қиймати ўзгарувчан бўлган қувват исрофи статор чулғамининг қизишига сарфланган қувват билан аниқланди, яъни

$$P_{\text{мис}} = m I^2 R_{\text{н}75^\circ \text{с}}$$

бўлади.

Бунда $P_{\text{мис}}$ — статор чулғамининг қизишига сарфланган қувват исрофи, Вт;

m — фазалар сони;

$R_{\text{н}75^\circ \text{с}}$ — 75°С даги фаза чулғамининг актив қаршилиги, Ом;

I — фаза тоқи, А.

Синхрон машинанинг фойдали иш коэффициенти $\eta = \frac{P_2}{P_1}$ бўлиб, унинг қиймати, одатда, қуйидаги формуладан аниқланади:

$$\eta_{\text{ген}} = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma \Delta P}$$

бунда P_2 — генераторнинг фойдали қуввати бўлиб, унинг қиймати қуйидагича аниқланади:

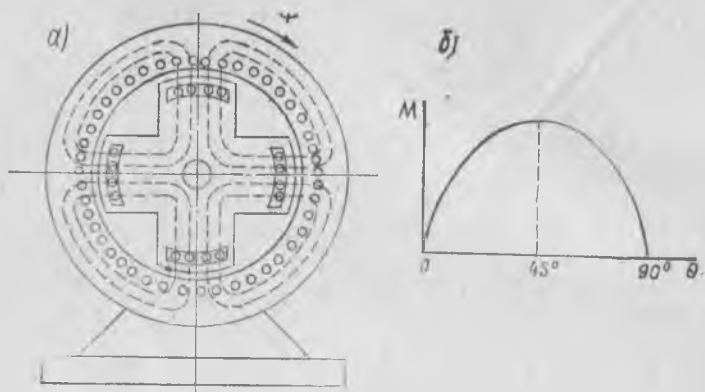
$$P_2 = \sqrt{3} I_{\text{д}} U_{\text{л}} \cos \varphi, \quad (9-2)$$

$$\Sigma \Delta P = \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{п}} + \Delta P_{\text{к}} + \Delta P_{\text{мис}} = P_0 + P_{\text{мис}}.$$

Синхрон моторнинг фойдали иш коэффициенти эса, $\eta_{\text{мотор}} = \frac{P_1 - \Sigma \Delta P}{P_1}$ бўлади. Бунда P_1 — синхрон моторнинг актив қуввати бўлиб, унинг қиймати қуйидагича аниқланади:

$$P_1 = \sqrt{3} U_{\text{л}} \cdot I_{\text{д}} \cos \varphi. \quad (9-3)$$

Синхрон машиналарда $\eta = 0,85 + 0,99$ бўлиб, унинг юқори қиймати катта қувватли машиналарга тегишли бўлади.



9—8- расм. Реактив синхрон моторнинг:

а — тузилиши; б — бурчагий характеристикаси.

9 — 8. Синхрон реактив мотори

Реактив деб аталувчи синхрон моторнинг статори оддий синхрон моторникидан фарқ қилмайди, унинг аён қутбли роторида эса қўзғатиш чулғами бўлмайди.

9 — 8- расмда реактив синхрон моторнинг тузилиши ва бурчагий характеристикаси кўрсатилган.

Бундай мотор қуйидаги принципда ишлайди. Статор чулғамини электр тармоққа улаш билан айланувчи магнитавий майдон ҳосил бўлади ва бу магнитавий майдон таъсирида ротор магнитланади. Статордаги магнитавий майдонга нисбатан магнитланган ротор энг кам магнит қаршиликка эга ҳолат томон бурилишга интилади ва натижада мотор ротори айланувчи магнитавий майдони билан синхрон равишда айлана бошлайди. Айлантирувчи моментнинг энг юқори қиймати $\theta = 45^\circ$ да содир бўлади (9 — 8- расм, б). Реактив моторлар асинхрон усул билан ишга туширилади. Бунинг учун ротор қутбларининг бошмоқларига қисқа туташган чулғам ўрнатилган ёки қутбнинг пўлат қисмларида ҳосил бўлган уярмавий тоқлардан фойдаланилади. Бундай моторнинг габарити ва оғирлиги катта бўлиб, $\cos \varphi$, η ва ўта юкланиш қобилияти паст бўлганлиги сабабли реактив моторларни бир неча 10 Вт қувватли қилиб ишлаб чиқарилади. Синхрон реактив моторларидан, кўпинча автоматика, синхрон боғланиш, сигнализация ва бошқа ўзгармас частота талаб қиладиган қурилмаларда фойдаланилади.

Бир фазали синхрон реактив моторлари кам учратилади. Бундай моторларнинг статорида иш чулғамидан ташқари, конденсатор уланган ишга тушириш чулғами ҳам бўлади.

Х БОБ. АСИНХРОН МАШИНАЛАР

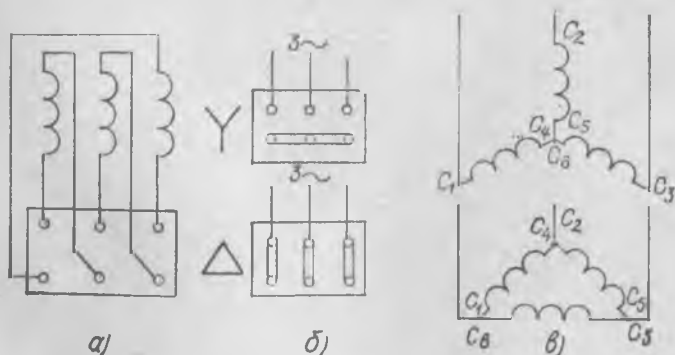
10 — 1. Умумий тушунчалар

Асинхрон машиналар ҳам синхрон машиналар каби статор ва ротордан иборат бўлади. Асинхрон машинанинг статори синхрон машинаникидан фарқ қилмайди, аммо унинг роторига жойлаштирилган қисқа туташтирилган ёки фаза чулғамга ташқи манбадан ҳеч қандай ток берилмайди. Шу сабабли асинхрон машинанинг ротори синхрон бўлмаган, яъни асинхрон частота билан айланади. Асинхрон машиналар ҳам бошқа электр машиналари сингари мотор, генератор ва электромагнитавий тормоз режимларида ишлай олади, аммо улар амалда асосан мотор сифатида кенг тарқалган. Конструкциясининг соддалиги, нархининг арзонлиги, ишлашда ишончлилиги ва шу каби афзалликлари билан ўзгармас ток ва синхрон моторлардан фарқ қилувчи асинхрон моторлар саноат, қишлоқ хўжалиги ва қурилишда фойдаланиладиган электр моторларининг тахминан 95% ини ташкил этади.

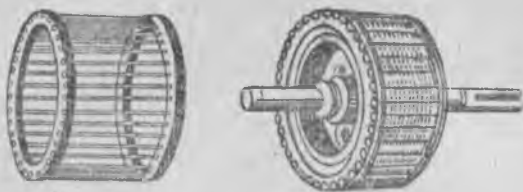
10 — 2. Уч фазали асинхрон мотор

Асинхрон моторларнинг уч фазали тузилишдагилари жуда кенг тарқалгани сабабли, уларни қисқача асинхрон моторлар дейилади, яъни уч фазали сузи қўшилмайди. Роторининг тузилишига кўра асинхрон моторлар:

1) қисқа туташтирилган ва 2) фаза (контакт ҳалқали) роторли моторларга бўлинади. Асинхрон моторларнинг статорига жойлаштириладиган уч фазали чулғамнинг тузилиши синхрон машинанинг чулғамидан фарқ қилмайди. Статор чулғами, кўпинча, қисқартирилган қадамли, икки қатламли тузилишда бў-



10—1-расм. Асинхрон моторнинг чулғами ва унинг ула-
ниши.



10—2- расм. Асинхрон мотори роторининг қисқа туташтирилган чулғами.

лади. Бу чулғамнинг учлари мотор шчитидаги қисмаларга уланади (10—1-расм, а). Бунда биринчи фаза чулғами $C_1 - C_4$, иккинчиси $C_2 - C_5$, учинчиси эса $C_3 - C_6$ билан белгиланади. Чулғамни юлдуз ёки учбурчаклик схемаси билан қулайгина

улаш учун унинг учлари мотор шчитининг қисмаларига 10—1-расм, а да кўрсатилгандек қилиб бириктирилади. 10—1-расм б да мотор шчитидаги чулғам учларини юлдуз ва учбурчаклик схемалари билан улаш кўрсатилган.

Роторнинг ўзаги электротехникавий пулат тунукалардан йиғилади, сиртқи томони пазлар ҳосил қилувчи цилиндрдан иборат бўлади. Уюрмавий токлардан ҳосил бўлувчи қувват исрофини камайтириш учун ротор ўзагини ташкил қилувчи ҳар бир пулат тунуканинг икки томони изоляцияловчи лак билан қопланади. Қисқа туташтирилган роторли моторнинг ротор ўзаги пазларига алюминий ёки мис стерженлари (таёқчалари) жойлаштирилиб, уларнинг бош ва охирлари алюминий ёки мис ҳалқа билан ўзаро қисқа туташтирилади. 10—2-расмда роторнинг қисқа туташтирилган чулғами кўрсатилган. Бундай чулғамли роторга эга бўлган мотор қисқа туташтирилган ротор („Олмаҳон қафас“)ли асинхрон мотор дейилади.

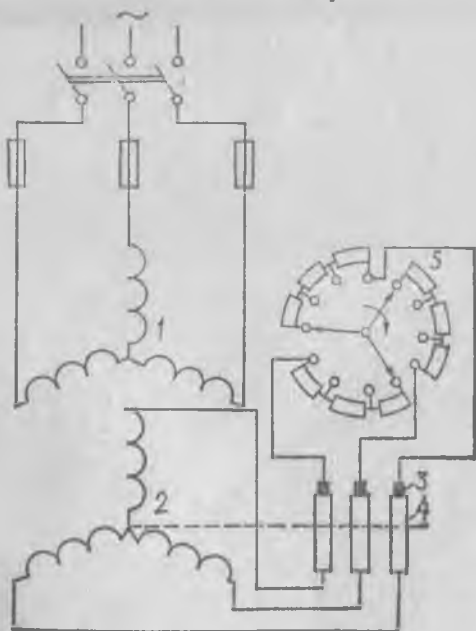
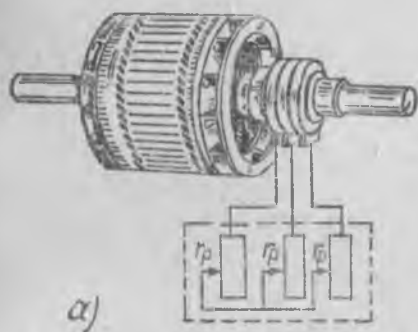
Фаза роторли моторларнинг ротор ўзаги пазларига статорники сингари уч фазали чулғам ўрнатилади. Моторнинг ишга тушириш токни камайтириш мақсадида ротор чулғами занжирига кетма-кет қилиб ташқи қаршилиқ киритилади (10—3-расм, а).

Ротор чулғами юлдуз схемаси билан уланиб, унинг ҳар бир фазасига ташқи қаршилиқни киритиш учун айланувчи ротор валига учта ўзаро ва валдан изоляцияланган ҳалқа ўрнатилади. Ротордаги фаза чулғамининг учлари учта ҳалқага уланиб, ҳалқалар эса қўзғалмас чўткалар орқали ишга тушириш резисторига уланади. 10—3-расм, б да фаза роторли асинхрон моторнинг уланиш схемаси кўрсатилган.

Ротор чулғамининг ишга тушириш резисторига уланувчи учлари P_1, P_2, P_3 билан белгиланади. Асинхрон моторнинг статор чулғамига уч фазали ток берилса, у ҳолда $n_1 = \frac{60 f}{p}$ частота билан айланувчи магнитавий майдон ҳосил бўлади. Айланувчан магнитавий майдон ротор чулғамини кесиб ўтиб, унинг ёпиқ занжирга эга чулғаида э. ю. к. ва, демак, ток ҳосил қилади. Ротор чулғаидаги ток билан статордаги айланувчи магнитавий майдоннинг ўзаро таъсири натижасида ай-

лантирувчи электромагнитавий момент ҳосил бўлиб, натижада мотор n_2 частота билан айлана бошлайди. Айлантирувчи моментни ҳосил қилувчи кучларнинг йўналиши чап қўл қондаси билан аниқланади. Шундай қилиб, моторнинг статорига берилган электр энергияси электромагнитавий процесс натижасида роторни айлантирувчи механикавий энергияга айланади. Асинхрон моторнинг айланиш йўналишини ўзгартириш учун статор чулғамининг электр тармоғига уланадиган ҳар қандай икки учини ўзаро алмаштириш кифоя. Бунда айланувчи магнитавий майдон ва у томон эргашиб айланувчи роторнинг айланиш

йўналишлари тескарига ўзгаради. Роторнинг айланиш частотаси n_2 айланувчи магнитавий майдонининг синхрон частотаси n_1 га нисбатан ҳамма вақт кичик бўлади. Ҳақиқатан, агар $n_2 = n_1$ бўлган тақдирда ротор чулғамиде ток ва, демак, айлантирувчи момент ҳам ҳосил бўлмайди. Айланувчи магнитавий майдони ва ротор частоталари айирмаси-



10—8- расм. Фаза роторли асинхрон моторнинг уланиш схемаси.

нинг синхрон частотага нисбати сирпаниш деб аталади ва S ҳарфи билан белгиланади. Демак, сирпанишнинг қиймати қуйидагича топилади:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}. \quad (10-1)$$

Қуввати $1 \div 100$ кВт гача бўлган нормал тузилишдаги асинхрон моторларнинг номинал нагрукасига тегишли номинал сирпаниш $S_n = \frac{n_1 - n_n}{n_1} = 0,01 \div 0,06$ бўлади. Асинхрон машинанинг мотор режимида $S = 0 \div 1$ орасида ўзгаради. Бунда $S = 0$ — моторнинг идеал салт иш режими, яъни $M = 0$; $n_2 = n_1$ да содир бўлиб, $S = 1$ эса электр тармоғига уланган мотор роторининг тинч ҳолати, яъни $n_2 = 0$ да содир бўлади. (10-1) ифодага биноан асинхрон моторнинг айланиш частотаси қуйидагича аниқланади:

$$n_2 = n_1 (1 - S). \quad (10-2)$$

10 — 1-масала. Сирпаниш $S = 0,03$ бўлган тўрт қутбли асинхрон моторнинг частотаси аниқлансин.

Е ч и ш. Асинхрон моторнинг частотаси $n_2 = n_1 (1 - S)$ бўлади, бунда $n_1 = \frac{60 f_1}{p}$ асинхрон моторнинг синхрон частотаси; $f_1 = 50$ гц — СССР да қабул қилинган саноат частотасининг қиймати; $p = 2$ — статор чулғамига берилган уч фазали токдан ҳосил булган магнитавий майдон жуфт қутбларининг сони. Демак,

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \frac{\text{айл}}{\text{мин}},$$

$$n_2 = 1500 (1 - 0,03) = 1455 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}.$$

10 — 3. Асинхрон мотордаги электромагнитавий процесслар

Асинхрон моторда содир бўладиган электромагнитавий процесслар трансформатордагига ўхшашдир. Агар фаза роторли моторнинг ротор чулғами ишга тушириш қаршилигига уланмай, узук қолдирилса, у ҳолда статор чулғамидаги уч фазали токдан пайдо бўлган айланувчи магнитавий майдон статср ва ротор чулғамларида трансформатордаги сингари E_1 ва E_2 э. ю. к. ларни ҳосил қилади. Бу э. ю. к. қиймаглари қуйидагича аниқланади:

$$E_1 = 4,44 W_1 f_1 k_{\phi_1} \Phi_m, \quad (10-3)$$

$$E_2 = 4,44 W_2 f_2 k_{\phi_2} \Phi_m, \quad (10-4)$$

бунда Φ_m — айланувчи магнитавий майдоннинг магнитавий оқими;

E_1 — статор чулғамидаги э. ю. к.;

E_2 — ротор чулғамидаги э. ю. к.;

f_1 — электр тармоғидаги кучланишнинг частотаси;

$f_2 = f_1$ — тинч ҳолатдаги ротор чулғамида ҳосил бўлган э. ю. к. частотаси;

$k_{q_1} k_{q_2}$ — статор ва ротор чулғамининг чулғам коэффициентлари.

Статор чулғамидаги э. ю. к. ларнинг мувозанат тенгламаси трансформаторники сингари қуйидагича бўлади:

$$\bar{U}_1 = -\bar{E}_1 + I_0 \bar{R}_1 + \bar{I}_0 X_1,$$

бунда $I_0 R_1$ — статор чулғамининг актив R_1 қаршилигида кучланиш пасайуви;

$I_0 X_1$ — статор чулғамининг индуктив X_1 қаршилигида кучланиш пасайуви (бу миқдор трансформатордаги сингари индуктив э. ю. к. қиймати билан аниқланади).

Асинхрон мотор ҳам трансформатор сингари салт иш режимида ишлай олади. Бунда $U_1 = U_n$; $f_1 = f_n$ бўлиб, ротор чулғами узук ҳолда бўлиши лозим. Агар трансформаторнинг салт иш режимидаги токи номинал токнинг $5 + 10\%$ ини ташкил этса, асинхрон моторда эса статор ва роторнинг пўлат ўзаклари орасида ҳаво бўшлиғи борлиғи сабабли $I_0 \approx 20 + 60\%$ I_n бўлади. Демак, салт иш режимидаги асинхрон моторнинг векторий диаграммаси ҳам трансформаторники сингари бўлади. Асинхрон моторнинг э. ю. к. бўйича трансформация коэффициенти қуйидагича ифодаланади:

$$k_e = \frac{E_1}{E_2} = \frac{k_{q1} W_1}{k_{q2} W_2}, \quad (10-5)$$

ток бўйичаси эса:

$$k_i = \frac{I_2}{I_1} = \frac{m_1 k_{q1} W_r}{m_2 k_{q2} W_2}. \quad (10-6)$$

Демак, асинхрон моторнинг умумий трансформация коэффициенти қуйидагича аниқланади:

$$k = k_e k_i. \quad (10-7)$$

Иккиламчи миқдорларни бирламчи чулғамга келтириш ҳам трансформатордаги сингари қуйидагича ифодаланади:

$$E'_2 = k_e E_2, \quad (10-8)$$

$$I'_2 = \frac{I_2}{k_i} \quad (10-9)$$

$$R'_2 = R_2 k, \quad (10-10)$$

$$X'_2 = X_2 k, \quad (10-11)$$

$$Z'_2 = Z_2 k. \quad (10-12)$$

Агар тормозланган ротордаги чулғамни қисқа туташтириб, статор чулғамига номинал ток ҳосил қилувчи кичик қийматли кучланиш берилса, у ҳолда асинхрон моторнинг трансформатордаги сингари қисқа туташтириш режими олишади. Бунда статор

чулғами билангина илашувчи индуктив магнит оқими купроқ бўлгани учун қисқа туташиш кучланиши трансформатордагига нисбатан каттароқ бўлади. Агар тормозланмаган ротор чулғамини қисқа туташтириб, статор чулғамига номинал кучланиш берилса, у ҳолда қисқа туташиш токининг бошланғич қиймати номинал токка нисбатан $4 \div 7$ марта катта бўлиб, мотор айлана бошлайди. Мотор айланиши билан бу токнинг қиймати кескин равишда камайиб боради. Демак, қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторга номинал кучланиш берилса, ишга туширишнинг бошланғич пайтида у қисқа туташиш режимида бўлади. Асинхрон моторнинг салт иш режимидаги қувват исрофи трансформатордаги сингари пўлат узакларнинг қизишига сарфланса, қисқа туташиш режимидагиси эса чулғам мис симларининг қизишига сарфланади.

Нормал режимида ишга туширилган мотор статоридаги айланувчи магнитавий майдон роторга нисбатан $n = n_1 - n_2$ частотада ундан ўзган ҳолда айланади. Демак, статордаги айланувчи магнитавий оқим ротор чулғамини n частотада кесиб ўтиб, унда э. ю. к. ва ток ҳосил қилади. Бу э. ю. к. ва токнинг частотаси f_2 бўлиб, уни сирпаниш частотаси дейилади. Агар $f_2 = \frac{p n}{60} = \frac{p (n_1 - n_2)}{60}$ нинг сурат ва махражини n_1 га кўпайтириб ва бўлинса, сирпаниш частотасининг қуйидаги ифодаси олинади:

$$f_2 = \frac{p n_1 (n_1 - n_2)}{60 n_1} = S f_1 \text{ Гц.} \quad (10-13)$$

Шунга кўра, айланувчи ротор чулғамида ҳосил бўлган э. ю. к. қиймати $E_{2s} = 4,44 k_{q2} f_2 W_2 \Phi_m = 4,44 k_{q2} W_2 \Phi_m f_1 S$ бўлади. Тинч ҳолатдаги ротор чулғамида ҳосил бўлган э. ю. к. қиймати $E_2 = 4,44 k_{q2} W_2 f_1 \Phi_m$ бўлгани учун E_{2s} ни қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$E_{2s} = E_2 S. \quad (10-14)$$

Айланувчи роторнинг индуктив қаршилиги қуйидагича аниқланади:

$$X_{2s} = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi f_1 S L_1 = X_2 S. \quad (10-15)$$

Демак, айланувчи роторда ҳосил бўлган э. ю. к. E_{2s} қиймати ва айланувчи роторнинг индуктив қаршилиги X_{2s} тинч турган ротордагига нисбатан сирпаниш S марта фарқ қилади. Фақат роторнинг актив қаршилиги R_2 нинг қиймати частотага боғлиқ бўлмайди. Айланувчи ротор чулғамидаги ток қиймати Ом қонунига биноан аниқланади:

$$I_{2s} = \frac{E_{2s}}{\sqrt{R_2^2 + X_{2s}^2}} = \frac{E_2 \cdot S}{\sqrt{R_2^2 + (X_2 S)^2}}. \quad (10-16)$$

(10—16) нинг сурат ва махражини S га бўлиб, I_{2s} нинг қуйидаги ифодаси олинади:

$$I_{2s} = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{S}\right)^2 + x_2^2}}. \quad (10-17)$$

(10—16) ва (10—17) ифодаларга биноан айланувчи ротордаги ток қиймати ҳам сирпаниш S га боғлиқ бўлади. Нормал режимда ишлаётган фаза роторли асинхрон мотор роторининг уч фазали чулғамида частотаси f_2 га тенг бўлган уч фазали ток ҳосил бўлади. Бу уч фазали ток роторнинг уч фазали чулғамидан ўтиб, $n = \frac{60f_2}{p}$ частота билин айланувчи магнитавий майдон ҳосил бўлади. Роторнинг ўзи n_2 частота билан айланиши учун роторда ҳосил бўлган магнитавий майдон фазода $n + n_2$ частота билан айланади.

Агар $n = \frac{60f_2}{p} = \frac{60f_1 s}{p} = n_1 s$; $n_2 = n_1 (1 - s)$ бўлса, $n + n_2 = n_1 s + n_1 (1 - s) = n_1$ бўлади.

Демак, ротор ва статордаги айланувчи магнитавий майдонлар бир хил частота ва бир хил йўналишга эга бўлади. Асинхрон моторнинг м. ю. к. ларининг векторий диаграммаси ҳам трансформаторники сингари қурилади. Аммо м. ю. к. лар йиғиндисидан ҳосил бўлган умумий м. ю. к. $I_0 W_1$ ва ундан ҳосил бўлган Φ_m векторлари айланувчи характерга эга бўлиб, уларнинг айланиш частотаси ҳам n_1 га тенг бўлади.

10—4. Асинхрон моторнинг векторий диаграммаси ва эквивалент схемаси

10—4- расмда ротор чулғамининг параметрлари статор чулғамига келтирилган асинхрон моторнинг нагрузка режимидаги векторий диаграммаси кўрсатилган.

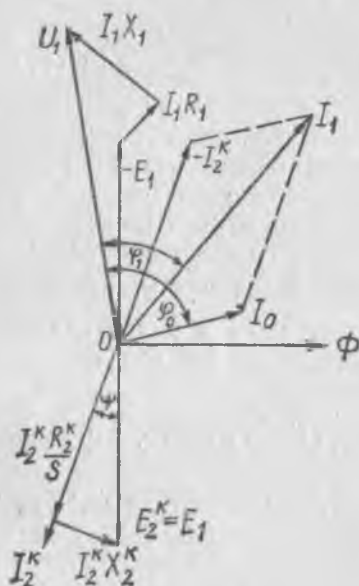
Нормал режимда айланиб турган асинхрон моторларнинг ротор чулғами қисқа туташтирилган бўлади. Шу сабабли иккиламчи кучланиш $U = 0$ бўлиб, ротор чулғамида ҳосил бўлган э. ю. к. нинг қиймати чулғам қаршиликларидаги кучланиш пасайувларининг йиғиндисига тенг бўлади, яъни

$$\bar{E}_2^k = \bar{I}_2^k \frac{R_2'}{S} + \bar{I}_2^k x_2^k = 0. \quad (10-18)$$

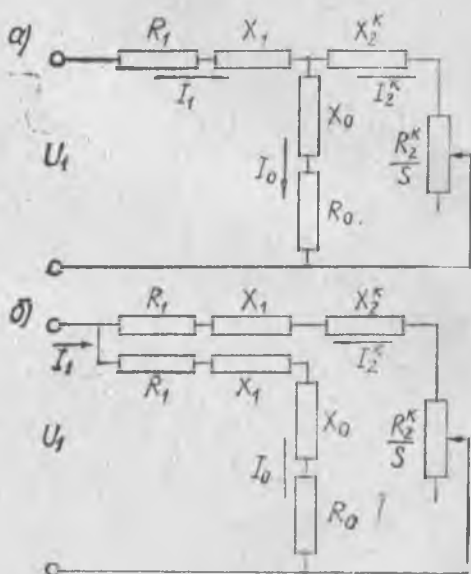
Статор чулғами учун э. ю. к. лар тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

$$\bar{U}_1 = -\bar{E}_1 + \bar{I}_1 X_1 + \bar{I}_1 R_1. \quad (10-19)$$

10—4- расмда кўрсатилган векторий диаграммага биноан нагрузка режимидаги $\cos \varphi_1$ қиймати салт иш режимидаги $\cos \varphi_0$ га нисбатан анча юқори. Шу сабабли асинхрон моторларни



10—4- расм. Ротор чулғамининг параметрлари статор чулғамига келтирилган асинхрон моторнинг нагрузка режимидаги векторний диаграммаси.



10—5- расм. Асинхрон моторнинг схемалари.

салт иш режимида ёки кичик нагрузка билан ишлатиш тавсия этилмайди. Ротор чулғамининг параметрлари статорникига келтирилган асинхрон мотор бир фазасини (10—17), (10-18), (10—19) даги ток ва э. ю. к. тенгламалари ҳамда 10—4- расмдаги векторий диаграмма асосида эквивалент электр схема билан ифодалаш мумкин. 10—5- расмда асинхрон моторнинг а, Т- симон ва б, Г- симон эквивалент схемалари кўрсатилган.

Моторнинг Т- симон эквивалент схемаси учта занжирдан иборат, undan ҳисоблаш ишларида фойдаланиш анча мураккаб. Шу сабабли ҳисоблашларда кўпинча Г- симон соддалаштирилган схемдан фойдаланилади. Бу схема I_0 токи ўтадиган магнитлантирувчи ва I_2 токи ўтадиган иш занжирларидан иборат бўлади. Г- симон схемада I_0 токининг қийматини ўзгартирмаслик учун магнитлантирувчи занжирга кетма-кет қилиб, Т- симондаги сингари R_1 ва X_1 қаршилликлари киритилади. Мотор нагрузкасининг ўзгариши билан, даставвал, сирпаниш ўзгаради.

Бунда эквивалент схеманинг $\frac{R_2}{S}$ параметри ўзгаради. Моторнинг

салт иш режимида $S = 0$ бўлиб, $\frac{R_2^k}{S} \approx \infty$ бўлгани учун $I_2^k \approx 0$ бўлади.

Асинхрон моторнинг нагрузка режимида эквивалент схеманинг иш занжиридаги ток қиймати қуйидагича аниқланади:

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + (X_2 + X_1')^2}} \quad (10-20)$$

10—5. Асинхрон моторнинг энергетикавий диаграммаси

10—6- расмда асинхрон моторнинг энергетикавий диаграммаси кўрсатилган. Бунда электр тармогидан моторга бериладиган актив қувват қуйидагича ифодаланади:

$$P_1 = 3 U_{1\phi} I_{1\phi} \cos \varphi_1, \text{ Вт.} \quad (10-21)$$

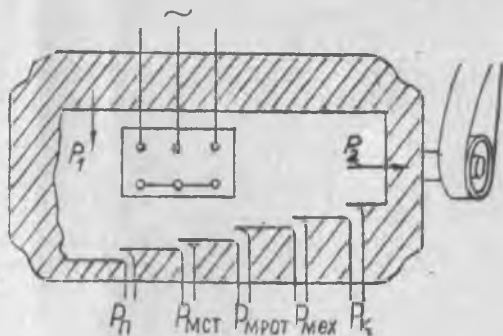
Бу қувватнинг бир қисми мотор пулат ўзагининг ва статор чулғамининг қизишига сарфланади. Статор чулғамининг қизишига сарфланадиган қувват исрофи $P_{\text{м.ст}} = 3 I_{1\phi}^2 R_1$ бўлади.

P_1 қувватнинг қолган қисми электромагнитавий усулда роторга берилади. Бунн электромагнитавий $P_{\text{эм}}$ қувват дейилади. $P_{\text{эм}}$ қувватнинг бир қисми ротор чулғамининг қизишига сарфланади. Ротор чулғамининг қизишига сарфланадиган қувват исрофи $P_{\text{м.рот}} = 3 I_{2\phi}^2 R_2$ Вт бўлади. Электромагнитавий қувватнинг қолган қисми механикавий қувват $P_{\text{мех}}$ дейилиб, у роторни ҳаракатга келтириш учун сарфланади. Ротордаги механикавий қувватдан механикавий ишқаланишларга сарфланувчи ва қўшимча қувват исрофи P_{κ} айирилса, у ҳолда мотор валидаги фойдали қувват P_2 олинади. P_2 нинг қиймати мотор шчитида кўрсатилади. Шундай қилиб, P_1 нинг қиймати қуйидагича аниқланади:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta}, \quad (10-22)$$

бунда η — моторнинг фойдали иш коэффициенти бўлиб, у қуйидагича ифодаланади:

$$\eta = \frac{P_1 - \sum P}{P_1}, \quad (10-23)$$



10—6- расм. Асинхрон моторнинг энергетикавий диаграммаси.

бунда

$$\sum P = P_{\pi} + P_{\text{м.ст}} + P_{\text{м.рот}} + P_{\text{мех}} + P_{\kappa}. \quad (10-24)$$

Асинхрон моторлар учун $\eta = 0,7 + 0,9$ бўлиб, η нинг юқори қиймати катта қувватли моторларга тааллуқли.

Электромагнитавий қувватдан роторда ҳосил бўлган механикавий қувватни айириб ротор чулғамининг қизиши учун сарфланган қувват $P_{\text{м.рот}}$ аниқланади, яъни $P_{\text{м.рот}} = P_{\text{эм}} - P_{\text{мех}}$. Роторда ҳосил бўлган механикавий қувватни қуйидагича ифода-лаш мумкин:

$$P_{\text{мех}} = M \omega_2 = M \frac{2\pi n_2}{60} \text{ Вт}, \quad (10-25)$$

бунда M — моторнинг айлантирувчи моменти, Нм;

n_2 — роторнинг минутига айланишлари сони, айл/мин.

Роторга берилган электромагнитавий қувват қуйидагича ифодаланади:

$$P_{\text{эм}} = M \omega_1 = M \frac{2\pi n_1}{60}, \quad (10-26)$$

$n_2 = n_1 (1 - S)$ бўлгани учун $P_{\text{м.рот}}$ қиймати қуйидагича ифодаланади:

$$P_{\text{м.рот}} = P_{\text{эм}} - M \frac{2\pi n_1 (1-S)}{60} = P_{\text{эм}} - P_{\text{эм}} (1-S) = P_{\text{эм}} \cdot S. \quad (10-27)$$

Демак, (10-27) ифодага биноан ротор чулғамининг қизиши учун сарфланадиган қувват исрофи сирпанишга тўғри пропорционал бўлар экан.

10—6. Асинхрон моторнинг механикавий характеристикаси

Асинхрон моторнинг механикавий характеристикасини $S = f(M)$ боғланиш билан ифодалаш қулайроқ бўлади. Механикавий характеристика тенгламасини келтириб чиқаришда ротор чулғами статорникига келтирилган асинхрон моторнинг эквивалент схемасидан ва (10-26) ифодадан фойдаланилади. (10-26) ифодага биноан асинхрон моторнинг айлантирувчи моменти $M = \frac{P_{\text{эм}}}{\omega_1}$. Бу ифодадаги $P_{\text{эм}}$ ўрнига унинг (10-27) дан аниқланган $P_{\text{эм}} = \frac{P_{\text{м.рот}}}{S}$ қиймати қўйилиб, қуйидаги ҳосил қилинади:

$$M = \frac{P_{\text{эм}}}{\omega_1} = \frac{P_{\text{м.рот}}}{\omega_1 S} = \frac{m l_2^2 R_2}{\omega_1 S} \text{ Нм}. \quad (10-28)$$

(10-28) га биноан айлантирувчи моментнинг қиймати ротор чулғамининг қизиши учун сарфланадиган қувват исрофига тўғри пропорционал. Ротор параметрларини статор

чулғамига келтиришда унинг мисадаги қувват исрофининг қиймати ўзгармас, яъни $I_2^2 R_2 = (I_2^k)^2 R_2^k$ бўлганлигидан (10—28) ни қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$M = \frac{m (I_2^k)^2 R_2^k}{\omega_1 S} \text{ Нм}, \quad (10-29)$$

бунда m — фазалар сони бўлиб, уч фазали асинхрон мотор учун $m = 3$. (10—29) даги I_2^k ўрнига унинг Г-симон эквивалент схемадан аниқланган (10—20) қийматини қўйиб механикавий характеристиканинг қуйидаги тенгламаси ҳосил қилинади:

$$\begin{aligned} M &= \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 R_2^k}{\omega_1 \left[\left(R_1 + \frac{R_2^k}{S} \right)^2 + (X_1 + X_2^k)^2 \right] S} = \\ &= \frac{3 P U_{1\phi}^2 R_2^k}{2 \pi f_1 \left[\left(R_1 + \frac{R_2^k}{S} \right)^2 + (X_1 + X_2^k)^2 \right] S}. \end{aligned} \quad (10-30)$$

(10—30) ифодага биноан асинхрон мотор айланттирувчи моментининг қиймати электр тармоғидан статорга бериладиган кучланишнинг квадратига пропорционал, яъни $M \equiv U_{1\phi}^2$ бўлади. Демак, кучланишнинг бир оз ўзгаришида айланттирувчи моментининг кескин ўзгариши содир бўлади. Бу асинхрон моторнинг асосий камчиликларидан бири ҳисобланади. Механикавий характеристикани қуриш учун S ўрнига унинг турли нагрузкалардаги $S = 0 + 1$ гача бўлган қийматлари қўйилиб (10—30) дан S нинг бу қийматларига тегишли айланттирувчи моментлар аниқланади. Бу қийматларга биноан механикавий характеристикани қуришда $U_{1\phi}$ ва f_1 ўзгармас деб қабул қилинади. Айланттирувчи моментининг ишга туширишдаги $M_{\text{ишт}}$ қийматини аниқлаш учун (10—30) ифодадаги S ўрнига унинг ишга тушириш пайтидаги $S = 1$ қийматини қўйиш kifоя. Бунда $M_{\text{ишт}}$ учун қуйидаги ифода олинади:

$$M_{\text{ишт}} = \frac{3 U_{1\phi}^2 R_2^k}{\omega_1 [(R_1 + R_2^k)^2 + (X_1 + X_2^k)^2]}. \quad (10-31)$$

Айланттирувчи моментининг максимал қийматини аниқлаш учун (10—30) ифодадан $\frac{dM}{dS}$ ҳосила олиниб, уни нолга тенглаш лозим. Бунинг натижасида максимал айланттирувчи моментга тегишли сирпанишнинг қуйидаги критик қиймати аниқланади:

$$S_{\text{кр}} = \pm \sqrt{\frac{R_2^k}{R_1^2 + (X_1 + X_2^k)^2}} \approx \mp \frac{R_2^k}{X_1 + X_2^k}, \quad (10-32)$$

бунда R_1 қўймати $(X_1 + X_2^k)$ га нисбатан анча кичик бўлгани учун уни ҳисобга олинмайди. (10—30) даги S ўрнига унинг (10—32) даги критик қийматини қўйиб, айлантирувчи моментнинг қўйидаги максимал қиймати аниқланади:

$$M_{\max} = \pm \frac{3 U_{1\phi}^2}{2 \omega_1 [\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2^k)^2} \pm R_1]} \approx \pm \frac{3 U_{1\phi}^2}{2 \omega_1 [(X_1 + X_2^k) \pm R_1]}. \quad (10-33)$$

(10—32) ва (10—33) ифодалардаги мусбат ишора асинхрон машинанинг мотор ва тормоз режимларига тегишли бўлиб, бунда $S > 0$, манфий ишора эса, асинхрон машинанинг генератор режимига тегишли бўлиб, бунда $S < 0$ бўлади.

(10—30) ифодага биноан механикавий характеристикани қуриш учун R_1 , R_2^k , X_1 ва X_2' лар маълум бўлиши керак, ammo моторнинг бу параметрлари каталогларда, қўпинча, берилмайди. Шу сабабли (10—30) ифодани (10—33) ифодага бўлиб, механикавий характеристикани ҳисоблаш учун қулай бўлган қўйидаги тенглама олинади:

$$M = \frac{2 M_{\max} (1 + q)}{\frac{S}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S} + 2q}, \quad (10-34)$$

бунда $q = \frac{R_1}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2^k)^2}} = S_{\text{кр}} \frac{R_1}{R_2^k}$. Одатда, асинхрон моторлар учун $R_1 \approx R_2^k$ бўлгани учун $q = S_{\text{кр}}$ бўлади. Катта қувватли асинхрон моторларда R_1 нинг қиймати жуда ҳам кичик бўлгани учун $R_1 \approx 0$ деб қабул қилинса, у ҳолда $q = 0$ бўлади. Бунда механикавий характеристика тенгламаси яна ҳам соддалашиб қўйидагича ифодаланади:

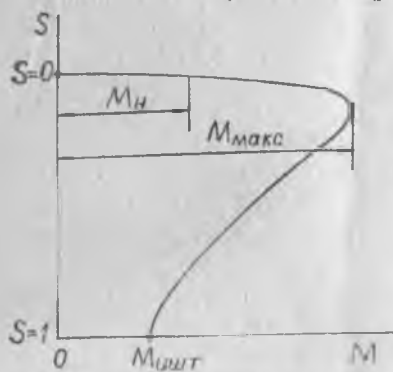
$$M = \frac{2 M_{\max}}{\frac{S}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S}}. \quad (10-35)$$

(10—35) ифодага биноан механикавий характеристикани қуриш учун $S_{\text{кр}}$ ни аниқлаб олиш кифоя. Бунинг учун (10—35) ифодадаги M ва S ўрнига уларнинг номинал қийматларини қўйиб, ундан $S_{\text{кр}}$ қийматини қўйидагича топилади:

$$S_{\text{кр}} = S_n (\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 1}), \quad (10-36)$$

бунда $\lambda = \frac{M_{\max}}{M_n}$ — асинхрон моторнинг ўта юкланиш қобилиятини характерловчи коэффициент, нормал тузилишдаги моторлар учун $\lambda = 1,8 + 2,5$ бўлади. Бу коэффициентнинг қиймати мотор каталогларида берилади;

$$M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n} \text{ Нм} = 975 \frac{P_n}{n_n} \text{ кГм} — \text{айлантирувчи момент-}$$



10—7- расм. Асинхрон моторнинг механикавий характеристикаси.

нинг номинал қиймати;
 P_n — ротор валидаги фойдали номинал қувват, кВт. Номинал қувватнинг қиймати ҳам мотор шчитида берилади;
 n_n — номинал нагрузка билан ишлаётган моторнинг номинал частотаси бўлиб, унинг $\frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ бирлигидаги қиймати ҳам мотор шчитида берилган бўлади. Айлантирувчи моментнинг максимал қиймати $M_{\text{макс}} = \lambda M_n$ бўлади.

(10—36) ифодадаги ($\pm$) ишоранинг мусбати мотор, манфийси эса генератор режимларига тегишлидир. Шундай қилиб, сирпанишга турли, яъни $S = 0 + 1$ гача қийматлар бериб, уларга тегишли айлантирувчи момент қийматлари (10—35) ифодадан осонгина аниқланади. 10—7- расмда қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторнинг (10—35) ифода асосида қурилган механикавий характеристикаси кўрсатилган.

Механикавий характеристиканинг $S = 0 + S_{\text{кр}}$ бўлаги унинг иш ёки тургун қисми, $S = S_{\text{кр}} + 1$ бўлаги эса унинг беқарор ёки тургун бўлмаган қисми дейилади. Характеристиканинг тургун қисмида ишлаётган мотор нагрузкаси берилгандагига нисбатан M_{c1} ёки M_{c2} га ўзгариб қолгудай бўлса, у ҳолда айлантирувчи моментнинг қиймати ўзгариб моментлар мувозанати, яъни $M = M_{c1}$ ёки $M = M_{c2}$ автоматик равишда тикланади.

Ҳақиқатан, механикавий характеристика ифодасига биноан нагрузка ўзгариши билан сирпаниш ҳам ўзгаради. Сирпанишнинг ўзгариши билан эса (10—20) ифодага биноан ток $I_{\text{к}}$ қиймати ва, демак, айлантирувчи момент қиймати автоматик равишда ўзгаради. Агар нагрузка, яъни қаршилик momenti M_c нинг қиймати айлантирувчи моментнинг $M_{\text{макс}}$ қийматидан бир оз ортиб кетгудай бўлса, у ҳолда механикавий характеристикага биноан частота табиий равишда пасаяди. Бунда моторнинг айлантирувчи momenti кўпайиш ўрнига камайиб қолади ва натижада моментлар мувозанати тиклана олмай, мотор ўз-ўзидан тўхтаб қолади.

Демак, нагрузканинг қаршилик momenti тасодифан ҳаддан ташқари катта қийматга эга, яъни $M > M_{\text{макс}}$ бўлиб қолса, у ҳолда асинхрон мотор автоматик равишда тўхтаб, шу билан бирга ўз-ўзини ҳимоялаб қолади. Асинхрон моторнинг бу хўсусияти унинг афзалликларидан бири ҳисобланади. Айлантирувчи мо-

ментнинг қиймати $M \approx U_{1\phi}^2$ бўлгани, электр тармоғидаги кучланиш $U_{1\phi}$ нинг қиймати эса $5 + 10\%$ га ўзгариб туриши сабабли асинхрон моторнинг каталогда берилган $M_{\text{макс}}$ қийматини амалий ҳисоблашларда $0,8$ коэффицентига қўпайтириб, унинг қисқа вақт давомида номиналга нисбатан ортиқроқ нагрузка билан ишлаш қобилияти, яъни $M'_{\text{макс}} = 0,8 M_{\text{макс}} = 0,8 (1,8 + 2,5) M_n$ аниқланади. Асинхрон мотор айлантирувчи моментининг $M_{\text{макс}}$ қиймати ротор занжиридаги актив қаршиликка боғлиқ эмас, аммо критик сирпанишнинг қиймати R_2^k га тўғри пропорционал. Ўртача қувватли қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторлари учун $S_{\text{кр}} = 0,12 + 0,2$ бўлиб, катта қувватлиларда $S_{\text{кр}} = 0,04 + 0,05$ бўлади. Ротор чулғамига ташқи қаршилик киритилмаган фаза роторли моторлар учун $S_{\text{кр}} = 0,08 + 0,3$ бўлади.

10—7. Асинхрон моторни ишга тушириш

Асинхрон моторнинг ишга тушириш токи ифодаси (10—20) даги S ўрнига унинг $S = 1$ қийматини қўйиб қуйидагича аниқланади:

$$I_{\text{ишт}} = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{(R_1 + R_2^k)^2 + (X_1 + X_2^k)^2}} \quad (10—37)$$

Қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторларнинг ишга тушириш токи $I_{\text{ишт}} = (5 + 8) I_n$ бўлиб, унинг нисбий қиймати $\frac{I_{\text{ишт}}}{I_n}$ мотор каталогларида берилади. Ишга тушириш токи катта бўлишига қарамай, асинхрон моторнинг ишга тушириш моменти нисбатан кичик, яъни $M_{\text{ишт}} = (1 + 2) M_n$ ни ташкил қилади. Ишга тушириш моментининг ток сингари катта қийматга эга бўлмаслигини айлантирувчи моментнинг қуйидаги (10—38) ифодасидан тушуниш мумкин. Асинхрон моторнинг 10—4- расмда кўрсатилган векторий диаграммасига биноан $I_2^k \frac{R_2^k}{S} = E_2^k \cos \psi_2$.

Бу ифодадан аниқланган $\frac{R_2^k}{S}$ қийматини (10—29) дагига қўйиб қуйидаги олинади:

$$M = \frac{m I_2^k}{\omega_1} E_2^k \cos \psi_2.$$

Аммо $E_2^k = E_1 = 4,44 k_{\text{ч1}} W_1 f_1 \Phi_m$ бўлгани учун айлантирувчи момент учун қуйидаги ифода олинади:

$$M = \frac{m I_2^k}{\omega_1} 4,44 k_{\text{ч1}} W_1 f_1 \Phi_m \cos \psi_2 = k_m \Phi_m I_2^1 \cos \psi_2 H_m, \quad (10-38)$$

бунда $k_m = \frac{m \cdot 4,44 k_{\text{ч1}} W_1 f_1}{\omega_1} = \text{const}$ — момент доимийси; $I_2^k \cos \psi_2$ — ротор токининг актив қисми.

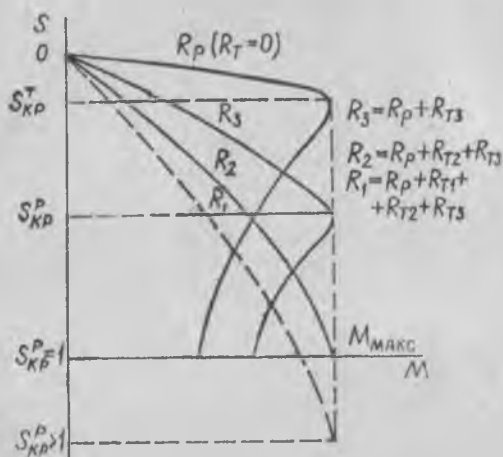
Демак, асинхрон моторнинг айлантирувчи моменти ҳам узгармас ток моториники сингари ифодаланиб, магнитавий оқим ва токнинг актив қисми билан аниқланади. Ишга тушириш пайтида $S = 1$ бўлгани сабабли ротор индуктив қаршилигининг максимал қиймати $X_{2\text{ макс}} = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi f_1 L_2$ да момент ифодасидаги $\cos \psi_2$ ўзининг минимал қийматига эга. Шу сабабли $M_{\text{ишт}}$ нинг қиймати M_n га яқинроқдир. Бу эса асинхрон моторнинг камчилигидир. Ҳақиқатан, $M_{\text{ишт}} = M_n$ бўлса, номинал нагрузка билан асинхрон моторни ишга тушириш имкони умуман бўлмайди. Мотор каталогларида $\frac{M_{\text{ишт}}}{M_n}$ қиймати ҳам берилади.

10—8. Фаза роторли асинхрон моторни ишга тушириш

Турли машина ва механизмларни ҳаракатга келтириш учун, иложи борича, қисқа туташтирилган роторли моторлар танлаш тавсия қилинади. Фаза роторли моторларнинг эса тузилиши мураккаброқ, нархи қимматроқ бўлгани учун уларни фақат частотаси ростланадиган баъзи кранларда, прокат станларида, пресс ва маховикли қурилмаларда қўллаш мақсадга мувофиқдир.

Бундай моторларнинг максимал моменти $M_{\text{макс}} = 1,5 \div 3,5 M_n$ бўлиб, уларнинг ишга тушириш токи махсус резистор билан чегараланади. Бу резистор бир неча поғона актив қаршиликлардан иборат бўлиб, моторни ишга туширишда бу қаршиликлар ротор занжирига киритилган бўлиши лозим. Мотор айланиш частотасининг ортиб бориши билан қаршилиқ поғоналари ротор занжиридан чиқариб борилади. Ротор занжирига киритиладиган ташқи актив қаршилиқни кўпайтириш билан $S_{\text{кр}}$ нинг қиймати (10—32) ифодага биноан ортиб боради. Бунда $M_{\text{макс}}$ нинг қиймати ўзгармай, $S_{\text{кр}}$ нинг кўпайиши томон сурила бошлайди (10—8- расм). Ротор занжирдаги актив қаршилиқни $R_2^k = X_1 + X_2^k$ гача кўпайтириб борилса, ишга тушириш токи $I_{\text{ишт}} \approx 2 \div 2,5 I_n$ гача камайиб, ишга тушириш моментининг қиймати эса айлантирувчи моментнинг максимал қийматигача ортиб боради.

Демак, $R_2^k = X_1 + X_2^k$ бўлганда $S_{\text{кр}} = 1$ бўлиб, $M_{\text{ишт}} = M_{\text{макс}}$ бўлади. Агар R_2^k қийматини $R_2^k > X_1 + X_2^k$ қилиб, уни яна кўпайтириб борилса, у ҳолда $I_{\text{ишт}}$ қийматининг камайиши билан



10—8- расм. Асинхрон моторнинг резистор характеристикалари.

сий афзалликларидан ҳисобланади. Фаза роторли моторнинг иши резисторли характеристикадан табиий характеристикага ўтказилганда, у худди қисқа туташтирилган роторли мотор сингари ишлай бошлайди. 10—8- расмда келтирилган механикавий характеристикаларнинг иш қисми тўғри чизиққа яқин бўлгани учун ротор занжирига киритиладиган резистор погоналари қаршилигини параллел қўзғатишли ўзгармас ток моториники сингари графикавий усулда аниқлаш мумкин. Координаталари, масалан, $S = 0$; $M = 0$ ва $M = M_n$; $S = S_n$ бўлган икки нуқтани туташтириш билан асинхрон моторнинг табиий характеристикаси олинади. Фаза роторли моторни ишга туширишда, яъни $S = 1$ бўлганда $I_{шт} = I_{2н}$ ва $M_{шт} = M_n$ бўлса, ротор занжиридаги актив қаршилик ўзининг номинал қиймати $R_{2н}$ га тенг бўлади. Бунда қуйидаги пропорцияни тузиш мумкин, яъни $\frac{R_2}{R_{2н}} = \frac{M_n}{M} S$. Агар $M = M_n = \text{const}$ бўлса, $\frac{R_2}{R_{2н}} = S$ бўлади. Демак, ротор занжиридаги актив қаршиликнинг нисбий бирликдаги миқдорини сирпаниш билан аниқлаш мумкин. Моторнинг номинал қаршилиги эса қуйидагича аниқланади:

$$R_{2н} = \frac{E_{2н}}{\sqrt{3} I_{2н}},$$

бунда $E_{2н}$ — узук занжирли ротор чулгамининг икки фазаси орасидаги э. ю. к.;

$I_{2н}$ — роторнинг номинал токи. Моторнинг $E_{2н}$ ва $I_{2н}$ қийматлари каталогда берилган бўлади.

Ишга тушириш токини номинал ток қиймати $I_{2н}$ гача чега-

$M_{шт}$ ҳам камайиб боради (10—8- расм). 10—8- расмда кўрсатилган резистор характеристикаларнинг сони ротор занжиридаги ишга тушириш резисторининг погоналар сонига тенг қилиб олинган. Шундай қилиб, ротор занжиридаги актив қаршиликни ўзгартириш билан ишга тушириш токи ва моментини осонгина ўзгартириш ҳамда турли резисторли механикавий характеристикаларга эга бўлиш имкони фаза роторли моторнинг асо-

раловчи ротор занжирининг тула актив қаршилиги фаза роторли моторнинг номинал қаршилиги деб аталади ва $R_{2н}$ билан белгиланади. Демак, ротор чулғамининг ҳар бир фазасидаги актив қаршиликнинг қиймати $R_p = S_n R_{2н}$ бўлади. Резистор поғоналарининг қаршиликлари ҳам ишга тушириш графигидан фойдаланиб, юқоридаги ифода асосида аниқланади.

10—9. Қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторни ишга тушириш

Қисқа туташтирилган роторли моторни электр тармоғига бевосита улаб ҳам ишга тушириш мумкин. Бунда мотор, жуда оз вақт бўлса ҳам, қисқа туташтириш режимида $I_{ишт} = (5 + 10) I_n$ токи билан ишлайди. Бу токнинг қиймати жуда қисқа вақт ичида нагрузка токи қийматигача пасайганлиги сабабли унинг мотор учун хавфи бўлмайди. Лекин бундай моторларнинг электр тармоғига уланиш сони катта бўлса, мотор $I_{ишт}$ токи таъсирида ҳаддан ташқари қизиб кетиши мумкин. Шунга кўра электр тармоғига уланиш сони катта бўлган ҳолларда қисқа туташтирилган роторли моторларни қўллаш тавсия этилмайди. Катта қувватли моторларни ишга туширишда $I_{ишт}$ нинг таъсири билан электр тармоғидаги кучланиш U нинг қиймати сезиларли даражада камайиб кетиши мумкин. Бунда, M нинг U^2 га пропорционаллиги сабабли электр тармоққа уланиб, маълум нагрузка билан ишлаб турган бошқа асинхрон моторларнинг баъзилари ўз-ўзидан тўхтаб қолиши, кучланиш тикланиши билан эса уларнинг яна айланиб кетиш хавфи бўлади. Демак, айрим ҳолларда, моторни энг оддий усул, яъни уни бевосита электр тармоғига улаш билан ишга туширишнинг имкони бўлмайди. Қисқа туташтирилган роторли моторни бевосита электр тармоққа улаб ишга туширишда $P_m \leq 0,25 P_{tm}$ бўлиши лозим, бунда P_m — моторнинг қуввати; P_{tm} — электр тармоғидаги таъминловчи трансформаторнинг қуввати.

Ҳозирги пайтда электр тармоқларидаги қувват жуда катта қийматга эгалиги учун бир неча минг кВт ли моторларни ҳам бевосита ишга тушириш мумкин. Қишлоқ хўжалиги ва қурилишларда эса нисбатан кичик қувватли ток манбалари ҳам бўлади. Агар қисқа туташтирилган роторли моторни электр тармоғига бевосита улаб ишга тушириш имконияти бўлмаса, моторнинг ишга тушириш токи қиймати қуйидаги усуллар билан камайтирилади.

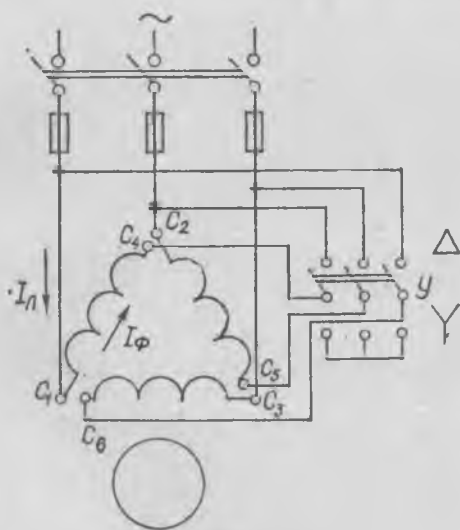
1. Қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторни юлдуз схемадан учбурчакли схемага ўтказиб ишга тушириш. Моторда учбурчаклик ёки юлдуз схеманинг қўлланилиши статор чулғамининг фаза кучланишига ва электр тармоғидаги фазалараро кучланиш қийматига боғлиқ бўлади. Масалан, тармоқдаги кучланиш 380 В бўлиб, мотор паспортда берилган кучланиш 220/380 В, яъни унинг фазаси

220 В кучланишга ҳисобланган бўлса, бу моторни юлдуз схемада улаш керак. Бунда унинг фазасига $U_{\phi} = \frac{U_{\Delta}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1,73} = 220 \text{ В}$, яъни нормал кучланиш берилади. Агар моторнинг фазаси 380 В кучланишга ҳисобланган бўлиб, электр тармоғидаги кучланиш ҳам 380 В бўлса, бундай моторни учбурчаклик схемада улаш керак. Агар учбурчаклик схемада уланиши лозим бўлган моторни юлдуз схемада улаб ишга туширилса, унинг фазасига нормал кучланишга нисбатан $\sqrt{3}$ марта кам кучланиш берилган бўлади. Натижада, электр тармоғидан моторга берилаётган токнинг I_{Δ} қиймати, учбурчаклик схемадагига нисбатан уч марта камаяди. Ишга тушириш токининг уч марта камайтирилиши сабабли электр тармоғидаги кучланишнинг пасайиши ҳам сезиларли бўлмайди. Юлдуз схемада ишга туширилган мотор токнинг уч марта камайишига сабаб қуйидагидан иборат бўлади. Ом қонунига биноан $I_{\Delta}^Y = I_{\phi}^Y = \frac{U_{\Delta}}{\sqrt{3} Z_{\phi}}$ бўлади, бунда $I_{\Delta}^Y = I_{\phi}^Y$ — юлдуз схема билан уланган моторнинг линия ва фаза токлари; Z_{ϕ} — статор чулғамининг фаза қаршилиги. Учбурчаклик схема учун эса $I_{\Delta}^{\Delta} = \sqrt{3} I_{\phi}^{\Delta} = \sqrt{3} \frac{U_{\Delta}}{Z_{\phi}}$ бўлиб, $\frac{I_{\Delta}^Y}{I_{\Delta}^{\Delta}} = \frac{U_{\Delta} \cdot Z}{U_{\Delta} \cdot Z_{\phi} \cdot 3} = \frac{1}{3}$

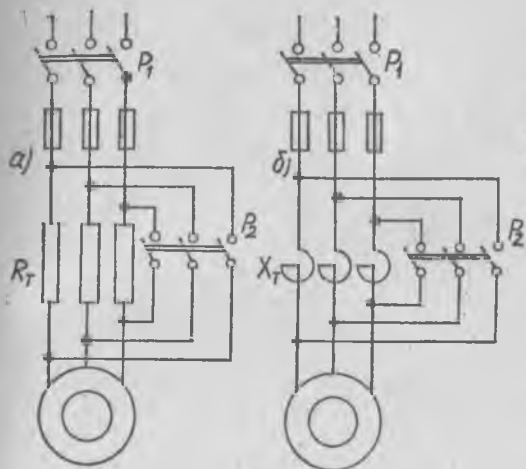
бўлади. Бунда айлантирувчи момент ва қувват нисбатлари ҳам $\frac{M^Y}{M^{\Delta}} = \frac{1}{3}$; $\frac{P^Y}{P^{\Delta}} = \frac{1}{3}$ бўлади.

Демак, бу усул билан моторни фақат салт иш режимида ёки $M = (0,3 \div 0,4) M_n$ бўлган нагрукларда ишга тушириш мумкин. 10—9- расмда моторни алмашлаб улагич у билан юлдуз схемадан учбурчаклик схемага ўтказиб ишга тушириш кўрсатилган. Ишга тушириш процесси тугаши билан мотор учбурчаклик схемага ўтказилади.

Ҳозирги пайтда бу усулдан кенг фойдаланиш мақсадида фаза кучланиши 380 вольтга ҳисобланган ва, демак, нормал иш режимида, 380 вольтли электрик тармоғига

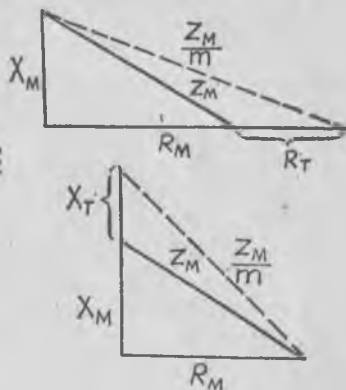


10—9- расм. Асинхрон моторни юлдуз схемасидан учбурчаклик схемасига ўтказиб ишга тушириш.



10—10- расм. Қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторни:

a — актив R_T ; *b* — индуктив X_T қаршиликлари воситасида ишга тушириш схемалари.



10—11- расм. Асинхрон моторни ишга туширишдаги ташқи актив R ва индуктив X қаршиликлари қийматини аниқлаш диаграммалари.

учбурчаклик схемада уланадиган, керак бўлганида эса юлдуз схемада ишга тушириладиган моторлар кўплаб ишлаб чиқарилоқда.

2. Қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторни унинг статор чулғамига актив ёки индуктив қаршиликларни кетма-кет киритиб ишга тушириш. 10—10- расм, *a* ва *b* ларда моторни актив R_T ва индуктив X_T қаршиликлар билан ишга тушириш схемаси кўрсатилган. Бунда электр тармоғидаги кучланишнинг маълум қисми R_T ёки X_T қаршиликларга ўтиб, қолган қисми статор чулғамига берилади. Натижада, ишга тушириш токи ва моменти бирмунча камаяди. Ишга тушириш процесси тугаши билан, рубильник P_2 ни беркитиб, моторга нормал, яъни тўла кучланиш берилади. Бунда мотор ўзининг табиий характеристикасига ўтиб ишлай бошлайди. Ишга тушириш токини бевосита улашдагига нисбатан m , моментини эса n марта камайтириш учун статор чулғамига киритиладиган R_T ёки X_T қаршиликлари қуйидагича аниқланади. $M \equiv U^2$ бўлгани учун $n = m^2$, яъни момент токнинг қийматига нисбатан кўпроқ камаяди. Ҳақиқатан, $m = 0,7$ бўлса, $n = 0,49$ бўлади.

10—11- расмда кўрсатилган графиклардан мотор токини m марта камайтирувчи R_T ва X_T қаршиликлар қуйидагича аниқланади:

$$R_T = \sqrt{\left(\frac{Z_M}{m}\right)^2 - X_M^2} - R_M$$

$$X_T = \sqrt{\left(\frac{Z_m}{m}\right)^2 - R_m^2} - X_m,$$

бунда $\frac{Z_m}{m}$ — моторнинг ишга тушириш токини m марта камай-тириш учун керак бўлган тўла қаршилиқ;

$R_m = R_1 + R_2^k$, $X_m = X_1 + X_2^k$ — моторнинг актив ва индуктив ички қаршилиқлари.

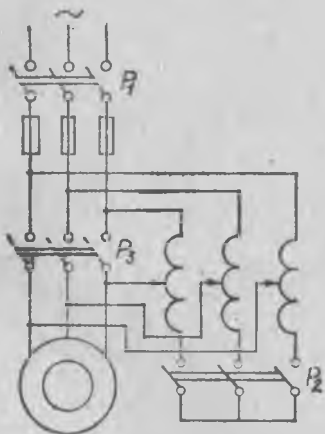
Шунга ўхшаш, ишга тушириш моментини n марта камай-тириш учун керак бўлган ташқи R_T ва X_T қаршилиқлари қуйи-дагича аниқланади:

$$R_T = \sqrt{\frac{Z_m^2}{n} - X_m^2} - R_m, \quad X_T = \sqrt{\frac{Z_m^2}{n} - R_m^2} - X_m.$$

Салт иш режимида ёки кичик нагрузка билан ишга туширила-диган катта қувватли ва паст кучланишли моторларнинг $I_{шт}$ ни камайтириш мақсадида актив R_T қаршилигидан, юқори кучла-нишли моторларда эса индуктив X_T қаршилиги (реактор) дан фойдаланилади. Моторнинг ишга тушириш токини чегараламай, фақат моментини камайтириш лозим бўлса, статорнинг бир фазасига R_T ни киритиш kifoya. Бу оддий ва тежамли усулни кичик ва ўрта қувватли станок, кран ва транспорт механизм-ларидаги моторларга қўллаш тавсия қилинади.

3. Қисқа туташтирилган роторли асинхрон мо-торни автотрансформатор билан ишга тушириш. 10—12- расмда асинхрон моторни автотрансформатор билан ишга тушириш схемаси кўрсатилган. Бунда моторни рубильник, P_1 билан электр тармоғига улашдан аввал, P_2 берк, P_3 эса узук ҳолда бўлиши керак. Натижада статор чулғамига авто-

трансформаторнинг трансформация коэффиценти k_a марта қадар ка-майтирилган кучланиш берилади. Бунда моторнинг ишга тушириш токи, автотрансформаторнинг мотор уланган иккиламчи чулғамида k_a марта камайса, электр тармоғига уланган бирламчи чулғамида k_a^2 марта камаяди. Шунга кўра, ишга тушириш моментининг қиймати ҳам k_a^2 марта камаяди. Моторни ишга тушириш процесси бошлангандан сўнг, P_2 рубильниги очилади. Бун-да автотрансформатор статор чулға-мига кетма-кет уланган реакторга айланади. Натижада статор чулға-мига берилган кучланиш қиймати автотрансформатордагига нисбатан бир оз кўпаяди. Айланмиш частота-



10—12- расм. Асинхрон мотор-ни автотрансформатор во-ситасида ишга тушириш схемаси.

сининг орғиб бориши билан P_3 рубильник беркитилади ва мотор номинал кучланиш билан табийй характеристикага утиб ишлай бошлайди.

Демак, моторни автотрансформатор билан ишга тушириш қуйидаги уч босқичда амалга оширилади: биринчи босқичда, статор чулғамига $U_{1-1} = (0,5 + 0,7) U_n$, иккинчида $U_{1-2} = (0,7 + 0,8) U_n$, учинчи босқичда $U_{1-3} = U_n$, яъни тўла кучланиш берилади.

Шундай қилиб, моторни автотрансформатор билан ишга туширишда статор чулғамидан утадиган токнинг қиймати, реактор ва актив қаршиликни улаш усулларидаги ток қийматига тенг бўлса ҳам, лекин электр тармоғидаги ток қиймати, уларга нисбатан k_a марта кам бўлади. Бу унинг асосий афзаллигидир. Аммо бу усул билан моторни ишга тушириш анча қимматга тушади. Шунинг учун моторни автотрансформатор билан ишга тушириш усулидан ишга тушириш моменти берилган қийматгача камайтирилганида, юқоридаги усуллар билан электр тармоғидаги токнинг қиймати етарлича камайтирилмаган тақдирдагина ва катта қувватли юқори кучланишли моторлардагина фойдаланилади.

Қисқа туташтирилган роторли моторлардаги $I_{ншт}$ токининг камайиши билан $M_{ншт}$ нинг ҳам камайиши, баъзи механизм, масалан, ип йигирув ёки қоғоз тайёрлаш машиналари талабига жуда қўл келса, катта қийматли $M_{ншт}$ билан ишга тушириладиган механизмлар талабини қондира олмайди. Бунда ишга тушириш токи кичик, моменти эса катта бўлган махсус қисқа туташтирилган роторли моторлардан фойдаланилади.

10—10. Асинхрон моторнинг генератор ва электромагнитавий тормоз режимлари

Асинхрон моторлари ҳам бошқа электр машиналари каби генератор ва тескари уланиш ҳамда электродинамик тормоз режимларида ишлайди.

Асинхрон генератор. Агар статор чулғами уч фазали электр тармоғига уланган асинхрон машина роторини бирламчи мотор ёрдамида синхрон частота n_1 га нисбатан $3 + 5\%$ юқори частота n_2 билан айлантирилса, бундай машина асинхрон генератор режимида ишлай бошлайди. Бунда асинхрон машина роторига бирламчи мотор томонидан берилган механикавий энергия электр энергиясига айланиб, унинг статори орқали электр тармоғига узатилади.

Асинхрон машинанинг генератор режимида $n_2 > n_1$ бўлган сабабли унинг сирпаниши манфий, яъни $S = \frac{n_1 - n_2}{n_2}$ бўлади. Бундай машина генератор режимида айланувчи магнитавий майдон ҳосил қилиши учун электр тармоғидан статорга реактив энергия утиб, унда ҳосил булган актив энергия эса тармоққа

узатилади. Шу сабабли асинхрон генератор электр тармоғидаги қувват коэффициентини кескин камайтиради. Бу унинг асосий камчилиги ҳисобланади.

Асинхрон машинанинг генератор режимидан, кўпинча авто-трактор моторларини чиниқтириш стендларида фойдаланилади. Бу стенда автотрактор мотори, даставвал, ёқилғи бериб ишга туширилмайди, балки асинхрон мотор билан маховик сингари айлантирилади ва сўнгра унга ёқилғи берилиб аста-секин ишга туширилади. Натижада автотрактор моторининг частотаси асинхрон моторнинг частотасига яқинлаша боради. Бунда асинхрон моторнинг айлантирувчи моменти камайиб боради ва автотрактор моторининг n_2 частотасини синхрон частотаси n_1 гача кўпайтирилганда, асинхрон машина электр тармоқдан актив энергия олмай, фақат реактив энергия олиб ишлайди. Сўнгра $n_2 > n_1$ бўлиши билан асинхрон машина генератор режимга ўтади. Бунда асинхрон машинада ҳосил бўлган электромагнитавий момент автотрактор моторининг айлантирувчи моментига тескари бўлади. Демак, асинхрон машина автотрактор моторига нагрузка бўлиб, унинг механикавий энергиясини электр энергиясига айлантиради ва бу актив энергияни ўзи уланган электр тармоғига узатиб ишлайди.

Асинхрон моторнинг тескари уланиш режими. Асинхрон моторнинг бу режимдан кран билан юк тушириш, маълум бир томонга айланиб турган моторни реверслаш ёки уни тез тўхтатишда фойдаланилади. Бунда мотор ўзининг уланишига нисбатан тескари бўлган томонга айланади. Шунга кўра, бу режимда $S \gg 1$ бўлиб, ротордаги э. ю. к. нинг қиймати унинг қўзғалмас ҳолатидагига нисбатан юқори бўлади. Шу сабабли роторда ҳосил бўлган токнинг қиймати ҳам катта бўлиб, уни ташқи қаршилик билан камайтириш зарурати туғилади.

Ишлаб турган моторни тескари уланиш режимига ўтказиш учун, статорнинг икки фазаси ўринларини ўзаро алмаштириб, уларни яна шу электр тармоғига улаш кифоя (10—13- расм). Бунда фаза роторли моторнинг ротори занжирига, ишга тушириш қаршилигидан ташқари, қўшимча актив қаршилик ҳам киритилади.

Моторнинг бу режимда ишлаши ва механикавий характеристикаси параллел қўзғатишли ўзгармас ток моториники сингари бўлади.

Асинхрон моторнинг тескари уланиш режимида ҳам инерция кучи таъсирида айланувчи қисмларининг кинетик энергияси ёки туширилаётган юкнинг потенциал энергияси электр энергиясига айланиб, ротор занжири қаршиликларининг қизишига сарфланади. Бунда мотор электр тармоғидан энергия олиб, бу энергия ротор занжири қаршиликларининг қизишига сарфланади.

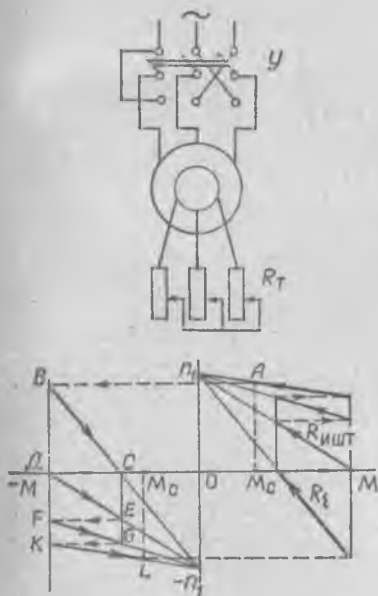
Асинхрон моторнинг электродинамик тормозланиш режими. Моторни тез ва аниқ тўхтатишда электродинамик тормозлаш режими анча кенг тарқалган. Бу режимда ишлаб

турган мотор статорини электр тармоғидан алмашлаб улагич у орқали ажратиб, унинг икки фазасига ўзгармас ток бериш керак (10—14- расм).

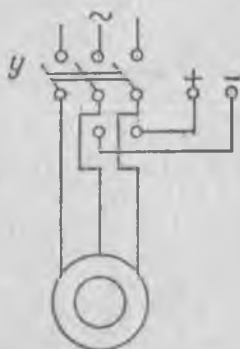
Бунда ротор инерция кучлари таъсирида ўз айланишини давом эттириб, статордаги ўзгармас токдан ҳосил бўлган қўзғалмас магнитавий майдонни кесиб ўта бошлайди, натижада ротор чулғамида э. ю. к. ва, демак, унинг берк занжирида ток ҳосил бўлади. Бу ток билан статордаги магнитавий майдоннинг ўзaro таъсири натижасида роторнинг айланишига тескари бўлган момент ҳосил бўлади. Бу момент таъсирида мотор частотаси тезда камайиб бориб, у худди ўзгарувчан частотали синхрон генератор каби ишлай бошлайди. Тормозлаш моменти M_T нинг қиймати статорга бериладиган ўзгармас токка, ротор занжирининг актив қаршилиғига ва моторнинг бошланғич частотаси қийматларига боғлиқдир (10—15- расм).

Электродинамикавий тормозлаш режимида юлдуз схема бўйича уланган статор чулғамига бериладиган ўзгармас токнинг қиймати $I_y = 1,223 I_\phi$ бўлади, бунда I_ϕ — статор чулғамидаги фаза токининг номинал қиймати. Учбурчаклик схемада эса $I_y = 2,12 I_\phi$ бўлиши лозим. Фаза роторли мотор учун тормозлаш процессини тезлаштириш мақсадида ротор занжирига киритилган қўшимча қаршилик поғоналарини ундан кетма-кет чиқариш керак (10—15- расм).

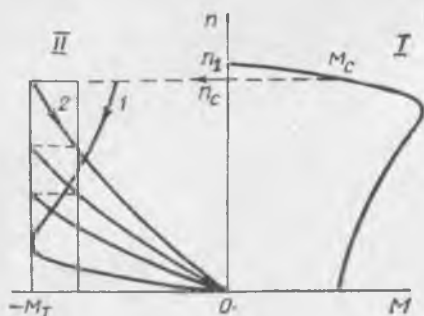
10—15- расмда асинхрон моторнинг электродинамикавий тормозлаш режимидаги механикавий характеристикалари кўрсатилган. Бунда I — ротор занжирига ташқи қаршилик киритилмагандаги



10—13- расм. Асинхрон моторни тескари уланиш режимида ўтказиш схемаси.



10—14- расм. Асинхрон моторни электродинамикавий тормозлаш режимида ўтказиш схемаси.



10—15- расм. Асинхрон моторнинг электродинamik тормозлаш режимидаги характеристикалари.

механикавий характеристика; 2 — уч поғонали қаршиликка тегишли механикавий характеристика.

Асинхрон моторларни ўз-ўзини қўзғатиш принципида асосланган электродинamik-вий усул билан тормозлаш ҳам мумкин. Бунда статорга конденсатор батареялари уланади. Моторнинг нормал режимида конденсатор батареялари $\cos \varphi$ ни оширади. Мотор тармоқдан ажратилиши билан у ўз-ўзини қўзғатадиган генератор режимида ўтиб ишлай бошлайди.

Конденсатор батареялари анча қиммат бўлгани учун бу усул билан тормозлашдан амалда кам фойдаланилади.

10—11. Асинхрон моторнинг иш характеристикалари

$U_1 = U_n$ ва $f_1 = f_n$ деб олиниб ҳамда уларнинг ўзгармас миқдорларида ҳосил қилинган n ёки S , M_2 , $\cos \varphi_1$, I_1 ва $\eta = f(P_2)$ боғланишлар асинхрон моторнинг иш характеристикалари дейилади. 10—16- расмда асинхрон моторнинг иш характеристикалари кўрсатилган.

Мотор валидаги частота $n_2 = n_1(1 - S)$ бўлиб, $S = \frac{P_{\text{м.рот}}}{P_{\text{эл}}}$ бўлгани учун салт иш режимида ротор чулғамининг қизишига сарфланган қувват исрофининг $P_{\text{м.рот}} \approx 0$ деб қабул қилинса, у ҳолда $S \approx 0$; $n_2 \approx n_1$ бўлади. Нағрузканинг номинал қийматида $S_n = \frac{P_{\text{м.рот}}}{P_{\text{эл}}} = 0,01 + 0,06$ бўлиб, $n_{2n} = n_1(1 - S_n)$ бўлади. $M_2 = 9550 \frac{P_{\text{эл}}}{n_2}$, $M = M_0 + M_2$ ва $n_2 \approx \text{const}$ бўлгани учун айлантирувчи моментнинг ўзгариши мотор валидаги қувватга пропорционал бўлади. Моторнинг магнитлантирувчи токининг қиймати $I_0 \approx (0,25 + 0,35) I_{1n} \approx \text{const}$. Шу сабабли салт иш режимида $\cos \varphi_1 \approx 0,2$ бўлиб, нағрузканинг номиналга яқин қийматида эса у ўзининг энг юқори қиймати, яъни $\cos \varphi_1 = 0,7 + 0,9$ га эришади. Нағрузканинг номинал ва ундан катта қийматларида S ва, демак, $X_2 S$ нинг кўпайиши сабабли $\cos \varphi_1$ камаяди. Демак, юқори қувват коэффициентига эришиш учун моторни тўғри танлаш ва уни номиналга яқин нағрузка билан ишлатиш зарур.

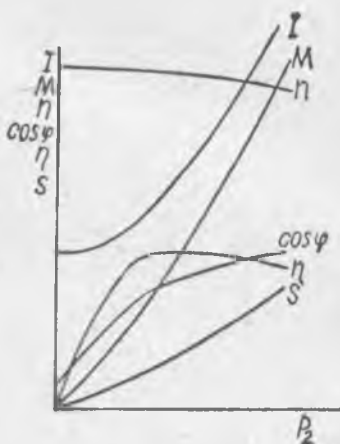
Статор чулғамидаги ток I_1 нинг ўзгариши M нинг ўзгариши сингари бўлиб, фойдали иш коэффициентининг ўзгариши эса 10—16- расмда кўрсатилганидек бўлади. Қуввати кичик асин-

хрон мотор иш характеристикалари-ни нагрузка тажрибаси билан олиш мумкин. Катта қувватли моторлар-нинг иш характеристикалари улар-нинг айлана диаграммаларидан фой-даланиб қурилади.

