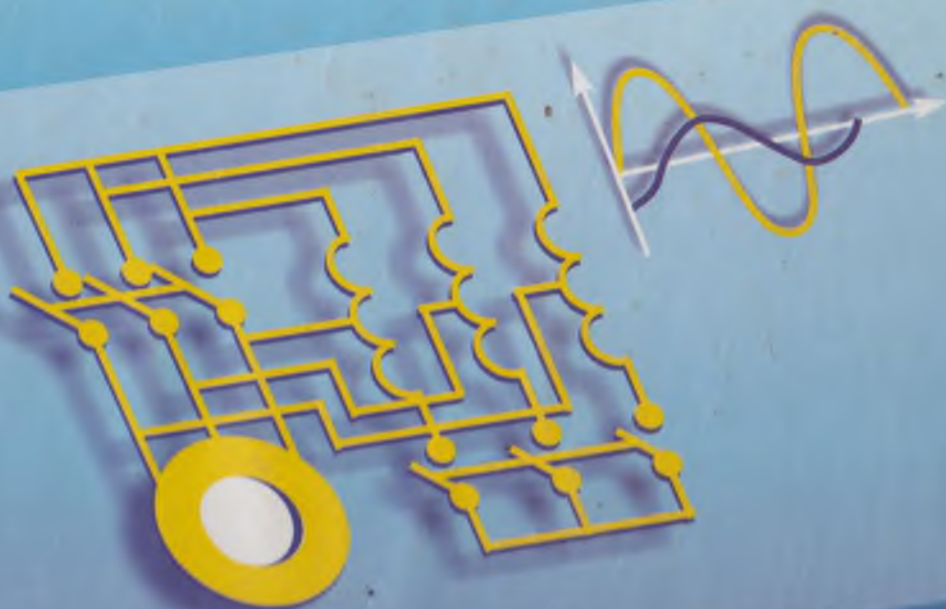


С. Мажидов

ЭЛЕКТР МАШИНАЛАРИ ВА ЭЛЕКТР ЮРИТМА



С. МАЖИДОВ

Электр машиналари ва электр юритма

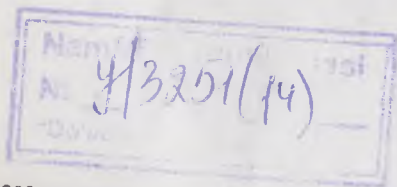
**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ҚИШЛОҚ ВА СУВ ХЎЖАЛИГИ ВАЗИРЛИГИ
КАСБ-ҲУНАР КОЛЛЕЖЛАРИНИНГ
ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ ЭЛЕКТРЛАШТИРИШ
ИХТИСОСЛИКЛАРИ УЧУН ДАРСЛИК
СИФАТИДА ТАВСИЯ ЭТГАН**

Қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқаришини электрлаш ва автоматлаш йўналишидаги коллеж ўқувчиларига мўлжаллаб қайта ишланган ушбу китобда: ўзгармас ва ўзгарувчан ток генератори ва моторларининг тузилиши, ишлаш принципи, тавсифалари, уларни ишга тушириш, тормозлаш, айланиш тезликларини ростлаш усуллари, трансформаторларнинг тузилиши, ишлаш принципи, вазифалари, махсус трансформаторлар ҳамда электр юритма турлари, қўлланиши, улар қувватини ҳисоблаш усуллари, электр юритмани автоматик бошқариш аппаратлари ва схемалари ҳақида маълумотлар берилган. Дарслик муаллифнинг Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш инженерлари институти "Назарий электротехника" кафедрасида узоқ йиллар давомида фаолият кўрсатиб яратган китобларидан биридир. Ундан олий ўқув юртларининг ушбу йўналишдаги бакалаврлари ва соҳа мутахассислари ҳам фойдаланишлари мумкин.

Тақризчилар:

т.ф.д., академик, Ўзбекистонда хизмат кўрсатган фан ва техника арбоби,
Беруний номли Ўзбекистон Давлат мукофоти совриндори **М. З. ҲОМИДХОНОВ**

т.ф.д., профессор, Беруний номли Ўзбекистон Давлат мукофоти
совриндори **Н. М. УСМОНХҲАЕВ**



М 2202000000-165
353(04)-2002 катъий буюртма - 2002

ISBN 5-645-03976-9

© "Ўқитувчи" нашриёти,
"Зиё-Ношир" КШК, 2002.

КИРИШ

Республикамиз мустақилликка эришгандан сўнг, кадрлар тайёрлашнинг миллий дастурига мувофиқ, юртимизда жаҳон андозаларига мос бўлган кўп босқичли таълим йўналишларига асос солинди. Жумладан, бу ислохатларга биноан, ўлкамизнинг барча туман ва чекка қишлоқ марказларида ҳам юзлаб касб-ҳунар коллежлари ва академик лицейлар қурилиб, фаолият кўрсатмоқда. Улар энг замонавий ўқитиш технологияларини акс эттиришга қодир бўлган техника воситалари билан жиҳозланган. Ўқитиш самарадорлигини ошириш учун эса, ўқувчиларга дарсликлар яратилмоқда ва олий ўқув юртларининг педагогика факультетларида магистратуралар ташкил этилиб, уларда коллеж ўқувчилари учун етук ўқитувчилар тайёрланмоқда. Жумладан, қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқаришини электрлаштириш ва автоматлаштириш йўналишидаги коллеж ўқувчиларига мўлжалланган "Электр машиналари ва электр юритма" номли фандан ушбу дарслик яратилди.

Ҳозирги кунда халқ хўжалигининг турли соҳалари ва, ҳатто, маиший хизматда ҳам электр машиналари, аппаратлари ва бошқа электр жиҳозлари кўп ишлатилмоқда. Хусусан, электр энергиясининг асосий қисми — иссиқлик гидро ва атом станцияларида ўрнатилган синхрон электр машиналарида ҳосил қилинади. Бунда, буғ ва гидротурбиналарнинг механик энергиясига айлантирилади. Ҳозирги иссиқлик электр станцияларида қуввати 300, 500, 800 ва 1200 МВА бўлган турбогенераторлар, гидростанцияларда эса, 200... 1000 МВА ли гидрогенераторлар ишлатилмоқда. Энергетика системасидан узоқда жойлашган кичик қувватли истеъмолчиларни электр энергияси билан таъминлашда дизель-моторлари, шамол моторлари, буғ ва гидротурбиналар орқали айлантириладиган синхрон генераторларидан фойдаланилади, (бундай маҳаллий электр станциялари фавқулодда вазиятларда ҳам кенг ишлатилмоқда).

Статистик маълумотларга биноан ҳозирда Республикамизда ишлаб турган кўп сонли иссиқлик ва гидростанцияларда ҳосил қилинган электр энергияси қувватининг умумий миқдори 11 млн кВт дан ортиқ бўлиб, бундан 9,8 млн кВт қувват иссиқлик, қолгани ГЭСларда ишлаб чиқарилмоқда. 2000 йилда Республикамизда ишлаб чиқарилган электр энергиясининг умумий миқдори 47,7 млрд. кВт соат бўлиб, жон бошига 2000 кВт соатга тенгдир. Юртимизда катта қувватли иссиқлик электр станциялари: жумладан, Сирдарё Давлат туман электр станцияси (ДТЭС), Ангрен, Навоий, Тахия-Тош, Тош-

кент ДТЭС лари ва бошқа иссиқлик ЭС ҳамда Чорвоқ, Фарҳод, Хўжакент, Товоқсой каби катта қувватли ва 20 дан ортиқ кичик қувватли ГЭС лар ишлаб турибди.

Маҳсулотлар ишлаб чиқарадиган машина ва механизмлар турли хилдаги электр моторлари билан ҳаракатга келтирилади. Электр энергиясини механик энергияга айлантирадиган машина *электр мотор* дейилади. Ҳозирда республикамызда ишлаб чиқарилаётган электр энергиясининг тахминан 70% ини электр моторлари истеъмол қилмоқда. Бу рақам қишлоқ хўжалиги соҳасига ҳам тааллуқлидир.

Каналдаги сув йўлма-йўлакай чўл хўжаликларига *электр юритмалар* воситасида темир дарвозали тўғонлар орқали тарқатилади ва охириги каналдаги тарқатилмай қолган ортиқча сув омборда йиғилади. Шундай қилиб, бу насосларни айлантираётган синхрон электр моторларининг умумий қуввати 400 минг кВт дан ортиқдир. Умуман, катта қувватли насос, вентилятор ва компрессорлар каби ўзгармас тезлик ва доимий юклама билан узоқ муддатда ишлайдиган механизмларни айлантиришда синхрон моторларидан фойдаланилади (бунда синхрон моторларнинг қувват коэффициентини $\cos\varphi$ 1 га тенг). Давлат электр станциялари одатда энергетика ресурслари мавжуд бўлган туманларда қурилади ва уларда электр энергияси уч фазали ток сифатида асосан синхрон генераторлари воситасида ҳосил қилинади. Асинхрон машиналари эса, бошқа электр машиналари сингари генератор ва мотор режимларида ишлай олади, аммо қувват коэффициентининг пастлиги сабабли улар фақат ўртача қувватли моторлар сифатида фойдаланилади. Хусусан, тузилишининг соддалиги, ишлашдаги ишончликнинг юқорилиги ва арзонлиги сабабли ротори қисқа туташтирилган асинхрон моторлари кўп соҳаларда кенг қўлланилади.

Ўзгармас ток машиналари ҳам генератор ва мотор сифатида ишлатилади. Гальваника қурилмалари, аккумуляторларни зарядлаш ва ўзгармас ток моторларини электр энергияси билан таъминлашда улар генератор вазифасида ишлатилади. Айланиш тезлиги кенг ва силлиқ ростланишни талаб этадиган ишчи машина ва дастгоҳларда ўзгармас ток моторларидан фойдаланилади.

Қишлоқ хўжалиги, саноат, қурилиш ва транспорт механизмларини ҳаракатга келтиришда *ўзгарувчан* ва *ўзгармас ток электр юритмаларидан* фойдаланилади. Электр мотори ва у билан ҳаракатлантириладиган иш машинаси орасидаги механик узатма (редуктор) ҳамда электр моторини бошқарадиган электр аппаратларидан ташкил топган қурилма *электр юритма* дейилади. Улар ток тури, айланиш тезлиги, ростланиши ва бошқарилиш усулларига қараб турли хилларга ажратилади. Шунингдек, электр юритмалар бошқарувчи электр аппаратлари ва электр схемаларига қараб ҳам турли хиллар-

га бўлинади. Бунда электр моторининг механик тавсифлари ва унинг қувватини ҳисоблашга доир маълумотлар ҳам берилади.

Катта қувватли электр энергиясини узоқ масофада жойлашган истеъмолчиларга узатишда ва турли кучланишдаги электр энергияси ҳосил қиладиган станцияларни бирор юқори кучланишда ўзаро боғлаб, яъни энергетика системасини яратиб электр таъминоти узлуксизлигига эришишда трансформаторлардан кенг фойдаланилади. Ўзгарувчан ток кучланиши қийматини ошириш ёки камайтириш учун ишлатиладиган статик электромагнит аппарат *трансформатор* дейилади.

Республикамыз ўзининг энергетика системасига эга бўлиб, унинг иши марказий диспетчерлик бошқармасидан назорат қилинади. Энергетика системамызда кучланиши 110, 220 ва 500 кВ ли электр узатиш линиялари ишлаб турибди. Жумладан, Фарҳод ГЭС — Тошкент электр узатиш линиясининг узунлиги 250 км, кучланиши 220 кВ, Тошкент — Чирчиқ узатиш линиясининг энергиясини узоқ масофаларга тежамли узатиш учун ҳар бир км масофага 1 кВ кучланиш тўғри келишига эришиш керак бўлади.

Сони ва қуввати ўсиб бораётган электр истеъмолчиларини энергия билан таъминлаш учун мамлакатимиз ва жаҳон энергетикасини жадал ривожлантириш зарурдир. Шу сабабли, электр энергиясини асосий истеъмолчиси бўлмиш электр моторларининг техника-иқтисодий кўрсаткичларини яхшилаш ва шовқинсиз ишлайдиган моторлар яратиш борасида илмий ва амалий ишлар олиб борилмоқда. Ҳозирда АҚШ фирмаларида сервис-факторли (СФ) электр моторлари ишлаб чиқарилмоқда. Моторнинг кутблар сони ва қувватига қараб сервис фактор 1,15—1,4 орасидаги сон бўлиб, кучланиш I ва частота f номинал бўлганда, унинг қуввати P_n ни СФ гача ошириш имкони бўлишлигини билдиради. Шунингдек, ҳарорат +40—15 орасида бўлганда ҳам бундай моторни номинал қувват билан ишлатиш мумкинлигини кўрсатади. Бундан ташқари, частота номинал бўлиб, тармоқ кучланиши +10% ўзгарганда ёки номинал кучланишда частота $\pm 5\%$ ўзгарганда ҳам СФ моторларни ишлатиш мумкин бўлади. Шунингдек, Россиянинг қатор корхоналари, жумладан Владимир электр мотор заводи билан биргаликда 5А сериядаги, қуввати 0,55—315 кВт ли асинхрон моторларни ишлаб чиқармоқда (6А серияси эса, фойдаланишга тайёрланмоқда). Электр моторларини бу янги серияларини яратишда фойдали иш ва қувват коэффициентларини юқори бўлишига ҳамда чет эл жаҳон стандартига мос келишига эътибор берилмоқда. Европанинг етакчи фирмалари стандартлаш бўйича Европа электротехника қўмитаси SENELEC нормаларига мос келадиган асинхрон моторлар ишлаб чиқармоқда. Улар ф.и.к. η ва $\cos\varphi$ коэффициентларини юқори бўли-

шидан ташқари, шовқинсиз ишлаш, қулай монтаж қилиш ва 40 минг соатгача ишлаш имконига эга қилинган.

Мустақиллик туфайли Республикамизда олиб борилаётган ислохотлар қатори электротехника саноатида ҳам катта ўзгаришлар бўлмоқда. Жумладан, Чирчиқ трансформатор заводида юқори кучланишли трансформаторлар, Андижон электр мотор акциядорлик жамиятида эксплуатация кўрсаткичлари юқори бўлган асинхрон моторларининг янги турлари ишлаб чиқарилмоқда.

Шунингдек, гидромелиоратив тизимларидаги очиқ суғориш каналлари ва қувурларида сув сатҳи, сарфи, тезлиги каби катталикларни ўлчайдиган датчикларнинг янги конструкцияларини яратиш бўйича Республикамиз олимлари томонидан катта илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу ишларнинг натижалари асосида 2000 йил АҚШ қишлоқ хўжалиги департаментини “Корхон” дастури бўйича, 2001 йилда эса, АҚШ нинг халқаро илмий тадқиқотлар ва олимларни айирбошлаш “АЙРЕКС” ташкилотининг грантларига сазовор бўлинди. Ҳозирда, бу ишларни ривожлантириш бўйича Калифорния штати ва Нью-Мексико штатлари университетлари билан илмий ҳамкорлик олиб борилмоқда.

Биринчи қисм

Электр машиналари ва трансформаторлар

1 БОБ. ЭЛЕКТР МАШИНАЛАРИ ТЎҒРИСИДА УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

1.1. Электр машиналарининг вазифаси ва таснифи

Электр машиналарни бир неча Вт дан бир неча юз минг кВт қувватга мўлжаллаб тайёрлаш ҳамда 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 механик энергияни электр энергиясига айлантириб берувчи машина *электр генератори* дейилади. Халқ хўжалигининг турли соҳаларида истеъмол қилинадиган электр энергиясининг кўпчилиги қисми иш машинаси ва механизмларни ҳаракатга келтириш учун керак бўлган механик энергияга айлантирилади. Электр энергиясини механик энергияга айлантириб берувчи машина *электр мотор* дейилади. Электр машиналарнинг асосий афзалликларидан бири уларнинг генератор, мотор ҳамда электрмагнит 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.

Электр машиналар ёрдамида электр сигналларни кучайтириш имкони ҳам мавжуддир. Бундай машиналар *электр машина кучайтиргичлари* дейилади.

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

Ижрочи моторлар билан электр сигналлар механик командага, тахогенераторлар билан эса механик сигналлар электр командага айлантирилади. Синхрон боғлаш машиналари воситасида механик усулда ўзаро боғланмаган икки валнинг синхрон бурилиши ёки айланишига эришилади.

Қушват бўйича электр машиналар шартли равишда қуйидаги туркумларга бўлинади:

қуввати бир неча Ваттдан 500 Ваттгача бўлган электр машиналар микромашиналар туркумига киритилади. Бундай машиналар ўзгармас токда ва частотаси нормал ҳамда юқори (400 ÷ 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.

Электр 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 электр машиналар ўзгармас ва ўзгарувчан ток машиналарига бўлинади. Ишлаш принципага кўра эса, ўзгарувчан ток машиналари асинхрон ва синхрон машиналарга бўлиниб, улар бир, икки ва уч фазали тузилишда ишлаб чиқарилади.

1.2. Электр машиналари ва трансформаторларнинг ишлаш принципи

Электр машиналар ва трансформаторларнинг ишлаш принципи электромагнит индукция ва электромагнит куч ҳақидаги физик ҳодисаларга асосланади. Электромагнит индукция қонунини кашф этган Фарадейнинг таърифига биноан, магнит куч чизиқларини маълум частота билан кесиб ўтувчи ўтказгичда электр юритувчи куч (э. ю. к.) ҳосил бўлади (1.1-расм). Ўтказгичда ҳосил бўлган э. ю. к. нинг қиймати магнит куч чизиқларининг зичлиги (магнит индукция), ўтказгич узунлигининг актив қисми ва ўтказгичнинг ҳаракат тезлигига пропорционал бўлиб, қуйидагича аниқланади:

$$E = Bhv, \quad (1.1)$$

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

B — магнит индукция, Тл;

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

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

Э. ю. к. йўналиши ўнг қўл қоидаси билан аниқланади: агар ўнг қўл кафтига магнит куч чизиқлари тик бўлса, у ҳолда кафт текисли-

гига 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 ўз-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;

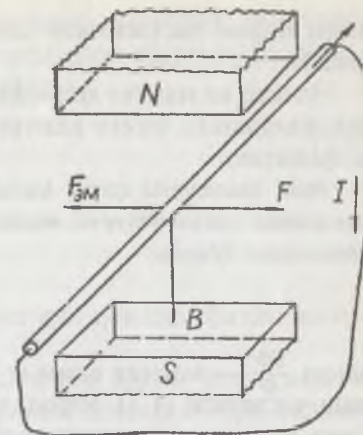
R — истеъмолчининг қаршилиги, Ом.

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

Ўтказгичнинг қўндаланг кесимида биздан қарши томонга йўналган э. ю. к. ва тоқларни ⊗ белги билан, биз томонга йўналганларини ⊙ белги билан белгилаш қабул қилинган.

Токли ўтказгич атрофида магнит оқим Φ ҳосил бўлиб, унинг йўналиши парма қоидаси билан аниқланади.

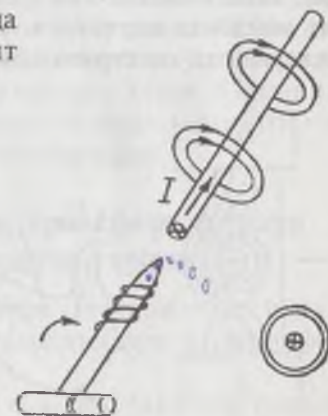
Агар парманинг йўналиши ўтказгичдаги ток йўналишида бўлса, у ҳолда ток атрофида ҳосил бўлган магнит



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



1.2-расм. Ўтказгичда ҳосил бўлган э. ю. к. йўналишини аниқлаш.



1.3-расм. Ўтказгичдаги токдан ҳосил бўлган магнит оқим йўналишини аниқлаш.

оқим парма дастасининг айланиши бўйича йўналган бўлади (1.3-расм).

Электр ва магнит ҳодисалар асосан электромагнит 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 магнит оқимнинг ўзгариш частотасига пропорционал бўлади:

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi}{dt}, \quad (1.3)$$

бунда $\frac{d\Phi}{dt}$ — магнит 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 магнит оқимнинг йўналиши бу занжирни кесиб ўтувчи асосий магнит оқимнинг ўзгаришига тескари бўлишини англатади. Агар ёпиқ занжирни кесиб ўтувчи магнит оқимнинг қиймати камайса, занжирдаги токдан ҳосил бўлган магнит оқим асосий магнит оқим томон йўналиб, унинг камайишига халақит беради.

Шундай қилиб, электромагнит индукция қонунига биноан ўтказгич магнит майдонни ёки магнит 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 магнит майдон билан ёпиқ занжирдан иборат ўтказгич бўлиши кифоя.

Электр моторнинг ишлаш принципи электромагнит кучга асосланган. Электромагнит куч ҳодисасига биноан агар токли ўтказгич магнит майдонга киритилса, у ҳаракатга келади (1.4-расм). Ўтказгични ҳаракатга келтирувчи бундай $F_{эм}$ куч электромагнит куч дейи-

лади. Электромагнит кучнинг қиймати магнит индукция, ўтказгичдаги ток ва ўтказгич узунлигининг қийматларига тўғри пропорционал бўлиб, қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$F_{эм} = BIl, \quad (1.4)$$

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

B — магнит индукция, Тл;

l — ўтказгичнинг узунлиги, м.

Электромагнит кучнинг йўналиши чап қўл қондаси билан аниқланади.

Агар чап қўл кафтига магнит индукция тик бўлиб, ўтказгичдаги токнинг йўналиши кафт текислиги бўйлаб чўзилган тўрт бармоқ йўналишида бўлса, у ҳолда ўтказгичга таъсир этувчи электромагнит кучнинг йўналиши кафт текислигига нисбатан 90° га бурилган бош бармоқ томон йўналган бўлади (1.4-расм).

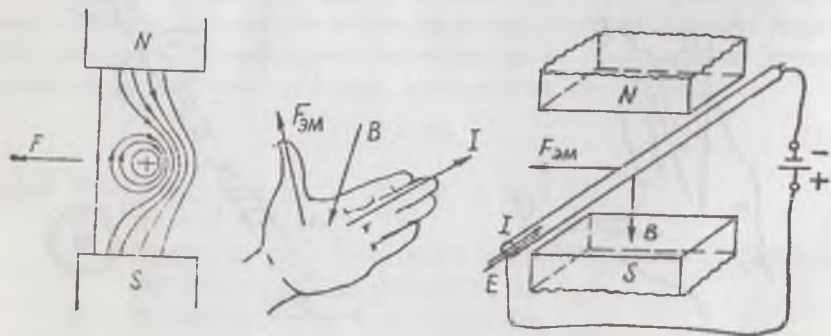
Электромагнит куч таъсирида токли ўтказгич ҳаракатга келиб, магнит майдонни кесиб ўтади ва унда э. ю. к. ҳосил бўлади. Аммо бу э. ю. к. нинг йўналиши ўнг қўл қондасига биноан ўтказгичдаги ток йўналишига тескаридир (1.4-расм). Демак, генераторда э. ю. к. ва ток йўналиши ўзаро мос бўлса, моторда эса қарама-қарши бўлади. Шундай қилиб, элементар ҳаракат манбаини, яъни электр моторни ҳосил қилиш учун магнит майдон билан токли ўтказгич бўлиши кифоя.

Электр машиналарнинг ишлаши учун керак бўлган магнит майдон, одатда, электромагнит усул билан ҳосил қилинади. Бунинг учун пўлат ўзақдан иборат бўлган қутблардаги ғалтакка ўзгармас ток берилиб, кучли магнит майдонни ҳосил қилиш лозим. Ғалтакдан ўтаётган токнинг қиймати ва йўналишини ўзгартириш билан магнит индукциянинг қиймати ва йўналишини осонгина ўзгартириш имкони туғилади. Демак, электр машиналарга керак бўлган кучли магнит майдон ҳосил қилиш мақсадида ўзгармас магнитга нисбатан электромагнитдан фойдаланиш қулайроқдир.

1.3. Электр машиналари ва трансформаторлар тараққиётининг қисқача тарихи

1831 йилда М. Фарадей томонидан электромагнит индукция қонуни аниқлангандан сўнг электр машиналари 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 магнит майдон ўзгармас магнитлар билан ҳосил қилинган



1.4-расм. Токли ўтказгичда таъсир этувчи электромагнит куч йўналишини аниқлаш.

бўлса, 1860 йилларга келиб эса электрмагнитлар билан ҳосил қилинди. Электр машинанинг мотор ва генератор сифатида ишлаш имкони тўғрисида академик Ленцнинг 1833 йилда айтган фикри 1838 йилда исботланди.

Темир йўл транспортини электрлаштириш натижасида электр 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 электр машинадан олиш кўп ноқулайликларга 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 электр лампаларга кенг равишда ўзгарувчан ток ишлатди.

1876 йилда П. Н. Яблочков биринчи бўлиб трансформаторни кашф этди ва ундан ўзи яратган электр лампаларни ўзгарувчан ток билан таъминлашда фойдаланди. Яблочков яратган трансформаторнинг пўлат ўзаги очиқ бўлган, замонавий, яъни пўлат ўзаги берк бўлган трансформаторлар эса, 1944 йилда ишлатилган. Ўзгарувчан ток моторлари ишлаш принципининг асоси бўлмиш айланувчи магнит майдон ҳодисаси тўғрисида италиялик физик Г. Феррарис билан бир вақтда серб Н. Тесла ҳам айланувчи магнит 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 намоиш қилди. М. О. Доливо-Добровольский тажрибасидан сўнг, катта қувватли ўзгарувчан токни узоқ масофаларга қониқарли фойдали иш коэффициентлари 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.

Ҳозир электр 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 электр моторлар ҳам кўплаб чиқарилмоқда.

II БОБ. ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАЛАРИНИНГ ИШЛАШ ПРИНЦИПИ ВА ТУЗИЛИШИ

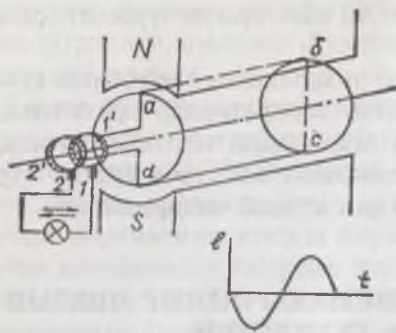
2.1. Ўзгармас ток генераторининг ишлаш принципи

2.1-расмда энг оддий ўзгарувчан ток генераторининг принципиал схемаси кўрсатилган.

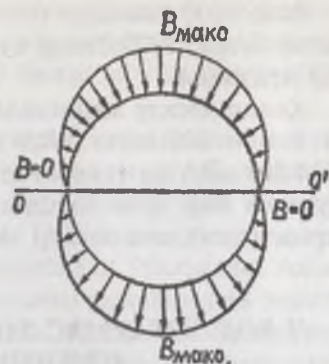
Бунда N ва S кутбларнинг магнит майдонида цилиндр шаклидаги пўлат ўзакка ўрнатилган бир ўрамдан иборат ўтказгич соат милининг йўналишига тескари томонга n частота билан айлантирилади. Ўтказгичнинг учлари валга ўрнатилиб, изоляцияланган иккита ҳалқага туташтирилади ва, демак, ҳалқалар ҳам ўтказгич билан бир хил частотада айланади. Ҳалқалар устига қўзғалмас чўткалар ўрнатилган бўлиб, уларга ташқи юклама уланади. Бундай генераторнинг шимолий кутби остидаги ўтказгичда ҳосил бўлган э. ю. к. йўналиши b дан a га, жанубийдагисидан d дан c томон бўлади. Демак, э. ю. к. дан ҳосил бўлган ток ҳам, ҳалқа $1'$ дан чўтка 1 томонга, ташқи юкламада эса чўтка 2 дан ҳалқа $2'$ томонга йўналган бўлади.

Генератордан чиққан токни ташқи занжирга узатувчи чўтка 1 ни мусбат, ташқи занжирдан ўтувчан токни генераторга қайтариб берувчи чўтка 2 ни манфий потенциалга эга деб қабул қилинади ва уларни тегишлича (+) ҳамда (–) белгилар билан кўрсатилади (2.3-расм). Генератор ўтказгичи айлантирилиб, 180° га бурилганда унинг ab ва cd томонлари ўзаро ўринлари билан алмашади. Бунда мусбат потенциалли чўтка манфий, манфийлиги эса мусбатга айланиб, юкламадан ўтаётган ток ўз йўналишини ўзгартиради.

Шундай қилиб, $abcd$ ўтказгич ва ташқи юкламадан 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, демак, токнинг ўзгариш эгри чизиги магнит кутбларининг шаклига боғлиқ бўлади. Амалда, генератор ўтказгичларида ҳосил қилинган э. ю. к. синусоидага яқин шаклда



2.1-рasm. Ўзгарувчан ток генераторининг принципаал схемаси.



2.2-рasm. Пулат цилиндрга ўрнатилган ўтказгич атрофида магнит куч чизиқларининг тақсимланиши.

бўлади. Бунинг учун ўтказгич ўрнатилган пўлат цилиндр атрофидаги магнит куч чизиқлари 2.2-рasmда кўрсатилгандек тақсимланиши лозим.

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

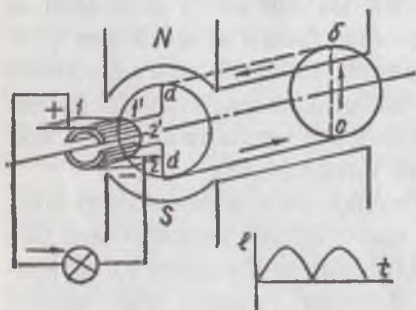
Қутбларнинг ўртасида магнит индукциянинг қиймати $B = B_{\text{макс}}$ бўлиб, икки қутб оралигининг ўртасида эса $B = 0$ бўлади (2.2-рasm).

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-рasmдаги ўтказгич учларини иккита ҳалқа ўрнига иккита

ярим ҳалқаларга уланса, у ҳолда энг оддий ўзгармас ток генераторининг принципаал схемаси олинади (2—3-рasm). Бунда ҳам ярим ҳалқалар валга ундан 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



2.3-рasm. Ўзгармас ток генераторининг принципаал схемаси.

қолади. Ҳақиқатан, 2.3-рasmга биноан чўтка 1 ярим ҳалқа 1' билан контакт ҳосил қилиб мусбат потенциалга эга бўлса, ўтказгич айланиб 180° га бурилганида ҳам чўтка 1 ярим ҳалқа 2' билан уланиб, яна мусбат потенциалга эга бўлиб қолади.

Демак, $abcd$ ўрамда

ўзгарувчан э. ю. к. ва ток ҳосил бўлишига қарамай, ташқи юкламдан ўтадиган ток фақат бир хил йўналишда бўлиб, унинг қиймати ўзгариб (пульсацияланиб) туради (2.4-рasm, а). Ток пульсациясини камайтириш учун генератор чулғамининг ўрамлари сонини ва, демак, коллектор пластинкалари (ярим ҳалқалар) сонини кўпайтириш лозим.

2.4-рasm, б да икки ўрамдан иборат ўтказгич ва тўртта коллектор пластинкаси бўлган генератордан олинган ток графиги кўрсатилган. Бунда ток пульсацияси 2.4-рasm, а дагига нисбатан кескин камаяди.

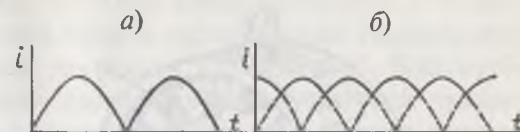
Нормал типли ўзгармас ток машиналаридаги коллектор пластинкаларининг сони $50 \div 80$ та бўлиб, улардан олинадиган токнинг қиймати деярли ўзгармас бўлади.

2.2. Ўзгармас ток машинасининг асосий қисмлари

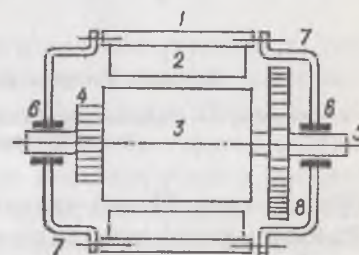
Ўзгармас ток машинаси асосан икки қисмдан иборат бўлиб, унинг магнит оқим ҳосил қилувчи биринчи қисми индуктор, э. ю. к. ҳосил қилувчи иккинчи қисми эса якорь деб аталади. Индуктор ўз навбатида станина 1 ҳамда асосий (бош) қутблар 2 дан иборат бўлиб, якорь эса якорь ўзаги 3, коллектор 4, вал 5, подшипник 6, подшипник қалқони 7 ва вентилятор 8 дан иборат бўлади (2.5-рasm).

2.5-рasmда ўзгармас ток машиналарининг конструктив схемаси кўрсатилган. Бунда станина машинанинг қўзғалмас қисми бўлиб, у катта қувватли машиналарда пўлатдан, кичик қувватлиларда эса чўяндан қуйиб ясалади (2.6-рasm, а).

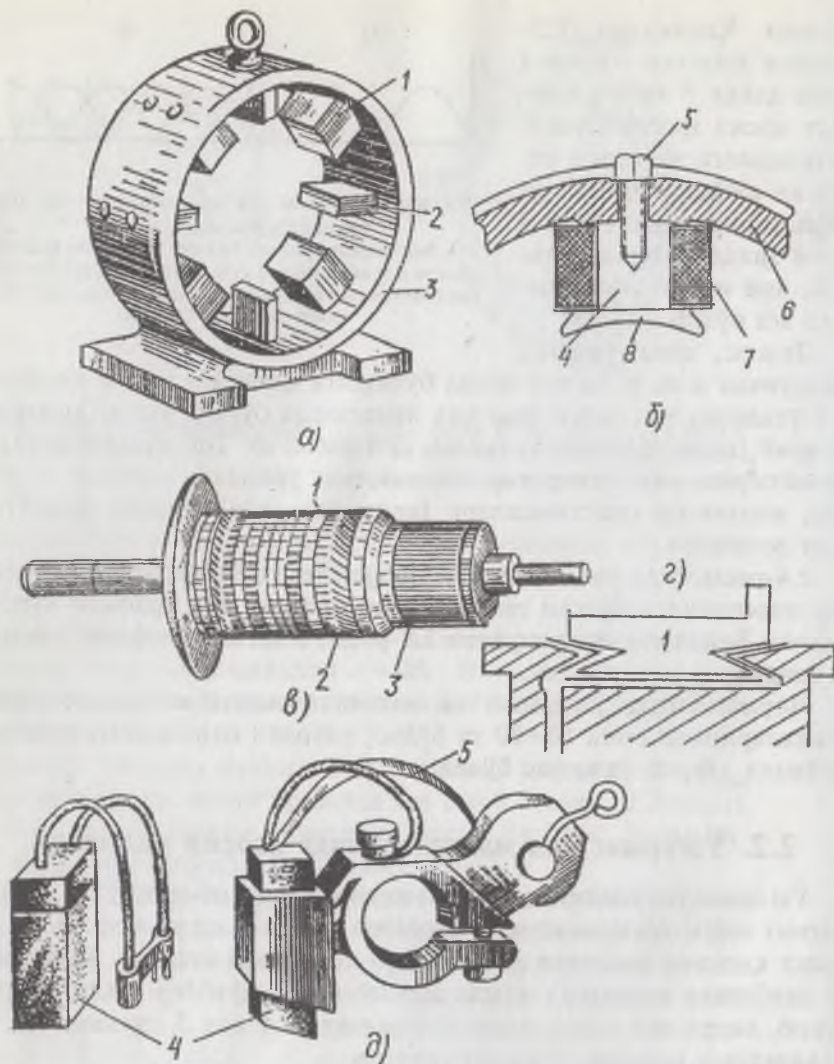
Цилиндр шаклидаги станина 3 нинг ички қисмига аён кўринишга эга



2.4-рasm. Ўзгармас ток генераторидан олинган токнинг пульсацияланиши:
а — бир ўрамли ўтказгич ва икки коллектор пластинкаси ва б — икки ўрамли ўтказгич ҳамда тўртта коллектор пластинкаси бўлган генератордан олинадиган токнинг пульсацияланиши.



2.5-рasm. Ўзгармас ток машиналарининг конструктив схемаси.



2.6-расм. Ўзгармас ток машинасининг асосий қисмлари:

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

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 элек-

тротехник пўлат листларидан йиғилиб ҳосил қилинади; 8 — магнит оқимнинг берилган қонун бўйича тарқалишини таъминловчи қутб бошмоғи; 7 — ўзгармас ток билан таъминланиб, бош қутбларда асосий магнит оқимни ҳосил қилувчи қўзғатувчи чулғам; 5 — станина 6 га қутб ўзагини маҳкамловчи болт. Уюрма тоқлардан ҳосил бўлувчи қувват исрофини камайтириш учун қутб ўзагини ташкил қилувчи пўлат листлар бир-биридан лок 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 электротехник пўлат листлардан йиғилади. Уюрма тоқлардан ҳосил бўлувчи қувват исрофини камайтириш учун бу листлар бир-биридан лок билан изоляцияланади.

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

Якорь чулғами пресшпан ёки лакотканлар билан ўзакдан изоляцияланиб, пазларга ёғоч поналар ва улар устидан ўралган пўлат 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 чулғалидаги ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантириб берувчи механик тўғрилагичдир.