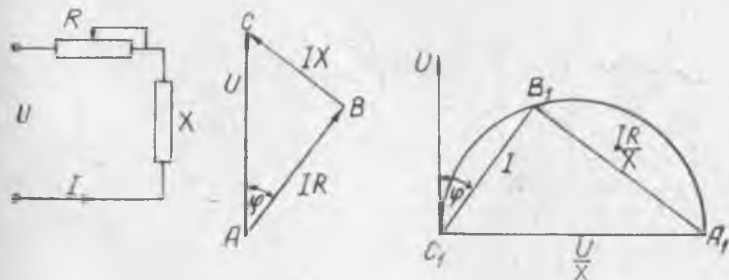
10—12. Асинхрон моторнинг айлана диаграммаси

10—17- расмда асинхрон мотор-нинг айлана диаграммасини тушун-тиришга онд схема ва диаграмма-лар кўрсатилган.

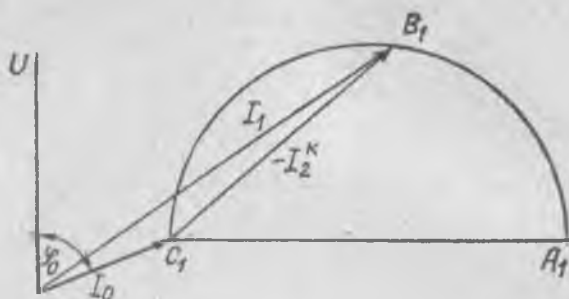
Агар актив қаршилиги R рост-ланадиган, индуктив қаршилиги X эса ўзгармас бўлган занжирдан ўзгарувчан ток I ўтказилса, у ҳолда бу занжирдаги кучланиш вектори U нинг қиймати IR ва IX векторларнинг геометрик йиғинди-сига тенг бўлади. Бу кучланиш векторларини X га бўлиб ва улар-ни соат стрелкасининг йўналишига тескари томон 90° га буриб, ток векторининг 10—17- расмда кўрсатилган тоқлар айланаси олинади. Бунда B_1C_1 категи ток вектори I ни, C_1A_1 гипотенуза эса ўзгармас $\frac{U}{X}$ миқдорни ифодалайди. Агар $R=0+\infty$ чега-расида ўзгаради деб қабул қилинса, у ҳолда ток векторининг қиймати $\frac{U}{X}$ дан юлгача ўзгаради. Бунда ток векторининг охи-ри $\frac{U}{X}$ диаметри билан айлана чизади (назарий электротехника курсига қаранг). Бу айлана тоқлар айланаси дейилади. Демак, асинхрон моторнинг 10—5- расмда кўрсатилган Г- симон экви-валент схемаси асосида унинг учун ҳам айлана диаграмма ту-зиш мумкин бўлади. Бунда асинхрон моторнинг айлана диа-граммаси магнитланиш контури учун тузилган векторий



10—16- расм. Асинхрон моторнинг иш характеристика-лари.

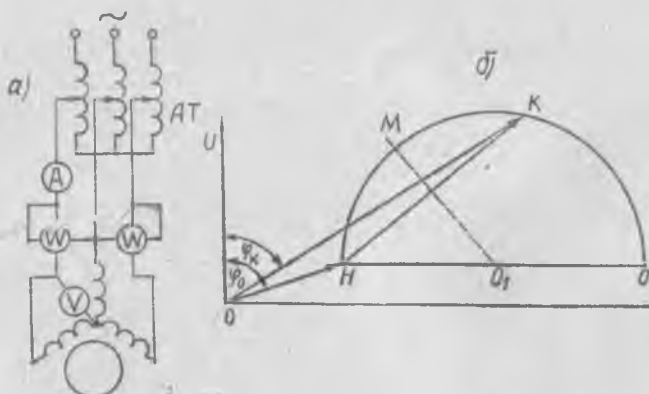


10—17- расм. Асинхрон моторнинг айлана диаграммасига онд схема ва диаграммалар.



10—18- расм. Асинхрон моторнинг айлана диаграммаси.

диаграмма билан тоқлар айланасидан иборат бўлади. Ҳақиқатан, эквивалент схемадаги ўзаро параллел уланган магнитланиш ва иш занжирларига ўзгармас кучланиш U берилади. Бунда $\bar{I}_1 = \bar{I}_0 + (-\bar{I}_2^k)$ бўлиб, I_0 вектори кучланиш векторига нисбатан φ_0 бурчакка бурилган. Асинхрон моторнинг эквивалент схемадаги иш занжири ўзгарувчан актив $(R_1 + \frac{R_2^k}{S})$ ва ўзгармас индуктив $(X_1 + X_2^k)$ қаршиликлардан иборат бўлиб, ундан I_2' тоқи ўтади. Бу ток учун юқоридаги сингари тоқлар айланасини тузиш мумкин. I_0 векторининг боши билан $-I_2^k$ векторининг охири бирлаштириб асинхрон моторнинг айлана диаграммаси ва ундан моторнинг электр тармоғидан олаётган I_1 тоқи аниқланади. 10—18-расмда асинхрон моторнинг айлана диаграммаси кўрсатилган.



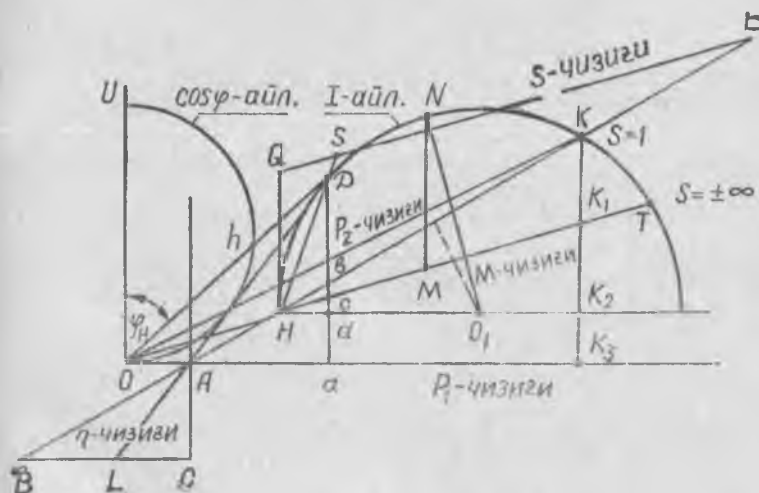
10—19- расм. Асинхрон моторнинг:

а — салт ишлаш ва қисқа туташмиш тажрибаларининг схемаси; б — айлана диаграммасини қуриш.

Асинхрон моторнинг айлана диаграммасини қуриш учун унинг салт иш ва қисқа туташиш тажрибаларидан олинган параметрларидан фойдаланилади. Салт иш тажрибасидан P_0 , $U_0 = U_n$ ва I_0 лар аниқланиб, улардан $\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{m U_{нф} I_{нф}}$ топилади. Қисқа туташиш тажрибасидан эса P_k , $I_k = I_n$ ва U_k аниқланиб, улардан $\cos \varphi_k = \frac{P_k}{m U_{кф} I_{нф}}$ топилади. Бу тажрибаларни ўтказиш схемаси 10—19- расм, а да кўрсатилган. Қисқа туташиш тажрибаси учун керак бўлган паст кучланиш автотрансформатор АТ билан олинади. Бунда мотор ротори тормозлаб қўйилади. Бу тажриба паст кучланишда ўтказилиши сабабли қисқа туташиш режимидаги ҳақиқий параметрлар қуйидагича ҳисобланади:

$$I_{k1} = I_k \frac{U_n}{U_k}; \quad P_{k1} = P_k \left(\frac{U_n}{U_k} \right)^2.$$

Бунда I_{k1} токи моторни ишга туширишдаги токка тенг. Қисқа туташиш ва салт иш тажрибаларидан олинган параметрларга биноан асинхрон моторнинг айлана диаграммаси қурилади (10—19- расм, б). Бунинг учун координата системасининг ордината ўқи бўйича U_n вектори йўналтирилиб, унга нисбатан φ_0 бурчакда $I_0 = OH$ ва φ_k бурчакда $I_{k1} = OK$ векторлари қурилади. Ток векторлари бир хил ток масштабда, яъни $m_1 \left[\frac{A}{MM} \right]$ да олинади. Сўнгра Н ва К нуқталарни бирлаштирилиб, улар ўртасидан перпендикуляр ўтказилади. Н нуқтадан абсцисса ўқига ўтказилган параллел чизик билан перпендикуляр кесишган O_1 нуқта тоқлар айланасининг маркази бўлади. Демак, $O_1 H$ радиуси билан тоқлар айланасини қуриш мумкин. 10—20-



10—20- расм. Айлана диаграммадан фойдаланиб, асинхрон моторнинг параметрларини аниқлаш.

расмда айлана диаграммадан фойдаланиб асинхрон мотор параметрларини аниқлаш кўрсатилган. Бунинг учун кучланиш векторига нисбатан φ_n бурчак фарқида ток вектори $I_{1n} = OD$ қурилади. Айлана диаграммага фақат фазага тегишли миқдорлар қўйилади. Диаграммага қўйилган I_1 токининг ҳар бир қийматига асинхрон моторнинг тегишли бошқа параметрлари қуйидагича аниқланади. Моторнинг қувват коэффициентини аниқлаш учун ордината ўқида диаметри 100 мм бўлган ярим айлана чизилади. Бунда $\cos \varphi_n = \frac{Oh}{100}$ бўлади. Бу ифодадаги Oh ўрнига унинг мм билан ўлчанган қиймати қўйилиб $\cos \varphi$ аниқланади. Моторга берилган P_1 қувват $P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1$ формулага биноан аниқланади. Бунда $U_1 = \text{const}$, $P_1 = I_1 \cos \varphi_1 = I_{a1} = Da \cdot m_1$ бўлгани учун P_1 нинг қиймати Da кесмага пропорционал бўлади. Қувват масштаби қуйидагича аниқланади:

$$m_p = m_1 \cdot m \cdot U_{1\text{нф}} \frac{\text{Вт}}{\text{мм}},$$

бунда m — фазалар сони.

Моторга берилган қувват $P_1 = Da \cdot m_p$ Вт бўлади. P_1 қувват абсцисса ўқидан тоқлар айланасигача бўлган кесма билан аниқланиши сабабли бу абсцисса ўқи берилган қувват P_1 нинг чизиги дейилади.

Фойдали қувват P_2 нинг чизиги тоқлар айланасининг $P_2 = 0$ бўлган H ва K нуқталаридан ўтказилади. Бунда H нуқта салт иш, K нуқта эса қисқа туташниш режимларига тегишлидир. Шунга кўра HK кесма фойдали қувват P_2 нинг чизиги дейилади.

Демак, $P_2 = m_p \cdot D_v$ Вт бўлади. Электромагнитавий қувват $P_{эм}$ нинг чизиги тоқлар айланасининг $P_{эм} = 0$ бўлган H ва T нуқтасидан ўтказилади. Бунда T нуқта сирпанишнинг $S = \pm \infty$ қийматига тегишли бўлади. T нуқтани тажриба йўли билан аниқлаш имкони бўлмаганлигидан электромагнитавий қувват чизиги H ва K_1 нуқталардан ўтказилади. K_1 нуқтанинг ҳолати қуйидагича аниқланади:

$$\frac{R_1}{R_k} = \frac{K_1 K_2}{K K_2},$$

бунда R_1 — статор фазасининг актив қаршилиги. Бу қаршилик фаза чулғамига ўзгармас ток бериш йўли билан аниқланади.

$R_k = \frac{P_k}{m I_{кф}^2}$ — мотор фазасининг қисқа туташтириш тажрибаси-

дан аниқланадиган актив қаршилиги. Демак, I_{1n} токига тегишли электромагнитавий қувватнинг қиймати $P_{эм} = Dc \cdot m_p$ Вт бўлади.

Диаграммадаги KK_2 кесма моторнинг қисқа туташниш режимдаги қувват исрофини ифодалайди. K_1 нуқта эса бу қувват исрофининг ротор ва статорга тегишлигини ажратади. $K_2 K_3$ кесма моторнинг пулат қисмидаги қувват исрофини ифодалай-

ди. Мотор роторига қувват электромагнитавий йўл билан берилганлиги сабабли, KK_1 кесма қисқа туташтириш режимда роторга берилган электромагнитавий қувватни ифодалайди. Бу қувват ротор чулғамининг қизишига сарфланади. Демак, K_1K_2 кесма статор чулғамининг қизиши учун сарфланган қувват исрофи бўлади. Статор ва ротор чулғамларининг қизишига сарфланган қувват исрофлари тахминан бир-бирига тенг бўлгани учун айлана диаграмма қуришда KK_2 кесмадан K_1 ни товиш учун KK_2 ни тенг бўлакларга бўлинади.

Демак, ротор ва статор чулғамининг мислари ва пўлатидаги қувват исрофи қуйидагича аниқланади:

$$\begin{aligned} P_{\text{м. рот}} &= \omega c \cdot m_p \text{ Вт,} \\ P_{\text{м. ст}} &= cd \cdot m_p \text{ Вт,} \\ P_{\text{п}} &= da \cdot m_p \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Моторнинг айлантирувчи моменти $M = P \omega_1$ ва $\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60} = \text{const}$ бўлгани учун $P_{\text{эм}} \equiv M$, $M = Dc \cdot m_{\text{м}}$ бўлади. Бунда $m_{\text{м}}$ — момент масштаби бўлиб, унинг қиймати қуйидагича аниқланади:

$$m_{\text{м}} = 9,55 \frac{m_p}{n_1} \frac{\text{Нм}}{\text{мм}}.$$

Роторнинг ҳаракатсиз, яъни $S = 1$ бўлган ҳолатида унга берилган электромагнитавий қувват KK_1 кесма билан ифодаланиши сабабли моторнинг ишга тушириш моменти ҳам шу кесма билан топилади, яъни

$$M_{\text{ишт}} = KK_1 \cdot m_{\text{м}}.$$

Айлантирувчи моментнинг максимал қийматини аниқлаш учун тоқлар айланасининг маркази O_1 дан моментлар чизигига перпендикуляр ўтказилади ва бу перпендикулярнинг айлана билан кесилган N нуқтасидан моментлар чизигига қадар вертикал LM ўтказилади. Бунда моторнинг максимал моменти NM кесма билан ифодаланади, яъни

$$M_{\text{макс}} = NM \cdot m_{\text{м}}$$

бўлади.

NK_1 чизиқдан бошлаб тоқлар айланасигача бўлган вертикал миқдорлар мотор моментини ифодалаши сабабли NK_1 ни моментлар чизиги дейилади. Сирпаниш S ни аниқлаш учун H нуқтадан абсцисса ўқига HQ перпендикуляр ўтказилади. Сўнг Q нуқтадан фойдали қувват P_2 чизигининг давоми билан кесилгунга қадар ҳамда моментлар чизигига параллел булган QE чизиқ ўтказилади. Бунда QE чизиқнинг узунлиги 100 га каррали қилиб олинади. H ва D нуқталардан ўтган чизиқни QE билан S нуқтада кесилгунга қадар давом эттирилади.

Hвс ва *HQS* ҳамда *HQS* ва *HDс* учбурчакликларнинг ухшашлигидан қуйидагини оламиз:

$$S = \frac{P_{\text{м.рот}}}{P_{\text{эм}}} = \frac{QS}{QE}.$$

Демак, *QS* кесма сирпанишга пропорционал экан. Фойдали иш коэффициентини аниқлаш учун фойдали қувват P_2 нинг чизигини абсцисса ўқи билан *A* нуқтада кесишгунга қадар давом эттирилади, сўнгра *A* нуқтадан абсцисса ўқига перпендикуляр ўтказилади. Бу перпендикуляр умумий қувват исрофларининг чизиги дейилади. Сўнгра фойдали қувват билан умумий қувват исрофи чизиқларининг 100 мм га тенг бўлган оралиғида абсцисса ўқига параллел қилиб *BC* чизиқ ўтказилади. *D* ва *A* нуқталардан ўтган чизиқни *BC* чизиқ билан *L* нуқтада кесишгунга қадар давом эттирилади. Моторнинг фойдали иш коэффициенти қуйидаги нисбатдан аниқланади:

$$\eta = \frac{BL}{BC},$$

бунда *BL* — фойдали қувватга, *LC* — мотордаги қувват исрофларига пропорционал бўлган кесмалар. *BC* = 100 мм бўлгани учун *BL* кесма мм ларда фойдали иш коэффициентини ифодалайди. Аммо η ни бу усул билан аниқлаш анчагина ноаниқ бўлгани учун, уни одатда $\eta = \frac{P_1 - \Sigma \Delta P}{P_1}$ ифодадан ҳисоблаб топилади.

Моторнинг ўта юкланиш қобилияти

$$\frac{M_{\text{макс}}}{M_n} = \frac{NM}{Dc},$$

ишга тушириш хусусияти эса $\frac{M_{\text{ишт}}}{M_n} = \frac{KK_1}{Dc}$ бўлади.

Айлана диаграммадан, асосан, асинхрон моторнинг иш характеристикаларини қуришда фойдаланилади. Бунинг учун нагрузка тажрибасининг кераги бўлмай, статор токига $I_1 = \left(\frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}, 1, \frac{5}{4}\right) I_n$ қиймаглариини бериб, моторнинг уларга тегишли параметрларини айлана диаграммадан топилади ва улар асосида моторнинг иш характеристикалари қурилади.

10—13. Асинхрон моторнинг айланиш частотасини ростлаш усуллари

Асинхрон моторнинг айланиш частотаси $n_2 = n_1(1-S) = \frac{60f_1}{p}(1-S)$ бўлгани учун унинг частотаси n_1 ёки *S* ни ўзгартириш билан ростланади. Статордаги магнитавий майдон частотаси n_1 ни ўзгартириш учун статор чулғамининг жуфт қутблар сони *p* ни ёки унга бериладиган уч фазали токнинг

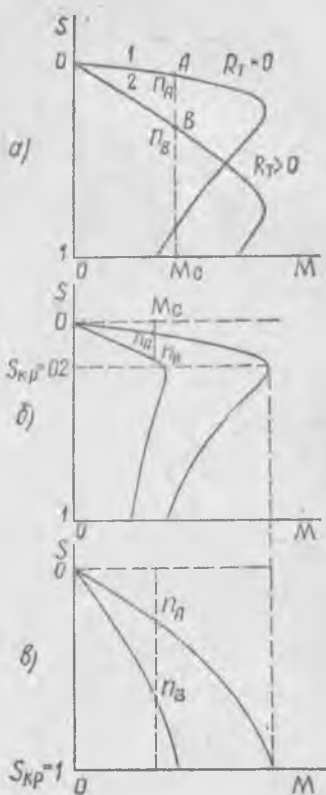
частотаси f_1 ни ўзгартириш кифоя. Асинхрон моторни бошқа электр машиналари билан турли хилдаги каскад схемаларида улаб ишлатиш билан ҳам унинг частотасини ростлаш мумкин. Бу усуллар билан асинхрон мотор частотасини қоникарли кўрсаткичларга эга қилиб ростлаш анча мураккаб бўлгани учун улар амалда кам қўлланилади.

Сирпаниш S ни ўзгартириб мотор частотасини ростлаш. Айлантирувчи момент ифодасига биноан асинхрон мотор сирпанишини ўзгартириш учун ротор занжиридаги актив қаршилик R_2^k ёки статорга бериладиган кучланиш $U_{1\phi}$ нинг қийматини ўзгартириш керак. 10—21-расм, а да фаза роторли моторнинг ротор занжирига актив қаршиликни киритиш билан унинг табиий характеристикадаги тезлигининг n_A дан n_B гача ростлангани кўрсатилган. Бунда R_2^k ортиши билан I_2^k ва, демак, айлантирувчи момент ҳам камаяди. Натижада мотор валидаги частота моментлар мувозанати тиклангунга қадар камайиб боради. 10—21-расмда статор чулғамига бериладиган кучланишни камайтириш билан б — қисқа туташтирилган роторли

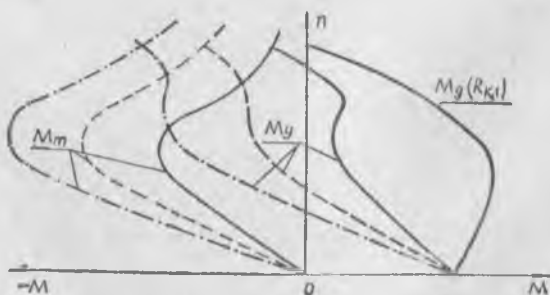
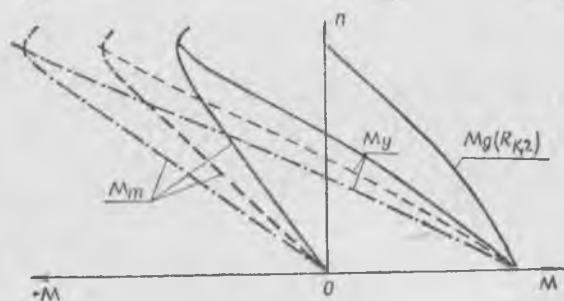
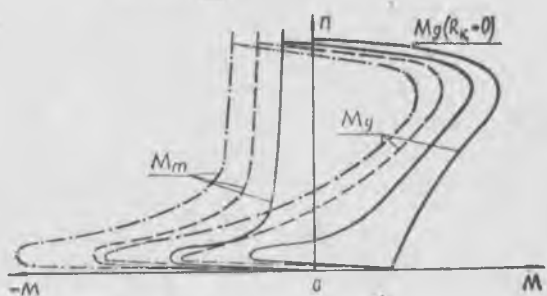
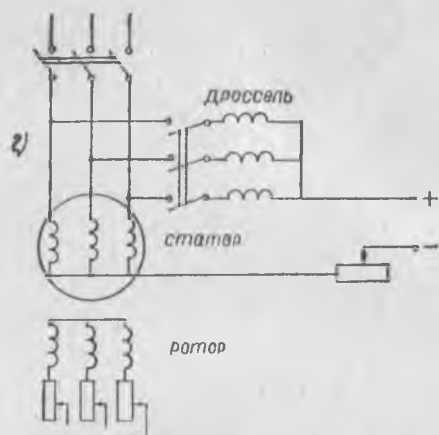
ва в — роторига актив қаршилик киритилиб $S_{кр} = 1$ бўлган фаза роторли асинхрон моторлари частотасини ростлаш кўрсатилган. Демак, $M_c = \text{const}$ бўлиб, $U_{1\phi}$ қиймати 30 % га камайтирилганда қисқа туташтирилган роторли мотор частотаси 10 + 15 % га камайса, роторига қаршилик киритилиб, $S_{кр} =$

$$= \frac{R_2^k}{x_1 + x_2^k} = 1$$
 қилинган мотор частотаси 50 + 60 % га камаяди.

Кучланиш пасайганда моторнинг ўта юкланиш қобилияти кескин камаяди. Ротор чулғамига киритиладиган актив қаршиликни кўпайтириш билан эса механикавий характеристика қаттиқлиги ва, демак, ростлаш муътадиллиги кескин пасайиб, ротор занжиридаги қаршиликнинг қизишига сарфланадиган қувват исрофи кескин кўпайиб боради. Шу сабабли, сирпанишни ўзгартириш



10—21- расм. Сирпаниш S ни ўзгартириб асинхрон мотор частотасини ростлаш.

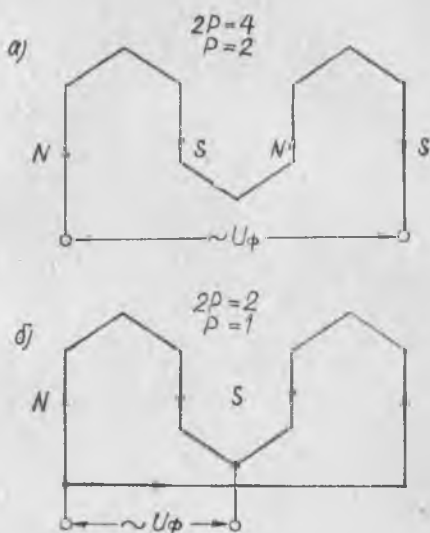


10—21, расм. 2. Сирпанишни ўзгари-
риб асинхрон мотор частотасини ростлаш.

билан олинадиган частотани ростлаш диапазони $D \leq 1,3 + 1,5$ бўлади. Сирпанишни ўзгартириш билан частотани ростлаш диапазонини кенгайтириш ва ҳар бир частотада мотор ишини муътадиллаш, яъни қоникарли қаттиқликка эга бўлган механикавий характеристикани олиш учун автор иштирокида янги усул таклиф этилган. Бу усулга биноан частотани ростлаш учун ротор занжирига актив қаршилиқни киритиш билан бирга статор чулғамига ўзгармас ток ҳам берилади. Қаршилиқ ҳамда ўзгармас ток қийматларини ўзгартиш билан мотор частотасини кенг диапазонда ростлаш имкони олинади. Частотанинг бундай ростланишида асинхрон машина бир вақтда мотор ва электродинамикавий тормоз режимларида ишлайди. Шу сабабли бу усулда асинхрон моторнинг салт иш режимидаги тезлигини ҳам ва, демак, механикавий характеристика қаттиқлигини ҳам ростлаш имкони олинади. 10—21-расм, *г* да фаза роторли мотор частотасини янги усулга биноан ростлашда қўлланилган схема ва олинган механикавий характеристикалар кўрсатилган.

Статор чулғами жуфт қутблари сонини ўзгартириш билан асинхрон мотор частотасини ростлаш. Жуфт қутблар сонини ўзгартириш билан частотасини ростлаш, асосан, қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторларда қўлланилади. Бунинг учун мотор статорига қутблар сони турлича бўлган бир неча чулғам ёки қутблар сони ўзгартирилиши мумкин бўлган махсус чулғам ўрнатилиши керак.

Статор чулғами қутблари сонини ўзгартириш билан частотаси ростланадиган асинхрон моторлар кўп частотали моторлар деб аталади. 10—22-расмда ҳар бир фазаси иккита ғалтакдан иборат бўлган чулғамнинг уланиш схемасини *а* — кетма-кетдан; *б* — параллелга ўтказиб жуфт қутблар сонини ўзгартириш кўрсатилган. Бунда фаза ғалтаклари кетма-кетдан параллел улашга ўтказилса, жуфт қутблар сони $p = 2$ дан $p = 1$ га камаяди. Демак, мотор ҳам бир-биридан икки мартага фарқ қилувчи икки хил частотага эга бўлади. Агар мотор



10—22- расм. Асинхрон моторнинг жуфт қутблар сонини ўзгартириш.

статорига жуфт қутблари сони $p=8$ ва $p=4$ ҳамда $p=2$ ва $p=1$ ларга ўзгартирилувчи иккита чулғам ўрнатилса, у ҳолда асинхрон мотор қуйидаги тўрт хил, яъни

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{p} = \frac{3000}{p} = 3000, 1500, 750 \text{ ва } 375 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$$

бўлган синхрон частоталарга эга бўлади.

Бунда мотор частотасининг ростланиш диапазони $D = \frac{3000}{375} = 8$ бўлади. 10—23-расмда ҳар бир фазаси иккита ғалтакдан иборат бўлган статор чулғамининг *a* — учбурчаклик схемаси билан улашдан; *b* — иккиланган юлдуз схемасига ўтказиб, чулғамининг жуфт қутблар сонини ўзгартириш кўрсатилган. Бунда қисқа туташтирилган роторли асинхрон мотор частотасининг икки мартага ростланишида ҳам унинг валидаги қуввати деярли ўзгармай қолади.

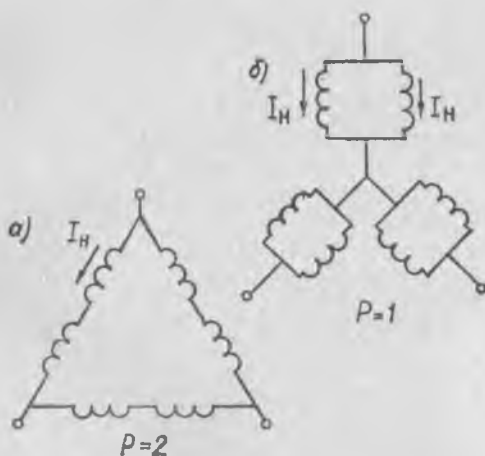
Ҳақиқатан, учбурчаклик схемасида уланган моторнинг қуввати $P_{\Delta} = 3 U_{\phi} I_n \cos \varphi \cdot \eta = 3 U_{\phi} I_n \cos \varphi \cdot \eta$, иккиланган юлдуз схемасида эса,

$$P_{Y\Upsilon} = 3 U_{\phi} 2 I_n \cos \varphi \cdot \eta = \sqrt{3} U_{\phi} 2 I_n \cos \varphi \cdot \eta \text{ бўлиб,}$$

$$\frac{P_{Y\Upsilon}}{P_{\Delta}} = \frac{2\sqrt{3}}{3} = 1,15 \approx 1$$

бўлади.

Шунга кўра, бундай ростлашни частотанинг ўзгармас қувватда ростланиши деб аталади. Икки хил частотада ҳам бундай мотордан тўла фойдаланиш учун уни турли частота-



10—23- расм. Асинхрон моторнинг статор чулғами:

a — учбурчаклик схемасидан; *b* — иккиланган юлдуз схемасига ўтказиб жуфт қутблар сонини ўзгартириш.

ларда ўзгармас қувват талаб қиладиган механизмларда қўлланилиши лозим. Агар фаза ғалтаклари паст тезликда кетма-кет юлдуз, юқори тезликда эса иккиланган юлдуз схемасида уланса, у ҳолда частота ўзгариши билан айлантирувчи момент ўзгармай қолади. Ҳақиқатан, юлдуз схемада моторнинг қуввати $P_Y = 3 U_{\phi} I_n \cos \varphi \cdot \eta$, иккиланган юлдуз схемада эса $P_{Y\Upsilon} = 3 U_{\phi} 2 I_n \times \cos \varphi \cdot \eta$ бўлиб, $\frac{P_{Y\Upsilon}}{P_Y} = 2$,

$$\frac{M_{Y\Upsilon}}{M_Y} = \frac{P_{Y\Upsilon} \eta_Y}{P_Y \eta_Y} = 1 \text{ бўлади,}$$

Тезликнинг қиймати икки мартага ростланганида айлантирувчи моменти ўзгармайдиган моторларни қаршилик моменти $M_c = \text{const}$ бўлган механизмларда қўллаш тавсия этилади. 10—24-расм, а ва б ларда частотанинг $M = \text{const}$ ва $P = \text{const}$ бўлиб ростланишидаги механикавий характеристикалар кўрсатилган. Жуфт қутблар сонини ўзгартиришда частота силлиқ ўзгармай поғонапоғона бўлиб ростланса ҳам, аммо турли частоталарда механикавий характеристика қаттиқлиги ва ростлашдаги тежамлилиқ юқори бўлгани учун бу

усул металл қирқиш станокларидан ташқари насос, элеватор, вентилятор ва лифт механизмларида ҳам кенг тарқалган.

Статорга бериладиган ток частотасини ўзгартириш билан асинхрон мотор частотасини ростлаш. Асинхрон мотор частотасини кенг диапазонда силлиқ ва тежамли ростлаш учун унинг статор чулғамига бериладиган уч фазали ток частотасини берилган қонун билан ўзгартириш кифоя.

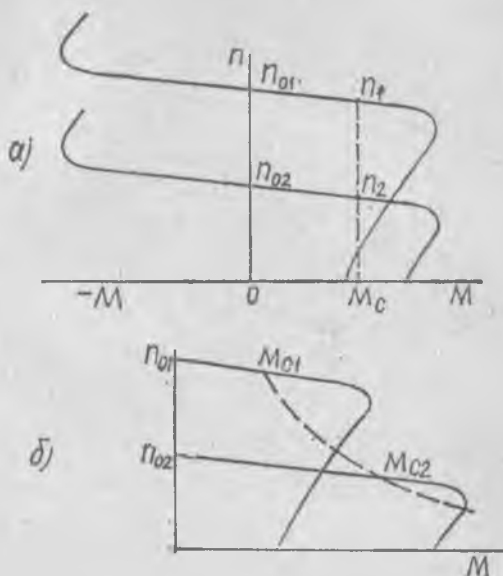
Ток частотасини ўзгартириш билан айланиш частотасини ростлашда асинхрон моторнинг $\cos \varphi$, η ва $\lambda = \frac{M_{\text{масг}}}{M_n}$ каби параметрларининг номинал қийматида қолиши учун М. П. Костенко аниқлаган қуйидаги боғланишга риоя қилиш керак, яъни

$$\frac{U}{U_n} = \frac{f}{f_n} \sqrt{\frac{M_c}{M_{cn}}}, \quad (10-38)$$

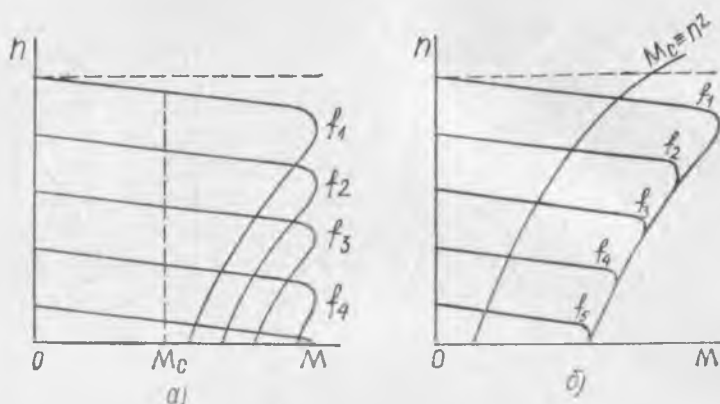
бунда U_n ва M_{cn} — номинал частота f_n га тегишли номинал кучланиш ва қаршилик моменти;

U ва M_c — частотанинг номиналга нисбатан ўзгарган қиймати f га тегишли кучланиш ва қаршилик моменти.

Агар частота ўзгариши билан $M_c = M_{cn} = \text{const}$ бўлса, у ҳолда $\frac{U}{U_n} = \frac{f}{f_n}$ бўлиб, асинхрон моторга бериладиган кучланиш-



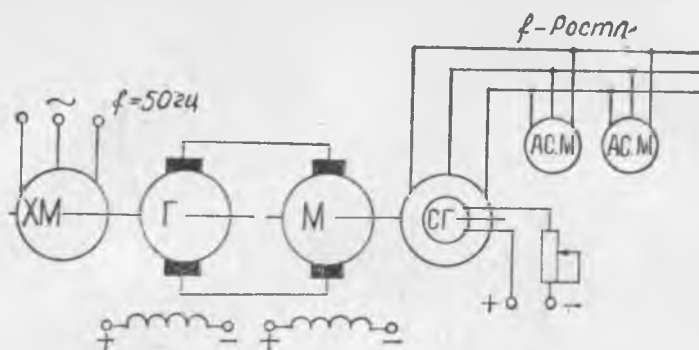
10—24- расм. Асинхрон моторнинг жуфт қутблар сонини ўзгартириш билан частотасини ростлашдаги механикавий характеристикалари.



10—25- расм. Ток частотасини ўзгартириш билан асинхрон мотор частотасини ростлашдаги механикавий характеристикалар.

ни частотага пропорционал равишда ўзгартириш лозим бўлади. Бунинг учун, масалан, бирламчи моторнинг частотасини ўзгартириш билан частотаси ўзгартириладиган синхрон генераторнинг қўзғатувчи токни ўзгартирмаслик лозим. Агар частота ўзгариши билан $M_c \equiv n_2^2$ бўлса, у ҳолда $n_2 = \frac{60 f_1}{p_2} (1-s)$ ва, демак, $n_2 \equiv f$ бўлгани учун $M_c \equiv f^2$, $\frac{U}{U_n} = \left(\frac{f}{f_n}\right)^2$ бўлиб, моторга бериладиган кучланиш қийматини частотанинг квадратига пропорционал равишда ўзгартириш керак. Бунинг учун қўзғатувчи ток қийматини синхрон генераторнинг айланиш частотасига пропорционал равишда ўзгартириш лозим. (10—38) ифодани олишда асинхрон моторнинг магнитивий системаси тўйинмаган ва статор чулғамининг актив қаршилиги $R_1 \approx 0$ деб қабул қилинган. Амалда эса $R_1 > 0$ бўлиб, частотани ўзгартиришда (10—38) га тўла роя қилинмайди ва, демак, асинхрон мотор асосий кўрсаткичларининг қиймати номиналдагига нисбатан бир оз паст бўлади. 10—25-расмда тезлиги (10—38) ифодага биноан ростланадиган асинхрон моторнинг турли частоталардаги ҳамда а) $M_c = M_{сн} = \text{const}$ ва б) $M_c \equiv n^2 \equiv f^2$ бўлгандаги механикавий характеристикалари кўрсатилган.

Асинхрон моторга электр тармоғидаги ток частотасининг кучланишини ўзгартириб бериш билан унинг частотасини ростлаш учун турли типдаги частота ўзгартиргичлардан фойдаланилади. Электрик машинавий частота ўзгартгичлар синхрон ва фаза роторли асинхрон генераторлар асосида яратилади. 10—26-расмда синхрон генераторли частота ўзгартгичи ва ундан таъминланувчи асинхрон моторлари системасининг принципиал схемаси кўрсатилган. Бундай ростлаш системасини прокат станининг рольганг механизмида учратиш мумкин.

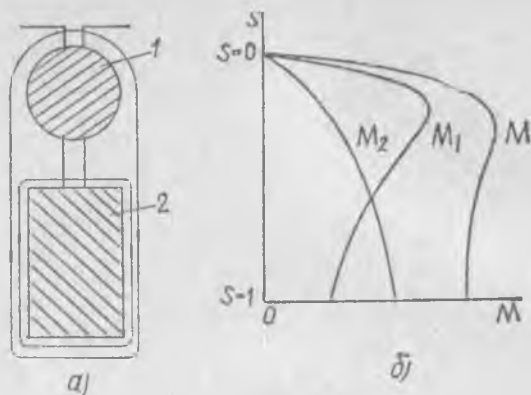


10—26- расм. Синхрон генераторли частота ўзгартгич-мотор системасининг принципиял схемаси.

Рольгангдаги ҳар бир ролик асинхрон мотори билан айлантирилиб, бу роликлар частотасини бир вақтда ва бир хилда ростлаш учун синхрон генераторли частота ўзгартгичдан фойдаланилади. Бунда частотани ва, демак, асинхрон моторлари частотасини кенг диапазонда ростлаш учун синхрон генератори Γ — M системадаги ўзгармас ток мотори билан айлантирилади. Синхрон генераторли частота ўзгартгич қувватлари тахминан бир-бирига тенг бўлган тўртта электрик машинадан иборат бўлиб, частотани $D=12$ диапазонида ростлаш имконига эга бўлади. Ишга туширишдаги ва ишлашидаги қатор камчиликлар сабабли бундай система кам қўлланилади. Ҳозирги пайтда ҳар томонлама қулай бўлган ва турли типдаги чала ўтказгич венти́ллардан йиғиладиган статик частота ўзгартгичлар устида катта илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Булар ичида бошқариладиган ва бошқарилмайдиган кремнийли венти́ллар, конденсаторлар ва трансформаторлардан иборат бўлган частота ўзгартгичлар айниқса катта истиқболга эга (ўзгартгичлар бобига қаранг). Электр тармоғидаги $f = 50$ Гц частотани бир неча юз ва минг герцгача купайтириб берувчи частота ўзгартгичлардан таъминланувчи асинхрон моторлари билангина электрошпиндель номли силлиқлаш станогида $150\,000 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ га тенг бўлган частотани олиш имкони бўлади. Ток частотасини ўзгартириш билан айланиш частотасини ростлашда олинadиган кўрсаткичлар, асосан, частота ўзгартгичнинг техникавий ва иқтисодий кўрсаткичлари билан аниқланади.

10—14. Қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторларнинг махсус типлари

Қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторлар ўзининг оддийлиги ва ишларида ишончлилиги каби афзалликлари билан бир қаторда ишга тушириш токининг катталиги, моментининг кичиклиги каби камчиликларга ҳам эга. Қўш хонали ва чуқур



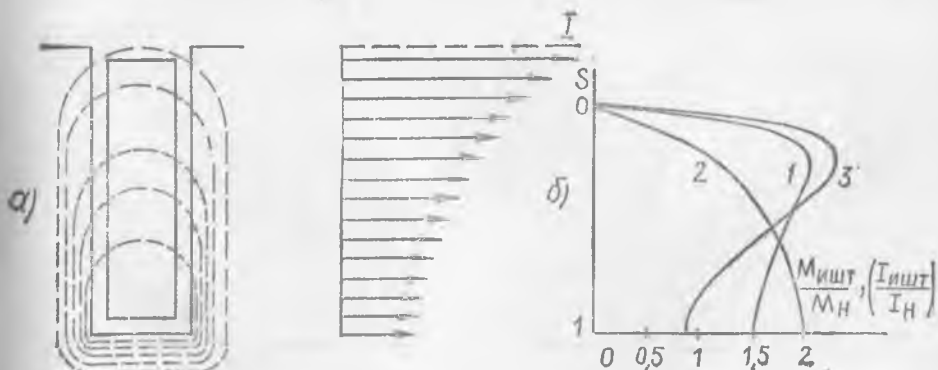
10—27- расм. Қўш хонали асинхрон моторнинг:

а — роторнинг паз; б — механикавий характеристикаси.

пазли бўлган махсус моторлар нормал тузилишдаги асинхрон мотор камчиликларидан холидир. Махсус моторларнинг статори оддий моторникидан фарқ қилмайди. Қўш хонали мотор роторининг пазлари икки хонадан иборат бўлиб, бу хоналарга иккита қисқа туташтирилган чулғам ўрнатилади (10—27-расм, а). Ротор пазининг ташқи хонасига актив қаршилиги катта, индуктив қаршилиги эса кичик бўлган ишга тушириш чулғами ўрнатилиб, пазнинг ички хонасига актив қаршилиги кичик, индуктив қаршилиги катта бўлган иш чулғами ўрнатилади. Ишга тушириш чулғами кўндаланг кесими кичик латунь ўтказгичлардан иборат бўлиб, пазнинг сиртига жойлаштирилгани учун унинг актив қаршилиги катта, индуктив қаршилиги кичик бўлади. Иш чулғами кўндаланг кесими катта мис ўтказгичлардан иборат бўлиб, пазнинг ички қисмига жойлашгани учун унинг актив қаршилиги кичик, индуктив қаршилиги эса катта бўлади. Моторни ишга туширишда $s = 1$; $f_2 = f_1$ бўлгани учун роторнинг частотага пропорционал бўлган индуктив қаршилиги ўзининг максимал қийматига эга бўлади. Бунда ишга тушириш моментининг асосий қисми ротор пазининг ташқи хонасидаги чулғам токидан ҳосил қилинади. Шу сабабли бу чулғамни ишга тушириш чулғами дейилади. Ишга тушириш чулғамининг актив қаршилиги катта бўлгани учун ротор токи I_2 нисбатан кичик бўлиб, унинг актив $I_2 \cos \psi_2$ қиймати эса анчагина катта бўлади. Демак, нормал моторга нисбатан қўш хонали моторнинг ишга тушириш токи кичик, ишга тушириш моменти эса катта бўлади. Ишга тушириш процесси тугаши билан сирпаниш қиймати ва, демак, роторнинг индуктив қаршилиги жуда ҳам кичик бўлиб қолгани учун айлантирувчи

момент асосан пазининг ички қисмидаги чулғам токидан ҳосил бўлади. Шу сабабли бу чулғамни иш чулғами дейилади. 10—27-расм, *б* да қўш хонали асинхрон моторнинг механикавий характеристикаси кўрсатилган, бунда $M = M_1 + M_2$ — моторнинг айлантирувчи моменти; M_1 ва M_2 — ишга тушириш ва иш чулғамлардаги токдан ҳосил бўлган моментлар. Қўш хонали мотор роторини такомиллаштириб чуқур пазли мотор яратилган. Чуқур пазли мотор ҳозирги пайтда қисқа туташтирилган роторли моторларнинг асосий типни ҳисобланади. Бундай мотор роторининг чуқур пазларига кўндаланг кесими бўйи энига нисбати жуда катта бўлган алюминий ўтказгичлар ўрнатилади (10—28-расм, *а*). Ўтказгичнинг пастки қисми зич, юқори қисми эса сийрак бўлган магнитавий куч чизиқлари билан ўралгани учун чуқур пазли моторнинг ишга тушириш процесси ҳам худди қўш хонали моторники сингари, яъни ишга тушириш токи ротор чулғами кўндаланг кесимини индуктив қаршилиги кичик бўлган устки қисмидан ўтади. Чулғам устки қисмининг актив қаршилиги унинг тўла қисмининг актив қаршилигидан бир неча марта кичик бўлгани учун I_2 кичик, $I_2 \cos \varphi_2$ эса катта бўлади. 10—28-расм, *б* да чуқур пазли моторнинг ишга тушириш характеристикалари кўрсатилган.

Бунда 1 — чуқур пазли ва 3 — нормал тузилишдаги қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторларнинг механикавий характеристикалари; 2 — чуқур пазли мотор ишга тушириш токининг сирпанишга нисбатан ўзгариш эгри чизиги. Чуқур пазли мотор роторининг индуктив қаршилиги нормал тузилишдаги моторникига нисбатан катта бўлгани учун унинг $\cos \varphi$ ва ўта юкланиш қобилияти нисбатан бир оз паст бўлади. Қуйидаги жадвалда махсус ва нормал қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторларнинг ишга тушириш токи ва моменти берилган.



10—28-расм. Чуқур пазли асинхрон моторининг:

а — роторининг пазли; *б* — ишга тушириш характеристикалари.

Қуш хонали мотор		Чуқур пазли мотор		Нормал тузилишдаги мотор	
$I_{\text{ишт}}/I_{\text{н}}$	$M_{\text{ишт}}/M_{\text{н}}$	$I_{\text{ишт}}/I_{\text{н}}$	$M_{\text{ишт}}/M_{\text{н}}$	$I_{\text{ишт}}/I_{\text{н}}$	$M_{\text{ишт}}/M_{\text{н}}$
3,3	1,0	4,0	1,2	4,0	0,8
3,7	1,5	4,8	1,5	6,0	1,0
5,5	2,0	—	—	7,0	1,2

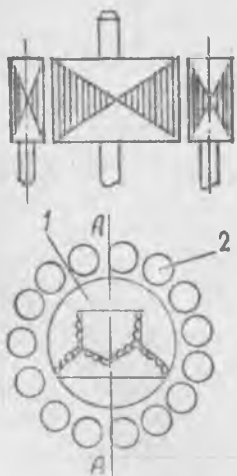
10—15. Пахта териш машинаси шпинделларининг юритмасига мўлжалланган кўп роторли асинхрон мотор

Кўп роторли деб аталган реверсив электр моторнинг ишлаш принципи илгаридан маълум бўлган камонсимон статорли асинхрон моторнинг (асинхронный мотор с дуговым статором) ишлаш принциpidан кам фарқ қилади. 10—29-расмда Ўзбекистон энергетика ва автоматика илмий тадқиқот институтининг ходимлари томонидан яратилган оригинал тузилишли кўп роторли асинхрон мотор кўрсатилган. Бунда — 1 — мотор статори ва 2 — унинг роторлари.

Кўп роторли асинхрон мотор пахта териш машинасининг асосий иш органи бўлиши шпинделларнинг юритмаси учун махсус яратилган. Бундай моторнинг статори фаза роторли асинхрон моторнинг ротори тузилишига ўхшаш бўлиб, унинг пазларига АА чизиғи бўйича бўлинган иккита уч фазали чулғам ўрнатилади. Статор атрофидаги цилиндр шаклли барабанга ўрнатишган шпинделларнинг учи бу моторнинг қисқа ту-

таштирилган роторлари билан тугайди. Демак, мотор роторларининг сони пахта териш машинасининг барабанига ўрнатишган шпинделлар сонига тенг қилиб олинади.

Статор чулғамлари электр тармоғига маълум тартибда уланса, уларда қарама-қарши йўналишдаги югурувчи деб аталмиш магнитавий майдонлари ҳосил бўлади. Бу магнитавий майдонлар билан қисқа туташтирилган роторларни кесилиши натижасида ҳосил бўлувчи электромагнитавий кучлар таъсирида АА чизиғининг чап томонида жойлашган роторлар бир томонга, ўнг томонидагилар тескари томонга айланади. Бунда пахтани териш зонасида жойлашган шпинделлар бир томонга, шпинделларга ўралган пахтани чувиб йиғиштириш зонасида жойлашган шпинделлар эса тескари-



10—29- расм. Кўп роторли асинхрон мотор.

га айланиб, пахтани териш технологиясига мувофиқ ҳаракат олинади. Ҳар бир шпиндель ҳам ўз ўқи атрофида, ҳам барабан билан бирга берилган ўзгармас частотада айланиш сабабли, унинг териш ва йиғиштириш зоналари билан аниқланувчи АА чизигидан ўтиши билан шпинделнинг айланиш йўналиши контактсиз равишда ўз-ўзидан ўзгаради. Шунинг учун ҳам бундай мотор кўп роторли реверсив электропланетар асинхрон мотор деб аталган. Ҳозирги пахта териш машиналарининг шпинделлари тасмали узатма билан ҳаракатга келтирилади. Шпинделларнинг айланиш йўналиши $0,5 + 0,7$ сек давомида ўзгариш сабабли тасмаларни $30 + 40$ соатдан сўнг алмаштириш керак. Тасмаларни янгилаб туриш вақти амалда мўлжалдагидан анча кам бўлади. Бундан ташқари, тасмали узатма билан териш ва йиғиштириш зоналарида жойлашган шпинделларни турли оптимал частоталарда айлантириш ва бунда уларнинг айланиш мўтадиллигини сақлаш тўла таъминланмайди.

Пахта териш машинасининг шпинделлари юритмаси учун кўп роторли реверсив электропланетар асинхрон мотордан ташкил топган электрик юритма қулланилса, бу юритманинг ишлашдаги мўтадиллиги ҳамда ишончлилиги ортади, уни автоматик бошқариш, шпинделлар частотасини электрик усул-да ростлаш имкони олинади.

Мотор статори чулғамларини ток билан таъминлашда ҳосил қилинган асимметрия асосида шпинделлар (роторлар) ни ўз ўқи атрофида айлантиришдан ташқари, улар урнатилган барабани ҳам берилган ўзгармас частотада айлантириш мумкин.

Бунда пахта териш машинасининг кинематикаси анча соддалашиб, унинг техникавий ва иқтисодий кўрсаткичлари кескин равишда кўтарилади. Кўп роторли асинхрон мотордан ташкил топган электрик юритмадан тўқимачилик машиналари ва шу кабиларда ҳам фойдаланиш мумкин. Бундай электр моторининг фойдали иш коэффиценти $\eta \approx 0,4 - 0,5$ бўлади.

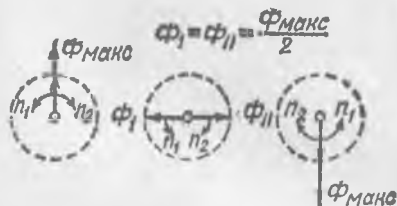
10—16. Бир фазали асинхрон моторлар

Маълумки, ишлаб турган уч фазали асинхрон моторнинг бир фазаси электр тармоғидан ажралиб қолса ҳам, у ўз ишини бир фазали режимда давом эттираверади. Бунда унинг қуввати уч фазада ишлагандаги қувватининг тахминан $50 + 66\%$ ини ташкил қилади. Аммо тўхтаб турган уч фазали моторни бир фазали режимда ишга тушириб бўлмайди. Ҳақиқатан, бир фазали токдан айланувчи эмас, балки пульсацияланувчи магнитавий оқим ҳосил бўлади. Пульсацияланувчи магнитавий майдонни қийматлари $\frac{\Phi_{\max}}{2}$ бўлган ва бир-бирига тескари йўналган иккита бир хил синхрон частота $n_1 = n_2 = \frac{60 f}{p}$ билан

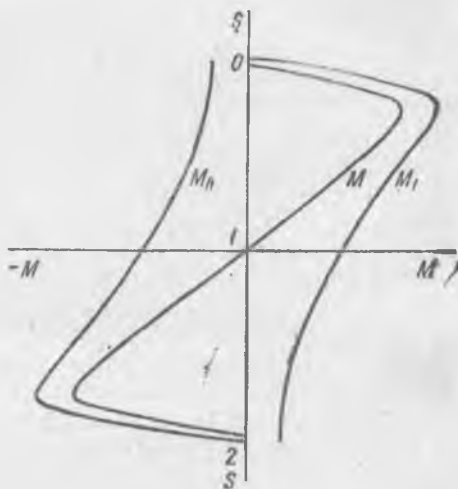
айланаётган магнитавий майдонларнинг йиғиндисидан иборат деб қабул қилиш мумкин (10—30-расм).

Бу айланувчи магнитавий майдонлардан ротор чулғамида $I_1 = I_{11}$ тоқлари ва, демак, қарама-қарши йўналган $M_1 = M_{11}$ айлантириш моментлари ҳосил бўлади. 10—31-расмда уч фазали моторнинг бир фазали режимидаги механикавий характеристикаси кўрсатилган. Бу характеристикага биноан бир фазали моторнинг ёки уч фазали моторнинг бир фазали режимидаги ишга тушириш momenti нолга тенг, яъни $S = 1$ бўлганда $M_{\text{ншт}} = M_1 + M_{11} = 0$ бўлади. Аммо ишлаб турган, масалан, ўнг томонга бирор n_{2p} частота билан айланиб турган уч фазали моторнинг бир фазаси электр тармоқдан ажралиб қолса, у ҳолда $M_1 > M_{11}$ сабабли, мотор ўз ишини давом эттираверади (10—31-расм).

Бунда ротор занжирида $\cos \psi_{11} < \cos \psi_1$ бўлгани учун M_1 momenti M_{11} га нисбатан катта бўлади. Ҳақиқатан ўнг томонга n_{2p} частота билан айланаётган ротор чулғамининг магнитавий оқими Φ_1 билан кесилиш частотаси $n_{S_1} = n_1 - n_{2p} = n_1 - n_1(1 - S) = n_1 S$ бўлса, Φ_{11} билан кесилиш частотаси эса $n_{S_2} = n_1 + n_{2p} = n_1(2 - S)$ бўлади. Демак, $n_{S_2} > n_{S_1}$ бўлгани учун n_{S_2} частота билан кесилган ротор занжиридаги индуктив қаршилиқ нисбатан катта ва, демак, $\cos \psi_1 < \cos \psi_{11}$ бўлади.



10—30- расм. Пульсацияланувчи магнитавий майдоннинг иккита айланувчи магнитавий майдон сифатида тасвирланиши.



10—31- расм. Уч фазали асинхрон моторнинг бир фазали режимидаги механикавий характеристикаси.

10 — 17. Бир фазали моторларни ишга тушириш

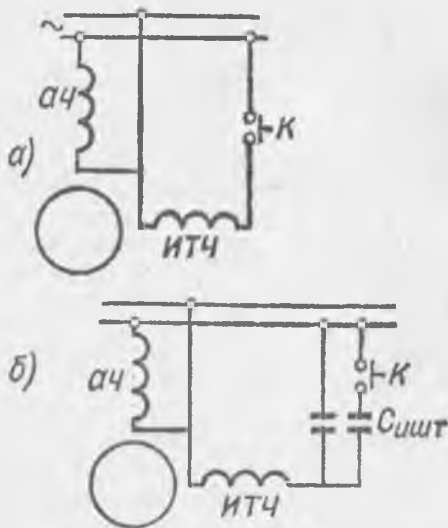
Юқоридаги мулоҳазага биноан оддий бир фазали, яъни статорига биргина чулғам ўрнатилган, ротори эса қисқа тўташтирилган чулғамга эга бўлган моторни ишга тушириш

учун даставвал, уни ташқи куч билан бирор n_2 частотагача айлантириш лозим. Бир фазали моторни бевосита ишга тушириш учун унинг статоридаги чулғамга берилган токдан айланувчи магнитавий майдон ҳосил бўлиши зарур.

Бунинг учун мотор статорига, ўқлари бир-бирига нисбатан, 90° бурчакка фарқланувчи иккита чулғамни жойлаштириб, улардаги токни бир-бирига нисбатан $\approx 90^\circ$ га силжитиш керак.

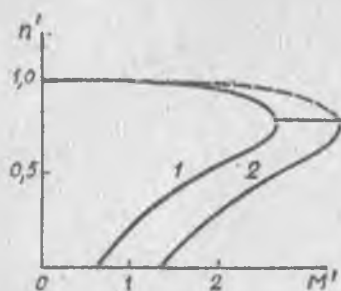
Шу сабабли бир фазали асинхрон мотор статорига асосий чулғамдан ташқари, кўпинча, ишга тушириш чулғами деб аталувчи чулғам ҳам ўралади. Бу чулғамлардаги тоқларнинг фазаси ўзаро 90° га яқин бурчакка фарқ қилиши учун бир фазали моторни 10—32- расм, *a* ва *b* да кўрсатилган схемалар билан ишга туширилади. 10—32- расм, *a* даги схемада бир фазали моторнинг ишга тушириш чулғами ўрамлари сони кам бўлган ингичка симдан тайёрланиб, унинг актив қаршилиги асосий чулғамникига нисбатан катта, индуктив қаршилиги эса кичик бўлади. Шу сабабли бу чулғамлардаги тоқлар фазаси $0^\circ < \varphi < 90^\circ$ га фарқ қилиб, статорда айланувчи магнитавий майдон ҳосил бўлади. Демак, бундай моторни бевосита ишга тушириш мумкин.

Ишга тушириш процесси тугагач, қисқа вақт ишлашга ҳисобланган ишга тушириш чулғами ИТЧ электр тармоғидан кнопка *K* билан ажратилади. 10—32- расм, *b* даги схемада ишга тушириш чулғами конденсатор орқали электр тармоғига уланади. Бунда ишга тушириш процесси тугагач ҳам, ишга тушириш чулғами конденсатор орқали электр тармоғига уланганича қолади. Нормал режимда ҳам статоридаги иккита чулғам билан ишловчи моторлар икки фазали асинхрон моторлар дейилади. Умуман, бир фазали моторларнинг техникавий-иқтисодий кўрсаткичлари уч фазалига нисбатан анча паст бўлади. Ҳақиқатан Φ_1 ва Φ_{11} магнитавий оқимлардан бир фазали мотор роторида ҳосил бўлувчи қувват исрофлари уч фазали моторникига нисбатан деярли икки марта катта бўлади. Айлантирувчи моментнинг қиймати $M_1 - M_{11}$ ёки $M_{11} - M_1$ бўлгани учун моторнинг ўта юкланиш қобилияти анча паст бўлади (10—31- расм). Конденсаторли, яъни ишга



10—32- расм.

a — бир фазали; *b* — икки фазали асинхрон моторларни ишга тушириш схемалари.



10—33- расм. Конденсаторли (икки фазали) моторнинг механикавий характеристикалари.

тушириш чулғамига конденсатор киритилган моторларда $\eta = 0,6 + 0,75$, $\cos\varphi = 0,8 + 0,95$ бўлиб, уч фазали моторларникига яқинроқдир. Аммо бундай моторнинг ишга тушириш моменти кичик, яъни $M_{\text{ишт}} \approx 0,3 M_n$ бўлади. (10—33-расм, 1 эгри чизиқ.) Конденсаторли моторда $M_{\text{ишт}}$ ни ошириш учун ишга тушириш чулғамидаги C сиғимли конденсаторга параллел қилиб $C_{\text{ишт}}$ уланади. Бунда моторнинг механикавий характеристикаси 10—33- расмдаги 2 эгри чизиғи билан ифодаланади. Конденсаторли мотордаги конденсаторнинг сиғими номинал нагрузка режимига ҳисоб-

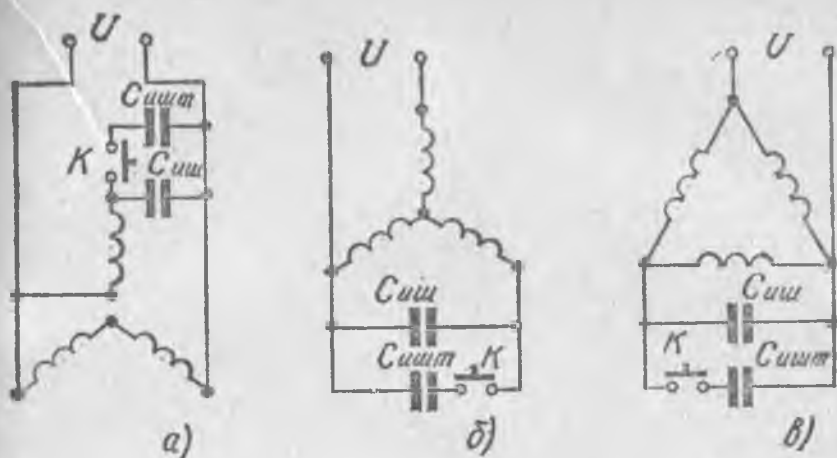
ланган бўлиб, унинг қиймати $C = 0,05 P_{n, \text{мк}} \Phi$ бўлади, бунда P_n — моторнинг номинал қуввати, Вт. Аммо кичик қувватли моторларни ишга тушириш учун ҳам сиғими анча катта бўлган қимматбаҳо конденсаторлар ишлатилиши сабабли, кўпинча, конденсаторсиз ишга тушириладиган бир фазали моторлар қўлланилади.

Амалда магнит қутблари ўзгармас ток машиналаридаги сингари аён шаклдаги тузилишга эга бўлган бир фазали моторлар ҳам бўлиб, уларнинг магнитавий қутбларига кийгизилган мис ҳалқачалар ишга тушириш чулғами вазифасини ўтайди. Бундай моторлар учун $\eta = 0,3$, $\cos\varphi = 0,4 + 0,6$; $\lambda = 1,1 + 1,2$ бўлиб, улардан, кўпинча, электр патефонларида, кичик қувватли вентиляторларда фойдаланилади. Ҳозирги вақтда характеристикаси анча яхшиланган бундай моторлар кир ювиш машиналарида ҳам ишлатилмоқда. Умуман, бир фазали ва конденсаторли моторларнинг кичик қувватлиларидан автоматикада, турмушда кенг тарқалган совитиш қурилмаларида, кир ювиш ва тикув машиналарида, магнитофон ва шу каби-ларда фойдаланилади. Бир фазали юқори частотали моторлар, бундан ташқари, урмон ва қишлоқ хўжалигида ишлатиладиган бир қанча қўл асбобларида ҳам қўлланилмоқда.

10—18. Уч фазали асинхрон моторни бир фазали электр тармоғига улаб ишга тушириш

Қишлоқ ва сув хўжалиги объектларида уч фазали асинхрон моторлари, кўпинча, бир фазали мотор сифатида ишлатилади. Уч фазали моторни бир фазали тармоққа улаб ишлатиш учун сиғим, актив ва индуктив қаршиликли фаза силжитгичлардан фойдаланилади.

10—34- расмда уч фазали асинхрон моторни сиғим қар-



10—34- расм. Уч фазали асинхрон моторларини бир фазали электр тармоғига улаб ишга тушириш схемалари.

шиликли фаза силжитгич воситасида бир фазали тармоққа улаб ишлатиш схемалари кўрсатилган.

Схемалардаги $C_{нш}$ ва $C_{ншт}$ тегишлича иш ва ишга тушириш конденсаторларининг сифимларидир. Агар мотор салт иш режимда ёки кичик нагрузка билан ишга тушириладиган бўлса, $C_{ншт}$ нинг кераги бўлмайди — K кнопкаси босилмайди. Номинал нагрузкада эса даставвал K кнопкаси босилади, сўнгра мотор электр тармоғига уланади. Ишга тушириш процесси тугаши билан K кнопкаси бушатилиб, $C_{ншт}$ занжирдан ажратилади. Акс ҳолда кучланиш резонанси сабабли моторнинг фаза чулғами номиналдан юқори бўлган хавфли кучланиш таъсирида қолади.

Ҳозир кичик ва ўрта қувватли қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторлар сифим қаршиликли фаза силжитгич билан биргаликда УАД серияда, яъни универсал уч ва бир фазали электр тармоқларидан ишлашга мўлжалланиб чиқарилмоқда.

Бир фазали тармоқдан ишлайдиган уч фазали моторнинг қуввати номинал қувватнинг 60 + 80% ига тенг бўлади. 10 — 34- расм, а даги схемага биноан ишга туширилувчи мотор учун иш конденсаторининг сифими қуйидаги эмпирик формула билан аниқланади:

$$C_{нш} = 2740 \frac{I_{н}}{U_{н}} \text{ мкФ.}$$

$$\text{б схемада } C_{нш} = 2860 \frac{I_{н}}{U_{н}} \text{ мкФ,}$$

$$\text{в схемада } C_{нш} = 4800 \frac{I_{н}}{U_{н}} \text{ мкФ,}$$

бу ерда $I_{н}$ — уч фазали моторнинг номинал токи, А;
 $U_{н}$ — уч фазали моторнинг номинал кучланиши, В.

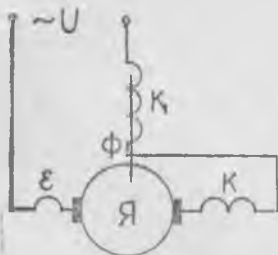
Ишга тушириш моментини номинал момент қийматигача кутариш учун $C_{ишт} = (2,5 + 3) C_{иш}$, максимал моментгача кутариш учун эса $C_{ишт} = (6 + 8) C_{иш}$ олинади.

10 — 19. Кетма-кет қўзғатишли бир фазали ва универсал типдаги коллекторли моторлар

10 — 35- расмда кетма-кет қўзғатишли бир фазали коллекторли моторнинг уланиш схемаси кўрсатилган.

Бу моторнинг статори аён шаклдаги қутбларга эга бўлиб, унинг узакларига кетма-кет қўзғатишли K ва компенсацияловчи K чулғамлари, қўшимча қутбларга эса E чулғами ўрнатилади. Бир фазали коллекторли моторнинг ротори ўзгармас ток моторининг якоридан фарқ қилмайди. Бунда ҳам якорь чулғамига кетма-кет уланган қўшимча қутбнинг E чулғами коммутацияни яхшилашга, компенсацияловчи K чулғами эса якорь реакцияси таъсирини камайтириб, мотор қувват коэффициентини оширишга мўлжалланган. Мотор якори ва қўзғатувчи чулғамдан бир хил ўзгарувчан ток ўтгани учун якорь токи ва статордаги магнитавий оқим бир вақтда ўзгариб, натижада бир томонга йўналган айлантирувчи момент ҳосил бўлади. Коллекторли моторда ҳосил бўлган айлантирувчи момент $2f$ частота билан пульсацияланиб, унинг уртача қиймати максимал моментнинг ярмисига тенг, яъни $M_{ур} = \frac{M_{макс}}{2}$ бўлади. Моторнинг қўзғатувчи чулғамидаги токдан

ҳосил бўлувчи асосий магнитавий оқим ҳам пульсацияланувчи бўлиб, ундан якорь чулғамида трансформаторли $E_{тр}$ ва айланишли $E_{айл}$ э. ю. к. лар ҳосил бўлади. Чўткаларни геометрик нейтрал бўйича ўрнатиб $E_{тр}$ қийматини нолга тенглаштирилади ва натижада моторишига $E_{тр}$ нинг салбий таъсири йўқотилади (10 — 36- расм, а).



10—35- расм. Кетма-кет қўзғатишли бир фазали коллекторли моторнинг уланиш схемаси.

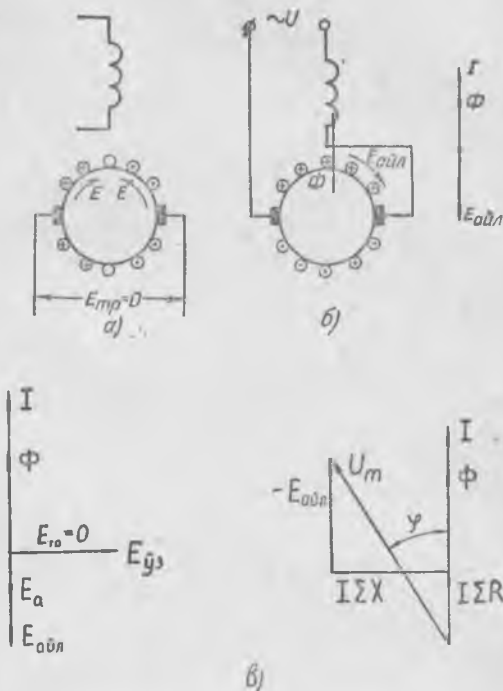
моторнинг айланишида ҳам унинг якорида ўзгармас ток мотори якоридagi сингари фақат $E_{айл}$ ҳосил бўлади (10 — 36- расм, б). $E_{айл}$ нинг ўзгариш частотаси электр тармоқдаги f_1 га тенг бўлиб, йўналиши эса якорь токининг йўналишига тескари бўлади. Демак, кетма-кет қўзғатишли бир фазали коллекторли моторнинг ишлаш принципи кетма-кет қўзғатишли ўзгармас ток моториники сингари бўлади. 10 — 36- расм, в да бир фазали коллекторли моторнинг векторий ди-

аграммеси кўрсатилган. Бунда $\sum X$ — чулғамлардаги ўзиндукция таъсирида ҳосил бўлган индуктив қаршиликларда кучланиш тушуви; $\sum R$ — чулғамлардаги актив қаршиликларда кучланиш тушуви; демак, бир фазали коллекторли моторнинг э. ю. к. лар тенгламаси $\bar{U} = -\bar{E}_{\text{айл}} + \bar{\sum R} + \bar{\sum X}$ бўлади. 10—36-расм, в да кўрсатилган векторий диаграммага биноан мотор частотасини ошириш билан $E_{\text{айл}}$ ҳам ортиб, ток билан кучланиш орасидаги бурчак фарқининг қиймати камаяди. Демак, юқори частотали моторларда $\cos\varphi$ юқори бўлгани учун бундай моторларни 8000 $\frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ га қадар юқори частоталарга ҳисоблаб тайёрланади.

Кичик қувватли коллекторли моторлар компенсацияловчи чулғам ва ёрдамчи қутбларсиз, кўпинча, ўзгармас ва ўзгарувчан токларда ишлаш учун тайёрланади. Шу сабабли бундай моторлар универсал моторлар деб аталади.

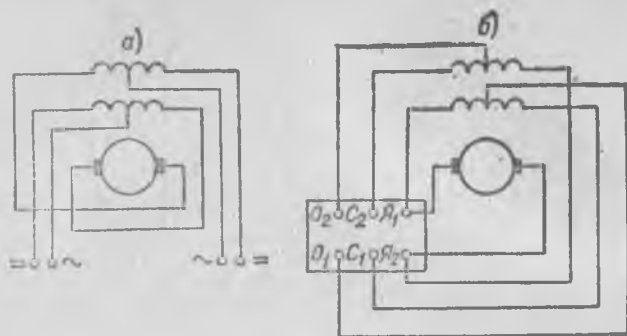
Универсал коллекторли моторлар 5 + 270 Вт ли қилиб тайёрланади. Бундай моторлар электр асбоблари, вентиляторлар, чанг сўрувчи, тикув машиналари каби механизмларда қўлланилади. Ўзгарувчан токда чулғам қаршиликларни ўзгармас токдагига нисбатан катта бўлгани учун моторни ўзгармас токка улашда унинг қўзғатувчи чулғамининг ҳаммаси занжирга киритилса, ўзгарувчан токда эса бир қисми киритилади (10—37-расм). Мотор бундай уланишда ўзгарувчан ва ўзгармас ток билан ҳам бир хил айланттирувчи момент ҳосил қилиб ишлайди.

10—37-расм, а да 0,2 ва 0,3 габаритдаги УЛ серияли универсал коллекторли моторларнинг, 10—37-расм, б да 0,4; 0,5 ва 0,6 габаритли моторларнинг уланиш схемаси кўрсатилган.



10—36-расм. Бир фазали коллекторли моторнинг:

а ва б — якорида ҳосил бўладиган э. ю. к. лар;
в — векторий диаграммаси.

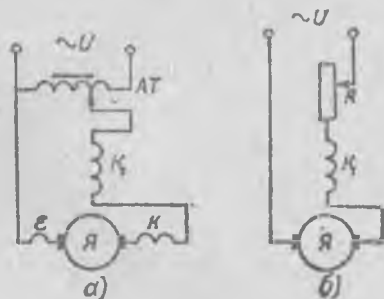


10 37- р.см. Универсал коллекторли моторларнинг уланниш схемалари.

0,4; 0,5 ва 0,6 габаритли моторларнинг ўзгармас токда C_1 ва C_2 , ўзгарувчан токда эса O_1 ва O_2 қисмалари электр тармоғига уланади (10—37- расм, б). Бунда моторнинг айланиш йўналишини ўзгартириш учун якори чулғамидан чиқувчи қисмалар ўрнини ўзаро алмаштириш кифоя.

Қуввати жуда ҳам кичик бўлган универсал моторлар ўзгарувчан ва ўзгармас токларда ҳам бир хил схемада уланади. Бундай моторлар ўзгарувчан токда ўзгармас токдагига нисбатан камроқ айлантирувчи моментга эга бўлади.

УЛ сериядаги универсал моторлар 2700, 5000 ва 8000 $\frac{\text{мм}}{\text{мин}}$ частоталарга ҳисобланиб чиқарилади, уларнинг фойдали иш коэффициенти $\eta = 0,22 + 0,64$, қувват коэффициенти эса $\cos \phi = 0,7 + 0,9$ бўлади. Юқори частотали моторларнинг қувват коэффициенти катта бўлади. Коллекторли универсал моторлар УЛ сериядан ташқари МУН, УМТ, ДТА — 40 ва КО — 400 серияларида ҳам чиқарилади.



10—38- расм. Бир фазали коллекторли моторлар частотасини:

а — автотрансформатор воситасида; б — резистор билан кучланишни ўзгартириб ростлаш.

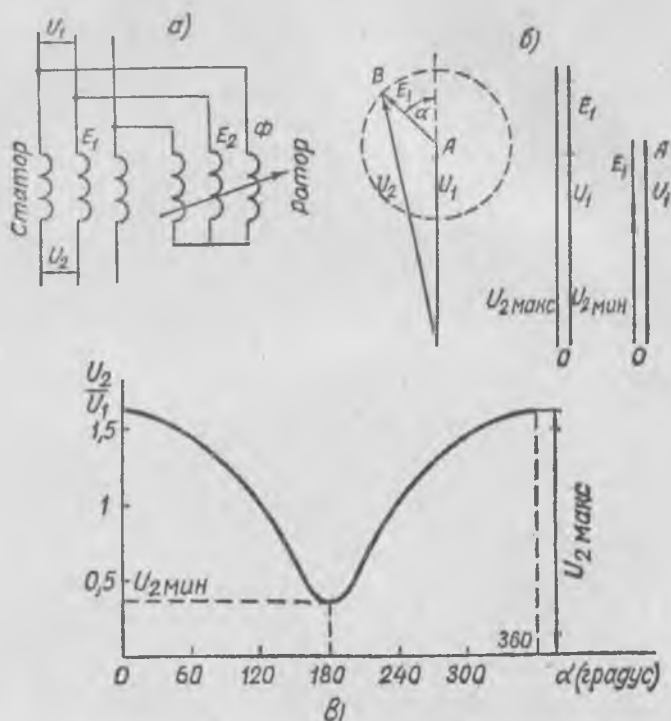
Қуввати катта бўлмаган бир фазали коллекторли моторларни электр тармоғига бевосита улаб ишга тушириш мумкин. Катта қувватли моторлар эса автотрансформатор билан ишга туширилади (10—38- расм, а). Бундай моторлар частотаси кучланишни ўзгартириш билан ростланади. Бунинг учун кичик қувватли моторларда резистор (10—38- расм, б), катта қувватлиларда эса автотрансформатордан фойдаланилади. Бундан ташқари, бир фазали коллекторли мотор-

лар частотасини кетма-кет қўзғатишли ўзгармас ток моторларида қўлланилган бошқа усуллар билан ҳам ростилаш мумкин. Коллекторли моторлар якорь чулғамининг қисқа туташтирилдиган секцияларида реактив э. ю. к. дан ташқари трансформаторли э. ю. к. ҳосил бўлиши натижасида чўткалар билан коллектор орасида катта учқунланиш содир бўлади, бу уларнинг асосий камчиликларидан ҳисобланади. Бунинг оқибатида моторни ишга тушириш ва коммутация шароитлари ёмонлашиди. Бундай моторлар кичик нагрузкада ишга туширилса, улар частотасининг ҳаддан ташқари ортиб кетиш хавфи ҳам бўлади. Частотани кенг миқёсда ростилаш имкони борлиги сабабли бир фазали коллекторли моторлардан турмуш ва ишлаб чиқаришда кенг фойдаланилади. Бундай моторлар электр транспортидан ҳатто ўзгармас ток моторларни ҳам сиқиб чиқармоқда.

10 — 20. Индуктив ва фаза ростлагичлари. Уч фазали индуктив ростлагич

Электр истеъмолчиларига бериладиган кучланишни силлиққина ростлаб туриш учун индуктив ростлагич қўлланилади. Индуктив ростлагич деб ротори червякли узатма билан тормозланиб қўйилган фаза роторли асинхрон моторга айтилади. Бунда қўзғалмас ҳолатдаги статор чулғамининг бошига электр тармоғидан ўзгармас U_1 кучланиш берилиб, унинг охиридан эса ростланувчи кучланиш олинади. Червякли узатма билан бурилиш имконига эга бўлган ротор чулғамига ҳам кучланиш берилади (10 — 39- расм, а). Ротор чулғамига берилган уч фазали токдан айланувчи магнитавий оқим ҳосил бўлиб, унинг таъсирида статор ва ротор чулғамларида E_1 ва E_2 э. ю. к. лар ҳосил бўлади. Демак, индуктив ростлагичнинг чиқишидаги U_2 кучланиш U_1 ва E_1 ларнинг геометрик йиғиндиларидан иборат (10 — 39- расм, б), яъни $\vec{U}_2 = \vec{U}_1 + \vec{E}_1$ бўлади. 10 — 39- расм, б да индуктив ростлагичнинг бир фазасига тегишли векторий диаграмма кўрсатилган.