Айланиб турувчи якорь чулғамидаги токни ташқи юккамага узатиш учун графит, кўмир-графит ёки бронза-графитдан тайёрланган чўткалардан фойдаланилади. Қўзғалмас ҳолатдаги чўткалар махсус чўтка тутқичларга ўрнатилиб, улар яхши контакт ҳосил қилиши мақсадида пружина ёрдамида коллектор пластинкаларига босилиб туради (2.6-расм, д). Чўтка тутқичлар 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

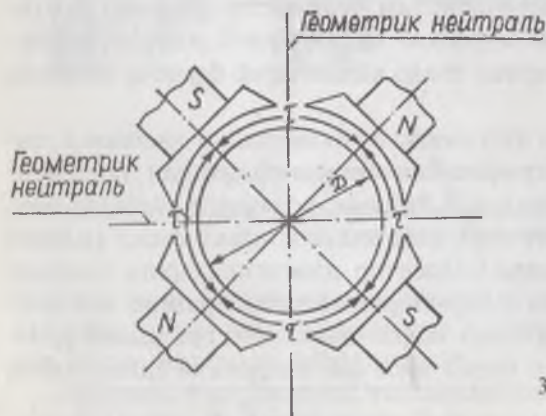
Ҳозир ўзгармас ток машиналарида фақат барабанли якорь ишлатилади. Бунда чулғам ўтказгичлари якорь ўзагининг ташқи қисмидаги пазларга жойлаштирилиб, унинг актив (э. ю. к. ҳосил бўлувчи фойдали қисми) қисми ҳалқасимон якордагига нисбатан икки марта ортиқ. Якорь чулғамида ҳосил бўладиган э. ю. к. қийматини кўпайтириш, унинг пульсациясини эса камайитириш 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 τ 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 τ ҳарфи билан белгиланади (3.1-расм).

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



3.1-расм. Қутб бўлинмаси (τ) ва геометричeskий нейтраль чизиқ.

Бунинг учун ҳар бир коллектор пластинкасига бир секциянинг охири ва чулғам схемасига биноан жойлашган қўшни секциянинг боши кавшарлаб туташтирилади. Электр 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, м.

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

Геометричeskий нейтрал чизикларнинг сони машинадаги жуфт қутблар сонига тенг бўлади (3.1-расм).

Якорь чулғамини тузиш учун қуйидаги маълумотларга эга бўлиш лозим:

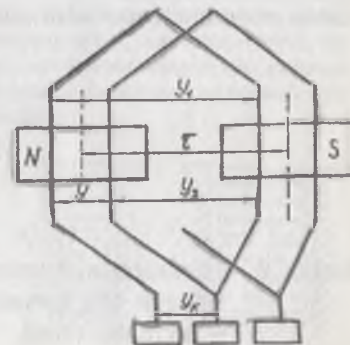
1) биринчи қисман қадам. Якорь чулғами секциясининг актив томонлари жойлашган пазлар оралиғидаги масофа, яъни секциянинг кенглиги чулғамнинг биринчи қисман қадами деб аталади ва Y_1 билан белгиланади. 3.2-расмда сиртмоқли чулғам қадамлари кўрсатилган;

2) иккинчи қисман қадам. Якорь чулғами бир секциясининг охириги актив томони билан чулғам схемасига биноан келгуси секциясининг бошланғич томони жойлашган пазлар оралиғидаги масофа чулғамнинг иккинчи қисман қадами деб аталади ва Y_2 билан белгиланади;

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

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

Шунингдек, чулғамнинг якорь бўйича қадамлари Y_1 , Y_2 ва Y ни якорь пазларининг сони билан ҳам ўлчаш мумкин.



3.2-расм. Сиртмоқсимон чулғамнинг тузилиш схемаси.

Ҳозирги замон ўзгармас ток машиналарида секция кенглиги Y_1 ни қутб бўлинмаси τ дан бир оз кичикроқ, яъни амалда $Y_1 = 0,8 \tau$ қилиб олинади. Бундай секциянинг қадами қисқартирилган секция дейилади. Секция қадамини бундай қисқартириш билан унга таъсир этувчи асосий магнит оқимнинг камайиши сезиларли бўлмай, унинг паздан ташқарига жойлашган қисмига сарфланадиган рангли металл бирмунча камайтиради. Машинанинг асосий қутбларига ўрнатиладиган қўзғатувчи чулғамнинг тузилиши оддий электромагнит 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 у 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:

$$Y = Y_1 - Y_2, \quad (3.2)$$

$$Y_k = 1, \quad (3.3)$$

$$Y = 2 Y_k = 2, \quad (3.4)$$

$$Y_1 = \frac{Z+b}{2p} \quad (3.5)$$

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 чулғами схемасини тузинг.

Берилган: $2p = 4$; $S = 6$.

Ечиш. Бир қатламли чулғам учун

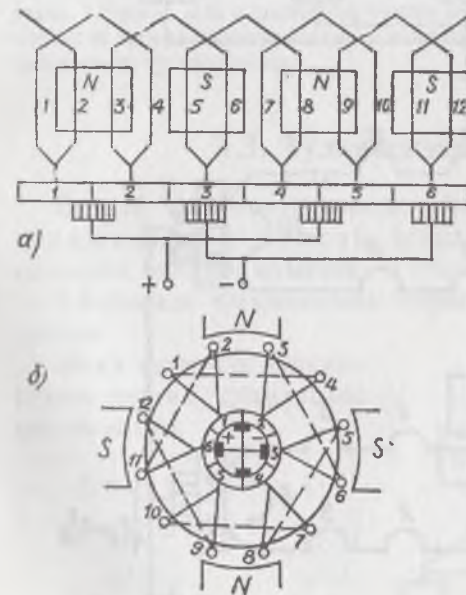
$$Y_k = 1, Y = 2, Y_k = 2, K = S = 6 \text{ ва } Z = 2 \cdot S = 2 \cdot 6 = 12.$$

Демак,

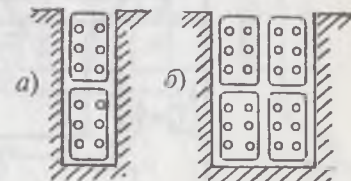
$$Y_1 = \frac{Z+b}{2p} = \frac{12+0}{4} = 3.$$

Чулғам қуйидаги тартибда тузилади: коллектор пластинкалари ва якорь пазлари мунтазам ўсиб бориш тартибида рақамланиб, сўнгра бирор секция бошини 1-рақамли коллектор пластинкасига уланади. Бу секциянинг биринчи актив томонини 1-рақамли пазга жойлаштирилади. Секциянинг иккинчи актив томони жойлашадиган паз номерини аниқлаш учун унинг биринчи томони жойлашган паз рақамига y_1 ни қўшиш лозим. Демак, секция иккинчи актив томонини $1 + y_1 = 1 + 3 = 4$, яъни 4-рақамли пазга жойланади. Секция охири эса 2-рақамли коллектор пластинкасига уланади. Навбатдаги секциянинг боши ҳам 2-рақамли коллектор пластинкасига уланиши лозим. Бу секциянинг биринчи актив томони жойлашадиган паз рақамини аниқлаш учун илгариги секция биринчи актив томони жойлашган паз рақамига y ни қўшиш лозим. Демак, секция иккинчи актив томонини $1 + y_1 = 1 + 3 = 4$, яъни 4-рақамли пазга жойланади. Секция охири эса 2-рақамли коллектор пластинкасига уланиши лозим. Бу секциянинг биринчи актив томони жойлашадиган паз номерини аниқлаш учун илгариги секция биринчи актив томони жойлашган паз рақамга y ни қўшиш лозим. Демак, иккинчи секциянинг биринчи актив томонини $1 + y = 1 + 2 = 3$, яъни 3-рақамли 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 чулғамни 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, олти актив томонларни ҳам жойлаштирилади (масалан, мураккаб чулғамларда).



3.3-расм. Якорга жойлаштирилган сиртмоқсимон чулғамнинг:
 a — ёйилган ва b — радиал схемалари.



3.4-расм. a — битта, b — иккита элементар пазга эга бўлган ҳақиқий пазлар.

3.4-расмда битта ва иккита элементар пазларга эга бўлган ҳақиқий паз кўрсатилган.

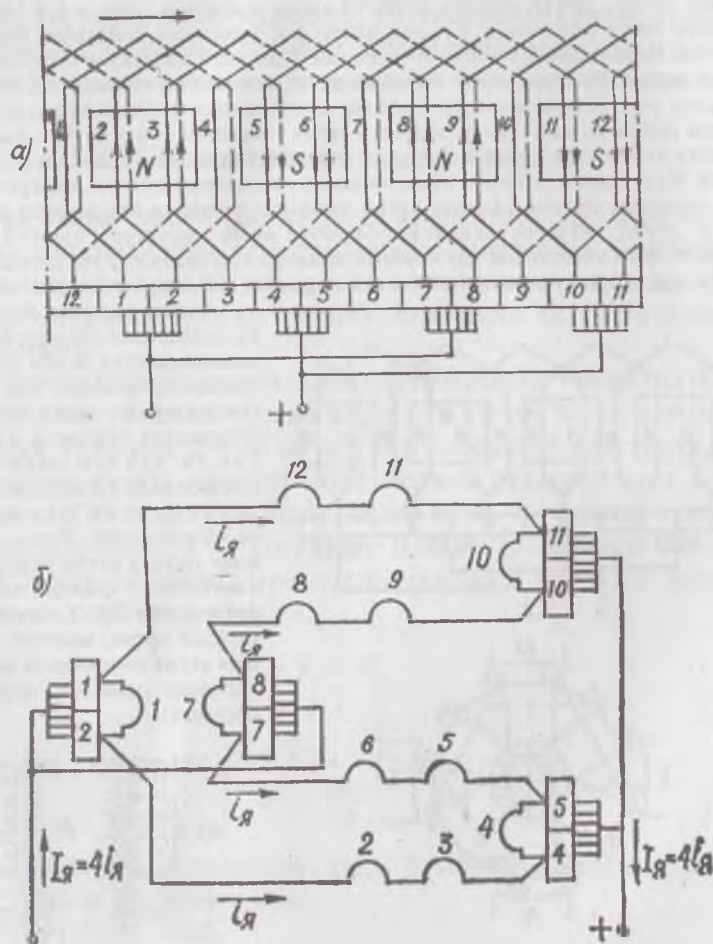
Иккита актив томонли секцияга битта элементар паз ва битта коллектор пластинкаси тўғри келиши сабабли икки ва куп қатламли чулғамлар учун $S = K = Z_{эл}$ бўлади, бунда $Z_{эл}$ — элементар пазлар сони.

Шунга биноан икки қатламли сиртмоқсимон оддий чулғам қуйидагича ҳисобланади, яъни

$$Y_k = 1; Y = Y_k = 1; Y_1 = \frac{Z_{эл}}{2p} + b \text{ бўлади.}$$

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

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



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

$$\text{Ечиш. } Y_1 = \frac{Z_{эл}}{2p} + b = \frac{12}{4} + 0 = 3;$$

$$Y = Y_k = 1.$$

Икки қатламли чулғамни тузиш тартиби ҳам бир қатламлиники сингари бўлади. Бунда фақат секциянинг биринчи актив томони пазнинг юқори 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 иккита кетма-кет уланган секциялардан иборат. Демак, якорь чулғаида ҳосил бўладиган э. ю. к. қиймати битта параллел шохобчадаги э. ю. к. билан аниқланиб, чулғамдан олинадиган ток эса ҳар бир параллел шохобча тоқларининг йиғиндисига тенг бўлади. Сиртмоқсимон оддий чулғам параллел шохобчаларининг сони машина қутблари сонига тенг, яъни

$$2a = 2p, \quad (3.6)$$

бунда a — параллел шохобчаларнинг жуфт сони. Демак, қутблар сони $2p$ ни ўзгартириш билан генератордан олинадиган қучланиш ёки ток қучи қийматларини ўзгартириш мумкин. Чулғам схемасида коллектор пластинкалари устига ўрнатиладиган чўткалар ўрни магнит қутблари N ва S лар ўртасидан ўтган чизиқлар билан аниқланади (3.5-расм, а, б). Бунда чўтканинг бир коллектор пластинкасида иккинчисига ўтишида геометрик нейтрал бўйича жойлашган секцияларигина қисқа туташади. Бу секцияларда э. ю. к. ва демак, ток ҳосил бўлмагани учун коммутация жараёни яхши ўтади. 3.5-расм, а да кўрсатилган чулғам секцияларидаги э. ю. к. йўналишига қараб мусбат ва манфий қутбли чўткалар аниқланади. Бир хил қутбли чўткалар бир-бири билан қисқа туташтирилади.

3.3. Тўлқинсимон оддий чулғам

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

3.6-расмда тўлқинсимон чулғамнинг тузилиш схемаси кўрсатилган.

Икки қатламли тўлқинсимон чулғам қуйидагича ҳисобланади:

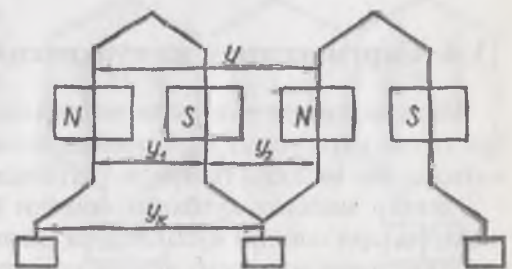
$$Y = Y_1 + Y_2, \quad (3.7)$$

$$Y_1 = Y_k = \frac{k+1}{p}, \quad (3.8)$$

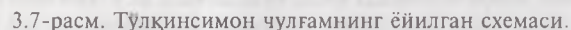
$$2a = 2, \quad (3.9)$$

$$Z_{эл} = S = K, \quad (3.10)$$

$$Y_1 = \frac{Z_{эл}}{2p} + b. \quad (3.11)$$



3.6-расм. Тўлқинсимон чулғамнинг тузилиш схемаси.

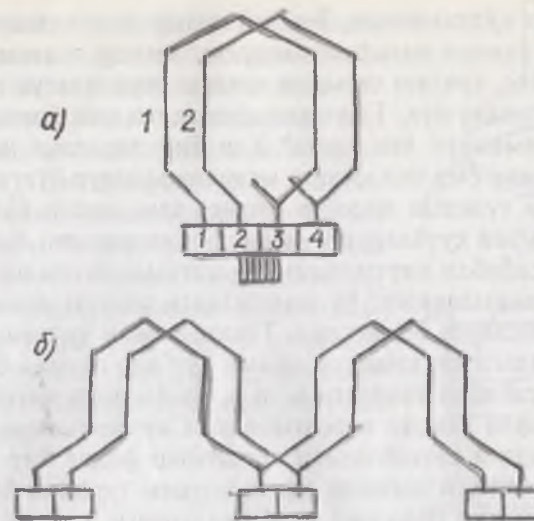


Е чи ш. $K = K_K = \frac{K+1}{p}$. Бу ифодадаги (+) ишора унг, (-) ишора эса чап томонга суриладиган чулғам схемаларига тааллуқли.

$$y_2 = y - y_1 = 4 - 2 = 2.$$

Узгармас ток машинасидаги қутблар сони қанча бўлишидан қатъи назар, тўлқин-симон оддий чулғамда иккита параллел шоҳобча бўлади. Демак, электр машинадан катта кучланиш олиш учун тўлқинсимон, катта ток олиш учун эса сиртмоқсимон чулғам ишлатилиши мақсадга мувофиқ.

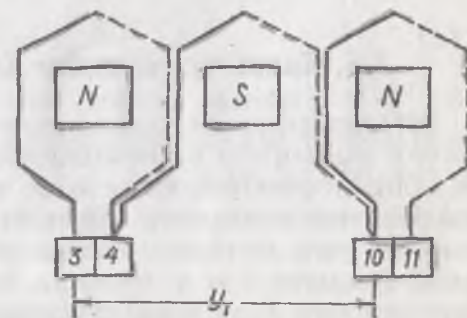
Электр машина қутблари сонини ўзгартирмай унинг параллел шохобчалари сонини кўпайтириш, яъни ундан катта ток олиш учун сиртмоқсимон мураккаб чулғам ишлатилади. Бундай мураккаб чулғам якорь пазлари бўйича бир хилда жойлаштирилган бир неча сиртмоқсимон оддий чулғамлардан иборатдир (3.8-рasm, *a*). Мураккаб



3.8-расм. Мураккаб чулғамлар:
а — сиртмоқсимон ва *б* — тулқинсимон.

Тулқинсимон мураккаб чулғамда $2a = 2m$ ва $Y_* = Y = \frac{K+m}{\rho}$ бўлади, бунда m — тулқинсимон оддий чулғамлар сони. Мураккаб чулғамлар схемаси ҳам оддийларники сингари тартибда тузилади.

Аралаш схемали чулғам,
асосан, катта қувватли электр



3.9-расм. Аралаш схемали якорь чулгами.

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, шимолӣ ёки жанубий қутблардаги магнит оқимларнинг бир-бирига тенг бўлмаслиги сабабли сиртмоқсимон чулғамда бунга эришиб бўлмайди. Магнит 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 магнит оқим тенгсизлиги айтарли таъсир кўрсатмайди. Сиртмоқсимон чулғамда эса ҳар бир параллел шохобчадаги секциялар фақат бир жуфт қутблар остида жойлашгани сабабли магнит 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 юклама токига қўшилиб баъзи чўткаларнинг остида учқунланишини зўрайтириб юбориши мумкин. Тенглаштирувчи токни ташқи юклама занжирга 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):

$$U_{\tau} = \frac{K}{p}$$

Тенглаштирувчи уланмалар сони N_{τ} эса қуйидагича аниқланади:

$$N_{\tau} = \frac{K}{a}$$

3.6. Якорь чулғамининг электр юритувчи кучи

Электромагнит индукция қонунига биноан, якорь чулғаида ҳосил бўладиган э. ю. к. қиймати машина қутбларидаги магнит оқимга, чулғам параметрларига ва якорь чулғамининг магнит оқими билан кесилиш частотасига боғлиқ бўлади. Чулғамдаги э. ю. к. ни аниқлаш учун даставвал, юкламасиз ишлаётган машина якорида ҳосил бўладиган э. ю. к. топилади. Бунда якорь чулғаи секциясининг кенглиги $U_1 = \tau$ ҳамда чўткаларнинг геометрик нейтрал бўйича жойлашган секциялари уланадиган коллектор пластинкалари

устига ўрнатилган деб фараз қилинади. 3.10-расмда асосий қутблар остидаги магнит индукциянинг тақсимланиш эгри чизиги кўрсатилган. Якорь чулғамининг ҳар бир ўтказгичида ҳосил бўлувчи э. ю. к. ўртача қиймати e_{yp} ни аниқлаш учун магнит индукция B нинг ўртача қиймати B_{yp} ни белгилаш лозим. Бунинг учун 3.10-расмда кўрсатилган B эгри чизиги баландлиги B_{yp} бўлган тўғри чизиклар билан чегараландиган юзалар ўзаро тенг қилиб олиниши шарт. Демак, чулғамнинг ҳар бир ўтказгичида қуйидаги ифодадан аниқланувчи э. ю. к. ҳосил бўлади:

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

бунда B_{yp} — магнит 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 чулғаидаги параллел шохобчада ҳосил бўлувчи э. ю. к. га тенг бўлади.

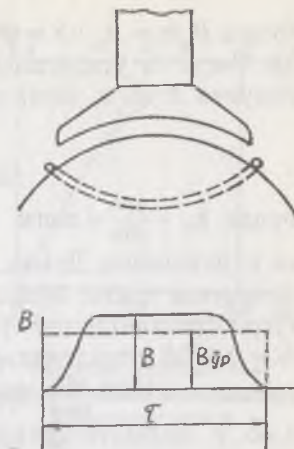
Демак, машинада ҳосил бўлувчи э. ю. к. ни аниқлаш учун даставвал параллел шохобчага тегишли ўтказгичлар сонини белгилаш зарур.

Якорь чулғаидаги ўтказгичлар сонини N , параллел шохобчалар сонини $2a$ билан белгиласак, ҳар бир параллел шохобчадаги ўтказгичлар сони $\frac{N}{2a}$ бўлади. Шунга биноан, якорь чулғаида ҳосил бўлувчи э. ю. к. $E_{я}$ нинг ўртача қийматини қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$E_{я} = e_{yp} \frac{N}{2a} = B_{yp} l v \frac{N}{2a}, B, \quad (3.12)$$

Машина паспортида якорнинг айланиш частотаси $n \left[\frac{айл}{мин} \right]$ бериледи, шу сабабли $E_{я}$ нинг ифодасидаги чизикли частота v ни n орқали белгилаш лозим, яъни $v = \frac{\pi D n}{60}$, аммо $\pi D = 2\pi\tau$ бўлгани учун $v = \frac{2\pi\tau n}{60}$ бўлади, v нинг қийматини (3.12) ифодага қўйиб қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$E_{я} = B_{yp} l \frac{2\pi\tau n}{60} \frac{N}{2a},$$



3.10-расм. Асосий қутблар остида (якорнинг сиртида) магнит индукциянинг тақсимланиши.

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

$$E_{\text{я}} = \frac{pN}{60a} n\Phi = k_E n\Phi, \quad (3.13)$$

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

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

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

4.1. Магнит занжири ва уни ҳисоблаш

Машина кутбларига ўрнатилган қўзғатувчи чулғамга ўзгармас ток берилса, кутбнинг пўлат ўзагидаги элементар магнитчалар чулғамдаги токдан ҳосил бўлган ташқи магнит майдон томон бурилади. Чулғамдаги ток қиймати ортиши билан ташқи магнит майдон томон бурилувчи элементар магнитчалар сони ҳам кўпайиб боради. Пўлат ўзақдаги элементар магнитчалар қўзғатилиши билан умумий магнит майдон кескин равишда зўрая боради. Шунга биноан, пўлат ўзақдаги элементар магнитчаларни қўзғатиш учун чулғамга бериладиган ток қўзғатиш токи деб, чулғам эса қўзғатувчи чулғам деб аталади. Аста-секин кўпайтириладиган қўзғатиш токининг бирор қийматидан бошлаб, ташқи майдон томон буриладиган ўзақдаги магнитчаларнинг сони камайиб боради ва токнинг бошқа бирор қийматида атрофдаги магнит майдонга қўшилувчи ўзақ магнитчаларининг сони тугайди. Шунга биноан, пўлат ўзакнинг элементар магнитчаларининг барчаси ташқи магнит майдон томон бурилиб бўлган ҳолати унинг тўйинган ҳолати деб, бу ҳолатни олиш учун керак бўлган қўзғатиш токининг қиймати тўйиниш токи деб аталади. Ўзақ магнитчаларининг ташқи магнит майдонга пропорционал равишда ортиб боровчи ҳолати ўзакнинг тўйин-

маган ҳолати деб аталади. Кутбларда ҳосил бўлувчи магнит оқим Φ нинг магнит юритувчи куч F га боғланишини ифодаловчи $\Phi = f(F)$ эгри чизиги машинанинг магнитланиш характеристикаси деб юритилади (4.1-расм).

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 магнит занжири станина, кутб ўзаги, кутб ўзаги билан якорь ўртасидаги ҳаво оралиғи, якорь ўзагининг тишли қисми ва якорь ўзагидан иборат бўлиб, булар турли магнит қаршиликларга эгадир. Булар орқали кутбларда ҳосил қилинган магнит оқимнинг асосий қисми Φ ўтиши керак. Якорь чулғамда ҳосил қилиниши лозим бўлган э. ю. к. $E_{\text{я}}$ ни олиш учун $\Phi = \frac{E_{\text{я}}}{k_E n}$ магнит оқим зарур бўлади. Бу магнит оқимни магнит занжирлардан ўтказиш учун зарур бўлган магнит юритувчи куч қиймати қуйидаги принципда ҳисобланади. Бунда 4.2-расмда кўрсатилган ўзгармас ток машинасининг магнит занжири, занжир қисмларининг қўндаланг кесими ва уларга тавсия қилинган магнит индукция қийматлари берилган бўлади.

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

$$\sum HI = \sum IW = F,$$

бунда H — магнит майдоннинг кучланганлиги, $\frac{\text{А}}{\text{м}}$;

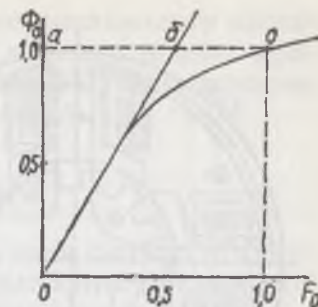
l — магнит занжир қисмининг узунлиги ёки баландлиги, м;

I — қўзғатувчи чулғамдаги ток, А;

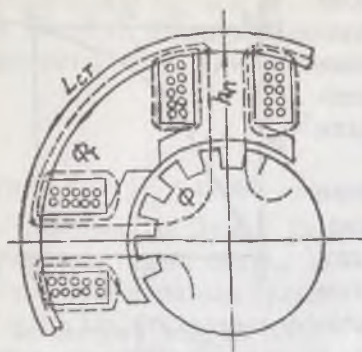
W — қўзғатувчи чулғамнинг ўрамлари сони.

Магнит занжир ҳар бир қисмининг узунлиги ёки баландлиги 4.2-расмдан аниқланади. Бу қисмлардаги магнит майдоннинг кучланганлиги эса магнитланиш эгри чизиги $B = f(H)$ дан топилади.

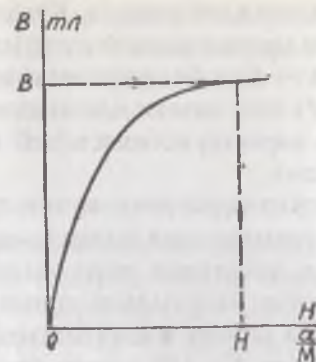
B нинг H га боғланишини ифодаловчи эгри чизик магнитланиш эгри чизиги деб аталади. Электр машиналар учун ишлатиладиган пўлат хиллари учун магнитланиш эгри чизиклари маълумотномаларда келтирилади. 4.3-расмда магнит занжирнинг ҳар бир қисми-



4.1-расм. Ўзгармас ток машинасининг магнитланиш характеристикаси.



4.2-рasm. Ўзгармас ток машинасининг магнит занжири.



4.3-рasm. Ферромагнит материалларнинг магнитланиш эгри чизиги.

га тавсия этилган B лар билан магнитланиш эгри чизигидан H ларни топиш кўрсатилган.

Шундай қилиб, магнит занжир ҳар бир қисмининг узунлиги l ни H га кўпайтириб магнит юритувчи куч $F = Hl$ аниқланади. Магнит 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 — магнит оқимнинг магнит занжир бўйича икки марта ҳаво бўшлиғидан ўтгани учун олинган коэффициент; $B_6 = (0,5 \div 1,1)$ — ҳаво бўшлиғига тавсия этилувчи магнит индукциянинг қиймати, Тл; $\mu_0 = 1,25$ — ҳаво бўшлиғи учун магнит 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 $F_k = 2 H_k h_k$ бўлиб, бунда H_k — қутб магнит майдонининг 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 $F_{тиш} = 2 H_{тиш} \cdot h_{тиш}$. 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 магнит занжиридан бир жуфт қутбга тегишли магнит оқимни ўтказиш учун зарур бўлган магнит юритувчи кучнинг қиймати қуйидагича аниқланади:

$$F = F_6 + F_k + F_{ст} + F_{тиш} + F_y.$$

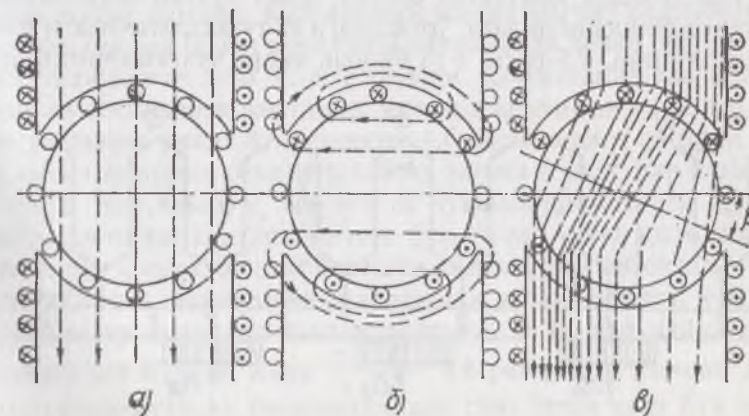
Жуфт қутблар сони p бўлган ўзгармас ток машинасидаги магнит юритувчи кучнинг тўла қиймати $F_{тўла} = F \cdot p$ бўлади. Магнит юритувчи куч ҳисобланганидан сўнг машинанинг магнитланиш характеристикаси $\Phi = f(F)$ ни куриш мумкин.

4.2. Якорь реакцияси

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

4.4-рasmда a — салт иш режимида машина қутбларида ҳосил бўлган асосий магнит майдон; b — якорь чулғамининг токли ўтказгичлари атрофида ҳосил бўлган магнит майдон ва c — машина қутбларидаги асосий магнит майдонга якорь магнит майдоннинг таъсири натижасида ҳосил бўлган умумий магнит майдон кўрсатилган.

Машина қутбларининг бир чеккасида якорь магнит майдони асосий магнит майдон томон йўналиб, умумий майдонни зўрайтирса, унинг бошқа чеккасида эса тескари йўналиб, уни заифлаштиради. Қутб ўзагининг тўйиниб қолиши сабабли унинг бир чеккасидаги магнит майдоннинг зўрайишига нисбатан иккинчи чеккасида заифлашиши кўпроқ бўлади. Демак, якорь реакцияси натижасида машинанинг умумий магнит майдони бир оз камаяди. Бундан ташқари



4.4-рasm. Якорь реакцияси.

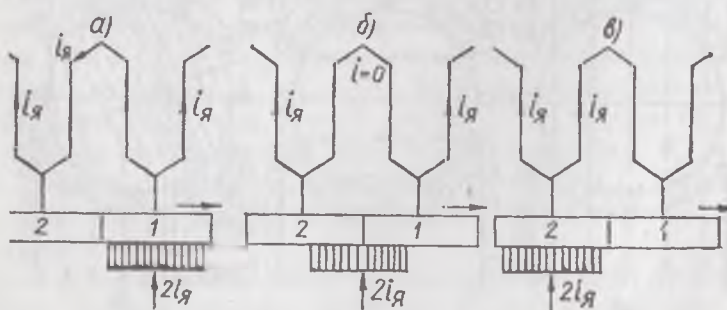
ри, умумий магнит майдоннинг ўқи қутб ўқларига нисбатан бирор β бурчакка бурилиб қолади. Бунда қутб магнит майдонининг зўрайган томони остидаги чулғам секцияларида коллектор пластинкалари орасидаги изоляцияга хавфли бўлган катта э. ю. к. ҳосил бўлиши мумкин. Якорь марказидан умумий магнит майдон ўқиға перпендикуляр ўтказилса, магнит индукция нолга тенг бўлган ва геометрик нейтралга нисбатан β бурчагига бурилган нейтрал чизиқ олинади. Бу нейтрал чизиқ физик нейтрал деб аталади. Физик 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 физик нейтрал геометрик нейтралга мос, яъни $\beta = 0$ бўлса, юкламанинг кўпайиши билан эса физик нейтралнинг геометрик нейтралга нисбатан бурилиш бурчаги β нинг қиймати ортиб боради. Шунга биноан, юклама 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 физик нейтралда бўлган ҳолати ҳисобланади.

4.3. Ўзгармас ток машинасининг коммутацияси

Ўзгармас тезлик билан айланаётган якордаги коллектор пластинкалари кўзгалмас ҳолатдаги чўткдан сирғалиб ўтиб, у билан кетма-кет контактда бўлиб туради.

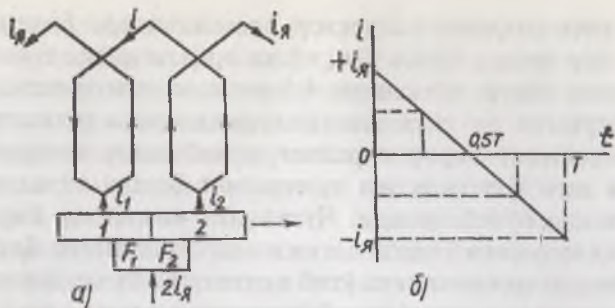
4.5-расмда чўтка билан коллекторнинг: *a* — фақат биринчи пластинкаси; *b* — биринчи ва иккинчи пластинкаси ва *в* — фақат иккинчи пластинкаси контактда бўлган, яъни чулғам секциясининг коммутация бошланишидаги, ўртасидаги ва тугалланганидаги ҳолатлари кўрсатилган. 4.5-расм, *б* га биноан якорь чулғамининг бирин-



4.5-расм. Турли чизиқли коммутация даврида қисқа туташган секциядаги токнинг ўзгариши.

чи ва иккинчи рақамли коллектор пластинкалари билан туташган секцияси, бир дақиқа бўлса ҳам, чўтка орқали қисқа туташиб қолади. Шу билан бирга, чўтканинг 4.5-расм, *a* 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 пластинкасидан иккинчисига ўтиши натижасида секциянинг бирор параллел шохобчадан иккинчисига ўтиб қолиши ва бу секциянинг қисқа туташиб қолишидаги жараёнлар биргаликда коммутация деб аталади. Даставвал, қисқа туташган секциянинг магнит индукция ноль, яъни $B = 0$ бўлган пазларга жойлашган деб фараз қилиб, коммутация жараёни текширилади. Бунда 4.5-расм, *a* га биноан, параллел шохобчадаги ток i_a деб олинса, коллекторнинг биринчи пластинкасига иккита параллел шохобчанинг учлари улангани сабабли чўткага келадиган токнинг қиймати $2i_a$ 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-рақамли 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 $+i_a$ дан $-i_a$ 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 принципига 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 магнит 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, *a* 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 қаршиликни r_1 иккинчиси орасидагини r_2 деб олинса, у ҳолда бу қаршиликлар 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, *a* 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.



4.6-расм. Тўғри чизиқли коммутация:
а — коммутация даврида қисқа туташган секциядаги токнинг йўналиши;
б — унинг ўзгариш графиги.

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 $i_1 = i_a - i$ ва $i_2 = i_a + i$ бўлгани учун уларнинг қийматини 4.1-пропорцияга қўйиб, қуйидаги тенглама олинади:

$$\frac{i_a - i}{i_a + i} = \frac{t}{T-t}.$$

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

$$i = i_a \frac{T-2t}{T} [A]. \quad (4.2)$$

Демак, бу тенгламага биноан, 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 тоklar аниқланади.

1-жадвал

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

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

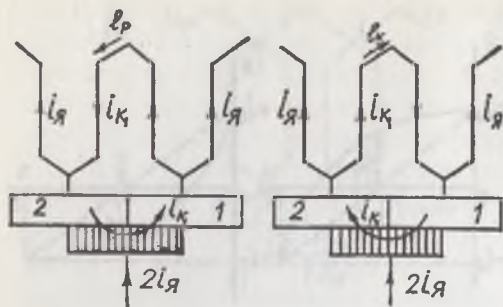
Демак, $e_k + e_p = 0$ бўлганда тўғри чизиқли коммутация олинади. Бунда чўткалар остидаги ток зичлиги бир хил бўлиб, учкунланиш бўлмайди. Шу сабабли тўғри чизиқли коммутация яхши ва енгил вазиятда ўтувчи коммутация ҳисобланади. Аммо бундай коммутацияга эришиш жуда қийин ва мураккаб масаладир. Амалда $e_k + e_p$ 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).

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

$$i_k = \frac{e_k + e_p}{R_{\gamma} + R_{\eta}} = \frac{\sum e}{\sum R}.$$

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 қийматини нолгача камайтириш усулидан фойдаланилади.

Қисқа туташган секцияга таъсир этувчи $\sum e = e_k + e_p$ қийматини нолгача камайтириш учун коммутация зонасида шундай магнит 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 ўзгичининг кўндаланг кесими асосий қутбникига нисбатан анча кичик бўлади. Бу қутб ўзагига ўрнатилган чулғам якорь чулғамига кетмакет уланади. Бунда қўшимча қутбнинг шимолий ва жанубий то-



4.8-расм. Генераторнинг қўшимча қутбларидаги N ва S ларнинг асосий қутбниқига нисбатан жойлашиш тартиби.

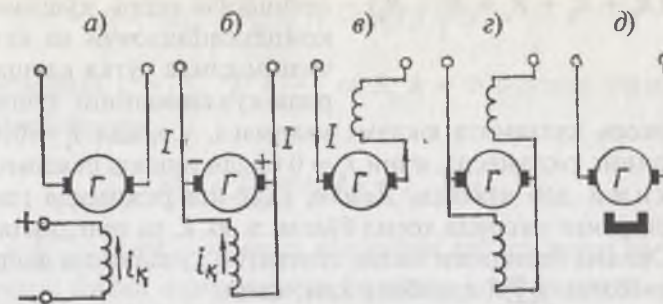
диган магнит майдон якорда ҳосил бўладиган магнит майдонга тескари йўналтирилиб даставвал якорь реакциясининг таъсирини йўқотиш имкони олинади. Агар қўшимча қутбда $\Phi_k = \Phi_a + \Phi_k$ қийматли магнит оқим ҳосил қилинса, у ҳолда якорь реакцияси таъсирини йўқотиш билан бирга коммутация зонасида Φ_k га тенг бўлган магнит оқим ҳосил қилинади. Бунинг натижасида $\sum e$ қийматини нолгача камайтирилиб, коммутация яхшиланади, яъни тўғри чизиқли коммутация ҳосил қилинади. Қўшимча қутбга эга бўлган машиналарда юклама 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 юклама токи ўтганда унда якорь токига пропорционал бўлган магнит майдон ҳосил қилинади. Бу чулғамдаги магнит майдонни якорь магнит майдонига тескари йўналтириб, якорь реакцияси таъсирини турли юкламаларда ҳам автоматик равишда йўқотиш имкони олинади. Аммо компенсацияловчи чулғамга эга машиналарнинг конструкцияси бирмунча мураккаб бўлгани учун улар қимматга тушади.