Статор ва ротор чулғами ўқларининг фазодаги ҳолати мос бўлса, уларда ҳосил бўлган э. ю. к. E_1 ва E_2 лар фаза бўйича мос, яъни бир томонга йўналган бўлади. Бунда U_2 нинг максимал қиймати олинади, ротор 180 электрик градусга бурилганда эса U_2 нинг минимал қиймати олинади (10 — 39- расм, б). Ротор α электрик бурчакка бурилса, U_2 нинг қиймати $OA = U_1$ ва $AB = E_1$ векторларнинг йиғиндиси билан аниқланади. Демак, роторнинг 360 электрик градусга бурилганидаги E_1 ва U_1 векторларининг охири A марказдан BA радиуси билан чизилган айланани ифодалайди. 10 — 39- расм, в да $\frac{U_2}{U_1} = f(\alpha)$ эгри чизиги кўрсатилган.



10—39- расм. Индуктив ростлагич:
 а — улаиш схемаси; б — векторий диаграммаси;

$$в - \frac{U_2}{U_1} = f(\alpha) \text{ эгри чизилги.}$$

U_2 кучланишнинг фазаси U_1 никидан фарқ қилгани сабабли (10 — 39- расм, б), индуктив ростлагични трансформатор билан параллел улаб ишлатиш мумкин эмас.

Бизнинг саноатимиз қуввати 1000 кВА дан ортиқ юқори кучланишли (10 кВ гача) МА-195 типдаги ҳамда қуввати 100 кВА гача бўлган паст кучланишли АИ-61 ва АИ-62 типдаги индуктив ростлагичларни чиқаради. Индуктив ростлагичлар, кўпинча, лаборатория ва автоматикадаги схемаларда кучланишни силлиққина ростлаш учун қўлланилади.

Индуктив ростлагич сифатида амалда, кўпинча ротори тормозланиб қўйилган фаза роторли асинхрон мотор ишлатилади. Бунда ростланувчи U_2 кучланиш ротор чулғамидан олиради (10 — 40- расм), унинг ишлаш принципи заводда махсус ишланган индуктив ростлагичдан фарқ қилмайди. Бир фазали индуктив ростлагич ҳам тормозланиб қўйилган асинхрон мотордан ясалади, аммо бундай қурилмалар амалда кам учрайди. Фаза ростлагич ҳам ротори червякли узатма билан тормозланиб қўйилган фаза роторли асинхрон машинадан иборат

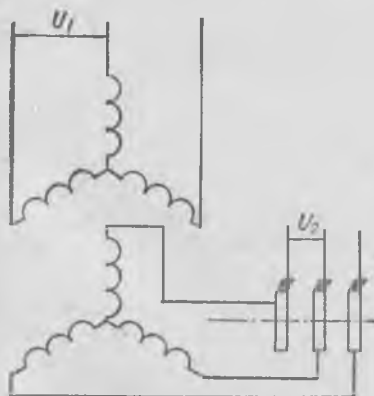
бўлади. Бундай ростлагич билан ротор чулғамидан олинадиган кучланиш U_2 фазасини статор чулғамига бериладиган U_1 фазасига нисбатан ўзгартирилади. Фаза ростлагичнинг статор ва ротор чулғамлари электрик усулда ўзаро уланмаслиги билан индуктив ростлагичдан фарқ қилади. 10—41- расмда фаза ростлагичнинг уланиш схемаси кўрсатилган. Бунда U_2 нинг фазасини ўзгартириш учун маховик воситасида қўл билан ёки мотор билан роторни буриш кифоя. Фаза ростлагичлар автоматика ва ўлчаш техникасида қўлланилади. Бизнинг саноатимиз қуввати 1 кВА ФР типдаги ҳамда 7,5 ва 15 кВА бўлган ФРО типдаги фаза ростлагичларни ишлаб чиқармоқда. ФРО типдаги фаза ростлагичлар роторини буриш процесси электр мотори билан бажарилиши сабабли уларни масофадан бошқариш имкони ҳам бўлади.

XI БОБ

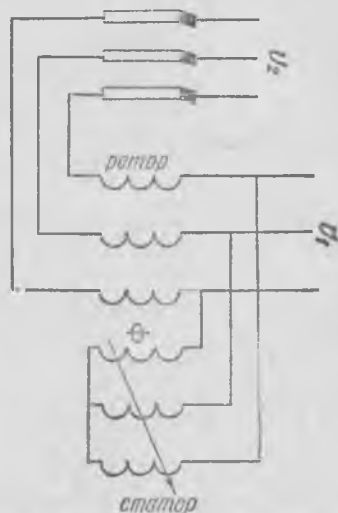
ЎЗГАРТГИЧЛАР

11—1. Умумий тушунчалар

Электр энергиясини бир турдан иккинчи турга, яъни, масалан, ўзгарувчан токни ўзгармас токка ёки ўзгармас токни ўзгарувчан токка, кучланиш ва ток частотасини ёки фазалар сонини бир қийматдан бошқа қийматга айлантириб берувчи қурилмалар ўзгартгичлар дейилади. Шу сабабли, бундай қурилмаларнинг мўлжалланишига қараб, ток, частота ёки фаза сонини ўзгартгичлар бўлади. Ўзгартгичлар тузилишига қараб



10—40- расм. Фаза роторли асинхрон мотордан индуктив ростлагич сифатида фойдаланиш схемаси.



10—41- расм. Фаза ростлагичнинг уланиш схемаси.

айланувчи (электр машинали) ва қўзғалмас (статикавий), ўзгартирилган миқдорнинг ростланиши ёки ростланмаслигига қараб бошқариладиган ва бошқарилмайдиган бўлади. Ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантириб берувчи ўзгартгич тўғрилагич, ўзгармас токни ўзгарувчан токка айлантирувчиси эса инвертор дейилади.

Баъзи ўзгартгичларни тўғрилагич ва инвертор сифатида ҳам ишлатиш мумкин. Маълумки, электр энергияси биздаги ҳамма станцияларда частотаси 50 герц бўлган ўзгарувчан ток сифатида ишлаб чиқарилади. Аммо, электролиз, электрометаллургия, темир йўл транспорти ва баъзи станоклар электрик юритмасидаги моторлар, аккумулятор батареяларини зарядлаш ва шу қабилар учун ўзгармас ток талаб қилинса, электрогермия ва юқори частотали электрик юритма моторлари учун юқори частотали ток талаб қилинади. Автоматлаштирилган ўзгармас ва ўзгарувчан ток электрик юритмаларида тўғрилланган кучланиши ростланадиган бошқарилувчи ток ўзгартгичлар ва частотаси ростланадиган бошқарилувчи частота ўзгартгичлари қўлланилади.

Бундай ўзгартгичлардан таъминланувчи электр моторининг частотаси кенг миқёсда ростланиб, унинг механикавий хarakterистикасини талаб мувофиқ равишда ўзгартириш имкони бўлади. Автоматика ва турли ўзгартгич схемаларида фаза сонини ўзгартирувчи қурилмалар ҳам кенг қўлланилади.

11—2. Ток тури ва частота қийматини ўзгартирувчи электрик машинавий ўзгартгичлар

Электрик машинавий ўзгартгичлар, умуман, асинхрон, синхрон ва ўзгармас ток моторлари билан айлантирилувчи ўзгармас ёки ўзгарувчан ток машиналаридан иборат бўлади. Турли кучланишга эга бўлган ўзгармас токни олиш учун мотор-генератор деб аталган агрегатдан фойдаланилади. Амалда кенг тарқалган бундай агрегат асинхрон ёки синхрон мотор валига муфта билан туташтирилган ва у билан айлангирилувчи ўзгармас ток генераторидан иборатдир.

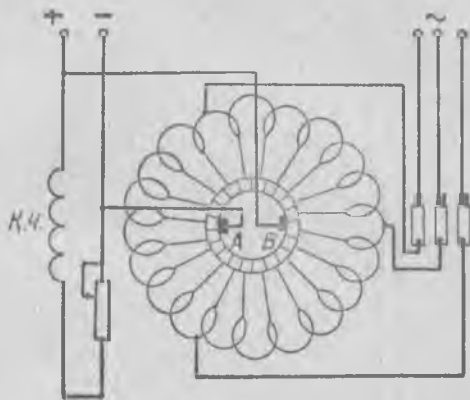
Ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантириш учун бир якорли ток ўзгартгичи деб аталувчи ўзгартгич ҳам қўлланилади. Якорь валига коллектор ва ҳалқалар ўрнатилган ўзгармас ток машинасидан иборат бўлган бундай ўзгартгичдан инвертор сифатида фойдаланиш ҳам мумкин (11—1-расм). Ўзгартгич якорига ўзгармас ток берилса, у ўзгармас ток мотори сифатида ишлаб, учбурчак схемаси билан уланган якорь чулғами ва унга уланган ҳалқалар орқали ўзгарувчан ток олинади. Бунда ҳалқалар сонини олинадиган ўзгарувчан токнинг фазалар сонига тенг, яъни масалан, олти фазали ток олиш учун якорь валига олти ҳалқа ўрнатиш лозим бўлади.

Агар ўзгартгич ҳалқалари орқали якорь чулғамига ўзга-

рувчан ток берилиб, машина қутбига ўрнатилган қўзғатиш чулғамига ўзгармас ток берилса, у ҳолда машина асинхрон мотор сифатида айланиб А ва В чўткалардан ўзгармас ток олинади.

Ўзгартгични синхрон мотор сифатида ишга тушириш учун унинг қутбларига қисқа туташтирилган чулғам ўрнатилади.

Бир якори тоқ ўзгартгичи, асосан, ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантирувчи тўғрилагич сифатида кенг ишлатилади. Бундай ўзгартгичдан олинadиган ўзгармас ток кучланишини рoстлаш учун



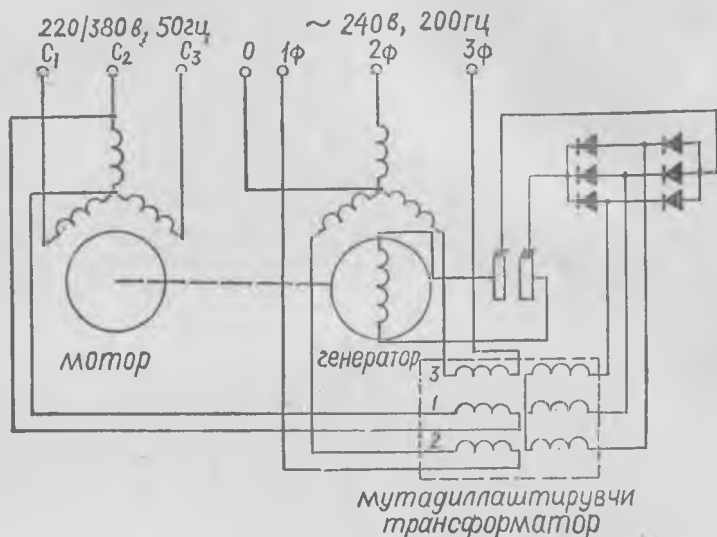
11—1- расм. Бир якори тоқ ўзгартгичнинг схемаси.

халқалар орқали бериладиган ўзгарувчан ток кучланишини автотрансформатор ёки индуктив рoстлагичлар билан рoстлаш

лозим бўлади. Аммо бунда ҳам $U_{\phi} = \frac{\sin \frac{\pi}{m}}{\sqrt{2}} = U_1$ бўлгани учун кучланишни кенг миқёсда рoстлаб бўлмайди. Бу эса ўзгартгичнинг асосий камчиликларидан ҳисобланиб, ишга тушириш процессининг мураккаблиги эса унинг яна бир камчилиги ҳисобланади. Шу сабабли бундай ўзгартгичлардан кам фойдаланилади.

ПСЧ-5 типли частота ўзгартгич

Қишлоқ хўжалигида, кўпинча ПСЧ-5 типли частота ўзгартгичдан фойдаланилади. Бундай ўзгартгич частотаси 50 герцли электр тармоғига уланган асинхрон мотор билан айлантирилувчи синхрон генераторидан иборат бўлиб, бу генератордан частотаси 200 герц бўлган ўзгарувчан ток олинади. Синхрон генераторни қўзғатиш учун махсус уч чулғамли муътадиллаштирувчи трансформатордан таъминланувчи селенли тўғрилагич қўлланилади. Трансформаторнинг бирламчи 1 чулғами асинхрон моторнинг бирор фазасига уланган бўлиб, 2 ва 3 чулғамлари эса синхрон генераторнинг статор чулғамларига кетма-кет уланади (11—2- расм). Трансформаторнинг юлдуз схемаси билан уланган иккиламчи чулғамидан олинган паст кучланиш селенли тўғрилагичга берилади. Демак, синхрон генератордаги нагрузка токининг ортиб бориши билан транс-



11—2. расм. ПСЧ-5 типли частота ўзгартгичнинг схемаси.

форматорнинг 2 ва 3 чулғамларидаги ток ҳам кўпаяди. Натижада селенли тўғрилагичга бериладиган кучланиш ва, демак, генератор роторидан утадиган қўзғатиш токи ҳам кўпаяди. Нагрузкаи кўпайиши билан қўзғатиш токи ҳам кўпайиши сабабли синхрон генераторнинг кучланиши ўзгармас бўлиб, берилган қийматда сақланади.

Ўзгартгич агрегатидаги асинхрон мотор бир жуфт қутб, генератор ротори эса тўрт жуфт қутбга ҳисоблангани сабабли генератор статоридан 200 Гц частотали электр токи олинади. Ҳақиқатан, генератор ротори $n = \frac{60 f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \frac{\text{апл}}{\text{мин}}$ частота билан айлантирилса, у ҳолда статордан олинadиган электр токининг частотаси $f = \frac{p \cdot n}{60} = \frac{4 \cdot 3000}{60} = 200$ Гц бўлади.

Номинал нагрузкаида асинхрон мотордаги сирпаниш сабабли ўзгартгичдан олинadиган частота қиймати 200 Гц эмас, балки 194 Гц га тенг бўлади. ПСЧ-5 типли частота ўзгартгичнинг қуввати $P=5$ кВт, фойдали иш коэффициенти $\eta = 0,75$ бўлганда нагрузканинг ўзгаришига қарамай генератор кучланиши, автоматик равишда, берилган 240 вольтга тенг ёки унга нисбатан $\pm (5 \div 8) \%$ фарқида сақланади.

ПСЧ-5 типли частота ўзгартгичдан электрик арра, электрик бутагич ва шу каби қўл асбоб моторларининг юқори частотали электр энергияси билан таъминлашда фойдаланилади.

И-75 типли асинхрон частота ўзгартгич

Асинхрон частота ўзгартгич жуфт қутблар сони $p = 1$ бўлган асинхрон мотори билан айлантирилувчи жуфт қутблар сони $p = 3$ бўлган фаза роторли асинхрон генератордан иборат бўлиб, унда моллар жунини қирқувчи машиналарда қўлланувчи электр моторининг юқори частотали электр энергияси билан таъминлашда фойдаланилади. Ўзгартгичдаги мотор ва генераторнинг статор чулғамлари частотаси 50 Гц, кучланиши 380 В бўлган электр тармоғига 11—3- расмда кўрсатилган схема асосида уланади. Бунда мотор ва генератор статорларида ҳосил бўлувчи магнитавий майдонлари қарама-қарши томонларга айланиб, генераторнинг ротори занжиридан кучланиши 36 вольт, частотаси эса 200 Гц бўлган ўзгарувчан ток олинади. Ҳақиқатан, статорнинг магнитавий майдонга нисбатан тескари томонга айланаётган генератор роторида ҳосил бўлган э. ю. к. нинг частотаси қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$f_2 = f_1 \frac{n_1 + n_2}{n_2},$$

бунда f_2 — генератор роторидаги э. ю. к. нинг частотаси, Гц;

f_1 — электр тармоғидаги частота, Гц;

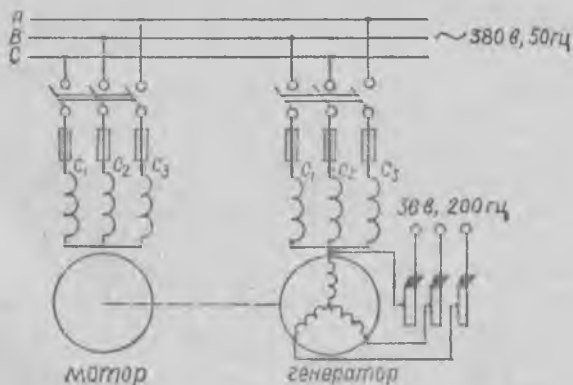
n_1 — генератор роторининг айланиш частотаси, $\frac{\text{айл}}{\text{мин}}$;

n_2 — генератор статоридаги айланувчи магнитавий майдоннинг айланиш частотаси, $\frac{\text{айл}}{\text{мин}}$.

Демак, электр тармоғидаги частота $f_1 = 50$ Гц бўлса,

$$f_2 = f_1 \frac{n_1 + n_2}{n_2} = 50 \frac{3000 + 1000}{1000} = 200 \text{ Гц бўлади.}$$

Шундай қилиб, жун қирқувчи машина учун синхрон тезлиги



11—3- расм. И- 75 типли асинхрон частота ўзгартгичнинг принципаал схемаси.

$n = \frac{60 \cdot f}{P} = \frac{60 \cdot 200}{1} = 12000 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$, кучланиши эса $U = 36 \text{ В}$ бўлган, яъни юқори тезлик ва паст кучланишли асинхрон мотордан фойдаланиб, бу асбоб оғирлигини 1,75 кг гача камайтиришга эришилди. Кейинги пайтларда, фойдални иш коэффиценти нисбатан кичик, нархи юқори, габарити катта, ишлаш ишонч-лилиги паст бўлган электр машина ўзгартгичларни ион ва ча-ла ўтказгичли асбоблардан ташкил топган статикавий ўзгарт-гичлар билан сиқиб чиқарилмоқда.

11—3. Чала ўтказгичли статикавий частота ўзгартгичлар

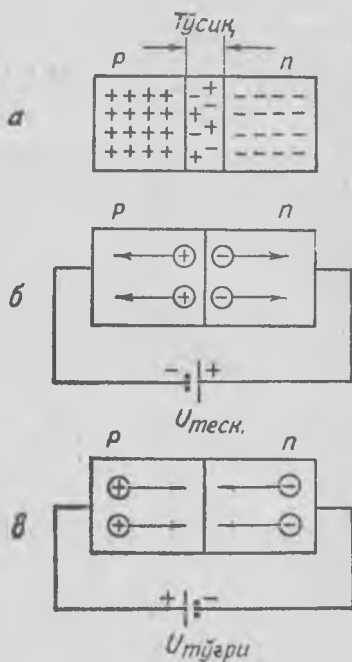
Статикавий ўзгартгичлар билан танишишдан илгари чала ўтказгичларнинг тузилиши ва хусусиятларини бир оз эсга оламиз.

Чала ўтказгич деб солиштирма қаршилиги металликдан катта, аммо диэлектрикикидан кичик бўлган қаттиқ жисмга айтилади. Солиштирма қаршилиқ эса жисмнинг тузилиши, яъни атомдаги электронларнинг жойланиш структурасига бог-лиқ бўлади.

Маълумки, қаттиқ жисмнинг ҳар бир атоми мусбат заряд-га эга бўлган ядро ва унинг атрофида катта частота билан айланадиган манфий зарядли электронлардан иборат. Бу элек-тронларнинг ядрога яқин бўлган орбиталарда жойлашганлари ядро билан маҳкам боғлангани учун ундан узоқлаша олмай-ди, узоқдагилари, яъни жисмнинг валентлигини ифодалайди-ганлари эса ядро билан кучсиз боғланганлиги сабабли маълум шаронтда, масалан, иссиқлик энергиясининг таъсирида ундан осонгина узоқлашиши ва ҳатто ундан ажралиб эркин элек-тронларга айланиб қолиши ҳам мумкин. Уй температурасида-ги 1 см^3 мисда эркин электронлар сони 10^{22} бўлса, энг кўп ишлатилувчи германий ва кремний чала ўтказгичларида $10^5 - 10^{11}$ бўлади. Агар чала ўтказгич таркибига валент электронлари сони бошқача бўлган бирикмадан бир оз киритилса, у ҳолда унинг ўтказувчанлигини анча ўзгартириш имкони олинади. Ҳақиқатан, агар тоза германий кристали олинса, ундаги 32 та электрондан тўрттаси валентли бўлиб, улар ҳам ковалент боғ-ланиш сабабли ўз орбиталаридан узоқлаша олмайдилар. Тоza германий кристалида эркин ҳолатдаги валент электронлар бўл-маганлиги учун уни диэлектрик ёки изолятор деб аталади. Ковалент боғланиш деб валент электронларнинг қўшни атом-даги шу сингари электронлар билан боғланишда бўлиб, улар билан бирга ҳаракатланишига айтилади. Агар германий крис-талига 5 валентли сурьма қоришмаси киритилса, у ҳолда ва-лент электронлардан бири ковалент алоқага эга бўлмай, эркин ҳолда қолади. Натижада германий диэлектриги чала ўтказ-гичга айланади. Кристалл ҳолдаги диэлектрикка қўшилиб,

ундан эркин электрон ҳосил қиладиган бирикма, масалан, сурьма донор деб аталади. Донор бирикмали чала ўтказгич n -типи чала ўтказгич дейилади. Агар германий кристалига, масалан, уч валентли индий бирикмаси киритилса, у ҳолда индий атоми ўзидаги валент электронлар билан уч жуфт ковалент боғланиш ҳосил қилади. Бунда индий атоми тўртинчи жуфт ковалент боғланишга етишмаган бир валент электронни қўшни германий атомидан тортиб олади. Германий атомидаги валент электрондан бўшаб қолган жой тешик дейилади. Демак, тешикни миқдор жиҳатдан электрон зарядига тенг, лекин мусбат зарядга эга бўлган эркин заррача деб аташ мумкин. Шунга биноан, ташқи электр майдони таъсирида бу тешикларни майдон томон силжитиш мумкин. Тешик ўтказувчанликни ҳосил қиладиган бирикма, масалан, индий акцептор дейилади. Акцепторли чала ўтказгични эса p -типи чала ўтказгич дейилади. Шундай қилиб, германийга акцептор киритилганда ундаги электр ўтказувчанликнинг миқдори ва ишораси ўзгаради. p -типи чала ўтказгичнинг бу хусусияти автоматика учун янги асбоблар яратишда жуда катта аҳамиятга эга.

Агар германий кристалининг бир томонига донорли ва иккинчи томонига акцепторли бирикмалар киритилса, у ҳолда p -чала ўтказгичда тешикларнинг, n -чала ўтказгичда эса электронларнинг кўплаб тўпланиши сабабли тешикларнинг p қисмдан n га, электронларнинг эса тескари томонга диффузияси бошланади. Шунга кўра, p ва n материалларининг бир-бирига туташган жойида тешик ва электронлардан иборат юпқа қатлам ҳосил бўлади (11—4-расм, *а*). Бу қатламнинг ҳосил бўлиши билан унинг таъсирида диффузия процесси ўз-ўзидан тўхтайд. Шунга кўра, буни беркитувчи (тўсиқ) қатлам ёки p - n ўтиш дейилади. Агар ток манбаини p - n ўтишга 11—4-расм, *б* даги сингари уланса, у ҳолда тешик ва электронлар ток манбаининг турли қутблари томон силжий бошлайди. Бунда p - n ўтишдаги ток ҳосил қиладиган заррачаларнинг камайиши сабабли, тўсиқ қаршилиги жуда ҳам катта қийматга эга бўлиб қолади. Шунга



11—4- расм.

κ — p - n ўтишининг схемаси; p - n ўтишга ток манбаининг: *б* — тескари; *в* — ўтғари уланishi схемалари.

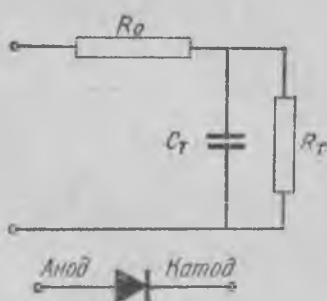
қўра, ток манбаининг бундай уланиши тескари уланиш дейилади. Бунда тескари кучланиш $U_{\text{теск}}$ қиймати катта бўлишига қарамай, тўсиқдан жуда ҳам кичик қийматли ток ўтади. Агар ток манбаи $p-n$ ўтишга 11—4-расм, *в* даги сингари уланса, у ҳолда тешик ва электронлар тўсиқ томон силжийди. Бунда тўсиқ ўтказувчанлигининг қиймати кескин равишда купаяди ва шу сабабли бундай уланиш тўғри уланиш дейилади. Тўғри уланишда тўғри кучланиш $U_{\text{тўғри}}$ қийматининг кичик бўлишига қарамай тўсиқдан ўтадиган токнинг қиймати ниҳоятда катта бўлиши мумкин. $p-n$ ўтишни бир томонлама ўтказиш, яъни вентиль хусусияти сабабли ундан чала ўтказгичли тўғрилагич сифатида фойдаланиш мумкин. Ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантириб берадиган икки электродли асбоб (диод) тўғрилагич деб аталади.

Саноатда кенг тарқалган чала ўтказгичли диодларнинг параметрлари қуйидаги жадвалда келтирилган.

Параметрлар	Вентиль турлари		
	селен	германий	кремний
Ток зичлиги $\left[\frac{\text{А}}{\text{см}^2}\right]$: табиий совитилишда . .	0,07	40	80
Мажбурий совитилишда	0,2	100	200
Тескари кучланиш, В	25 + 45	100 + 150	400
Ишлаш температурасининг максимал қиймати, град	85	70	150
Фойдали иш коэффиценти, %	92	98,5	99,6
Тўғри уланишга тегишли $p-n$ ўтишидаги кучланишнинг пасайиши, В	0,6	0,5	0,7 + 1

11—5-расмда чала ўтказгичли диоднинг эквивалент схемаси ва шартли белгиси кўрсатилган. Бунда R_o — чала ўтказгичнинг p ва n қисмларидаги умумий қаршилик бўлиб, унинг қиймати тахминан 1 Ом га тенг бўлади; R_t — тўғри ва тескари уланишларда турли қийматга эга бўлган $p-n$ тўсиқ қаршилиги; C_t — тескари уланишдаги тўсиқ сифими. Шартли белгининг чўққи томони вентилнинг ўтказувчи томони ҳисобланади. Агар чала ўтказгичли диодга юқоридаги жадвалда кўрсатилган нормал тескари кучланишдан каттароқ кучланиш, яъни $U_{\text{теш}}$ берилса, у ҳолда кучли электр майдони таъсирида ковалент боғланишлардаги электронлар эркин ҳолатга ўтиб, ток қийматининг кескин кўпайиши ва, демак, „тешилиш“ ҳодисаси содир бўлиши мумкин. Ҳозирги пайтда саноатимиз 350 амперга ҳисобланган германий диодларини ўзлаштириб, 1000 амперга ҳисобланганини ўзлаштираётганда, кремний вентилларининг эса 1000 амперга ҳисобланганини ўзлаштирган. Бундай вентилларни кетма-кет ва параллел улаб, битта ярим даврли,

иккита ярим даврли, кўприксимон ва бир ҳамда кўп фазали схемаларда жуда катта қувватли тўғрилагичлар яратилган ва яратилмоқда. Саноатимиз германий ва кремний вентиллари асосида ток кучи 100 000 ампергача ва кучланиши бир неча минг вольт бўлган тўғрилагичларни ишлаб чиқармоқда. Ишда ишончлилиги, фойдали иш коэффициенти катта бўлиши, тезкорлиги, ихчамлиги ва енгиллиги сабабли кремнийли чала ўтказгич тўғрилагичлар билан мотор-генератор, симобли ва селенли тўғрилагичлар сиқиб чиқарилмоқда.

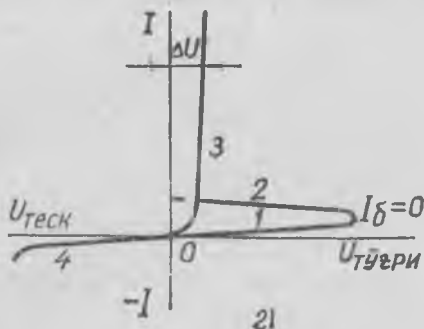
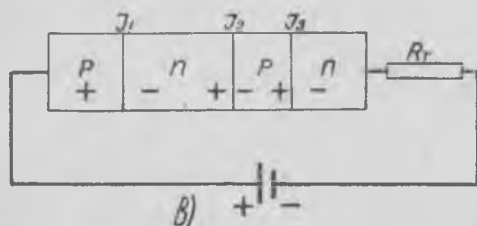
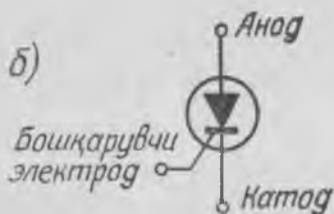
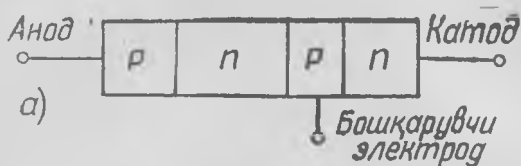


11—5- расм. Чала ўтказгичли диоднинг эквивалент схемаси ва шартли белгиси.

11—4. Тиристор ва тиристорли частота ўзгартгич

Кремний кристалларидан иборат *p-n-p-n* структура (тузилиш) ли бошқарилувчи диод тиристор деб аталади. Бундай диоднинг икки четки қатламларига бириктирилган электродларини — анод ва катод, ички база қатламдагисини бошқарувчи электрод дейилади. 11—6- расмда: *a* — тиристор структураси, *b* — унинг шартли белгиси, *в* — уланиш схемаси ва *г* — вольт-ампер характеристикаси кўрсатилган.

Агар анод электродига унинг катодига нисбатан мусбат потенциал берилган бўлса, у ҳолда четки J_1 ва J_2 ўтишлардаги заряд ташувчилар тўғри, марказий J_2 даги заряд ташувчилар эса тескари йўналишда силжийди. Тиристорнинг вольт-ампер характеристикасини тўрт қисмдан иборат деб кўрсатиш мумкин, бунда: 1- қисм — тиристорнинг берк ҳолати; тиристорнинг бу ҳолатида ундан ўтадиган ток тўсиқ (ғов қатлам) сабабли тескари уланиш (4- қисм) даги ток сингари кичик қийматли бўлади. Анод ва катод орасидаги кучланиш қийматининг ортиб бориши билан марказий ўтишдаги ток қиймати ҳам ортади ва, нихоят, кучланишнинг $U_{\text{макс}}$ қийматида марказий ўтиш J_2 нинг тешилиши сабабли тиристордан ўтадиган ток қиймати ўз-ўзидан характеристиканинг иккинчи қисми бўйича ортиб, сўнгра унинг учинчи қисмига ўтади. Бунда тиристор очилган ҳисобланади. Очилган тиристорнинг ички қаршилиги жуда ҳам кичик бўлганлиги сабабли ундан ўтадиган ток қиймати қанча катта бўлишидан қатъи назар, ҳосил бўладиган кучланиш пасайиши $\Delta U = 1 + 2$ вольтдан ортмайди. Агар анодга манфий потенциал берилса, у ҳолда четки *p-n* ўтишлар тескари уланишга эга бўлиб, тўсиқ ҳосил бўлади ва натижада характеристиканинг 4- қисми олинади. Агар тиристорнинг бошқариш электродига, унинг катодига нисбатан мусбат



11—6- расм. Тиристор:

а — структураси; б — шартли белгиси; в — улаиш схемаси; г — вольт-ампер характеристикаси.

потенциал берилса, у ҳолда марказий ўтиш I_2 нинг „тешилиши“ камроқ кучланишларда содир бўлади. Демак, бошқариш электродидан ўтадиган ток I_0 қиймати ва унинг фазасини ўзгартириш билан тиристорнинг очилиш процессини, тиратрондаги сингари бошқариш мумкин.

Агар бошқариш токи I_0 фазасини тиристор токи I га нисбатан 180° гача ўзгартириш мумкин бўлса, у ҳолда нагрузкадан ўтадиган тўғрилانган ток қийматини катта диапазонда ростлаш имкони олинади.

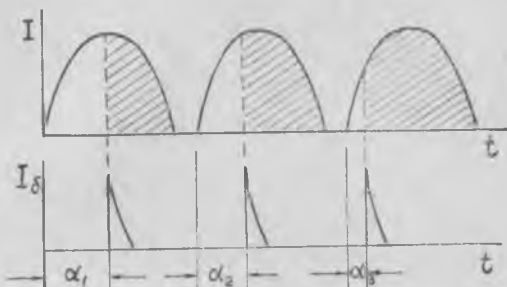
11—7- расмда бошқариш электродига бериладиган I_0 токи фазасини, яъни тиристорнинг очилиш бурчаги α ни ўзгартириш билан ундан ўтадиган ток I қийматининг штрихланган юза бўйича ростланиши кўрсатилган.

Тиристорнинг очик, яъни тўйинган ҳолатида бошқариш токи $I_0 = 0$ бўлиб қолса ҳам, у узок вақт очиклигича қолиши мумкин.

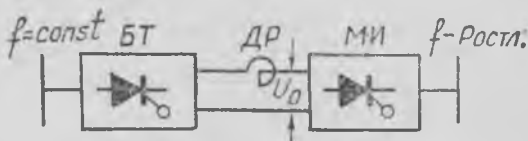
Шунга кўра, бошқариш электроди занжиридаги кичик қийматли сигнал билан очик ҳолатдаги тиристорми берк ҳолатга ўтказиб бўлмайди. Очик ҳолатдаги тиристорми анод занжиридаги сигнал билангина беркитиш мумкин, бу эса унинг камчилиги ҳисобланади. Тиристорларнинг қувват бўйича кучайтириш коэффициентлари жуда катта, яъни $k_p = 10^4 + 10^5$ бўлади. Масалан, ток манбадаги э. ю. к. $E = 300$ В ва тиристордан ўтаётган ток 100 А бўлса, у ҳолда нагрузкадаги қувват $P = 30$ кВт бўлади (агар тиристорлардаги қувват исрофини, унинг

қиймати кам бўлганлиги учун ҳисобга олинмаган бўлса). Бунда тиристорни очик ҳолатга ўтказиш учун тахминан 0,15 Вт бошқариш қуввати P_6 талаб қилинади. Агар $P_6 \approx 0,15$ Вт бўлса, тиристорнинг кучайтириш коэффициенти $K_p = 2 \cdot 10^5$ бўлади.

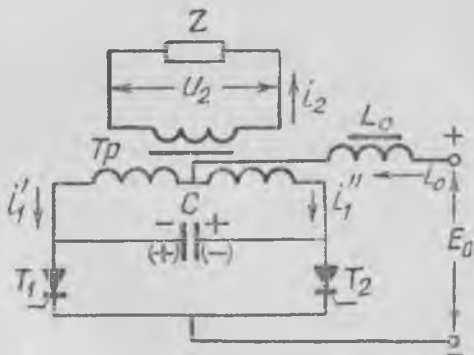
Статикавий ўзгартгичлар ичида энг истиқболлиси кремнийли бошқарилувчи диод (тиристор) лар асосида яратилган частота ўзгартгич ҳисобланади. 11—8- расмда частота ўзгартгичларидан бир турининг структура схемаси кўрсатилган. Бунда бошқариладиган тўғрилагич БТ орқали, берилган частотадаги ўзгарувчан ток кучлиниши ўртача U_0 қиймати ростланадиган тўғрилланган кучланишга айлантирилади. Тўғрилланган U_0 кучланиш мустақил инвертор МИ га узатилиб, у орқали частотаси ростланадиган ўзгарувчан ток кучланиши олинади. (10—38) ифодага биноан частотанинг ўзгариши билан кучланишни ҳам маълум қонунда ўзгартириш зарур бўлгани учун МИ га бериладиган U_0 нинг қиймати ростланадиган бўлиши керак. Шунинг учун ҳам 11—8- расмдаги схемада тўғрилагич сифатида бошқарилувчи тўғрилагичдан фойдаланилган. Инвертор орқали истеъмолчига частотаси ростлаиб туриладиган кучланиш берилади. 11—9- расмда кенг тарқалган бир фазали мустақил



11—7- расм. Тиристор очилиш бурчаги α ни ўзгартириш билан ундан ўтайдиган тўғрилланган ток қийматини ростлаш.



11—8- расм. Тиристорли частота ўзгартгичнинг структуравий схемаси.



11—9- расм. Бир фазали мустақил инверторнинг принципал схемаси.

инверторнинг схемаси кўрсатилган. Инвертор схемаси тиристор T_1 ва T_2 , статикавий конденсатор C , трансформатор Tr ва текисловчи дроссель L_0 дан иборат. Бунда конденсатор C билан ток коммутацияси таъминланиб инвертор ва нагрузкага реактив қувват берилади ҳамда U_2 ни юқори гармониклардан тозаланади. Токни бир вентилдан иккинчисига узатиш процесси ток коммутацияси деб аталади. Бунда конденсатор орқали коммутацияланувчи инверторнинг ташқи ўзгарувчан ток манбаига зарурияти бўлмайди. L_0 дроссели билан эса мустақил инверторга бериладиган ўзгармас ток қиймати текисланади ҳамда конденсатор билан реактив қувватнинг ўзаро алмашилиб, конденсаторнинг нормал шароитда зарядланиб туриши таъминланади.

Мустақил инверторнинг ишлаш принципи

Биринчи T_1 вентилининг бошқариш электродига мусбат потенциал берилиши билан у очилиб, ўзгармас ток манбаидagi E_0 таъсирида дроссель, трансформатор, бирламчи чулғамининг чап томони ва T_1 орқали i_1' токи ўта бошлайди.

Бунда Tr нинг иккиламчи чулғамида i_2 токи ҳосил бўлади. Шу пайтда трансформатор чулғамининг ўнг қисми орқали конденсаторни зарядловчи i_1'' токи ўта бошлайди. Бунда конденсаторнинг T_2 нинг аноди билан уланган пластинкасида мусбат, T_1 нинг аноди билан уланганида эса, манфий қутблар ҳосил бўлади. Бошқариш электродларига берилган сигналнинг иккинчи ярим даврида T_2 очилади. Бунда T_1 ва T_2 ларни кичик дақиқада очиқ ҳолати содир бўлиб, конденсатор улар орқали қисқа туташиб қолади. Конденсаторнинг қисқа туташилишидаги разрядловчи (коммутацияловчи) токининг йўналиши T_2 даги иш токига мос ва, демак, T_1 даги иш токига тескари бўлади. Шунга биноан T_1 даги ток тезда нолгача камайиб, у берк ҳолатга ўтиб қолади, T_2 даги ток эса ўзининг нормал қийматигача кутарилиб, кейинги коммутацияга нормал шароит ҳосил қилади. Бунда Tr нинг иккиламчи чулғамида ҳосил бўлган ток ҳам ўз йўналишини ўзгартиради. Шу пайтда конденсатор тескари зарядлана бошлайди. Токнинг бундай ўзгариш процесси бошқариш сигналининг ҳар бир даврида қайтарилиб туради. Шу сабабли инвертордан олинadиган кучланиш U_2 частотасининг қиймати MI даги вентиль T_1 ва T_2 ларнинг бошқариш электродларига бериладиган импульс частотаси $f_{имп}$ билангина аниқланади ва унга тенг бўлади. Демак, тиристорларнинг бошқариш электродларига берилувчи мусбат сигнал частотасини ўзгартириш билан MI дан олинadиган ўзгарувчан кучланиш U_2 частотасини ростлаш имкони бўлади.

ХII БОБ. ЭЛЕКТРИК МАШИНАНИНГ НУҚСОНЛАРИ

12—1. Электрик машиналар ва трансформаторлар ўта қизишининг асосий сабаблари

Электрик машина ёки трансформаторнинг умуман нормадан ортиқ қизиб кетишига, яъни ўта қизишига, қўпинча ва асосан, уларнинг номиналга нисбатан каттароқ нагрузка токи билан ишлаши сабаб бўлади. Бундан ташқари, электрик машиналар ўта қизишининг умумий сабаблари қуйидагилардан иборат бўлиши мумкин:

1) машина чулғамлари ва бошқа қисмларининг чанг қатлами билан қопланиши сабабли улардаги иссиқликнинг ташқарига узатилиши ёмонлашади (камаяди);

2) машинани шамоллатиб турувчи вентилятор унинг валига ўзининг тескари томони билан урнатилган бўлса ҳам, машина қисмларидаги иссиқликнинг ташқарига тарқалиши сустлашади;

3) ташқи муҳитнинг температураси 35° дан юқори бўлса ҳам, машинадаги иссиқлик ташқарига кам тарқалади;

4) электрик машина якори ёки роторининг номинал частотага нисбатан паст частота билан айланишида ҳам ундаги ҳаво алмашиниши, яъни ундаги иссиқликнинг ташқарига тарқалиши камаяди;

5) машина чулғамининг ўрамларида ўзаро туташилар содир бўлиб, улардаги қисқа туташилар токлари номиналга нисбатан катта бўлса ҳам машина қисмлари ўта қизиб мумкин;

6) номиналга нисбатан паст частота билан айлантириладиган генератордан номинал кучланиш олиш мақсадида унинг қўзғатиш токининг кўпайтирилиши ҳам қўзғатувчи чулғамнинг ўта қизишига сабаб бўлади;

7) машина подшипникнинг ўта қизишига унинг ёмон мойланиши ёки тасманинг нормадан ортиқроқ тортилгани сабаб бўлади.

Ўзгармас ток машинаси коллекторининг ўта қизишига қонирсиз коммутация ҳамда чўтканинг қаттиқ материалдан бўлиши ёки уни коллекторга қаттиқ босилиши натижасида чўткалар остида зўр учқунланишнинг содир бўлиши сабаб бўлади. Паст қувват коэффицентига эга бўлган нагрузка билан ишлайдиган синхрон генераторларидаги магнитсизлантириш таъсирини йўқотиш учун унинг қўзғатиш чулғамига номиналга нисбатан каттароқ қўзғатиш токининг берилиши натижасида ротор чулғами ўта қизиб кетиши мумкин. Асинхрон моторларда эса уларнинг ўта қизишига бошқа типдаги электрик машиналарга тааллуқли бўлган сабаблардан ташқари қуйидагиларни ҳам кўрсатиш мумкин:

1) электр тармоғидаги кучланишнинг номиналга нисбатан юқори бўлиши машинанинг пўлат қисмидаги қувват исрофи-

нинг қўпайиши ва, демак, унинг ўта қизишига сабаб бўлиши мумкин;

2) номинал нагрузкада икки фаза билан ишлаётган моторнинг фазавий тоқларининг қиймати номиналга нисбатан тахминан $\sqrt{3}$ марта катта бўлиб, уни ўта қизитиши мумкин;

3) номинал нагрузкада моторга бериладиган кучланишнинг қиймати номиналга нисбатан паст бўлса, фазадаги тоқларнинг қиймати номиналга нисбатан ортиқ бўлиб, уни ўта қизитиши мумкин;

4) юлдуз схема билан уланиши лозим бўлган моторни уч-бурчаклик схема билан уланса, фазадаги кучланиш ва, демак, тоқ номиналга нисбатан $\sqrt{3}$ марта ортиб, уни ўта қизитиши мумкин.

Трансформаторнинг ўта қизишига ҳамма электрик машиналарга тааллуқли сабаблардан ташқари унинг пўлат тунукалари (листлари) орасидаги ёки у листларни бир-бирига зичлаб тортиб турувчи болт билан листлар орасидаги изоляциянинг ёмонлашиши сабаб бўлади. Бунда уюрма тоқлардан ҳосил бўлувчи қувват исрофи натижасида пўлат қисмлардаги температура шу даражагача кўтариладики, ҳатто у болтни эритиб юбориши мумкин. Трансформатор бакидаги мой сатҳи пасайганда ҳам чулғам ўралган пўлат ўзакнинг ёгдан ташқи қисмининг совитилиш шароити ёмонлашиб, трансформатор ўта қизиши мумкин.

12—2. Электрик машиналар дириллашининг асосий сабаблари

Нормал ишлаб турган электрик машинада ҳам дириллаш ҳодисаси кузатилади. Бунга турли-туман механикавий ва электрик ҳодисалар сабаб бўлади. Агар турли айланиш частоталарида ишлаётган машина дириллашидаги тебраниш амплитудасининг иккиланган қиймати қуйидаги жадвалда кўрсатилган кўрсаткичлардан ортиб кетмаса, уларни йўл қўйилган даражадаги дириллаш дейилади.

Машинанинг минутига айланишлари сони, мин	Йўл қўйиладиган дириллаш, мм
750	0,12
1000	0,1
1500	0,08
3000	0,05

Дириллаш натижасида машинадаги уланиш жойлари емирилиб, улар ишдан чиқиши ҳамда подшипниклар ўта қизиши кузатилади. Электр машина дириллашининг механикавий сабабларининг асосийси қуйидагилардан иборат бўлади:

1) айланувчи қисмларнинг мувозанат ҳолатда бўлмаслиги;
2) бир валга уланиб ишлайдиган машиналар вагининг бири-бирига нотўғри марказланиши;

3) валнинг подшипникка ўрнатиладиган жойи (бўйинчаси)нинг қийиқлиги;

4) фундаментнинг етарли даражада қаттиқ бўлмаслиги ёки машинанинг фундаментга ёмон маҳкамланиши.

Электрик машина чулғами ўрамларининг ўзаро туташиб қолишида ҳам дириллаш ҳодисаси содир бўлади. Бунда қисқа туташилш токларидан магнитавий асимметрия ҳосил бўлиб, машина статори билан роторининг ўзаро тортишилши бир текисда утмайди ва, демак, дириллаш ҳодисаси вужудга келади. Машина ротори статорга нисбатан аниқ марказлаштирилмаганда ҳам магнит асимметрияси вужудга келиб дириллаш ҳодисаси рўй беради. Магнитавий асимметрия натижасида кучли дириллаш ҳодисаси, асосан, ўзгарувчан ток машиналарида кузатилиб, ўзгармас ток машиналарида эса деярли кузатилмайди. Дириллаш сабабларини аниқлаш учун генераторларни қўзғатиш токидан, моторларни эса электр тармоғидан ажратилади. Бундан сўнг ўз инерцияси билан айланаётган машинада дириллаш ҳодисаси кузатилмаса, у ҳолда, дириллашга магнитавий асимметриянинг, акс ҳолда эса механикавий носозликларнинг таъсири аниқланади.

12—3. Ўзгармас ток генераторларининг асосий нуқсонлари

Ўзгармас ток генератори қуйидаги сабабларга кўра қўзғатилмаслиги мумкин:

1) генератор қўтбларида қолдиқ магнетизм йўқолган (аммо бундай ҳолат кам учрайди);

2) чўткалар геометрик нейтрал бўйича қўйилмагани сабабли ўз-ўзини қўзғатиш учун генератордаги кучланиш етарли бўлмайди;

3) якорнинг тескари томонга айланиши ёки параллел қўзғатиш чулғамининг якорга нотўғри уланиши натижасида қўзғатиш чулғамидаги токдан ҳосил бўлган магнит оқими қолдиқ магнит оқимига тескари йўналади. Бундай ҳолда генераторни ишлатиш учун унинг қўзғатиш чулғами учларини якорга ўзаро алмаштириб улаш ёки якорни тескари томонга айлантириш кифоя;

4) коллекторга чўткалар етарли куч билан босилмаса ёки коллектор сирти ифлос қатлам билан қопланиб қолса, контакт қаршилиқ жуда ҳам ортиб кетади. Генераторнинг бундай нуқсонини аниқлаш учун чўткани бир оз кўпроқ куч билан босиб, унинг қўзғатилиш ёки қўзғатилмаслигини кузатиш керак;

5) генераторнинг қўзғатиш занжирида узилиш бўлса, қўзғатиш токи нолга тенглашиб, машина ишламайди;

6) якорь чулғамида узилиш ёки унинг ўрамларида ўзаро туташилар бўлса, у ҳолда ҳам генераторни қўзғатиш имкони бўлмайди;

7) қўзғатиш чулғами занжиридан резистор қаршилиги чиқарилмаганлиги сабабли ҳам генераторни қўзғатиш мумкин бўлмайди.

Баъзи ҳолларда генератор кучланиши номиналга нисбатан паст бўлади. Бунга қуйидагилар сабаб бўлиши мумкин:

1) генератор якорининг номиналга нисбатан паст частота билан айланиши;

2) чўткалар геометрик нейтрал бўйича ўрнатилмаганлиги натижасида якорь чулғамининг параллел шохобчаларидаги секцияларининг бир қисмида ҳосил бўлган э. ю. к. нинг асосий э. ю. к. га қарши йўналишлиги;

3) қўзғатиш чулғами занжиридаги қаршилиқ каттароқ қийматга эга ва, демак, қўзғатиш токининг кичик қийматга эгаллиги;

4) якорь ёки қўзғатиш чулғами ўрамларида ўзаро туташиларнинг содир бўлиши;

5) аралаш қўзғатишли генератор чулғамларининг уланиши мос бўлмаслиги.

Чўткалар остидаги учқунланишнинг нормалдан юқори бўлишига қуйидагилар сабаб бўлиши мумкин:

1) чўткалар нейтрал бўйича ўрнатилмаган;

2) машина ўта юкланганда чўткалар остидаги ток зичлиги нормалдагидан ортиқ бўлишлиги;

3) коллекторга чўтка бўш босилганлиги;

4) чўтка нотўғри танланганлиги;

5) якорь чулғами ўрамларида ўзаро туташилар мавжудлиги;

6) коллектор сирти ифлос қатлам билан қопланганлиги;

7) коллекторда катта емирилиш ва шу каби механикавий бузуқликлар борлиги.

12—4. Ўзгармас ток моторларининг асосий нуқсонлари

Ўзгармас ток моторининг айланмаслиги ёки ёмон айланишига қуйидагилар сабаб бўлиши мумкин:

1) сақлагичлар куйган;

2) моторни электр тармоғига улайдиган ўтказгичларда, ишга тушириш резисторидида ёки машина чулғамларининг ўзида узилиш бор;

3) моторнинг параллел қўзғатиш чулғами ишга тушириш резисторидан кейин (12—1-расм), яъни нотўғри уланган;

4) чўткалар нейтрал бўйича ўрнатилмаган. Шу сабабли, якорь чулғами параллел шохобчалари секцияларининг бир қисми қарама-қарши қўтбланишга эга бўлиб, бу секцияларнинг ўтказгичларига мотор моментига нисбатан тескари йў-

налган кучлар таъсир этади. Бунда мотор ёмон айланиб, чўткалар остида кучли учқунланиш кузатилади;

5) қўзғатиш чулғами занжиридаги қаршилиқ ҳаддан ташқари катта. Бунда қутблардаги магнитавий оқим кичик бўлиб, айлантирувчи момент нормадагига нисбатан паст бўлади;

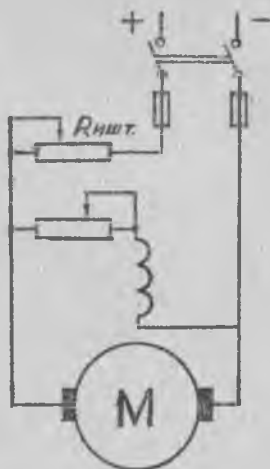
6) аралаш қўзғатишли моторнинг қўзғатувчи чулғамларидаги магнитавий оқимлар ўзаро қарама-қарши бўлса, нагрузка токининг ортиб бориши билан умумий магнитавий оқим ва, демак, айлантирувчи момент камаяди.

Номинал кучланиш ва нагрузкада ўзгармас ток мотори частотасининг номиналга нисбатан паст бўлишига қуйидагилар сабаб бўлиши мумкин:

1) қўзғатиш чулғами занжиридаги резистор қаршилиги ҳаддан ташқари кичик. Бунда магнитавий оқим катта қийматга эга бўлгани учун частота паст бўлади;

2) чўткалар геометрик нейтралдан бирмунча сурилган;

3) якори чулғаида ёмон контакт ёки унинг ўрамларида ўзаро туташиб бор.



12—1- расм. Параллел қўзғатишли ўзгармас ток моторининг нотўғри улаиш схемаси.

12—5. Трансформаторнинг асосий нуқсонлари

Трансформаторлар ишидаги нуқсонларнинг асосий сабаблари: трансформатор ишлаганда унинг пўлат ўзаклари гувиллаб туради. Ҳақиқатан, пўлат ўзакнинг такрорланиб магнитланишида унинг заррачалари гоҳ ўзаро тортилишиб сиқилишади, гоҳ итарилишиб кенгайишади. Пўлат ўзак шаклининг бундай ўзгаришлари унинг бошланғич узунлигининг юз мингдан бир улушини ташкил қилса ҳам, аммо натижада, трансформаторни нормал ишлашига хос бўлган характерли гувиллаш ҳосил бўлади.

Трансформаторнинг нормал ишига характерли бўлмаган гувиллаш қуйидаги сабабларга биноан содир бўлиши мумкин:

1) трансформатор пўлат ўзак листларини тортиб сиқиб турувчи болтларнинг бўшашиб кетиши;

2) трансформаторнинг ўта юкланиши ёки унинг фазаларидаги нагрузканинг бир-биридан ўта фарқланиши натижасида фаза ўзакларидаги магнитавий оқимнинг турли қийматларга эга бўлишлиги;

3) чулғам ўрамларида қисқа туташган ўрамлар борлиги

натижасида уларда катта қийматли токларнинг ҳосил бўлишлиги;

4) трансформаторга берилувчи кучланиш номиналга нисбатан юқори бўлишлиги натижасида магнитавий оқим қийматининг кўпайиши.

Трансформатор ичида қуйидаги сабабларга биноан чирсиллаш ҳодисаси содир бўлиши мумкин:

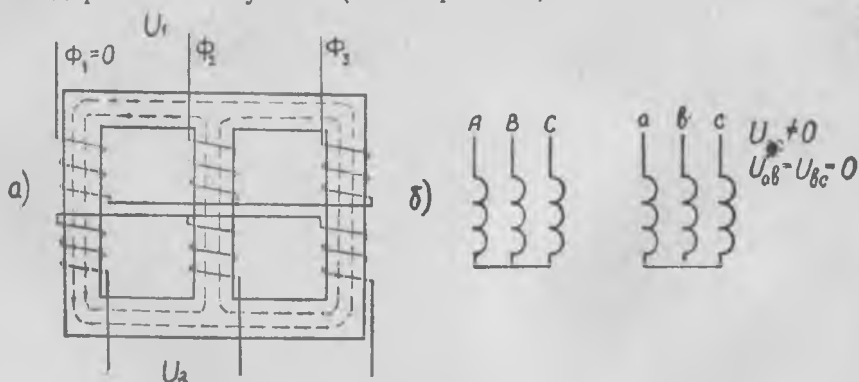
1) ўта кучланиш натижасида трансформатор чулғами билан унинг корпуси орасида туташиниш ҳосил бўлса;

2) пўлат ўзак билан бакнинг ўзаро ерга уланиш занжирида узилиш бўлса, у ҳолда пўлат ўзакда ҳосил бўлувчи статик зарядлари трансформаторнинг корпусига разрядлана бошлайди.

Трансформатор иккиламчи чулғаидаги кучланишнинг нормал қийматли бўлмаслигига қуйидагилар сабаб бўлиши мумкин:

1. Агар бирламчи фазаларо кучланишлар ўзаро тенг бўлиб, иккиламчи кучланишлар салт иш режимида тенг, нагрукзада эса тенг бўлмаса, бу ҳодиса бирор фазадаги чулғамнинг уланиш жойидаги контакт ёмон ёки Δ/Y ҳамда Δ/Δ схемаси билан уланган уч стерженли трансформаторнинг бирламчи чулғаида узилиш бўлганда содир бўлади. Бунда икки нормал фазадаги магнитавий оқимлар учинчи бузуқ фаза ўзаги орқали ёпилаб, салт иш режимида иккиламчи чулғамда нормал э. ю. к. ҳосил қилади, нагрукзада эса бузуқ фазанинг иккиламчи чулғаида етарли қувватни ўтказиш имкони бўлмайди ва шу сабабли бу фазадаги иккиламчи кучланишнинг қиймати номиналга нисбатан пастроқ бўлади.

2. Агар бирламчи фазаларо кучланишлар ўзаро тенг бўлиб, иккиламчи кучланишлар эса салт иш ва нагрукза режимларида ҳам тенг бўлмаса, бу ҳодиса Y/Y схемаси билан уланган трансформаторнинг бирламчи чулғаида узилиш бўлганда содир бўлиши мумкин (12—2- расм, а).



12—2- расм.

а — бирламчи ва иккиламчи чулғамлари юлдуз схемасида уланган трансформаторнинг бирламчи чулғаида узилиш бўлганидаги магнитавий оқимлари; б — Y/Y ёки Δ/Y схемаларида уланган трансформаторнинг иккиламчи чулғаида узилиш содир бўлиши.

Бунда нормал фазалардаги магнитавий оқимлар узилиш содир бўлган фаза ўзаги орқали ёпилиб, унинг иккиламчи чулғамида паст қийматли бўлса ҳам э. ю. к. ҳосил қилади.

3. Агар Y/Y ёки Δ/Y схемаси билан уланган трансформаторнинг иккиламчи чулғамида узилиш содир бўлса, у ҳолда фақат биргина фазалараро кучланиш нолга тенг бўлмайди, қолган иккита фазалараро кучланишлар нолга тенг бўлади. Ҳақиқатан, агар трансформаторнинг В фазасида узилиш содир бўлса, у ҳолда $U_{ac} \neq 0$ бўлиб, $U_{av} = U_{vc} = 0$ бўлади (12-2-расм, б).

12—6. Синхрон машиналарнинг асосий нуқсонлари

Қўзғатгичдаги бузуқликлар, роторнинг қўзғатувчи чулғам и занжиридаги узилиш, ҳалқа сиртининг ифлосланиши ва занглаши натижасида контакт қаршилигининг ҳаддан ташқари катта бўлиши каби сабабларга биноан синхрон генератори қўзғатилмаслиги мумкин. Фаза чулғамининг бир ёки бир неча ғалтагининг тескари уланишида эса генераторнинг салт иш режимидаги фаза кучланишлари ўзаро тенг бўлмайди.

Юлдуз схемаси билан уланган статор чулғамининг бир фазасида, учбурчаклик схемада эса статорнинг икки фазасида узилиш содир бўлса, генераторнинг бирор фазасидаги кучланиш йўқолади.

Номинал қўзғатиш токига эга роторни номинал частота билан айлантирилганида генератор кучланишининг номиналга нисбатан паст бўлишига қуйидагилар сабаб бўлиши мумкин:

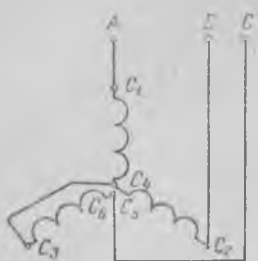
- 1) статор чулғамидаги ўрамларнинг ўзаро туташishi;
- 2) қўзғатиш чулғам ўрамларининг икки жойда корпусга тутшиб қолиши;
- 3) ротор қўзғатиш чулғами ғалтакларининг нотўғри, яъни қутблар кетма-кетлигини ҳисобга олмасдан улаш;
- 4) статор чулғамини юлдуз ўрнига учбурчаклик схемаси билан улаш.

Ўзгармас частота билан айлантирилаётган генератор кучланиши қийматининг тебраниб туришига марказдан қочар кучлар таъсирида қўзғатиш занжиридаги ёмон контактни гоҳ пайдо бўлиб, гоҳ йўқолиши сабаб бўлади.

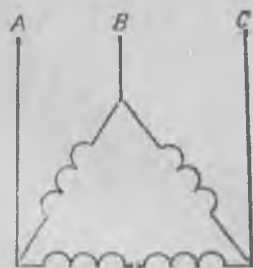
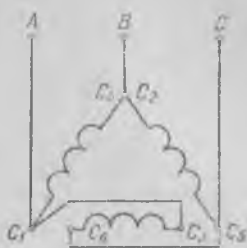
12—7. Асинхрон моторларнинг асосий нуқсонлари

Электр тармоғига уланган асинхрон моторнинг айланмаслигига қуйидагилар сабаб бўлиши мумкин:

- 1) бир ёки бир неча фазалардаги сақлагичларнинг куйиши;
- 2) статор чулғами ёки унга уланадиган ўтказгич симида узилиш борлиги;
- 3) фаза роторли асинхрон мотор ротор чулғамини икки ёки уч фазасида узилиш бўлишлиги;



12-3- расм. Асинхрон мотор статор чулғамининг потугри уланиш схемалари.



12-4- расм. Учбурчакли схемасида уланган статор чулғамининг фазасидаги узилиш.

4) подшипник кўпроқ едирилганлиги (статорга ротор бир томонлама тортилиб ёпишиб) қолади);

5) моторга ҳаддан ташқари катта нагрузка берилганлиги;

6) тўла нагрузка билан ишга туширилган моторнинг статор чулғами учбурчаклик схемаси ўрнига юлдуз схемаси билан уланганлиги.

Моторнинг бир фазаси тескари уланиб (12-3- расм) қолса, салт иш режимида ҳам фазалардаги тоқлар номиналга нисбатан ортиқ бўлиб, у кучли гувиллаш билан ёмон айлана бошлайди. Бундай моторни нормал ишлатиш учун, даставвал фаза чулғамларининг боши ва охирларини аниқлаб олиш лозим. Учбурчаклик схемаси билан уланган моторнинг бир фазасида узилиш бўлса ҳам у нормал айланади, аммо *B* линиядаги тоқ қолган *A* ва *C* фазалардагига нисбатан 73 % га кўп бўлиб, мотор қуввати ўзининг учдан бир қийматига камаяди (12-4- расм).

Иккинчи қисм

Электрик юритма ва уни автоматик бошқариш

Х III БОБ. ЭЛЕКТРИК ЮРИТМА ТЎҒРИСИДА УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР ВА УНИНГ РИВОЖЛАНИШ ТАРИХИ

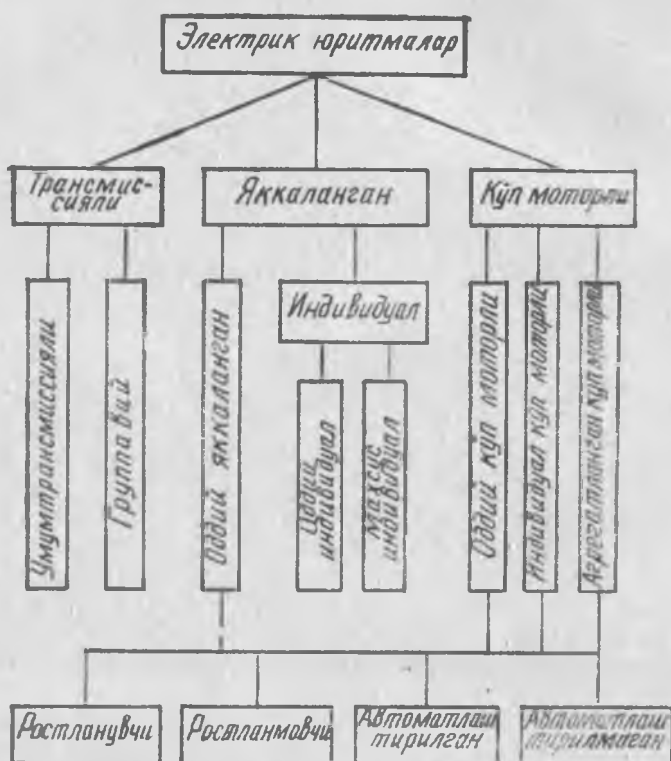
13 — 1. Электрик юритма ва унинг таърифи

Ҳар бир такомиллашган машина учта асосий қисмдан, яъни мотор-машина, узатма ва қурол-машинадан иборат бўлади. Бундай такомиллашган машина ишлаб чиқариш агрегати деб, унинг учинчи қисми қурол-машина эса иш машинаси ёки иш механизми дейилади. Иш машинаси ёки механизмини берилган тезлик билан ҳаракатлантирувчи мотор, узатма ва уларни бошқарувчи система биргаликда юритма деб аталади. Механикавий ҳаракат манбаларининг турига биноан юритмалар қўл, от ва механикавий юритмаларга бўлинади. Сув ва буғ турбиналари ҳамда шамол, ички ёнув ва электр моторлари билан ҳаракатланувчи юритмалар механик юритмалар деб аталади. Механикавий юритмалардан энг афзали электр моторли юритма бўлгани учун стационар иш машинаси ва механизмларининг асосий юритмаси сифатида электр моторли юритмадан фойдаланилади. Электр моторли юритма қисқача электрик юритма деб аталади.

Электрик юритма билан электр энергиясини механикавий энергияга айлантириб, бу механикавий ҳаракатни электрик усулда бошқариш имкони олинади. Демак, электрик юритма асосан электр мотори, узатма ва моторни бошқарувчи электрик аппаратлардан иборат бўлади.

13 — 2. Электрик юритмаларнинг классификацияси

Электр мотори билан ҳаракатга келтириладиган иш машиналарининг ёки ишлаб чиқариш агрегатларидаги электр моторларнинг сонига қараб электрик юритмалар трансмиссияли, якка моторли ва кўп моторли юритмаларга бўлинади. Трансмиссияли электрик юритма ўз навбатида умумтрансмиссияли ва группавий, якка моторли электрик юритма эса оддий ва индивидуал якка моторли, кўп моторли электрик юритма ҳам оддий ва



13—1- расм. Электрик юритмалар классификацияси схемаси.

индивидуал кўп моторли юритмаларга бўлиниши мумкин. Бошқарилиш усулига биноан электрик юритмалар автоматлаштирилган ва автоматлаштирилмаган, технологик талаб ҳамда мотор хусусиятларига қараб эса ростланадиган ва ростланмайдиган юритмаларга бўлинади (13—1- расм).

Трансмиссияли электрик юритмалар. Мотор ҳаракатини пўлат арқон ёки тасмалар ёрдамида корхона цехларидаги бош трансмиссияга узатувчи юритма умумтрансмиссияли электрик юритма деб аталади. Бош трансмиссиядаги ҳаракат тасмалар билан трансмиссия булаклари ёки иш машиналарига узатилади.

Электр мотор ҳаракатини бир қанча иш машиналарига узатувчи юритмани группавий электрик юритма деб аталади.

Группавий электрик юритма умумтрансмиссиялига нисбатан афзал бўлишига қарамай, бу юритмада ҳам электр энергиясининг механик тақсимланиш имконларидан тўла фойдаланилмай-

ди. Шу сабабли ҳозирги пайтда трансмиссияли электрик юритмалардан деярли фойдаланилмайди.

Якка моторли электрик юритма. Ҳар бир иш машинаси ёки механизмнинг ўзига тегишли алоҳида электр мотори бўлган юритма якка моторли электрик юритма деб аталади.

Электр мотори иш машинасидан алоҳида ёки унинг тузилишига ўзгартиришлар киритмасдан ўрнатилган юритма оддий якка моторли электрик юритма деб аталади.

Бундай электрик юритмада қувват исрофи трансмиссиялига нисбатан анча кам бўлса ҳам, аммо унда узатиш механизмининг мураккаблиги сақланиб қолади.

Индивидуал электрик юритма бундай камчиликлардан холи қилинган.

Индивидуал электрик юритмада электр мотори ва иш механизми конструктив жиҳатдан яхлит ва ишлаш учун қулай бўлган ташқи кўринишга эга бўлади. Индивидуал электрик юритмалар ўз навбатида оддий ва махсус индивидуал юритмаларга бўлинади.

Электр мотори билан иш механизми орасида баъзи бир узатма элементлари (тишли ғилдирак, муфта, кривошип, шатун ва шу кабилар) сақланиб қолган юритма оддий индивидуал электрик юритма деб аталади.

Электр мотори билан иш механизми орасида узатиш механизми бўлмаган ва моторнинг баъзи бир қисмлари иш механизмининг узвий органи сифатида қўлланиладиган юритма махсус индивидуал электрик юритма деб аталади.

Шу сабабли махсус индивидуал электрик юритмали иш машиналари шовқинсиз, енгил, содда конструкцияли, ишлашга қулай, юқори фойдали иш коэффициентли ва автоматлаштириш учун катта имконларга эга бўлади.

Бундай электрик юритмаларда электр моторнинг аҳамияти иш машинасининг номида ҳам ўз ифодасини топади, яъни уларга „электрик“ сўзи қўшиб ёзилади, масалан, электрик пардозлагич, электрик шпиндель, электрик урчуқ ва ҳоказо.

Кўп моторли электрик юритмалар. Мураккаб иш машинасининг айрим иш органларига механик энергияни бир марказдан тақсимлаш ҳар томонлама ноқулайлик туғдириб, ундаги қувват исрофининг катта бўлишига олиб келади.

Мураккаб станоклар ёки машиналарнинг ҳар бир иш органи алоҳида электр мотори билан ҳаракатга келтирилса, уларни автоматлаштириш ва ишга тушириш анча енгиллашади ва қулайлашади, узатманинг конструкцияси эса соддалашади.

Электр моторлари иш органидан алоҳида ўрнатилган бўлса, бундай машина ёки механизм юритмалари оддий кўп моторли электрик юритмалар деб аталади. Электр моторлари мураккаб машинанинг иш органларига бевосита ўрнатилса, бундай юритмани индивидуал кўп моторли электрик юритма деб аталади.

Бундай электрик юритма махсус станокларда, агрегат ва нусха олиш (копирлаш) станокларида кенг қўлланилади.

Электр моторлари системасига эга бўлган бир неча иш машиналарининг комплекс ишлаб чиқаришда ўзаро мос ишлашини таъминлайдиган юритмани агрегатланган куп моторли электрик юритма деб аталади.

Бундай электрик юритмалар туқимачилик, қоғоз ишлаб чиқариш, босмахона машиналари ва станокларнинг автомат линияларида кенг қўлланилади.

Бошқариш аппаратлари билан автоматик равишда ишга тушириладиган, тўхтатиладиган ва берилган частота, ток ёки моментни ўзгартирмай сақлаб турадиган юритмани автоматлаштирилган электрик юритма деб аталади.

Технологик талабларга биноан частотаси кенг миқёсда ўзгартириладиган юритма ростланувчи электрик юритма деб аталади. Автоматлаштирилган ва ростланувчи электрик юритмада юқоридаги уч асосий қисмлардан ташқари ўзгартгич деб аталадиган қисм ҳам бўлиши мумкин.

Автоматлаштирилган электрик юритма билан технологик процессни такомиллаштириш, унинг талабларини тўла қондириш, иш унумини кўтариш, маҳсулот сифатини яхшилаш, унинг таннархини пасайтириш имконлари яратилади.

13 — 3. Электрик юритма ривожланишининг қисқача тарихи

1838 йилда рус олими Б. С. Якоби ўзи ясаган электр мотори билан кемани ҳаракатга келтириб биринчи электрик юритмани яратган. Аммо у пайтда тежамли ток манбалари йўқлигидан электрик юритмани саноатда қўллаш мумкин бўлмади. 1889—1891 йилларда рус инженери М. О. Доливо-Добровольский томонидан уч фазали трансформатор, уч фазали асинхрон мотори ва уч фазали системанинг юлдуз ва учбурчаклик схемалари кашф этилиши электротехника ва хусусан электрик юритманинг кескин ривожланишида катта босқич бўлди. Ҳақиқатан ҳам бу кашфиётдан сўнг бутун дунёда электр энергияси ишлаб чиқариш ва ундан фойдаланиш мисли кўрилмаган даражада ўсиб борди. Ҳозирги пайда қуввати бир неча Вт дан бир неча минг кВт гача бўлган электрик юритмалари яратилган ва яратилмоқда.

13 — 4. СССРда электрик юритманинг тараққиёти

В. И. Ленин кўрсатмаси билан 1921 йилда ВЭИ институтининг ташкил қилиниши мамлакатимиз электротехникаси ва, хусусан, электрик юритма тараққиётига катта таъсир кўрсатди.

1922 йилда профессор С. А. Ринкевич раҳбарлигида Ленинграддаги ЛЭТИ институтида очилган „Саноатни электрлаштириш“ иxtисослиги бўйича етук инженерлар тайёрлана бошлан-

ди. С. А. Ринкевичнинг 1925 йилда нашрдан чиқарилган „Электрическое распределение механической энергии“ деган китобида электрик юритманинг назарий ва амалий томонлари ёритилган. Электрик юритма назарияси ва практикасининг бундан кейинги тараққиёти проф. В. К. Поповнинг „Применение электродвигателей в промышленности“ (1932 — 1939 й.) деган уч томли китобида, проф. Г. И. Назаровнинг „Электропривод в сельском хозяйстве“ (1938 й.) дарслигида ҳамда атоқли олимлар Д. П. Морозов, Р. Л. Аронов, А. Т. Голован, Л. Б. Гейлер ва бошқаларнинг ишларида ўз ифодасини топди.

Автоматлаштирилган электрик юритмани ривожлантиришда академиклардан В. С. Кулебакин, М. П. Костенко ҳамда А. Г. Иосифьян, Д. В. Васильев, М. З. Хомудхонов ва бошқа олимлар томонидан катта ишлар қилинган. Совет ҳокимиятининг дастлабки йилларидаёқ электрик юритма бўйича илмий текшириш ишларига катта аҳамият берилди. Уларнинг натижалари ишлаб чиқаришнинг ҳамма соҳаларида самарали қўллана бошланди. Ҳозирги пайтда эса саноат, транспорт ва қишлоқ хўжалигида электрик юритмадан фойдаланиш бўйича Совет Иттифоқи дунёда олдинги ўринларга ўтиб олди. Иттифоқимизнинг бир неча ихтисослаштирилган завод ва фабрикаларида маҳсулот тайёрлаш процесси электрик юритмалар билан тула автоматлаштирилган ва автоматлаштирилмоқда.

13 — 5. Қишлоқ хўжалик машиналари электрик юритмалари тараққиётининг асосий йўналишлари

Профессор Г. И. Назаров таклиф этган классификация схемаси (13 — 1-расм) дан электрик юритмаларнинг турларга бўлинишини, келажакдаги тараққиётини ва уларни такомиллаштириш йўллари яққол кўриш мумкин.

Қишлоқ хўжалик машиналарини дастаки юритма, от ва механикавий юритмалардан электрик юритмаларга ўтказишда уларнинг кинематик схемалари, механикавий характеристикалари ва ишлаш режимлари урганилган.

Электрик юритмалардаги ўткинчи процессларини чуқур ўрганиш эса ҳозирги замон автоматлаштирилган электрик юритма назарияси ва амалиётида катта илмий аҳамият касб этмоқда.

Келажакда яратиладиган қишлоқ хўжалик машиналари системасини ишлаб чиқишда жуда кўп мураккаб назарий, экспериментал, конструкторлик ва эксплуатацион масалаларни ҳал этишга тўғри келади. Бу масалаларни тўғри ҳал этиш билан ишлаб чиқаришга, техникавий параметрлар ва электрик юритмалар сифатига ҳамда қишлоқ хўжалик машиналари юритмалари характеристикасига илмий асосланган талаблар комплексини аниқлаб берилади.

Қишлоқ хўжалик машиналари электрик юритмалари тараққиётининг асосий йўналишлари:

1) қишлоқ хўжалик машиналари ва поток линиялари электрик юритмаларининг тургун ва ўткинчи режимларда ишлашини чуқур тадқиқот этиш;

2) юқори айланиш частотали электрик юритмалар ва юқори частотали ток манбаларини яратишга онд илмий-тадқиқот ишларини кучайтириш;

3) трактор ва комбайнларга ўхшаш мобиль машина ҳамда агрегатларга электрик юритмаларни татбиқ этишга купроқ аҳамият бериш;

4) автоматлаштирилган электрик юритмаларни бошқаришга тегишли техникавий воситаларни кўплаб яратиш ва такомиллаштириш. Автоматик бошқариш схемаларида контактсиз аппарат ва қурилмалардан кенгроқ фойдаланиш;

5) турли режимларда ишловчи қишлоқ хўжалик машиналари электрик юритмаларини инженерлик ҳисоблаш усулларини такомиллаштиришдан иборат.

XIV БОБ

ЭЛЕКТРИК ЮРИТМАЛАРНИНГ ЎТКИНЧИ РЕЖИМЛАРИ

14 — 1. Умумий тушунчалар

Электрик юритманинг бир тургун ҳолатдан иккинчисига ўтиш процессидаги иш режими унинг ўткинчи режими деб аталади.

Электрик юритмани ишга тушириш, тормозлаб тўхтатиш, ҳаракат йўналишини ўзгартириш каби процесслар унинг ўткинчи режими ҳисобланади. Нагрузканинг электр тармоғидаги кучланиш ёки ток частотасининг кескин ўзгаришда ҳам электрик юритма ўткинчи режимда ишлайди. Ўткинчи режимни яхши урганиш билангина электрик юритмалар учун мотор ва уни автоматик бошқариш аппаратларини тўғри танлаш имкони олинади. Камдан-кам ишга тушириладиган ва узоқ вақт ишлайдиган электрик юритмалардагина (насос, вентилятор ва шу кабиларда) ўткинчи режим айтирлик аҳамиятга эга бўлмайди.

Электрик юритмани ишга тушириш ва тўхтатиш каби ўткинчи режим даврларини ўзгартириш билан технологияни такомиллаштириш ва, демак, иш машинаси унумини кўтариш, маҳсулот сифатини яхшилаш имкони олинади. Электрик юритманинг ўткинчи режими унинг электрик ва механик ўткинчи процессларининг биргаликда ёки алоҳида ўтиши билан ҳаракетланади.