V БОБ. ЎЗГАРМАС ТОК ГЕНЕРАТОРЛАРИ

5.1. Умумий тушунчалар

Электр машинасининг ишлаши учун зарур бўлган магнит майдон ҳосил қилиш усулига кўра ўзгармас ток машиналари электромагнит ва доимий магнит билан қўзғатилувчи машиналарга бўлинади. Доимий магнит билан қўзғатилувчи машиналар магнит



5.1-расм. Генераторларнинг принципиал схемаси.

электр машина деб ҳам аталади. Бундай машиналар жуда кам учрайди, улар асосан тахогенератор ва шу сингари махсус машиналар сифатидагина ишлатилади.

Электромагнит билан қўзғатилувчи машиналар қўзғатувчи чулғамининг уланиш схемасига кўра мустақил ва ўз-ўзидан қўзғатишли ўзгармас ток генераторларига бўлинади. Агар генераторнинг қўзғатувчи чулғами ташқи ток манбаидан таъминланса мустақил, ўз якоридан таъминланганда эса ўз-ўзидан қўзғатишли генератор олинади. Ўз-ўзидан қўзғатишли генераторлар ўз навбатида параллел (шунт), кетма-кет (сериес) 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: а — мустақил; б — параллел; в — кетма-кет; г — аралаш ва д — ўзгармас магнит билан қўзғатишли генераторлар уланишининг принципиал схемалари кўрсатилган. 5.1-расм, d даги генератор схемасида қўзғатувчи чулғам бўлмаганлиги сабабли унинг ўрнида ўзгармас магнит белгиси кўрсатилган.

Генераторнинг ишлаш жараёнда унинг якорь чулғамида $E_a = k_e n \Phi$ га тенг бўлган э. ю. к. ҳосил бўлади. Э. ю. к. ҳосил бўлган якорь чулғамига юклама сифатида бирор электр истеъмолчиси уланса, у ҳолда якорь занжиридан юклама токи I_a ўтади.

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

$$E_a = I_a R_n + I_a \sum R = U + I_a \sum R, \quad (5.1)$$

бунда $U = I_a R_n$ — генератор қисмаларидаги кучланиш (юклама кучланишнинг тушуви):

R_n — юклама қаршилиги:

$I_a \sum R = I_a (R_a + R_k + R_k + R_c + R_v)$ — тегишлича якорь, қўшимча қутб, компенсацияловчи ва кетма-кет чулғам ҳамда чўтка қаршиликларида кучланишнинг тушуви.

Агар якорь чулғамига юклама уланмаса, у ҳолда $I_a = 0$ бўлади. Генераторнинг юкламасиз, яъни $I_a = 0$ билан ишлаш режими салт иш режими деб аталади. Демак, салт иш режимида генератор кучланиши унинг якориди ҳосил бўлган э. ю. к. га тенг, яъни $U = E_a$ бўлади. Юклама берилиши билан генератор кучланиши якордаги э. ю. к. га нисбатан $I_a \sum R$ ҳисобига кам, яъни

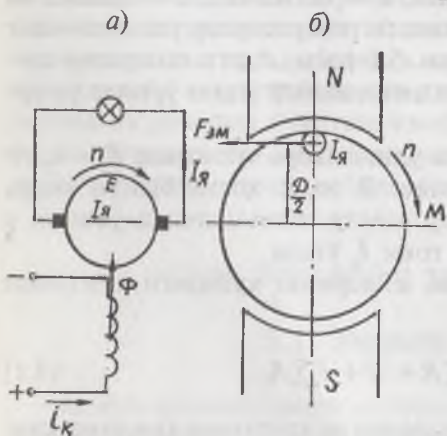
$$U = E_a - I_a \sum R$$

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

$$M_1 = M_0 + M_{эм}, \quad (5.2)$$

бунда M_1 — бирламчи моторнинг айлантирувчи моменти;
 M_0 — салт иш моменти (юкламасиз ишлаётган генератор якорини айлантиришда механик ишқаланишларга сарфланадиган момент);
 $M_{эм}$ — электромагнит момент (юклама билан ишлаётган генераторда ҳосил бўлувчи момент).

Генератор электромагнит моментининг ифодаси қуйидагича аниқланади. Юклама билан ишлаётган генератор чулғамининг ҳар бир параллел шохобчасидан $i_a = \frac{I_a}{2a}$ га тенг бўлган ток ўтади. Якорнинг бу токли ўтказгичларига асосий қутбдаги магнит оқим таъсир этиши натижасида электромагнит куч $F_{эм}$ ҳосил бўлади. 5.2-расмда якорнинг ҳар бир токли ўтказгичига таъсир этувчи электромагнит куч кўрсатилган.



Бу кучнинг қиймати $F_{эм} = B_{\text{вр}} i_a l$ бўлиб, унинг йўналиши чап қўл қоидасига биноан аниқланади.

Демак, якорь ўтказгичларига таъсир этувчи электромагнит момент ифодасини қуйидагича ёзиш мумкин:

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

Бу тенгламада $i_a = \frac{I_a}{2a}$, $D = \frac{2\pi r}{\pi}$ ва $B_{\text{вр}} l r = \Phi$ бўлгани учун у қуйидагича 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 электромагнит моментнинг қиймати қутблардаги магнит 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 электромагнит момент *тормоз моменти* деб ҳам аталади.

Генераторнинг узоқ давр ичида нормал ишлашини таъминладиган режими унинг номинал режими деб аталади. Бу режим қуйидаги миқдорлар билан характерланади:

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

Электр машиналарнинг хусусиятлари график усул билан ифодаланган, характеристика деб аталувчи боғланишлар билан аниқланади. Генераторнинг асосий характеристикалари қуйидагилардан 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) Юклама характеристикаси. Генераторнинг юклама билан ишлаётган режимидаги $U = f(i_k)$ унинг юклама 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. Юклама 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 кiritилган резистор қаршилиги ва $n = \text{const}$ қилиб сақланиши керак.

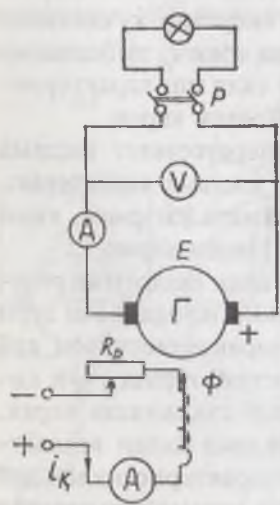
4) Ростлаш характеристикаси. Юклама билан ишлаётган генератордаги $i_k = f(I_a)$ боғланиш ростлаш характеристикаси деб аталади. Бунда юклама токи I_a нинг ўзгаришига қарамай, генератор кучланиши ўзгармас, яъни $U = U_n = \text{const}$ ва $n = \text{const}$ бўлиб қолиши керак.

5.2. Мустақил қўзғатишли ўзгармас ток генератори ва унинг характеристикалари

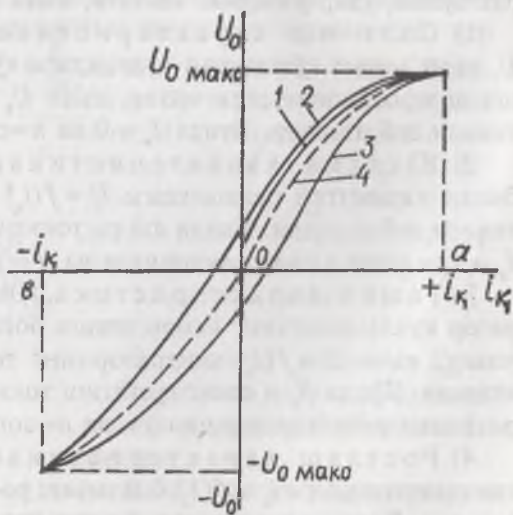
5.3-расмда мустақил қўзғатишли ўзгармас ток генераторининг уланиш схемаси кўрсатилган. Бунда қўзғатувчи чулғам занжирига кирилган ростлаш резистори R_p билан қўзғатиш токи i_k ва, демак, машинанинг асосий магнит оқими Φ ни ростлаш мумкин. Генераторнинг қўзғатувчи чулғамига бериладиган ўзгармас токни аккумулятор, турли типдаги статик 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 юкламасиз генераторнинг якори ўзгармас частота билан айлантрилиб, унинг қўзғатувчи чулғамидagi токнинг қиймати $+i_k = 0$ га чача аста-секин кўпайтирилади. Бунда кучланишнинг қиймати $U_0 \approx 1,15 U_n$ гача ўзгариб, 1 эгри чизик олинади. Қўзғатиш токини $-i_k = 0$ гача камайтириб бу токнинг йўналиши ўзгарилади ва сўнгра унинг қиймати-ни $-i_k = 0$ в гача кўпайтирилади.

Натижада эгри чизикли характеристика 2 олинади. Қўзғатиш токини кўпайтириш билан характеристиканинг 1 эгри чизигини олиш вақтида машина кутбларидаги қолдиқ магнетизмнинг кўпайиб қолгани сабабли 2 эгри чизиги 1 га нисбатан юқорироқ жойлашади. Шунга ўхшаш, қўзғатиш токини $-i_k = 0$ в дан $+i_k = 0$ а гача



5.3-расм. Мустақил қўзғатишли генераторнинг уланиш схемаси.

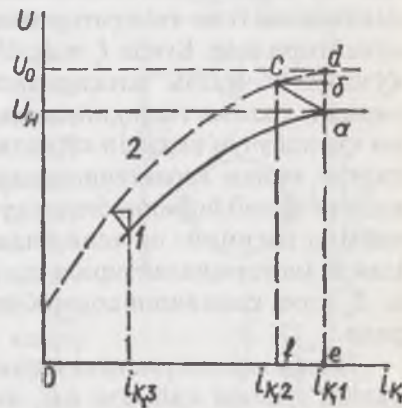


5.4-расм. Мустақил қўзғатишли генераторнинг салт иш характеристикаси.

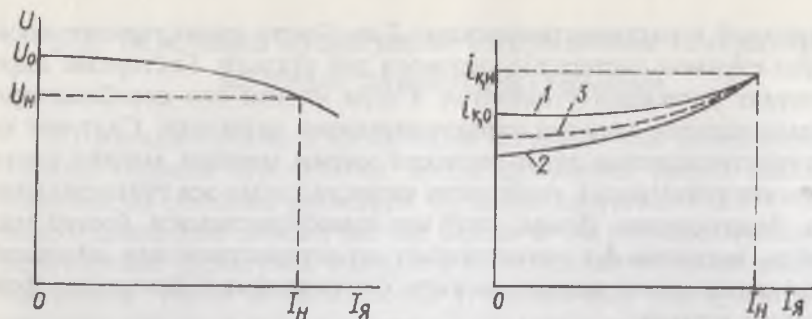
ўзгартириб характеристикасининг 2 ва 3 эгри чизикларидан ҳосил бўлган сиртмоқ гистерезис сиртмоғи деб аталади. Гистерезис сиртмоғининг ўртасидан ўтказилган 4 эгри чизиги эса ҳисоблашларда қўлланиладиган салт иш характеристикаси дейилади. Салт иш характеристикасининг тўғри чизикли қисми машина магнит системасининг тўйинмаган, унинг эгри чизикли қисми эса тўйинган ҳолатига тааллуқлидир. Демак, салт иш характеристикаси, бошқа масштабда, машинанинг магнитланиш характеристикасини ифодалаб, ундан машинанинг магнит занжири хусусиятларини аниқлашда фойдаланиш мумкин.

Юклама характеристикаси. Генераторнинг 5.5-расмдаги 1 эгри чизик билан кўрсатилган $U = f(i_k)$ юклама характеристикаси $I_n = I_n = \text{const}$ бўлган юклама токида олингани сабабли 1 эгри чизик салт иш характеристикаси 2 га нисбатан пастда жойлашади. Қўзғатиш токини камайтириш билан юклама токи I_n ни ўзгартирмай сақлаш учун юклама қаршилиги R_n ни камайтириш лозим.

5.5-расмда кўрсатилган 1 ва 2 эгри чизиклардан фойдаланиб, реактив ёки характеристик деб аталувчи учбурчакликларни куриш мумкин. Бу учбурчакликлар орқали юклама токининг ортиши билан генератор кучланишининг пасайиши сабабларини аниқлаш имкони олинади. Реактив учбурчакликни куриш учун юклама характеристикасидаги номинал кучланишга тегишли a нуқтадан юқори томонга $I_n \sum R$ га тенг ab кесма ўлчаб қўйилади. Сўнгра салт иш характеристикаси билан кесишгунча горизонтал bc кесма ўтказилиб, a ва c нуқталар бирлаштирилади. Шундай қилиб, реактив abc учбурчаклик олинади. Генераторнинг i_{k1} токига салт иш режимда $U_0 = de$ кучланиш тўғри келса, $I_n = I_n$ токли юклама режимда эса кучланишнинг қиймати $U_n = ae$ гача камаяди. Демак, юклама токидан якори занжирида ҳосил бўлган $I_n \sum R$ ва якори реакциясининг магнитсизлантириш (кутблардаги асосий магнит майдоннинг камайирилиши) таъсирида генератор кучланиши $\Delta U = (U_0 - U_n)$ га камаяди. Юклама токининг берилган қийматида якордаги э. ю. к. нинг $E = U + I_n \sum R = be$ қиймати генераторнинг салт иш режимдаги э. ю. к. қиймати $E_0 = de$ га нисбатан кичик бўлади. Бунга сабаб бўлган якори реакциясининг магнитсизлантириш таъсирини ҳисоблаш учун реактив учбурчакликнинг c нуқтасидан



5.5-расм. Мустақил қўзғатишли генераторнинг юклама характеристикаси.



5.6-расм. Мустақил қўзғатишли генераторнинг:
а — ташқи ва б — ростлаш характеристикалари.

$cf = be = E$ га тенг бўлган кесма ўтказилиб, i_{k2} аниқланади. Агар юклама режимида $cf = E = U + I_a \sum R$ га тенг бўлган э. ю. к. ни олиш учун қўзғатувчи чулғамга i_{k1} токини бериш лозим бўлса, салт иш режимида эса бу э. ю. к. ни ҳосил қилиш учун i_{k2} токини бериш кифоя. Демак, реактив учбурчакликнинг $bc = fe = i_{k1} - i_{k2}$ томони якорь реакциясининг магнитсизлантириш таъсирини йўқотиш учун зарур бўлган қўзғатиш токи қийматини ифодалайди. Бу учбурчакликнинг $ab = I_a \sum R$ томони эса якорь занжирида кучланиш тушуви-ни ифодалайди. Қўзғатиш токи i_k нинг кичик қийматлари, масалан, $i_k = i_{k3}$ да, машинанинг магнит системаси тўйинмаган ҳолатда бўлгани сабабли магнитсизлантириш таъсирининг қиймати ҳам кичик бўлади.

Генераторнинг ташқи характеристикаси. 5.6-расм, а да мустақил қўзғатишли генераторнинг ташқи характеристикаси кўрсатилган. Бу характеристикани олиш учун ўзгармас частота билан айлантириладиган генераторнинг юкламаси номинал қийматигача кўпайтирилади. Бунда $I_a = I_n$, $U = U_n$ ва $i_k = i_{kn}$ бўлиши лозим. Сўнгра қўзғатувчи чулғам занжиридаги резистор қаршилиги R_p ни ўзгартирмай, юклама токи қийматини нолгача камайтирилади ва $U = f(I_a)$ ни қуриш учун керакли кўрсаткичлар олинади. 5.6-расм, а да кўрсатилган ташқи характеристикадан кўриниб турибдики, юклама токининг ортиб бориши билан кучланиш камайиб боради. Ҳақиқатан, юклама токининг ортиши билан $I_a \sum R$ нинг кўпайиши, якорь реакцияси магнитсизлантириш таъсирининг зўрайиши ва демак, э. ю. к. E_a нинг камайиши содир бўлиб, кучланиш қиймати камайиб боради.

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

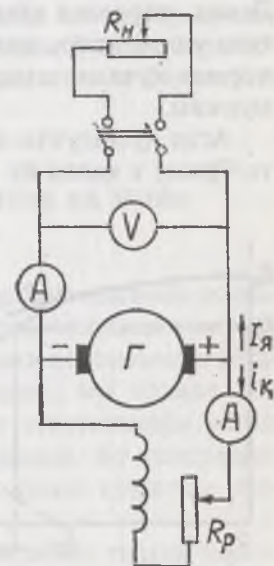
$$\Delta U_n \% = \frac{U_0 - U_n}{U_n} 100. \quad (5.4)$$

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

Генераторнинг ростлаш характеристикаси. Юклама ўзгаришига қарамай, кучланиш қийматини бир меъёрда, кўпинча, $U = U_n = \text{const}$ қилиб сақлаш ёки маълум қонуният билан ўзгартириш учун қўзғатиш токи i_k нинг қийматини ўзгартириш қонунини аниқлайдиган $i_k = f(I_a)$ ни генераторнинг ростлаш характеристикаси дейилади. Бунда ҳам $n = \text{const}$ бўлиши лозим. 5.6-расм, б да мустақил қўзғатишли генераторнинг ростлаш характеристикаси кўрсатилган. Бу характеристикани олиш учун, даставвал генераторда номинал кучланиш ва унга тегишли номинал ток ҳосил қилинади. Агар юклама токи нолгача камайтирилса, у ҳолда генератор кучланиши 5.6-расм, а да кўрсатилгани сингари қонунда ўзгаради. Юклама 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 қонунининг тескарисис 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 станинасида ҳосил бўладиган қолдиқ магнетизм $\Phi_{\text{кол}}$ га асосланади. $\Phi_{\text{кол}}$ нинг қиймати тўла магнит оқимнинг $2 \div 3$ фоизини 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 $\Phi_{\text{кол}}$ ўзгармас частотада айлантириладиган якорь билан кесилиши натижасида якорь чулғамиде кичик қийматли, яъни $E_{\text{кол}} = k_E n \Phi_{\text{кол}}$ га тенг бўлган э. ю. к. ҳосил бўлади. Бу э. ю. к. таъсирида якорь чулғамига параллел уланган қўзғатувчи чулғам занжиридан кичик қий-



5.7-расм. Параллел қўзғатишли генераторнинг уланиш схемаси.