Бундай режим электр мотори ва иш механизмининг динамикаси билан бевосита боғлангани сабабли, электрик юритмалардаги ўткинчи режимни электромеханикавий, электромагнитавий ва механикавий процессларга бўлиш мумкин.

Электромеханикавий ўткинчи процессда электрик ва механикавий параметрларнинг ўзгариши ҳисобга олинади. Аммо хусусий ҳолларда, масалан, мотор электр занжирига уланганда у дарҳол ҳаракатлана олмайди ва бунда магнитавий оқим ўзининг номинал қийматига эришгунга қадар фақат электромагнитавий процессигина содир бўлиб, якорь айлангандан кейингина механикавий ўткинчи процесс содир бўлади.

Ўткинчи режимларни ҳисоблашда қуйидаги усуллардан фойдаланилади. Агар айлантйрувчи ва қаршилиқ моментларининг частотага боғланишининг аналитик ифодаси берилган бўлиб, чулгамнинг индуктивлиги $L = \text{const}$ ва системанинг инерция моменти $J = \text{const}$ бўлса, у ҳолда момент ва э. ю. к. ларнинг мувозанат тенгламаси тузилиб, улар биргаликда ечилади ва бу билан ўткинчи режим параметрларининг ўзгариш қонунларини аналитик усулда ҳисобланади. Бунда L ва J қийматлар ўзгарувчан бўлса, у ҳолда ҳисоблашнинг графоаналитик усулидан фойдаланилади. Айлантйрувчи ва қаршилиқ моментларининг частотага боғланишининг графиги берилган бўлса, ҳисоблашнинг графикавий усулидан фойдаланилади.

Электрик юритма жуда ҳам мураккаб ва катта қувватли бўлса, у ҳолда ўткинчи режим унинг кичик моделида текширилади ва ўхшашлик назарияси асосида моделда олинган боғланишлар ҳақиқий электрик юритма параметрларига келтирилиб ҳисобланади. Буни физикавий моделлаш усули дейилади. Математикавий моделлаш усули билан ўткинчи режимни ҳисоблашда электрик юритма учун тузилган дифференциал тенгламалар системаси электрон аналог ҳисоблаш машинасига берилиб, ундан электрик ва механикавий параметрларнинг вақт бўйича ўзгаришлари эгри чизиқлар шаклида олинади.

14 — 2. Ўткинчи процесс вақтини аналитик усул билан ҳисоблаш

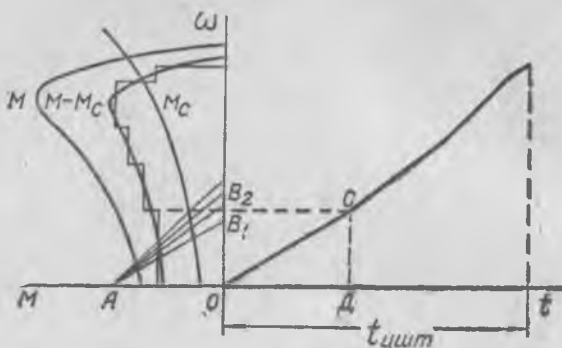
Ўткинчи режим вақтини аниқлаш учун моментлар тенгламасидан қуйидаги ифода олинади, яъни

$$dt = J \frac{d\omega}{M \pm M_c}. \quad (14-1)$$

(14 — 1) ифодани интеграллаб юритма частотасининг ω_1 дан ω_2 гача ўзгаришига кетган вақтнинг қуйидаги ифодаси топилади:

$$t_{1-2} = \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{J d\omega}{M \pm M_c}. \quad (14-2)$$

Бу интегрални ечиш учун айлантйрувчи ва қаршилиқ моментларининг тезлик билан боғланишини ифодаловчи аналитик формула маълум бўлиши лозим. Агар M , M_c ва $J = \text{const}$ деб



14-1- расм. Асинхрон моторли электрик юритмани ишга тушириш вақтини графикавий усулда ҳисоблаш.

қабул қилинса, ўткинчи процесснинг вақти қуйидагича аниқланади:

$$t_{1-1} = J \frac{\omega_2 - \omega_1}{M \pm M_c} = \frac{GD^2 (n_2 - n_1)}{375 (M \pm M_c)} \quad (14-3)$$

бунда GD^2 — юритма системасининг мотор валига келтирилган силташ моменти;

n_1 ва n_2 — бошланғич ва охири частоталар.

Бу ифода билан электр моторларини резистор билан ишга тушириш ва тормозлаб тўхтатиш вақтларини аниқлаш мумкин.

Электрик юритмани ишга туширишдаги ўткинчи процесс вақти қуйидагича топилади:

$$t_{шт} = \frac{GD^2 n_{сн}}{375 (M_{ур} - M_c)} \quad (14-4)$$

Бунда бошланғич частота $n_1 = 0$, охири частота $n_2 = n_{сн}$ деб қабул қилинган;

$n_{сн}$ — қаршилик моменти M_c билан аниқланадиган турғун частота;

$M_c = \text{const}$ — берилган қаршилик моменти;

$M_{ур} = \text{const}$ — моторни ишга тушириш пайтидаги айлантасувчи моментнинг ўртача қиймати.

Моторни ишга тушириш процессидаги резисторли характеристикалар графигидан $M_{ур}$ қиймати қуйидагича аниқланади:

1) ўзгармас ток ва фаза роторли асинхрон моторлар учун

$$M_{ур} = \frac{M_{\max} + M_{\min}}{2} \approx 1,7 M_n; \quad (14-5)$$

2) қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторлар учун

$$M_{ур} = \frac{M_{шт} + M_{\max}}{2} \approx 1,5 M_n; \quad (14-6)$$

бунда M_n ва $M_{\text{ишт}}$ — моторнинг номинал ва ишга тушириш моментлари;

$M_{\text{макс}}$ — ўта юкланиш қобилиятига биноан аниқланадиган айлантирувчи моментнинг максимал қиймати;

$M_{\text{мин}}$ — резистор билан ишга туширишдаги минимал айлантирувчи момент қиймати.

Электрик юритмани ишга тушириш вақтини аниқроқ топиш учун (14—1) даги M ва M_c ларнинг частотага боғланиш ифодаси маълум бўлиши керак. Системанинг инерция моменти J купинча ўзгармас бўлади.

(14—1) ифодага биноан, моторни турғун частотагача айлантириб ишга тушириш вақти чексиз бўлади. Ҳақиқатан $M = M_c$ бўлганда $n_2 = n_{\text{сн}}$ бўлиб, $t_{\text{ишт}} = \infty$ бўлади.

Бу эса фақат идеал ҳолга, яъни $M_0 = 0$ га тааллуқлидир. Ҳақиқатда эса салт иш моменти M_0 нинг қиймати $M_0 > 0$ бўлади. Шунга биноан ўткинчи режим процессини $n_2 \approx 0,95 n_{\text{сн}}$ да тугайди деб, чекли ишга тушириш вақтининг қиймати топилади. Электр тармоғидан ажратилган моторнинг ўз-ўзидан тўхташ вақти (14—3) га биноан қуйидагича аниқланади:

$$t_T = \frac{GD^2 \cdot n_{\text{сн}}}{375 M_c}, \quad (14-7)$$

бунда $n_1 = n_{\text{сн}}$; $n_2 = 0$; $M = 0$ деб қабул қилинган.

Агар табийий ишқаланишга кўра, электрик юритманинг тўхташ вақти чўзилиб, технологик талабни қондирмаса, у ҳолда моторни электрик усул билан тормозлаш қўлланилади. Бунда моторнинг айлантирувчи моменти M қаршилик моменти M_c томон йўналган бўлади. Демак, электрик юритманинг тормозлашиб тўхташ вақти қуйидагича аниқланади:

$$t_{\text{эТ}} = \frac{GD^2 \cdot n_{\text{сн}}}{375 (M + M_c)}. \quad (14-8)$$

14—3. Ўткинчи процесс вақтини графикавий усул билан ҳисоблаш

Агар M ва M_c ларнинг частотага боғланишлари мураккаб бўлиб, уларнинг фақат графиклари берилган бўлса, у ҳолда ўткинчи процесс вақтини графикавий усулда ҳисоблаш учун (14—1) даги чексиз кичик $d\omega$ ва dt лар чекли кичик $\Delta\omega$ ва Δt лар билан белгиланиб қуйидаги ифода олинади:

$$M - M_c = J \frac{\Delta\omega}{\Delta t}. \quad (14-9)$$

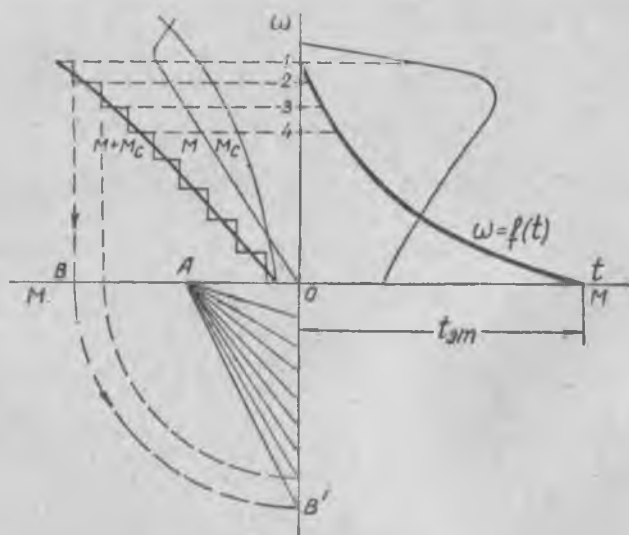
Бунда маълум Δt вақт оралиғида моментлар айирмаси ўзгармас қийматга эга, яъни $M - M_c = \text{const}$ бўлади деб қабул қилинади. 14—1-расмда қисқа туташтирилган роторли асинхрон мотор билан вентилятор ҳаракатлантилганида электрик юритмани ишга тушириш вақтини графикавий усулда аниқлаш кўрсатилган.

бунинг учун (14—9) тенгламадан қуйидаги пропoция тузилади:

$$\frac{M - M_c}{J} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}. \quad (14-10)$$

Бу пропорцияга биноан, даставвал, графикавий усул билан мотор ва механизм механикавий характеристикаларининг айирмаси, яъни динамикавий момент $M_{дин} = M - M_c$ қурилади. Сўнгра частотанинг маълум $\Delta\omega$ ўзгариш оралиғида $M_{дин}$ эгри чизигининг ўртача қийматлари ўзгармас бўлган поғонали чизиклар билан алмаштирилади.

Қуриш аниқлиги поғоналар сонига боғлиқ, уларнинг сони қанча кўп бўлса, қуриш шунча аниқ чиқади. Сўнгра ҳар бир поғонадаги динамикавий момент миқдори ордината ўқида ўтказилади. Бунда биринчи поғона учун ордината ўқида OB_1 , иккинчи поғона учун эса OB_2 ва бошқа поғоналар учун ҳам шундай кесмалар олинади. Ордината ўқидаги B_1, B_2 ва ҳ. к. нуқталарни абцисса ўқидаги A нуқта билан бириктирилади. Бу графикдаги OA кесма юритма системасининг инерция моменти J га пропорционал миқдор бўлиб, уни инерция моменти масштабида олинади. Сўнгра AB_1 кесмага параллел қилиб OC чизик ўтказилади. Бу OC чизик биринчи поғонага тегишли бўлган $\omega = f(t)$ эгри чизикни ифодалайди. Ҳақиқатан AOB_1 учбурчакликнинг ODC учбурчакликлигига ўхшашлигидан $\frac{OB_1}{OA} = \frac{CD}{OD}$, бунда $OB_1 = M_1 - M_c$; $OA = J$ ва $CD = \Delta\omega$,



14—2- расм. Асинхрон моторли электрик юритмани электродинамикавий режимда тормозлаб тўхтатиш вақтиний графикавий усулда ҳисоблаш.

бўлгани учун OD кесма биринчи участкадаги ишга тушириш вақтини, яъни $OD = \Delta t_1$ ни ифодалайди.

Шу каби қуришлар асосида частотанинг ўткинчи процессидаги $\omega = f(t)$ боғланиш топилиб, ундан $t_{\text{ишт}}$ аниқланади. Бунда миқдорлар масштаби учун қуйидаги пропорцияни тузиш мумкин:

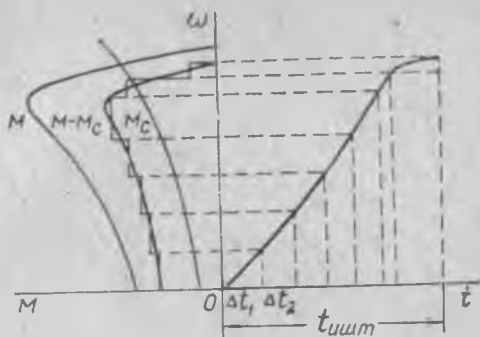
$$\frac{m_\omega}{m_\omega} = \frac{m_\omega}{m_t}, \quad (14-11)$$

бунда m_ω , m_ω ва m_t — тегишлича айлантирувчи момент, бурчагий частота ва вақтга биноан қабул қилинган масштабнинг маълум қиймати. Булар асосида (14-11) пропорциядан m_t масштабини аниқлаш мумкин. 14-2-расмда асинхрон моторни электродинамикавий усул билан тормозлаб тўхтатиш вақтини графикавий усулда ҳисоблаш кўрсатилган.

Бунда ҳам берилган $\omega = f(M)$ ва $\omega = f(M_c)$ ларга биноан $M_{\text{дин}} = M + M_c = f(\omega)$ қиймати аниқланиб, уни юқоридаги сингари частотанинг маълум бир $\Delta\omega$ оралиғида ўртача қиймати ўзгармас бўлган поғонали чизиклар билан алмаштирилади. Сўнгра бошланғич частота $\omega_{\text{сн}}$ га тегишли OB динамикавий момент ордината ўқиға ўтказилади. Натижада B' нуқта топилиб уни A нуқта билан бирлаштирилади. Бунда ҳам OA кесма инерция моменти J ни ифодалайди. I нуқтадан AB' чизикқа параллел бўлган ва 2 нуқтадан ўтган чизик билан кесишгунга қадар давом этган чизик ўтказилади. Натижада юқоридаги сингари $\omega = f(t)$ олинади, ундан эса электрик усулда тормозлаш билан электрик юритмани тўхтатиш вақти $t_{\text{т}}$ топилади.

14-4. Ўткинчи процесс вақтини графоаналитик усул билан ҳисоблаш

14-3-расмда юзлар методи деб аталадиган графоаналитик усул билан электрик юритмани ишга тушириш вақтини аниқлаш кўрсатилган. Бунда ҳам, юқоридаги сингари, графикавий усулда динамикавий момент эгри чизиги, яъни $M_{\text{дин}} = M - M_c = f(\omega)$ аниқланади. Сўнгра ордината ўқи ўзаро тенг $\Delta\omega$ бўлакларга, $\Delta\omega$ оралиғида динамикавий момент эгри чизигини ўртача қиймати ўзгармас бўлган қисмларга бўлинади. Натижада ҳар бир қисм учун алоҳида ифода олинади. Бундан динамикавий моментнинг ҳар бир ўзгармас қисми таъсирида



14-3- расм. Электрик юритмани ишга тушириш вақтини графоаналитик усулда ҳисоблаш.

частотанинг $\Delta\omega$ га ўзгариш вақти Δt қуйидагича аниқланади:

$$\Delta t = J \frac{\Delta\omega}{M - M_c} \quad (14-12)$$

(14-12) ифодадаги $\Delta\omega$ қиймати ҳар бир қисм учун бир хил бўлгани сабабли электрик юритмани ишга тушириш вақтининг умумий қиймати қуйидаги аналитик ифодадан ҳисобланади:

$$t = \sum_1^m (\Delta t) = J \cdot \Delta\omega \sum_1^m \frac{1}{M - M_c} \quad (14-13)$$

бунда m — қисмлар сони;

$\Delta\omega = \text{const}$ — ҳар бир қисмдаги частотанинг ўзгармас қиймати;

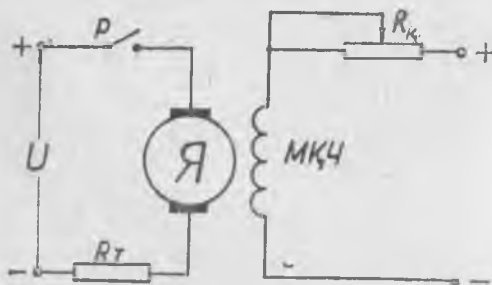
$M - M_c$ — ҳар бир қисмдаги динамикавий момент қиймати.

14—5. Мустақил қўзғатишли ўзгармас ток моторининг ишга тушириш процессидаги ўткинчи режими

Кўпинча электрик юритма системасидаги ўткинчи режимни текшириш учун унинг механикавий инерциясигина ҳисобга олинади. Механикавий инерция системанинг механикавий параметрлари билан бирга мотор занжиридаги қаршиликнинг электромеханикавий хусусиятларига биноан аниқланади. Бунда мотор чулғамларидаги индуктивликдан ҳосил бўладиган электромагнитавий инерция механикавий инерцияга нисбатан жуда кичик бўлгани учун уни ҳисобга олинмайди.

14—4-расмда мустақил қўзғатишли моторни рубильник ёрдамида ишга тушириш схемаси кўрсатилган.

Моторни ишга тушириш процессидаги ўткинчи режимни текширишда якорь занжири қаршилиги ўзгармас, яъни $R = R_a + R_r = \text{const}$ деб қабул қилинади. Бунда моторнинг магнитавий оқими Φ электр тармоғидаги кучланиш U ва қаршилик momenti M_c ларни ҳам ўзгармас, якорь чулғамининг индуктив-



лигини эса нолга тенг, яъни $L_a = 0$ деб қабул қилинади ва булар асосида ишга тушириш процесси учун қуйидаги электрик ва механикавий мувозанат тенгламалари тузилади:

$$U = C_E \omega + I_a R, \quad (14-14)$$

14—4-расм. Мустақил қўзғатишли ўзгармас ток моторини ишга туширишдаги ўткинчи режимни текшириш схемаси.

$$M = C_M I_a = J \frac{d\omega}{dt} + M_c \quad (14-15)$$

Агар электромагнитавий инерция ҳисобга олиниб, уни ўзгармас, яъни $J_{\text{я}} = \text{const}$ деб қабул қилинса, у ҳолда (14—14) қуйидагича кўринишни олади:

$$U = C_E \omega + i_{\text{я}} R + J_{\text{я}} \frac{d\omega}{dt}. \quad (14-16)$$

(14 — 15) дан $i_{\text{я}}$ ни топиб, уни (14 — 14) га қўйилади, сўнгра тенгламанинг чап ва ўнг томонларини C_E га бўлиб $\frac{U}{C_E} = \omega + \frac{JRd\omega}{C_E C_M dt} + \frac{M_{\text{к}} R}{C_E C_M}$ ҳосил қилинади. Бу тенгламани қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\omega_0 = \omega + T_{\text{м}} \frac{d\omega}{dt} + \Delta\omega_{\text{с}} \quad (14-17)$$

бунда $\omega_0 = \frac{U}{C_E}$ — идеал салт иш режимидаги бурчак частотаси;

$\Delta\omega_{\text{с}}$ — нагрузка сабабли мотор частотасининг пасайиши;

$$T_{\text{м}} = \frac{JR}{C_E C_M}. \quad (14-18)$$

(14 — 18) ифодадаги $T_{\text{м}}$ — вақт ўлчов бирлигига эга бўлгани учун уни системанинг электромеханикавий вақт доимийси деб аталади.

Ҳақиқатан, J [кГм c^2]; R [Ом] ва $C_E = \frac{U}{\omega_0} \left[\frac{B}{T} \right]$, $C_M = \frac{M}{T} \left[\frac{\text{кГм}}{A} \right]$

бўлгани учун $T_{\text{м}} = \frac{JR}{C_E C_M}$ [сек], яъни вақт ўлчов бирлигига эга.

Агар момент билан ток орасидаги пропорционаллик ҳар доим сақланиб туради деб қабул қилинса, у ҳолда ишга туширишнинг бошланғич пайтида $C_M = \frac{M_{\text{к}}}{I_{\text{к}}}$ бўлиб, электромеханикавий вақт доимийсини қуйидагича ифодалаш ҳам мумкин:

$$T_{\text{м}} = \frac{J\omega_0}{M_{\text{к}}}. \quad (14-19)$$

Инерция моменти J га тенг бўлган нагрузкасиз юритмани қўзғалмас ҳолатдан $M = M_{\text{к}} = \text{const}$ бўлган момент билан идеал частота ω_0 гача айлантриш учун кетган вақт электромеханикавий вақт доимийси деб аталади.

Якорь занжири қаршилигининг ортиб бориши билан M камайиб $T_{\text{м}}$ ортиб боради. Шу билан бирга $T_{\text{м}}$ нинг қиймати нагрузкага боғлиқ бўлмайди.

(14—17) тенгламани ечиш учун уни қуйидагича ифодаланади:

$$\frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega}{T_m} = \frac{\omega_0 - \Delta\omega_c}{T_m}.$$

Бу тенгламани бурчагий частотага нисбатан ечиб қуйидаги олинади:

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega_c + Ae^{-\frac{t}{T_m}}, \quad (14-20)$$

бунда A — ўткинчи режимнинг бошланғич шартига биноан аниқланадиган интеграллаш доимийси. Масалан, $t = 0$ бўлганда частота ўзининг бошланғич ω_0 қийматига тенг, яъни $\omega = \omega_0$ бўлиб, интеграллаш доимийси

$$A = \omega_0 - (\omega_0 - \Delta\omega_c) = \omega_0 - \omega_c$$

бўлади, бунда $\omega_c = \omega_0 - \Delta\omega_c$ — қаршилик моменти M_c билан ишлаётган моторнинг турғун частотаси.

Моторни ишга тушириши пайтидаги ўткинчи режимда унинг айланиш частотасининг вақтга нисбатан ўзгариши қуйидагича ифодаланади:

$$\omega = \omega_c + (\omega_0 - \omega_c) e^{-\frac{t}{T_m}}. \quad (14-21)$$

Агар моторни қўзғалмас ҳолатдан бошлаб ишга туширилса, (14—21) ифода соддалашиб, қуйидаги кўринишни олади:

$$\omega = \omega_c (1 - e^{-\frac{t}{T_m}}). \quad (14-22)$$

Агар мотор идеал салт иш режимида ишга туширилса, у ҳолда частотанинг турғун қиймати ω_0 бўлиб, (14—22) тенглама қуйидагича ифодаланади:

$$\omega = \omega_0 (1 - e^{-\frac{t}{T_m}}). \quad (14-23)$$

Агар бурчагий частота ω айланиш тезлиги n га алмаштирилса, қуйидаги тенгламалар ҳосил қилинади:

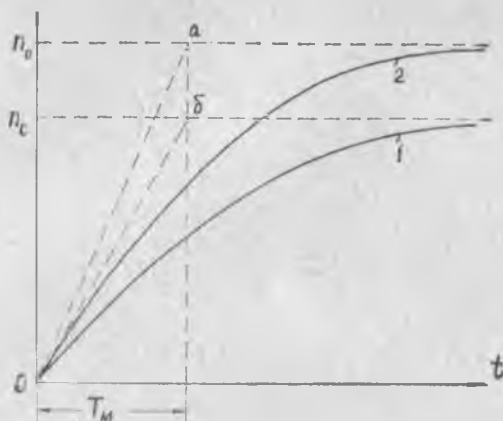
$$n = n_c + (n_0 - n_c) e^{-\frac{t}{T_m}}, \quad (14-24)$$

$$n = n_c (1 - e^{-\frac{t}{T_m}}), \quad (14-25)$$

$$n = n_0 (1 - e^{-\frac{t}{T_m}}). \quad (14-26)$$

Бунда T_m нинг қиймати қуйидагича ифодаланади:

$$T_m = \frac{GD^2 R}{375 C_m C_E} = \frac{GD^2 n_0}{375 M_k}. \quad (14-27)$$



14-5- расм. Мустақил қўзғатишли мотор частотасини ишга тушириш процесси даврида ўзгариш эгри чизиқлари.

14 — 5- расмда (14 — 25) ва (14 — 26) формулалар асосида қурилган эгри чизиқлари кўрсатилган.

Юқоридаги ўткинчи режим тенгламаларига биноан, ишга тушириш процесси чексиз катта вақтда тугайди, яъни $t = \infty$ бўлганда $n = n_c$ бўлади.

Аммо $M_0 > 0$ бўлгани учун ўткинчи режим даври $t = (3 + 5) T_M$ да тугайди деб қабул қилинади. Бунда частота ўзининг турғун қийматидан фақат 2 + 5 % га кам бўлади.

Ҳақиқатан (14 — 22) ифодага биноан $t = \infty$ бўлса, $e^{-\frac{t}{T_M}} = 0$ бўлиб, $\omega = \omega_c$ бўлади. Шунга ўхшаш $t = 3T_M$; $e^{-3} \approx 0,05$ ва $\omega \approx 0,95 \omega_c$ бўлиб, $t = 4 T_M$; $e^{-4} \approx 0,02$ ва $\omega \approx 0,98 \omega_c$ бўлади. Агар $M = M_k = \text{const}$ лигида мотор ишга туширилса, нагрузка бўлмаганда частота oa , нагрузка бўлганда эса $об$ тўғри чизиқлари бўйича ўзгарган бўлар эди (14 — 5- расм).

1 ва 2 эгри чизиқларга координата бошидан ўтказилган oa ва $об$ уринмалардан n_0 $a = n_c$ кесмаларининг вақт масштабида T_M ни ифодалаши аниқланади. Ишга тушириш пайтида мотор токининг ўзгариш қонуни (14 — 15) тенгламадан аниқланади:

$$i_a = J \frac{d\omega}{dt \cdot c_M} + I_c \quad (14 - 28)$$

бунда $I_c = \frac{M_c}{C_M}$ — нагрузка токи.

(14 — 17) тенгламадан $\frac{d\omega}{dt}$ ҳосила, яъни $\frac{d\omega}{dt} = -A \frac{e^{-\frac{t}{T_M}}}{T_M}$ ни олиб унинг қийматини юқоридаги ток тенграмаси (14 — 28) га

қўйсак, якорь токининг ишга тушириш процессидаги ўзгариш қонуни топилади:

$$i_a = - \frac{JA}{C_m T_m} e^{-\frac{t}{T_m}} + I_c. \quad (14-29)$$

Агар бу процесснинг бошланишида, яъни $t = 0$ бўлганда $i_a = I_0$ бўлса, у ҳолда интеграллаш доимийси $A = - \frac{C_m T_m}{J} \times (I_0 - I_c)$ бўлади. Интеграллаш доимийсини (14-29) га қўйиб, токнинг ўзгариш қонунини ифодаладиган қўйдаги ифода ҳосил қилинади:

$$i_a = I_c + (I_0 - I_c) e^{-\frac{t}{T_m}}. \quad (14-30)$$

Токнинг бошланғич қиймати қўйдагича топилади.

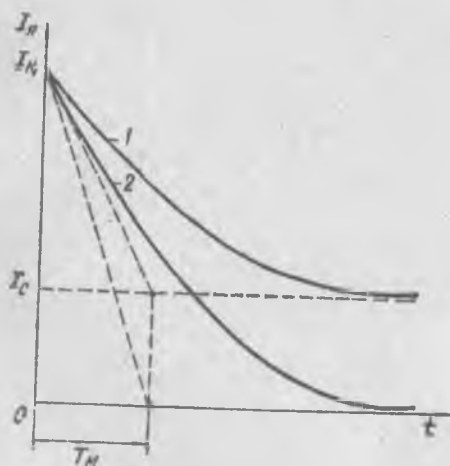
Агар мотор қўзғалмас ҳолатдан ишга туширилса, у ҳолда $E = 0$ бўлиб, $I_0 = I_k = \frac{U}{R}$ бўлади. Бунда (14-30) қўйдагича ифодаланади:

$$i_a = (I_k - I_c) e^{-\frac{t}{T_m}} + I_c. \quad (14-31)$$

Агар мотор нагрукасиз ишга туширилса, яъни $I_c = 0$ бўлса, (14-31) ифода соддалашиб қўйдаги кўринишни олади.

$$i_a = I_k e^{-\frac{t}{T_m}}. \quad (14-32)$$

14-6-расмда моторнинг (14-31) ва (14-32) ифодаларга биноан қурилган, ишга тушириш давридаги токнинг ўзгаришини кўрсатувчи 1 ва 2 эгри чизиқлар кўрсатилган.



14-6-расм. Мустақил қўзғатишли мотор токини ишга тушириш процесси даврида ўзгариш эгри чизиқлари.

Демак, моторнинг механикавий характери-калари тўғри чизиқ бўйича ўзгарса ва ундаги нагрукка қиймати ўзгармас, яъни $M_c = \text{const}$ бўлса, $\omega = f(t)$ ва $i = f(t)$ боғланишлар (14-5), (14-6) расмларда кўрсатилгандек оддий экспоненциал боғланиш билан ифодаланади. 14-7-расмда мустақил қўзғатишли моторни резистор воситасида ишга туширишдаги ўткинчи режимининг характери-стикалари кўрсатил-

ган. Бунда бошланғич токнинг қиймати максимал, яъни $I_0 = I_{\max}$ бўлиб, частота ортиб бориши билан унинг қиймати камайиб боради. Ток қиймати $I = I_{\min}$ га тенглашганда қаршиликнинг биринчи поғонаси шунтланиб, токнинг қиймати яна $I_{\max}$ гача кутарилади ва ҳ.к.

Мотор токининг максималдан минимал қийматгача камайиши учун кетган вақт (14—30) формуладан аниқланади:

$$I_{\min} = I_c + (I_{\max} - I_c) \times e^{-\frac{t_x}{T_{\max}}}, \quad (14-33)$$

бунда t_x — реостатнинг бирор поғона қаршилигида мотор токининг $I_{\max}$ дан $I_{\min}$ гача ўзгариш вақти;

$T_{\max}$ — шу поғонадаги вақт доимийси.
(14—33) дан t_x қуйидагича аниқланади:

$$t_x = T_{\max} \ln \frac{I_{\max} - I_c}{I_{\min} - I_c}. \quad (14-34)$$

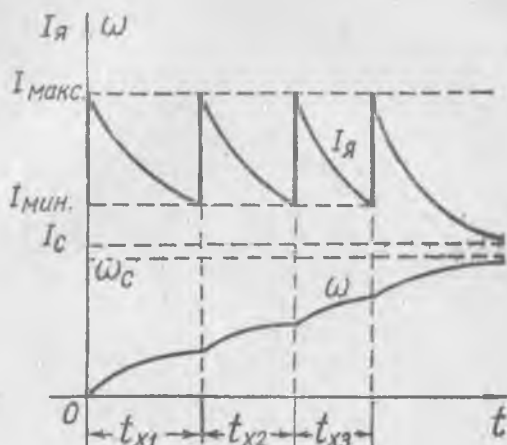
Агар ишга тушириш процессида $I_c = \text{const}$ бўлса, у ҳолда (14—34) ифоданинг логарифми ҳам ўзгармас бўлиб, t_x нинг соддалаштирилган ифодаси қуйидагича бўлади:

$$t_x = kT_{\max}. \quad (14-35)$$

Маълумки, мотор частотаси ортиб бориши билан, якорь занжиридаги ташқи қаршилик поғоналари шунтланиб борилади. Демак, $T_{\max} = \frac{JR}{C_E C_M}$ бўлгани учун частота ортиб бориши билан ҳар бир поғона қаршилигига тегишли $T_{\max}$ ва t_x ларнинг қийматлари камайиб боради, яъни $t_{x1} > t_{x2} > t_{x3}$ бўлади (14—7-расм).

Якорь занжиридан резистор қаршилиги охириги поғонасининг чиқарилганидан сўнг $t = (3+4) T_{\max}$ вақт ўтиши билан частота ўзининг турғун қийматига эришади. Ишга тушириш пайтида мотордаги энергия исрофининг қиймати $\Delta A_{\text{шт}} = \frac{J \omega_0^2}{2}$ [ж]

бўлади. Моторни тормозлаб тўхтатиш процессидаги ўткинчи



14—7- расм. Мустақил қўзғатишли моторни резистор воситасида ишга туширишдаги ўткинчи режим характеристикалари.

режимнинг $\omega = f(t)$ ва $i_a = f(t)$ тенгламалари ҳам юқоридаги сингари электрик ва механикавий мувозанат тенгламаларини ечиб топилади.

Бунда бошланғич шартлар бошқача бўлгани учун, интеграллаш доимийсининг қиймати ҳам ўзгача бўлади.

14 — 6. Асинхрон моторларнинг ўткинчи режимлари

Асинхрон моторларнинг ўткинчи режимларида ҳам электромагнитавий инерция механикавий инерцияга нисбатан анчагина кичик бўлгани учун уни ҳисобга олинмайди.

Агар моторни ишга туширишда $M_c = 0$ ва электр тармоғидаги кучланиш ўзгармас бўлса, у ҳолда юритманинг ҳаракат тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

$$\frac{2 M_{\max}}{\frac{S_{\text{кр}}}{S} + \frac{S}{S_{\text{кр}}}} = J \frac{d\omega}{dt} \quad (14-36)$$

бунда $\omega = \omega_0(1 - S)$ ва, демак, $\frac{d\omega}{dt} = -\omega_0 \frac{dS}{dt}$ бўлиб, (14 — 36) тенглама қуйидагича ифодаланади:

$$\frac{2 M_{\max}}{\frac{S_{\text{кр}}}{S} + \frac{S}{S_{\text{кр}}}} = -J \omega_0 \frac{dS}{dt}$$

бундан dt қуйидагича аниқланади:

$$dt = -\frac{J\omega_0}{2M_{\max}} \left(\frac{S_{\text{кр}}}{S} + \frac{S}{S_{\text{кр}}} \right) dS \text{ ёки}$$

$$dt = -\frac{T_m}{2} \left(\frac{S_{\text{кр}}}{S} + \frac{S}{S_{\text{кр}}} \right) dS, \quad (14-37)$$

бунда $T_m = \frac{J\omega_0}{M_{\max}}$ — электромеханикавий вақт доимийси. (14—37) ифодани интеграллаб моторни ишга тушириш вақти аниқланади, яъни

$$t_{\text{ишт}} = \frac{T_m}{2} \int_{s_{\text{охир}}}^{s_0} \left(\frac{S_{\text{кр}}}{S} + \frac{S}{S_{\text{кр}}} \right) dS. \quad (14-38)$$

Қўзғалмас ҳолат, яъни $S = 1$ да ишга тушириш учун кетган вақт қуйидагича топилади:

$$t_{\text{ишт}} = \frac{T_m}{2} \left(\frac{1-S^2}{2S_{\text{кр}}} + S'_{\text{кр}} \ln \frac{1}{S} \right). \quad (14-39)$$

Агар $S = 0$ деб қабул қилинса, у ҳолда $t_{\text{ишт}} = \infty$ бўлади.

Амалда сирпаниш қиймати ўзининг турғун миқдоридан 0,05 га нисбатан кўпга фарқ қилмаганда моторни ишга тушириш процесси тугайди деб қабул қилинади.

Бунда нагрузкасиэ, яъни $M_c = 0$ бўлган моторни ишга тушириш вақти қуйидагича аниқланади:

$$t_{\text{ишт}} = \frac{T_m}{2} \left(\frac{1 - 0,05^2}{2 S_{\text{кр}}} + S_{\text{кр}} \ln \frac{1}{0,05} \right).$$

Агар 0,05 ни кичик деб ҳисобга олинмаса, қуйидаги ифодани олиш мумкин:

$$\frac{t_{\text{ишт}}}{T_m} = \frac{1}{4S_{\text{кр}}} + 1,5 S_{\text{кр}}. \quad (14 - 40)$$

Шундай қилиб, ишга тушириш вақтининг нисбий қиймати сирпанишининг критик қийматига, $S_{\text{кр}}$ нинг қиймати эса ротор занжирининг актив қаршилигига боғлиқ бўлади.

Ўзгармас ва ўзгарувчан ток моторларининг ўткинчи режимларидаги энергия исрофи $\frac{J\omega_0^2}{2}$ ни камайтириш учун, даставвал, электрик юритманинг инерция моменти J ни камайтириш керак. Инерция моментини камайтириш учун қўпинча, битта моторни ярим қувватли иккита мотор билан алмаштириш тавсия қилинади. Бунда мотор роторларининг диаметри қисқариб, уларнинг умумий оғирлиги купайса ҳам уларнинг умумий J_m ва, демак, GD_m^2 қиймати камаяди. Бундан ташқари, ротор узунлаштирилган (яъни диаметри қисқартирилган) махсус моторларни ишлатиш билан ҳам GD_m^2 ва, демак, J_m қийматини камайтириш мумкин. Электрик юритма инерция моменти J нинг қиймати асосан, мотор яқори ёки роторининг инерция моменти J_m билан аниқланиши сабабли унинг камайтирилиши ўткинчи режимдаги энергия исрофининг камайтилишига олиб келади.

14 — 7. Электрик юритманинг ўткинчи процессларини моделлаш усули билан аниқлаш

Электрик юритма ўткинчи процессларини текшириш, уларни бошқариш йўлларини аниқлаш учун юқорида кўрилган усуллардан фойдаланиш билангина доимо қониқарли натижаларга эришиш имкони бўлмайди.

Шунинг учун ҳозирги пайтда мураккаб электрик юритмаларда содир бўладиган ўткинчи процессларни уларнинг моделларида текшириш ва урганиш кенг қўлланилмоқда.

Электрик юритмалар моделини физикавий ёки математикавий асосда яратиш мумкин. Физикавий модель яратиш учун электрик юритмани ташкил қиладиган элементларнинг қуввати ва габаритини, қўпинча кичиклаштириб, айрим ҳолларда эса, катталаштириб олинади.

Бунда электрик юритма моделидаги элементлар параметрларининг ўзаро нисбати ҳақиқий юритманики сингарй бўлиши керак. Шундагина физикавий моделдаги ҳамма процесслар-

нинг физикавий хусусиятлари ҳақиқийники сингари бўлади. Бундай модель ишини текшириш натижасида математикавий йўл билан ҳисобга олиш мумкин бўлмаган баъзи бир иккинчи даражали ҳодисалар таъсири ҳам аниқланиши мумкин.

Физикавий моделнинг энг муҳим томонлари шундаки, у орқали ҳақиқий қурилманинг турғун ва ўткинчи процесс режимларини амалда ҳар томонлама текшириш, уни сошлаш, камчиликларини тузатиш, нозик жойларини билиб олиш, уни бошқариш машқини яхшилаб ўрганиш имкони олинади. Бундай текширишларнинг ҳақиқий қурилмада ўтказилмаслиги, моделда аниқланган камчиликларни ўз вақтида, яъни олдиндан йўқотиш имкони жуда катта иқтисодий ва техникавий аҳамиятга эга бўлган масалалардан ҳисобланади.

Аммо юритма моделини яратишда ҳам бирмунча қийинчиликлар бўлади. Масалан, катта қувватли ўзгармас ток мотори ўрнига нисбатан анча кичик бўлган мотор моделини яратиш керак. Бунда моделнинг якорь қаршилиги ҳақиқийникига нисбатан анча катта, қўзғатиш чулғами индуктивлиги L_k ва, демак, электромагнитавий вақт доимийси $T_s = \frac{L_s}{R_k}$ эса анча кичик бўлади.

Модель машинанинг якорь қаршилигини бирмунча камайтириш учун қуввати талабга нисбатан каттароқ бўлган машина танланади. Бунда модель машинасидан ток бўйича тўла фойдаланилмайди.

Моделда керакли бўлган инерция моментини ҳосил қилиш учун моторда нагрузка вазифасини ўтовчи генератор габаритини талабга биноан танлаш ёки унинг валига қўшимча маховик ўрнатиш керак бўлади.

Математикавий модель ясаш учун модель структураси элементларидаги процесс ҳақиқий процессни ифодаловчи математикавий тенгламалар асосида ўтиши керак. Аммо бу усулда математикавий тенгламалар билан ифодалаб бўлмайдиган уярма ток, якорь реакцияси каби ҳодисалар таъсирини математикавий модель орқали ҳисобга олишнинг иложи йўқ. Купинча, математикавий модель R , L ва C элементларидан ташкил топган электр занжири схемаларидан иборат бўлади.

Ҳақиқатан, $M_s = 0$ бўлганда мустақил қўзғатишли мотор токни ва частотасининг ишга тушириш пайтидаги ўзгариш қонунлари (механикавий ва электромагнитавий инерцияларни ҳисобга олганда) R , L ва C дан иборат электр занжиридаги ўткинчи режимга ўхшаш бўлиб, уларни бир хил типдаги қуйидаги математикавий тенгламалар билан ифодалаш мумкин:

$$\frac{d^2 i_a}{dt^2} + \frac{d i_a}{T_s dt} + \frac{i_a}{T_s T_m} = 0,$$

$$\frac{d^2 \omega}{dt^2} + \frac{d \omega}{T_s dt} + \frac{\omega}{T_m T_s} = 0.$$

Мотор токи ва частотасининг математикавий ифодаси бўлган бу тенгламаларни ҳам юқоридаги сингари электр ва механикавий мувозанат тенгламаларини биргаликда ечиш билан топилади. Бунда $T_0 = \frac{L_0}{R_0}$ — электромагнитавий вақт доимийси.

R , L ва C элементларидан иборат занжир кучланиши узгармас электр тармоғига уланганида ҳосил булган токнинг узғариш қонуни ҳам юқоридаги тенглама сингара ифодаланади,

$$\text{яъни} \quad \frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{di}{T_1 dt} + \frac{i}{T_1 T_2} = 0,$$

бунда $T_1 = \frac{L}{R}$; $T_2 = RC$ — вақт доимийси.

Юқорида келтирилган тенгламаларни солиштириш натижа-сида қуйидаги хулосага келиш мумкин: электрик юритманинг инерция моментига эквивалент миқдор сифатида сигимни қабул қилса бўлади. Демак, $C_0 = \frac{J}{C_E C_M}$ бўлади. Ҳозирги пайтда юқори даражали дифференциал тенгламалардан иборат мураккаб масалаларни ҳам тез ва катта аниқлик билан электрон-ҳисоблаш машиналарида ечилмоқда.

Электрик юритмадаги ҳодисаларни текшириш учун эса, кўпинча, аналог деб аталувчи электрон ҳисоблаш машиналаридан фойдаланилади. Бунда ҳақиқий электрик юритманинг баъзи занжирларини бу машинадаги керакли қисмларга улаб, улардаги ўткинчи процессларни бевосита ўрганиш ва, натижада, корректирловчи элементларнинг уланиш жойларини аниқлаш каби масалаларни ечиш ҳам мумкин.

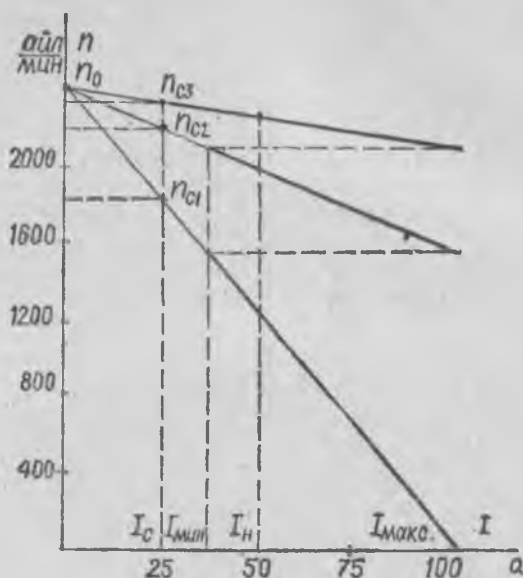
Аналог ҳисоблаш машиналари R , C элементлари ва кучайтиргичлардан ташкил топган математикавий моделлардан иборат бўлади.

14—1- масала. Қуввати $P_H = 10$ кВт, кучланиши $U_H = 220$ В, токи $I_H = 52,2$ А, айланиш частотаси $n_H = 2250$ айл/мин, $R_0 = 0,065 R_H$ ва $GD^2 = 4,9$ Нм² булган узгармас ток моторини икки поғонали қаршилиқ билан ишга туширишдаги $n = f(t)$ ва $i_H = f(t)$ лар ҳисоблансин. Бунда нағрузка токи $I_c = 0,5 I_H$ деб қабул қилинсин.

Е ч и ш. Моторнинг номинал қаршилиги $R_H = \frac{U_H}{I_H} = \frac{220}{52,2} = 4,21$ Ом бўлиб, $R_0 = 0,065 \cdot R_H = 0,274$ Ом бўлади.

Ишга тушириш резистори поғоналарининг қаршилиги графикавий усулда аниқланади (14—8- расм).

Бунинг учун $I_{\max} = 2 I_H = 104,4$ А деб қабул қилинади. Икки поғона билан ишга тушириш шартидан $I_{\min}$ нинг қиймати 38 А бўлиши аниқланади. 14—8- расмда қурилган графикдан резистор биринчи ва иккинчи поғона қаршиликлари аниқланади, яъни $R_{p1} = 1,35$ Ом, $R_{p2} = 0,49$ Ом бўлади.



14—8- расм. Ишга тушириш реостати пороналари қаршилигини графикавий усулда аниқлаш.

Э. ю. к. ва момент коэффициентлари қуйидагича аниқланади:

$$C_E = \frac{U - I_n R_n}{n_n} = \frac{220 - 52,2 \cdot 0,274}{2250} = 0,09 \frac{\text{В}}{\frac{\text{айл}}{\text{мин}}}$$

$$C_m = 9,55 \quad C_E = 9,55 \cdot 0,09 = 0,86 \frac{\text{Нм}}{\text{А}}$$

Демак,

$$n_c = \frac{U}{C_E} = \frac{220}{0,09} = 2408 \frac{\text{айл}}{\text{мин}} \text{ бўлади.}$$

$n = f(t)$ ва $t_n = f(t)$ лар қуйидаги формулалар билан ҳисобланади.

Частотанинг биринчи қаршилиқ поғонасидаги ўзгариш қонуни қуйидаги тенглама билан ифодаланади:

$$n = n_{c1} + (n_{c1} - n_{c1}) e^{-\frac{t}{T_m}} = n_{c1} + (0 - n_{c1}) e^{-\frac{t}{T_m}}$$

бунда:

$$T_m = \frac{GD^2 \cdot R_1}{375 C_E C_m} = 0,35 \text{ сек; } R_1 = R_n + R_{p2} + R_{p1} = 2,11 \text{ Ом.}$$

Нагрузка токи $I_c = 0,5 I_n$ га тегишли турғун частота n_{c1} графикадаги масштабга биноан аниқланса, $n_{c1} = 1812 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ бўлади.

Демак, ишга туширишнинг биринчи поғонасида $n = f(t)$ ни ҳисоблаш формуласи қуйидагича ифодаланади:

$$n = 1812 - 1812 e^{-\frac{t}{0,35}}$$

$I_n = f(t)$ ни эса қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$I_n = I_c + (I_{\max} - I_c) e^{-\frac{t}{T_{m1}}} = 26,1 + (104,4 - 26,1) e^{-\frac{t}{0,35}} = 26,1 + 78,3 e^{-\frac{t}{0,35}}$$

Биринчи поғонадаги ишга тушириш вақти

$$t_1 = T_{m1} \ln \frac{I_{\max} - I_c}{I_{\min} - I_c} = 0,35 \ln \frac{104,4 - 26,1}{38 - 26,1} = 0,65 \text{ сек.}$$

Шундай қилиб, ҳисоблаш формулаларидаги вақт уринга $t = 0 + 0,65$ сек гача бўлган турли қийматлар бериб, қуйидаги жадвал тузилади ва ундан $n = f(t)$ ва $I_n = f(t)$ эгри чизиқларини қуриш мумкин.

1-жадвал

№№	t	n	I_n
	сек	айл мн	А
1	0	0	104,4
2	0,2	792	70,1
3	0,4	1236	50,9
4	0,6	1491	40
5	0,65	1538	38

Иккинчи поғонада

$$n = n_{c2} + (n_{b2} - n_{c2}) e^{-\frac{t}{T_{m2}}}$$

$$I_n = I_c + (I_{\max} - I_c) e^{-\frac{t}{T_{m2}}}$$

$$R_2 = R_n + R_{p2} = 0,76 \text{ Ом}; T_{m2} = \frac{QD^2 R_2}{375 C_E C_M} = 0,125 \text{ сек.}$$

Турғун частотанинг қиймати

$$n_{c2} = 2192 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$$

Иккинчи поғонадаги вақт

$$t_2 = T_{m2} \ln \frac{I_{\max} - I_c}{I_{\min} - I_c} = 0,236 \text{ сек.}$$

Демак, ҳисоблаш формулалари: $n = 2191 + (1538 - 2192) e^{-\frac{t}{0,125}} = 2192 - 654 e^{-\frac{t}{0,125}}$; $I_n = 26,1 + 78,3 e^{-\frac{t}{0,125}}$ бўлади.

Бу маълумотлар асосида топилган ҳисоблаш натижалари 2- жадвалда кўрсатилган.

2- ж а д в а л

№№	t	n	i_y
	сек	айл/мин	А
1	0	1538	104,4
2	0,05	1760	78,6
3	0,1	1898	61,3
4	0,15	1995	49,7
5	0,24	2093	38

Табиий характеристикадаги ҳисоблаш формулалари ҳам юқоридаги сингари булади, яъни

$$R_s = R_y = 0,274 \text{ Ом};$$

$$n_{сз} = 2330 \frac{\text{айл}}{\text{мин}};$$

$$i_y = 26,1 + 78,3 e^{-\frac{t}{0,045}}$$

$$T_{мз} = \frac{4,9 \cdot 0,274}{375 \cdot 0,09 \cdot 0,86} = 0,045 \text{ сек.}$$

$$n = 2330 - 237 e^{-\frac{t}{0,045}};$$

$$t_3 \approx 4 T_{мз} = 0,18 \text{ сек.}$$

Ҳисоблаш натижалари 3- жадвалда келтирилган.

3- ж а д в а л

№№	t	n	i_y
	сек	айл/мин	А
1	0	2093	104,4
2	0,05	2252	51,2
3	0,1	2304	34,6
4	0,18	2326	27,5

14 — 2-масала. Қуввати $P_H = 15 \text{ кВт}$, $n_c = 1500 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$, $S_H = 2,86 \%$, $\lambda = 2,4$ ва

$GD_H^2 = 0,9 \text{ кгм}^2$ бўлган асинхрон моторли электрик юритмани ишга тушириш, тормозлаш (тескари улаш билан) ва реверслаш вақтларини аниқланг.

Механизм силташ моментининг мотор валига келтирилган қиймати $GD_{\text{мех}}^2 = 0,4 \text{ кгм}^2$ бўлиб, унинг қаршилик моменти эса $M_c = 3 \text{ кгм}$.

Е чи ш. 1. Моторнинг номинал айланиш частотаси:

$$n_H = n_c (1 - S_H) = 1500 (1 - 0,0286) = 1457 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$$

2. Моторнинг номинал моменти $M_H = \frac{975 P_H}{n_H} = \frac{975 \cdot 15}{1457} = 10,05 \text{ кгм}$.

3. Критик сирпаниш $S_{кр} = S_H (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,028 (2,4 + \sqrt{2,4^2 - 1}) = 0,131$.

4. Моторни ишга тушириш моменти ($S = 1$ га тенг бўлганда)

$$M_6 = \frac{2 \cdot M_{\max}}{\frac{1}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{1}} = \frac{2 \cdot 2,4 \cdot 10,05}{0,131 + \frac{0,131}{1}} = 6,22 \text{ кГм.}$$

5. Ишга тушириш пайтидаги ўртача момент

$$M_{\text{ур}} = \frac{M_{\max} + M_6}{2} = \frac{2,4 \cdot 10,05 + 6,22}{2} = 15,15 \text{ кГм.}$$

6. Электромеханикавий вақт доимийси

$$T_{\text{и}} = \frac{J\omega_{\text{с}}}{M_{\max}} = \frac{(GD_{\text{м}}^2 + CD_{\text{мех}}^2)\pi \cdot n_{\text{с}}}{4 \cdot g \cdot M_{\max} \cdot 30} = \frac{1,3 \cdot 3,14 \cdot 1500}{4 \cdot 9,81 \cdot 24,12 \cdot 30} = 0,216 \text{ сек.}$$

7. Моторни ишга тушириш вақти

$$t_{\text{ишт}} = T_{\text{и}} \left(\frac{1}{4 S_{\text{кр}}} + \frac{3}{2} S_{\text{кр}} \right) \frac{M_{\text{ур}}}{M_{\text{ур}} - M_{\text{с}}} = 0,54 \text{ сек.}$$

8. Тескари улаш билан моторни тормозлашда $s = 2$, тормозлаш моменти

$$M_{s=2} = \frac{2 M_{\max}}{\frac{2}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{2}} = \frac{2024,12}{0,131 + \frac{0,131}{2}} = 3,16 \text{ кГм.}$$

9. Тормозлаш пайтидаги ўртача момент

$$M_{\text{ур}} = \frac{M_6 + M_{s=2}}{2} = \frac{6,22 + 3,16}{2} = 4,7 \text{ кГм.}$$

10. Тормозлаш вақти

$$T_{\text{эт}} = T_{\text{и}} \left(\frac{3}{4 S_{\text{кр}}} + 0,345 S_{\text{кр}} \right) \frac{M_{\text{ур}}}{M_{\text{ур}} + M_{\text{с}}} = 0,76 \text{ сек.}$$

11. Реверслаш вақти

$$t_{\text{р}} = t_{\text{ишт}} + t_{\text{эт}} = 0,54 + 0,76 = 1,3 \text{ сек.}$$

Х V Б О Б. ЭЛЕКТРИК ЮРИТМА СИСТЕМАСИНИ ТАНЛАШ

15 — 1. Умумий тушунчалар

Ҳар бир такомиллашган иш машинасининг конструкцияси унинг учун танланган электрик юритма системасини ҳисобга олиб яратилади. Электрик юритма ҳамда мотор турлари ва қувватларининг, уларнинг бошқарувчи аппаратлари ва схемаларини берилган кинематикавий схема, технологик режим параметри ва талаблари асосида аниқлаш иш машинасига электрик юритма системасини танлаш деб аталади. Технологик режим параметрлари берилган бўлиши, ёки уларни ҳисоблаб ёхуд ўлчаб топиш мумкин, улар иш машинасини ишга тушириш, тургун ишлаш ва реверсланиш ёки тормозланиб тўхташ пайтларида унинг нагрукаси ва частотасининг ўзга-

риш диаграммалари билан аниқланади. Иш машинаси частотасининг рoстланиш диапазони ва силлиқлиги, берилган частотанинг ўзгармай сақланиши, частотанинг ўзгариши билан қувват ёки моментнинг ўзгармас сақланиши ҳамда иш машинаси ўрнатилган муҳит кўрсаткичлари каби технологик талаблар электрик юритма системасини танлашда ҳисобга олинади. Бунда нагрузка диаграммасига биноан даставвал моторнинг қуввати тахминан аниқланиб, сўнгра у бўйича каталогдан мотор танланади. Танланган мотор ва электрик юритма системаси параметрларини ҳисобга олиб берилган технологик режим учун мотор қуввати қайта ҳисобланади. Агар мотор қуввати талабдагига нисбатан кичик бўлса, у ҳолда иш машинаси имконидан тула фойдаланиб бўлмайди. Бунда иш машинаси қувватидан тула фойдаланиш учун моторни номналдан ортиқ бўлган қувват билан ишлатиш керак. Бу эса мотор чулгам изоляциясининг қизиби кетишига ва натижада унинг тезда ишдан чиқишига олиб келади. Агар мотор қуввати талабдагига нисбатан катта бўлса, у ҳолда электрик юритманинг иқтисодий ва техникавий кўрсаткичлари пасайиб, мотор нархи ва ундаги қувват исрофи ортади. Бунда ўзгарувчан ток моторларининг қувват коэффициенти ҳам нормадагига нисбатан пасайиб кетади.

Электрик юритма системаси тўғри танланганидагина иш машинаси ва мотор қувватидан тула ҳамда оптимал фойдаланилади.

Саноат, транспорт, қишлоқ хўжалиги ва бошқа соҳаларда электрик юритмадан жуда кенг фойдаланганлиги сабабли уни тўғри танлаш халқ хўжалиги аҳамиятига эга бўлган масалалар қаторига киради. Иш машинаси, кўпинча, ўзгарувчан нагрузка билан ишлайди. Бунда электр моторидан ўтадиган нагрузка токининг қиймати ҳам турлича бўлади. Мотор чулғамидан электр токи ўтиши билан у қизий бошлайди. Бунда чулғамнинг қизишига бефойда сарфланган иссиқлик энергиясининг миқдори қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$Q = 0,24 \Delta Pt = 0,24 I^2 R t, \quad (15 - 1)$$

бунда 0,24 — электр энергияни иссиқлик энергиясига ўтказувчи эквивалент коэффицент.

Демак, мотордан ажраладиган иссиқлик миқдори унинг чулғамидаги нагрузка токининг квадратига пропорционал бўлади.

Агар технологик талабга кўра, мотор тез-тез ишга туширилиб ва тўхтатилиб турилса, у ҳолда бу ўткинчи режимларда мотор чулғамидаги токдан ҳосил бўлувчи қувват исрофи ва демак, ундан ажраладиган иссиқлик энергияси миқдори моторни бошқарувчи системага ҳам боғлиқ бўлади.

Моторнинг ишлаш вақтида ҳосил бўлган иссиқлик энергиясининг бир қисми ташқи муҳитга берилиб турилади. Де-

мак, маълум вақтдан сўнг моторда ажралаётган иссиқлик энергияси унинг ташқи муҳитга узатаётган иссиқлик энергияси қийматига тенглашиши мумкин. Бунда моторнинг қизиш процесси турғун ҳолатга ўтиб, унинг температураси ўзгармас қийматга эга бўлади.

Бу температуранинг нормал қиймати чулғамлар қопланган изоляция материалнинг тури ва сифати билан аниқланади. Ўта юкланиш сабабли мотор нормадан ортиқроқ қизиб кетса, унинг чулғам изоляцияси тезда ишдан чиқади ва натижада моторнинг хизмат даври кескин камаяди. Моторнинг қуввати изоляциянинг нормал қизиш даражаси билан аниқланади. Демак, каталогдан танланган моторнинг қуввати ҳисоблаб топилган қийматга тенг ёки ундан бир оз катта бўлиши керак. Каталогдан танланган мотор параметрлари ўта юкланиш (максимал), ишга тушириш моментлари билан солиштирилади. Бунда берилган нагрузка диаграммасида кўрсатилган энг катта нагрузка моменти ва талаб қилинадиган ишга тушириш моменти каталогдан танланган моторнинг максимал ва ишга тушириш моментларидан камроқ бўлиши керак. Моторнинг қизиши унинг ишлаш пайтида содир бўлувчи қувват исрофи ΔP билан аниқланади, яъни

$$\Delta P = P_1 - P_2 = P_1(1 - \eta) = \Delta P_{\sim} X^2 + \Delta P = \Delta P + \Delta P_{\sim}, \quad (15 - 2)$$

бунда P_1 — моторга берилган қувват;

P_2 — мотор валидаги қувват;

η — моторнинг фойдали иш коэффициентини;

$\Delta P_{\sim}$ — моторнинг пулат қисмларидаги уюрмавий ток ва айланувчи қисмларидаги ишқаланишдан содир бўладиган ўзгармас қийматли, яъни нагрузкага боғлиқ бўлмаган қувват исрофлари;

ΔP_n — мотор чулғамларидаги токдан ҳосил бўлган қувват исрофининг номинал қиймати. Бунинг қиймати нагрузкага боғлиқ бўлиб, юкланиш коэффициенти X нинг квадратига тўғри пропорционал бўлади;

$X = \frac{P_2}{P_n}$ — юкланиш коэффициенти;

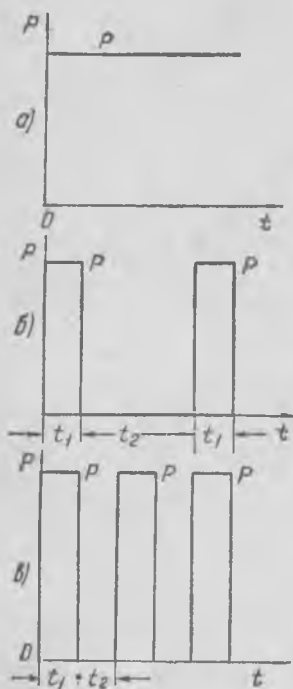
P_n — мотор валидаги қувватнинг номинал қиймати.

Моторнинг қизиш ва совиш процесси, асосан, электрик юритманинг иш режимига боғлиқ бўлади.

15 — 2. Электрик юритманинг иш режимлари

Электрик юритма нагрузкаси, купинча, ўзгарувчан бўлади.

Аммо у узоқ муддатли ўзгармас ёки ўзгарувчан нагрузкада ҳамда қисқа муддатли ва такрорланувчи қисқа муддатли режимларда ҳам ишлайди. 15 — 1- расм, *a* да узоқ муддатли ўзгармас нагрузка билан ишлайдиган иш машинасининг нагрузка диаграммаси кўрсатилган. Бундай нагрузка режи-



15—1- расм. Иш машинасининг:

a — узоқ муддатли; *b* — қисқа муддатли; *в* — такрорланувчи қисқа муддатли режимлардаги нагрузка диаграммалари.

мини, кўпинча, вентилятор, насос, транспортёр каби механизмларда учратиш мумкин. Узоқ муддатли иш режимида мотор ўзининг нормал температурасигача қизий олади. 15 — 1- расм, *b* да қисқа муддатли иш режимида тегишли нагрузка диаграммаси кўрсатилган. Бунда t_1 иш вақтида P қувватга танланган мотор ўзининг нормал температурасигача қизий олмайди. Аммо электр тармоғидан ажратилган мотор температураси t_2 даврда (пауза) ташқи муҳит температурасигача совий олади.

Ташқи муҳит температураси, одатда 35° га тенг деб қабул қилинади. Қисқа муддатли иш режими кўпчилик станокларнинг ёрдамчи механизмлари ва шу кабиларда учратилади.

15 — 1- расм, *в* да такрорланувчи қисқа муддатли иш режимида тегишли нагрузка диаграммаси кўрсатилган. Бунда P қувватга танланган мотор t_1 иш даврида ўзининг нормал температурасигача қизий олмайди, t_2 да эса унинг температураси ташқи муҳитникигача совий олмайди. Бундай иш режими, кўпинча, кран ва станокларда учрайди.

15 — 3. Моторнинг узоқ муддатли ўзгармас нагрузка билан ишлаш режимидаги қизиш ва совиш процесслари

Моторнинг иш процессида унинг турли, яъни чўян корпуси, пўлат, магнитавий системаси, мис чулғамлари ва изоляцияловчи материалдан иборат қисмлари ҳар хил температура билан қизийди.

Бунда моторнинг қизиш процессини ҳисоблаш жуда ҳам мураккаб бўлади. Қизиш процессини осонроқ ҳисоблаш учун турли қисмлардан иборат бўлган моторни эквивалент иссиқлик сиғимига эга бўлган бир хил материалдан иборат деб қабул қилинади. Бунда моторнинг қизиш процессини иссиқлик балансининг қуйидаги дифференциал тенгламаси билан ифода-лаш мумкин:

$$Qdt = A\tau dt + Cdt, \quad (15-3)$$

бунда Q — мотордаги қувват исрофидан ҳар бир секундда ҳосил бўлувчи иссиқлик қиймати, $\frac{\text{кал}}{\text{сек}}$ ёки $\frac{\text{Ж}}{\text{сек}}$;

τ — мотор температурасининг ташқи муҳит температурасидан юқорилиги, яъни моторнинг қизиш даражаси, град;

A — мотор билан ташқи муҳит ўртасидаги температура фарқи 1 градусга тенг бўлганда, унинг сатҳидан бир секундда ташқи муҳитга тарқаладиган иссиқлик миқдори, $\frac{\text{кал}}{\text{сек. град}}$ ёки $\frac{\text{Ж}}{\text{сек. град}}$.

C — мотор иссиқлик сифими, $\frac{\text{кал}}{\text{град}}$ ёки $\frac{\text{Ж}}{\text{град}}$.

t — вақт, сек.

Моторнинг қизиш процесси $\tau = f(t)$ боғланиш билан характерланиб, уни (15 — 3) ифодадан қуйидагича аниқланади:

$$dt = \frac{C d\tau}{Q - A\tau}. \quad (15 - 4)$$

(15 — 4) ни интеграллаб, қуйидаги топилади:

$$t = -\frac{C}{A} \ln(Q - A\tau) + K, \quad (15 - 5)$$

бунда K — интеграллаш доимийси бўлиб, уни бошланғич шартга биноан, яъни $t = 0$ бўлганда $\tau = \tau_0$ бўлади деб аниқланади: $K = \frac{C}{A} \ln(Q - A\tau_0)$; K нинг қийматини (15 — 5) га қўйиб қуйидаги ифода ҳосил қилинади:

$$t = -\frac{C}{A} \ln \frac{Q - A\tau}{Q - A\tau_0}. \quad (15 - 6)$$

(15 — 6) ни τ га нисбатан ечиб, қуйидаги олинади:

$$\tau = \frac{Q}{A} (1 - e^{-\frac{tA}{C}}) + \tau_0 e^{-\frac{tA}{C}}. \quad (15 - 7)$$

(15 — 7) даги $\frac{Q}{A} = \tau_r$ ва $\frac{C}{A} = T_k$ деб, моторнинг қизиш процессини характерлайдиган тенглама ҳосил қилинади:

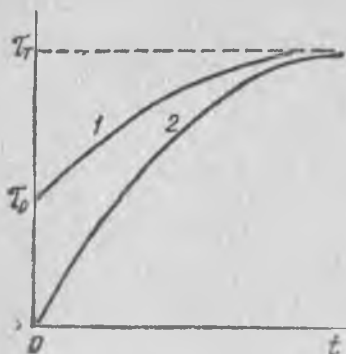
$$\tau = \tau_r (1 - e^{-\frac{t}{T_k}}) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T_k}}. \quad (15 - 8)$$

бунда τ_r — моторнинг турғун иш режимидаги қизиш температураси;

T_k — қизишнинг вақт доимийси.

Агар $t = 0$ бўлганда $\tau_0 = 0$ бўлса, у ҳолда (15 — 8) қуйидагича ифодаланади:

$$\tau = \tau_r (1 - e^{-\frac{t}{T_k}}). \quad (15 - 9)$$



15-2- расм. Электр моторнинг қизиш эгри чизиқлари.

15-2- расмда (15-8) ва (15-9) ифодалар асосида қурилган $\tau = f(t)$ эгри чизиқлари кўрсатилган. Бу тенгламаларга биноан, мотор узининг турғун ҳолатдаги нормал температураси τ_r га эга бўлиши учун вақт чексиз катта, яъни $t = \infty$ бўлиши керак. Амалда эса бу вақт $t \approx 3 + 4T_k$ га тенг деб қабул қилинади.

Қизишнинг вақт доимийси T_k қуйидагича талқин қилинади. Бу вақт давомида мотор ташқи муҳитга иссиқлик тарқатмасдан, унинг температураси турғун қий-

матгача кўтарилади. Ҳақиқатан $A=0$ бўлганда (15-3) тенглама қуйидагича ифодаланади:

$$Q dt = C d\tau. \quad (15-10)$$

Агар $\tau_0 = 0$ бўлса, (15-10) дан қуйидаги олинади:

$$t = \frac{C}{Q} \tau. \quad (15-11)$$

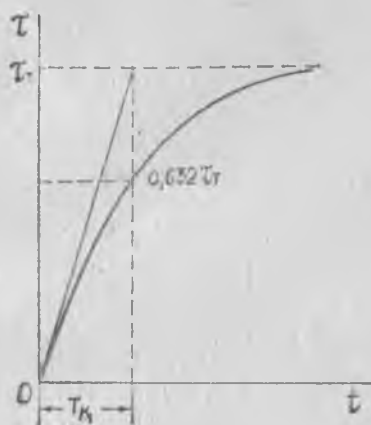
(15-11) га $\tau = \tau_r = \frac{Q}{A}$ ни қўйиб, моторнинг турғун температурагача қизиши учун кетган вақт t_r аниқланади:

$$t_r = \frac{C}{Q} \tau_r = \frac{C}{A} = T_k. \quad (15-12)$$

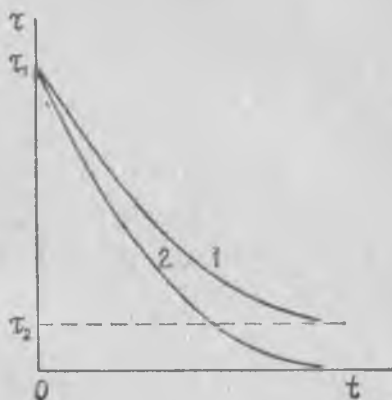
Агар реал шароит ҳисобга олинса, яъни муҳитга мотордаги иссиқликнинг бир қисми тарқалиб турилади дейилса, у ҳолда T_k вақт давомида мотор температураси $\tau = 0,632 \tau_r$ гача қийиди.

Ҳақиқатан (15-9) тенгламадаги t ўрнига T_k қўйилса, юқоридаги ифода, яъни $\tau = \tau_r(1 - e^{-\frac{t}{T_k}}) = 0,632 \tau_r$ олинади.

Тажриба асосида қурилган $\tau = f(t)$ эгри чизиғидан T_k нинг қийматини аниқлашда юқорида олинган ифодадан фойдаланилади. 15-3- расмда тажриба билан топилган $\tau = f(t)$ эгри чизиғига уринма ўтказиб, T_k нинг қийматини аниқлаш кўрсатилган. Якорининг диаметри 160 + 600 мм бўлган ўзгармас ток машиналари учун қизишнинг вақт доимийси тахминан $T_k = 25 + 90$ мин; якорининг диаметри 100 + 400 мм бўлган ёпиқ МП типдаги машиналар учун $T_k = 65 + 270$ мин бўлиб, роторининг диаметри 105 + 140 мм бўлган қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторлар учун $T_k = 11 + 22$ мин; роторининг диаметри 160 + 600 мм бўлган фаза роторли моторлар учун



15—3- расм. Қизиш эгри чизигидан графикавий усулда моторнинг қизиш доминисини аниқлаш.



15—4- расм. Электр моторининг совиш эгри чизиклари.

эса $T_k = 25 + 90$ мин булади. Электр тармоғидан ажратилган ёки камроқ нагрузкага ўтказилган моторнинг совиш процессидаги $\tau = f(t)$ боғланишини топиш учун (15—8) ифодадан фойдаланиш мумкин. Бунинг учун $\tau_0 = \tau_1$ ва $\tau_T = \tau_2$ деб, қуйидаги тенглама олинади:

$$\tau = \tau_2(1 - e^{-\frac{t}{T_k}}) + \tau_1 e^{-\frac{t}{T_k}}. \quad (15-13)$$

Агар $\tau_2 = 0$ бўлса, у ҳолда (15—13) тенглама қуйидагича ифодаланади:

$$\tau = \tau_1 e^{-\frac{t}{T_k}}. \quad (15-14)$$

15—4- расмда моторнинг (15—13) ва (15—14) ифодалар асосида қурилган совиш эгри чизиклари кўрсатилган.

Шундай қилиб, қуввати тўғри аниқланган моторнинг турғун иш режимидаги температураси $\tau_t = \tau_{\text{норм}}$ бўлиши керак. Бунда $\tau_{\text{норм}}$ моторнинг чулғам изоляцияси типига биноан аниқланган нормал қизиш температураси.

15—4. Узоқ муддатли ўзгармас нагрузкада мотор қувватини аниқлаш

Узоқ муддатли иш режимининг нагрузка диаграммасидан ёки ҳисоблаш йўли билан иш машинаси қувватини аниқлаш мумкин бўлмаган ҳолларда иш машинасининг ўлчаш билан аниқланган қувватини узатманинг фойдали иш коэффициентини

тига бўлиб, моторнинг қуввати топилади. Мотор валидаги қувватга биноан катологдан мотор танланиб, у фақат ишга тушириш моментига биноан текширилади. Узоқ муддатли иш режимига эга бўлган иш машиналари учун мотор қуввати қуйидагича топилади.

Вентилятор учун мотор қувватини аниқлаш

Вентилятор парракли ёки марказдан қочар кучга асосланган конструкцияда тузилиб, иш унуми $Q \left[\frac{\text{м}^3}{\text{сек}} \right]$ ва босими H [мм сув устуни] билан характерланади.

Марказдан қочар кучга асосланган вентиляторлар паст босимли ($H \leq 100$ мм сув устуни); ўрта босимли ($H \leq 100 + 400$ мм сув устуни) ва юқори босимли ($H \geq 400$ мм сув устуни) қилиб чиқарилади. Вентилятор қуввати қуйидаги мулоҳазалар асосида топилади.

Агар солиштирма оғирлиги $\gamma \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$ бўлган ҳавони кундаланг кесими $F [\text{м}^2]$ бўлган трубадан $v \left[\frac{\text{м}}{\text{сек}} \right]$ тезликда ўтказиш лозим бўлса, у ҳолда бир секундда ҳайдалган ҳаво оғирлиги q қуйидагича аниқланади:

$$q = Fv\gamma. \quad (15 - 15)$$

Ҳавонинг массаси

$$m = \frac{q}{g} = \frac{Fv\gamma}{g}.$$

Ҳавонининг вентилятордан оладиган кинетик энергия запаси:

$$A = \frac{mv^2}{2} = \frac{Fv^3\gamma}{2g}. \quad (15 - 16)$$

Бу ифодани вентилятор ва узатманинг фойдали иш коэффициентларига бўлиб, мотор валидаги қувват қуйидагича аниқланади:

$$P_{\text{м}} = \frac{QH}{102 \eta_{\text{в}} \eta_{\text{у}}} \text{ кВт}, \quad (15 - 17)$$

бунда $Q = Fv$ — вентиляторнинг иш унуми, $\frac{\text{м}^3}{\text{сек}}$;

$H = \gamma \frac{v^2}{2g}$ — вентиляторнинг умумий тезлик босими, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$

ёки мм сув устунига тенг бўлади ($1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2} = 1$ мм сув устуни)

$\eta_{\text{в}}$ — вентиляторнинг фойдали иш коэффициенти бўлиб, унинг қиймати катта қувватли вентилятор учун $\eta_{\text{в}} = 0,4 + 0,75$, марказдан қочар

кучга асосланган ўрта қувватли вентилятор учун $\eta_v = 0,3 + 0,5$ ва кичик қувватдаги парракли вентилятор учун $\eta_v = 0,2 + 0,35$ бўлади. η_y — узатманинг фойдали иш коэффициентлари. Парракли вентиляторларнинг босими $H = 4 + 10$ мм сув устуни бўлади. Узатмаларнинг фойдали иш коэффициентлари узатма турига биноан аниқланади. Агар $H \left[\frac{H}{m^2} \right]$ да олинса,

$$P_m = \frac{QH}{10^3 \cdot \eta_v \cdot \eta_y} \text{ кВт бўлади.}$$

Шундай қилиб, (15—15) ифодага биноан вентиляторнинг иш унуми ҳаво тезлигининг биринчи даражасига пропорционал бўлади ($F = \text{const}$ бўлганда). Ҳавонинг тезлиги вентиляторнинг айланишига бевосита боғлиқлиги сабабли вентиляторнинг иш унуми ҳам унинг бир минутдаги айланишлари сонига тўғри пропорционалдир:

$$q = F v_T \equiv n. \quad (15-18)$$

(15—16) ифодага биноан вентилятор қуввати ҳаво тезлигининг ва, демак, айланиш частотасининг кубига пропорционал бўлади:

$$P \equiv v^3 \equiv n^3. \quad (15-19)$$

Момент $M = \frac{9550 P_n}{n_n}$ бўлганидан айлантирувчи момент қиймати тезликнинг квадратига пропорционал, яъни

$$M \equiv n^2. \quad (15-20)$$

(15—17) га биноан вентилятор босими ҳам айланиш частотасининг квадратига пропорционал бўлади, яъни

$$H \equiv n^2 \quad (15-21)$$

Вентиляторларни юқоридаги ифодаларга риоя қилиб ишла-тиш шарт. Акс ҳолда, яъни вентилятор иш жараёнида ўзи учун лойиҳаланган миқдорлар билан ишламас, унинг иш уну-ми, босими ва қуввати (15—18), (15—19), (15—20) ва (15—21) лар асосида қайта ҳисобланиши керак.

Насослар учун мотор қувватини аниқлаш

Қишлоқ хўжалигидаги ер массивларини суғориш, қишлоқ аҳолиси ва фермаларни сув билан таъминлаш, вертикал, гори-зонтал дренаж ва шу каби ирригация иншоотлари учун пор-шенли ва марказдан қочар кучга асосланган насослар, занжир-ли ва винтли сув кўтаргичлари ҳамда чархпалаклардан фой-даланилади. Техникавий ва иқтисодий кўрсаткичларга биноан электр мотори билан ҳаракатга келтириладиган марказдан қочар

кучга асосланган насослар сувни узатиш учун энг қулай иш машиналаридан ҳисобланади. Қишлоқ хўжалигига берилаётган электр энергиясининг ярмидан кўп қисми насосларнинг электрик юритмасига сарфланади. Насос моторининг қуввати қуйидаги формула билан аниқланади:

$$P_n = \frac{Q \gamma H}{102 \eta_n \cdot \eta_y} \text{ кВт}, \quad (15-22)$$

бунда Q — насоснинг иш унуми, $\frac{\text{м}^3}{\text{сек}}$;

γ — суюқликнинг солиштирма оғирлиги (сув учун $\gamma = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 9810 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$);

H — суюқликнинг насос билан умумий кўтарилиш баландлиги, м; H нинг миқдори $H = H_1 + H_2 + H_3 + H_4$ лардан иборат бўлиб, бу ерда

H_1 — сувнинг сўрилиш баландлиги, унинг қиймати сув манбаи юзасидан насос ўқигача бўлган масофа билан ўлчанади; H_2 — сувни насос ўқидан то у билан таъминладиган пунктнинг энг баланд нуқтасигача кўтариш учун керак бўлган гидростатик босим; H_3 — сувни сўрувчи ва ҳайдовчи трубалар ҳамда улардаги бурилишлар ва вентиллarda йўқотиладиган босим исрофларини ҳисобга оладиган босим; H_4 — трубадаги сувнинг ундан берилган тезликда чиқишини таъминлайдиган эркин босим;

η_n, η_y — насос ва узатманинг фойдали иш коэффициентлари.

Насоснинг иш унуми, одатда, истеъмолчи томонидан ҳисобланади ва берилган бўлади.

Насос билан ҳайдаладиган суюқликнинг солиштирма оғирлиги справочниклардан олинади. H_1 миқдорининг назарий қиймати атмосфера босими билан сув температурасига боғлиқ бўлади (қуйидаги 1 ва 2-жадвалларга қаранг).

1-жадвал

Насос ўрнатилган жойнинг денгиз сатҳидан баландлиги, м	0	100	200	300	400	500	600	800
Атмосфера босими, м сув устуни	10,3	10,2	10,1	9,9	9,8	9,7	9,6	9,4

2-жадвал

Сув температураси, °C	0	10	15	20	30	40	50	60	70	80
Сув буғининг босими, м сув устуни	0,06	0,12	0,17	0,24	0,32	0,43	0,75	1,3	2,3	2,4

Демак, сув температурасининг ортиб бориши билан буғла-
ниш ҳам кучайиши сабабли сўриш баландлиги пасайиб боради.
Шунга биноан, катта қувватли насосларнинг ўқи билан сув
манбаининг энг пастки сирти орасидаги баландлик амалда 6 + 7
метрдан, кичик қувватли насосларда эса 4 + 5 метрдан ортиқ
бўлмайди. Агар сув манбаининг сирти кескин ўзгарадиган бўл-
са, у ҳолда насос станциясини махсус қайиқ устига ўрнатила-
ди.

Насосларнинг сув сўриш трубаларининг пастки учи билан
сув манбаининг энг пастки сирти орасидаги баландлик 0,5 метр-
дан кам бўлмаслиги лозим.

Чуқур қудуқлардан сув тортиш учун, кўпинча, поршенли
насослардан фойдаланилади. Бу насосларни сув сиртидан ке-
ракли бўлган баландликда ўрнатиш имкони бор.

Бунда электр моторини ер юзасига ўрнатиб у билан насос
узуи штангали кривошип механизми орқали боғланади. Насос
орқали ҳайдалган сувнинг трубалардан чиқиш тезлиги марка-
здан қочар кучга асосланган насослар учун $v \leq 0,5 + 2,5 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$,
поршенли насослар учун эса сўриш трубаида $v \leq 0,75 + 0,8 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$,
ҳайдаш трубаида $v \leq 0,75 + 1,5 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$ бўлади. H_3 босимнинг тру-
банинг тўғри участкасидаги қисми қуйидаги ифода билан аниқ-
ланади:

$$h_{\text{тўғри}} = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2 \cdot g} \left[\text{м. сув устуни} \right], \quad (15-23)$$

бунда L — труба тўғри участкасининг узунлиги, м;

d — труба диаметри, м;

v — сув тезлиги, $\frac{\text{м}}{\text{сек}}$;

λ — трубадан чиқаётган сув тезлигига боғлиқ коэффи-
циент. Бунинг қиймати турли частоталар учун жад-
валдан топилади (масалага қаранг). Бурилиш ва
вентиллардаги босим исрофи ҳам (15—23) ифодага
ўхшаш ифодалар билан аниқланади (масалага қаранг).

Эркин босим қиймати $H_4 = 6 + 7$ м сув устунига тенг деб
қабул қилинади.

Тақрибий ҳисоблашларда марказдан қочар кучга асослан-
ган насос фойдали иш коэффицентини паст босимли ($H \leq 15$
м) насослар учун $\eta_n = 0,25 + 0,6$, ўрта босимли ($H \leq 40$ м)
насослар учун $\eta_n = 0,4 + 0,7$ ва юқори босимли ($H > 40$ м)
насослар учун $\eta_n = 0,4 + 0,8$ га тенг деб олиш мумкин.

Поршенли насосларнинг фойдали иш коэффицентлари мар-
каздан қочар кучга асосланган насосларникига нисбатан тах-
минан 10 % га юқоридир. Марказдан қочар кучга асосланган
насослар айланиш частотасининг ўзгариши билан уларнинг иш

унуми, босими ва истеъмол қиладиган қуввати вентиляторлар-
ники сингари қуйидагича ўзгаради, яъни

$$Q \equiv n \quad (15-24)$$

$$H \equiv n^2 \quad (15-25)$$

$$P \equiv n^3 \quad (15-26)$$

Агар насоснинг сўриш баландлиги камайиб борса, мотор-
нинг нагрузкаси ортиб боради.

Бунда мотор ўта юкланмаслиги учун насос иш унумини
камайтириш лозим. Бунинг учун эса мотор частотасини ка-
майтириш ёки сўриш трубасининг кўндаланг кесимини махсус
клапан билан кичрайтириш керак.

Марказдан қочар насосларда клапан ва поршенлар бўлма-
ганлигидан уларнинг ишлашдаги ишончлилиги анча юқори
бўлади. Бундай насослар $1000 + 3000 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ частоталарга ҳисобла-
ниб, электр моторлари билан бевосита айлантрилади. Шунинг
учун насос станциялари ихчам ва шовқинсиз ишлайдиган
конструкцияда бўлади. Марказдан қочар насосни ишга туши-
риш учун ҳайдовчи трубадаги вентиль ёпиқ бўлиши керак.
Мотор частотаси ўзининг номинал қийматига эришганидан сўнг
вентилни очиш мумкин. Насосни ишга тушириш олдида унинг
камерасини ва сўриш трубаларини сув билан тулдириш лозим.
Поршенли насосларнинг иш унуми ва қуввати моторнинг ай-
ланиш частотасига тўғри пропорционалдир. Поршень ва бери-
лаётган сувнинг частотаси ўзгарувчан бўлганлиги сабабли мо-
тор қуввати пульсацияланиб туради. Шунга кўра, бунда
инерция кучлари ҳаддан ташқари ортиб кетмаслиги учун пор-
шеннинг ҳаракат сони чегараланади.

Кичик қувватли насослар учун поршеннинг ҳаракат сони
минутига $30 + 60$ дан, ўрта қувватли насосларда $50 + 200$ дан
ва катта қувватлиларда $100 + 300$ дан ортиқ бўлмаслиги ке-
рак. Бундай насослар тўла босимда ишга туширилиши сабабли
мотор ишга тушириш моментининг катта бўлиши талаб қили-
нади.

15 — 1-масала. Бир суткада 4 соат ишлаб, 50 м^3 сувни 22 метр ба-
ландликка чиқариб бериш учун керак бўлган марказдан қочар насос учун
мотор қуввати аниқлансин.

Берилган 22 м баландликка H_1 , H_2 ва H_4 масофалар киради.

Бунда H_1 — сув сиртининг энг пастки нуқтасидан насос ўқигача бўлган
масофа;

H_2 — насос ўқидан сув кўтариладиган энг баланд нуқтагача бўлган
масофа;

H_4 — сувнинг трубадан берилган тезликда чиқишини таъминлайдиган
босим. Демак, $H_1 + H_2 + H_4 = 22 \text{ м}$. Трубанинг узунлиги $L =$
 $= 200 \text{ м}$ бўлиб, у учта вентиль ва учта бурилишга эга.
Трубанинг диаметри $d = 65 \text{ мм}$.

Е ч и ш. 1) Насоснинг 1 секунддаги иш унуми $Q_{\text{сек}} = \frac{Q_{\text{сутка}}}{4 \cdot 3600} = \frac{50}{14400} = 0,0035 \frac{\text{м}^3}{\text{сек}}$.

2) Трубаинг тўғри қисмидаги босим исрофи

$$h_{\text{тўғри}} = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \left[\text{метр сув устуни} \right],$$

бунда

$$v = \frac{Q_{\text{сек}}}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{0,0035 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,065^2} = 1,06 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$$

сўвнинг трубадан чиқиш тезлиги.

λ — трубадаги сув тезлигига боғлиқ бўлган коэффициент. Уни қуйидаги жадвалдан аниқланади:

мм	v	λ
	$\frac{\text{м}}{\text{сек}}$	
1	0,05	0,057
2	0,1	0,044
3	0,2	0,036
4	0,3	0,032
5	0,5	0,028
6	1	0,024
7	2	0,021
8	3	0,02
9	6	0,018

мм	$\frac{d}{R}$	ξ
1	0,1	0,13
2	0,2	0,138
3	0,3	0,153
4	0,4	0,21
5	0,5	0,29
6	0,6	0,44
7	0,8	0,98
8	1	1,98

Демак, $v = 1,06 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$ га тегишли $\lambda = 0,024$ бўлиб, $h_{\text{тўғри}} = 0,024 \cdot \frac{200 \cdot 1,06^2}{0,065 \cdot 2 \cdot 9,81} = 4,2$ [метр сув устуни] бўлади. Вентиль ва бурилишлардаги босим исрофи қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$h_{\text{бур}} = 3\xi \frac{v^2}{2g} \text{ м. сув устуни,}$$

бунда ξ — труба параметрларига биноан қуйидаги жадвалдан аниқланадиган коэффициент;

d — труба диаметри;

R — трубаинг ички бурилиш радиуси;

$\frac{d}{R} = 0,3$ деб қабул қилинса, у ҳолда $\xi = 0,153$ бўлиб, бурилишлардаги босим исрофи

$$h_{\text{бур}} = 3\xi \frac{v^2}{2g} = 3 \cdot 0,153 \cdot \frac{1,06^2}{2 \cdot 9,81} = 0,027 \text{ м.}$$

сўв устуни бўлади.

Вентиль учун $\xi = 0,49$ деб қабул қилинса, $h_{\text{вен}} = 3 \cdot 0,49 \cdot \frac{1,06^2}{2 \cdot 9,81} = 0,09 \text{ м.}$

сўв устуни. Демак, $H_3 = h_{\text{тўғри}} + h_{\text{бур}} + h_{\text{вен}} = 4,2 + 0,027 + 0,09 = 4,56 \text{ м.}$ сўв устуни бўлиб, сўвнинг умумий кўтарилиш баландлиги $H = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 = 22 + 4,56 = 26,56 \text{ м}$ сўв устуни бўлади.

Шундай қилиб, умумий босим, яъни $H = 26,56$ метр сув устуни ва иш унуми Q га биноан каталогдан керакли типдаги насос танланади. Сўнгра бу насос учун мотордан талаб қилинадиган қувват, яъни $P_m = \frac{Q \gamma H}{10^3 \eta_n \cdot \eta_g}$ аниқланади, бунда $\gamma = 9810 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$ — сувнинг солиштирма оғирлиги;

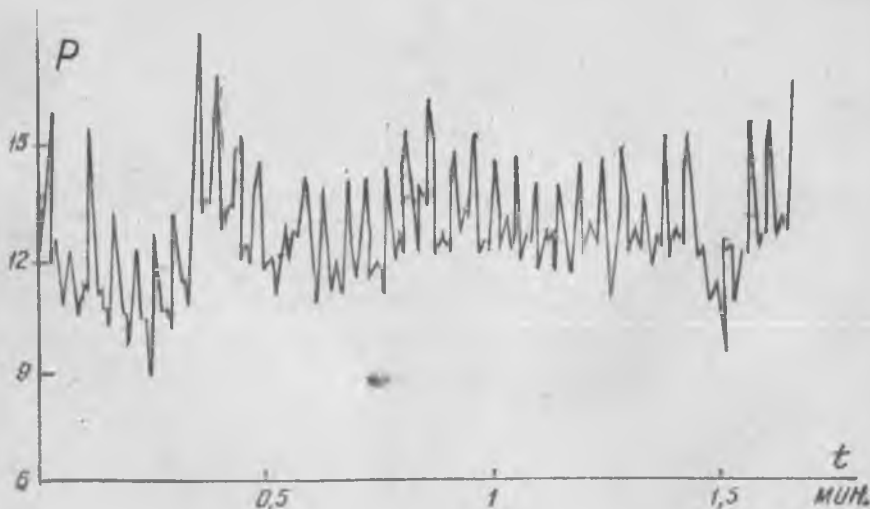
$Q = 0,004 \frac{\text{м}^3}{\text{сек}}$ — танланган насоснинг иш унуми;

$H = 29$ м сув устуни — танланган насоснинг умумий босими.

$\eta_n = 0,5$ — танланган насоснинг фойдали иш коэффициенти. Танланган насос $1450 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ га мўлжаллангани учун моторни ҳам шу частотага танлаш лозим. Бунда узатманинг ф. и. к. $\eta_g = 1$ бўлади. Шундай қилиб, $P_m = \frac{0,004 \cdot 9810 \cdot 29}{0,5 \cdot 1 \cdot 10^3} = 2,3$ кВт га биноан, насос учун каталогдан АО2-32-4 типли, қуввати $P_n = 3$ кВт, частотаси $n = 1450 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ бўлган асинхрон мотор танланади.

15 — 5. Узоқ муддатли ўзгарувчан нагрузкада мотор қувватини аниқлаш

Ўзгарувчан нагрузкада мотор қувватини унинг қизиш даражасига биноан аниқлаш анча мураккаб бўлади. 15—5-расмда қишлоқ хўжалик маҳсулотларини янчадиган машинанинг нагрузка диаграммаси кўрсатилган. Бундай ўзгарувчан нагрузкали диаграммадан қувватнинг ўртача арифметик қийматини топиб, сўнгра унга биноан мотор қувватини аниқлаш, албатта, нотўғри бўлади. Ҳақиқатан, (15—1) ифодага биноан, моторда



Ю—5- расм. Янчиш машинасининг нагрузка диаграммаси.

ҳосил бўладиган қувват исрофи ва, демак, ундан ажраладиган иссиқлик энергияси миқдори токнинг квадратиға пропорционал-дир. Шунинг учун ўзгарувчан нагрузкада мотор қувватини қуйидаги усуллар билан аниқлаш қулайроқ бўлади.

1. Ўртача исроф усули

Бу усул моторда ажраладиган қувват исрофининг ўртача қийматини аниқлашга асосланган.

15—6-расмда нагрузка қиймати поғонали ўзгарадиган узоқ муддатли ишлаш режимининг графиги кўрсатилган.

Ўртача исроф усулига биноан, даставвал, графикдаги қувватнинг ўртача арифметик қиймати $P_{ур}$ аниқланади ва уни 1,1 + 1,8 га тенг бўлган запас коэффицентига купайтириб, у буйича каталогдан мотор тахминан танланади. Танланган моторнинг каталогда келтирилган $\eta = f(P)$ боғланишига биноан графикдаги P_1, P_2, P_3 ва P_4 лардан иборат ўзгарувчан нагрузкаларга тегишли $\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3$ ва ΔP_4 қувват исрофлари қуйидаги ифодадан аниқланади:

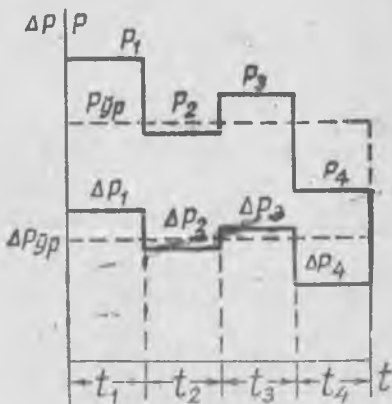
$$\Delta P = P \left(\frac{1 - \eta}{\eta} \right). \quad (15-27)$$

Демак, $\Delta P_1 = P_1 \left(\frac{1 - \eta_1}{\eta_1} \right)$; $\Delta P_2 = P_2 \left(\frac{1 - \eta_2}{\eta_2} \right)$ ва ҳоказо. 15—6-расмда (15—27) ифодага асосан қурилган $\Delta P = f(t)$ графиги кўрсатилган. Бу графикка биноан қувват исрофининг ўртача қиймати қуйидагича аниқланади:

$$\Delta P_{ур} = \frac{\Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 + \Delta P_3 t_3 + \Delta P_4 t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4} \quad (15-28)$$

Шундай қилиб, агар $\Delta P_{ур} \leq \Delta P_n$ бўлса, у ҳолда мотор тўғри танланган бўлади. Бунда $\Delta P_n = P_n \left(\frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right)$ — тахминан танланган мотор қуввати исрофининг каталогдан олинган номинал қиймати. Агар $\Delta P_{ур} > \Delta P_n$ бўлса, у ҳолда танланган мотордан бир шкала катта қувватли бошқа мотор олиниб, уни юқоридаги сингари қайта текширилади.

Қизиш температурасига биноан тўғри танланган, яъни $\Delta P_n \geq \Delta P_{ур}$ бўлган мотор ўта юкланиш ва ишга тушириш мо-



15—6. расм. Узоқ муддатли ишлаш режимининг графиги.

ментлари бўйича текширилади ва шу билан мотор танлаш тугайди. Бунда максимал ва минимал қийматли қувват исрофлари ўрнига уларнинг ўртача қиймати олинган бўлса, бу усул билан мотор қувватини ҳисоблаш ва танлаш етарли даражада аниқ бўлади. Аммо мотор каталогларида турли нагрузкаларга тегишли η қиймати кўпинча берилмайди. Шу сабабли бу усул амалда кам қўлланилади.

2. Эквивалент миқдорлар усули билан мотор қувватини аниқлаш

Амалда мотор қувватини аниқлашда юқоридаги усулга нисбатан бирмунча содда ва қулай бўлган эквивалент миқдорлар, яъни ток, момент ва қувватнинг эквивалент миқдорига асосланган усулдан кўпроқ фойдаланилади. 15—6-расмда кўрсатилган нагрузка диаграммаси асосида қурилган $\Delta P = f(t)$ нинг ҳар бир поғонаси учун (15—1) ва (15—2) ифодаларга биноан қувват исрофини қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\Delta P_x = \Delta P_+ + \Delta P_- = \Delta P_+ + \delta I_x^2, \quad (15-29)$$

бунда δ — мотор чулғами қизиши билан унинг қаршилиги ўзгаришини ҳисобга олувчи коэффициент.

Агар мотордаги турли нагрузкаларда қувват исрофининг ΔP_+ қисми ҳамда δ коэффициентни ўзгармай қолади деб қабул қилинса, у ҳолда ҳар бир нагрузкадаги қувват исрофини (15—28) ифодага қўйиб, қуйидаги олинади:

$$\Delta P_+ + \delta I_2^2 \frac{(\Delta P_+ + \delta I_1^2) t_1 + (\Delta P_+ + \delta I_2^2) t_2 + \dots + (\Delta P_+ + \delta I_4^2) t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4} \quad (15-30)$$

(15—30) ифода асосида моторнинг ўзгарувчан нагрузкадаги узоқ муддатли иш режимини эквивалент нагрузка қиймати ўзгармас бўлган узоқ муддатли иш режими билан алмаштирилади. Эквивалент ўзгармас нагрузкада қувват исрофининг қиймати ҳақиқий режимдаги қувват исрофининг ўртача қийматига тенг бўлиши керак. Демак, (15—30) ифодадан фойдаланиб, эквивалент ток I_2 қийматини қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$I_2 = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + I_3^2 t_3 + I_4^2 t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} \quad (15-31)$$

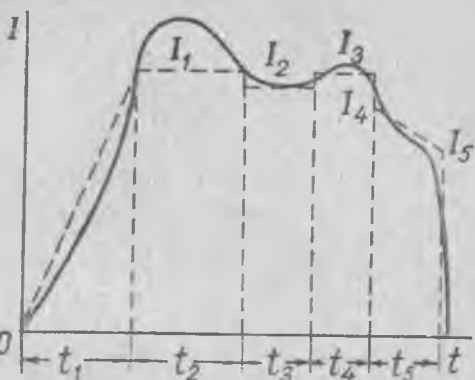
бунда I_1, I_2, I_3 ва I_4 — тахминан танланган моторнинг турли нагрузкалар билан ишлашига тегишли токлари. (15—31) ифодага биноан каталогдан мотор танланиб, унинг номинал токи ҳисобланган эквивалент ток қийматига тенг ёки ундан бир оз катта бўлиши лозим, яъни $I_2 \leq I_n$. 15—7-расмда берилган эгри чизиқли $I = f(t)$ графигини унга эквивалент бўлган тўғри чизиқли қисмлардан иборат график билан алмаштириш ва ундан

I_0 ни топиш кўрсатилган. Графикнинг уч бурчакли қисми учун I_{91} қуйидагича аниқланади:

$$I_{91} = \frac{I_1}{\sqrt{3}} \quad (15-32)$$

трапеция шакли қисми учун эса,

$$I_{9b} = \sqrt{\frac{I_4^2 + I_4 I_5 + I_5^2}{3}} \quad (15-33)$$



Мотор қувватини аниқлашда, кўпинча, момент ёки қувват асосида қўрилган нагрузка диаграммаларидан фойдаланилади. Бунда эквивалент момент ёки қувватни эквивалент ток сингари ифодадан аниқлаш мумкин. Ҳақиқатан, магнитавий оқими $\Phi = \text{const}$ бўлган мустақил қўзғатишли ўзгармас ток мотори ва шу сингари бошқа моторлар учун $I \equiv M$ ва электромагнитавий момент, тахминан, мотор валидаги моментга тенг деб, (15-31) ифодадан эквивалент момент формуласини олиш мумкин:

$$M_a = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (15-34)$$

Бунда ўзгарувчан ток мотори учун қувват коэффиценти турли нагрузкаларда ҳам ўзгармас бўлади деб қабул қилинади.

Механикавий характеристикаси қаттиқ бўлган моторларнинг частотаси нагрузка ўзгариши билан деярли ўзгармаслиги сабабли улар учун эквивалент қувват формуласи қуйидагича ифодаланади:

$$P_a = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (15-35)$$

Бу усулдан асосан мустақил қўзғатишли ўзгармас ток ва қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторларда фойдаланилади. Эквивалент миқдор усулларидан энг аниғи эквивалент ток усули ҳисобланади. Аммо нагрузка диаграммаларида, кўпинча, момент ёки қувват кўрсатилади.

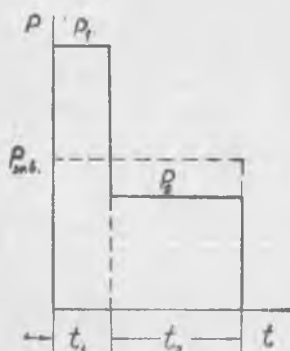
Эквивалент миқдорлар усулида очик ва узини совитиб турадиган тузилишдаги моторлар учун қизиш доимийси $T_k = \text{const}$ бўлади деб қабул қилинади. Агар моторни ишга тушириш, тормозлаб тўхтатиш ва пауза пайтларида унинг совитиш процесси нормал частотадагига нисбатан сустлашса, у ҳолда

(15—31), (15—34) ва (15—35) ифода маҳражларини юқоридаги процессларга тегишли вақтлари 1 дан кичик бўлган α ва β коэффициентларига кўпайтирилади. Бунда эквивалент миқдорнинг қиймати нисбатан катталашиб, унга биноан танланадиган мотор қуввати ва, демак, унинг габарити каттароқ бўлади. Бу билан эса $n < n_{\text{н}}$ частоталарда совиш процессининг сустлашгани ҳисобга олинган бўлади. Ишга тушириш ва тормозлаш давлари α коэффициентга кўпайтирилиб, унинг қиймати ўзгармас ток моторлари учун $\alpha \approx 0,75$, асинхрон моторлари учун $\alpha = 0,5$ деб олинган, пауза вақти эса β га кўпайтирилиб, унинг қиймати ўзгармас ток моторлари учун $\beta = 0,5$, асинхрон моторлари учун $\beta = 0,25$ деб олинган.

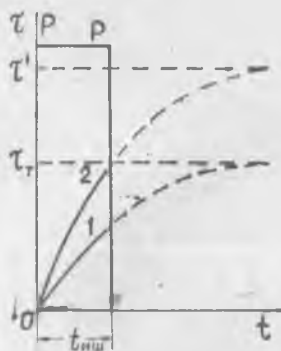
15—6. Қисқа муддатли нагрузкада мотор қувватини аниқлаш

Қисқа муддатли режимда ишлайдиган кўпгина механизмларнинг ишга тушириш моментлари номиналга нисбатан бир оз катта бўлади. Шу сабабли 15, 30 ва 60 минутли иш давлари билан характерланадиган қисқа муддатли иш режимига механикавий жиҳатдан пишиқроқ ишланган махсус моторлар ишлатилади. 15—8-расмда ишга тушириш вақти t_1 ва турғун частота билан қисқа муддатли ишлаш вақти t_2 бўлган механизмнинг нагрузка диаграммаси кўрсатилган.

Бу диаграмма асосида даставвал эквивалент қувват аниқланиб, сўнгга унга ва иш даврига биноан каталогдан қисқа иш режимига мўлжалланган мотор танланади. Қисқа муддатли режим учун узоқ муддатли нагрузкага ҳисобланган оддий моторлардан фойдаланиш ҳам мумкин.



15—8- расм. Қисқа муддатли ишлаш режими-нинг графиги.



15—9- расм. Такроплинувчи қисқа муддатли ишлаш режими-нинг графиги ва бу режимда моторнинг қизиш ва совиш эгри чизиқлари.

Агар узоқ муддатли нагрузкага мўлжалланган мотор қисқа муддатли иш режиминда қўлланилса, уни бирмунча кўпроқ нагрузка билан ишлатиш мумкин, лекин бунда моторнинг ута юкланиш бўйича запаси 1,6 дан кам бўлмаслиги лозим. Аммо бунда ҳам, мотордан, уни қизиши бўйича тула фойдаланилмайди. Шунга кўра, қисқа муддатли иш режимларига махсус шу режимга мўлжалланган мотор қўллаш тавсия қилинади.

15 — 7. Такрорланувчи қисқа муддатли нагрузкада мотор қувватини аниқлаш

15 — 9- расмда такрорланувчи қисқа муддатли иш режимига тегишли нагрузка диаграммаси ва бу режимда моторнинг қизиш процесси кўрсатилган.

Бундай режим ишлаш даврининг нисбий узунлиги деб аталувчи $PВ$ ёки ξ коэффициенти билан характерланади, яъни

$$PВ \% = \left(\frac{t_{иш}}{t_{иш} + t_0} \right) 100 = \frac{t_{иш}}{t_{цикл}} 100 = \xi \cdot 100, \quad (15 - 36)$$

бунда $t_{иш}$ — моторнинг P нагрузка билан ишлаш даври;
 t_0 — моторнинг электр тармоғидан ажратилган ёки нагрузкасиз ишлаш даври.

$t_{цикл} = t_{иш} + t_0$ — такрорланувчи цикл даври булиб, унинг қиймати 10 минутдан ортиқ булмайди деб қабул қилинади.

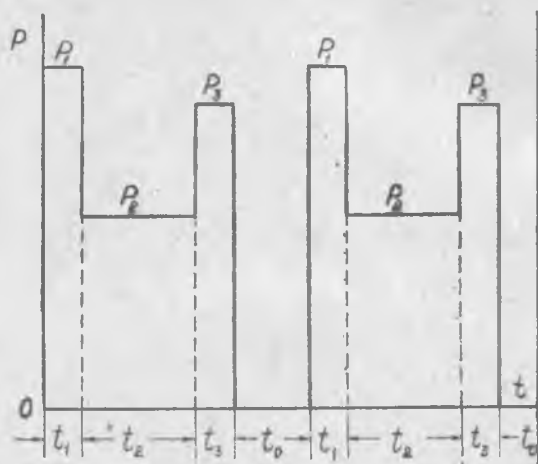
Демак, бу режимда моторни ишга тушириш ва уни тормозлаб тўхтатиш процесслари тезда такрорланиб туриши сабабли, унинг учун қўлланиладиган мотор механикавий жиҳатдан анча фўрайтирилган бўлиб, катта қийматли ишга тушириш ва максимал моментларга эга булиши керак.

Бундай режим учун ҳам махсус моторлар чиқарилиб, уларнинг параметрлари каталогларда турли стандарт $PВ$, яъни $PВ\% = 15, 25, 40$ ва 60 лар учун келтирилган бўлади.

Агар нагрузка диаграммасидаги иш даври бир неча поғоналардан иборат бўлса (15 — 10- расм), у ҳолда мотор қуввати яқин ва катта стандарт $PВ$ га келтирилган эквивалент миқдорга биноан каталогдан танланади. Бирор ξ_x га эга эквивалент $P_{\Sigma x}$ қувватни стандарт $PВ$ га қуйидагича келтирилади:

$$P_{15} = P_{\Sigma x} \sqrt{\frac{\xi_x}{0,15}} \text{ ёки } P_{25} = P_{\Sigma x} \sqrt{\frac{\xi_x}{0,25}}. \quad (15 - 37)$$

Демак, 15 — 10- расмдаги диаграммага биноан $\xi_x = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_0}$ бўлиб, $P_{\Sigma x} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}}$ бўлса, у



15—10- расм. Мотор қувватини стандарт ПВ % га келтириб ҳисоблашга доир диаграмма.

ҳолда бундай режим учун мотор қуввати (15 — 37) ифода асосида аниқланиб, сўнгра $PВ \% = 15$ ёки 25 га биноан каталогдан танланади. Агар нагрузка диаграммасидан аниқланган $\xi > 0,6$ бўлса, у ҳолда бундай механизмга узоқ муддатли иш режимига ҳисобланган нормал типдаги моторни қабул қилиш тавсия қилинади. Нормал типли мотор учун эквивалент миқдор қийматини аниқлашда t_0 ни ҳам ҳисобга олинади, яъни

$$P_{\text{эx}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_0}} \text{ бўлади, сўнгра (15 — 37) асосида}$$

$P_{\text{эx}}$ қиймати узоқ муддатли режимга тегишли мотор қуввати P_{100} га келтирилади, яъни $P_{100} = P_{\text{эx}} \sqrt{\frac{\xi}{1,0}}$ ва бу P_{100} га биноан каталогдан мотор танланади. Агар $\xi < 0,1$ бўлса, у ҳолда бундай механизмга қисқа муддатли иш режимига ҳисобланган махсус моторни қабул қилиш тавсия этилади. Агар нагрузка диаграммаси ҳар хил қийматга эга бўлган $t_{\text{иш}}$ ва t_0 лардан иборат бўлса, у ҳолда ξ_x қиймати қуйидагича аниқланади:

$$\xi_x = \frac{\sum t_{\text{иш}}}{\sum t_{\text{иш}} + \sum t_0} \quad (15 - 38)$$

Бунда умумий цикл даври бир неча соатлардан иборат бўлиши ҳам мумкин (ГОСТ га биноан эса $t_{\text{цикл}} \leq 10$ минут).

15 — 8. Ток тури, кучланиш қиймати, айланиш частотаси ва тузилиш конструкциясига биноан мотор турини танлаш

1. Ток турига биноан мотор турини танлаш

Маълумки, саноат, қишлоқ хўжалиги ва бошқа соҳалардаги турли корхоналар, асосан, частотаси 50 герц бўлган уч фазали ток билан таъминланган бўлади. Демак, электрик юритмалар учун асинхрон ва синхрон мотордан фойдаланиш анчагина қулай бўлиб, ўзгармас ток моторидан фойдаланиш учун эса ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантириб берувчи махсус ўзгартгич бўлиши керак.

Бундан ташқари, ўзгарувчан ток мотори ва, айниқса, қисқа туташтирилган роторли асинхрон мотор ўзгармас ток моторига нисбатан анча арзон, содда ва ишда ишончлироқ бўлади.

Аммо электрик юритма частотасини бир текис ва кенг диапозонда ростлаш ҳамда технологик талабларга муносиб бўлган ҳар қандай типдаги механикавий характеристикани олишда ўзгармас ток моторлари қўлланилган ва қўлланилмоқда.

Электрик юритмадан ўзгармас ток моторларини бутунлай сиқиб чиқариш учун қисқа туташтирилган роторли мотор частотасини чала ўтказгичли статик частота ўзгартгичлар билан кенг диапозонда ростлаш ва уларни бошқариш имконига эга бўлиш керак. Ҳозирги пайтда тиристорли частота ўзгартгичларни ўзлаштириш устида катта ишлар қилинмоқда.

Частотаси ростланувчи иш машинаси юритмасига ўзгармас ёки ўзгарувчан ток моторини танлаш учун, даставвал, бу моторларга эга бўлган электрик юритма системаларининг техникавий-иқтисодий кўрсаткичларини таққослаб кўриш керак. Частотаси ростланмайдиган иш машина юритмасида, кўпинча, қисқа тутуштирилган роторли асинхрон моторлардан фойдаланилади.

Қишлоқ хўжалигидаги ирригация иншоотлари ва бошқа кўпгина қурилишлардаги иш машина электрик юритмалари, кўпинча, мустақил ток манбаидан таъминланади. Бунда ди-зель-мотор ва генератордан иборат ток манбаининг қуввати мотор қувватидан бир озгина катта бўлиши мумкин. Ишга тушириш токи катта бўлган моторни бундай ток манбаига улаб ишлатилса, у ҳолда кучланишни кескин камайтириш мумкин. Бундай ҳолларда электрик юритма учун, даставвал, чуқур пазли, қисқа туташтирилган роторли махсус асинхрон моторни танлаш тавсия қилинади.

Синхрон моторларининг нархи асинхронларникига нисбатан бирмунча юқори, аммо улар ўзувчи $\cos \phi$ га эга бўлиб ишлаш имкони катта қувватли электрик юритмаларда айниқса муҳим аҳамиятга эга.

Шу сабабли, 100 кВт гача бўлган электрик юритмаларга асинхрон, ундан каттароқ қувватлиларга эса синхрон моторларни ишлатиш тежамлироқ. Фаза роторли асинхрон мотор-

ларни кран ва катта қувватга эга маховикли иш машинаси юритмаларида қўллаш тавсия қилинади. Частотаси кичик диапозонда, яъни $D = 2$ гача ростланадиган вентильторли характеристикага эга бўлган катта қувватли насослар, ер қазиниш снарядлари ва вентильтор юритмасига асинхрон ёки синхрон моторлар билан ҳаракатга келтирилувчи индукторли сирпаниш муфталаридан фойдаланиш тавсия қилинади.

2. Кучланиш қийматига биноан мотор турини танлаш

Ўзгармас ток моторлари, кўпинча, 36 + 440 В, ўзгарувчан ток, хусусан, асинхрон моторлар эса 380/220 В кучланишга мўлжаллаб чиқарилади.

Ўзгарувчан токни 380/220 В кучланишда тўртта сим билан узатилиб, мотор ҳамда ёритиш лампалари учун мос кучланишлар олинади. Бунда ноль потенциалли сим билан фаза сими орасидаги кучланиш нисбатан паст, яъни 220 В бўлиб, ёритиш лампаларига берилади. Коммунал ва қишлоқ хўжалигида учрайдиган кичик қувватли электрик юритмаларда 220/127 В кучланиш ҳам ишлатилади.

Ўзгармас ток тармоқлари, одатда, 220 В ли бўлади. Мустақил ток манбаига эга бўлган катта қувватли электрик юритмаларда 440 В ли ўзгармас кучланиш ишлатилади. Юқори кучланиш, яъни 6 кВ га ҳисобланган, айниқса, катта қувватли синхрон моторлар жуда тежамли бўлади: Аммо юқори кучланишли моторларга мураккаб ва қимматбаҳо бошқарувчи аппаратлар ишлатилгани сабабли улардан кам фойдаланилади. Ҳозирги пайтда саноатимиз фаза чулғами 380 В кучланишга ҳисобланган қуввати 3 кВт дан юқори бўлган асинхрон моторларни ишлаб чиқармоқда. Бу моторлар 220 В га ҳисобланганларга нисбатан бирмунча афзалликларга эга. Хусусан, уларни нормал ҳолда учбурчаклик, нагрузканинг қиймати $(0,3 + 0,5)P_n$ гача камайиб кетганида эса юлдуз схемаларига ўтказиб ишлатиш имкони бўлади. Натижада, кичик нагрузкаларда ҳам моторнинг энергетик кўрсаткичлари нормалдагидан деярли фарқ қилмайди.

3. Айланиш частотасига қараб мотор турини танлаш

Асинхрон моторларнинг номинал частотаси уларнинг статоридаги магнитавий майдоннинг айланиш частотаси $n = \frac{60f}{p}$ билан аниқланади. Частотаси 50 герцли электр тармоғига улашган асинхрон моторларнинг синхрон частоталари $n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{p} =$
 $= 3000, 1500; 1000; 750; 600$ ва $500 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ стандарт қийматли бў-

либ, синхрон частотаси $n = 500 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ дан кичик бўлган моторларнинг $\cos \varphi$ ва η лари нисбатан анча паст бўлади. Шу сабабли паст частотали асинхрон моторлар кам ишлатилади. Бир хил қувватдаги паст частотали моторнинг айлантирувчи моменти $M = \frac{9550 P}{n}$ нисбатан катта қийматга эга бўлгани учун, унинг габарити ва оғирлиги катталашиб кетади. Шу сабабли паст частотали иш машиналарига, кўпинча, юқори частотали мотор редуктор билан биргаликда қўлланилади. Аммо экскаваторларнинг баъзи механизмларида жуда ҳам паст частота, яъни $16 + 25 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ талаб қилиниб, уларда паст частотали моторни қўллаш ҳар томонлама қулай бўлади. Вазни енгил ва юқори энергетик кўрсаткичларга эга бўлган юқори частотали моторлардан қишлоқ хўжалигида қўлланиладиган баъзи қўл асбобларида (тут новдаларини бутагичда), электрик шпинделларда ва дурадгорлик механизмларида фойдаланилади. Бунда частота ўзгартгичлардан таъминланувчи юқори частотали асинхрон моторлар ишлатилади. Ўзгармас ток моторлари, кўпинча $200 + \div 1200 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ частотали қилиб чиқарилади.

4. Тузилиш конструкциясига қараб мотор турини танлаш

Ишлаш жойидаги муҳитга ҳамда ҳаракатга келтирилувчи иш машинасининг тузилишига қараб моторлар турли, яъни очиқ, ҳимояланган ва ёпиқ конструкцияларда ишлаб чиқарилади. Токли ва айланувчи қисмлари ташқи муҳит таъсиридан ҳимояланмаган моторлар очиқ конструкцияли моторлар деб аталади. 220 вольтга ҳисобланган бундай моторларни чангсиз, қуруқ ва ёнғин хавфи бўлмаган биноларга ўрнатиш мумкин.

Токли ва айланувчи қисмлари юқоридан ёки горизонталга нисбатан 45° бурчак билан тушадиган сув томчилари ва бошқа қаттиқ жисмлардан ҳимояланган мотор ҳимояланган конструкцияли моторлар деб аталади. Бундай моторларни, одатда, усти ёпиқ, яшн қайтаргичи бўлган ҳолларда усти очиқ жойга ҳам ўрнатиш мумкин. Ҳимояланган конструкцияли моторларни ифлос чанг, буг ва емирувчи газ и бўлган хона ёки цехларга ўрнатиш тавсия этилмайди. Очиқ ҳавода ўрнатиладиган бундай моторлар намга чидамли изоляцияга эга бўлиши лозим.

Корпусида тешиклари мутлақо бўлмаган моторлар ёпиқ конструкцияли моторлар дейилади. Бунда моторлар ташқи муҳит таъсиридан, муҳит эса мотордан чиқадиغان учқунлардан ҳимояланган бўлади. Демак, бундай моторларни оғир шароитли муҳитларга қўлланиш тавсия этилади. Агар очиқ ва ҳимояланган конструкциядаги моторларни уларнинг валларига ўрнатил-

ган вентилятор ёрдамида совитилса, ёпиқ моторларни совитиш учун эса, кўпинча, ташқи вентилятор қўлланилади.

Иш машинасининг тузилишига қараб электр моторлари фланецли ва икки томондан чиқарилган валга эга бўлиши мумкин.

15 — 9. Электр моторларининг асосий типлари

Электрик юритмаларда энг кўп қўлланиладиган А ва АО сериядаги қисқа туташтирилган роторли уч фазали асинхрон моторлар 1949 йилдан бошлаб чиқарилади.

Мотор корпуси ва подшипник қалқонлари алюминий қотишмасидан тайёрланса, у ҳолда бундай моторлар АЛ ёки АОЛ сериясида чиқарилади. Ҳозирги пайтда А ва АО сериялари ўрнига А2 ва АО2 серияли асинхрон моторлар чиқарилмоқда. Янги сериядаги қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторлар 14 хил ўрнига 18 хил номинал қувватларга мўлжалланиб, уларнинг оғирлиги, ўртача олганда 25% га камайтирилган, η ва $\cos \phi$ лари эса бирмунча оширилган. Янги серияли моторлар 9 хил ўлчамда (габаритда), яъни уларнинг статор ўзагининг ташқи диаметри бирдан туққизгача бўлган турли рақамлар билан шартли равишда белгиланиб чиқарилмоқда. Бундан ташқари, ҳар бир габарит ўз навбатида статор темир ўзагининг узунлигига биноан 1 ва 2 рақамлари билан белгиланган икки хил ўлчамга эга бўлиши мумкин. Шундай қилиб, асинхрон моторнинг типиди унинг қайси серияга тегишлилиги, габарити, статорининг узунлиги ва қутблар сони кўрсатилади. Масалан, АО2-62-4 типли моторни қуйидагича талқин этилади, яъни, бу ҳимояланган конструкцияли, совитилиб туриладиган АО2 серияли, 6- габаритли, 2- узунликли ва қутблар сони 4 бўлган асинхрон мотор. Бундай моторлар $0,6 + 100$ кВт гача мўлжаллаб чиқарилади. АО2 серияли моторлардан ташқари қуввати $200 + 1250$ кВт бўлган А, АК, АЗ, АКЗ ва АП серияли моторлари ҳам чиқарилади. Бунда А, АЗ ва АП лар ҳимояланган, ёпиқ ва портлаш таъсир қилмайдиган қисқа туташтирилган роторли, АК ва АКЗ лар эса ҳимояланган ва ёпиқ конструкцияли фаза роторли асинхрон моторлар. Ҳозирги пайтда, ПН ва МП серияли ўзгармас ток машиналари ҳам янги П серияли электр машиналари билан алмаштирилган. Янги серияли электр машиналари ПН га нисбатан енгил, юқори η ли, $0,3 + 200$ кВт га, 11 хил габаритга ва ҳар бир габаритни икки хил узунликка эга қилдириб чиқарилмоқда. Бунда ҳам габарит ва узунлик ўлчамлари рақамлар билан белгиланади. П серияли моторлар ҳимояланган ва ёпиқ конструкцияларда чиқарилиб, уларни қуйидагича ўқилади: масалан, П 11 — бу 1- габарит ва 1- узунликка эга бўлган П серияли ўзгармас ток мотори;

П 112 — бу 11- габарит ва 2- узунликка эга бўлган П серияли ўзгармас ток мотори ва ҳ. к.

15 — 10. Электр моторларининг қувват коэффициентлари

Ишлаб чиқариш корхоналарида жуда кенг тарқалган асинхрон моторлари ва шу каби электромагнитавий чулғамларга эга бўлган қатор электр истеъмолчиларида ўзгарувчи магнитавий майдон ҳосил қилиш учун реактив қувват талаб қилинади. Реактив қувват ҳеч қандай фойдали ишга сарфланмай, истеъмолчи занжири, электр тармоғи, трансформатор, генератор ва ўзгартгичларни реактив ток билан юклаб, уларнинг актив (фойдали ишга сарфланадиган) ток ўтказиш қобилиятини камайтиради. Реактив қувват $\cos \varphi$ деб аталувчи қувват коэффициенти билан характерланади. Бу коэффициентнинг қиймати қуйидагича аниқланади:

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} UI} = \frac{P}{S},$$

бунда P — актив қувват, Вт;
 U — фазалараро (линия) кучланиши, В;
 I — линия токи, А;
 S — тўла қувват, ВА.

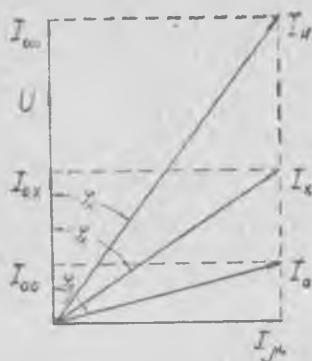
Ток манбаидан талаб қилинадиган реактив қувват қиймати ни камайтириш билан қувват коэффициенти юқори қийматга эга қилиш мумкин. Қувват коэффициенти қиймати аҳамиятини энг кўп тарқалган истеъмолчилардан бўлган асинхрон мотор учун трансформатор танлаш мисолида кўрсатиш мумкин. Масалан, актив қуввати 200 кВт, $\cos \varphi = 0,85$ бўлган мотор учун танланадиган трансформатор қуввати $S_{тр} = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{200}{0,85} = 235$ кВА бўлса, $\cos \varphi = 0,5$ бўлганда $S_{тр} = \frac{200}{0,5} = 400$ кВА бўлади. Демак, қувват коэффициенти камайиши билан мотор учун танланадиган трансформатор ва генератор қуввати кўпайиши керак.

Қувват коэффициентининг камайиш сабаблари

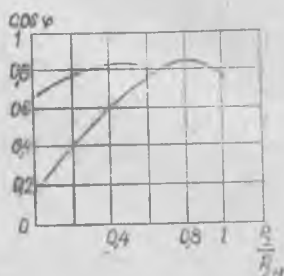
Буни ҳам асинхрон мотор мисолида кўрсатиш мумкин. Моторни ишлатишда магнитавий майдон ҳосил қилиш учун унга бериладиган токнинг бир қисми реактив (магнитлаштириш токи), қолган қисми актив токдан иборат бўлади.

15 — 11-расмдаги диаграммада нагруканинг салт иш режимидан номинал қийматгача ўзгаришида φ бурчагининг ўзгариши кўрсатилган. Моторга берилаётган кучланиш қийматини ўзгармас, яъни $U = \text{const}$ деб қабул қилинса, у ҳолда Φ ва I_μ лар ҳам ўзгармас бўлади.

Маълумки, нагрукка ўзгариши билан токнинг фақат актив қисми ўзгаради. Бунинг натижасида статордаги нагрукка токи билан кучланиш векторлари орасидаги бурчак фарқи φ нинг қиймати ҳам ўзгаради, яъни нагрукка кўпайиши билан φ



15—11- расм. Мотор актив нагрукаси қийматининг ўзгариши билан $\cos \varphi$ нинг ўзариш диаграммаси.



15—12- расм. Δ дан Y схемасига ўтказилган мотор қувват коэффициентининг ўзариш графиги.

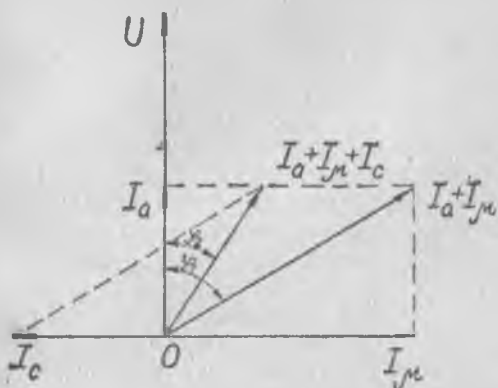
бурчаги камаяди ва аксинча. Демак, юқори $\cos \varphi$ га эга бўлиш учун моторни мумкин қадар тула нагрукка билан ишлатиш тавсия қилинади.

Қувват коэффициентини ошириш усуллари

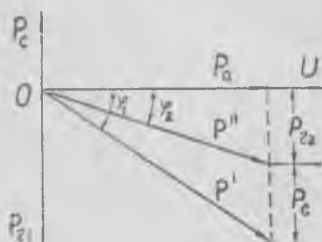
Асинхрон моторларни юқори $\cos \varphi$ га эга қилиш учун даставвал уларни тула нагрукка билан ишлатиш лозим. Бунинг учун эса технологик процессни такомиллаштириш, кичик нагрукка билан ишлайдиган моторларни кичик қувватли, яъни кичик нагруккага мос моторлар билан алмаштириш, салт иш режим вақтини иложи борича қисқартириш ва мотор ремонтини сифатли ўтказиш лозим. Узоқ вақт давомида номиналга нисбатан кичик нагрукка, яъни $P \approx (0,3 + 0,5) P_n$ билан учбурчаклик схемасида ишлайдиган асинхрон моторни юлдуз схемасига ўтказилса ҳам унинг қувват коэффициенти кескин ортади. Бунда статорга бериладиган кучланишни ҳамда магнитавий оқим ҳосил қилувчи I_0 токининг қийматлари $\sqrt{3}$ марта камайди. Статор токининг актив қисми эса бирмунча кўпаяди. Шу сабабли юлдуз схемасига ўтказилган моторнинг $\cos \varphi$ қиймати (эгри чизиқ, 1) учбурчаклик схемадаги (эгри чизиқ, 2) га нисбатан анча юқори бўлади (15 — 12- расм).

Бундай табийй усуллар билан юқори қийматли қувват коэффициентига эга бўлинса, моторнинг фойдали иш коэффициенти ҳам юқори бўлади.

Агар табийй усуллар билан қувват коэффициентини керакли қийматга ошириш имқони бўлмаса, у ҳолда сунъий усуллардан фойдаланилади. Сунъий усуллар ичида энг кўп тарқал-



15—13- расм. Конденсатор батареялари билан мотор қувват коэффициентини оширишга доир диаграмма.



15—14- расм. Конденсатор батареялари қувватини ҳисоблашга доир диаграмма.

гани $\cos \varphi$ ни конденсатор билан ошириш ҳисобланади. Асинхрон мотор ўрнига синхрон моторни ишлатиб ҳам $\cos \varphi$ ни ошириш мумкин.

Маълумки, статикавий конденсатордан ўтадиган сўғим токи кучланишдан 90° га ўзувчи бўлиб, натижада умумий реактив токни гуё камайтиради (15—13- расм).

Демак, маълум қийматли сўғимда $I_c = I_p$ бўлса, $\cos \varphi = 1$ булади. Бир хил тишдаги моторлар қувват коэффициентлари ўртача қиймати, яъни $\cos \varphi_1$ ни юқори қийматли $\cos \varphi_2$ га эриштириш учун конденсатор батареяларининг қуввати қуйидагича ҳисобланади (15—14-расм):

$$P_c = P_a (\lg \varphi_1 - \lg \varphi_2),$$

бунда P_c — конденсатор батареяларининг қуввати, кВА_p;

P_a — бир ёки бир неча моторларнинг актив қуввати, кВт;

P_{c1}, P_{c2} — тегишлича конденсатор улангунга қадар ва улангандан кейинги реактив қувватлар;

P', P'' — трансформатордан берилаётган тўла қувватларни конденсатор уланганга қадар ва улангандан кейинги қийматлари.

Конденсатор батареяларининг сўғими қуйидагича аниқланади:

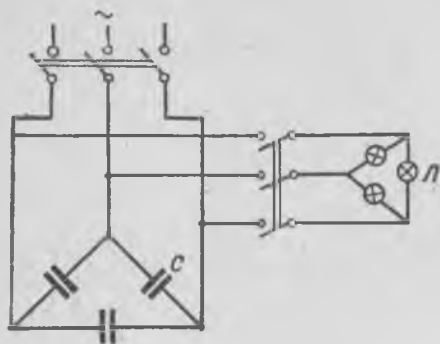
$$3C = \frac{P_c \cdot 10^9}{\omega U^2} \text{ мкф,}$$

бунда C — конденсатор батареясининг бир фазасидаги сўғими;

P_c — конденсатор батареяларининг қуввати;

U — конденсатор батареялари фазасидаги кучланиш.

Демак, узгармас сўғимли конденсатор P_c қувватининг қиймати кучланиш квадратига тўғри пропорционал булгани учун



15—15- расм. Конденсаторларнинг учбурчаклик схемада уланиши.

конденсатор батареяларини юқори кучланиш томонига улаш тавсия қилинади. Катта қувватли моторларда конденсатор батареялари статор чулғамининг ўзига параллел уланади. 15 — 15-расмда конденсаторларнинг учбурчаклик схемада уланиши кўрсатилган. Бу схемада P_c қуввати юлдуз схемадагига нисбатан уч марта катта бўлади ва, демак, берилган қувватда конденсатор сифимини камайтириш имкони бўлади. Кон-

денсатор батареялари, одатда, ёритиш лампалари ёки актив қаршиликлар билан разрядланади.

XVI БОБ

ЭЛЕКТРИК ЮРИТМАНИНГ АВТОМАТИК БОШҚАРИШ АППАРАТЛАРИ

16-1. Умумий тушунчалар

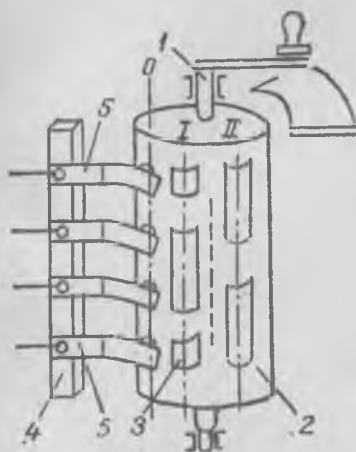
Замонавий электрик юритмалардаги моторни берилган тезланишда ишга тушириш, берилган ишлаш частотасини ўзгартирмай сақлаш, реверслаш ва уни берилган секинланишда тормозлаб тўхтатиш каби мураккаб вазифаларни бошқарувчи системага тегишли турли хилдаги автоматик бошқариш аппаратлари бажаради. Моторларни бошқаришда дастаки, релеконтакторли, ҳимоялаш, технологик датчиклари, электромагнитавий муфталар, электромашинавий кучайтиргичлар ва чала ўтказгичли контактсиз бошқариш асбоблари, аппаратлари ва ростлагичларидан кенг фойдаланилади.

16-2. Дастаки бошқариш аппаратлари

Бундай аппаратлар қўл билан бевосита ёки механикавий узатмалар ёрдамида ҳаракатлантирилиб, кучланиши 500 вольтгача бўлган ўзгарувчан ва ўзгармас ток занжирларини узиб-улаб туриш учун қўлланилади. Дастаки бошқариш аппаратларига рубильник, пакетли учиргич, барабанли алмашлаб улагич, контроллер ва шу кабиларни мисол қилиб кўрсатиш мумкин.

Бу аппаратлар нисбатан катта габарит ва кичик бошқариш қувватига эга бўлиб, уларни ҳаракатга келтириш учун анча катта қўл кучи талаб қилинади.

Номинал токи 1000 А гача бўлган электр занжирларини



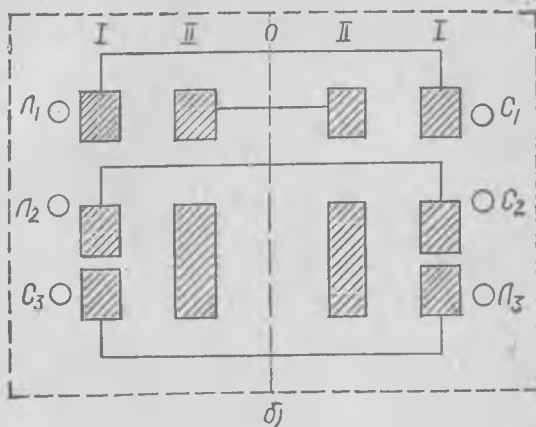
а)

узиб-улаб туришда қўлланиладиган энг оддий асбоб рубильник деб аталади. Рубильниклар бир, икки ва уч қутбли бўлади.

Қўзғалувчи ва қўзғалмас контактлари ўзаро изоляцияланган пакетлар ичига ўрнатилган аппаратлар пакетли ўчиргич деб аталади. Бу аппаратдан кичик ва ўртача қувватли қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторларни ишга тушириш, тўхтатиш, уларни юлдуз схемасидан учбурчаклик схемага ўтказишда фойдаланилади. Пакетли ўчиргичлар ҳам бир ёки бир неча қутбли бўлиб, 220 В кучланишда, номинал токи 400 ампергача бўлган занжирларни узиб-улашда қўлланилади. Агар кучланиш қиймати 380 В бўлса, аппаратнинг номинал токи 40% га камайтирилиши керак.

Бир вақтда бир неча бошқарувчи занжирларни узиб-улаб туришда ҳамда 3 кВт гача бўлган асинхрон моторларни бошқаришда қўлланиладиган кўп контактли дастаки аппаратни барабанли алмашлаб улагич деб аталади.

Контроллерлар, асосан, барабанли ва кулачокли бўлади.



б)

Контакт-лар	Ўзгич-улагич ҳолатлари		
	I	0	II
$L_1 - C_1$	X	—	X
$L_2 - C_2$	X	—	—
$L_3 - C_3$	X	—	—
$L_2 - C_3$	—	—	X
$L_3 - C_2$	—	—	X

в)

16—1- расм. Барабанли контроллер:

а — тузилиши; б — ёйилма схемаси; в — контактларнинг улаиш жадвали.

Барабанли контроллер ўзгарувчан ва ўзгармас ток моторларини ишга тушириш ва улар частотасини ростлашда қўлланилади.

Барабанли контроллер айланувчи ва қўзғалмас қисмлардан (16—1- расм, а), айланувчи қисм эса даста 1 ёрдамида ҳаракатлантириладиган барабан 2 дан иборат бўлади. Барабанга мис ёки бронзадан қилинган контакт 3 лар ўрнатилиб, қўзғалмас қисмга эса изоляцияланган устунча 4 ва унга пружинали контакт бармоқлари 5 ўрнатилган. Коммутация пайтида контроллер контактлари орасида ҳосил бўладиган учқунланишни тезда учириниш учун учқун учурувчи чулғам қўлланилади.

16 — 1-расм, б да барабанли контроллернинг ёйилма схемаси кўрсатилган. Бундай схемада контакт бармоқлари айлана ски нуқта билан белгиланади.

Агар контроллер барабанини, I, II ёки 0 ҳолатларга айлантириб қўйилса, унда барабанга ўрнатилган қўзғалувчи контактлар қўзғалмас контактлар билан турли схемалар асосида қўшилишади. Контроллернинг қўзғалмас L_1 , L_2 ва L_3 контактларини электр тармоғига, қўзғалувчи C_1 , C_2 ва C_3 контактларини эса асинхрон моторнинг статор чулғамига улашни сабабли уни 0 дан I ҳолатга ўтказилса, мотор бир томонга, II га ўтказилганда, тескари томонга айланади, яъни реверсланади.

Контроллёрлар схемасида, қўшунча, қўзғалмас контактларнинг уланиш жадвали берилади (16 — 1- расм, в). Бунда X — контактларнинг қўшилганлигини, (—) эса контактларнинг узилганлигини ифодалайдиган белгилар. Барабанли контроллерлар билан кўп частотали моторларни бошқариш имкони ҳам бўлади. Аммо бундай контроллерларнинг уланиш сони соатига 120 дан ортиқ бўлмаслиги керак, акс ҳолда, уларнинг контактлари ишга ярамасдан қолади. Шу сабабли уланиш сони юқори бўлганда, нагруква токини бирмунча камайитириш лозим ёки бошқа типдаги, яъни кулачокли контроллердан фойдаланиш керак. Кулачокли контроллёрларда қўзғалмас ва қўзғалувчан контактларни бир-бирига нисбатан юмаланиб контакт ҳосил қилиши сабабли, уларда уланиш сони катта бўлганда ҳам коммутация шароити қониқарли бўлади.

16 — 3. Реле-контакторли бошқариш аппаратлари

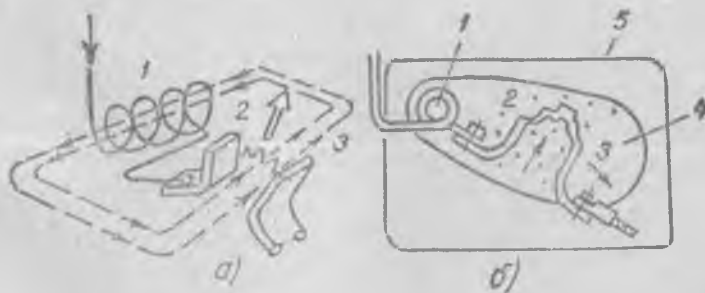
Дастаки бошқариш аппаратлари контактлари тез механикавий емирилганлигидан уларнинг хизмат даври ҳам қисқадир. Масалан, рубильникларнинг ўртача хизмат даври 5000 марта уланиш билан, барабанли алмашлаб улагичларники 2500 марта билан характерланса, контакторларники эса бир неча миллион билан характерланади. Келгусида энг катта истиқболга эга бўлган чала ўтказгичли контактсиз аппаратлар ва мантиқий элементларнинг хизмат даври жуда катта уланиш сонларига эга бўлади. Ҳозирги пайтда автоматик бошқариш учун аппаратлар билан бирга электр машинавий ва магнитавий кучайтир-

гичлар ҳамда турли типдаги вентиль асбобларидан фойдаланилмоқда.

Электр занжирини соатига 1500 мартагача ўзиб-ўлайдиган электромагнитавий аппарат контактор деб аталади. Бу аппаратларни кнопкалар билан турли масофадан бошқариш мумкин. Контактторларни ўзгармас ва ўзгарувчан токка мўлжаллаб, бир ва бир неча қутбли қилиб, уларнинг контактларини туташдиган ва ажраладиган тузилишларга эга қилиб чиқариш мумкин. Электромагнитавий аппаратлар чулғамига ток берилмаган ҳолат уларнинг нормал ҳолати деб аталади.

16 — 4. Ўзгармас ток контакторлари

Ўзгармас ток контакторлари қўзғалмас ва қўзғалувчан қисмларда иборат бўлиб, уларнинг қўзғалмас қисмидаги пўлат ўзакка ўзгармас ток бериладиган чулғам ҳамда қўзғалмас контактлар системаси ўрнатилади, қўзғалувчи қисми эса якорь ва унга ўрнатилган қўзғалувчи контактлар системасидан иборат бўлади (16 — 2- расм, а). 16 — 2- расм, а да курсатилган контакторнинг асосий контактлари 2 ва 3 орасида ҳосил бўладиган электр ёйини тезда ўчириш учун унинг бош занжирига кетма-кет қилиб учқун ўчирувчи чулғам 1 уланади. Контактторнинг учқун ўчирувчи чулғамидagi токдан ҳосил бўлган магнитавий майдоннинг 2 ва 3 контактлари орасида ҳосил бўлган ёй билан ўзаро таъсирида электромагнитавий куч ҳосил бўлади. Йўналиши чап қўл қондаси билан аниқланадиган бу куч токли ўтказгич, яъни электр ёйини асбест камерасининг ичкарисига итариб ўчиради. 16 — 2- расм, б да 2 ва 3 контактларини ўз ичига олган асбест камерасининг ичига ёйнинг итариллиши курсатилган. Контактторнинг қўзғатиш чулғами ўрнатилган ўзак билан якорь ўртасидаги ҳаво бўшлиғи магнит қаршилигини камайтириш мақсадида 10 мм дан ортиқ бўлмайди. Ўзгармас ток контакторларида асосий контактлардан



16—2- расм. Ўзгармас ток контактори:

а — тузилиши; б — контактлар орасидаги электр ёйини ўчиришга доир расм.

ташқари, кичик токларга мўлжалланган ва бошқариш занжирларига уланадиган блок-контактлар ҳам бўлиши мумкин.

Контактор қўзғатиш чулғамининг ўрамлари сони кўп бўлгани учун унинг индуктивлиги ҳам катта бўлади. Шу сабабли 220 В кучланишда бу чулғам 2 А токка ҳисобланса, 440 В кучланишда эса, фақат 0,5 А токка ҳисобланади. Чулғам индуктивлиги катталиги сабабли унинг вақт доимийси $T_0 = \frac{L}{R}$ ҳам нисбатан катта бўлади. Бунинг натижасида чулғамга ток берилганидан кейин 0,1; 0,2 сек вақт ўтиши билангина якорь ўзак томон тортилади. Чулғамдаги индуктивлик сабабли токнинг қиймати аста-секин кўпайиб боради. Натижада якорь ўзакка ва, демак, қўзғалувчи контактларнинг қўзғалмасга тортилиши ҳам бир текисда ўтади. Шунга биноан, контактларнинг емирилиши ҳам нисбатан оз бўлиб, ўзгармас ток контакторлари хизмат даврини $30 \div 50$ млн улаиш сонигача етказа олади. Бундай контакторлар билан номинал токи $40 \div 2500$ А бўлган электр занжирларини соатига 1500 мартагача узиб-улаш мумкин.

16 — 5. Ўзгарувчан ток контакторлари

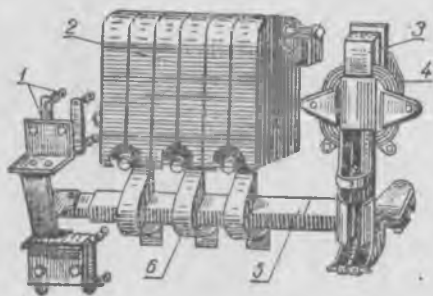
Ўзгарувчан ток контакторларининг магнитавий системалари қувват исрофини камайтириш учун бир-биридан изоляцияланган юпқа пўлат тунукалар (листлар) дан тайёрланади.

Контакторнинг пўлат ўзагига ўрнатилган қўзғатиш чулғамига ўзгарувчан ток берилиши билан якорь ва у билан бирга қўзғалувчи асосий ва блок контактлар системаси ҳаракатга келтирилади (16 — 3- расм). Бу контактордаги бош контактлар ҳам учқун учирувчи асбест камера ичига жойлаштирилади.

Қўзғатиш чулғамига бериладиган ўзгарувчан ток маълум вақт оралиғида ноль қийматга эга бўлиши сабабли контакторнинг магнитавий системаси тебраниб, ўзига хос товуш чиқариб туради.

Бу ҳодисани сусайтириш учун чулғам ўрнатилган ўзакка мис ҳалқача ўрнатилади. Чулғамдаги ток ноль қийматга яқинлашиши билан мис ҳалқачада ҳосил бўлган э. ю. к. ва, демак, токнинг таъсири натижасида якорь ўзакка тортилганича қолади.

Қўзғатиш чулғамидаги токнинг қиймати тула қаршиликка боғлиқ. Қўзғатиш чулғами индуктив қаршили-



16—3- расм. Ўзгарувчан ток контакторининг тузилиши.

гининг қиймати якорь билан узак орасидаги ҳаво бушлиғига боғлиқ бўлиб, бу оралиқ қанча катта бўлса, индуктивлик шунча кичик бўлади. Демак, чулғамнинг тармоққа уланиш моментидида ундаги токнинг қиймати кичик индуктивлик сабабли якорь тортилгандаги токка нисбатан $10 \div 15$ марта катта бўлади. Шунинг учун узгарувчан ток контакторларида якорь узакка ва, демак, қўзғалувчи контактлар қўзғалмас контактларга зарб билан урилади. Натижада контактларнинг механикавий емирилиши кўпроқ бўлиб, уларнинг хизмат даври фақат $1 \div 7$ млн уланиш, яъни узгармас ток контакторларига нисбатан анча кичик сон билан характерланади. Узгарувчан ток контакторлари $20 \div 600$ А токка ҳамда $2 \div 5$ гача бўлган қутблар сонига мўлжалланиб чиқарилади.

Контакторнинг қўзғатиш чулғамига ток берилганидан сўнг унинг контактларини тутатиш вақти $0,05 \div 0,1$ сек билан характерланади.

16 — 6. Магнитавий юргизиб юборгич

Электр моторлари ва шу каби электр истеъмолчиларини масофадан бошқарувчи ва ҳимояловчи электромагнитавий аппарат магнитавий юргизиб юборгич деб аталади. Бу аппарат бир неча контактор (узгарувчан ёки узгармас ток) ва кнопкалар станциясидан иборат бўлади. Бунда контакторлар, кўпинча, ўта юкланишдан ҳимояловчи иссиқлик релелари билан бирга қўшиб чиқарилади. Контактор чулғамини электр тармоғига улаш ва ундан ажратиш учун кнопкалардан фойдаланилади. Икки томонга айлантирилувчи моторни реверсив магнитавий юргизиб юборгич билан бошқарилади. Бундай юргизиб юборгичда иккита контактор ҳамда ўнг ва чап томонларга айлантириш, тўхтатиш учун буйруқ берувчи кнопкалар бўлади.

16 — 7. Бошқариш релелари

Электр моторларини ток, кучланиш ва вақтга биноан автоматик бошқариш учун магнитавий юргизиб юборгич билан бирга турли типдаги бошқариш релелари ҳам ишлатилади.

Агар берилган импульсдан сўнг, $0,1 \div 0,15$ сек ўтиши билан реле ишга тушса, уни дарҳол (бир онда) ишга тушувчи реле дейилади. Агар берилган импульсдан сўнг, реленинг ишга тушиш вақти $t \geq 0,15$ сек бўлиб, бу вақтларни ростлаш имкони бўлса, у ҳолда бундай релеларни вақт реле си деб аталади. Электр моторини автоматик бошқаришда қуйидаги типдаги вақт релеларидан фойдаланилади.

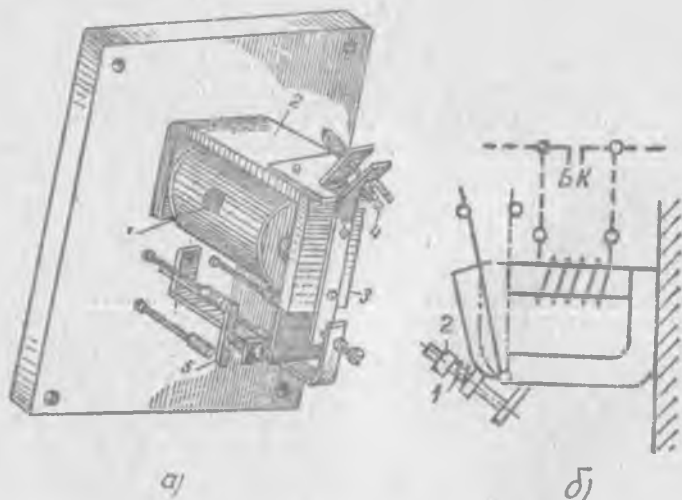
16 — 8. Вақт релелари. Электромагнитавий вақт релеси

Бундай реле фақат ўзгармас ток занжирларида қўлланилиб, у цилиндр шаклидаги пўлат ўзак ва бу ўзакка ўрнатилган қўзғатиш чулғами ҳамда қўзғалувчи контактлар системасини ҳаракатга келтирувчи якордан иборат бўлади. Бу реленинг қўзғатиш чулғамига ток берилса, у ҳолда якорь ва у билан бирга контакт системаси ўзак томон тортилади. Қолдиқ магнетизм таъсирида якорь ўзакка тортилганича қолмаслиги учун якорга $0,1 \div 0,5$ мм қалинликдаги магнитмас материалдан қистирма қўйилади.

16 — 4- расмда электромагнитавий вақт релесининг умумий кўриниши ва принципиал схемаси кўрсатилган.

Қистирмаларнинг сонига қараб якорь билан ўзак уртасидаги ҳаво бўшлиғини ҳам ўзгартириш мумкин. Бундай релеларни ишга тушириш учун даставвал бирор бошқарувчи аппаратни туташтирувчи контакти *БК* билан қўзғатиш чулғами ўз-ўзига қисқа туташтирилади. Бунда чулғамдан ўтаётган ўзгармас ток қиймати камая бошлайди ва натижада бу токнинг камайишига тўсқинлик қилувчи магнитавий оқим ҳосил бўлади. Шу сабабли реле якори маълум вақтгача ўзакка тортилганича қолади (16 — 4 расм).

Бу вақтни пружина, сиқувчи гайка ва магнитмас қистирмалар сонини ўзгартириш билан ростлаш мумкин. Масалан, қистирмалар сони купайтирилса, якорь билан ўзак оралиғи ортиб, реле якорининг ўзакка тортилиб туриш вақти камаяди ва



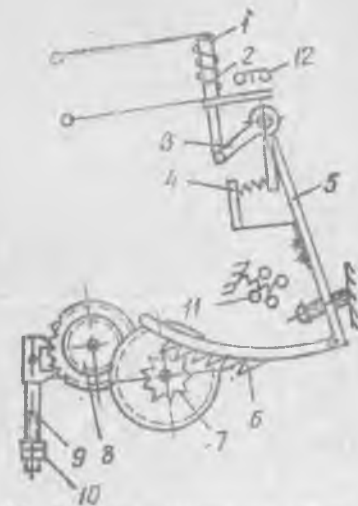
16—4- расм. Электромагнитавий вақт релесининг тузилиши.

аксинча. Электромагнитавий, яъни РЭ-100 типли вақт релеси билан вақтни $0,1 \div 1$ сек, РЭ-580 билан эса 16 сек гача ростлаш мумкин. Ўзгармас ток манбаи бўлмаганда бундай релеларни чала ўтказгичли тўғрилагичлар орқали ўзгарувчан ток тармоғига улаб ишлатилади. Бу релелар ишда жуда ишончли бўлиб, уларнинг соатига улаиш сони чегараланмайди. Электромагнитавий вақт релелари икки жуфт контактга эга бўлиб, ўзгармас ток моторини вақт асосида автоматик равишда ишга тушириш ва шу каби схемаларда жуда кенг қўлланилади. Ўзгармас ток моторини автоматик ишга туширишда, бир вақтда контактор ва вақт релеси вазифасини бажарувчи аппаратлар таймтактор деб аталади. Таймтакторлар контактор билан маятникли вақт релесидан иборат бўлади.

Маятникли вақт релеси

Бу релени ўзгармас ва ўзгарувчан ток занжирларида ҳам ишлатиш мумкин. 16 — 5- расмда маятникли вақт релесининг схематик тузилиши кўрсатилган.

Бу релени ишга тушириш учун унинг қўзғатиш чулғами 1 ни электр тармоғига улаш лозим. Бунда якори 2 тортилиб, рычаглар системаси 3 ва 5 лар билан қийшиқ тишли рейка 6 ни контакт 11 томон ҳаракатлантиради. Бунинг натижасида пружина 4 сиқилади, тишли гилдирак 7 эса айлана бошлайди. Бу гилдирак ўқида бошқа тишли гилдирак узатмаси ўрнатилган бўлиб, у орқали храповик гилдираги ва анкер 8 ҳаракатга келтирилади. Натижада маятник тебранади. Храповик частотаси маятникнинг тебраниш даврига, тебраниш даври эса маятник елкасининг узунлигига ббглиқ. Маятникнинг ҳар бир тебранишида анкер храповикнинг фақат битта тишини ўтказди. Тишли гилдирак билан қийшиқ тишли рейканинг илашиши туаганда реле ҳисоблаган вақт ҳам тамом бўлиб, унинг 11 контакти туташади ва натижада автоматикага керак бўлган сигнал ҳосил бўлади. Маятникли реле вақтини созлаш ёки ростлаш учун рычаг 5 даги винт билан рейканинг илашиш узунлигини ўзгартириш ёки маятник елкасидаги юкни силжитиш керак. Бундай реле вақтини $1 \div 10$ сек гача ростлаш мумкин. Қўзғатиш чулғами электр тармоғидан ажратилиши



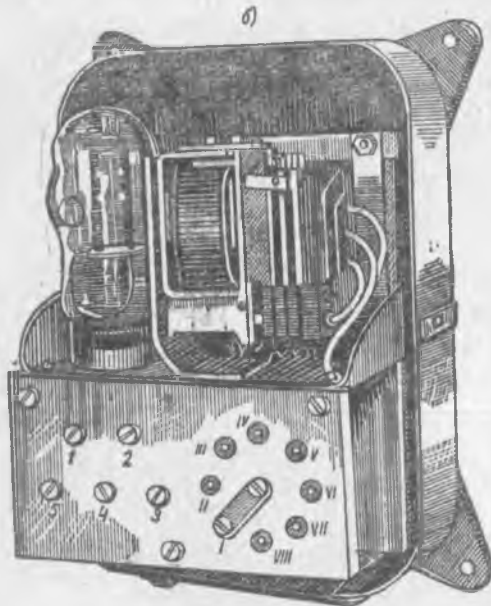
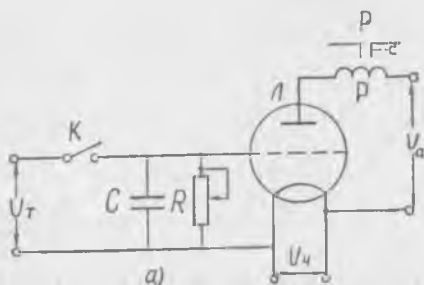
16—5. расм. Маятникли вақт релесининг тузилиши.

билан реленинг ҳамма контактлари пружина 4 таъсирида ўзларининг дастлабки ҳолатига қайтади.

Бу реледа бир онда ажраладиган контакт 12 ҳам бўлади. Маятникли вақт релесининг механикавий емирилиши сабабли уни катта уланиш сони билан ишлатиш имкони бўлмайди.

Электроний вақт релеси

Электроний вақт релеси, одатда, электроний лампали кучайтиргич, яъни триод билан электромагнитавий реле P дан иборат бўлади (16—6- расм). Бунда реленинг ишга тушиш вақти конденсатор C нинг қаршилик R га разрядланиш даври билан аниқланади. Релени ишлатиш учун даставвал триод электродларига керакли кучланишга эга бўлган ток манбаларини улаш лозим. Бунда конденсатор триод катодига нисбатан манфий бўлган кучланиш билан зарядланади. Агар калит K билан конденсатор тармоқдан узилса, триод тўрига конденсатор орқали манфий кучланиш берилиб, у беркитилади, яъни ундаги анод токи нолга тенг бўлиб қолади. Бунда электромагнитавий реле P ўз якорини тортилган ҳолатдан қўйиб юборади. Шу пайтдан бошлаб C сиғимли конденсаторнинг R қаршилигига разрядланиши бошланади. Разрядланиш вақти $t \approx 4T = 4RC$ бўлгани учун R ва C қийматларини ўзгартириб, реленинг ишга тушиш вақтини кенг диапазонда ростлаш имкони олинади. Реленинг ишга тушиш вақти тугагандан сўнг, лампа яна очилади.