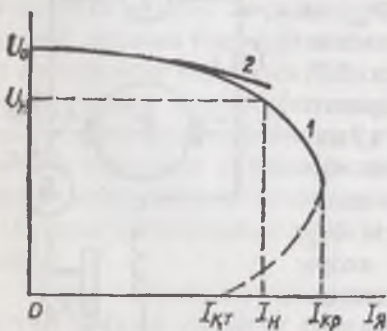
матли қўзғатиш токи $i_k = \frac{E_{\text{кол}}}{R_n + R_k + R_p}$ ўтиши мумкин. Агар бу қўзғатиш токидан қутбларда ҳосил қилинган магнит оқимнинг $\Phi_{\text{кол}}$ га қўшилиши натижасида умумий магнит оқим кўпайса, у ҳолда генератор ўз-ўзидан қўзғатилиши мумкин. Ҳақиқатан, қутблардаги магнит оқимнинг кўпайиши билан якорь чулғамида ҳосил бўлувчи э. ю. к. қиймати ҳам кўпаяди ва натижада қўзғатувчи чулғамдан ўтувчи токнинг қиймати кўпайиб, қутблардаги магнит оқимнинг қиймати яна ҳам кўпаяди. Бундай ўз-ўзини қўзғатиш жараёни давомида якорь чулғамида ҳосил бўлувчи э. ю. к. қиймати қутб ўзакларининг тўйиниши ва қўзғатувчи чулғам занжиридаги R_p билан чекланади.

Агар қўзғатувчи чулғамдаги токдан $\Phi_{\text{кол}}$ га тескари йўналган магнит оқим ҳосил бўлса, у ҳолда машина магнитсизланади ва, натижада, умумий магнит оқимнинг қиймати $\Phi_{\text{кол}}$ га нисбатан камайиб машина ўз-ўзидан қўзғатилмайди. Бунда генераторни ўз-ўзидан қўзғатиш учун қўзғатувчи чулғамдаги токнинг йўналишини ёки якорьнинг айланиш йўналишини ўзгартириш керак. i_k нинг йўналишини ўзгартириш учун қўзғатувчи чулғам занжиридаги якорьга уланувчи w_1 ва w_2 учларини ўзаро алмаштириш кифоя.

Агар генераторга юклама 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 юкламадан ажратилган бўлиб, генератор нормал кучланишгача қўзғатилгандан сўнг унга юклама берилиши мумкин.

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

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 кўрсатилган.



5.8-расм. Параллел қўзғатишли генераторнинг ташқи характеристикаси.

Параллел қўзғатишли генераторда ҳам юклама токининг ортиб бориши билан кучланиш камайиб боради. Критик қиймат $I_{кр}$ ли токка эга генератор юкламаси яна кўпайтирилса, унинг кучланиши билан биргаликда якорь токининг ҳам камайиши содир бўлади. Юклама қиймати қисқа туташигача кўпайтирилса, юклама токининг қиймати қисқа туташиш токи $I_{кт}$ билан чекланади (5.8-расм).

Демак, параллел қўзғатишли генераторда юклама токининг қисқа туташиш қиймати $I_{кт} \leq I_n$ бўлса, мустақил қўзғатишлида эса $I_{кт} = (10 \div 12) I_n$ бўлади.

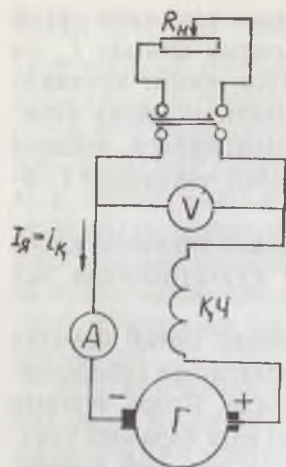
Параллел қўзғатишли генератор юкламасининг ортиб бориши билан унинг кучланиши даставвал мустақил қўзғатишли генераторники сингари сабабларга биноан камайиб боради. Якорь чулғами қисқичларидаги кучланишнинг камайиши билан унга параллел уланган қўзғатувчи чулғамдаги токнинг қиймати ҳам камайиб боради. Бунинг натижасида э. ю. к. ва, демак, кучланишнинг қиймати яна камаяди. Мустақил қўзғатишли генераторда қўзғатиш токининг 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 юкламасининг қиймати номиналга нисбатан $I_{кр} = (2 \div 2,5) I_n$ марта кўпайиши мумкин. Агар юклама қиймати $I_{кр}$ га нисбатан бир озгина кўпайса, у ҳолда генератор кучланиши ўз-ўзидан кескин равишда нолгача камаяди. Бунда якорь токининг қисқа туташиш $I_{кт}$ қиймати фақат қолдиқ э. ю. к. билангина аниқланиб, $I_{кт} \approx I_n$ бўлади.

5.4. Кетма-кет қўзғатишли генератор ва унинг характеристикалари

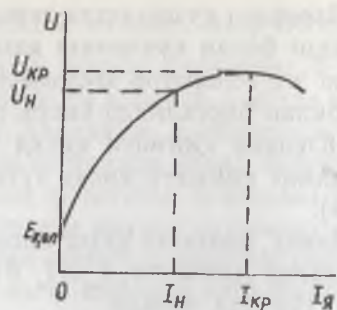
5.9-расмда кетма-кет қўзғатишли генераторнинг уланиш схемаси кўрсатилган. Бунда қўзғатувчи чулғам якорь чулғамига кетма-кет улангани учун қўзғатиш токи i_k нинг қиймати юкламанинг ўзгаришига боғлиқ бўлиб, якорь токи I_y га тенг, яъни $i_k = I_y$ бўлади. Шу сабабли кетма-кет қўзғатишли генераторнинг хусусиятлари 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. $E_{\text{кол}}$ билан аниқланади. Юклама берилиши билан қўзғатувчи чул-

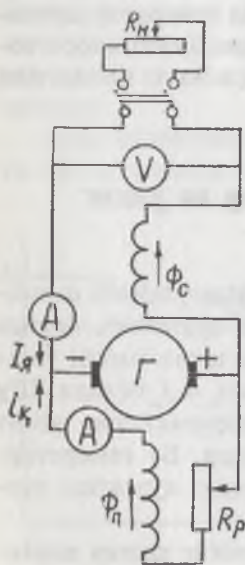


5.9-расм. Кетма-кет қўзғатишли генераторнинг уланиш схемаси.



5.10-расм. Кетма-кет қўзғатишли генераторнинг ташқи характеристикаси.

ғамдан $i_k = I_A$ токи ўтиб, генератор кучланиши ортиб боради. Генератор кучланишнинг ортиб бориши $i_k = I_A = I_{кр}$ гача давом этиб, қутб ўзақлари тўйинганидан сўнг эса юклама токининг кўпайиши якорь реакciasининг магнитсизлантириш таъсирини зўрайтириб, генераторнинг кучланишини пасайтиради. Кучланиш қиймати юклама токига кескин боғлиқлиги сабабли кетма-кет қўзғатишли генераторлар кам ишлатилади.



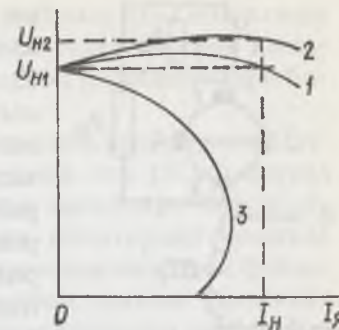
5.11-расм. Аралаш қўзғатишли генераторнинг уланиш схемаси.

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 магнит 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 чулғамидаги ампер ўрамлар билан аниқланиб, юклама сабабли куч-

ланишнинг пасайган қисминигина компенсациялаш кетма-кет чулғамдаги ампер ўрамлар билан аниқланади.

5.12-расмда 1 эгри чизиқ 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 чизиқ). Аралаш қўзғатишли генератор, кўпинча, ўзгармас қийматли кучланиш олиш учун ишлатилади.

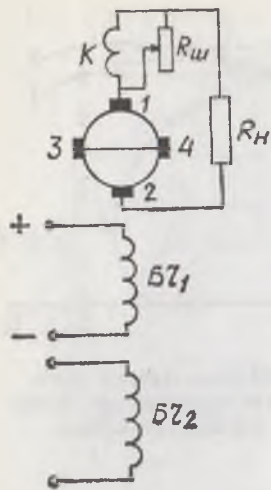


5.12-расм. Аралаш қўзғатишли генераторнинг ташқи характеристикалари.

5.6. Электр машина кучайтиргичлари

Кириш қисмига бериладиган кичик қийматли сигнални ўзгартириш йўли билан чиқиш қисмидан олинadиган 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 занжиридаги ток қийматини ўзгартириш йўли билан унга нисбатан 20—30 марта катта қийматли якорь (юклама) токини ростлаш мумкин. Демак, оддий ўзгармас ток машинасидан ҳам кучайтиргич сифатида фойдаланиш мумкин, аммо унинг қувват бўйича кучайтириш коэффициенти нисбатан кичик, яъни $k_p = \frac{P_{чик}}{P_{кир}} \approx 20 \div 30$ бўлгани сабабли ундан кучайтиргич сифатида фойдаланилмайди. Кучайтиргичлар асосан автоматик системаларда ишлатилади. Бунда системанинг бирор элементининг чиқишидан олинadиган кичик қийматли сигнал унинг бошқа элементи киришига кучайтирилиб берилади. Электр машина кучайтиргич сифатида, умуман, кўндаланг ва бўйлама магнит майдонли кучайтиргичлардан фойдаланилади. Амалда, кўпинча, кўндаланг магнит майдонли электр машина кучайтиргичлари ишлатилади.

Кўндаланг магнит майдонли электр машина кучайтиргичи (ЭМК) икки қутбли ўзгармас ток машинаси каби конструкцияга ва ишлаш принципига эга бўлади. Бу қутбларга тўрттагача бошқарувчи (қўзғатувчи), компенсацияловчи ва қўшимча қутб чулғамлари ўрнатилади. ЭМК нинг якори эса оддий ўзгармас ток машиналариники синга-



5.13-расм. Кўндаланг магнит майдонли электр машина кучайтиргичнинг принципиал схемаси.

ри бўлиб, унинг коллекторига икки жуфт чўткалар ўрнатилган бўлади (5.13-расм, 1—2, 3—4). Оддий генераторларда якорь токидан ҳосил бўлган магнит оқимининг кўндаланг қисми асосий магнит майдон куч чизиқларини қийшайтириб, коммутация жараёнини ёмонлаштиради, ЭМК да эса якорь реакциясининг кўндаланг ўқ бўйича таъсирдан унинг кириш қисмига берилган сигнал кучайтирилади. Бунинг учун кўндаланг ўқлар бўйича ўрнатилган 3—4 чўткалар ўзаро қисқа туташтирилади. Агар якори ўзгармас частота билан айлантириладиган ЭМК нинг бошқариш чулғамларидан бирига, масалан, БЧ₁ га кичик қийматли электр сигнал берилса, у ҳолда бу токдан пайдо бўлган магнит оқим якорьнинг 3—4 кўндаланг чўткалар билан қисқа туташтирилган чулғамида кичик қийматли э. ю. к., унинг таъсирида эса катта қийматли ток I_2 ҳосил қилади. Бу якорь токи I_2 дан кўндаланг магнит оқим Φ_2 , бундан эса 1—2 бўйлама чўткалар ҳамда юклама билан туташган якорь чулғамида э. ю. к. ва, демак, I_2 га нисбатан бирмунча катта қийматли юклама токи I_3 ҳосил бўлади. Бу токдан ҳосил бўлган Φ_3 магнит оқим Φ_1 га тескари йўналиб, ЭМК ни магнитсизлантириши мумкин. Бўйлама ўқ бўйича 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 бўйича кучайтириш коэффициенти $k_p = 2000 \div 10000$ ва ундан ҳам катта бўлиши мумкин. Бундай кучайтиргичлар, одатда, синхрон частотаси $3000 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ бўлган асинхрон моторлари билан айлантирилиб, ЭМК ва уни айлантирувчи мотор умумий корпусли қилиб тайёрланади. ЭМК лардан генератор, қўзғатгич ва ростлагич сифатида ҳам кенг фойдаланилади.

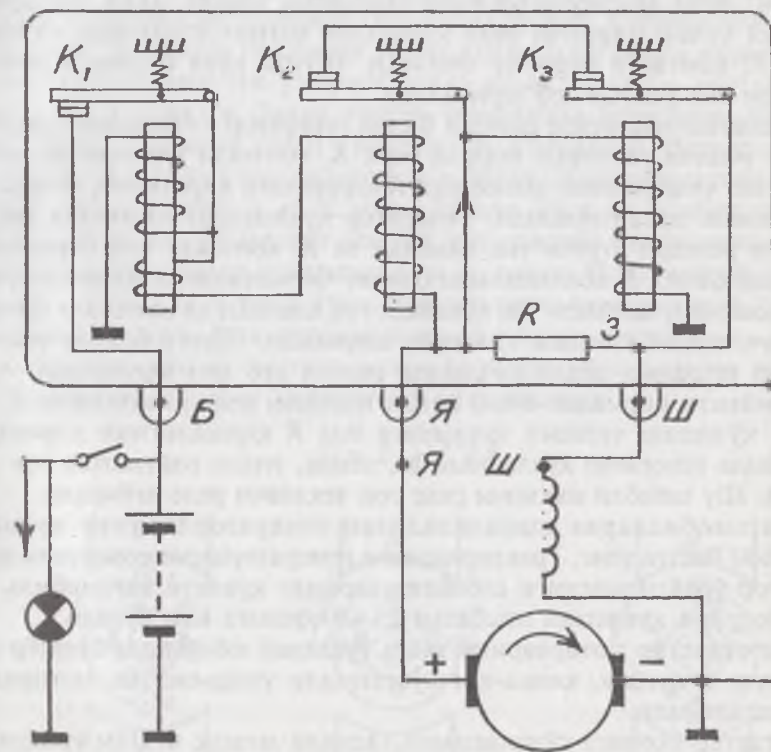
5.7. Автотрактор генераторлари ва стартёрлари

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 ўрнига бирмунча қулай бўлган 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. Шунги 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 йўли билан генератор кучланиши қийматини ўзгартирмай сақлашга эришилади (5.14-расм).

Маълумки, автотракторларнинг электр занжири бир симли бўлади. Иккинчи сим сифатида машинанинг металл корпуси (массаси) дан фойдаланилади. Бунда биринчи чўтка ва қўзғатиш чулғамининг бир томони генератор массасига, иккинчи чўткадаги +Я ва



5.14-расм. Автомобиль генераторининг реле-ростлагич билан уланишининг принципиал схемаси.

реле-ростлагичнинг Я қисмалари ўзаро, қўзғатиш чулғамининг иккинчи Ш томонини эса реле-ростлагичнинг Ш (шунт) қисмасига уланади. Генератор айлантирилиши билан ўз-ўзини қўзғатиш принципи асосида унинг якори чулғамида қолдиқ э. ю. к. ҳосил бўлади. Бу э. ю. к. таъсирида мусбат чўтка, реле-ростлагичнинг Я қисмаси, нормал берк K_2 ва K_3 контактлари, Ш қисмаси, қўзғатиш чулғаи ва манфий чўтка орқали қўзғатиш токи ўтади. Генератор токининг бошқа қисми иккинчи реле чулғаи, биринчи реленинг пастки ток ва юқориги кучланиш чулғамларидан ўтиб, масса орқали манфий чўткага келади. Кучланиш қиймати номиналга тенглашганда биринчи реленинг кучланиш чулғаи токи ва ундан ҳосил бўлган магнит оқим тортиш кучи таъсирида нормал очиқ K_1 контакт беркилади ва натижада аккумуляторни зарядловчи 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 ўтгудай бўлса, биринчи реле ўзагининг магнитсизланиши натижасида K_1 контакти барибир очилади. Шунга кўра биринчи релени тескари ток релеси деб юритилади.

Айланиш частотаси ошиши билан генератор кучланиши кўпайиб кетса, учинчи реленинг нормал берк K_3 контакти очилади ва бунда қўзғатиш чулғамининг занжирига R қаршилиги киритилиб, генератор кучланиши пасайтирилади. Генератор кучланиши пасайиши билан учинчи реледан ўтувчи ток камаяди ва K_3 контакти яна беркилади. Шундай қилиб, K_3 контактининг очилиб-беркилиши натижасида қўзғатиш токининг қиймати гоҳ кўпайиб, гоҳ камаяди ва натижада генератор кучланиши ўзгармас қийматда сақланади. Шунга биноан учинчи релени тебранма типли кучланиш релеси деб ҳам юритилади. Агар ток қиймати нормадан ошиб кетса, иккинчи реле ўз контакти K_2 ни очиб, қўзғатиш чулғаи 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 автомобиль генераторлари қувватига нисбатан 25÷30 фоизга кам бўлади.

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

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

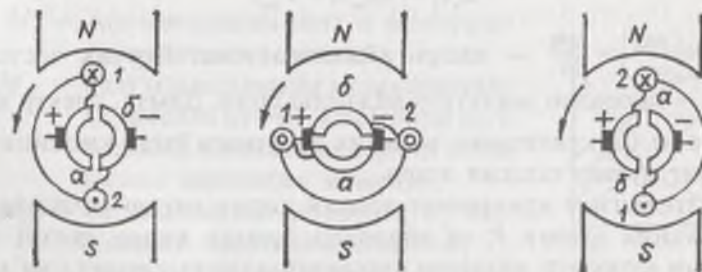
6.1. Умумий тушунчалар

Электр машиналар генератор ва мотор режимида ишлаши мумкин. Агар қутбларида етарли магнит оқим бўлган ўзгармас ток машинасининг якори чулғаига ўзгармас ток берилса, у ҳолда якори чулғаидаги токли ўтказгичларга таъсир этувчи электромагнит кучлардан якори айлантирувчи электромагнит момент ҳосил бўлади. Бунда электр энергияси механик энергияга айланиб, электр машина мотор режимида ишлайди. Якори чулғаи секцияси томонларининг бири шимолий, иккинчиси эса жанубий қутб остида жойлашган бўлади. Шу сабабли, якорда ҳамма вақт бир томонга айлантирувчи электромагнит кучлар ҳосил қилиш учун N ва S қутблар остидан ўтувчи якори ўтказгичидаги токнинг йўналишини ўзгартириб туриш керак.

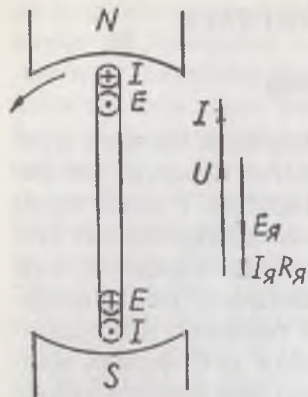
Якори ўтказгичларига бериладиган токнинг йўналиши коллектор билан ўзгартирилиб турилади (6.1-расм). Демак, ўзгармас ток машинасининг генератор режимида унинг коллектори билан якори чулғаидаги ўзгарувчан ток ўзгармас токка айлантирилади, мотор режимида эса коллектор билан электр тармоғидан берилувчи ўзгармас ток якори чулғаига турли йўналишларда берилади. Электромагнит момент таъсирида ўзгармас частота n билан айланувчи мотор якорининг ўтказгичларида э. ю. к. ҳосил бўлади. Бу э. ю. к. нинг қиймати (3.13) ифодадан, йўналиши эса ўнг қўл қоидаи билан аниқланади. Генераторда токнинг йўналиши э. ю. к. 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 моторнинг якори занжири учун э. ю. к. ларнинг мувозанат тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

$$U = E_a + I_a R, \quad (6.1)$$



6.1-расм. Ўзгармас ток моторида якorigа берилган токнинг коллектор билан ўзгарувчан токка айлантирилиши.