16—6- расм. Электроний вақт релесининг тузилиши.

Электроний реледан кўпинча катта уланиш сони билан ишлаш талаб қилинганида фойдаланилади.

Моторли вақт релеси

Бундай реледа ҳаракатлантирувчи элемент сифатида кичик қувватли реактив синхрон моторидан фойдаланилади. Бу мотор узатиш сони $i = 100000$ гача бўлган редуктор билан уланади. Редуктор билан валик боғланган бўлиб, унда ўрнатилган кулачоклар контакт системаларига таъсир этади. Шундай қилиб, моторнинг уланишидан бошлаб, то контактларнинг туташishi ёки ажралиш моментларигача маълум вақт ўтади.

Бундай релеларда 12 тагача туташадиган ва ажраладиган контактлар бўлиб, улар билан вақтни бир неча секунддан бир неча соатгача ростлаш имкони олинади.

16 — 9. Кучланиш ва ток релеси

Кучланиш релеси автоматик бошқариш схемаларида моторни ишга тушириш, кучланиш камайиб ёки нолга тенглашиб қолганида моторни электр тармоғидан ажратиш, кучланиш тикланиши билан моторни ўз-ўзидан ишлаб кетиш хавфидан ҳимоялаш учун қўлланилади. Ўзгармас ток занжирларида кучланиш релеси сифатида электромагнитавий вақт релесидан фойдаланиш мумкин. Электромагнитавий вақт релесини ток релеси сифатида ҳам ишлатиш мумкин. Бунда қўзғатиш чулғами нисбатан кам ўрамлар сони билан нагрузка токига ҳисобланган бўлиши лозим.

Бундай реле 15÷600 А ток учун тайёрланиб, асосан, максимал ток релеси вазифасини бажаради. Ўзгарувчан ток занжирида кучланиш ва ток релеси сифатида кўпроқ РЭ-200 типли реледан фойдаланилади.

16 — 10. Ҳимоялаш аппаратлари

Ҳимоялаш аппаратларининг асосий вазифаси электрик юритма ва иш механизмлари учун хавфли бўлган иш режимининг содир бўлиши билан ўз вақтида моторни электр тармоғидан ажратишдан иборатдир. Моторни ва бошқариш занжирларини қисқа туташиш, ўта юкланиш ҳамда ноль кучланиш хавфларидан ҳимоялаш учун энг содда ва арзон аппарат ҳисобланган турли типдаги эрувчан симли сақлагичлардан кенг фойдаланилади. Сақлагичнинг эрувчан сими моторнинг электр занжирига кетма-кет уланади. Моторда қисқа туташиш режими содир бўлиши билан сақлагич симидан ўтадиган қисқа туташиш токи уни эритиб, моторни электр тармоғидан ажратади ва, демак, уни ҳимоялайди. Мотор занжирини электр тармоғига қайта улаш учун даставвал сақлагичдаги эрувчан симни ян-

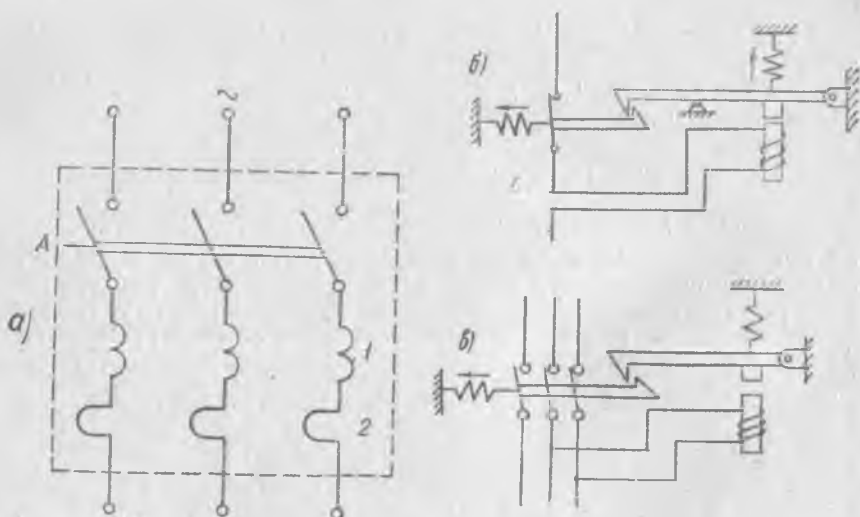
гилаш керак. Сақлагичлардаги симнинг суёқланиш температураси симнинг диаметри, узунлиги, уланиш контакти, муҳит температураси, совиш шароитларига боғлиқ бўлгани сабабли унинг ҳимоялаш аниқлиги жуда паст.

Резистор билан ишга тушириладиган моторлар учун сақлагич сим моторнинг номинал токига ҳисобланади қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторлар учун эса унинг номинал токига нисбатан $2,5 \div 3$ марта ортиқ токка ҳисобланади.

Автоматик узгич

Электр моторларини ноль кучланиш ва қисқа туташини токи хавфларидан аниқ ва тезкорлик билан ҳимоялаш учун ҳамда электр тармоғидан ажралган моторни дарҳол қайта ишга тушириш имконига эга бўлиш учун, қўпинча автоматик узгичлардан фойдаланилади.

Автоматнинг контакт системасини дастаки усул билан электр тармоғига туташтириш ёки ундан ажратиш мумкин. Хавфли режимларда эса контакт системаси ўз-ўзидан ҳаракатга келиб, моторнинг учта фазасини биргаликда электр тармоғидан ажратади. Эрувчан симли сақлагичлар билан ҳимоялашда бир фаза ажралиб, мотор ўзига хавфли бўлган икки фазада ишлаши мумкин. 16—7- расм, а да автоматнинг уланиш схемаси кўрсатилган. Бунда 1—электромагнитавий ажратиш механизми; 2—узоқ муддатли ўта юкланиш ток таъсирида қизиб ажратувчи механизм.



16—7- расм. Автоматик узгич:

а — уланиш схемаси; б — максимал ток таъсирида; в — минимал ёки ноль кучланиш таъсирида бир онда ҳаракатга келувчи электромагнитавий ажратиш механизмларининг схемаси.

16 — 7- расм, б да максимал ток таъсирида, 16 — 17- расм, в да эса минимал ёки ноль кучланиш таъсирида электромагнитвий ажратиш механизмларининг дарҳол ҳаракатланувчи схемаси кўрсатилган.

Максимал ток релеси

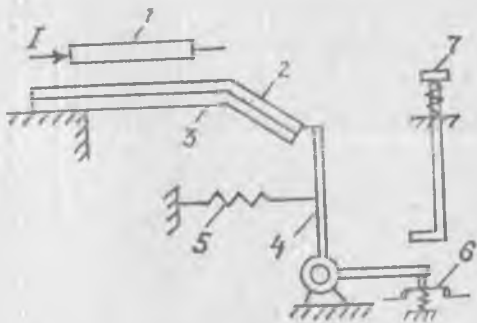
Бундай реле ҳам узгарувчан ва узгармас ток моторларининг қисқа туташини токидан ҳимоялаш учун ишлатилади. Реленинг ток чулғами мотор уланган бош занжирга, унинг контакт системаси эса бошқариш занжиридаги контакторнинг қўзғатиш чулғамига кетма-кет уланади. Шунга биноан ток релеси қисқа туташини режимида ишга тушиб, контактор воситасида моторни электр тармоғидан ажратади.

Бу реленинг ишга тушириш токи моторни ишга тушириш ва тормозлаш токидан $30 \div 50\%$ кўп бўлиши керак, узгармас ток мотори учун эса коммутацияга биноан чегараланган ток қийматидан ортиқ бўлмастлиги лозим. Максимал ток релесининг тузилиши РЭ-2100 серияли ток релесидан деярли фарқ қилмайди.

Иссиқлик релеси

16 — 8- расмда иссиқлик релесининг тузилиш схемаси кўрсатилган. Бунда 1 — иссиқлик релесининг қизиш элементлари. Бу элементлар моторнинг иккита фазасига кетма-кет уланиб, уни узоқ муддатли ута юкланиш ва икки фаза билан ишлаш режимидан ҳимоялайди. 2 ва 3 биметалл пластинкалар. Бу пластинкалар икки хил қотишмадан иборат бўлиб, қизиш элементни 1 яқинига урнатилади.

Демак, қизиш элементи температураси ундан ўтган катта қийматли мотор токи таъсирида маълум даражагача кўтарилганда, биметалл пластинкаси ҳам қизиб эгила бошлайди ва натижада рычаг 4 билан моторни бошқарувчи контактор чулғами занжирига кетма-кет уланган иссиқлик релесининг контакти 6 очилади. Бунда мотор электр тармоғидан ажратилади. Моторни қайта ишга тушириш учун даставвал реле контакти 6 ни нормал, яъни туташган ҳолатга келтириш керак. Бунинг учун қайтариш кнопкаси 7 дан фойдаланилади.

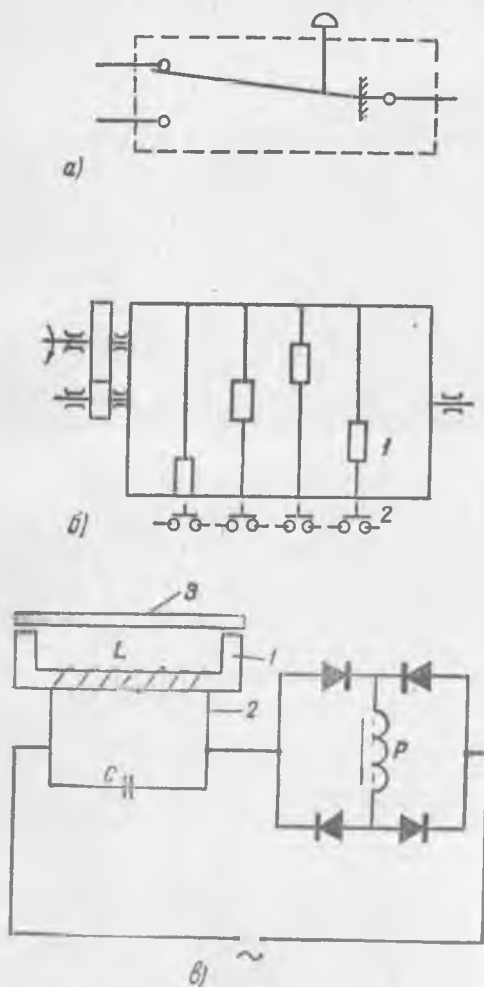


16—8- расм. Иссиқлик релесининг тузилиши.

16 — 11. Электрик юритма ҳамда автоматикада ишлатиладиган баъзи датчик, қурилма ва мантиқий элементлар

Турли технологик параметрлар, яъни масофа, частота, нагрузка, босим ва бошқалар таъсирида автоматик системага сигнал берувчи аппарат технологик датчик деб аталади. Буларга мисол қилиб қуйидаги аппарат ва релеларни кўрсатиш мумкин.

16 — 12. Йўлакай датчиклар (алмашлаб улагичлар)



16—9- расм.

а — йўлакай микродатчигининг; б — барабанли йўлакай датчигининг; в — индуктив йўлакай датчигининг схематик тузилишлари.

Йўлакай датчикларни йўлакай алмашлаб улагич деб ҳам аталади. Ҳаракат йўлидаги иш машинаси томонидан таъсирланиб, баъзи контактлари туташиб, қолган контактлари эса ажраладиган аппаратни йўлакай алмашлаб улагичи деб аталади. Иш механизmidан таъсирланишига қараб бундай датчиклар, асосан, икки типда чиқарилади. Биринчи типдагиларнинг контактлари бевосита механикавий таъсир натижасида ҳаракатга келса, иккинчи типдагиларникига механикавий таъсирнинг кераги бўлмайди. 16—9-расм, а да автоматика системаларида жуда кенг тарқалган йўлакай микродатчигининг схемаси кўрсатилган.

Иш механизми ўз ҳаракат йўлида штокни босиши билан нормал ҳолда ёпиқ контактлар очилади, очиқлари туташади. Микродатчик жуда кичик габаритли бўлиб, 380 В кучланишда 3 А гача бўлган ток занжирларини узиб-улашда қўлланилади. Бундай датчикнинг хизмат даври унинг

контакт ҳолатларининг $5-10 \cdot 10^6$ марта алмашилиши билан характерланади. Агар иш механизми айланма ҳаракат қилса ёки тўғри чизиqli ҳаракат йўлига датчикни ўрнатиш ноқулай бўлса, у ҳолда 16 — 9- расм, б да кўрсатилган барабанли йўлақай датчикдан фойдаланилади.

Бунда барабан бирор узатма билан айланувчи механизм вали орқали ҳаракатга келтирилади. Барабан айланиши билан унинг сиртидаги пазларига турли бурчак фарқида ўрнатилган кулачок 1 лар контакт системаси 2 га таъсир этиб, уни ҳаракатга келтиради. Натижада автоматик системага керак бўлган сигнал олинади.

Йўлақай индуктив датчик

16 — 9- расм, в да йўлақай индуктив датчикнинг схемаси кўрсатилган. Бунда 1 — очиқ пўлат ўзак ва 2 — унга ўрнатилган чулғам, С — чулғамга параллел қилиб уланган С сифимли конденсатор ва р — занжирга кетма-кет уланган электромагнитавий реленинг чулғами.

Бунда конденсаторнинг сифими резонанс ҳодисасига биноан танланади. Ҳаракатланувчи механизмга ўрнатилган пўлат пластинка 3 ни магнитавий система 1 яқинидан ўтганида занжирда ток резонанси содир бўлади. Натижада занжирдаги умумий ток қиймати камайиб, реле ўз якорини қўйиб юборади.

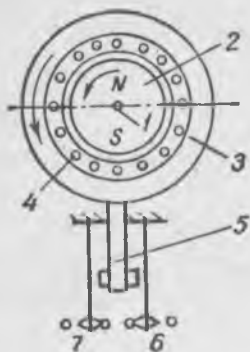
Бунда реле якори билан боғланган контакт системаси ўз ҳолатини ўзгартириб, автоматик системага керакли бўлган сигнални беради.

Йўлақай индуктив датчикларини фотоэлемент, электрон кучайтиргич ва электромагнит реле асосида ҳам қуриш мумкин. Бундай датчиклар контактсиз бўлгани учун уларнинг хизмат даври нисбатан катта бўлади.

16 — 13. Частота датчиклари

Максимал, минимал ёки ноль частоталарни ҳамда айланиш йўналишини назорат қилиб туриш учун частота датчикларидан фойдаланилади. Бундай датчикларни марказдан қочар куч ёки индукция принципи асосида яратиш мумкин. Бундан ташқари, частота датчиги сифатида тахогенератор билан электромагнитавий релени биргаликда ишлатиш ҳам мумкин. Асинхрон моторни тескари улаш билан автоматик тормозлашда, қупинча, индукцион РКС типли реледан частота датчиги сифатида фойдаланилади (16 — 10- расм).

Бундай реле доимий магнит 2, қисқа туташтирилган чулғамга эга бўлган цилиндр 3 ва контакт системаси 6 дан иборат бўлади. Бундай реледаги ўзгармас магнит 2 частотаси назорат қилинадиган мотор вали билан боғланган валик 1 га ўрнатилган бўлади. Бу валикка алоҳида подшипникда қисқа туташтирил-



16—10- расм. Индуктив РКС типли частота датчигининг тузлиши.

ган чулғамли цилиндр 3 ҳам ўриатилади. Демак, мотор айланганда, у билан бирга доимий магнит ҳам айланади. Натижада, қисқа туташтирилган чулғам ўтказгичлари 4 да э.ю.к. ва, демак, ток ҳосил бўлади. Бу ток билан магнитавий майдоннинг ўзаро таъсирида цилиндрни ҳаракатга келтирувчи момент ҳосил бўлади. Бунда рычаг 5 билан контакт системалари 6 ва 7 ҳам ўз ҳолатларини ўзгартирадилар. Демак, частота ўзгариши билан контакт системасининг ҳолати ўзгаради ва автоматик системага керакли бўлган сигнал содир бўлади.

Тахогенераторлар

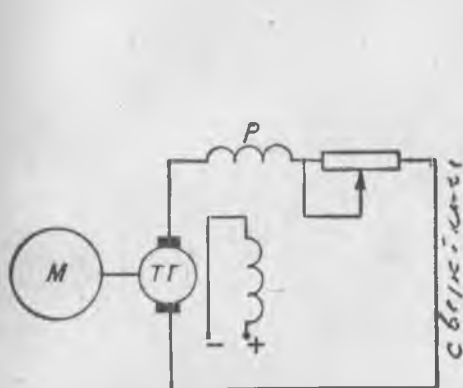
Кучланиши якорь ёки ротор частотасига пропорционал бўлган кичик қувватли ўзгармас ёки ўзгарувчан ток генератори тахогенератор деб аталади. Бундай тахогенераторни электромагнитавий реле билан биргаликда частота датчиги сифатида ишлатиш мумкин. Бунда тахогенератор ваали, частотаси ўлчанадиган ёки назорат қилинадиган мотор ваали билан безосита ёки бирор узатма орқали боғланган бўлади (16 — 11- расм).

Мотор частотаси берилган қийматга эришганида тахогенераторда ҳосил бўлган кучланишга созланган реле ўз якорини тортиб автоматик системага керакли сигнал беради. Ўзгармас ток тахогенераторини қўзғатиш учун электромагнит ўрнига дошмий магнитдан фойдаланилади.

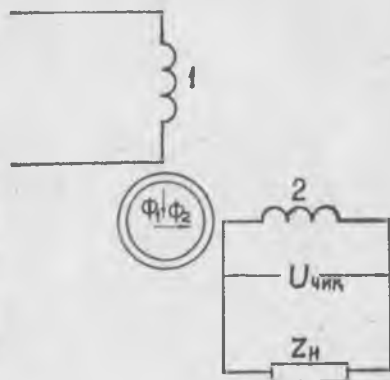
Демак, тахогенераторда ҳосил бўладиган э.ю.к. $E = k_E \Phi n = C_E n$ бўлиб, $k_E \Phi = \text{const}$ бўлади.

Нагрузкаи токи кичик бўлгани учун $U \approx E = n$ бўлиб, тахогенератор кучланиши унинг айланиш частотасига пропорционалдир. Тахогенератор чўткаси билан коллектор орасидаги контакт қаршилиги турғун қийматга эга бўлмайди. Шу сабабли ўзгармас ток тахогенераторидан олинадаган кучланиш ҳам муътадил қийматга эга бўлмайди.

Асинхрон тахогенератори бундай камчиликдан ҳолидир (16 — 12- расм). Бундай тахогенераторнинг статорида ўзгарувчан ток гармоғига уланган қўзғатиш чулғами 1 ва нагрузкаи Z_n уланадиган чулғам 2 лар ўрнатилган бўлиб, уларнинг ўқи ўзаро 90° бурчакка фарқ қилади. Бундай частота датчигининг ротори ичи бўш жез цилиндрдан иборат бўлади. Агар қўзғатиш чулғами 1 га ўзгарувчан ток берилса, чулғам 2 ўқидаги йўналган пульсацияланувчи магнитавий оқим Φ_1 ҳосил бўлади. Роторнинг айланишида Φ_1 оқими кесилиб, роторда



16—11- расм. Ўзгармас ток тахогенс-
раторининг частота датчиги сифатида
ишлатилиш схемаси.



16—12- расм. Ўзгарувчан ток
тахогенераторининг тузилиш
схемаси.

э.ю.к. ва, демак, ток ҳосил бўлади. Бу токдан ҳам пульса-
цияланувчи магнитавий оқим Φ_2 ҳосил бўлиб, унинг йўналиши
чулғам 2 нинг ўқи томон йўналган бўлади. Демак, Φ_2 дан
чулғам 2 да частотаси электр тармоғидаги частотага тенг, ам-
плитудаси эса ротор частотасига пропорционал бўлган транс-
форматорли э.ю.к. ҳосил бўлади. Агар роторнинг айланиш
йўналиши ўзгарса, чулғам 2 даги э.ю.к. нинг фазаси ҳам 180°
га ўзгаради.

16 — 14. Қалқовичли релелар

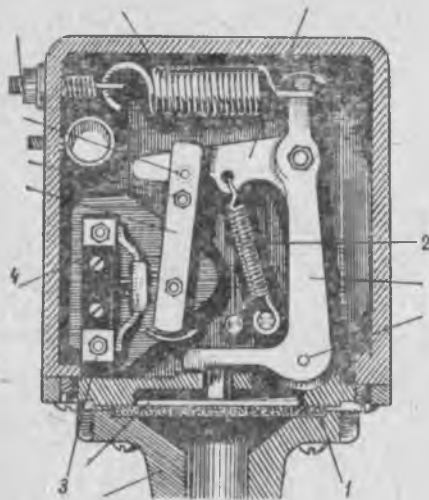
Қалқовичли релелар, одатда, насос
станцияларини автоматлаштиришда иш-
латилади.

Сув билан таъминловчи минорали
насос станцияларида, сув дастлаб мино-
ра тепасига ўрнатилган бакка кўтарила-
ди. Бакдаги сув берилган сатҳга кўта-
рилганда насос мотори тўхтатилиши,
сув берилган сатҳга пасайганда эса ишга
туширилиши лозим. Насос станцияси-
нинг бундай иш режимини автоматлаш-
тириш учун 16 — 13- расмда кўрсатил-
ган қалқовичли реледан фойдаланиш
мумкин. Бунда

- 1 — реленинг контакт системаси,
2 — қалқович,



16—13- расм. Қалқович-
ли реленинг тузилиш схе-
маси.



16—14- расм. Босим релесининг тузилиши.

3 — посанги, 4 — контакт системасининг ричаги 5 га таъсир этиб, унинг ҳолатини ўзгартирувчи туртгичлар.

16 — 13- расмда реле қалқовчининг энг юқори ҳолати кўрсатилган бўлиб, бунда мотор электр тармоғидан ажратилади ва натижада бақдаги сув сатҳи пасайиб боради. Сув маълум сатҳга камайгач, мотор ўз-ўзидан электр тармоғига улашиб ишлай бошлайди.

16 — 15. Босим релеси

Суюқлик ва газ босимларини назорат қилишда, одатда, 16 — 14- расмда кўрсатилган босим релеси ишлатилади.

Бундай релелардан, кўпинча, ҳаво-сув босимли қозонлар воситасида сув билан таъминловчи насос станциялари ишини автоматлаштиришда фойдаланилади.

Ҳаво-сув босимли қозонга эга бўлган насос станциялари учун минора қурилмайди. Шу сабабли бундай станциялар минорали станциялардан арзон бўлади. Бунда ёпиқ қозон ичидаги сув ундаги ҳаво босими таъсирида истеъмолчиларга тарқатилиб турилади. Қозондаги босим берилган қийматгача пасайганда унга ўрнатилган босим релесининг контакти ёпилиб, моторни ишга туширувчи аппарат занжири электр тармоғига уланади. Бунда мотор ишга тушиб, сувни насос орқали бевосита истеъмолчиларга тарқата бошлайди. Истеъмолчилар талабидан ортиб қолган сув қозон ичига тушиб, ундаги ҳаво босимини яна аста-секин кўтара бошлайди. Босим берилган қийматга кўтарилганда босим релесининг мембранаси ричаглар системасига таъсир этиб, ўз контактини очик ҳолатга ўтказди ва натижада мотор ўз-ўзидан тўхтади. Бунда қозондаги сув, фақат ундаги босим таъсирида тақсимлана бошлайди.

16 — 16. Электромагнитлар ва электромагнитавий муфталар

Электромагнитнинг қўзғатиш чулғамига ток берилиши билан у ўз якорини тезда тортиб олади. Шу сабабдан исканжали ва лентали тормоз механизмларини электромагнитлар билан автоматик бошқариш имкони бор. Электр моторларини

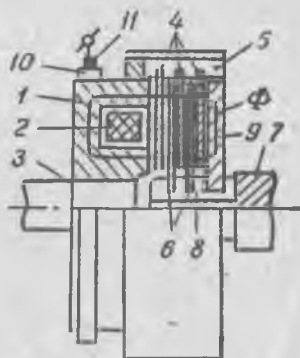
автоматик бошқаришда бундай электромагнитавий тормозлардан, айниқса кенг фойдаланилади. Бундан ташқари, электромагнитлар пневмо ва гидровентилларни автоматик бошқаришда ҳам кенг қўлланилади. Демак, электромагнитлардан фойдаланиб турли процессларни автоматик равишда бошқариш имконини яратиш мумкин.

Ўзгарувчан токда бир ва уч фазали электромагнитлар ишлатилади. Катта электромагнитларнинг тортиш кучи 140 кг гача бўлиб, якори 80 мм гача кўтарилиши мумкин. Тормозловчи электромагнитларнинг тортиш кучи ҳаракат бошланишида кам бўлиб, ҳаракат охирига келганда эса ортади, яъни технологик талабга тесқари бўлади. Бу уларнинг асосий камчилиги ҳисобланади.

Электромагнитавий муфталар

Электромагнитавий муфталар автоматикада кенг тарқалган қурилмалардан ҳисобланади. Бундай муфта билан мотор валини иш механизми валидан автоматик равишда ажратиш ёки алоҳида айланиб турган мотор валини кинематик занжир билан автоматик равишда туташтириш мумкин. Натижада нисбатан катта силтаниш моменти GD_m^2 га эга бўлган мотор якори ёки роторини иш механизмидан ажратиб, уни тез ва аниқ тўхтатиш имкони олинади.

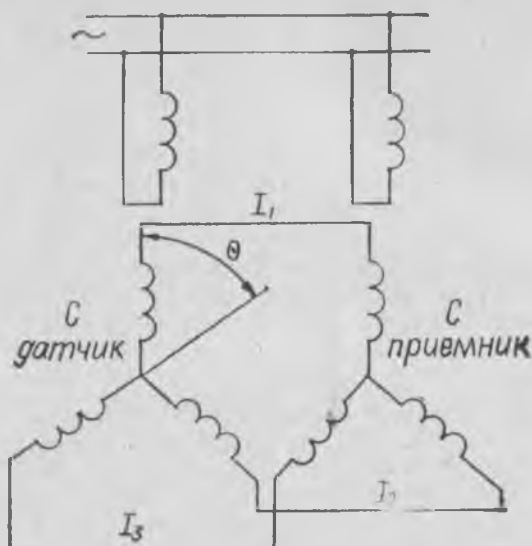
Бундан ташқари, номинал частота билан айланиб турган моторни муфта билан иш механизми валига туташтирилганда, электрик юритманинг ишга тушиш вақти, асосан муфтадаги электромагнитавий процесснинг ўтиши билангина аниқланиб бирмунча қисқаради (бунда моторни ишга тушириш вақти ҳисобга олинмайди). Ҳозирги пайтда кичик габаритли, кўп дискали электр магнитавий муфталар станокларнинг частота қутилариди ҳам қўлланилмоқда. Шу сабабли электромагнитавий муфталар билан электрик юритма частотасини механикавий усулда автоматик ростлаш ҳамда реверслаш мумкин. Бундай муфталар 1,6 + 160 кгм гача бўлган моментни узатиш имконига эга қилиб чиқарилмоқда. 16 — 15-расмда кўп дискали электромагнитавий муфтанing схемаси кўрсатилган.



16 — 17. Сельсинлар

Механикавий боғланишларсиз бир валдаги ҳаракатни турли масофадаги бошқа валга синхрон равишда узатувчи индукцион

16—15- расм. Кўп дискали электромагнитавий муфтанing тузилиш схемаси.



16—16- расм. Сельсин-датчик ва приёмниклар-нинг уланниш схемаси.

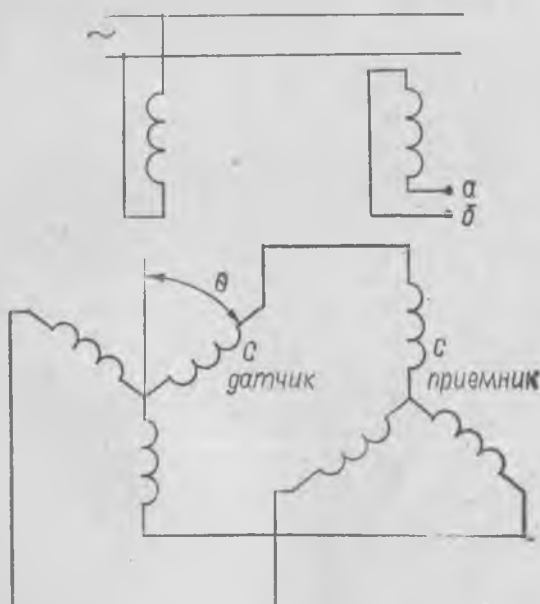
электр машина сельсин деб аталади. Бундай индукцион электр машиналари ўз-ўзини синхронлайди.

Сельсинлар турли тузилишда чиқарилади. Контактли деб аталувчи сельсин статорида ўзгарувчан ток тармоғига уданган бир фазали чулғам бўлиб, унинг роторида эса уч фазали чулғам бўлади. Юлдузсимон схемада уданган ротор чулғамининг учлари контактли ҳалқаларга туташтирилади.

Статорида уч фазали, роторида эса бир фазали чулғамларга эга бўлган сельсинлар ҳам бўлади. Сельсинлар ўз вазифаларига биноан сельсин-датчик ва сельсин-приёмникка бўлинади. Сельсин-датчик вали қўл ёки бирор механизм билан ҳаракатга келтирилади. Бу ҳаракатни механикавий боғланишсиз турли масофадаги валга узатиш керак. Сельсин-приёмник вали сельсин-датчик валидаги ҳаракатни қабул қилиб, уни ўзгартирмай синхрон равишда такрорлаши керак. 16—16- расмда сельсин-датчик ротори бурилишини турли масофага узатиш ва уни сельсин-приёмник билан қабул қилиб, синхрон такрорлаш схемаси кўрсатилган. Агар бурилиш бурчаги $\theta = 0^\circ$ бўлса, у ҳолда сельсин-датчик ва приёмник статорларидаги бир фазали чулғам токида ҳосил бўлган пульсацияланувчи магнитавий оқимлар ротор чулғами фазаларида бир хил қийматли, аммо тескари йўналишли э. ю. к. ва ток ҳосил қилади. Бунда фазалардаги умумий ток қиймати нолга тенг булиб, сельсинларда айлантирувчи момент ҳосил бўлмайди.

Агар датчик валини θ бурчакка бурилса, унинг ротори чулғамларидаги э. ю. к. қиймати $E_1 = E_m \cos \theta$; $E_2 = E_m \cos (120^\circ + \theta)$; $E_3 = E_m \cos (-120^\circ + \theta)$ бўлади.

Э. Ю. К. лар тенгсизлиги натижасида сельсинларнинг ротор чулғамидан тенглаштирувчи I_1 , I_2 ва I_3 тоқлар ўтади. Бу тоқлар билан статордаги магнитавий оқимнинг ўзаро таъсирида бир-бирига тескари йўналган айлантирувчи моментлар ҳосил бўлади. Бунда датчикда ҳосил бўлган момент ташқи моментга, яъни унинг роторини θ бурчакка бурган моментга тескари йўналган бўлиб, приёмникдаги синхронлаштирувчи момент эса ташқи момент томон йўналган бўлади. Шу сабабли приёмник вали синхронлаштирувчи момент таъсирида θ бурчакка тенг бурчакка бурилганда, унинг айлантирувчи моменти қиймати нолга тенг бўлади. Демак, датчик вали тухтовсиз айлантрилиб турилса, приёмник вали ҳам тухтовсиз айлана бошлайди. Автоматлаштирилган электрик юритмаларда хусусан, тақлидчи электрик юритмаларда (XVII бобга қаранг), купинча сельсинларнинг трансформатор режимли схемаси қўлланилади. Сельсинларнинг бундай режимда сельсин-приёмникнинг статор чулғами ўзгарувчан ток тармоғидан ажратилиб, ротори тормозланиб қўйилади (16 — 17- расм). Бунда сельсин-датчик роторидаги э. ю. к. таъсирида иккала сельсин роторлари чулғамидан ток ўта бошлайди. Бу тоқлардан сельсин-приёмникда ҳосил булган магнитавий оқим фазода 180° га



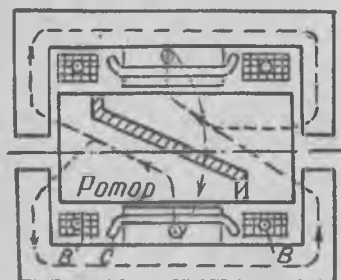
16—17- расм. Сельсинларнинг трансформатор режимли схемаси.

силжиган бўлиб, ундан сельсин-приёмник статоридаги бир фазали чулғамда трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги сингари э. ю. к. ҳосил бўлади. Бу чулғамда ҳосил бўлган кучланиш қиймати бурилиш бурчаги θ билан қуйидагича боғланган бўлади, яъни $U_{ab} = U_{\text{макс}} \cos\theta$. Демак, $\theta = 0$ бўлганда, кучланиш ўзининг максимал қийматига эришади.

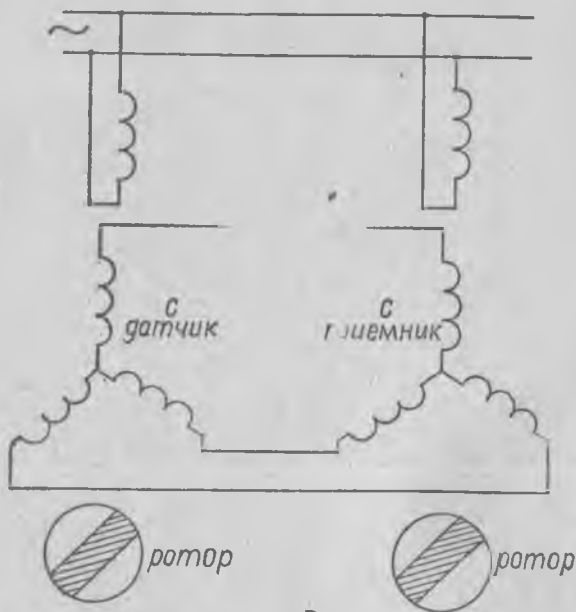
Амалда эса $\theta = 0$ бўлганда кучланиш ҳам ноль бўлганлиги қулай бўлади. Бунинг учун сельсин-приёмник роторини олдиндан, датчик валига нисбатан 90° га буриб, уни шу ҳолатда тормозлаб қўйиш кифоя. Бунда сельсин-приёмникнинг қўзғатиш чулғамидаги кучланиш қиймати қуйидагича бўлади:

$$U_{ab} = U_{\text{макс}} \sin\theta$$

16 — 18- расмда совет олимлари томонидан яратилган контактсиз (контакт ҳалқа ва чўткаларсиз) сельсиннинг *а* — конструктив схемаси ва *б* — уланиш схемаси кўрсатилган. Бунда сельсин статорига иккита ғалтакни кетма-кет улаб ҳосил қилинган бирламчи қўзғатиш чулғами ва бу қўзға-



а)



б)

16—18- расм. Контактсиз сельсин:

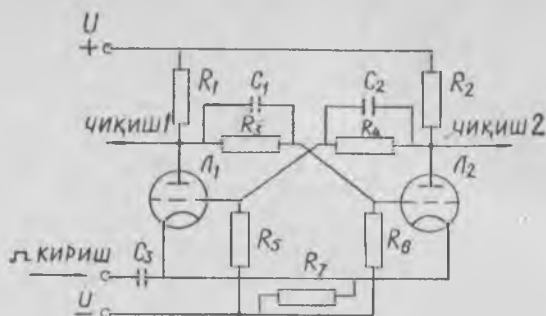
а — конструктив схемаси; *б* — уланиш схемаси.

тиш чулғами ўқиға тик бўлган иккиламчи уч фазали чулғам ўрнатилди. Бирламчи чулғам ўқи ротор валига параллел бўлади. Сельсин роторида чулғам бўлмай, у қиялаб кетган магнитмас қатлам билан икки бўлакка бўлинган пўлат цилиндрдан иборат бўлади. Бу магнитмас қатлам магнитавий оқим йўналишини 90° га буради. Контактсиз сельсинлар ёрдамида датчик валидаги ҳаракатни приёмник валига узатиб, уни такрорлаш схемаси 16 — 18- расм, б да кўрсатилган. Бунда роторни берилган бурчакка буриш билан ундаги магнитавий оқим иккиламчи чулғамнинг ҳар бир фазасида э. ю. к. ҳосил қилади. Бу э. ю. к. қиймати роторнинг берилган бурчагига бурилиш ҳолати билан аниқланади. Шундай қилиб, датчик роторини айлантириш билан приёмник ротори унга тақлид қилиб айлана бошлайди.

16 — 18. Контактсиз датчик ва мантиқий элементлар

Автоматикада ишлатилаётган реле ва контактор сингари аппаратларнинг айрим камчиликлари тўғрисида юқорида айтилган эди. Бундай аппаратларнинг уланиш сони, айниқса, комплекс автоматлаштирилган объектлар, яъни масалан, станокларнинг автоматик линиялари ва шу кабиларда куп бўлгани учун, уларнинг хизмат қилиш муддати бирмунча қисқаради. Ҳақиқатан, хизмат даври 10 млн уланиш бўлган реле минутига бир марта уланса, 20 йил хизмат қилади, секундига бир марта уланганида эса фақат 4 ой хизмат қилади. Демак, автоматлаштирилган электрик юритмаларда контактсиз аппарат ва мантиқий элементлардан фойдаланиш билан юқори техникавий ва иқтисодий кўрсаткичларга эришиш мумкин. Контактсиз алмашлаб улагич ва мантиқий элементлар, купинча, электрон асбоблар, чала ўтказгичлар, ферромагнетиклар ва реле-контактор каби аппаратлардан иборат бўлиб, уларнинг вольт-ампер характеристикаси кескин ўзгарувчан характерга, яъни иккита турғун ҳолатга эга бўлади. Демак, бу элементларни, маълум шароитда бир турғун ҳолатдан иккинчисига кескин равишда контактсиз ўтказиш мумкин. Контактсиз элементлар ихчам, кичик кучланишларда ишлаш имконига эга, фойдали иш коэффиценти катта ва механикавий зарбларга чидамли бўлиб, автоматик системаларда улардан фойдаланиш жуда қулай бўлади. Уларнинг асосий камчилиги айрим нухаларининг турли характеристикага эгаллиги ва параметрларининг температурга боғлиқлигидир.

16 — 19- расмда триод лампаларидан тузилган икки турғун ҳолатли триггер схемаси кўрсатилган. Бунда триггернинг нормал (турғун) ҳолати деб бир триоднинг очиқлигида иккинчиси берк бўлган ҳолати, унинг беқарор ҳолати деб эса ундаги иккала триоднинг ҳам очиқ бўлган пайтидаги ҳолатига айтилади. Агар дастлабки ҳолатда L_1 триод очиқ, L_2 триод берк деб фараз



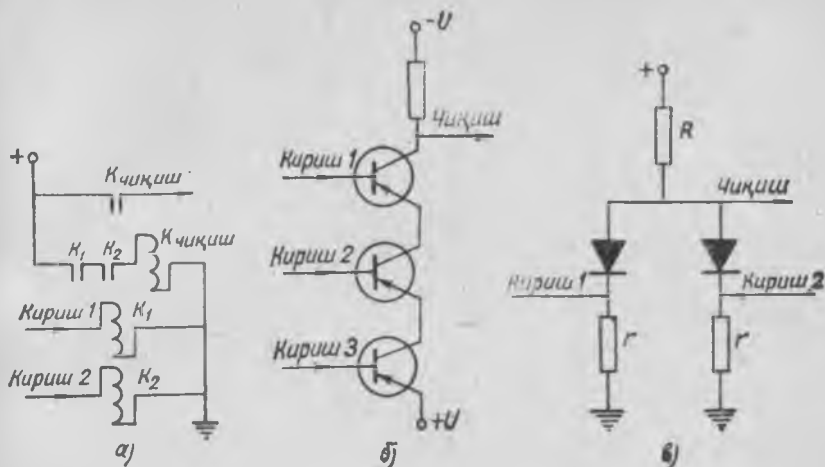
16—19- расм. Триод лампаларидан тузилган триггер схемаси.

қилинса, у ҳолда триггернинг бу турғун ҳолати, ташқи сигнал бўлмаган тақдирда, R_3 ва R_1 қаршиликларидан олинадиган мусбат тескари алоқалар туфайли ишончли сақланади. Бу ҳолатда чиқиш 2 даги сигнал $U_{\text{чик2}}$ нинг қиймати ток манбаидаги мусбат кучланишга тахминан тенг, яъни $U_{\text{чик2}} \approx U$ бўлгани учун чиқиш 1 даги сигнал $U_{\text{чик1}} = U - I_{a1}R_1$ нинг қиймати $U_{\text{чик2}}$ га нисбатан кичик бўлади. Триггерни бошқа турғун ҳолатга ўтказиш учун очиқ триод $\mathcal{L}_1$ нинг кириш қисмига бирор сигнал бериб, уни беркитиш керак. Бунинг учун эса $\mathcal{L}_1$ тўрига ёки анодига манфий потенциални сигнални ёки бўлмаса, унинг катодига мусбат сигнални бериш kifоя. 16—19- расмдаги триггерни бошқа турғун ҳолатга ўтказиш учун $\mathcal{L}_1$ нинг катодига конденсатор C_3 орқали мусбат кириш сигнали берилади. Бунда $\mathcal{L}_1$ анодидagi ток I_{a1} қиймати камайиб, ундаги кучланиш эса ортади. $\mathcal{L}_1$ анодидagi кучланишнинг ортиши C_1 ва R_3 орқали $\mathcal{L}_2$ тўрига берилади ва натижада иккинчи лампадан ҳам ток ўта бошлайди. $\mathcal{L}_2$ анодидан I_{a2} ток ўтиши билан ундаги кучланиш $U_{\text{чик2}}$ нинг қиймати $I_{a2}R_2$ ҳисобига камаяди, яъни $U_{\text{чик2}} = U - I_{a2}R_2$ бўлади. $U_{\text{чик2}}$ нинг камайиши C_2 ва R_4 орқали $\mathcal{L}_1$ тўрига таъсир этиб, I_{a1} қийматини янада камайтиради ва ҳоказо.

Триод турларига берилувчи мусбат тескари алоқа зўрлиги сабабли триггер бир онда (бир неча микросекундда) бир турғун ҳолатдан иккинчисига ўтади. Транзисторлардан тузилган триггерлар ҳам юқоридаги сингари принципда ўз турғун ҳолатларини ўзгартиришлари мумкин. Триггерлар билан турли сигналларни санаш, уларни хотирада сақлаб қолиш имконлари олинади.

Мантиқий элементлар

Мантиқий элементлар, кўпинча, контактсиз асбоблар асосида тузилиб, программа билан бошқарилувчи ва бошқарувчи системаларда ишлатилади. Бу элементлар билан ВА, ЁКИ, ЙЎҚ ҳамда ХОТИРА дегаи мантиқий функцияларни бажа-



16—20- расм.

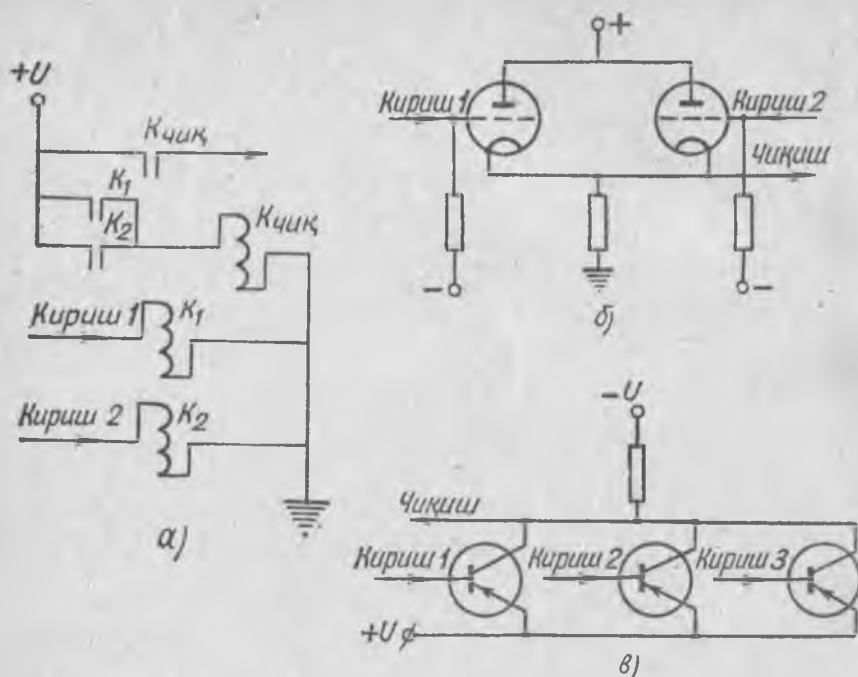
а — реле ва контакторлардан; **б** — транзисторлардан; **в** — чала ўтказгичли диодлардан тузилган ВА мантикий элементнинг схемалари.

риш имкони олинади. Мантикий элемент ВА дан чиқиш сигнаolini олиш учун унинг биринчи ва бошқа ҳамма киришларига сигнал берилиши зарур.

Бундай элементнинг бирор кириш қисмига сигнал берилмаса, у ҳолда унинг чиқиш қисмида ҳам сигнал бўлмайди. 16—20- расм, **а** да реле ва контакторлардан тузилган, ВА функциясини бажарувчи мантикий элемент схемаси кўрсатилган.

Бунда биринчи ва иккинчи кириш қисмларга сигналлар берилгандагина чиқиш контактори электр тармоғига уланиб, элементнинг чиқиш қисмида сигнал ҳосил бўлади.

16—20- расм, **б** да транзисторлардан тузилган ВА мантикий элементнинг схемаси кўрсатилган. Бу элементнинг чиқиш қисмидан мусбат сигнални олиш учун биринчи ва қолган ҳамма транзисторлар базасига манфий потенциалли импульслар бериш керак. Бунда ҳамма транзисторлар очилиб, ВА элементнинг чиқиш қисмидан мусбат сигнални олиш мумкин. Агар бирор транзистор базасига манфий сигнал берилмай қолса, у ҳолда транзисторлар берк бўлиб, элементнинг чиқиш қисмида сигнал бўлмайди. 16—20- расм, **в** да чала ўтказгичли диодлардан тузилган ВА мантикий элементнинг схемаси кўрсатилган. Бундай схема ҳам юқоридагилар сингари принцида ишлайди, аммо унинг ишончли ишлаши учун R нинг қиймати r га нисбатан жуда катта, яъни $R \gg r$ бўлиши керак. Агар бу элементнинг ҳам биринчи ва иккинчи кириш қисмларига мусбат сигнал берилса, унинг чиқиш қисмида ҳам сигнал ҳосил бўлади.



16—21- расм.

а — реле ва контакторлардан; б — триодлардан; в — транзисторлардан тузилган *ЁКИ* мантикий элементнинг схемалари.

ЁКИ функциясини бажарувчи мантикий элемент бир неча кириш ва битта чиқиш қисмига эга бўлади. Бунда чиқиш сигналини олиш учун кириш қисмларининг бири ёки ҳаммасига сигнал бериш зарур. 16 — 21- расм, а да реле ва контакторлардан тузилган *ЁКИ* элементининг схемаси кўрсатилган.

16 — 21- расм, б да эса триодлардан тузилган *ЁКИ* элементининг схемаси кўрсатилган. Бундай элементнинг нормал ҳолатида иккала триод ҳам берк бўлиб, натижада чиқиш сигнали бўлмайди. Агар биринчи ёки иккинчи триод тўрига мусбат сигнал берилса, ундан ток ўта бошлайди ва, демак, чиқиш сигнали олинади.

16 — 21- расм, в да транзисторлардан тузилган *ЁКИ* элементининг схемаси кўрсатилган. Бунда транзисторлардан биттасининг ёки ҳаммасининг базасига манфий сигнал берилса, у ҳолда элементнинг чиқиш қисмида сигнал ҳосил бўлади.

16 — 22- расмда реле ва контакторлардан тузилган *ЙЎҚ* элементининг схемаси кўрсатилган.

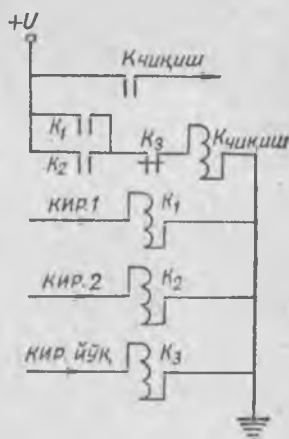
Бундай элементдан чиқиш сигналини олиш учун унинг

кириш қисмларидан бирида сигнал бўлиши, кириш йўқ қисмида эса сигнал бўлмаслиги керак.

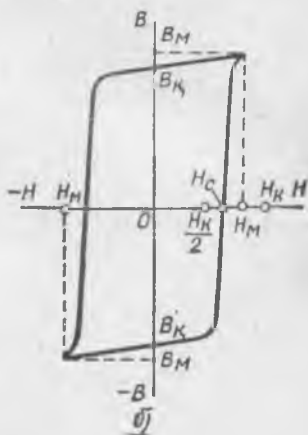
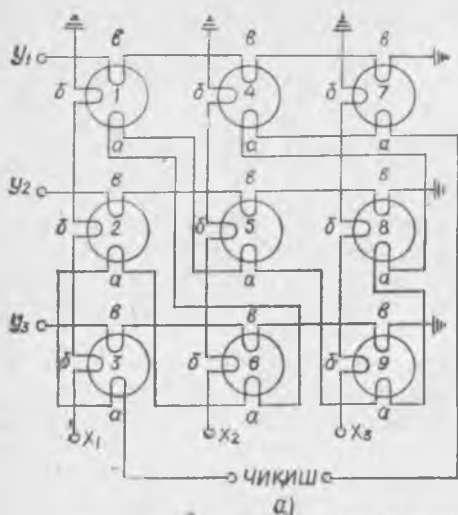
Мантиқий элемент *ХОТИРА* ни тузиш учун икки турғун ҳолатга эга бўлган триггерлардан ҳам фойдаланиш мумкин. Триггернинг кириш қисмига уни тескари ҳолатга ўтказувчи сигнал берилмагунча, у ўз ҳолатини турғун равишда хотиралаб (сақлаб) туради. Бундай типдаги хотира элементларининг иши юқорида кўрилган эди. 16 — 23- расмда феррит, яъни ферромагнит чала ўтказгич ўзакларидан тузилган хотира элементи (феррит матрицаси) нинг *а* — схемаси ва *б* — ўзакнинг магнитланиш эгри чизиги (гистерезис сиртмоғи) кўрсатилган. Бунда ҳар бир феррит ўзаги уч чулғамга эга қилинади. Ўзакни бир турғун ҳолатдан иккинчисига ўтказиш, яъни уни қайта магнитлантириш учун *б* ва *в* чулғамларга импульс берилади. Феррит матрицаларидаги ёзилган сигналларни санаш учун эса *а* чулғами ишлатилади.

Ўзакни тўйингунча магнитлаш учун унинг *б* ва *в* чулғамларига $\frac{I_k}{2}$ ток импульслари берилади. Бунда қуйидаги шартлар бажарилиши, яъни $H_k \geq H_m; \frac{H_k}{2} < H_c$ бўлиши керак.

Ферритли ўзакдаги гистерезис сиртмоғининг шакли тўғри тўртбурчакка яқин бўлгани учун магнитловчи ток импульсини ўзакдаги чулғамдан олиб қўйилса ҳам, магнит индукциясининг қиймати бир озгинага камаяди, холос, яъни $H = 0$ бўлганда $B = B_k$ бўлади. Бунда B_k — қолдиқ магнетизм. Демак, ўзакнинг қолдиқ магнетизми $+B_k$ га эга ҳолатини *1* кодига тегишли деб олинса, $-B_k$ га эга бўлган ҳолатини эса *0* деб олиш мумкин. Агар *2* ўзакни *1* коди ҳолатига ўтказиш керак бўлса, у ҳолда қиймати юқорида кўрсатилган ток импульсларини адрес шиналари X_1 ва Y_2 ларга бериш kifоя. Бунда *1* ҳолатига фақат *2* ўзак ўтади. *4, 6, 7* ва *9* ўзакдаги чулғамлардан ток мутлақо ўтмайди. *1, 3, 5* ва *8* ўзаклардаги чулғамларнинг фақат биттасидан ток ўтгани учун улар ҳам *1* ҳолатга ўтолмайдилар. *2* ўзакда ёзилган сигнални ўқиш (санаш) учун эса X_1 ва Y_2 шиналарига тескари қутбли ток импульсларини бериш kifоя. Бунда ўзак *2* нинг $-B_k$ қийматига тескари магнитланиши содир бўлиб, *а* чулғамида чиқиш сигнали (э. ю. к.) ҳосил бўлади.



16—22- расм. Реле ва контакторлардан тузилган ЙЎҚ мантиқий элементининг схемаси.



10—23- расм.

а — ферритли узак матрицасидан ташкил топган ХОТИРА элементининг схемаси;
б — ферритли узакнинг гистерезис сиртмоғи.

Ферроэлектрикли хотира элементлари (сегнетоэлектриklar)

$P = f(E)$ боғланиши ферромагнит материалларининг $B = f(H)$ боғланиши каби характерга эга диэлектрик хусусият-ли кристаллар ферроэлектрик ёки сегнетоэлектрик деб атала-ди. Агар бундай диэлектрикни ташқи электрик майдонга киритилса, унинг қутбланиши, яъни диэлектрикнинг мусбат ва манфий зарядга эга бўлган қисмларга ажралиши содир бўлади. Бундай ҳодисани диэлектрикнинг поляризациялани-ши, яъни қутбланиши дейилиб, уни $P = f(E)$ билан ифода-ланади,
бунда P — қутбланиш қиймати;

E — ташқи электрик майдоннинг кучланганлиги.

Сегнетоэлектриklarда ҳам қолдиқ қутбланиш P_K бўлиб, агар ташқи электр майдони P_K томон йўналган бўлса, кри-сталлнинг қутбланиши тўйингунга қадар AB чизиқ бўйича ортиб боради (16—24- расм).

16—24- расмда энг яхши ўрганилган ва кенг тарқалган барий титанатидан иборат сегнетоэлектрикнинг $a-P = f(E)$ боғланиши б—сегнетоэлектрикли хотира элементининг схе-маси кўрсатилган. Бунда ҳам $E = 0$ бўлганда $P = P_K$, яъни қолдиқ қутбланиш P_K олинади. Электрик майдон кучланган-лиги қийматини ўзгартириш билан сегнетоэлектрикнинг қутб-ланиши гистерезис сиртмоғи сингари сиртмоқ бўйича ўзгаради. Демак, иккилик системасидаги 1 ва 0 рақамларини сегнетоэлек-трикнинг $+P_K$ (А нуқта) ва $-P_K$ ҳолатлари орқали ифода-лаш

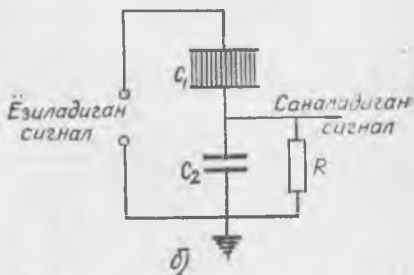
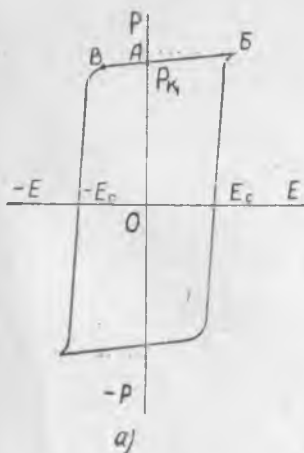
ва уларни берилган вақт давомида хотиралаб туриш имкони олинади.

Ҳозирги пайтда сигналларни узоқ вақт ичида ўзгартирмай сақлаб туриш учун сегнетоэлектриклардан кенг фойдаланилмоқда. Бундай хотира элементлари ферроэлектрик тўлғизилган конденсатор C_1 лардан иборат бўлиб, уларни йиғувчи конденсаторлар деб аталади. 16—24- расмда 1 ва 0 сигналларини сақлаб турувчи йиғувчи конденсатор схемаси кўрсатилган. Бунда 1 кодини ёзиш учун C_1 конденсаторига бир хил қутбли кучланиш берилса, 0 ни ёзишда эса тескари қутбли кучланиш сигнали берилади. Бу сигналларни санаш учун C_2 конденсатори қўлланилган.

Агар хотира қурилмасига 1 киритилган бўлса, унинг чиқиш қисмидан катта қийматли ток импульси олинади, 0 киритилса кичик қийматли импульс олинади. Демак, 1 ва 0 ёзилганда, C_2 конденсатори катта ва кичик тоқлар билан зарядланади ва бу сонларни конденсатордаги кучланишга биноан аниқлаш мумкин бўлади. Ферроэлектрик тўлғизилган конденсаторларни босмалаш билан олинган матрица схемаларида хотиралаш элементи сифатида қўллаш мумкин. 16—25- расмда матрица типдаги хотира қурилмасининг босмалаш билан олинган схемасининг бир қисми кўрсатилган.

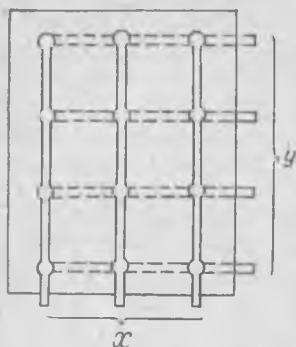
Бунда матрица ферроэлектрик пластинкасидан иборат бўлиб, унинг икки томонига бир-бирига тик бўлган X ва Y ўқлари бўйича ток ўтказувчи йўллар босмаланган. X ва Y йўллар кесишган нуқталар йиғувчи конденсаторларни ҳосил қилиб, уларнинг ҳар бири элементар хотира элементини ифодалайди.

Бундай хотира қурилмасининг ишлаш принципи ҳам юқоридаги феррит матрицасидагига ўхшашдир, аммо бу ерда сигнал сифатида ток ўрнига кучланиш импульси берилади.



16—24- расм.

а — барий титанатидан иборат сегнетоэлектрикнинг қутбланиш эгри чизиги; б — сегнетоэлектрики хотира элементининг схемаси.



16—25- расм. Босмалаш билан олинadиган сег-нетоэлектриклик хотира элементининг бир қисми.

Иккилик системасидаги рақамларни ёзиш учун элементар хотираларни ўтказувчи пластинкаси X ва $У$ га мусбат кучланиш берилиб, бошқасига шу кучланишнинг тескари ишоралиги берилади. Кучланиш берилган бу иккала ўтказувчи пластинка оралиғидаги ферроэлектрик ташқи электр майдони томон қутбланади ва берилган сонни эслаб қолади. X ва $У$ йўллардаги бошқа элементар хотираларда электр майдони икки марта кичик кучланганлиги сабабли уларнинг қутбланиш ҳолати ўзгармайди.

I рақамини санаш учун электрик майдоннинг йўналиши, уни ёзиш учун берилгандагига тескари бўлиб, 0 рақамида эса бир томонга йўналган бўлади. Натижада I ни санашда чиқиш қисмидан катта сигнал, 0 ни санашда эса кичик сигнал олинади.

XVII БОБ

ЭЛЕКТРИК ЮРИТМАЛАРНИНГ АВТОМАТИК БОШҚАРИШ СХЕМАЛАРИ

17 — 1. Умумий тушунчалар

Электрик юритма ва иш машинасидан самарали фойдаланиш йўли билан меҳнат унумини ошириш, маҳсулот таннархини камайтириш учун электр моторини ишга тушириш, тормозлаб тўхтатиш, реверслаш каби ўткинчи режимларни ва турғун частотада айланиш процессларини энг яхши кўрсаткичлар билан, яъни оптимал сурагта ўтказиш зарур. Бунинг учун электрик юритмаларни автоматлаштириш лозим. Электрик юритмаларни автоматлаштириш айниқса уларнинг қисқа муддатли иш режимларида катта аҳамиятга эга. Ҳақиқатан, бундай режимда ишлайдиган, масалан, бўйлама рандаш станоклари ва прокат станлари электрик юритмалари иш циклининг $30 + 40\%$ ини ўткинчи процесслар ташкил қилади. Бундай иш машиналари учун автоматлаштирилган электрик юритмадан фойдаланилса, электр моторининг оптимал кўрсаткичлар асосида автоматик бошқариш натижасида ўткинчи процесслар учун кетадиган вақт кескин камаяди, технологик процессни такомиллаштиришга имкониятлар яратилади. Электрик юритмани автоматлаштириш учун бошқариш аппаратлари асосида тузилган бошқариш схемаларидан

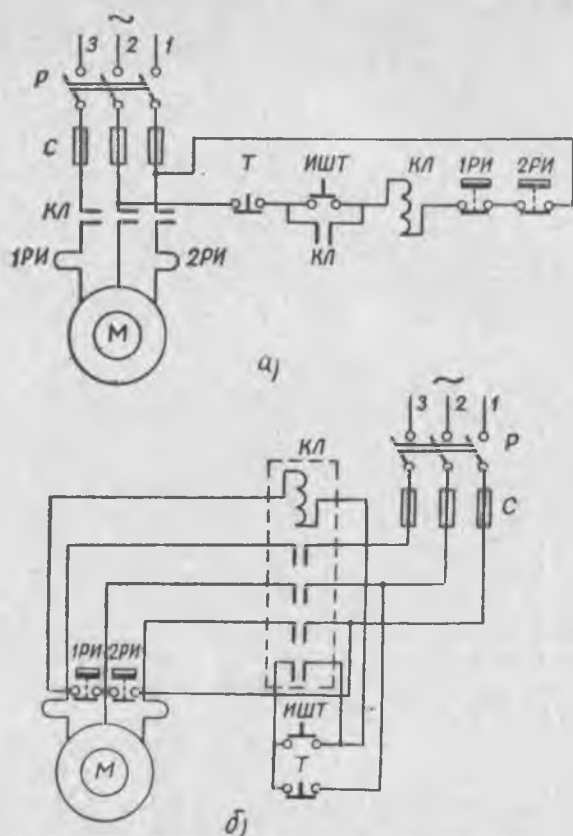
фойдаланилади. Автоматик бошқаришда бошланғич буйруқ операторнинг кнопкани босиши ёки команда-контроллерни берилган ҳолатга ўтказиш билан берилади. Шундан кейин электрик юритма белгиланган қонун асосида ишлай бошлайди.

Электрик юритмаларни автоматик бошқариш учун очиқ ва берк системалар асосида тузилган бошқариш схемаларидан фойдаланилади. Очиқ бошқариш системаларида ток манбаи ёки нагрузка параметрлари ўзгартирилади ва электрик юритма янги кўрсаткичлар билан ишлай бошлайди. Берк бошқариш системаларида эса тескари алоқа занжири бўлиб, шу туфайли электрик юритма донмо берилган кўрсаткичлар билан ишлайди.

17 — 2. Автоматик бошқариш схемаларининг тузилиши

Мураккаб бошқариш схемаларида жуда кўп асбоб ва аппаратлар ишлатилади ва шу сабабли схема ишини тез ва осон тушуниб, уни тўғри талқин қилиш учун схема элементлари ГОСТ 27-21-68 даги шартли белгилар билан белгилаб чиқирилиши лозим. Схемаларда элементларнинг нормал ҳолатларига тегишли белгилар кўрсатилади. Контактторнинг қўзғатиш чулғамига ток берилмагандаги ва, демак, бош контактларининг очиқ бўлган ҳолати унинг нормал ҳолати деб аталади. Команда (буйруқ) берувчи аппаратлар, масалан, кнопка, контроллёр ва турли датчикларнинг контактли ёки контактсиз системалари ҳолатининг ташқи таъсир натижасидан илгариги (дастлабки) ҳолати уларнинг нормал ҳолати деб аталади. Бир хилдаги аппаратларни бир-биридан ажратиш учун улар бир неча бош ҳарфлар билан белгиланади. Вунда биринчи ҳарф аппаратнинг номига тааллуқли бўлса, бошқалари унинг схемадаги вазифасига тааллуқли бўлади. Масалан, *КЛ* — линия контактори (контактор линейный), яъни бу контактор билан бош занжир линияси туташтирилади. Агар схемада бир хил элементлар бир хил вазифаларни бажарса, уларнинг ҳарфий белгилари олдига сонлар қўйилади масалан, *1КЛ, 2КЛ* ва ҳоказо.

Схемалардаги аппаратларга тегишли турли элементлар шу аппаратлар белгиси билан ифодаланади. Масалан, линия контактори чулғами *1КЛ* билан белгиланган бўлса, у ҳолда бу контакторга тегишли бўлган бош ва блок контактлар ҳам *1КЛ* билан белгиланади. Электрик схемаларда бош ва бошқариш занжирлари бўлади. Электр моторларининг нагрузка токи ўтувчи якорь, ротор ва статор чулғамлари уларнинг бош занжирлари ҳисобланади. Бу занжирлар бошқариш занжирга нисбатан йўғон чизиқлар билан ифодаланади; бошқариш занжирига эса бошқариш, сигналлаш ва назорат қилиш аппаратларининг элементлари уланган занжирлар киради.



17—1- расм. Асинхрон моторни автоматик бошқаришнинг:

а — принципал; б — монтаж схемалари.

Бошқариш схемалари принципал (ёйилган) ва монтаж схемалари тарзида берилиши мумкин.

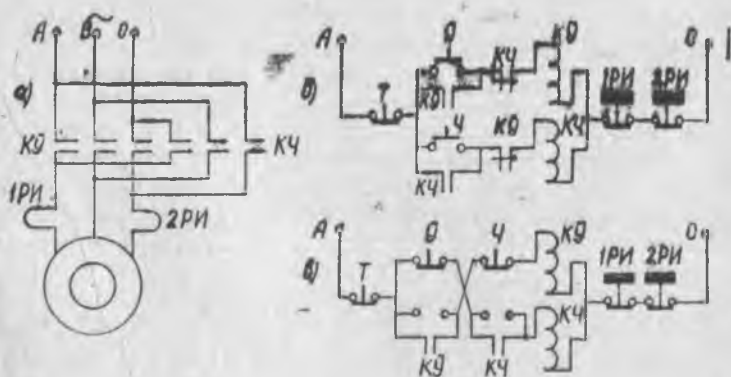
Ёйилган схеманинг ҳар бир элементи ўзининг улаиш тартибига биноан жойлашган бўлиб, бунда ишлаш принципини осон тушуниш ҳисобга олинади, схема элементларининг турар жойи эса ҳисобга олинмайди.

17 — 1- расм, а да асинхрон моторни автоматик бошқариш схемаси кўрсатилган. Бунда схеманинг ишлаш принципи, ундаги аппаратларнинг бир-бирига таъсирлари яққол кўриниб турибди. Шу сабабли бундай схема принципал схема дейилади. Бошқарувчи аппаратларнинг панелга ўрнатилиш тартибини ҳисобга олиб тузилган схема монтаж схемаси дейилади. Бундай схемадан бошқариш панелларини монтаж қилишда

фойдаланилади. 17 — 1- расм, б да 17 — 1- расм, а асосида тузилган монтаж схемаси кўрсатилган. Монтаж схемасини ўқиш принципиал схемага нисбатан анча мураккаб бўлади.

17 — 3. Очiq системали автоматик бошқариш схемалари

17 — 1- расм, а да қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторни магнитавий юргизиб юборгич билан бир томонга бошқариладиган схема кўрсатилган. Бунда хавфсизлик қондасига мувофиқ моторни ишлатиш пайтидагина рубильник Р уланади, бошқа пайтларда эса ажратилиб қўйилади. Шу сабабли моторни ишга тушириш учун ИШТ (пуск) кнопкасини босиш kifоя. Бунда қўйидагидан иборат бошқариш занжири ҳосил бўлади: биринчи фаза, иссиқлик релеларининг ажратувчи 2РИ ва 1РИ контактлари, контакторнинг қўзғатувчи КЛ чулғами, ИШТ кнопкасини туташтирувчи контакт, тўхтатиш Т (стоп) кнопкасини ажратувчи контакт ва иккинчи фаза. Натижада магнитли юргизиб юборгичнинг КЛ ғалтаги қўзғатилиб, унинг бош контактлари КЛ билан мотор электр тармоғига уланади. Бунда контакторнинг блок контакти КЛ билан ИШТ кнопкаси шунтланиши сабабли уни бир онда босиб, сўнгра бўшатилса ҳам моторнинг бошқариш занжири электр тармоғидан узилмайди. Моторни тўхтатиш учун Т кнопкасини босиш kifоя. Электр тармоғидаги кучланиш бирор сабабга кўра кескин камайиб ёки йўқ бўлиб қолса, у ҳолда ишлаб турган мотор ўз-ўзидан тўхтаб қолади. Аммо кучланишининг қиймати тиклангандан сўнг ҳам у ўз-ўзидан ишга туша олмайди. Моторни ишга тушириш учун ИШТ кнопкасини қайта босиш керак. Демак, магнитавий юргизиб юборгичга эга схема ноль кучланиш хавфидан ҳимояланган



17—2. расм. Реверсив режимда ишлайдиган асинхрон мотори:
а — бош занжир схемаси; б ва в — электрик блокировкага эга бошқариш схемалари.

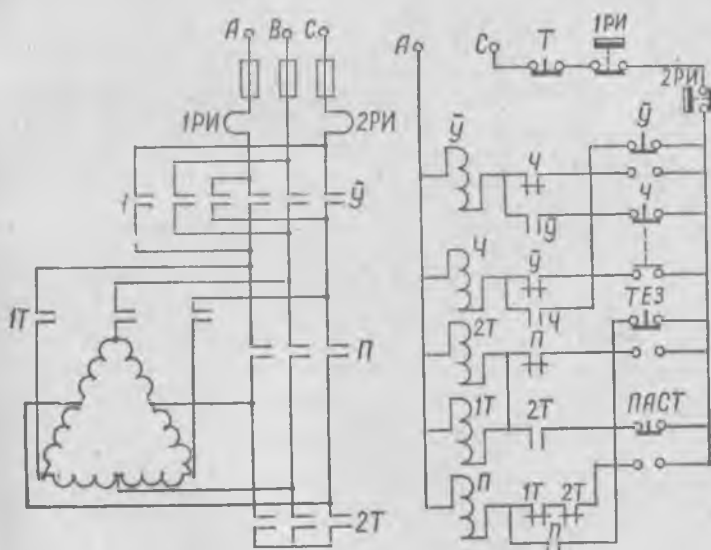
бўлади. Схемадаги иссиқлик релеси моторни узоқ муддатли ўта юкланиши натижасида ҳаддан ташқари қизиб кетишдан ҳимоялайди. Агар бу реленинг қизиш элементи ҳаддан ташқари қизиб кетса, у ҳолда реленинг ажратувчи контактлари *1Р1* ва *2Р1* контактор *КЛ* чулғамини токсиз қолдиради ва натижада мотор электр тармоғидан ажратилади.

17 — 2- расм, *а* да реверсив режимда ишлайдиган асинхрон моторни автоматик бошқариш схемаси кўрсатилган. Бунда *а* — бош занжир, *б* ва *в* — бошқариш занжирларининг схемалари; *КУ* ва *КЧ* — моторни ўнг ва чап томонларга бошқарувчи контакторлар; *У* ва *Ч* моторни ўнг ва чап томонларга айлантириш учун буйруқ берувчи кнопкалар.

Моторнинг айланиш йўналишини ўзгартириб бошқариш учун *КУ* ва *КЧ* контакторларидан иборат реверсив магнитавий юргизиб юборгичдан фойдаланилади. Реверсив магнитавий юргизиб юборгичдаги *КУ* ва *КЧ* контакторлар бир рамага ўрнатилган бўлиб, улар механикавий блокировкага эга бўлиши шарт. Агар бирор сабабга кўра *КУ* ва *КЧ* контакторларининг асосий контактлари бир вақтда туташиб қолса, у ҳолда бош занжирнинг *А* ва *С* фазалари ўзаро қисқа туташиб катта авария содир бўлиши мумкин. Бунга йўл қўймаслик учун бошқариш занжирига электрик блокировка, яъни *КУ* контактори занжирига *КЧ* контакторининг блок контакти *КЧ* киритилиб, *КЧ* контакторининг занжирига эса *КУ* контакторининг блок контакти *КУ* киритилади (17 — 2- расм, *б*). Натижада, моторни ўнг ёки чап томонга айлантириш учун буйруқ берилганда уни тескари томонга улаб қишга туширувчи контактор занжири *КУ* ва *КЧ* блок контактлари билан очилиб қолади. 17 — 2- расм, *в* даги схемада бошқа хил электрик блокировка кўрсатилган. Бунда ўнг томонга айлантириш кнопкаси босилганда, унинг ажратувчи *У* контакти чулғам *КЧ* занжирини очиб қўяди ва аксинча. Шу сабабли бу схемада ҳам иккала кнопка тасодифан бир пайтда босилиб қолса, мотор электр тармоғига улана олмайди ва, демак, авария содир бўлмайди. Бу схемада бир томонга айланиб турган моторни тескари томонга айлантириш учун ўша томон кнопкасини босиш kifоя. 17 — 2- расм, *б* даги схемада эса моторни тескари томонга айлантириш учун даставвал уни тўхтатиш, сўнгра бошқа томон кнопкасини босиш керак. Электрик блокировкаларда ажратувчи контактлар бирор сабабга кўра занжирни ажратмай қўйиши мумкин. Шунинг учун реверсив магнитавий юргизиб юборгич билан бошқарилувчи схеманинг иши ишончли бўлиши учун электрик блокировкадан ташқари, механикавий блокировкадан ҳам фойдаланилади. Бунда иккала контакторнинг қўзғалувчи контакт системалари бир-бирига махсус ричаг билан боғланган бўлиб, улар бир вақтда туташа олмайди. Агар бошқариш системаси фақат механик блокировкага эга бўлса, у ҳолда бир томонга айла-

ниб турган моторни тескари томонга айлантириш учун даставвал уни тўхтатиш кнопкасини босиб тўхтатиш, сўнгра тескари томон кнопкасини босиш лозим. Агар янглишиб моторни тўхтатмасдан туриб тескари томон кнопкаси босилса, контактор чулғамидан ток ўтишига қарамасдан, у ўз якорини торта олмайди. Тескари томон кнопкаси узоқ вақт ёки кетма-кет босилаверса, контакторнинг чулғамидан катта қийматли ток ўтиб, уни куйдириши мумкин. Шу сабабли реверсив магнитавий юргизиб юборгич схемаларида механикавий блокировкадан ташқари 17 — 2- расм, б ва в ларда кўрсатилган электрик блокировкадан ҳам фойдаланиш зарур. 17 — 3- расмда электрик ва механикавий блокировкаларга эга бўлган икки частотали реверсив асинхрон моторни бошқариш схемаси кўрсатилган. Бунда моторни ўнг томонга катта частотада айлантириш учун $\bar{U}$ ва $TE3$ кнопкаларини босиш лозим. Моторни юқори частотадан паст частотага ўтказиш учун $ПАСТ$ кнопкасини босиш kifоя.

Моторни реверслаш учун $\bar{U}$ кнопкаси босилади. Бунда мотор даставвал тескари уланиш режимида тезда тормозланиб тўхтайди ва сўнгра тескари томонга мотор режимида айлана бошлайди.



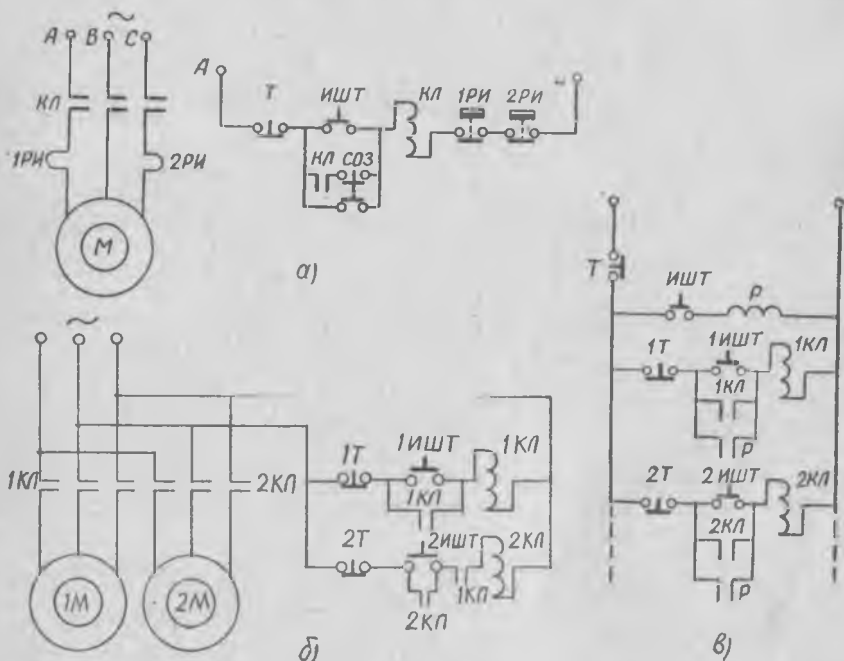
17—3- расм. Электрик ва механикавий блокировкаларга эга бўлган икки частотали реверсив асинхрон моторни бошқариш схемаси.

17 — 4. Электрик юритманинг автоматик бошқариш схемаларида қўлланиладиган блокировка алоқалари

Механизмнинг турли иш режимларини ёки комплекс авто-
матлаштириш системаларидаги элементлар ҳаракати тартибини
ўзаро боғлашда блокировка алоқаларидан кенг фойдалани-
лади.

17 — 4- расм, а да электр моторини узоқ ва қисқа муддат-
ли (созлаш) режимларда бошқариш учун қўлланиладиган
блокировка алоқали схемаси кўрсатилган. Бунда узоқ муд-
датли иш режимини олиш учун ИШТ кнопкасини босиш ки-
фоя. Аммо, кўпинча, узоқ муддатли режим олдида иш ма-
шинаси айрим элементлари паст частоталарда уларнинг бош-
ланғич ҳолатларига келтирилиши, яъни созланиши лозим. Бу-
нинг учун созлаш кнопкаси СОЗ ни қисқа вақт ёки дам-бадам
босиб, мотор импульсли режимда ва, демак, паст (созлаш)
частотада ишлатилади. Бунда созлаш кнопкаси босиб турил-
ган пайтдагина мотор ишлайди.

17 — 4- расм, б да электр моторларининг ўзаро блокировка
алоқали бошқариш схемаси кўрсатилган. Бунда иккинчи мо-



17—4- расм.

а — электр моторини узоқ ва қисқа муддатли режимларда бошқариш учун қўлланиладиган бло-
кировка алоқали схема; б — электр моторларнинг ўзаро блокировка алоқали бошқариш схе-
маси; в — электр моторларни биргаликда ва мустақил бошқариш схемаси.

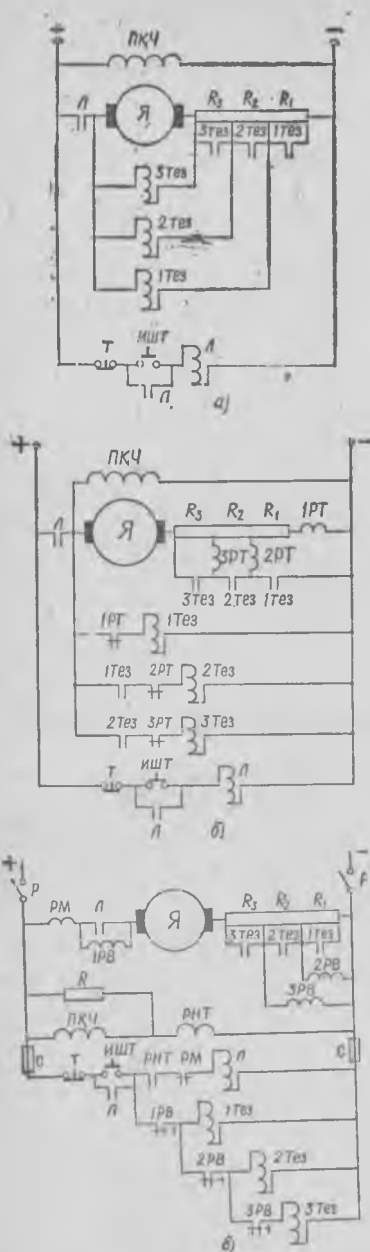
торни ишга тушириш учун биринчи мотор ишлаб туриши шарт, акс ҳолда контактор *ИКЛ* нинг туташтирувчи блок контакти билан иккинчи контактор занжири узилган бўлади. Технологик талабга биноан, одатда, механизмнинг ишқаланувчи қисмлари мойланганидан кейингина ишга туширилади. Демак, асосий моторни ишга тушириш учун мойловчи насос мотори ишлаб туриши зарур.

Агар иккинчи контактор занжиридаги туташтирувчи контакт ўрнига ажратувчи контакт қўйилса, у ҳолда иккинчи моторни ишлатиш учун биринчи моторни ишлатмай туриш зарур бўлади. Бундай блокировка ҳам, технологик талабга биноан, электрик юритмани бошқариш схемаларида кўп учратилади. Агар бир кнопка билан бир неча моторни биргаликда ёки уларни мустақил бошқариш зарур бўлса, у ҳолда 17 — 4-расм, *а* да кўрсатилган схемадан фойдаланиш мумкин.

Бундай бошқариш схемасида контакторлардан ташқари, кўп контактли реле *Р* ҳам бўлади, моторларни биргаликда ишга тушириш учун *ИШТ*, тўхтатиш учун *Т* кнопкаларини босиш кифоя. Ҳар бир моторни мустақил бошқариш учун *ИШТ*, *2ИШТ* ва *1Т*, *2Т* кнопкаларидан фойдаланилади. Бундай бошқариш схемаларини автоматик станок линияларида учратиш мумкин. Автоматик бошқариш схемаларида юқорида келтирилган блокировка алоқаларидан ташқари, бошқа хиллари ҳам учрайди.

17 — 5. Электрик юритмани автоматик ишга тушириш усуллари

Қисқа муддатли такрорланувчи иш режимларида электрик юритмани кўп поғонали резистор қаршилиги билан ишга тушириш процесси анча мураккаб бўлиб, уни оператор орқали бошқарилганда қийинчилик ва хатоликлар юз бериши мумкин. Ишга тушириш процессининг турли вақтларида моторнинг частотаси ва ток турли қийматларга эга бўлиши сабабли бу процессни частота, ток ва вақт асосида автоматик бошқариш мумкин. Электр моторларини частота асосида ишга туширишда марказдан қочар куч принципига асосланган мураккаб тузилмали частота релеларидан фойдаланилади. Амалда ишга тушириш процессини частота асосида автоматлаштириш ўрнига унга пропорционал бўлган э. ю. к. асосида автоматлаштирилади. 17 — 5-расм, *а* да параллел қўзғатишли ўзгармас ток моторини э. ю. к. асосида автоматлаштириб ишга тушириш схемаси кўрсатилган. Бунда *ИШТ* кнопкаси босилиши билан мотор уч поғонали резистор қаршилиги воситасида автоматик равишда ишга туширилади. Моторнинг айланиш частотаси n_1 га тенглашганида кучланиш $U_{1\text{тез}} = C_E n_1 + I_{\text{мин}}$ ($R_a + R_3 + R_2$) га асосланган биринчи тезланиш контактори ишга тушади ва унинг контакти биринчи поғона қаршилиги



17—5- расм. Параллел қўзғатишли ўзгармас ток моторининг:

а — в. ю. к-1 б — ишга тушириш токи; в — вақт асосида автоматик ишга тушириш схемалари.

R_1 ни шунтлайди. Бунда якорь токи яна $I_{\max}$ гача қўпайгани сабабли, тезлик иккинчи резисторли характеристикага биноан ортиб боради. Шунга ўхшаш частотанинг қиймати n_2 га тенглашганида якорь занжиридаги кучланиш $U_{2\text{тез}} = C_E n_2 + I_{\min} (R_y + R_3)$ бўлади ва бу кучланишга созланган 2 ТЕЗ контактори ишга тушиб R_2 ни шунтлайди ва ҳоказо. Шундай қилиб, мотор ўзининг табиий характеристикадаги турғун частотага босқичма-босқич чиқиб ишлай бошлайди.

Ўзгарувчан ток моторларини (фаза роторли) ротор занжирига киритиладиган қаршилиқ орқали ишга тушириш процессини ҳам 17 — 5- расм, а да кўрсатилган принцип асосида автоматлаштириш мумкин. Бунда кучланишга созланган контакторлари сифатида ўзгарувчан ток контакторлари ишлатилади.

17 — 5- расм, б да параллел қўзғатишли моторни ток асосида автоматик ишга тушириш схемаси кўрсатилган. Бунда ҳам ИШТ кнопки босилиши билан мотор тула қаршилиқ билан ишга туширилади.

Айланиш частотаси ортиб бориши билан якорь токи камайиб боради, шу сабабли унинг минимал қийматида биринчи ток релеси $1PT$ ўз якорини тортиб туrolмай, уни қўйиб юборади. Бунда унинг ажратувчи контакти туташиб, биринчи тезлатиш контактори $1TE3$ ни электр тармоғига улайди. $1TE3$ контакти биринчи поғона қаршилиги R_1

ни шунтлайди. Шу сингари бошқариш процессларидан сўнг R_2 ва R_1 қаршиликлари ҳам шунтланиб мотор нагрузка токи I_c га тегишли турғун частотаси n_c билан табиий характеристикада ишлай бошлайди.

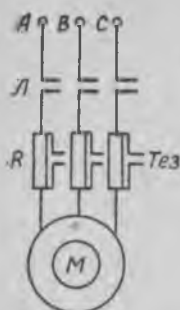
Бундай автоматик бошқариш схемаси, кўпинча фаза роторли асинхрон моторларда ҳам учратилади.

Вақт асосида автоматик ишга тушириш

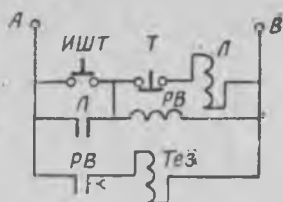
17 — 5- расм, в да параллел қўзғатишли моторни электромагнитавий вақт релеси билан автоматик ишга тушириш схемаси кўрсатилган. Бунда рубильник P уланиши билан моторнинг қўзғатиш чулғами $ПҚЧ$ ва ноль ток релеси $РНТ$ дан ток ўта бошлайди. Шу билан бирга, максимал ток релеси $РМ$, биринчи вақт релеси $1PB$, якорь ва тула ташқи қаршилиқ орқали ҳам ток ўта бошлайди. Аммо вақт релеси $1PB$ чулғамининг қаршилиги катта бўлиши сабабли якорь занжиридан ўтган ток кичик қийматга эга булиб, мотор айлана олмайди. Вақт релеси $1PB$ чулғамидан ток утиши билан унинг контакти тезлатиш контакторлари занжирларини электр тармоғидан узиб қўяди. Агар $ПҚЧ$ ва $РНТ$ дан номинал қийматли қўзғатиш токи ўтиб турган бўлса, моторни ишга тушириш учун $ИШТ$ кнопкасини босиш kifоя. Бунда биринчи вақт релеси $1PB$ нинг чулғами линия контакторининг L контакти билан шунтланиб, бу реле созланган вақт t_1 ҳисоблана бошлайди. Ўткинчи режим формуласидан топилган ва реле созланган t_1 вақти утиши билан вақт релеси ўз якорини қўйиб юборади ва $1TE3$ занжири $1PB$ конгакти билан электр тармоғига уланиб қолади. Бунда тезлатиш контакторининг $1TE3$ контакти билан қаршилиқнинг биринчи поғонаси R_1 ҳамда иккинчи вақт релеси $2PB$ нинг галтаги шунтланади ва, натижада, моторнинг айланиш частотаси максимал момент таъсирида яна ортиб боради. Шу сингари $2PB$ созланган вақт t_2 дан сўнг R_2 шунтланади ва ҳоказо.

Шундай қилиб, могор вақт асосида автоматик равишда ишга туширилиб, табиий характеристикада турғун частота билан ишлай бошлайди.

Бундай схема билан ишлаб турган моторни қисқа тутатиш хавфидан максимал ток релеси $РМ$, қўзғатиш токининг номиналга нисбатан камайиб ёки нолга тенг булиб қолиш хавфидан эса ноль ток релеси $РНТ$ ҳимоялайди. Моторнинг бошқариш занжири эса қисқа тутатиш токидан, одатда, сақлагичлар билан ҳимояланади. Вақт асосида автоматик ишга тушириш усулининг қатор афзалликлари борлигидан унда ўзгармас ва ўзгарувчан ток моторларини автоматлаштиришда жуда кенг фойдаланилади. Бундай схема ишига электр тармоғидаги кучланиш, реле чулғами температураси ва нагрузка токи қийматларининг ўзгариши таъсир қилмайди. Шу сабабли



17—6- расм. Қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторни вақт асосида автоматик ишга тушириш схемаси.



бу схема пухта ҳамда ишончлидир. Бундан ташқари, вақт асосида турли қувват ва кучланишга эга моторларни автоматик ишга тишириш учун бир хил типдаги вақт релеларидан фойдаланиш имкони бор. 17 — 6- расмда қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторни вақт асосида автоматик ишга тушириш схемаси курсатилган. Бунда *ИШТ* кнопки

каси босилиши билан моторнинг статор чулғами ишга тушириш токини камайтирувчи ташқи қаршилик орқали электр тармоғига уланади. Ишга тушириш процесси тугаши билан вақт релеси *РВ* нинг контакти тезлатиш контакторини электр тармоғига улайди. Натижада статор занжиридаги қаршилик *ТЕЗ* контакти билан шунтланиб, мо ор нормал режимда турғун частота билан ишлай бошлайди.

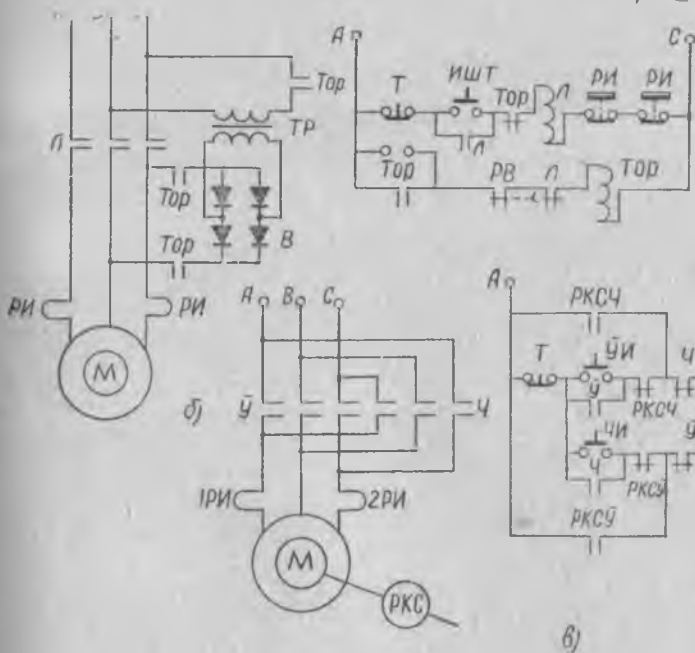
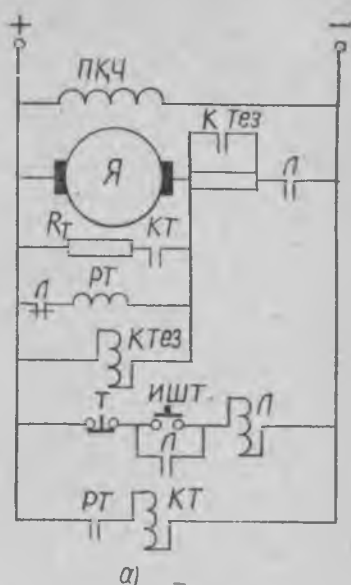
17 — 6. Электрик юритмани автоматик тормозлаб тўхтатиш усуллари

Электрик юритмаларни тормозлаб тўхтатишда, купинча электродинамик ва тескари улаш усулларида фойдаланилади. Рекуперация усулидан эса фақат генератор-мотор системаларида ва кўп частотали асинхрон моторлардан иборат юритмаларда фойдаланилади.

Электрик юритмани тормозлаб тўхтатишни автоматлаштириш принциплари, уни ишга туширишдаги сингари э. ю. к. частота ва вақтга асосланган бўлиши мумкин. 17 — 7- расм, а да параллел қўзғатишли моторни электродинамикавий усул билан э. ю. к. асосида автоматик тормозлаб тўхтатиш схемаси кўрсатилган. Бунда тўхтатиш кнопки *Т* ни босиш билан якорь занжири электр тармоғидан ажратилади. Шу ондаёқ, якордаги э. ю. к. таъсирида тормозлаш релеси *РТ* қўзғатилиб, у ўз контакти *РТ* билан тормозлаш контактори *КТ* ни электр тармоғига улайди. Бу контакторнинг *КТ* контакти электр тармоғидан ажратилган якорни тормозлаш қаршилиги *R_т* га улаб моторни динамикавий тормозланиш режимига ўтказади. Натижада тормозлаш моменти ҳосил бўлиб, унинг таъсирида частота, ва, демак, э. ю. к. камайиб боради. Э. ю. к. нинг бирор кичик қийматида *РТ* релесининг контакти билан *КТ* контактори электр тармоғидан ажратилади ва мотор

фақат ишқаланиш моменти таъсирида аста-секин тўхтайди. Тормозлаш моментининг мотор тўхтагунга қадар таъсир этмаслиги бу усулнинг асосий камчилиги ҳисобланади.

17—7- расм, б да асинхрон моторни электродинамикавий усул билан вақт асосида автоматик тормозлаб тўхтатиш схемаси кўрсатилган. Бунда тўхтатиш T кнопкаси босилиши билан мотор статори электр тармоғидан ажратилиб, тормозлаш контактори $ТОР$ эса электр тармоғига уланади. Тормозлаш контактори $ТОР$ нинг контакти статор чулғамини ўзгармас ток манбаига улаб, моторни электродинамик режимга ўтказа-



17—7- расм.

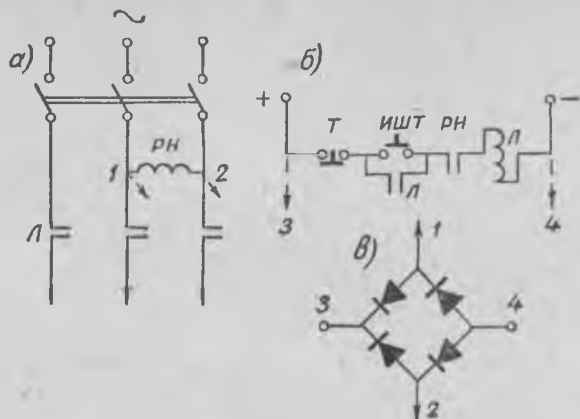
а — параллел қўзғатиш моторни электродинамикавий усул билан э. ю. к. асосида автоматик тормозлаб тўхтатиш схемаси; б — асинхрон моторни электродинамикавий усул билан вақт асосида автоматик тормозлаб тўхтатиш схемаси; в — асинхрон моторни тескари улаиш билан частота асосида автоматик тормозлаб тўхтатиш схемаси.

ди. Бу пайтда *ТОР* контактори якориға ўрнатилган маятникли вақт релеси *PВ* ишга тушиб, вақтни ҳисоблай бошлайди ва озгина запас билан ҳисобланган тўхташ вақти тугагач, *PВ* нинг контакти тормозлаш контактори *ТОР* ни электр тармоғидан ажратади. Демак, бу усулда тормозлаш процесси мотор тўхтагунга қадар давом этади. 17 — 7- расм, *в* да асинхрон моторни тескари улаш билан частота асосида автоматик тормозлаб тўхтатиш схемаси кўрсатилган. Бунда тўхтатиш кнопкиси *T* ни босиш билан ўнг ёки чап томонга айланиб ишлаётган мотор индукцион тезлик релеси *РКС* билан тескари уланиш режимига ўтказилиб, автоматик равишда тормозланиб тўхтатилади. Ҳақиқатан, агар мотор ўнг томонга айланиб ишлаётган бўлса, у ҳолда частота релесининг туташтирувчи контакти *РКС* ў берк ҳолатда бўлиб, чап томонга айлантириш контактори *Ч* занжирини электр тармоғига улашга тайёрлаб қўяди. Шу сабабли *T* кнопкисини босиш билан ўнг томонга айлантириш контактори *У* электр тармоғидан ажралиб, чап томон контактори *Ч* эса электр тармоғига уланади ва, натижада, мотор тескари уланиш режимига ўтказилади. Тормозлаш моменти таъсирида мотор частотаси кескин равишда камайиб боради ва ноль қийматга яқин бўлган тезликда *РКС* релесининг *РКС* ў контакти контактор *Ч* ни электр тармоғидан ажратади. Натижада мотор ҳам электр тармоғидан ажратилади.

17 — 7. Ўзгарувчан ток моторларининг бошқариш занжирига ток турини танлаш

Соатига 300 + 400 марта уланиб, оғир режимда ишлайдиган ўзгарувчан ток моторлари учун автоматик бошқариш занжирига ўзгармас ток аппаратларини қўллаш тавсия қилинади. Бу аппаратлар ўзгарувчан ток аппаратларига нисбатан бирмунча ишончли бўлиб, уларнинг хизмат даври нисбатан анча катта уланиш сонига тенг бўлади. Театр, музей, касалхона ва шу каби жойларда ўрнатилган электрик юритмани бошқаришда ишлатиладиган аппаратларнинг ишлаш пайтида қаттиқ шовқин чиқмаслиги учун узоқ муддатли ишлаш режимларида ҳам ўзгармас ток аппаратларидан фойдаланиш тавсия қилинади. 17 — 8- расмда ўзгарувчан ток моторини бошқариш учун ўзгармас ток аппаратурасидан фойдаланиш схемаси кўрсатилган. Бунда бош ва бошқариш занжири схемалари турли ток манбаларидан таъминлангани сабабли моторни ноль кучланиш хавфидан ҳимоялашда кучланиш релеси *РН* қўлланилади (17 — 8- расм, *а*).

Агар бошқариш занжири учун алоҳида ўзгармас ток манбаи бўлмаса, у ҳолда уни 17 — 8- расм, *в* да кўрсатилган туғрилагичнинг 3 ва 4 нуқталарига уланади. Ўзгармас токли бошқариш занжирига 220 В дан юқори бўлган кучланишни



17—8- расм.

а ва *б* — ўзгарувчан ток моторини бошқариш учун ўзгармас ток аппаратурасидан тузилган схемалари; *в* — ўзгармас ток манбаи сифатида тўғрилагичдан фойдаланиш схемаси.

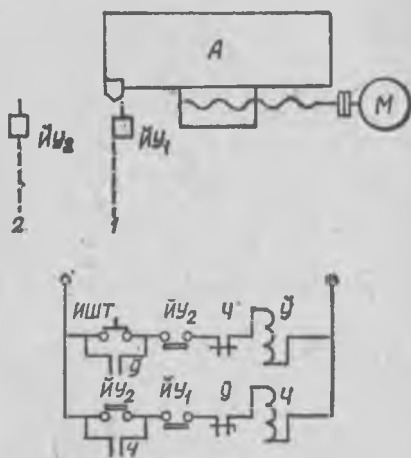
ва, демак, юқори кучланишли аппаратларни қўллаш тавсия этилмайди.

17—8. Электрик юритма билан технологик процессларни автоматлаштириш усуллари

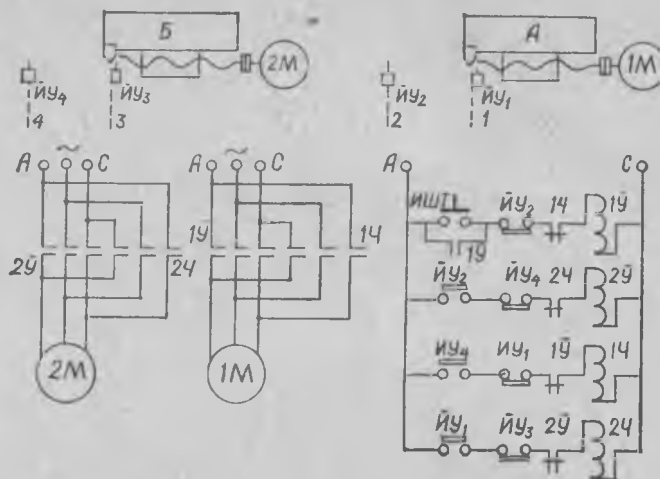
Технологик процессларни турли параметрлар, масалан, йўл, вақт, частота ва нагрузка асосида автоматлаштириш мумкин.

Йўл асосида тузилган автоматлаштириш схемаларида буйруқ берувчи аппарат сифатида турли типдаги йўлакай датчиклар (алмашлаб улагич) дан фойдаланилади.

17—9-расмда йўлакай датчиклар $ЙУ_1$ ва $ЙУ_2$ билан иш машинаси A элементини 1 ҳолатдан 2 ҳолатга, сўнгра 2 ҳолатдан дастлабки 1 ҳолатга ўтиш процессларини автоматлаштириш схемаси кўрсатилган. Бунда ИШТ кнопкаси босилиши билан мотор ўнг томонга айланишга улашиб, A элементнинг 1 дан 2 ҳолат томон илгарилема ҳаракати бошланади. A элементи 2 ҳолатга келиши билан ундаги туртгич

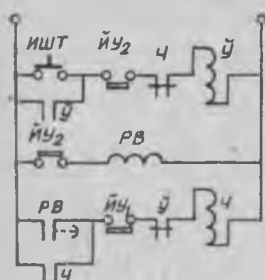


17—9- расм. Механизм иш циклини йўлакай датчик асосида электрик юритма билан автоматлаштириш схемаси.



17—10- расм. Механизм мураккаб иш циклини йулакай датчик асосида электрик юритма билан автоматлаштириш схемаси.

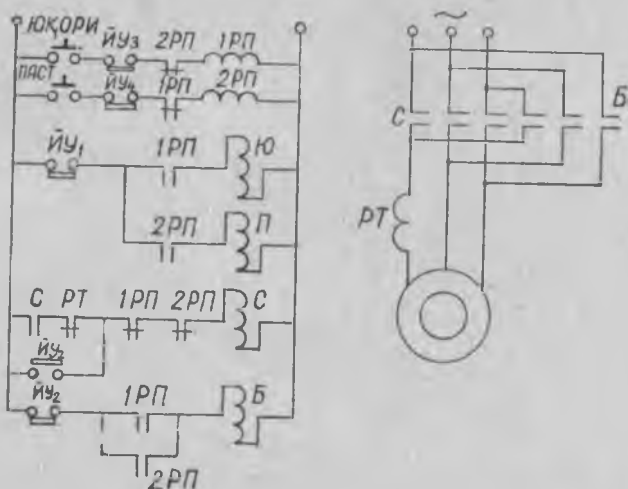
орқали $ЙУ_2$ босилиб, унинг ажратувчи контакти контактор $У$ ни электр тармоғидан ажратади, туташтирувчи контакти эса $Ч$ контакторини электр тармоғига улайди. Бунда мотор чап томонга айланишга уланиб A элементининг 2 дан 1 ҳолат томон илгарилама ҳаракати бошланади. A элементи дастлабки 1 ҳолатга келиши билан $ЙУ_1$ босилиб, унинг ажратувчи контакти $Ч$ контакторини электр тармоғидан ажратади ва натижада A элементининг ҳаракати тўхтатилади. Агар A элементи бундай ҳаракатининг автоматик равишда такрорланиши зарур бўлса, у ҳолда $ИШТ$ кнопкасининг $ЙУ_1$ ни туташтирувчи контакти билан шунтланиши кифоя. 17—10- расмда A элементи 1 дан



17—11- расм. Механизм иш циклини йулакай датчик ва вақт асосида электрик юритма билан автоматлаштириш схемаси.

2 ҳолатга ўтганидан сўнг B элементининг 3 дан 4 ҳолатга ўтишини ҳамда B элементи 4 ҳолатга келиши билан A нинг 2 дан 1 га, B ни эса 4 дан 3 ҳолатлар томон ҳаракатлантириб, бу ҳолатларга етишиш билан A ва B элементлари тўхташтини таъминлайдиган схема кўрсатилган.

A ва B элементлари бундай ҳаракат циклини ўз-ўзидан такрорлаш учун $ЙУ_1$ ва $ЙУ_3$ нинг кетма-кет уланган туташтирувчи контактларини $ИШТ$ кнопкаси билан шунтлаш кифоя. Юқоридаги схемаларда минимал ёки ноль кучланиш хавфидан ҳимояланиш учун уларни электр тармоғига улашда схемага яна битта кучланиш релесини киритиш кифоя.



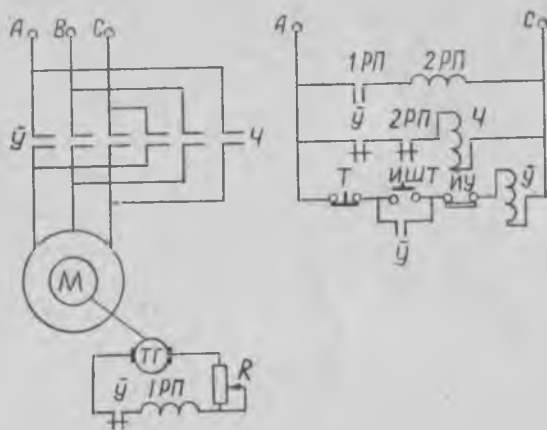
17—12- расм. Механизм иш циклини йўлакай датчик ва нагрузка асосида электрлик юритма билан автоматлаштириш схемаси.

Вақт асосида тузилган автоматлаштириш схемаларида буйруқ берувчи аппарат сифатида турли типдаги вақт релеларидан фойдаланилади. 17 — 11- расмда ИШТ кнопоксини босиш билан А элементини 1 дан 2 ҳолатга келтириб, сўнгра берилган вақт ўтганидан кейин уни дастлабки ҳолатига келтириб тўхтатиш схемаси кўрсатилган.

Бундай автоматлаштириш схемаларида вақт релеси РВ йўлакай датчиклар билан биргаликда қўлланилади.

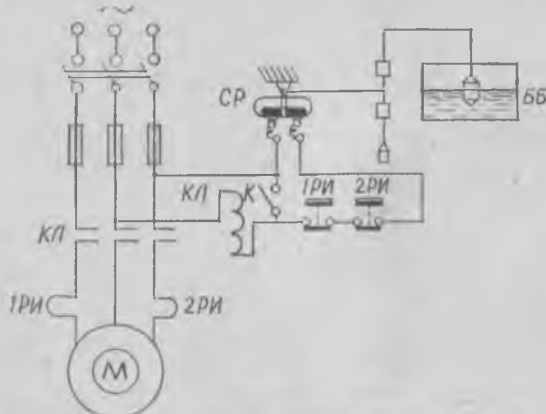
Нагрузка асосида тузилган автоматлаштириш схемаларида буйруқ берувчи аппарат сифатида ток релесидан ҳам фойдаланиш мумкин. 17 — 12- расмда станок поперечинасини тепага, пастга қараб ҳаракатлантириш ва тўхтатилиши билан уни дарҳол станок устунларига маҳкамлаб қўйиш схемаси кўрсатилган. Бундай автоматлаштириш схемаларида ток релеси йўлакай датчиклар билан биргаликда қўлланилади.

Частота асосида тузилган автоматлаштириш схемаларида буйруқ берувчи аппарат сифатида тахогенератор (частота датчиги) дан фойдаланилади. Технологик процесс талабига биноан, электрлик юритмани аниқ жойда ёки аниқ ҳолатда тўхтатиш лозим бўлади. Маълумки, аниқ тўхтатиш учун, даставвал, моторнинг бошланғич айланиш частотасини мумкин қадар пасайтириш керак. 17 — 13- расмда технологик процесс тугаши билан электрлик юритма дастлабки частотасини импульс усули билан пасайтирувчи схема кўрсатилган. Бундай автоматлаштириш схемаларида ҳам частота датчиги йўлакай датчиги билан биргаликда қўлланилади. Технологик процесснинг



17—13- расм. Механизм иш циклини йўлакай датчик ва частота асосида электрик юритма билан автоматлаштириш схемаси.

тугаши билан йўлакай датчиги ЙУ босилиб, унинг контакти контактор У занжирини электр тармоғидан ажратади. Натижада мотор ҳам электр тармоғидан ажраб, частотаси камайиб боради. Частотанинг кичик бир қийматида тахогенератор кучланишидан таъминланувчи реле 1РП контакти моторни тескари томонга айлантирувчи контактор Ч ни электр тармоғига улайди. Бунда мотор тормозланиб частотаси нолгача пасаяди, сўнгра тескари томонга айлана бошлайди. Частота қиймати берилган кичик қийматдан кўпайиши билан тахогенератор якориға уланган реленинг контакти Ч контакторини электр тармоғидан узади. Бунда мотор ҳам электр тармоғидан уви-либ, унинг частотаси яна пасая бошлайди ва ҳоказо. Натижада

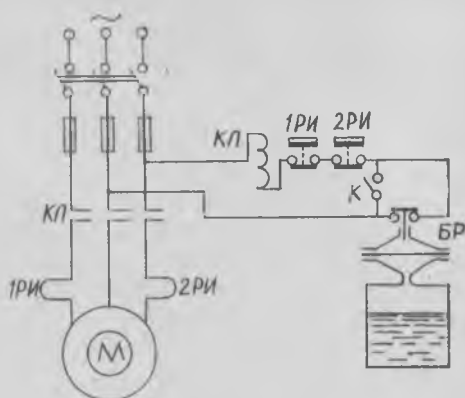


17—14- расм. Насос станцияси ишнинг электрик юритма билан автоматлаштириш схемаси.

мотор ўртача қиймати паст бўлган частота билан ишлай бошлайди.

17 — 14- расмда сув билан таъминловчи насос станцияси ишини электрик юритма билан автоматлаштириш схемаси кўрсатилган. Бунда насос станцияси автоматик равишда ишлаши учун команда (буйруқ) берувчи асосий аппарат сифатида қалқовичли реледан фойдаланилади.

Қалқовичли реленинг симбли контакт системаси насос моторини бошқарувчи контактор чул-



17—15- расм. Босимли қозонга эга насос станцияси ишини электрик юритма билан автоматлаштириш

ғами занжирга кетма-кет уланади. Симбли контактнинг ҳолати босим баки *ББ* даги сув сатҳига боғлиқ бўлиб, унинг юқори сатҳида очик, қуйи сатҳида эса берк бўлади. Рубильник уланиши билан мотор *М* сувни насос орқали бакка кўтара бошлайди ва сувнинг сатҳи юқори белгига етганда, мотор автоматик равишда тўхтатилади. Бакдаги сув истеъмолчиларга тарқатилганда унинг сатҳи пасайиб боради ва пастки белгида мотор ўз-ўзидан уланиб, бакни яна сув билан тўлдирга бошлайди. Насос станциясини автоматик равишда ишлатувчи системада бирор бузуқлик содир булса, уни калит *К* билан бошқарилади. 17—15- расмда ҳаво-сув босимли қозонга эга бўлган насос станцияси ишини автоматлаштириш схемаси кўрсатилган.

Насос станцияси ишини автоматлаштиришда буйруқ берувчи асосий аппарат сифатида босим релеси *БР* дан фойдаланилади. Сув истеъмолчиларга тарқатилганда берк қозондаги босим камайиб, босим релесининг контакти беркилади ва насос мотори ўз-ўзидан ишга тушади. Насос станциясини ишлаб турганда истеъмолчилардан ортиб қолган сув яна қозонга тушади. Қозондаги сув кўпайиши билан, унинг босими ҳам ортиб боради ва бу босимнинг берилган қийматида босим релеси ўз контактини очиб, моторни электр тармоғидан ажратишга буйруқ беради. Автоматик системада бирор бузуқлик содир бўлиб қолса, насос станцияси ишини калит *К* билан бошқариш мумкин.

17 — 9. Станокларнинг автоматик линиялари

Мураккаб шаклли материалга турли хил ишлов берилганда ёрдамчи ҳаракат процессларига жуда кўп вақт сарфланади.

Ҳақиқатан, материални бирор типдаги станокка ўрнатиш,

уни қисқини, станокни ишга тушириш ва тўхтатиш, ишлов берилган материални бўшатиб, уни бошқа типдаги станокка ўрнатиш каби ёрдамчи ҳаракат процессларига куп вақт кетиб, меҳнат унуми паст бўлади.

Агар мураккаб материалга ишлов бериш учун бир неча агрегат станокларини технологик талабга кўра бир қаторга ўрнатиб, улардан автоматик линия тузилса, ёрдамчи ҳаракатлар вақти анчагина қисқариб, станоклар линиясининг иш унуми ортади, маҳсулот сифати яхшиланади. Бунда турли хил кескич асбоблари ўрнатилган каллакли шпиндель, агрегат станоклари, ишлов берилувчи материални узатиш транспортёри ва қиспиш қурилмалари орқали бир-бири билан кинематик боғланишда ҳамда узаро блокировка алоқаларига эга бўлади.

Автоматик линияларда берилган буйруқнинг бажарилиши, асосан, йўлакай датчиклар билан назорат қилиниб турилади. Бундай линиялар автоматик, ярим автоматик ва созлаш режимларида ишлаши мумкин.

Линиянинг автоматик иш режимида, ишлов берилувчи материал даставвал берилган ҳолатда ўрнатилиб маҳкамланади, сўнгра кескичлар ўрнатилган шпиндель каллагини у томон катта частотада йўналтирилади ва улар орасидаги масофа берилган қийматга тенглашганда каллак ҳаракати кичик иш частотага ўтказилади. Ишлов бериш процесси тугагач, ҳамма каллаклар дастлабки ҳолатларига катта частота билан қайтарилади, материал эса бўшатилиб, транспортёр ёрдамида кейинги ишлов бериш жойига узатилади ва шу билан автоматик иш цикли тугаб, кейинги цикл бошланади. Бирор авария сабабли тўхтаб қолган линияни қайтадан ишга тушириш учун созлаш кнопоклари билан ҳамма механизмларни дастлабки ҳолатларига қайтариш лозим, акс ҳолда автоматик блокировка линияни ишга туширишга йўл қўймайди. Автоматик линиялар ишнинг ишончлироқ булишини таъминлаш учун уларда қўлланилган бошқариш аппаратлари сонини иложи борица камайтириш, кичик тоқларга мўлжалланган ихчам ва контактсиз асбоб, аппарат ва мантиқий элементлардан фойдаланиш тавсия қилинади.

Станоклар линиясида асосий мотор сифатида қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторларни қўлланилиб, улар гидравлик мосламалар билан биргаликда ишлатилади.

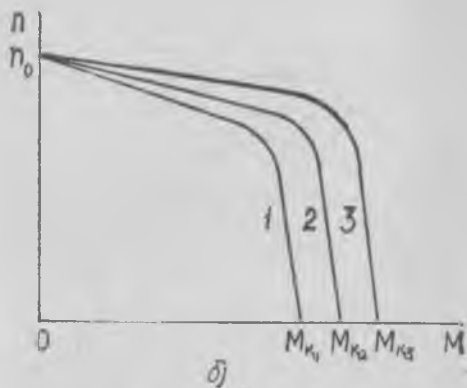
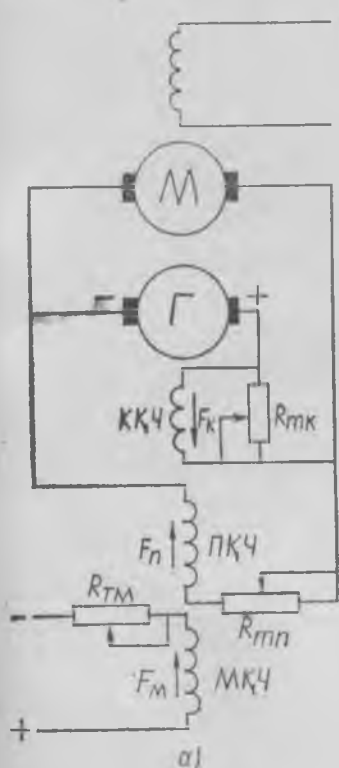
17 — 10. Берк системали автоматик бошқариш схемалари

Тескари алоқа занжирига эга бўлган системалар берк бошқарини системаси дейилади. Электрик юритма системасини жадал ишга тушириш ва тормозлаб тўхтатиш, унинг турғун частотасини ўзгартирмай сақлаш ва кенг миқёсда ростлаш, моторнинг турли типдаги механикавий характеристикаларга

эга бўлишини таъминлаш учун берк системали автоматик бошқариш схемалардан фойдаланилади.

17 — 16- расм, а да учта қўзғатиш чулғамига эга бўлган берк занжирли генератор-мотор системаси кўрсатилган: бунда F_m , F_n ва F_k — тегиншлича генераторнинг мустақил, параллел ва кетма-кет қўзғатишли чулғамларининг магнит юритувчи кучлари (ампер-ўрамлари); R_{tm} , R_{tn} ва R_{tk} — тегиншлича мустақил, параллел ва кетма-кет қўзғатишли чулғам занжирларига киритилган ташқи қаршиликлар. Бу қаршиликлар билан $F_m = I_m W_m$; $F_n = I_n W_n$ ва $F_k = I_k W_k$ қийматлари ростланади. Генератор кучларининг ва, демак, мотор частотасини кенг диапозонда ростлаш учун R_{tm} ва R_{tn} қийматларини ўзгартириш керак бўлади. 17 — 16- расм, б да кўрсатилган экскаватор типли механикавий характеристикаларнинг кескин бурилишига тегиншли қисқа туташини моменти M_k ёки токи I_k қийматларини ростлаш учун эса R_{tk} ни ўзгартириш керак бўлади. Экскаватор ва шу каби иш машиналарнинг баъзи

механизмларида тез-тез ўта юкланиш ҳоллари содир бўлиб туради. Бунда нагруканинг қиймати ҳатто юритмани тўхлатиб қўйиш даражасигача ортиб бориши мумкин. Бундай ҳолларда электрик юритманинг механикавий характеристикаси кескин бурилишга эга бўлиб, мотор ўзига хавфли бўлган қисқа туташини, яъни $n=0$, $I=I_k$, $M=M_k$ режимларидан автоматик равишда ҳимояланиши керак. Кескин бурилишли,



17—16- расм. Учта қўзғатиш чулғамли генераторга эга бўлган генератор-мотор системаси:

а — схемаси; б — экскаватор типли механикавий характеристикаси.

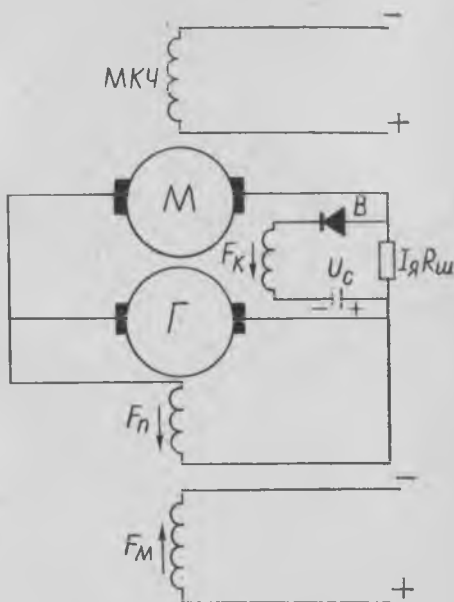
яъни экскаватор типли деб аталувчи механикавий характеристикани олиш учун моторни таъминловчи ток манбаини ташқи характеристикаси кескин бурилишга эга бўлиши лозим. Учта чулғамли генератордан кескин бурилишли характеристика олиш учун унинг магнит юритувчи кучнинг умумий қиймати $F_{\Sigma} = F_{\Pi} + F_{\text{м}} - F_{\text{к}}$ бўлиши керак.

17 — 11. Тескари алоқа занжирлари

Бирор системанинг кейинги звеноларидан энергия олиб, сўнгра бу энергия билан унинг олдинги звеноларига таъсир этувчи занжир тескари алоқа деб аталади. Тескари алоқа занжири бир қанча элементлардан иборат бўлиб, унинг таъсирини 17 — 16- расм, *а* даги генератор-мотор системаси мисолида кўрсатиш мумкин. Бунда генератор мустақил қўзғатиш чулғамини унинг бошқарувчи чулғами, параллел ва кетма-кет чулғамлари эса унинг тескари алоқа чулғамлари дейилади. Тескари алоқа чулғамларининг уланиш жойи ва схемасига қараб, уларни ток, кучланиш ёки частота асосида тузилган тескари алоқалар деб аталади. Агар тескари алоқа занжиридаги сигнал асосий бошқариш чулғамидаги сигналга мос бўлиб, умумий сигнални кучайтирса, бундай тескари алоқани мусбат, акс ҳолда манфий тескари алоқа дейилади. Агар тескари алоқа занжиридаги сигнал қиймати ростланувчи миқдорнинг ўзгаришига пропорционал бўлса, уни қаттиқ, ростланувчи миқдорнинг ўзгариш частотага пропорционал бўлган тақдирда эса эластик тескари алоқа деб аталади. Демак, уч чулғамли генераторнинг параллел қўзғатишли чулғами унинг кучланишига биноан мусбат ва қаттиқ тескари алоқани ифодадаласа, кетма-кет қўзғатиш чулғами якорь занжиридаги нарузка токига биноан манфий ва қаттиқ тескари алоқани ифодалайди. Шу сабабли бирор турғун режимда ишлаб турган моторнинг нарузкаси кескин ўзгарса, генератор қутбларида ўрнатилган учта қўзғатиш чулғамидаги токлардан ҳосил бўлган F_{Σ} ва демак, кучланишнинг қиймати кескин камаяди. Демак, бундай генератордан таъминланувчи моторнинг механикавий характеристикаси ҳам уни хавфли нарузкадан автоматик равишда ҳимояловчи кескин бурилишли характерга эга бўлади. Агар 17 — 16- расм, *а* даги ток ва кучланишга биноан олинган тескари алоқа токлари йўналишини тескарисига ўзгартирилса, у ҳолда $F_{\Sigma} = F_{\text{м}} + F_{\text{к}} - F_{\text{п}}$ бўлиб, моторнинг механикавий характеристикаси кескин бурилиш ўрнига юқори қаттиқликка эга бўлади ва, демак, берилган турғун частота қиймати ўзгартирилмай сақланади.

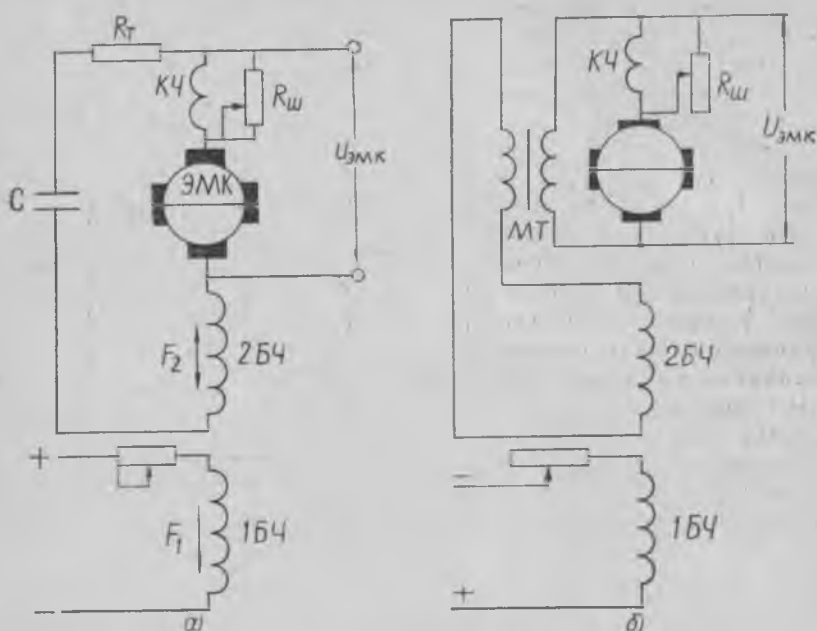
17 — 17- расмда кечиктирилган тескари алоқа занжирли $\Gamma - M$ системаси кўрсатилган. Учта чулғамли генераторнинг вентиль ва ўзгармас ток манбаи орқали уланган кетма-кет

қўзғатишли чулғами кечиктирилган тескари алоқа занжири деб аталади. Кечиктирилган тескари алоқа занжиридан нагрузкага пропорционал бўлган токнинг ўтиши учун $I_a R_{ш} > U_c$ бўлиши лозим, бунда U_c — кечиктирилган тескари алоқа занжиридаги ток манбаининг ўзгармас қийматли кучланиши. Бунни солиштирилувчи кучланиш деб ҳам аталади. Агар экскаватор типли механикавий характеристика олиниши керак бўлиб, унинг кескин бурилишидаги нагрузка токи $I_a = I_c = 2 I_n$ бўлса, у ҳолда $2 I_n R_{ш} > U_c$ бўлиши лозим. Демак, нагрузка токининг қиймати чегаравий қиймат $2 I_n$ га тенглашгандан



17—17- расм. Кечиктирилган тескари алоқа занжири генератор-мотор системасининг схемаси.

сўнг кечиктирилган тескари алоқа чулғамидан $I_k = \frac{I_a R_{ш} - U_c}{R_k}$ ток ўтиб, $F_k = I_k W_k$ ҳосил бўлади. Натижада $F_{\Sigma} = F_m - F_n - F_k$ қиймати кескин камайиб экскаватор типли механикавий характеристика олинади. Демак, берилган нагрузка қийматида кескин бурилиши аниқ бўлган экскаватор типли характеристикани олиш учун кечиктирилган тескари алоқа занжири бўлиши шарт. Мотор частотасини ўзгартирмай сақлаш, уни кенг диапазонда ростлаш ҳамда экскаватор типли механикавий характеристикага эга бўлиш учун, кўпинча, электромашинавий кучайтиргичли $\Gamma - M$ системаларидан фойдаланилади. Бундай системаларда кўндаланг магнитавий майдонли электрик машинавий кучайтиргич ЭМК нинг қўзғатиш чулғамларидан бири бошқариш, иккинчиси мўътадиллаштириш, қолганлари эса турли параметрлар бўйича тескари алоқа вазифаларини бажаради. ЭМК нинг кучайтириш коэффициенти $K_p = \frac{P_{инк}}{P_{кир}} = 10^4$ бўлгани учун кириш параметрларининг айниқса ўткинчи режим пайтида бир оз ўзгариши чиқиш параметрларининг кескин ўзгариши мумкин. ЭМК чиқиш кучланишини ўзгартирмай сақлаш учун қўзғатиш чулғамларидан бири 17—18- расм, а даги схемага биноан уланиб, мўътадиллаштириш вазифасини бажаради. Бунда ЭМК чиқиш кучланиши қиймати



17—18- расм. Кўндаланг магнитавий майдонли электрик машинавий кучайтиргичнинг муътадиллаштириш схемалари:

a — конденсаторли; *б* — муътадиллаштирувчи трансформаторли схемалар.

аста-секин ўзгарса ёки ўзгармаса, у ҳолда муътадиллаштирувчи чулғам $2Б4$ занжиридан ток ўтмайди, кескин ўзгарганида эса, масалан, купайганида, конденсатор зарядлана бошлайди ва, демак, ундан зарядлаш токи ўтиб камайганида разрядлаш токи утади. Демак, муътадиллаштирувчи чулғам занжири эластик тескари алоқа вазифасини бажариб $2Б4$ дан ўтган зарядлаш токининг магнит юритувчи кучи $U_{ЭМК}$ қийматини пасайтириш, разрядлаш токига тааллуқли кучи эса $U_{ЭМК}$ ни купайтириш керак. Натижада $U_{ЭМК}$ қиймати тезда муътадиллашади. Ўрта ва катта қувватли ЭМК ларнинг муътадиллаштирувчи чулғами махсус трансформатор орқали уланади (17 — 18- расм, *б*). Агар ўткинчи режим пайтида $U_{ЭМК}$ қиймати кескин ўзгарса, муътадиллаштирувчи трансформатор MT нинг иккиламчи чулғамида э. ю. к. ҳосил бўлади ва натижада $2Б4$ дан ток ўтиб, ундан ҳосил бўлган магнит юритувчи куч таъсирида $U_{ЭМК}$ қиймати тезда муътадиллашади. Бунда MT нинг трансформация коэффициентини ўзгартириб, $2Б4$ га хавфли бўлмаган кучланишни бериш ҳамда унга системанинг турли қисмларидан олинган бир неча сигналларни киритиш имкони олинади.

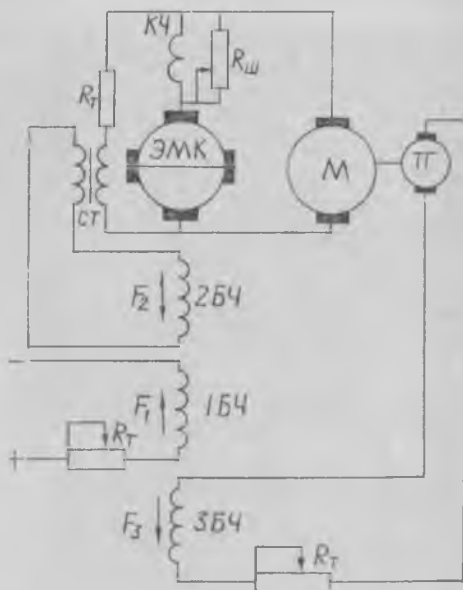
17 — 12. Электрик машинавий кучайтиргичли генератор-мотор электрик юритма системаси

СССР да кўндаланг магнитавий майдонли ЭМК ларнинг қуввати бир неча ватт дан 25 кВт гача бўлган турларини ишлаб чиқариш ўзлаштирилган. Уларни кичик ва уртача қувватли моторлар учун бевосита генератор сифатида қўллаш мумкин.

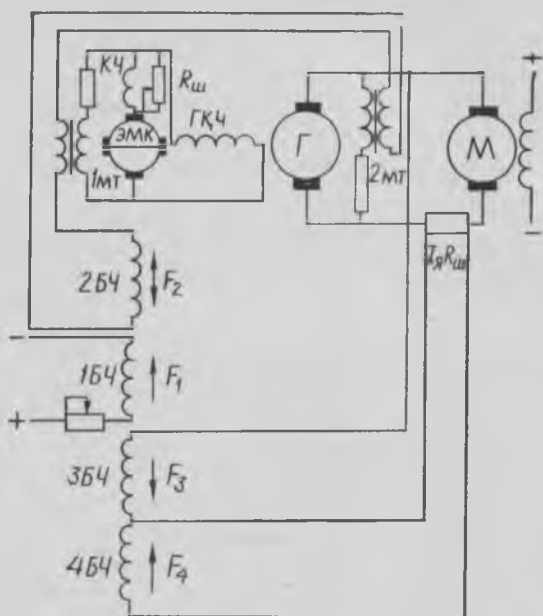
17 — 19- расмда ЭМК ли Г — М системаси кўрсатилган. Бу система билан мотор механикавий характеристикасининг қаттиқлигини ва, демак, унинг берилган частотасини ўзгартирмай сақлаш, ҳамда уни кенг диапазонда ростлаш имкони олинади. Бунинг учун учинчи бошқариш чулғамига мотор частотаси бўйича манфий бўлган тескари алоқали сигнал киритилади.

Частота бўйича тескари алоқа сигнални олиш учун тахогенератор кучланишиндан фойдаланилади. Бунда тескари алоқа чулғами таъминланадиган тахогенератордаги э. ю. к. $E_{\text{т}} = k_{\text{э}} n \Phi$ бўлади. Мотор частотасини ўзгартирмай сақлаш учун тескари алоқа занжиридаги магнит юритувчи куч F_3 нинг йўналиши бошқариш чулғами токидан ҳосил бўлган F_1 га тескари, яъни $F_2 = F_1 - F_3$ бўлиши лозим. Ҳақиқатан, нагрузканинг ортиб бориши билан мотор частотасини ўзгартирмаслик учун унинг якорига берилувчи кучланиш қийматини ҳам берилган қонунига биноан ортиб боришини таъминлаш

керак. Демак, нагрузка кўпайиши билан частота ва F_3 камайиши сабабли кучланишнинг ортиб боришини таъминлаш учун F_2 ортиб бориши керак. Бунинг учун эса тескари алоқа манфий, яъни $F_2 = F_1 - F_3$ бўлиши лозим. Частота бўйича тескари алоқа занжирига турли типдаги кучайтиргичларни киритиб, бундай система частотасини $D = 1000$ в.т. ундан ҳам юқоригача бўлган диапазонда ростлаш имкони олинади. 17 — 20- расмда катта қувватли Г — М системасида ЭМК нинг генератор қўзғатгичи сифатида ишлатилиши кўрсатилган. Бунда ЭМК даги муътадиллаштурувчи БЧ



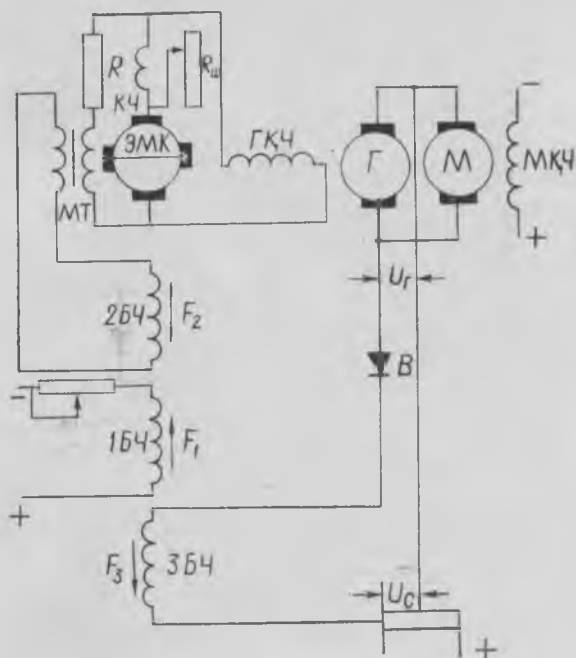
17—19- расм. Электрик машинавий кучайтиргичли генератор-мотор системасининг схемаси.



17—20- расм. Э. М. К. ли қузғатғичга эга ге-
нератор-мотор системасининг схемаси.

чулғамга $U_{эмк}$ ва U_r кучланишлари бўйича $1МТ$ ва $2МТ$ орқали эластик бўлган тесқари алоқа сигналлари киритилади.

Шу сабабли система муътадиллиги (турғунлиги) юқори, яъни унинг ўткинчи процесслардан сўнг ўзининг дастлабки кўрсаткичларига эришиши тез ва аниқ бўлади. Мотордаги э. ю. к. $E_m = k_E n_m \Phi_m = U_r - I_a R$ бўлиб, унинг частотаси $U_r - I_a R$ га пропорционаллиги сабабли $3БЧ$ ва $4БЧ$ ларга киритилган кучланиш бўйича манфий ва ток бўйича мусбат тесқари алоқалар орқали мотор частотаси бу системада ҳам ўзгартирилмай сақланади. $ЭМК$ нинг $1БЧ$ чулғамига бериладиган токнинг қиймати нормал ишлаш режимидагига нисбатан $6 + 7$ марта катта бўлса, бундай электрик юритма системасини жадал ишга тушириш мумкин. Ҳақиқатан, бундай катта ток таъсирида $ЭМК$ нинг магнитавий системаси тезда тўйиниб унинг $U_{эмк}$ кучланиши ва генераторнинг қузғатиш токининг қиймати кескин равишда кўтарила бошлайди. Генератор кучланиши U_r нинг бир текисда ортиб бориши сабабли якорь занжиридаги ток ва, демак, мотор айлантирувчи моментининг қиймати ўзгармас бўлиб, электрик юритма жайдал ишга туширилади. Бундай ишга тушириш процессида частотанинг ўзгариши ҳам мақсадга мувофиқ равишда бир текис ва силлиқ ўтади. Аммо частота ортиб бориши билан F_3 кўпайиб $F_2 =$

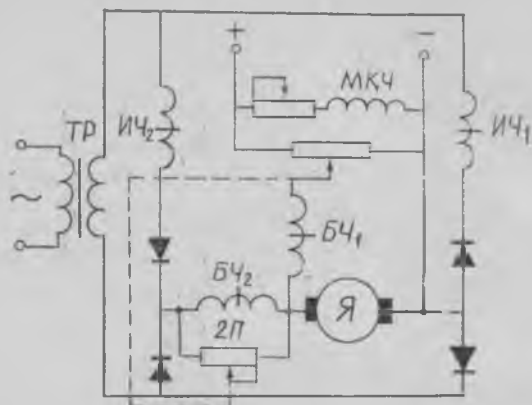


17—21- расм. Жадаллик билан ишга туширилувчи генератор-мотор системасининг схемаси.

$= F_1 - F_3 + F_4$ эса камайиб боради. ЭМК нинг тўйинган ҳолатида F_2 нинг камайиши сезиларли бўлмайди, тўйинмаган ҳолатга ўтиб ишлаши билан эса F_3 нинг кўпайиши F_2 ни кескин камайтириб юборади ва, натижада, моторни ишга тушириш процессининг жадаллиги ҳам пастлашиб кетади. 17 — 21- расмда бундай камчиликдан холи бўлган, яъни бир хил жадаллик билан ишга туширилувчи $\Gamma - M$ системасининг схемаси кўрсатилган. Бунда генератор кучланиши бўйича олинган манфий ва кечиктирилган тескари алоқа асосида ишга тушириш процесси тугагунга қадар жадаллик принциpidан тўла фойдаланилади.

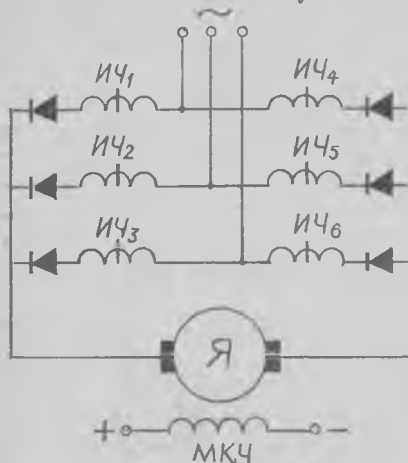
17 — 13. Магнитавий кучайтиргичли электрик юритма системалари

Магнитавий кучайтиргичнинг чала ўтказгичли тўғрилагич билан биргаликда тўғриланган кучланишни бошқарадиган ўзгартгич сифатида қўллаш мумкин. 17 — 22- расмда берилган частотани ўзгартирмай сақловчи $\Gamma - M$ системаси сингари принципда ишлайдиган магнитавий кучайтиргич — мотор МК — M системасининг схемаси кўрсатилган. Бунда $ИЧ_1$ ва $ИЧ_2$



17—22- расм. Берилган частотани ўзгартирмай сақловчи магнитавий кучайтиргич — мотор системасининг схемаси.

— магнитавий кучайтиргич иш чулғамининг қисмлари бўлиб, $БЧ_2$ —ток бўйича, $БЧ_1$ эса кучланиш бўйича тескари алоқа ва бошқарувчи чулғам вазифасини бажарувчи чулғамлар. Демак, $БЧ_1$ га потенциометр $П$ орқали берилувчи бошқариш токи қийматини ўзгартириш билан мотор кучланиши ва, демак, частотасини $10 + 12$ диапазонда ростлаш мумкин. Агар $МК$ нинг бошқариш чулғамига частота бўйича тескари алоқани тахогенератор орқали берилгудай бўлса, у ҳолда бундай система билан тезликни $D = 100$ ва ундан ортиқ диапазонда ҳам ростлаш



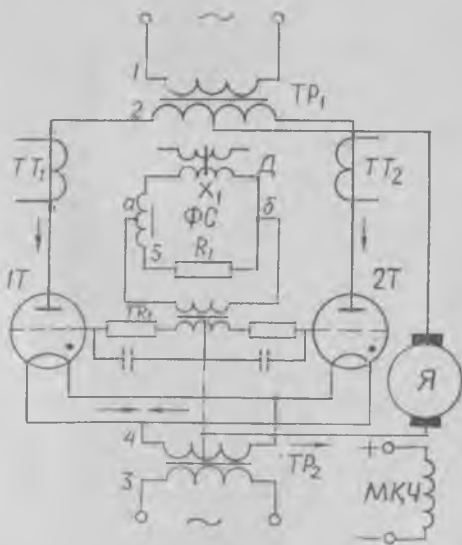
17—23- расм. Уч фазали кўприк схемасида уланган магнитавий кучайтиргич — мотор системасининг схемаси.

имкони олинади. 17 — 23-расмда катта қувватли моторларни магнитавий кучайтиргич — мотор системаси билан бошқариш схемасининг бош занжири кўрсатилган. Бунда магнитавий кучайтиргичи иш чулғамлари ва вентиллари уч фазали кўприксимон схема билан улаш яхши натижалар беради, яъни моторнинг паст частоталарда ҳам муътадил ишлаши таъминланади (бир фазали схемаларга нисбатан тўғрилانган кучланишнинг пульсацияланиши камаяди). Бу схемада ҳам частотани ростлаш учун $МК$ нинг кетма-кет уланган бошқариш чулғамларига (схемада кўрсатилмаган) бериладиган ток

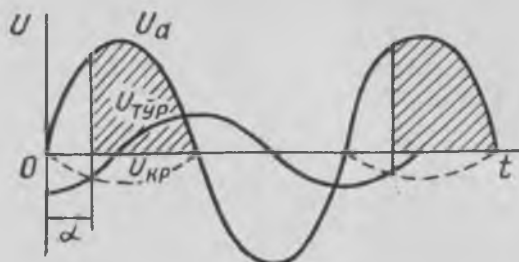
қийматини ўзгартириш кифоя. Частотани кўпайтириш учун бошқариш чулғами токини кўпайтириш, уни камайтириш учун эса бошқариш чулғами токини камайтириш лозим. Моторни магнитавий кучайтиргич билан бошқариш схемаларида реверслаш учун якори занжирига реверсив контакторларнинг контактлари киритилади. Агар контакторлар ёрдамида реверслаш тавсия қилинмаса, у ҳолда моторни реверслаш учун икки комплект магнитавий кучайтиргични схемага киритиш лозим. Магнитавий кучайтиргич — мотор системасидан иборат электрик юритма $\Gamma - M$ га нисбатан анча юқори техникавий ва иқтисодий кўрсаткичларга эга бўлади.

17 — 14. Ион ва чала ўтказгичли электрик юритма система- лари

Тиратрон ёки бошқарилувчи симобли тўғрилагичдан таъминланувчи мотор системаси ион электрик юритмаси дейилади. 17 — 24- расмда электрон ва ион асбоблари билан бошқариладиган ва *Элпр* деб аталувчи электрик юритма системасининг бош занжир схемаси кўрсатилган. Бунда параллел қўзғатишли моторга бериладиган ростланувчи кучланиш кўприк схема асосида уланган 17 ва 27 тиратронларининг диагоналидан олинади. Тиратронлардан ток бир томонлама ўтиши учун уларнинг аноди катодга нисбатан мусбат потенциалга эга бўлиши лозим. Бунда катоддаги электрон ионлашган газ орқали анодга тортилиб, натижада тиратрондан ток ўта бошлайди. Бу ток схемада кўрсатилган йўналишида мотордан ўтиб, яна тиратронга қайтади ва шу билан ток занжири бекилади. Анод трансформатори T_{p1} чулғамида ҳосил бўлган э. ю. к. нинг иккинчи ярим даврида ҳам бошқа тиратроннинг аноди мусбат потенциалга эга бўлиб, мотордан яна илгариги йўналишда ток ўта бошлайди. Шундай қилиб, ўзгарувчан токнинг иккала ярим даврида ҳам мотордан бир хил йўналишдаги пульсацияланувчи ток ўтади.



17—24- расм. Элпр системаси бош занжирининг схемаси.



17—25- расм. Тиратрон тўрига бериладиган потенциалнинг берилган фазасида ундан утувчи тўғрилانган токнинг қиймати.

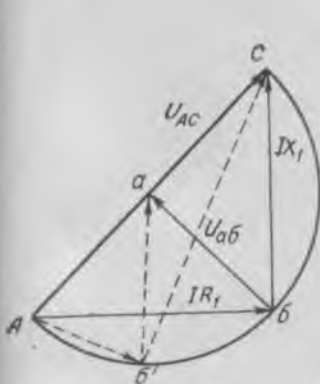
Бу тўғриланган ток ёки кучланишнинг ўртача қийматини рoстлаш учун тиратрон тўрига бериладиган потенциалнинг қийматини ва фазасини ўзгартириш лoзим.

Ҳақиқатан, тиратрон тўрига маълум қийматли манфий потенциал бериб, уни ёндирмаслик, яъни ундан токни ўтказмаслик мумкин. Бунда тиратрон анодидаги мусбат потенциал қанча катта бўлса, уни ёндирмаслик учун тўрға бериладиган манфий потенциал ҳам нисбатан катта бўлади. 17 — 25- расмда анодига синусоидал кучланиш берилган тиратронни тўридаги манфий потенциал критик қиймати $U_{кр}$ нинг ўзгариши кўрсатилган. Агар тўрдаги потенциал қиймати $U_{тур} > U_{кр}$ бўлса, у ҳолда тиратрон ёна олмайди ва аксинча.

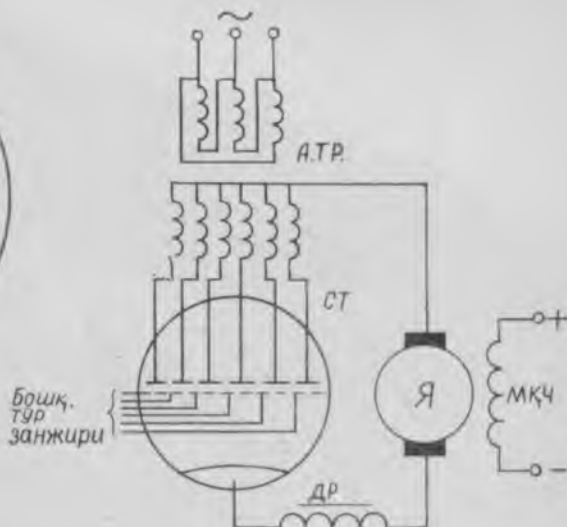
17 — 25- расмда тиратрондан ўтган тўғриланган ток ёки кучланиш қиймати аноддаги кучланишнинг штрихланган қисми билан кўрсатилган. Демак, тўрға бериладиган потенциал фазасини аноддагига нисбатан турли α бурчакларга суриш билан тиратрондан ўтган ток ёки кучланиш ўртача қийматини рoстлаш имкони олинади.

Тўрға бериладиган потенциаллар фазасини ўзгартириш учун турли типдаги фаза силжитгичлар қўлланилади. Фаза силжитгич сифатида илгарилари индукцион машинадан иборат фаза рoстлагичдан фойдаланилган бўлса, ҳозирги пайтда, кўпинча, статик фаза силжитгичлардан фойдаланилади. 17 — 24- расмда индуктив қаршилиги ўзгартириладиган кўприк схемали статик фаза силжитгичнинг схемаси кўрсатилган. Фаза силжитгичнинг иккита елкаси трансформатор TP_2 нинг иккиламчи чулғами 5 дан иборат бўлиб, учинчи елкаси актив R_1 , тўртинчиси эса индуктив X_1 қаршиликлардан иборат бўлади.

Бунда қиймати рoсланувчи индуктив қаршилик X_1 сифатида дроссель D нинг иш чулғами олинади. Фаза силжитгичнинг ab диагоналига тиратронлар тўрини ток билан таъминловчи трансформатори TP_3 нинг бирламчи чулғами уланган бўлиб, унга U_{ab} кучланиши берилади. 17 — 26- расмда фаза силжитгичнинг векторий диаграммаси кўрсатилган. Бунда U_{ac}



17—26- расм. Индуктив қаршилиги узғартириладиган куприк схемали фаза силжитгичнинг векторий диаграммаси.

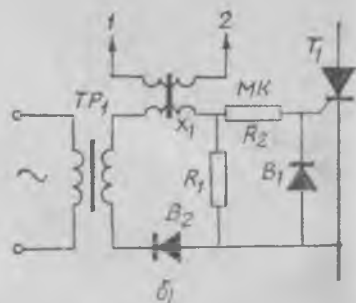
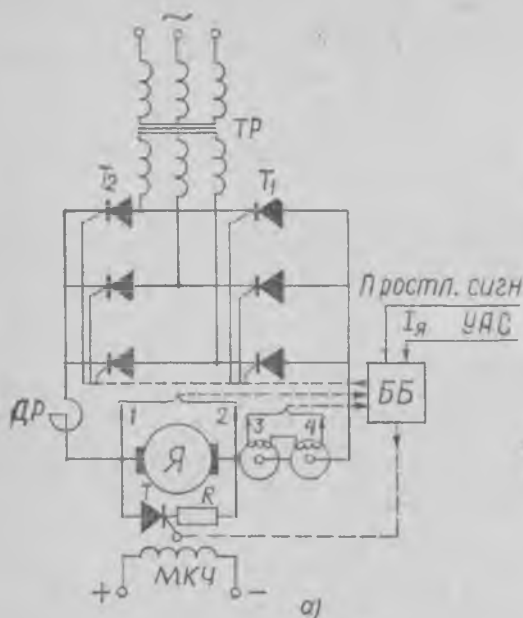


17—27- расм. Бошқарилувчи симобли туғрилагич-мотор системаси бош занжирининг схемаси.

— трансформатор чулғамидаги кучланиш вектори бўлиб, унинг қиймати $U_{AC} = I_1 X_1 + I_1 R_1 = \text{const}$ булгани учун X_1 қийматининг узғариши билан U_{ab} кучланиши векторининг b нуқтаси U_{ab} радиусли ярим доира бўйича силжийди.

Демак, a ва b нуқталардан олинадиган кучланишнинг қиймати узгармас, фазаси эса U_{AC} га нисбатан мос ёки 180° гача фарқ қилади. Шунга биноан тиратрон тўрига берилувчи кучланишнинг фазаси U_{AC} га ва, демак, тиратрон анодидаги кучланишнинг фазасига нисбатан ҳам 180° гача фарқ қилиши мумкин. *Элир* системасининг техникавий-иқтисодий кўрсаткичлари $\Gamma - M$ никига нисбатан паст бўлгани учун ундан деярли фойдаланилмайди. Амалда бошқарилувчи симобли туғрилагич ва мотордан иборат бўлган БСТ — М деб аталувчи ион электрик юритма системасидан кенг фойдаланилади. 17—27- расмда БСТ — М системасининг бош занжир схемаси кўрсатилган. Бу системада ҳам симобли туғрилагич тўрига бериладиган кучланиш фазасини анод кучланиши фазасига нисбатан узғартириш учун турли типдаги фаза силжитгичлардан фойдаланилади.

17 — 28- расм, a да юқоридаги системаларга нисбатан анча юқори техникавий-иқтисодий кўрсаткичларга эга бўлган тиристор-мотор системаси кўрсатилган. Бунда якорь токи бўйича манфий ва кечиктирилган тескари алоқага биноан ишга



17—28. расм.

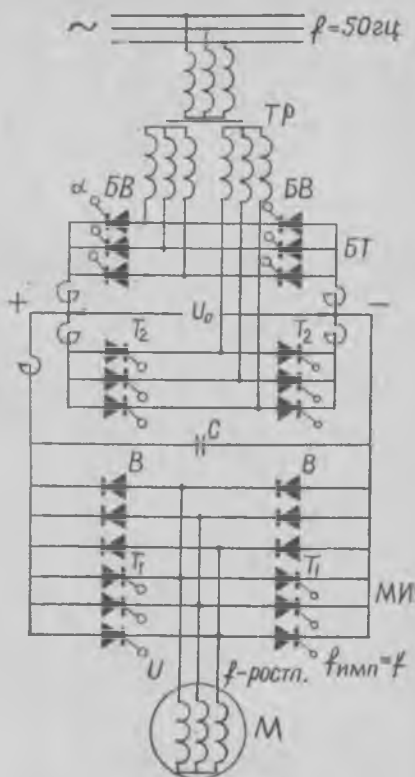
α — тиристор-ўзгармас ток мотори системаси бош занжирининг схемаси;
 δ — ҳар бир тиристорнинг очилиш бурчагини бошқарувчи занжирининг схемаси.

тушириш токи берилган қийматда сақланиб, бу билан процесснинг жадал ўтиши таъминланади. Бундай тескари алоқа учун магнитавий кучайтиргичнинг бошқариш чулғами ва стабилитрондан фойдаланилиб, улардан олинган сигнал бошқариш блокига берилади. Мотор электродинамикавий усул билан тормозланиб, бунинг учун электр тармоғидан тиристорларнинг бекитилиши билан (контактсиз равишда) ажратиш унинг якорь занжири тормозлаш тиристори T билан R қаршилигига уланади. Демак, тиристор-мотор $T—M$ системали электрик юритмани ишга тушириш, частотасини ростлаш ва тормозлаб тухтатиш каби процессларининг контактсиз аппаратлар билан бошқарилиши сабабли унинг техникавий ва иқтисодий кўрсаткичлари ҳам нисбатан юқори бўлади. 17—28-расм, δ да ҳар бир фазадаги тиристорнинг очилиш бурчагини бошқарувчи фаза силжитгич схемаси кўрсатилган.

Маълумки тиристордан ўтадиган тўғриланган ток ёки кучланиш қийматини ростлаш учун унинг бошқариш электродаги берилувчи мусбат потенциал фазаси α ни унинг аноддаги кучланиш фазасига нисбатан ўзгартириш керак. Бунинг учун магнитавий кучайтиргич $МК$ нинг бошқариш чулғами $1—2$ га берилувчи ўзгармас ток қийматини ўзгартириш кифоя. Агар $1—2$ га ток берилмаса, $МК$ тўйинмаган ҳолатда бўлади. Унинг иш чулғамининг индуктив X_1 қаршилиги R_1 га нисбатан жуда катта бўлиб, трансформатор чулғаидаги кучланиш асосан иш чулғаида ҳосил бўлган кучланиш ту-

шувига сарфланади. Бунда R_1 даги мусбат потенциал жуда кичик қийматга эга бўлиб, тиристор берк ҳолда бўлади, яъни ундан ток ўтмайди. Агар 1–2 га берилувчи ток қийматини кўпайтирилса, у ҳолда $МК$ тўйиб иш чулғамининг индуктив X_1 қаршилиги R_1 га нисбатан кичик бўлиб қолади. Бунда R_1 дан олиниб тиристорнинг бошқариш электродига бериладиган мусбат потенциал катта қийматга эга бўлиб, тиристор очилади. Демак, $МК$ нинг бошқариш чулғамидagi токни ўзгартириб унинг тўйишиш моментини ўзгартириш ва, демак, тиристорнинг очилиш бурчагини, яъни ундан ўтадиган ток қийматини ростлаш имкони олинади (17–28- расм, б), бунда: TP_1 — тиристорнинг бошқариш электроди занжирини ток билан таъминловчи трансформатор; B_2 — магнит кучайтиргичининг иш чулғамидан бир томонлама ток ўтишини таъминловчи вентиль; B_1 — тиристор бошқариш электроди занжири унга хавфли булган тескари, яъни манфий потенциалдан ҳимояловчи вентиль; R_2 — бошқариш электродига берилувчи мусбат потенциал қийматини чегараловчи қаршилиқ.

17 — 29- расмда тиристорли частота ўзгартгичи ва қисқа туташтирилган роторли асинхрон мотордан иборат электрик юритма системасининг бош занжири кўрсатилган. Бу система билан моторни ишга тушириш, реверслаш, айланишни частотани ўзгартириш усулида ростлаш ва рекуперация усулида уни тормозлаб секинлаштириш процессларини контактсиз аппаратлар воситасида бошқариш имкони олинади. Бунинг учун даставвал частотаси 50 герц булган электр тармоғидаги кучланиш бошқарилувчи тўғрилагич $БТ$ билан тўғрилиниб ростланувчи U_0 кучланишга айлантирилади. Сўнгра дроссель билан текисланган ва қиймати ростланиш имконига эга булган ўзгармас ток кучланиши U_0 мустақил инвертор $МИ$ га берилади. Демак, мустақил инвертордаги тиристорларни бош-



17—29- расм. Тиристорли частота ўзгартгич-қисқа туташтирилган роторли асинхрон мотор системаси бош занжирининг схемаси.