6.2-расм. Мотор якорида ҳосил бўлган э. ю. к. ва унинг токка тескари йўналиши.

бунда U — моторнинг якорь чулғамига бериладиган кучланиш, В;
 E_a — якорь чулғамида ҳосил бўлган э. ю. к.; В;
 $I_a \sum R$ — якорь занжирида кучланишнинг тушуви, В;

$\sum R = R_a + R_t$ — якорь чулғами қаршилиги билан ташқи қаршилик йиғиндиси, Ом.

Якорь токи (6.1) тенгламага биноан қуйидагича ифодаланади:

$$I_a = \frac{U - E_a}{\sum R} \quad (6.2)$$

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

$$U I_a = E_a I_a + I_a^2 \sum R, \quad (6.3)$$

бунда $U I_a$ — электр тармоғидан моторга бериладиган қувват, Вт;
 $I_a^2 \sum R$ — якорь занжиридаги қаршиликларнинг қизишига 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 электромагнит моментни ифодалагани учун якорда ҳосил бўладиган қувват электромагнит 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 частотаси;
 $n \left[\frac{\text{айл}}{\text{мин}} \right]$ — якорнинг минутига айланиш сони. Демак, электр моторга берилган $U I_a$ қувватнинг механик энергияга ўтган қисмини электромагнит қувват ташкил этади.

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

6.2. Электр мотор валига таъсир этувчи моментлар ва уларнинг мувозанат тенгламаси

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

- 1) мотор якорини айлантирувчи электромагнит момент $M_{эм}$;
- 2) салт ишлаш momenti M_0 . Бу момент механик ва магнит қувват исрофлари билан аниқланади. Якорнинг айланишида механик ишқаланишларга ва уярма тоқлар билан мотор пўлат ўзакларининг қизишига сарфланган қувват исрофи P_0 юкламага боғлиқ бўлмагани учун M_0 ҳам юкламага боғлиқ бўлмайди, унинг қиймати номинал момент (айлантирувчи фойдали моментнинг номинал қиймати) M_n нинг 2÷6% ни ташкил этади;
- 3) фойдали момент M_2 . Бу момент мотор билан иш механизмининг ҳаракатга келтиришда механизм томонидан вужудга келтириладиган қаршилик (фойдали юклама) момент билан аниқланади. Қаршилик momenti ўз навбатида машина ёки механизмнинг иш режими (катта ёки кичик қийматли юкламалар билан ишлаши) ва механик характеристикалари билан аниқланади.

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

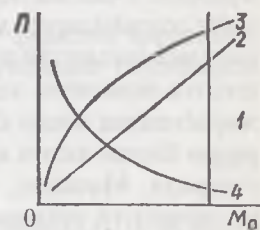
$$M_c = M_{co} + (M_{cn} - M_{co}) \left(\frac{n}{n_{мин}} \right)^x \quad (6.5)$$

бунда M_c — иш механизмининг n частотадаги қаршилик momenti;

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

M_{cn} — механизмнинг номинал, n_n частотадаги қаршилик momenti;

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



6.3-расм. Иш механизмларининг механик характеристикалари.

(6.5) ифодага биноан даража кўрсаткичи x учун қуйидаги қийматлар берилиб, турли классларга тегишли иш механизмларининг механик характеристикалари олинади.

1) $x = 0$ бўлса, $M_c = M_{c0} = \text{const}$ бўлади. Бунда қаршилик моменти ўзгармас бўлиб, частотага боғлиқ бўлмаган механик характеристика олинади (6.3-рasm, 1 эгри чизиқ). Бундай механик характеристикага юк кўтарувчи кранлар, станокларнинг винт ва червяклар билан ҳаракатланувчи қисмлари эга бўлади. Ҳақиқатан, кран механизмининг қаршилик моменти унинг илгагига осилган юк оғирлиги G ва барабан радиуси $\frac{D_6}{2}$ билангина аниқланади, холос, яъни $M_c = G \frac{D_6}{2}$ бўлади.

2) $x = 1$ бўлса, $M_c = M_{c0} + \frac{M_{c0} + M_{c0}}{m_n}$ бўлади. Бунда қаршилик моменти частотага пропорционал бўлган механик характеристика олинади (6.3-рasm, 2 чизиқ). Бундай характеристикага мустақил кўзга-тишли ўзгармас ток генератори ва дон тозаловчи қишлоқ хўжалик машинаси кабилар эга бўлади.

3) $x = 2$ бўлса, қаршилик моменти частотанинг иккинчи даражасига пропорционал бўлади. Бундай механик характеристикага вентилятор, насос, сепаратор каби механизмлар эга бўлади (6.3-рasm, 3 чизиқ).

4) $x = -1$ бўлса, қаршилик моментининг қиймати частотага тескари пропорционал равишда ўзгаради. Бундай механик 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 муайян ҳолда алоҳида келтирилади. Қаршилик моментлари реактив ва актив (потенциал) бўлиши мумкин. Реактив қаршилик моменти қирқиш, ишқаланиш ва шу каби жараёнларда ҳосил бўлади. Бу моментнинг йўналиши ҳамма вақт моторнинг айлантирувчи моментига тескари бўлади. Актив қаршилик моменти эса юк кўтариш, пружинанинг қисилиши каби жараёнларда ҳосил бўлиб, бундай момент ҳамма 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 динамик момент $M_{\text{дин}}$ дейилади. Динамик момент қуйидагича ифодаланади:

$$M_{\text{дин}} = J \frac{d\omega}{dt} = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt}, \quad (6.6)$$

бунда $J = m\rho^2 = \frac{GD^2}{4}$ кг·м² ёки кг·м·сек² — мотор вали билан биргаликда айланаётган қисмларнинг инерция моменти;

G, m — тегишлича оғирлик кучи ва унинг массаси;

ρ, D, g — тегишлича ҳаракатланаётган қисмларнинг инерция радиуси, диаметри ва тезланиши;

GD^2 — силташ моменти. Якорь ёки роторга тегишли силташ ёки инерция моментларининг қиймати мотор каталогларида келтирилади. Мотор билан айланивчи ва турли шаклларга эга қисмлар учун эса J ва GD^2 нинг қиймати техник маълумотномаларда келтирилади:

$\frac{d\omega}{dt}$ ёки $\frac{dn}{dt}$ — мотор валининг тезланиши.

Демак, динамик момент ҳосил бўлиши учун бирор сабабга кўра частотанинг ўзгариши кифоя. Масалан, моторни ишга туширишда унинг частотаси ортиб боради. Бунда $\frac{dn}{dt} > 0$ бўлиб, айлантирувчи моментга тескари йўналган динамик момент ҳосил бўлади. Моторни тормозлашда эса унинг частотаси камайиб боргани учун $\frac{dn}{dt} < 0$ бўлади. Бунда ҳосил бўлган динамик момент мотор частотасининг пасайишига ҳалақит беради, яъни тормозловчи моментга нисбатан тескари йўналади.

Моторнинг ўзгармас частота билан айланишида эса $\frac{dn}{dt} = 0$ бўлиб, динамик момент ҳосил бўлмайди. Моторнинг ўзгармас частота билан айланаётган ҳолати унинг турғун ҳолати дейилади. Демак, мотор валига таъсир этувчи моментларнинг мувозанат тенгламаси умумий ҳолда қуйидагича ифодаланади:

$$\pm M \pm M_c = J \frac{d\omega}{dt} = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt}. \quad (6.7)$$

Айлантирилаётган иш механизми, кўпинча, реактив қаршилик моментига эга бўлади. Бунда моментларнинг мувозанат тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

$$M - M_c = M_{\text{дин}} = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt}. \quad (6.8)$$

Моторнинг турғун режимда, яъни $n = \text{const}$ бўлганда (6.8) тенглама яна ҳам соддалашади:

$$M = M_c. \quad (6.6)$$

Демак, турғун режимда моторнинг айлантирувчи моменти статик қаршилиқ моментига тенг ва у билан доимо мувозанатда бўлади. Агар M_c қиймати ўзгариб, масалан, $M < M_{c1}$ бўлиб қолса, у ҳолда моторнинг айлантирувчи моментининг қиймати ҳам моментлар мувозанати бошқа пастроқ турғун частотада тиклангунга қадар кўпайиб боради.

(6.4) ифодага биноан моторнинг айлантирувчи моменти қуйидагича аниқланади:

$$M = M_{эм} = \frac{P_{эм}}{\omega} = \frac{60 P_{эм}}{2\pi n} = 9550 \frac{P_{эм}}{n} [\text{Нм}] = 975 \frac{P_{эм}}{n}, \text{ кГм} \quad (6.10)$$

Мотор валидаги фойдали момент қуйидагича топилади:

$$M_2 = 9550 \frac{P_2}{n} \text{ Нм} = 975 \frac{P_2}{n}, \text{ кГм}, \quad (6.11)$$

Мотор шчитиди унинг номинал фойдали қуввати P_n , токи I_n , кучланиши U_n ва айланиш частотаси n_n кўрсатилган бўлади. Бу қийматларга биноан моторнинг номинал айлантирувчи моменти қуйидагича аниқланади:

$$M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n} \text{ Нм} = 975 \frac{P_n}{n_n} \text{ кГм}, \quad (6.12)$$

бунда P_n , кВт; n_n , $\frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ ҳисобида; электромагнит момент мотор валидаги моментдан $2 \div 5\%$ гагина катта бўлгани учун $M_{эм} \approx M_2$ деб қабул қилинади.

6.3. Қаршилиқ ва силташ моментларини мотор валидаги частотага келтириш

Моторнинг частотаси кўпинча иш механизмига керак миқдордан юқори, айрим ҳолларда эса паст ҳам бўлади. Бундай ҳолларда мотор частотасини пасайтирувчи ёки кўпайтирувчи механик узатма (қисқача — узатма) дан фойдаланилади.

Демак, моторни айлантирувчи M , иш механизмнинг қаршилиқ M_c моментлари ҳамда айланувчи қисмларнинг силташ GD^2 ёки инерция J моментлари турли частота билан айланувчи валларда ҳосил бўлиши мумкин. Аммо мотор валига таъсир этувчи моментларнинг мувозанат тенгламаси (6.8) ни тузишда ҳамма моментлар мотор валидаги частотага келтирилган бўлиши керак. Моментларни бир хил частотага келтиришда системанинг энергетик баланси ўзгармасдан қолиши керак. Демак $\omega_{мех}$ частотадаги қаршилиқ моменти $M_{см}$ ни мотор частотаси ω_m га келтириш учун қуйидаги тенглама, яъни

$$M_{см} = \omega_{мех} \frac{1}{\eta_y} M_c \omega_m$$

тузилади. Бу тенгламадан қаршилиқ моментининг мотор валидаги частотага келтирилган қиймати M_c қуйидагича аниқланади:

$$M_c = M_{см} \frac{\omega_{мех}}{\omega_m} \frac{1}{\eta_y} = \frac{M_{см}}{\eta_y}, \quad (6.13)$$

бунда $\omega_{мех}$ — иш механизми валидаги частота;

η_y — узатманинг фойдали иш коэффициенти;

$i = \frac{\omega_m}{\omega_{мех}}$ — узатманинг узатиш сони.

Агар узатма n элементдан иборат бўлса, у ҳолда (6.13) формуланинг қуйидаги умумий ифодаси олинади:

$$M_c = M_{см} \frac{1}{i_1 \cdot i_2 \dots i_n \eta_{y1} \eta_{y2} \dots \eta_{yn}}, \quad (6.14)$$

бунда

$$i_1 = \frac{\omega_m}{\omega_1}; i_2 = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

ва ҳоказо.

Ҳар бир валдаги кинетик энергия заҳиралари йиғиндисининг ўзгармаслиги 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:

$$\begin{aligned} J &= J_m + J_1 \left(\frac{\omega_1}{\omega_m} \right)^2 + J_2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_m} \right)^2 + \dots + J_n \left(\frac{\omega_n}{\omega_m} \right)^2 = \\ &= J_m + \frac{J_1}{i_1^2} + \frac{J_2}{i_1^2 i_2^2} + \dots + \frac{J_n}{i_1^2 i_2^2 \dots i_n^2}, \end{aligned} \quad (6.15)$$

бунда J_m — мотор якорининг (роторининг) инерция моменти.

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

$$GD^2 = GD_m^2 + \frac{GD_1^2}{i_1^2} + \frac{GD_2^2}{i_1^2 i_2^2} + \dots + \frac{GD_n^2}{i_1^2 i_2^2 \dots i_n^2} \quad (6.16)$$

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 илгарилама ҳаракат қиладиган элементлардан иборат бўлса, у ҳолда илгарилама ҳаракат мотор валидаги айланма ҳаракатга келтирилади. Бунда ҳам юқоридаги принципларга асосланилади, яъни оғирлик кучи $F_{см}$ бўлган юкни v частотада кўтариш учун қуйидаги тенглама тузилади:

$$F_{см} \cdot v \cdot \frac{1}{\eta_y} = M_c \omega_m.$$

Ундан

$$M_c = \frac{F_{см} \cdot v}{\omega_m \cdot \eta_y}, \quad (6.17)$$

ёки

$$M_c = 9,55 \frac{F_{см} \cdot v}{n_m \cdot \eta_y}, \quad (6.18)$$

бунда M_c — илгарилама ҳаракатдаги юк қаршилик моментининг мотор валидаги айланма ҳаракатга келтирилган 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 қуйидагича ифодаланади:

$$GD^2 = \frac{365 \cdot Gv^2}{n_m^2} = 365G \left(\frac{v}{n_m} \right)^2. \quad (6.20)$$

Айланма ва илгарилама ҳаракат қиладиган элементлардан иборат системанинг келтирилган қийматлари умумий ҳолда қуйидагича ифодаланади:

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

$$GD^2 = GD_m^2 + \frac{GD_1^2}{i_1^2} + \frac{GD_2^2}{i_1^2 i_2^2} + \dots + \frac{GD_n^2}{i_1^2 i_2^2 \dots i_n^2} + \frac{365Gv^2}{n_m^2}. \quad (6.21)$$

6.4. Ўзгармас ток моторларининг механик характеристикаси

Мотор валига таъсир этувчи қаршилик моментининг ортиши билан моторнинг айлантирувчи моменти ортади, камайиши билан эса камаяди. Бунда моторнинг частотаси ҳам ўзгаради. Мотор ай-

лантирувчи моментининг ўзгариши билан унинг частотаси қай тарзда ўзгаришини ифодаловчи $n = f(M)$ боғланиш электр моторнинг механик характеристикаси деб аталади.

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

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

Бу тенгламалар системасидан $n = f(M)$ боғланишини топиш учун даставвал моторнинг n частота билан айланишида ҳосил бўлган $E_{я} = k_E n \Phi$ ифодасидан $n = \frac{E_{я}}{k_E \Phi}$ олинади. Частотанинг бу ифодасидаги $E_{я}$ ўрнига унинг ток формуласидан топилган $E_{я} = U - I_{я} \Sigma R$ қийматини қўйиб, қуйидаги тенглама олинади:

$$n = \frac{E_{я}}{k_E \Phi} = \frac{U - I_{я} \Sigma R}{k_E \Phi} = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{I_{я} (R_m + R_r)}{k_E \Phi}. \quad (6.22)$$

Бу ифодадан мотор частотасини ўзгартириш усуллари аниқлаш мумкин. Шунга биноан, (6.22) ифодани мотор частота характеристикасининг тенгламаси дейилади. Ўзгармас ток моторларининг механик характеристикаси тенгламасини топиш учун (6.22) ифодадаги $I_{я}$ ўрнига унинг $M = k_M \Phi I_{я}$ ифодасидан олинган $I_{я} = \frac{M}{k_M \Phi}$ қийматини қўйиш kifоя, яъни

$$n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{I_{я} \Sigma R}{k_E \Phi} = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{\Sigma R}{k_E k_M \Phi^2} \cdot M. \quad (6.23)$$

Демак, ўзгармас ток моторларининг (6.23) билан ифодаланган механик характеристика тенгламасига биноан идеал салт иш режимида, яъни $M = M_c = 0$ бўлганда моторнинг турғун (ўзгармас) частотаси $n = \frac{U}{k_E \Phi} = n_0$ бўлади. Мотор валига механизмнинг бирор M_c қийматли қаршилик моменти таъсир этиши билан унинг частотаси n_0 га нисбат $\frac{\Sigma R}{k_E k_M \Phi^2} M_c$ ҳисобига камаяди. Бунда моторнинг айлантирувчи моменти M_c гача кўпайиб, яъни $M = M_c$ бўлиб, унинг пайсайдан турғун частотаси қуйидагича аниқланади:

$$n = n_0 - \frac{\Sigma R}{k_E k_M \Phi^2} M. \quad (6.24)$$

Ҳақиқатан, мотор частотаси камайиши билан унинг якоридаги э. ю. к. ҳам камайиб боради. Бунда $I_{я} = \frac{U - E_{я}}{\Sigma R}$ бўлгани учун мотор-

нинг айлантурувчи $M = k_m \Phi I_n$ моменти қиймати ҳам моментлар мувозанати тиклангунча, яъни $M = M_c$ бўлгунча қўпайиб боради. $M = M_c$ бўлиши билан мотор частотасининг юклама сабабли пассивиши тугайди ва мотор янги ўзгармас частота билан турғун режимда ишлай бошлайди. Қаршилик моментининг ўзгариши билан электр моторларнинг частотаси ва демак, э. ю. к. қиймати ҳам ўзгариб, натижада уларнинг айлантурувчи моменти ҳам моментлар мувозанати тиклангунча ўз-ўзидан ўзгаради. Электр моторларнинг бу хусусияти уларнинг асосий афзалликларидан бири ҳисобланади. Электр моторлар табиий ва сунъий механик характеристикаларга эга бўлиши мумкин.