қариш электродларига турли частотадаги мусбат импульсларни бериб мотор учун частотаси М. П. Костенко ифодасига биноан ростланувчи уч фазали кучланишларни олиш мумкин. Бунда моторга берилувчи кучланиш частотаси f нинг қиймати тиристорларни очиш учун бериладиган мусбат потенциал импульсларининг частотаси $f_{\text{имп}}$ билан аниқланади, яъни $f = f_{\text{имп}}$ бўлиб, кучланиш қийматини ўзгартириш учун эса бошқарилувчи туғрилагич BT ни очилиш бурчаклари ёки трансформатор трансформация коэффициентини ўзгартириш керак. Схемадаги C конденсатори филтёр вазифасини бажаришдан ташқари, моторнинг генератор режимида унга керак бўлган магнит оқимини ҳосил қилувчи манба вазифасини ҳам бажаради. Моторнинг генератор режимидаги электр энергиясини рекуперациялаш учун ундан олинган уч фазали ток даставвал вентиль B лар билан ўзгармас токка айлантирилади. Сўнгра бу ўзгармас токни T_2 тиристорлари билан уч фазали токка айлантириб трансформатор орқали электр тармоғига узатилади. Иккинчи комплектадаги тиристор T_1 ларни очилиш фаза кетма-кетлигини ўзгартириб, моторни реверслаш имкони ҳам олинади.

17 — 15. Тақлидчи электрик юритма системалари

Кичик қувватли ўлчаш органи билан берилган механикавий ҳаракатни тақлид этиб, уни берилган аниқликда такрорловчи катта қувватли юритма тақлидчи электрик юритма деб аталади.

Демак, тақлидчи электрик юритма, асосан, буйруқ берувчи датчик ва уни қабул қилиб, такрорловчи-приёмник элементларидан иборат бўлади. Ҳозирги пайтда, бундай электрик юритмадан копирлаш (тақлид қилиш) станокларидаги кескични модель профили ёки чизмадаги чизиқлар бўйича, радиолокация қурилмасидаги антенна ва астрономия қурилмаларидаги телескопни осмондаги объект бўйича ҳаракатлантириш ва шу кабиларда кенг фойдаланилади. Тақлидчи электрик юритмаларни ўз-ўзидан ва ташқи тесқари алоқалар билан синхронланувчи юритмаларга булиш мумкин. Ўз-ўзидан синхронланувчи тақлидчи электрик юритма билан механикавий боғланишга эга бўлмаган бир неча валларни синхрон равишда айлантириш ёки уларни маълум бурчакларга буриш имкони бўлади. Бундай система турли потенциометр ва сельсинлардан иборат бўлиб, уларнинг иш принциплари юқорида кўрсатилган.

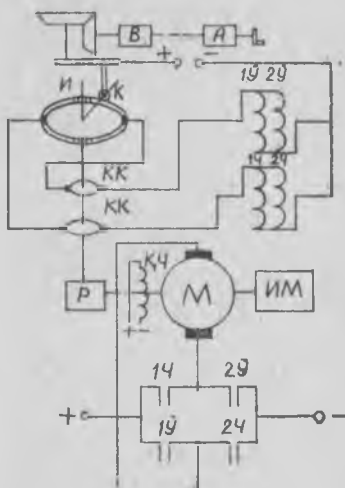
Ташқи тесқари алоқалар билан синхронланувчи тақлидчи системалар узлукли ва узлуксиз (синхрон) юритмаларга бўлинади.

Узлукли тақлидчи электрик юритмаларда датчик ўқи билан приёмник ўқи ораллиғидаги бурчак фарқи маълум қиймат-

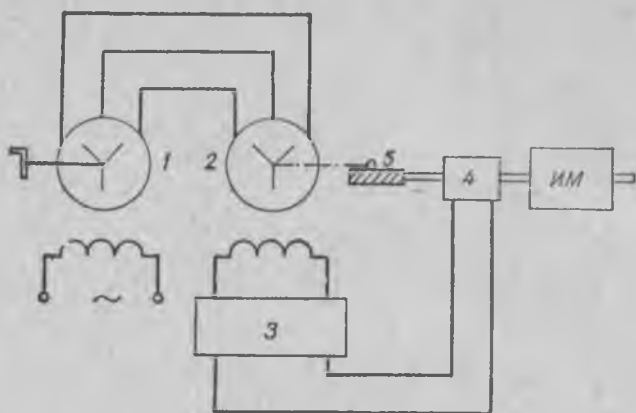
га эришгандагина приёмник ўқининг айланишига сигнал берилади. 17—30- расмда контакт системали тақлидчи электрик юритма схемаси кўрсатилган. Бунда *A* — датчик; *B* — приёмник; *K* — контакт системали тақлидчи мослама; 1У, 2У ва 1Ч, 2Ч — кучайтиргич сифатида қўлланилган реверсив контакторлар; *P* — редуктор.

Контактли тақлидчи мослама изоляция оралиғи *И* билан ажратилган икки бўлак ярим ҳалқалардан иборат бўлиб, контакт *K* нинг изоляция оралиғидаги, яъни ўзининг ноль ҳолатида мотор электр тармоғига уланмаган бўлади. Датчик роторини берилган бурчакка буриш билан приёмник ротори ҳам шу бурчакка бурилиб контакт *K* ни изоляция оралиғидан ярим ҳалқа томон суради. Бунинг натижасида 1У, 2У лар ва, демак, мотор ҳам электр тармоғига уланиб, мотор билан редуктор ўнг томонга айлана бошлайди. Редуктор айланиши билан контактли система *K* ҳам дастлабки ҳолатига қайтарилга бошлайди. Контакт *K* дастлабки ҳолатга қайтарилши билан мотор ўз-ўзидан электр тармоғидан ажрайди, аммо у ўз инерцияси билан айланишни давом эттириб, *K* ни *И* оралиғидан чиқариб юборади. Натижада мотор тескари томонга айланиб, *K* ни яна *И* га киргизади. Демак, мотор ноль ҳолат атрофида бирмунча вақт тебранма ҳаракатга эга бўлиб, уткинчи режимда ишлайди. Бу эса системанинг камчилигидир. Бундан ташқари, системага буйруқ қанчалик тез берилмасин, унинг қайта такрорланиши бир хил частотада ўтади. Булар эса узлукли системанинг асосий камчиликлари ҳисобланади. Узлуксиз системалар узлуклига нисбатан анча мураккаб бўлса ҳам, аммо уларда буйруқ аниқроқ ва турли синхрон частоталар билан такрорланади.

17—31- расмда узлуксиз, яъни синхрон тақлидчи системанинг принципаал схемаси кўрсатилган. Бундай электрик юритма, асосан датчик 1, приёмник 2 (тақлидчи орган), кучайтиргич 3, иш механизми *ИМ* ва приёмник билан механикавий равишда боғланган мотор 4 дан иборат бўлади. Узлуксиз система датчиги ва приёмниги сифатида трансформатор режимида ишловчи сельсинлардан фойдаланиб, унинг кучай-



17—30- расм. Контакт системали (узлукли) тақлидчи электрик юритма системасининг принципаал схемаси.



17—31- расм. Узлуксиз (синхрон) тақлидчи электрик юритма системасининг принципиал схемаси.

тиргичи сифатида эса электрик, магнитавий, механикавий, пневматик ва гидравлик аппаратлардан фойдаланилади.

Бундай система датчиги роторини берилган бурчакка буриш процессида приёмникнинг бир фазали чулғамида э. ю. к. ҳосил бўлади. Бу э. ю. к. кучайтиргичга берилиб, кучайтиргич эса моторни электр тармоғига улайди. Натижада мотор узатма 5 орқали приёмникни берилган частота билан айлантира бошлайди. Приёмникнинг ротори берилган бурчакка бурилганида датчик ва приёмник роторлари бурилиш бурчагининг фарқи нолга тенг бўлиб, мотор тўхтатилади. Ўртача қувватли тақлидчи электрик юритмаларда ўзгармас ток моторлари қўлланилиб, улар чала ўтказгич ёки тиратрон, катта қувватларда эса симоб вентиллари ёки Г — М системалари билан бошқарилади. Кичик қувватли тақлидчи электрик юритмаларида, кўпинча, икки фазали қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторлари қўлланилади.

17 — 16. Программа билан бошқариладиган электрик юритмалар

Бунда ростланувчи параметрнинг ўзгариш қонуни аниқ бўлиб, у программа тариқасида берилган бўлади. Саноат буюмларининг кўпчилиги кам сериялаб ишлаб чиқарилади. Бундай электрик юритмаларда буюمنى ишлаб чиқаришдаги бир режимдан иккинчисига ўтиш учун унга янги программани киргизиш kifоя. Шу сабабли ҳозирги замон электрик аппаратлари ва ҳисоблаш техникаси имкониятларига асосланиб янги принципдаги, яъни рақамлар билан бошқариладиган программали системалар яратилмоқда. Бундай системаларнинг

тузилиши анча мураккаб бўлса ҳам, аммо уларни тез ва осонгина янги программага ўтказиб ишлатиш имкони бўлади.

Программални бошқариш система (*ПБС*) лари ҳам очиқ ва берк занжирли бўлади. Очиқ занжирли *ПБС* лардан олинadиган натижа, берилган программа билан солиштирилмайди. Берк занжирли *ПБС* ларда эса олинаётган натижа узлуксиз ёки узлукли равишда берилган программа билан солиштирилиб, содир бўлган хатоликлар ўз вақтида тузатилиб турилади.

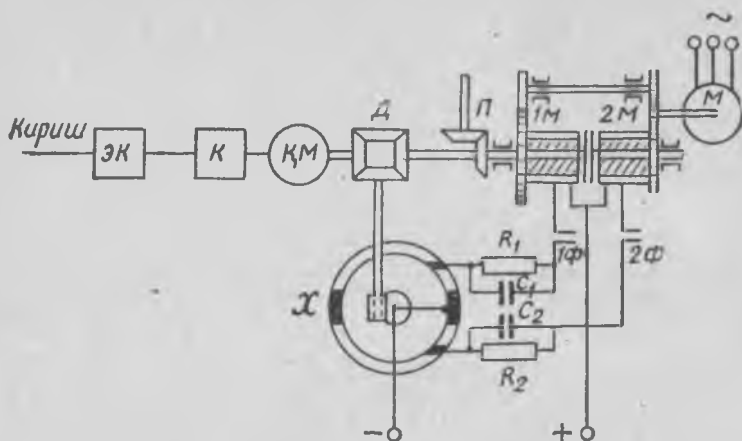
Демак, берк занжирли *ПБС* ларни тескари алоқали системалар қаторига киргизиш мумкин. Берк занжирли *ПБС* лар очиқ занжирлига нисбатан мураккаброқ булсалар ҳам, аммо улар юқори аниқликка эга. Қадамли моторларнинг яратилиши ва ўзлаштирилиши натижасида очиқ занжирли *ПБС* ларни ҳам юқори аниқлик билан ишлатиш имкони яратилди.

Узлуксиз *ПБС* ларда программа узлуксиз равишда ўзгариб турадиган миқдорлар орқали ёзиб олинади. Бунда, купинча, амплитуда ёки фаза орқали модуляция қилинган системалар қўлланилади. Демак, юқоридаги биринчи системада программалаштириладиган ҳаракат амплитудаси узлуксиз ўзгариб турадиган миқдор билан ифодаланса, иккинчисида эса фазаси ўзгариб турадиган (синусоидал) миқдор билан ифодаланади. Узлуксиз *ПБС* ларда программа магнитавий лентага ёзиб олинган бўлади. *ПБС* лардан кўпроқ металл қирқиш станокларида фойдаланиб, станоклардаги иш ҳаракатларига биноан бундай системаларни координаталар ёки контурлар асосида бошқарилувчи системаларга бўлиш мумкин. Координаталар асосидаги системада қирқувчи асбоб (кескич) ёки ишлов берилadиган буюм урнатилган механизмни янги координатага аниқ ўтиши катта аҳамиятга эга бўлса, унинг ўтиш йўли эса аҳамиятга эга бўлмайди. Бундай системалардан пармалаш ва рандалаш станокларида кўпроқ фойдаланилади.

Координатага биноан бошқарилувчи системаларда ҳаракат дискрет (погонали, узлукли) характерга эга бўлиб, уларда программани тешикли қоғоз ленталари ёки картон варақлари билан ифодалаш қулай бўлади. Контурли *ПБС* системалари эса, купинча, фрезер ва токарлик станокларида қўлланилиб, унда кескич ёки буюмининг ҳаракат йўналиши юқори аниқликда ўтиши керак.

ПБС ларнинг асосий элементлари

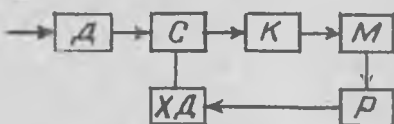
17 — 32- расмда қадамли мотор деб аталувчи махсус моторча билан бошқарилувчи электромагнитавий муфтални дискрет *ПБС* кўрсатилган. Бунда электрон коммутаторни *ЭК* орқали берилган команда сигналлари кучайтиргич *К* билан кучайтирилиб, қадамли мотор *ҚМ* га берилади. Қадамли мотор дифференциал узатма *Д* орқали контактли ҳалқа *Х* сур-



17—32- расм. Қадамли мотор билан бошқарилувчи электромагнитаний муфтали ПБС нинг схемаси.

гичини ҳаракатга келтириб, биринчи электромагнитавий муфтаси 1М ни ёки иккинчиси 2М ни электр тармоғига улайди. Бунда П вали асинхрон мотор билан у ёки бу ёққа айлантирилиб, дифференциал узатма орқали ҳалқа Х сургичи ўзининг дастлабки ҳолатига бурилади. Натижада берилган буйруқ тўла ижро этилиб, сургич ҳалқанинг изоляцияланган оралиғида тўхтади. Электромагнит муфта эса электр тармоғидан ажратилади. Биринчи муфта тармоққа 1Φ контакти билан уланганида, иккинчиси ундан 2Φ билан ажралиб туради. Бу системада 1М ва 2М лардан айлантирувчи моментни кучайтиргичлари сифатида фойдаланилиб, контактли ҳалқа Х ўрнига сельсинлардан фойдаланиш ҳам мумкин. 17—32- расмда кичик қувватли қадамли мотор қўлланилган системанинг схемаси кўрсатилган бўлиб, катта қувватли қадамли мотор билан станок суппорти ёки столини ҳам бевосита ҳаракатга келтириш имкони бўлади. Қадамли мотор статорида уч қисмли ҳалқасимон чулғамлар бўлади. Статорнинг устки қисмида тишлари бўлиб, бу тишлар сони билан мотор қадами аниқланади. Мотор статори унинг роторининг ички қисмига жойлаштирилади. Роторнинг ички қисмида ҳам ферромагнит тишлар ўрнатилган бўлиб, улар ҳар бир қисмда қадамнинг учдан бирига сурилган бўлади. Демак, статор бирор чулғамининг уланиши билан ротор қадамнинг учдан бирига бурилади. Шу сабабли статор чулғамларининг кетма-кет уланиши билан ротор қадамларнинг учдан бирига бурилиб айланаверади. Демак, роторнинг айланиш тезлиги статор чулғамларининг уланиш частотаси билан аниқланса, бу чулғамларнинг уланиш кетма-кетлиги эса унинг айланиш йўналишини аниқлайди. 17—33- расмда, ПБС ларнинг соддалаштирилган структуравий схемаси

кўрсатилган. Структура схемаси қуйидаги элементлардан, яъни программани ишга туширувчи декодлаштирувчи D , солиштирувчи C , кучайтирувчи K , иш мотори M , редуктор P ва ҳолат датчиги $ХД$ лардан иборат бўлади. Программани ишга туширувчи элемент сифатида, кўпинча темир билан қопланган пластмасса лентаси (магнитавий лента), перфолента, перфокарта, магнитавий барабан ва киноленталардан фойдаланилади.



17—33- расм. ПБС нинг содда-лаштирилган структуравий схемаси

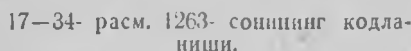
Бунда масалан, магнитавий лентага дискрет ёки узлуксиз характерга эга бўлган сигналларни унинг актив қатламини магнитлаш билан ёзиш учун лента магнитофондаги сингари махсус электромагнитли ёзиш каллаги яқинидан ўзгармас частотада ўтказилади. Каллакнинг қўзғатиш чулғамига программа асосида олинган модуляцияланган синусоидал кучланиш берилади. Магнитавий лентага ёзилган программани шу оннинг ўзида ижро этиш ёки уни бир неча марта ўчириб, сўнг-ра қайта ёзиш имконлари бўлади. Перфолента ёки перфокарта асосида тузилган программа эса берилган тартибда жойлашган ва берилган сондаги тешиklar билан ёзилади.

Рақамлар билан бошқарилувчи системада бирор миқдорни программага ўтказиш учун даставвал уни иккилик ёки ўнлик санаш системаси асосида шартли код орқали ифодалаш лозим.

Қуйидаги мисолда 1263 сонининг ўнлик ва иккилик системасида олинган коди кўрсатилган. 1263 сони ўнлик системада $1263 = 1 \cdot 10^3 + 2 \cdot 10^2 + 6 \cdot 10^1 + 3 \cdot 10^0$ бўлиб, иккилик системасида эса $1263 = 1 \cdot 2^{10} + 0 \cdot 2^9 + 0 \cdot 2^8 + 1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$ бўлади. Демак, 1263 сонининг иккилик системасидаги коди 10011101111 дан иборат рақамлар билан ифодаланади.

Иккилик системасида турли сонларнинг бир ва ноль рақамлари билан кодланиши хотира ва санаш элементларини жуда содда принципда тузиш имконини беради.

Ҳақиқатан, бир (1) рақамини программа лентасида тешик, магнитланиш изи ёки нур изи билан ифодалаш имкони бўлса, ноль (0) рақамини эса тешиксиз, магнит ёки нур излари тушмаган оралиқ билан ифодалаш имкони бўлади. Демак, электрон ва ион асбоблари, чала ўтказгичли ва реле-контактор аппаратларидан ток ўтаётган ҳолатни лентада тешик ёки магнит изи бор бўлган оралиқ, яъни 1 деб қабул қилинса, ток ўтмаётган ҳолатни эса лентада тешик ва излар йўқ бўлган оралиқ, яъни 0 деб қабул қилинади. 17 — 34- расмда 1263 сонининг a — ўнлик, b — иккилик ва v — иккилик-ўнлик санаш системаларида кодланиши кўрсатилган. Бунда рақамларни



Иккилик системасида кодланган программани ўқиш қийинроқ булса ҳам, аммо бу системада олинган санаиш ва хотира элементлари содда, программа лентаси эса ихчам тuzилишда бўлади.

Ўнлик системада аниқ-
ланган сонларни иккиликка

утказиш учун кўп сонли математикавий ҳисобларни бажариш керак. Шунинг учун программа билан бошқарилувчи системаларда иккилик санаш системаси билан бир қаторда иккилик-ўнлик деб аталувчи системадан ҳам кенг фойдаланилади. Бу системада ўнлик системасининг соддалиги (уқушда) ва иккилик системасининг ихчамлиги ва қулайлиги мужассамлашган.

Иккилик-ўнлик системасининг асоси учун ўнлик саноғидаги сонлар олиниб, сўнгра ундаги ҳар бир 0 + 9 рақами иккилик системасидаги 4- разрядли эквивалент рақамлар билан белгиланади.

Масалан, ўнлик системадаги 2467,39 сонини қуйидагича ифодалаш мумкин, яъни

2	4	6	7	3	9
0010	0100	0110	0111	0011	1001

Демак, 2467,39 сонн иккилик-ўнлик системасида 0010010001100111, 00111001 бўлади.

Бу системада декодланг элементи ҳам анча соддалашади, контакторларнинг ўланиш сони эса минимумгача камаяди.

Ўнлик системадан иккиликка ўтишни осонлаштириш учун қуйидаги 1 ва 2-жадваллардан фойдаланиш мумкин. 1-жадвалда бир хил сонларнинг ўнлик ва иккилик системаларида ёзилиши кўрсатилган бўлса, 2-жадвалда икки соннинг ҳар хил даражаларнинг натижаси кўрсатилган.

1- жадвал

Ўнлик система	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Иккилик система	0	1	10	11	100	101	110	111	1000	1001	1010	1011	1100

2- жадвал

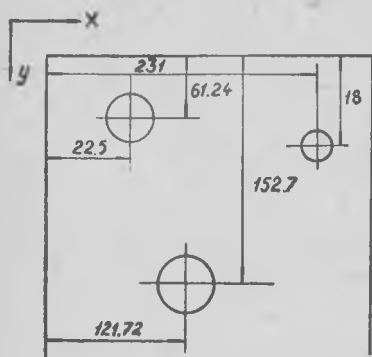
Иккинчи даража	2 ⁰	2 ¹	2 ²	2 ³	2 ⁴	2 ⁵	2 ⁶	2 ⁷	2 ⁸	2 ⁹	2 ¹⁰	2 ¹¹	2 ¹²
Натижа	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024	2048	4096

17 — 35- расмда бирор буюмни пармалаш учун берилган чизма кўрсатилган. Бу чизмага биноан программага киритилиши керак бўлган сонлар қуйидагича аниқланади. Технолог томонидан X ва Y ўқларига нисбатан пармалаш координаталари аниқланади. Координаталарни ифодаловчи бу рақамлар 3- жадвалга ўтказилади. Бу жадвалга кескич ўрнатилган механизм координата томон ҳаракатининг тезлиги ҳам киритилади. Сўнгра жадвалдаги рақамлар кодлар билан ифодаланиб программага киритилади.

3- жадвал

Қадр	X	Реверс	Y	Пармалаш
I	0 0 2 2 5 0		0 6 1 2 4	Ø 20
II	1 2 1 7 2		1 5 2 7 0	Ø 25
III	2 3 1 0 0		0 1 8 0 0	Ø 15

Агар контур асосида тузилган бошқариш системасига программа тайёрлаш керак бўлса, у ҳолда мураккаб тенгламаларни ечиш керак. Бунда маълум контур бўйича ҳаракатланишни ва технологик шартларни ҳисоблаш машиналарига киритилиб ундан траектория координаталарига тегишли рақамлар олинади. Бу рақамларга биноан перфоратор ёрдамида программа тузилади. Бундай масалаларни ҳисоблаш машинасида фойдаланмасдан ечилса жуда кўп вақт талаб қилинади. Ҳисоблаш машиналари эса бир секундда 10000 ва ундан ҳам кўп ҳисоб амалларини бажариши мумкин. Шундай қилиб, программага



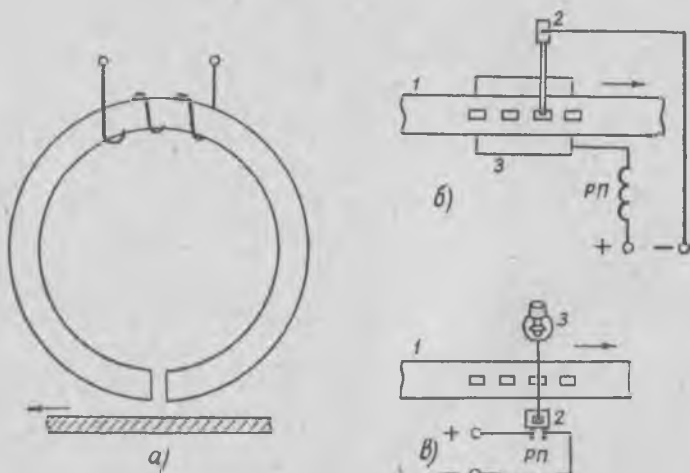
17—35- расм. Буюмини пармалаш учун чизма.

киритилган бошқариш сигналлари декодлаш элементи D га узатилади. Декодлаш элементига программа асосида берилган сигналлар автоматик бошқариш учун қулай бўлган электр сигналларига айлантирилади. Агар программа магнитавий лентага ёзилган бўлса, у ҳолда декодлаш элементи фақат санаш механизмидан иборат бўлади.

Программадаги кодни ўқиш (расшифровкалаш) учун санаш механизмидан фойдаланилади. 17—36- расм, а да магнитавий лентага ёзилган программани ўқиб берувчи санаш механизми

кўрсатилган. Бунда санаш механизми фақат магнитавий каллагидан иборат бўлиб, унинг яқинидан магнитавий лента ўтказилганда очиқ занжирли пулат ўзагига ўрнатилган ғалтак чулғамида э. ю. к., яъни электр сигнали ҳосил бўлади.

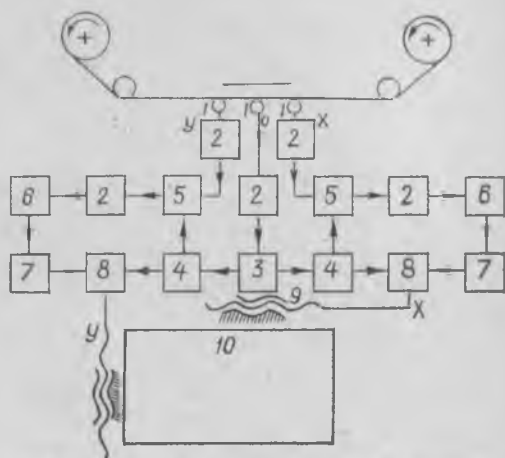
Программа перфолента ёки перфокартага ёзилган бўлса, уни расшифровкалаш учун электромеханикавий ёки фотоэлектрик системали санаш механизми қўлланилади. 17—36- расм, б да электромеханикавий санаш механизми кўрсатилган. Бунда лента 1 ни маълум тезликда тортилиб унинг тешиги чўтка 2 тагига келганда, чўтка билан пластинка 3 орасида контакт



17—36- расм.

а — магнит каллакли санаш механизми; б — электромеханикавий санаш механизми; в — фотоэлектрик санаш механизмининг принципал схемалари.

ҳосил бўлади. Натижада бошқариш системасининг релеси *РП* дан ток ўта бошлайди. 17—36-расм, *в* да фотоэлектрик санаш механизми кўрсатилган. Бунда лентадаги тешикдан нурни ўтиши билан фотоқаршилик 2 нинг қиймати кескин камайиб *РП* реледан бошқарувчи сигнал токи ўтади. 17—33-расмдаги декодлаш элементида чиққан сигнал солиштириш элементида берилади. Солиштириш элементида чиқадиған сигналнинг қиймати программа билан берилган сигнални ҳолат датчиги *ХД* сигналидан айириш натижасида ҳосил бўлган сигнал билан аниқланади. Шундай қилиб, олинган бошқариш сигнали кучайтиргич *К* да кучайтирилиб, иш мотори *М* га берилади. Бу мотор редуктор орқали ҳолат датчиги билан боғланган бўлиб, ҳолат датчиги эса солиштириш элементи *С* билан боғланган бўлади. Демак, бу система ҳам тескари алоқали берк бошқариш занжирига эга бўлиб, унинг ишлашдаги аниқлиги асосан ҳолат датчикларининг ишлаш аниқлигига боғлиқ бўлади. 17—37-расмда контурга биноан бошқарилувчи *ПБС* ли токарлик станогининг структура схемаси кўрсатилган.



17—37- расм. Контурга биноан бошқарилувчи *ПБС* токарлик станогининг структура схемаси.

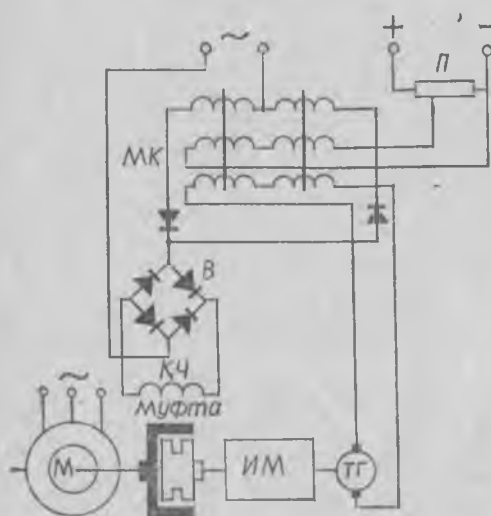
Бунда магнитавий лентанинг тортув механизми билан берилган частотада ҳаракатланаётган пайтида ундаги сигналлар магнит каллаклари *1* орқали санаб борилади. Бунда каллаклардан бири асос сигнаlines санаб турса, бошқалари эса стол *10* ни *Х* ва *У* ўқлари бўйича бошқариш ҳамда ёрдамчи механизмларни бошқариш учун ёзилган сигналларни санаб туради. *ПБС* га фаза бўйича модуляция қилинган сигнал берилади. Расшифровкаланган ва кучайтирилган асос сигнали кучайтиргич *2* орқали фаза бўлувчи *3* га берилади. Натижада асос сигнали уч фазали кучланиш сигнализга айлантирилиб, сельсин *4* статорларига берилади. Бу сельсинларни роторлари редукторлар *8* орқали *Х* ва *У* ўқлари бўйича ҳаракатланувчи ишга туширувчи винтлар *9* билан боғланган бўлади. Бунинг натижасида ҳолат датчигидан чиқувчи бир фазали сигнал фазаси столга ўрнатилган буюм ҳолати билан аниқланади. Бу сигнал солиштириш элементи *5* га берилади. *Х* ва *У* ўқлари

бўйича бошқарувчи сигналлар ҳам кучайтиргичлардан утиб, солиштириш элементиға узатилади. Демак, солиштириш элементида чикадиган сигнал буюмнинг ҳақиқий ҳолати билан программада белгиланган ҳолатларининг айирмасиға пропорционал бўлади. Бу сигнал кучайтирилиб 2 орқали ЭМК 6 билан 7 ларни бошқаради. Редуктор 8 ва ишға тушириш винтлари 9 билан боғланган станок столи 10 мотор орқали ҳаракатға келтирилади. Шундай қилиб, ЛБС лар асосида буюмларға мураккаб траекториялар бўйича ишлов бериш имкони олинади.

17 — 17. Сирпаниш муфтали электрик юритма системалари

Мотор валидаги механикавий ҳаракатни иш механизми валига ўтказадиган мослама муфта деб аталади. Техниканинг тараққий қилиши муфтalar зиммасига икки вални ўзарo қўшишдан ташқари анча мураккаброқ бўлган талаблар қўймоқда. Бу талаблар ишлаётган ёки ишламай турган мотор валининг иш механизми вали билан қўшилиши ва айрилишини масофадан туриб тезда бошқариш, моторни ишга туширишдаги механикавий силтанишларни эса моторга ўтказмаслик, иш механизмига бериладиган айлантирувчи момент қийматини чеклаш, мотор частотасини номинал қийматда ўзгартирмай сақлаб, механизм валидаги частотани маълум диапазонда ростлаб туриш ва ҳ. к. лардан иборатдир. Турли типдаги механикавий ва ҳатто электромагнитавий муфтalar ҳам бу талаблар-

ни тула қондира олмай-
ди. Индукторли сирпа-
ниш муфтаси билан эса
юқоридаги талабларни
тула қондириш имкони
олинади. Бундай муфта
узоро концентрик
равншда жойлашган
икки айланувчи қисм-
дан иборат. Муфтанинг
якорь деб аталадиган
ташқи қисми ковак пу-
лат цилиндрдан иборат
булиб, унинг ички қис-
мига индуктор ўрнати-
лади. Индуктор эса
икки қатор пулат
тишли гилдираклардан
ҳосил бўлган пазлар-
га ўрнатилган ва уз-
гармас ток билан таъ-
минланадиган қўзға-



17—38- расм. Индукторли сирпаниш муфтасига эга тескари алоқали электрик юритма системасининг схемаси.

тиш чулғамли электромагнитдан иборат. Одатда, якорь индуктордан 1 мм дан ҳам камроқ ҳаво бўшлиғи билан ажралиб, частотаси ростланмайдиган асинхрон ёки синхрон моторлари билан айлантрилади. Индуктор эса иш механизми валига маҳкамланган бўлади. 17 — 38- расмда индукторли сирпаниш муфтасига эга бўлган частота бўйича тескари алоқали электрик юритманинг принципиал схемаси кўрсатилган. Бу система билан электрик юритмани автоматик бошқариш ва унинг частотасини Д-50 диапозонида ростлаш мумкин.

ИЛОВАЛАР

1- ИЛОВА

Амалий ўлчов бирликлари системасидаги баъзи миқдорларни халқ-аро бирликлар системаси СИ га ўтказиш.

Амалий системада кучнинг ўлчов бирлиги 1 кГ бўлиб, СИ системада esa 1 ньютон (Н) дир.

$$1 \text{ кГ} = 9,81 \text{ Н ёки } 1 \text{ Н} = 0,102 \text{ кГ}.$$

Момент:

$$1 \text{ кГм} = 9,81 \text{ Нм ёки } 1 \text{ Нм} = 0,102 \text{ кГм}.$$

Қувват:

$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Нм/сек} = 1 \frac{\text{Ж}}{\text{сек}} = 0,102 \frac{\text{кГм}}{\text{сек}}.$$

$$1 \text{ кВт} = 1 \text{ кНм/сек} = 102 \text{ кГ/сек}.$$

Энергия:

$$1 \text{ Ж} = 1 \text{ Нм} = 1 \text{ Вт. сек} = 0,102 \text{ кГм},$$

$$1 \text{ кГм} = 9,81 \text{ Ж} = 9,81 \text{ Вт. сек},$$

$$1 \text{ Вт. соат} = 3600 \text{ Ж},$$

$$1 \text{ кВт. соат} = 3600 \text{ кЖ}.$$

Босим:

$$1 \text{ ат} = 1 \frac{\text{кГ}}{\text{см}^2} = 9,81 \cdot 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2},$$

$$1 \text{ Н/м}^2 = 0,102 \text{ кГ/м}^2,$$

$$1 \text{ Н/м}^2 = 1,02 \cdot 10^{-5} \text{ ат},$$

1 ат = 1 кГ/см² = 10⁴ кГ/м² = 10 м сув устуни = 10⁴ мм сув устуни бўлгани учун 1 кГ/м² = 1 мм сув устуни = 9,81 Н/м² бўлади.

2- ИЛОВА

Асинхрон моторларда ҳосил бўлувчи қувват исрофи ўзгармас қисмининг уртача қиймати ($\Delta P_{\sim}$)

Магнит қутблари-нинг сони	Мотор қуввати P_n , кВт гача	Қувват исрофининг P_n га нисбатан проценти			
		механик қувват исрофи $\Delta P_{\text{мех}}$		Пулат қисмлардаги қувват исрофи ΔP_{II}	
		A, A2	АО, АО2	Ҳақиқий қиймат	Ҳисоблашларда тавсия этилган қиймат
2	10	0,9	3,4	3,1 ÷ 3,9	3,5
	40			2,0 ÷ 2,9	2,5
	125			1,4 ÷ 2,2	1,9
4	10	0,5	0,9	3,0 ÷ 5,6	4,3
	40			2,2 ÷ 3,4	2,8
	100			1,4 ÷ 2,2	1,8
6	10	0,44	0,6	3,0 ÷ 6,0	4,5
	40			2,1 ÷ 3,0	2,6
	75			1,8 ÷ 2,4	2,1
8	10	0,3	0,45	2,5 ÷ .	4,2
	40			2,0 ÷ 3,3	2,6
	55			2,0 ÷ 2,3	2,1
10	40	0,27	0,45	2,9 ÷ 3,4	3,1

Бунда $\Delta P_{\sim} = \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{II}}$ бўлиб, қувват исрофининг ўзгарувчан, яъни нагрузка токига боғлиқ қисми $\Delta P_{\sim} = \Delta P_n - \Delta P_{\sim}$; ΔP_n — қувват исрофининг номинал қиймати.

II серияли ўзгарамас ток моторларининг техникавий кўрсаткичлари

Типи	P _н кВт	P _н даги		η %	Магнитавий оқим Ф _{мин} даги П _{макс} айл/мин	Оғирдлги, кг	QД ³ кгм ³
		П _н айл мин	І _н А				
П12	1,0	3000	11,8	77,0	3 450	23	0,015
П21	1,5		18	76,0	3 450	35	0,045
П22	2,2		25	80,0		41	0,055
П31	3,2		35	83,0		53	0,085
П32	4,5		48,5	84,0		62	0,105
П41	6		68,5	82,0		72	0,15
П42	8		87	83,5		88	0,18
П11	0,3	1500	4,3	63,5	3 000	18	0,012
П12	0,45		5,8	70,0		23	0,015
П21	0,7		8,5	75,0		35	0,045
П22	1,0		12,0	76,0		41	0,055
П31	1,5		17,4	78,5		53	0,085
П32	2,2		24,0	83,5		62	0,105
П41	3,2		37,0	78,5	2 250	72	0,15
П42	4,5		51,0	80,0		88	0,18
П51	6		66,5	83,5		105	0,35
П52	8,0		85,5	85,0		127	0,4
П61	11		118	84,5		163	0,55
П62	14		147	86,5		195	0,63
П71	19		207	83,5		260	1,0
П72	25		266	85,5		300	1,2
П81	32		342	85,0		340	2,8
П82	42		439	87,0		405	3,2
П11	0,13	1000	2,0	59,0	2 000	18	0,012
П12	0,2		2,75	66,0		23	0,015
П21	0,3		3,8	71,5		35	0,045
П22	0,45		5,55	73,5		41	0,055
П31	0,7		8,6	74,0		53	0,085
П32	1,0		11,6	79,5		62	0,105
П41	1,5		18,2	75,0		72	0,15
П42	2,2		26,0	77,0		88	0,18
П51	3,2		37,3	78,0		105	0,35
П52	4,5		50,5	81,0		127	0,40
П61	6		66	82,5		163	0,55
П62	8		86	84,5		195	0,65
П71	11		126,5	79,0		260	1,0
П72	14		157	81,0		300	1,2
П81	18		210	82,5	1 800	340	2,8
П82	25		268	85,0		405	3,2
П91	32		347	84,0		560	5,9
П92	42		445	86,0		660	7,0
П21	0,2	750	2,78	65,5	1 500	35	0,045
П22	0,3		3,87	70,0		41	0,055
П31	0,45		5,62	72,5		53	0,085
П32	0,7		8,34	76,0		62	0,105
П41	1,0		12,975	70,0		72	0,15
П42	1,5		18,76	72,6		88	0,18
П51	2,2		27	74,0		105	0,35
П52	3,2		37,3	78,0		127	0,40
П61	4,2		48,9	78,0		163	0,55
П62	5,7		64,3	80,5		195	0,65
П71	8		96	75,5		260	1,0
П72	11		123	81,0		300	1,2
П81	14		160	79,5		340	2,8
П82	19		204	85,0		405	3,2
П91	25		264	82,5		560	5,9
П92	32		333	85,0		660	7,0
П101	42		446	85,5		830	10,3

**A2 типдаги қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторларнинг
асосий техникавий кўрсаткичлари**

Типи	Валдаги номи- нал қувват, кВт	Номинал нагрузкада			I_H , А	$\frac{I_{инт}}{I_H}$	$\frac{M_{инт}}{M_H}$	$\frac{M_{макс}}{M_H}$	Оғирлиги, кг
		ақлаш частотаси а/д мин	η , %	$\cos \varphi$					
A2 61-2	17	2910	87,7	0,91	32,4	5,3	1,5	2,4	125
A2 62-2	22	2920	89,6	0,92	40,5	5,9	1,7	2,6	143
A2 71-2	30	2930	90,3	0,91	55,5	5,8	1,2	2,7	166
A2 72-2	45	2930	90,9	0,9	74,1	5,9	1,2	2,7	198
A2 81-2	53	2935	91,6	0,91	100	5,5	1,1	2,5	292
A2 82-2	75	2935	92	0,91	136	6,2	1,05	2,4	339
A2 91-2	100	2960	93,6	0,92	176	6,4	1	2,9	463
A2 92-2	125	2965	94,2	0,93	217	7,4	1,2	3,3	521
A2 61-4	13	1460	89,6	0,88	25	5,7	1,2	2,7	125
A2 62-4	17	1465	90,4	0,87	32,7	6	1,3	2,7	143
A2 71-4	22	1460	89,9	0,86	43,1	5,1	1,2	2,5	166
A2 72-4	30	1470	91,4	0,88	56,6	5,9	1,2	2,8	198
A2 81-4	40	1475	92,2	0,9	73,1	5,9	1,1	2,7	292
A2 82-4	55	1480	93	0,9	100	6,9	1,3	3,1	339
A2 91-4	75	1480	93,4	0,91	136	6,3	1,2	2,8	463
A2 92-4	100	1480	94	0,91	175	6,3	1,2	2,8	521
A2 61-6	10	970	87,6	0,87	19,8	5,2	1,3	2,5	125
A2 62-6	13	975	89,2	0,87	25,4	5,8	1,5	2,8	143
A2 71-6	17	975	89,3	0,88	32,6	5,4	1,2	2,5	166
A2 72-6	22	980	90,3	0,88	41,8	5,6	1,2	2,6	198
A2 81-6	30	970	89,8	0,91	55,6	5	1,1	2,2	292
A2 82-6	40	975	90,9	0,91	72,9	5,4	1,2	2,4	339
A2 91-6	55	980	91,6	0,92	99	5,5	1,1	2,4	463
A2 92-6	75	985	93	0,91	135	6,9	1,4	3,1	521
A2 61-8	7,5	720	85,8	0,82	16,2	4,3	1,2	2,2	125
A2 62-8	10	730	87,6	0,82	21,2	4,6	1,2	2,3	143
A2 71-8	13	730	88,1	0,81	27,7	4,8	1,2	2,4	166
A2 72-8	17	720	88,9	0,83	35,1	4,7	1,1	2,3	198
A2 81-8	22	730	89,6	0,87	42,9	5	1,2	2,3	292
A2 82-8	30	735	99,4	0,86	58,2	5,4	1,3	2,5	339
A2 91-8	40	735	91,2	0,87	76,4	5,3	1,1	2,4	463
A2 92-8	55	735	91,9	0,88	103	5,4	1,1	2,5	521
A2 81-10	17	530	87,8	0,78	37,8	3,6	1,1	1,8	292
A1 82-10	22	580	89,3	0,78	48,1	3,8	1,1	1,9	339
A2 91-10	30	585	90,4	0,78	64,2	4,5	1,1	2,2	462
A2 92-10	40	585	90,8	0,78	85,3	4,5	1,1	2,2	521

**A02 тишидаги қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторларнинг
асосий техникавий кўрсаткичлари**

Типи	Номинал қувват, кВт	Номинал нагрузкада			I_n , А	$\frac{I_{\text{шт}}}{I_n}$	$\frac{M_{\text{шт}}}{M_n}$	$\frac{M_{\text{макс}}}{M_n}$	Оғирлиги, кг
		$\frac{P_n}{\text{якд}}$ МВт	η %	$\cos \varphi$					
A02 71-4	22	1470	91	0,89	41	5,7	1,2	2,7	208
A02 72-4	30	1470	91,7	0,89	55,6	5,7	1,2	2,7	236
A02 81-4	40	1480	92,4	0,91	71,9	6,8	1,3	3,1	333
A02 82-4	55	1475	92,9	0,92	97,2	5,5	1	2,5	382
A02 91-4	75	1480	93,2	0,93	131	6,1	1,1	2,7	532
A02 92-4	100	1480	93,7	0,93	173	5,7	1,1	2,6	635
A02 21-6	0,8	930	74,2	0,78	2,1	4	1,7	2	19,5
A02 22-6	1,1	935	76,4	0,75	2,9	4,2	1,8	2,2	23
A02 31-6	1,5	940	79,6	0,83	3,4	4,4	1,6	2	34,5
A02 32-6	2,2	945	80,6	0,82	5	4,5	1,6	2,1	39,5
A02 41-6	3	955	84,2	0,84	6,5	4,6	1,4	2,1	56,5
A02 42-6	4	960	85,5	0,82	8,6	4,9	1,5	2,3	68
A02 51-6	5,5	970	87,2	0,83	11,5	5,1	1,3	2,3	104
A02 52-6	7,5	970	88,3	0,84	15,4	5,1	1,2	2,3	113
A02 61-6	10	975	88,7	0,89	19,1	5,6	1,4	2,6	143
A02 62-6	13	970	88,7	0,9	24,6	5,2	1,2	2,4	165
A02 71-6	17	980	90,2	0,89	31,9	6,1	1,3	2,8	208
A02 72-6	22	980	90,4	0,9	40,8	5,7	1,2	2,6	236
A02 81-6	30	980	91,4	0,93	53,8	6,1	1,4	2,8	333
A02 82-6	40	980	92	0,92	71,4	6,7	1,5	3	382
A02 91-6	55	985	92,6	0,93	97,1	7	1,4	3,1	532
A02 92-6	75	985	93	0,93	131	6,4	1,2	2,8	635
A02 41-8	2,2	715	82,1	0,73	5,6	4,9	1,4	2,1	56,5
A02 43-8	3	715	82,9	0,73	7,5	4	1,3	2	68
A02 51-8	4	725	85,1	0,74	9,6	4,3	1,2	2,1	104
A02 52-8	5,5	725	86,1	0,77	12,7	4,1	1	2	113
A02 61-8	7,5	730	87,2	0,83	15,7	4,8	1,3	2,4	143
A02 62-8	10	725	87,2	0,84	20,6	4,7	1,2	2,3	165
A02 71-8	13	735	89,4	0,83	26,6	5,3	1,2	2,6	208
A02 72-8	17	735	89,8	0,82	34,8	5,4	1,2	2,7	236
A02 81-8	22	735	90,4	0,89	41,5	5,4	1,3	2,5	333
A02 82-8	30	735	91,1	0,89	56,2	5,5	1,3	2,5	382
A02 91-8	40	735	91,6	0,89	73,9	5,3	1,1	2,4	532
A02 92-8	55	740	92,7	0,9	101	6,1	1,3	2,8	635
A02 81-10	17	580	88,9	0,79	36,5	3,8	1,1	1,9	333
A02 82-10	22	585	89,7	0,79	37,3	4,1	1,2	2	382
A02 91-10	30	585	90,6	0,79	63	4,7	1,1	2,3	532
A02 92-10	40	590	91,3	0,78	84,9	5	1,2	2,5	635

АП типдаги қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторнинг асосий техникавий кўрсаткичлари
(ишга туширувчи моменти кучайтирилган)

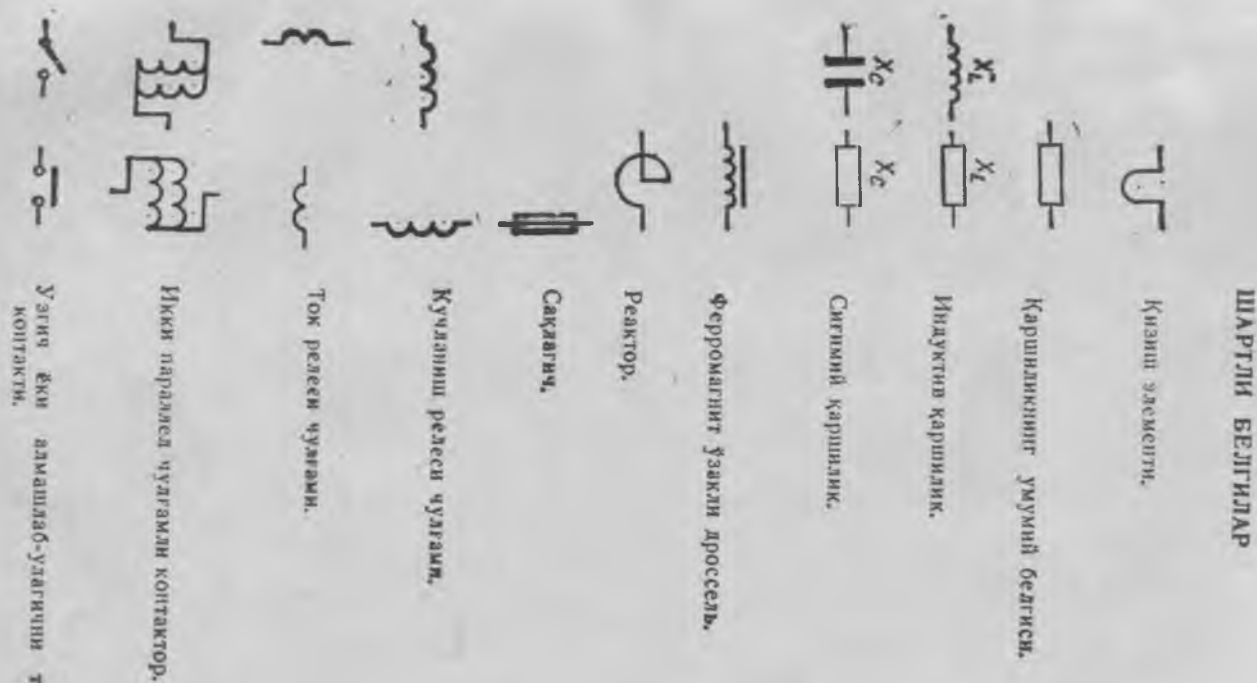
Типи	Валдаги номин. қувват, кВт	Номинал нагрузкада			I_n , А	$\frac{I_{\text{ишт}}}{I_n}$	$\frac{M_{\text{ишт}}}{M_n}$	$\frac{M_{\text{макс}}}{M_n}$	Оғирлиги, кг	Роторнинг сил-таш моменти, ГД², кгм²
		айланиш частотаси айл мин	η , %	$\cos \varphi$						
АП 61-4	10	1450	86	0,85	20,3	5	1,8	2,1	125	0,36
АП 62-4	14	1450	87,5	0,85	28,6	5	1,8	2,2	148	0,48
АП 71-4	20	1450	88	0,85	40,6	5	1,8	2,2	205	0,95
АП 72-4	28	1450	89	0,85	56	6,5	1,8	2,2	230	1,2
АП 81-4	40	1460	90	0,85	79,4	6	1,8	2,2	360	1,9
АП 82-4	55	1460	90,5	0,86	107	6,5	1,8	2,2	400	2,5
АП 91-4	75	1460	91	0,86	146	6	1,8	2,2	590	4,7
АП 92-4	100	1460	91,5	0,86	193	6,5	1,8	2,2	665	6,2
АП 61-6	5	960	84	0,79	16	4,5	1,7	2	125	0,36
АП 62-6	10	960	86	0,81	21,7	5	1,8	2	140	0,48
АП 71-6	14	970	86	0,82	29,9	5,5	1,8	2	205	1,5
АП 72-6	20	970	87,5	0,83	41,6	6	1,8	2,2	230	1,9
АП 81-6	28	975	88,5	0,84	57	6	1,8	2,2	360	3,2
АП 82-6	40	975	89,5	0,84	80,8	6,5	1,8	2,2	400	4,1
АП 91-6	55	980	90,5	0,84	104	6	1,8	2,2	590	7
АП 92-6	75	980	91,5	0,84	148	6,5	1,8	2,2	665	9,2
АП 61-8	4,5	730	82,5	0,74	11	5	1,7	2,2	125	0,7
АП 62-8	6	730	84	0,76	16,7	5	1,7	2,2	140	0,9
АП 71-8	10	730	85	0,77	23,2	5	1,7	2,2	205	1,5
АП 72-8	14	730	86,5	0,77	32	5,5	1,7	2,2	230	1,9
АП 81-8	20	730	87,5	0,77	45	5,5	1,7	2,2	360	3,2
АП 82-8	28	730	88,5	0,77	62,5	5,5	1,7	2,2	400	4,1
АП 91-8	40	730	89,5	0,78	87	5,5	1,7	2,2	590	7,5
АП 92-8	55	730	90,5	0,78	117	6	1,7	2,2	665	9,2

АК типдаги фаза роторли асинхрон моторларнинг техникавий кўрсаткичлари

Типи	Валдаги номин. қувват, кВт	Номинал нагруккала							Ротор		$\frac{M_{\text{макс}}}{M_n}$	Оғирлиги, кг	Роторнинг сил- таш моменти ГД², кгм²
		айланиш частотаси айл мин	Турли кучланишлардаги статор токи				η %	cos φ	кучланиш, В	токи, А			
			127 В	220 В	380 В	500 В							
АК 51-4	2,8	1370	18,9	10,9	6,3	4,8	78	0,82	84	22,5	2,2	84	0,19
АК 52-4	4,5	1400	29,4	17	9,8	7,5	80	0,83	131	22	2,2	105	0,27
АК 60-4	7,5	1400	—	27	15,5	12	82	0,84	144	33,5	2,2	125	0,45
АК 61-4	10	1420	—	37	21,5	16,5	83,5	0,85	207	32	2,2	145	0,55
АК 62-4	14	1420	—	50	29	22	84,5	0,86	262	35	2,2	169	0,65
АК 71-4	20	1120	—	70	40,5	31	86	0,86	193	68	2,2	235	1,1
АК 72-4	28	1420	—	96	55,5	42	87	0,87	258	71	2,6	260	1,3
АК 81-4	40	1440	—	135	78	60	88	0,87	336	74	2,6	400	2,5
АК 82-4	55	1440	—	182	105	80	87	0,87	480	72	2,6	440	3
АК 91-4	75	1460	—	247	143	110	90	0,88	383	115	2,6	640	6,2
АК 92-4	100	1460	—	330	190	145	90,5	0,88	520	117	2,8	740	7,6
АК 51-6	1,7	905	4,4	8,3	4,8	3,7	72,5	0,72	57	20,2	2	84	0,19
АК 52-6	2,8	920	22,2	12,8	7,4	5,5	75,5	0,74	91	21,5	2	105	0,26
АК 60-6	4,5	925	—	20	11	8,9	78,5	0,76	117	26	1,8	125	0,75
АК 61-6	7	940	—	28,5	16	12,5	81	0,78	175	26	2	145	0,95
АК 62-6	10	940	—	39	22	17,5	82,5	0,79	225	30	2	160	1,1
АК 71-6	14	950	—	54	31	24	84	0,8	158	63	2	235	1,7
АК 72-6	20	950	—	75	43	33	85	0,81	212	63	2	260	2,1
АК 81-6	28	965	—	103	60	45	86,5	0,82	276	67	2	400	3,7
АК 82-6	40	965	—	143	83	88,5	87,5	0,83	390	65	2,2	440	4,6
АК 91-6	55	970	—	192	110	85	88,5	0,83	390	88	2,4	640	10,8
АК 92-6	75	970	—	228	150	113	89,5	0,84	538	88	2,4	710	13,5
АК 61-8	4,5	700	—	21	12	9,5	76,5	0,72	126	24	1,9	145	0,95
АК 62-8	7	700	—	30	17,5	13,6	79,5	0,74	168	28	1,9	160	1,1
АК 71-8	10	700	—	42	24	18,5	81,5	0,76	118	64	1,9	235	1,6
АК 72-8	14	700	—	57	33	25	83	0,77	160	64	1,9	260	2
АК 81-8	20	710	—	78	45	34	84,5	0,79	238	57	1,9	400	3,5
АК 82-8	28	710	—	106	61	47	86	0,8	322	56	1,9	440	4,4
АК 91-8	40	720	—	147	85	65	87,5	0,81	278	92	1,9	640	10,4
АК 92-8	55	720	—	197	114	87	88,5	0,82	386	92	1,9	710	13

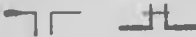
АОБ ва АОПБ типдаги бир фазали асинхрон моторларнинг асосий техникавий кўрсаткичлари

Типи	Валдаги номи- нал қувват, кВт	Номинал нагрузида						$\frac{I_{ншт}}{I_n}$	$\frac{M_{ншт}}{M_n}$	$\frac{M_{макс}}{M_n}$
		айланмиш частотаси, ВГц	турли кучланишлардаги статор токи			η %	$\cos \varphi$			
			127 В	220 В	380 В					
АОБ 31-2	400	2920	6,55	3,8	2,15	66	0,72	9	1	2,2
АОБ 32-2	600	2940	9,5	5,5	3,2	69	0,72	9	1	2,2
АОБ 31-4	270	1440	5,7	3,3	1,9	60	0,62	8	1,2	1,9
АОБ 32-4	400	1440	7,6	4,4	2,55	67	0,62	8	1,2	1,9
АО.ПБ 11-2	30	2880	0,85	0,49	0,28	41	0,68	8	1	1,4
АО.ПБ 12-2	50	2880	1,18	0,68	0,39	48	0,7	8	1	1,3
АО.ПБ 11-2	80	2890	1,75	1	0,6	41	0,72	7,5	1	2,2
АО.ПБ 11-2	120	2890	2,4	1,4	0,8	55	0,72	7,5	1	2,2
АО.ПБ 21-2	180	2890	3,3	1,9	1,1	59	0,72	7,5	1	2,2
АО.ПБ 22-2	270	2890	4,7	2,7	1,5	63	0,72	7,5	1	2,2
АО.ПБ 31-2	400	2920	6,55	3,8	2,15	66	0,72	9	1	2,2
АО.ПБ 32-2	600	2940	9,5	5,5	3,2	69	0,72	9	1	2,2
АО.ПБ 11-4	18	1370	1,05	0,61	0,35	22	0,62	6,5	1	1,4
АО.ПБ 12-4	30	1390	1,38	0,8	0,46	28	0,62	6,5	1	1,4
АО.ПБ 11-4	50	1420	1,9	1,1	0,65	34	0,62	7,5	1,2	1,8
АО.ПБ 12-4	80	1420	2,5	1,45	0,85	41	0,62	7,5	1,2	1,8
АО.ПБ 21-4	120	1420	3,3	1,9	1,1	47	0,62	7,5	1,2	1,8
АО.ПБ 22-4	180	1420	4,3	2,5	1,45	53	0,62	7,5	1,2	1,8
АО.ПБ 31-4	270	1440	5,7	3,3	1,9	60	0,62	8	1,2	1,9
АО.ПБ 32-4	400	1440	7,6	4,4	2,55	67	0,62	8	1,2	1,9





Узгич ёки алмашлаб-улагични ажратувчи кон-
такти.



Контактор ёки релени: *а* — туташтирувчи бош
ёки блок контакти ва *б* — ажратувчи контакти.



Вақт релесини туташтирувчи контактлари:
а) туташтишдаги;



б) ажралишдаги.



Вақт релесини ажратувчи контактлари:
а) туташтишдаги;



б) ажралишдаги.



Иссиқлик релеларини ажратувчи контакти.



Туташтирувчи контактди кнопка.



Ажратувчи контактди кнопка.



Ажратувчи ва туташтирувчи контактди кнопка.



Магнит кучайтиргич чулғамлари алоҳида кўрса-
тилганда:

а) иш чулғами;



б) бошқариш чулғами.



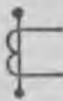
Трансформаторлар:
а) автотрансформатор;



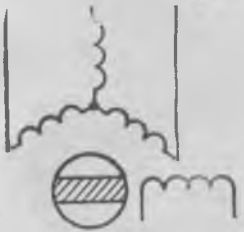
б) бир фазали трансформатор;



в) уч фазали трансформаторнинг нейтрал нуқ-
таси чиқарилган юлдуз схемасида уланиш схе-
маси;



г) ток трансформатори.



Сельсин-датчик, сельсин-приёмник.



Қисқа туташтирилган роторли икки фазали асин-
хрон мотори.



а) учбурчак схемасида улаш;



б) юлдуз схемасида улаш.

Қисқа туташтирилган роторли асинхрон мотор-нинг:



а) умумий;



б) юлдуз схемасида уланиш;



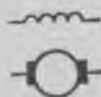
в) учбурчаклик схемасида уланиш белгилари.



Юлдуз схемасида уланган фаза роторли асинхрон мотори (статор чулғами учбурчаклик схемасида уланган).



Ўзгармас ток машиналари:



а) мустақил қўзғатишли;

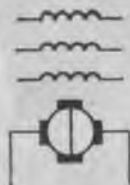


б) параллел қўзғатишли;

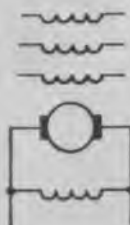


в) кетма-кет қўзғатишли.

Электр машинали кучайтиргич (ЭМК) лар:



а) бир неча бошқаринг чулғамларига эга кўндаланг магнит майдонли ЭМК;



б) бир неча бошқаринг чулғамларига эга ўз-ўзини қўзғатувчи (бухлама магнит майдонли) ЭМК.



р—п—р — типли транзистор;



п—р—п типли транзистор;



тиристор (бошқарилувчи диод).

Фойдаланилган адабиёт

- Пиотровский Л. М. Электрические машины, Госэнергоиздат, 1963 г.
- Костенко М. П., Пиотровский Л. М. Электрические машины, Ч. 1 и 2, Госэнергоиздат, 1958 г.
- Сергеев П. С. Электрические машины, Госэнергоиздат, 1962 г.
- Кацман М. М. Электрические машины и трансформаторы, Госиздат, 1961 г.
- Лотоцкий К. В. Электрические машины и основы электропривода, Издательство „Колос“, 1964 г.
- Андреев В. П., Сабинин Ю. А. Основы электропривода, Госэнергоиздат, 1963 г.
- Чиликин М. Г. Общий курс электропривода, Издательство „Энергия“, 1965 г.
- Назаров Г. И., Олейник Н. П., Фоменков А. П., Юровский И. М. Основы электропривода и применение электрической энергии в сельском хозяйстве, Издательство „Колос“, 1965 г.
- Гейлер Л. Б. Электропривод в тяжелом машиностроении, Машгиз, 1958 г.
- Вешеневский С. Н. Характеристики двигателей в электроприводе, Издательство „Энергия“, 1966 г.
- Комар М. А. Основы электропривода и аппаратуры управления, Госэнергоиздат, 1959 г.
- Хализев Г. П. Электропривод и основы управления, Госэнергоиздат, 1963 г.
- Харизоменов И. В. Электрическое оборудование металлорежущих станков, Машгиз, 1958 г.
- Хамудханов М. З., Усманов С. З., Усманходжаев Н. М., Хусанов М. Д. Частотное регулирование скорости электроприводов переменного тока, Издательство „Фан“, 1966 г.
- Сиротин А. А. Автоматическое управление электроприводами, Госэнергоиздат, 1959 г.
- Цукин А. И. Автоматическое управление электроприводами, Издательство „Энергия“, 1964 г.
- М. Хомидхонов, С. Мажидов, Электрик юртим ва уни бошқариш асослари, „Ўқитувчи“ нашриёти, 1970 й.
- Ғ. Р. Раҳимов, Электротехника, Ўқитувчи нашриёти, 1968 й.
- М. З. Хамудханов, Н. М. Усманходжаев, М. С. Мушкатин, С. Маджидов, М. А. Таджиев, Об одном способе регулирования скорости асинхронного двигателя, Известия АН УзССР, серия технических наук № 3, 1970 г.
- Маджидов С., Мушкатин М. С., Усманходжаев Н. М. Графоаналитический способ расчета основных характеристик трехфазного двигателя, работающего от однофазного источника тока через фазосдвигающее сопротивление, XXVIII научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава ТИИИМСХ, 1969 г.
- Маджидов С., Хамудханов М. З. К вопросу создания узбекско-русского терминологического словаря по электроприводу и автоматизации промышленных установок, II республиканская научно-техническая конференция энергетиков, 1968 г.
- Эфендизаде А. А., Маджидов С. М. и др. Шестязычный, русско — англо — азербайджанско — узбекско — киргизско — туркменский терминологический словарь по автоматическому управлению, Издательство „ЭЛМ“, г. Баку, 1977 г.

У. Иброҳимов, „Электр машиналар“, Ўқитувчи* Иашриёти, Т. 19
С. Мажидов, Электр машина ва электрик юритмалардан практикум,
„Ўқитувчи“ нашриёти, 1975 й.
Маджидов С. М., Алиева С. Х. Лабораторные работы по ТОЭ, типография ТИИИМСХ 1977 г.
Маджидов С. М., Игрон Н. С. Лабораторные работы по электрическим измерениям, типография ТИИИМСХ, 1977 г.
Маджидов С. М. и др. Лабораторные работы по электротехнике, типография института Узгипрозем, 1975 г.
Маджидов С. М. Машинный прием зачетов по электротехнике, типография ТИИИМСХ, 1977 г.

М У Н Д А Р И Ж А

Сўз боши	3
БИРИНЧИ ҚИСМ	
Электрик машиналар ва трансформаторлар	
I боб. Электрик машиналар тўғрисида умумий тушунчалар	5
1-1. Электрик машиналарнинг вазифаси ва классификацияси	5
1-2. Электрик машиналар ва трансформаторларнинг ишлаш принципи	6
1-3. Электрик машиналар ва трансформаторлар тараққиётининг қис- қача тарихи	9
1-4. СССР да электрик машиналарнинг ўзлаштирилиши ва унинг ри- вожланиш истиқболлари	11
II боб. Ўзгармас ток машиналарининг ишлаш принципи ва тузилиши	
2-1. Ўзгармас ток генераторининг ишлаш принципи	11
2-2. Ўзгармас ток машинасининг асосий қисмлари	14
III боб. Якорь чулғамлари ва уларда ҳосил бўладиган электр юритувчи куч	
3-1. Умумий тушунчалар	16
3-2. Сиртмоқсимон оддий чулғам	18
3-3. Тўлқинсимон оддий чулғам	21
3-4. Сиртмоқсимон ва тўлқинсимон мураккаб чулғамлар	22
3-5. Аралаш схемали чулғамлар	23
3-6. Якорь чулғамининг электр юритувчи кучи	25
IV боб. Ўзгармас ток машинасининг магнитавий занжири, якорь реакцияси ва коммутацияси	
4-1. Магнитавий занжир ва уни ҳисоблаш	26
4-2. Якорь реакцияси	29
4-3. Ўзгармас ток машинасининг коммутацияси	30
V боб. Ўзгармас ток генераторлари	
5-1. Умумий тушунчалар	35
5-2. Мустақил қўзғатишли ўзгармас ток генератори ва унинг харак- теристикалари	38
5-3. Параллел қўзғатишли генератор ва унинг характеристикалари . .	42
5-4. Кетма-кет қўзғатишли генератор ва унинг характеристикалари . .	44
5-5. Аралаш қўзғатишли генератор ва унинг характеристикалари . .	45
5-6. Электрик машинавий кучайтиргичлар	46
5-7. Автотрактор генератор ва стартерлари	47

VI бoб. Ўзгармас ток моторлари

6-1. Умумий тушунчалар	49
6-2. Электрик мотор валига таъсир этувчи моментлар ва уларнинг мувозанат тенгламаси	51
6-3. Қаршилиқ ва силташ моментларини мотор валидаги частотага келтириш	55
6-4. Ўзгармас ток моторларининг механикавий характеристикаси	57
6-5. Ўзгармас ток моторларини ишга тушириш	59
6-6. Электрик моторнинг тормоз режимлари	61
6-7. Электрик моторлар тезлигини ростлаш	63
6-8. Параллел қўзғатишли ўзгармас ток мотори	65
6-9. Параллел қўзғатишли моторнинг механикавий характеристикаларини қуриш	66
6-10. Параллел қўзғатишли моторни ишга тушириш реостатни ҳисоблаш	68
6-11. Параллел қўзғатишли мотор тормоз режимларининг механикавий характеристикалари	70
6-12. Параллел қўзғатишли мотор частотасини ростлаш усуллари	74
6-13. Механикавий характеристикаларни қуришда нисбий бирликлардан фойдаланиш	78
6-14. Кетма-кет қўзғатишли ўзгармас ток мотори	79
6-15. Кетма-кет қўзғатишли мотор частотасини ростлаш усуллари	86
6-16. Аралаш қўзғатишли ўзгармас ток мотори	87

VII бoб. Трансформаторлар

7-1. Трансформаторнинг тузилиши, ишлаш принципи ва ишлатилиши	88
7-2. Трансформатор конструкциясининг асосий қисмлари	91
7-3. Трансформаторнинг салт иш режими	92
7-4. Трансформаторнинг нагрузка режими	95
7-5. Трансформаторнинг қисқа туталиш режими	97
7-6. Трансформаторнинг ташқи характеристикаси	99
7-7. Трансформаторнинг фойдали иш коэффициенти	99
7-8. Уч фазали трансформаторлар	100
7-9. Трансформаторларнинг параллел ишлаши	104
7-10. Махсус трансформаторлар	106
7-11. Кучланиш муътадиллаштиргичи	111
7-12. Магнитавий кучайтиргич	112

VIII бoб. Ўзгарувчан ток машиналари

8-1. Умумий тушунчалар	114
8-2. Ўзгарувчан ток машинасининг чулғамлари	116
8-3. Синхрон генератори статор чулғамининг электр юритувчи кучи	117
8-4. Статорнинг бир фаза ва бир қатламли чулғамлари	118
8-5. Статорнинг уч фазали чулғами	120
8-6. Статорнинг магнитавий майдони	122
8-7. Якорь реакцияси	123
8-8. Синхрон генераторнинг векторий диаграммалари	125
8-9. Синхрон генераторларнинг қўзғатиш схемалари	133
8-10. Синхрон генераторларнинг параллел ишлаши	136
8-11. Синхрон генераторларни параллел ишлашга улаш усуллари	138

IX бoб. Синхрон моторлар

9-1. Синхрон моторнинг ишлаш принципи	144
9-2. Синхрон моторнинг механикавий ва бурчагий характеристикалари	145
9-3. Синхрон моторни ишга тушириш	148
9-4. Контактсиз синхрон моторлар	150
9-5. Синхрон моторни тормозлаб тўхтатиш усуллари	151
9-6. Синхрон моторнинг иш характеристикалари	152
9-7. Синхрон машинанинг фойдали иш коэффициенти	153
9-8. Синхрон реактив мотори	154

X б о б. Асинхрон машиналар

10-1.	Умумий тушунчалар	155
4 ← 10-2.	Уч фазали асинхрон мотор	155
10-3.	Асинхрон мотордаги электромагнитавий процесслар	158
10-4.	Асинхрон моторнинг векторий диаграммаси ва эквивалент схемаси	161
10-5.	Асинхрон моторнинг энергетикавий диаграммаси	163
10-6.	Асинхрон моторнинг механикавий характеристикаси	164
10-7.	Асинхрон моторни ишга тушириш	168
10-8.	Фаза роторли асинхрон моторни ишга тушириш	169
10-9.	Қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторни ишга тушириш	171
10-10.	Асинхрон моторнинг генератор ва электромагнитавий тормоз режимлари	175
10-11.	Асинхрон моторнинг иш характеристикалари	178
10-12.	Асинхрон моторнинг айлана диаграммаси	179
10-13.	Асинхрон моторнинг частотасини ростлаш усуллари	184
10-14.	Қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторларнинг махсус типлари	191
10-15.	Пахта териш машинаси шпинделларининг юритмасига мўлжалланган кўп роторли асинхрон мотор	194
10-16.	Бир фазали асинхрон моторлар	195
10-17.	Бир фазали моторларни ишга тушириш	196
10-18.	Уч фазали асинхрон моторни бир фазали электр тармоғига улаб ишга тушириш	198
10-19.	Кетма-кет қўзғатишли бир фазали ва универсал типдаги коллекторли моторлар	200
10-20.	Индуктив ва фаза ростлагичлари. Уч фазали индуктив ростлагич	203

XI б о б. Ўзгартиргичлар

11-1.	Умумий тушунчалар	205
11-2.	Ток тури ва частота қийматини ўзгартирувчи электрик машинавий ўзгартиргичлар	206
11-3.	Чала ўтказгичли статикавий частота ўзгартиргичлар	210
11-4.	Тиристор ва тиристорли частота ўзгартиргичлар	213

XII б о б. Электрик машинанинг нуқсонлари

12-1.	Электрик машиналар ва трансформаторлар ўта қизишининг асосий сабаблари	217
12-2.	Электрик машиналар дириллашининг асосий сабаблари	218
12-3.	Ўзгармас ток генераторларининг асосий нуқсонлари	219
12-4.	Ўзгармас ток моторларининг асосий нуқсонлари	220
12-5.	Трансформаторнинг асосий нуқсонлари	221
12-6.	Синхрон машиналарнинг асосий нуқсонлари	223
12-7.	Асинхрон моторларнинг асосий нуқсонлари	223

И К К И Н Ч И Қ И С М

ЭЛЕКТРИК ЮРИТМА ВА УНИ АВТОМАТИК БОШҚАРИШ

XIII б о б. Электрик юритма тўғрисида умумий тушунчалар ва унинг ривожланиш тарихи

13-1.	Электрик юритма ва унинг таърифи	225
13-2.	Электрик юритмаларнинг классификацияси	225
13-3.	Электрик юритма ривожланишининг қисқача тарихи	228
13-4.	СССР да электрик юритманинг тараққиёти	228
13-5.	Қишлоқ хўжалик машиналари электрик юритмалари тараққиётининг асосий нуқталари	229

XIV боб. Электрик юритмаларнинг ўткинчи режимлари

14-1. Умумий тушунчалар	230
14-2. Ўткинчи процесс вақтини аналитик усули билан ҳисоблаш . . .	231
14-3. Ўткинчи процесс вақтини графикавий усул билан ҳисоблаш . .	233
14-4. Ўткинчи процесс вақтини графоаналитик усул билан ҳисоблаш .	235
14-5. Мустақил қўзғатишли ўзгармас ток моторининг ишга тушириш процессидagi ўткинчи режими	236
14-6. Асинхрон моторларнинг ўткинчи режимлари	242
14-7. Электрик юритманинг ўткинчи процессларини моделлаш усули билан аниқлаш	243

XV боб. Электрик юритма системасини танлаш

15-1. Умумий тушунчалар	249
15-2. Электрик юритманинг иш режимлари	251
15-3. Моторнинг узоқ муддатли ўзгармас нагрузка билан ишлаш режи- мидаги қизиш ва сопиш процесслари	252
15-4. Узоқ муддатли ўзгармас нагрузкада мотор қувватини аниқлаш .	255
15-5. Узоқ муддатли ўзгарувчан нагрузкада мотор қувватини аниқлаш	262
15-6. Қисқа муддатли нагрузкада мотор қувватини аниқлаш	266
15-7. Такорланувчи қисқа муддатли нагрузкада мотор қувватини аниқ- лаш	267
15-8. Ток тури, кучланиш қиймати, айланиш частотаси ва тузилиш конструкциясига биноан мотор турини танлаш	269
15-9. Электр моторларининг асосий типлари	272
15-10. Электр моторларининг қувват коэффициентлари	273

XVI боб. Электрик юритманинг автоматик бошқариш аппаратлари

16-1. Умумий тушунчалар	276
16-2. Дастаки бошқариш аппаратлари	276
16-3. Реле-контакторли бошқариш аппаратлари	278
16-4. Ўзгармас ток контакторлари	279
16-5. Ўзгарувчан ток контакторлари	280
16-6. Магнитавий юргизиб юборгич	281
16-7. Бошқариш релелари	281
16-8. Вақт релелари	282
16-9. Кучланиш ва ток релеси	285
16-10. Ҳимоялаш аппаратлари	285
16-11. Электрик юритма ҳамда автоматикада ишлатиладиган баъзи дат- чик қурилма ва мантиқий элементлар	288
16-12. Йўл датчиклари (алмашлаб улагичлар)	288
16-13. Частота датчиклари	289
16-14. Қалқовичли релелар	291
16-15. Босим релеси	292
16-16. Электромагнитлар ва электромагнитавий муфтлар	292
16-17. Сельсинлар	293
16-18. Контактсиз датчик ва мантиқий элементлар	297

XVII боб. Электрик юритмаларнинг автоматик бошқариш схемалари

17-1. Умумий тушунчалар	304
17-2. Автоматик бошқариш схемаларининг тузилиши	305
17-3. Очiq системали автоматик бошқариш схемалари	307
17-4. Электрик юритманинг автоматик бошқариш схемаларида қўлла- ниладиган блокировка алоқалари	310
17-5. Электрик юритмани автоматик ишга тушириш усуллари	311
17-6. Электрик юритмани автоматик тормозлаб тўхтатиш усуллари . .	314

17-7. Ўзгарувчан ток моторларининг бошқариш занжирига ток турини танлаш	316
17-8. Электрик юритма билан технологик процессларни автоматлаштириш усуллари	318
17-9. Станокларнинг автоматик линиялари	321
17-10. Берк системали автоматик бошқариш схемалари	322
17-11. Тескари алоқа занжирлари	324
17-12. Электрик машинавий кучайтиргичли генератор-мотор электрик юритма системаси	327
17-13. Магнитавий кучайтиргичли электрик юритма системалари	329
17-14. Ион ва чала ўтказгичли электрик юритма системалари	331
17-15. Тақлидчи электрик юритма системалари	336
17-16. Програма билан бошқариладиган электрик юритмалар	338
17-17. Сирпаниш муфтали электрик юритма системалари	346

На узбекском языке

МАДЖИДОВ САПИ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
И ЭЛЕКТРОПРИВОД

Учебник для сельхозтехникумов

2-е, дополненное, переработанное издание

Издательство „Ўқитувчи“ — Ташкент — 1979

Муҳаррир *А. Аҳмедов*
Бадий муҳаррир *Ф. Некқадамбоев*
Техн. муҳаррир *Н. Сорокина, Т. Ф. Скиба*
Корректор *М. Абунабиева*

ИБ № 1112

Теришга берилди 20. 12. 78 й. Босишга рухсат этилди 21.08.79 й. Формат 60×90^{1/16}. № 3 тип. қоғози. Кегли 10 шпониз. Литературная гарнитура. Юқори босма усулида босилди. Шартли б. л. 23,0. Нашр. л. 21,2. Тираж 5000. Зак. № 3. Р 05588. Баҳоси 75 т.

„Ўқитувчи“ нашриёти. Тошкент, Навоий кўчаси. 30. Шартнома 39-78.

Ўзбекистон ССР Нашриётлар, полиграфия ва китоб савдоси ишлари Давлат комитети Тошкент „Матбуот“ полиграфия ишлаб чиқариш бирлашмасига қарашли 1-босмахона. Тошкент, Ҳамза кўчаси, 21. 1979 й.

Типография № 1 Ташкентского полиграфического производственного объединения „Матбуот“ Государственного комитета УзССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. Ташкент, ул. Хамзы, 21. 1979 г.