Якорь ёки ротор чулғамига қўшимча ташқи қаршилик киритилмай номинал кучланиш ва номинал магнит оқимда олинадиган $n = f(M)$ боғланиш электр моторнинг табиий механик характеристикаси дейилади. Якорь ёки ротор чулғамига бирор ташқи қаршилик киритилганда ҳамда кучланиш ёки магнит оқимнинг номиналдан фарқ қилганда олинадиган $n = f(M)$ боғланиш моторнинг сунъий механик характеристикаси дейилади. Айлантурувчи момент ўзгариши билан мотор частотасининг ўзгариш даражасига қараб қуйидаги механик характеристикалар бўлиши мумкин:

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

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

3) **юмшоқ характеристика.** Айлантурувчи 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 қаршилик моментидан катта бўлган айлантурувчи 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, айлантурувчи момент камайиб боради.

Айлантурувчи момент қиймати қаршилик моментигача камайдганда, яъни $M = M_c$ бўлиб, моментлар мувозанати тикланганда, частотанинг ортиб бориш жараёни 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 жараёни моторни ишга тушириш жараёни дейилади. Бу жараёни 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 чулғамида ҳосил бўлган ток унинг ишга тушириш токи деб аталади. Якорнинг тинч ҳолатида $n = 0$ бўлгани сабабли $E_n = 0$ бўлади. Демак, ишга тушириш токининг қиймати қуйидагича ифодаланади:

$$I_{\text{ишт}} = \frac{U}{\Sigma R}, \quad (6.25)$$

бунда $\Sigma R = R_n + R_r$ — якорь занжирининг қаршилиги.

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

$$R_{\text{ишт}} = R_r = \frac{U_n}{2I_n} - R_n. \quad (6.26)$$

(6.26) ифодадан $R_{\text{ишт}}$ нинг қийматини топиш учун R_n ни аниқлаш керак. Ўзгармас ток моторлари учун якорь чулғами қаршилигини қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$R_n = 0,5(1 - \eta) \frac{U_n}{I_n} = 0,5(1 - \eta) R_n, \quad (6.27)$$

бунда $\eta = \frac{P_n}{U_n I_n}$ — мотор фойдали иш коэффициентининг номинал қиймати:

$R_n = \frac{U_n}{I_n}$ — моторнинг номинал қаршилиги. Якорга номинал куч-

ланиш берилганда ундан ўтадиган ишга тушириш токини 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, айлантирувчи моменти камайиб боради. Мотор частотасининг n_c , қийматигача бир текисда ортиб боришини таъминлаш учун айлантирувчи моментнинг ўртача қийматини ўзгармас қилиб сақлаш керак. Бунинг учун ишга туширувчи моментнинг қиймати ўзининг $M_{\max} \approx 2M_n = M_{\text{шт}}$ қийматидан $M_{\min} \approx (1,1 \div 1,2) M_n$ гача камайганида $R_{\text{шт}}$ қаршилигининг бир поғонаси шунтланади. Бунда ток ва, демак, айлантирувчи момент номиналга нисбатан яна икки марта кўпайиши даркор. Шу сингари частота ортиб бориши билан ишга туширувчи резисторнинг қаршилиги камайтирилиб борилади ва $R_{\text{шт}}$ нинг охириги поғонаси 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 жараёни ҳам тугайди.

Ишга тушириш жараёнининг даври бир неча секундда тугаши сабабли $I_{\text{шт}}$ ва $M_{\text{шт}}$ қийматларининг номиналга нисбатан $2 \div 2,5$ марта катта бўлиши мотор учун хавfli бўлмайди (ўткинчи режим боби-га қаранг).

6.6. Электр моторнинг тормоз режимлари

Машина ва механизмларнинг баъзи режимларида электр мотор тормоз вазифасини бажариб, турли хил тормоз режимларида ишлайди. Машина ва механизмларни тез ва аниқ тўхтатиш ҳамда уларнинг ҳаракат йўналишини тескарига ўзгартириш учун ҳам электр мотор турли хил тормоз режимларида ишлатилади. Бу режимларда ҳосил бўлган электромагнит момент мотор валининг ҳаракатига тескари йўналган бўлади. Моторнинг тормоз режимида ишлашини, масалан, пастликка томон ҳаракат қилаётган электр поезди 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 $E_y > U$ бўлиб, якорь ёки ротор чулға-

мидаги ток ва, демак, электромагнит момент ўз йўналишини ўзгартиради. Шундай қилиб, моторнинг бу режимида ҳосил бўлган электромагнит момент унинг валидаги ҳаракатга тескари йўналади. Бунинг натижасида поезднинг тезлиги хавfli даражагача кўтарила олмайди. Электр моторининг бундай тормоз режими унинг генератор режими дейилади. Ҳақиқатан, бу режимда мотор валининг ҳаракатини тезлаштирувчи ташқи механик кучлар уни генератор режимида ишлашга мажбур этади. Бу ташқи механик 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 тормозланиш режими деб ҳам аталади. Электр моторнинг 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 равон тўхтатиш учун моторни электромагнит усул билан тормозлаш кифоя. Бунинг учун номинал частота билан айланиб турган мотор якори ёки статор чулғаи 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

$I_y = \frac{-E_y}{R_y + R_{\text{дин}}}$ бўлиб, бу тескари ишорали якорь токидан тормозлаш

моменти $M_T = \frac{E_y}{R_y + R_{\text{дин}}} \Phi \cdot k_m$ ҳосил бўлади. Тормозлаш моменти таъ-

сирида мотор валининг инерция туфайли айланиш частотаси тезда пасайиб у тўхтатилади. Электр моторлар тескари уланиш деб аталувчи тормоз режимида ҳам ишлаши мумкин. Моторнинг бундай режими, масалан, кран билан оғир юкни кўтариш томонига уланса ҳам, аммо унинг оғирлиги натижасида мотор вали тескари томонга айлана бошлайди. Бунда моторнинг айлантирувчи моменти билан юкнинг қаршилиқ моменти берилган частотада тенглашиб, юкнинг ўзгармас частота билан туширилиши таъминланади.

Электр моторларнинг тескари уланиш 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 қаршилиқ $R_{\text{тy}}$ киритилиши зарур. Бу режимда $I_y = \frac{-U - E}{R_y + R_{\text{тy}}}$

булиб, 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 уланиш усулида, реверсивмасларни эса электродинamik усулда тормозлаб тўхтатиш мақсадга мувофиқ натижалар беради.

6.7. Электр моторлар частотасини ростлаш

Электр мотор ёки уни таъминловчи ток манбаи параметрларини ўзгартириб, мотор частотасини мажбурий равишда ўзгартириш частотани ростлаш дейилади. Қаршилик моментининг ўзгаришида эса электр моторининг частотаси механик характеристикага (хусусиятга) биноан табиий равишда ўзгаради, халос. Ишлаб чиқариш жараёнида машина ва механизмлар турли частоталар билан ишлаши мумкин. Масалан, металл қирқиш дастгоҳларида бир хил буюмни турли материаллар (пўлат, мис, жез 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 $30 \div 50 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$. Машина ва механизмлар валидаги частотани механик усул билан ҳам ростлаш мумкин. Аммо илгаридан қўлланиб келган бу усул кўп камчиликларга эга. Машина ва механизмлар учун зарур бўлган частоталарни электр 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 жараёнида номинал юкламали 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 электр 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 турғун қийматда сақланади ёки бир озгинага ўзгаради. Ўзгармас ток моторлари частотаси $n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{(R_a + R_r)}{R_E \Phi} I_a$ ифодага биноан уч хил усулда, яъни кучланиш U , якорь занжирига киритилган ташқи қаршилик R_r ва магнит оқим Φ нинг қийматларини ўзгартириш билан ростланади. Кучланишни ўзгартириш билан моторнинг частотасини ростлашда якорь занжирида ташқи қаршилик R_r бўлмаслиги ҳамда мотор қутбларида магнит оқим $\Phi = \Phi_n$ ўзгармаслиги лозим.

Частотани ростлаш учун ишлатилган резисторнинг қаршилиги узок 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.

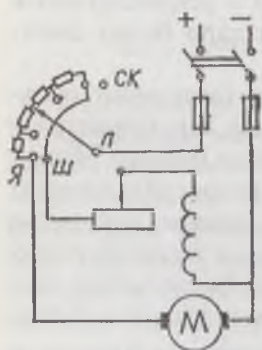
Қутблардаги магнит оқим Φ нинг қийматини ўзгартириш йўли билан моторнинг частотасини ростлашда $U = U_n = \text{const}$ ва $R_r = 0$ бўлиши лозим.

Номинал режимда ишлаб турган моторнинг магнит оқимини ўзгартириш билан унинг частотасини ростлаш учун магнит оқимни ҳосил қиладиган қўзғатувчи чулғам занжиридаги ток қийматини ростлаш кифоя. Магнит оқими номиналга нисбатан фақат камайтириш 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 ўзгартириш билан ростланадиган системаларда фойдаланилади.

6.8. Параллел қўзғатишли ўзгармас ток мотори



6.4-расм. Параллел қўзғатишли моторнинг уланish схемаси.

Қўзғатувчи чулғами якори занжирига параллел уланадиган мотор параллел қўзғатишли мотор дейилади. 6.4-расмда параллел қўзғатишли моторнинг уланish схемаси кўрсатилган. Бунда қўзғатиш занжиридаги i_k токининг қиймати юкламага, 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 занжирига ростлаш резистори қаршилиги R_p нинг қиймати ноль, яъни $R_p = 0$ бўлиши лозим. Шундай қилиб, электр тормозига уланган мотор-

да ишга тушириш momenti $M_{\text{ишт}} = k_m \Phi I_{\text{ишт}} = 2M_n$ бўлган айлантирувчи момент ҳосил бўлади, бунда $\Phi = \Phi_n$ — кутбларнинг тўйинган ҳолатига тегишли номинал магнит оқим. Магнит 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 $R_{\text{ишт}} = 0$ 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 механик характеристика тенгламаси (6.23) га биноан қуйидагича ифодаланади:

$$n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{(R_a + R_p)}{k_E k_m \Phi^2} M = \frac{U}{C_E} - \frac{(R_a + R_p)}{C_E C_m} M = n_0 - \frac{\Sigma R}{C_E C_m} M, \quad (6.30)$$

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; $n_0 = \frac{U}{C_E}$ — чегара ёки идеал салт ишлаш частотаси. Шунга биноан, частота характеристикаси тенгламасини ҳам қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$n = \frac{U}{C_E} - \frac{\Sigma R}{C_E} I_a = n_0 - \frac{\Sigma R}{C_E} I_a. \quad (6.31)$$

Номинал режим учун (6.31) ифодадаги n_0 , ўрнига унинг $n_0 = \frac{U}{C_E}$ қийматини қўйиб, номуалум C_E ни аниқлаш мумкин:

$$C_E = \frac{U - I_n R_a}{n_n}. \quad (6.32)$$

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:

$$C_m = 9,55 C_E = 9,55 \left(\frac{U_n - I_n R_a}{n_n} \right). \quad (6.34)$$

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

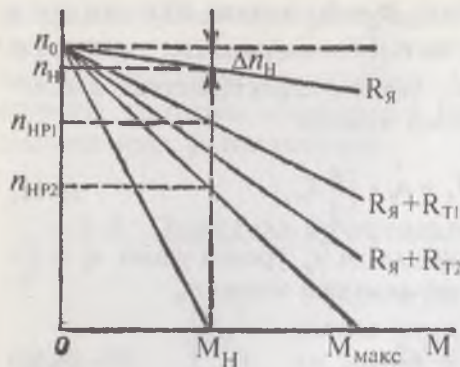
$$n_0 = \frac{n_n U_n}{U_n - I_n R_a}. \quad (6.35)$$

(6.30) даги механик характеристика тенгламасига биноан параллел қўзғатишли моторнинг $n = f(M)$ боғланиши тўғри чизик бўйича ўзгаради.

6.9. Параллел қўзғатишли моторнинг механик характеристикаларини қуриш

Табиий характеристикани 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 кўрсаткичлар асосида юқорида келтирилган ифодаларга биноан аниқланади. Сўнгра n ва M лар учун қабул қилинган масштаблар бўйича n_0 ва M_n қий-



6.5-расм. Параллел қўзғатишли моторнинг механик характеристикалари.

$$\Delta n_H = \frac{n_0 - n_H}{n_H} \quad (6.36)$$

Параллел қўзғатишли моторда $\Delta n_H = 2 \div 8\%$ бўлгани учун уни қаттиқ механик 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 $U = U_H = \text{const}$ ва $\Phi = \Phi_H = \text{const}$ бўлиши лозим. Демак, резисторли характеристикалар ҳам табиий характеристика сингари n_0 нуқтасидан ўтган тўғри чизиқлар билан ифодаланади. Аммо якорь занжирига киритиладиган $R_{T1} < R_{T2}$ бўлган ташқи қаршилик қийматларининг кўпайиши билан резисторли характеристикаларнинг абсцисса ўқиға қиялиги ортиб боради. Ҳақиқатан, R_{T1} ва R_{T2} ларни якорь занжирига киритиш билан номинал момент M_H да олинadиган номинал $n_{нр1}$ ва $n_{нр2}$ частоталарининг қийматлари ҳам камайиб боради. Демак, n_0 билан $n_{нр1}$ ва $n_{нр2}$ нуқталарини тўғри чизиқ орқали бирлаштириб олинган резисторли характеристикаларнинг абсцисса ўқиға бўлган қиялиги ҳам якорь занжиригадаги $(R_я + R_T)$ қаршилиги қайматига пропорционал равишда ортиб боради. Резисторли характеристикаларга тегишли номинал частота $n_{нр}$ қийматларини (6.31) га биноан қуйидагича аниқланади:

$$n_{нр} = n_0 \left[1 - \frac{I_H(R_я + R_T)}{U_H} \right], \quad (6.37)$$

бунда $n_{нр}$ — ташқи қаршилик R_T нинг турли R_{T1} , R_{T2} қийматларини якорь занжирига киритиб, номинал M_H моментда олинadиган номинал $n_{нр1}$, $n_{нр2}$ частоталар қиймати. Демак, R_T қийматини ўзгарти-

матлари ордината ва абсцисса ўқларида белгиланади. Абсцисса ўқининг номинал момент M_H га тегишли нуқтасидан юқорига перпендикуляр ўтказилади ва ундан n_H 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;

риш билан якорь занжиригадаги қаршилик қийматини R_H гача, яъни номинал қаршилик $R_H = R_я + R_T = \frac{U_H}{I_H}$ гача кўпайтириш мумкин. Агар (6.37) даги $(R_я + R_T)$ ўрнига R_H қиймати қўйилса M_H да олинadиган номинал $n_{нр}$ частота нолга тенг, яъни $n_{нр} = 0$ бўлади. Шунга биноан, координаталари $n = n_0$, $M = 0$ ва $M = M_H$, $n = 0$ бўлган нуқталарни тўғри чизиқ билан бирлаштириб якорь занжиригадаги R_H қаршиликка тегишли резисторли характеристика олинади (6.5-расм). Агар якорь занжирига R_H қаршилиги киритилса, у ҳолда моторнинг ишга тушириш моменти ва, демак, токи ўзининг номинал қийматларига тенг, яъни $M_{ишт} = M_H$; $I_{ишт} = I_H$ бўлади. Аммо ишга тушириш жараёнининг қулай шароитда ўтишини таъминлаш учун $M_{ишт} \approx 2M_H$; $I_{ишт} \approx 2I_H$ бўлиб, уларнинг ўртача қиймати ўзгармас бўлиши лозим. Бунинг учун эса $R_{ишт} = R_T$ нинг тўла қиймати (6.26) га биноан аниқланган бўлиб, унинг поғоналари қаршилиги қуйидагича ҳисобланади.

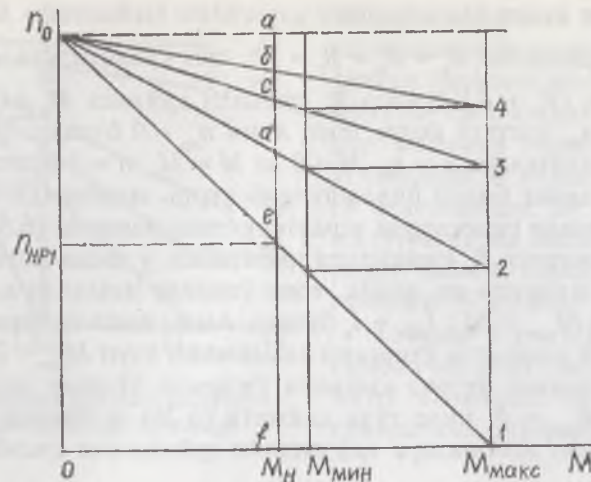
6.10. Параллел қўзғатишли моторни ишга тушириш резисторини ҳисоблаш

Якорь занжиригадаги қаршиликни R_p ҳисобига кўпайтириш билан номинал юкламада, яъни $M_c = M_H = \text{const}$ билан ишлаётган мотор частотаси n нинг n_0 га нисбатан пасайиши Δn ни (6.30) га биноан қуйидагича аниқланади:

$$\Delta n = n_0 - n = \frac{(R_я + R_T)}{C_{ECM}} M_H = C(R_я + R_T), \quad (6.38)$$

бунда $C = \frac{M_H}{C_{ECM}} = \text{const}$ — ўзгармас коэффициент. Демак, якорь занжиригадаги қаршилик $(R_я + R_T)$ 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 график 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 $M_{макс} = 2M_H$ ва $M_{мин} = (1,1 + 1,2)M_H$ ларга тегишли нуқталар белгиланиб, улардан юқори томонга перпендикулярлар ўтказилади. Демак, ишга тушириш резисторининг тўла қаршилигида ҳосил бўладиган биринчи резисторли характеристика олиш учун n_0 билан $M_{макс}$ га тегишли нуқталарни тўғри чизиқ билан туташтириш кифоя. Бу характеристика бўйича мотор частотаси $n_{нр1}$ қийматгача



6.6-расм. Моторни ишга тушириш резистори қаршилигини график усулда ҳисоблаш.

ортиб бориши мумкин. Бунда моторнинг айлантурувчи моменти $M_{\max}$ дан M_c гача камайиб, $M = M_c$ бўлганда у ўзгармас қийматга эга, яъни $n = n_{\text{нр1}} = \text{const}$ частота билан ишлай бошлайди. Мотор частотасини $n_{\text{нр1}}$ га нисбатан кўпайтириш учун айлантурувчи момент ва, демак, якорь токи қийматини кўпайтириш лозим. Бунинг учун эса ташқи қаршилик қиймати R_t ни камайитириш кифоя.

Ишга тушириш жараёнини жадал ва бир текисда ўтказиш учун $M_{\max}$ нинг $M_{\min}$ гача камайиши билан резисторнинг биринчи поғона қаршилиги R_{t1} шунтланади. Бунда якордаги ток ва, демак, айлантурувчи момент қиймати яна $M_{\max}$ 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 чизиқ билан бирлаштирилади. Бу характеристика бўйича частотанинг ортиб бориши билан момент қиймати камайиб боради ва, ниҳоят, унинг қиймати $M = M_{\min}$ бўлганда резисторнинг иккинчи поғона R_{t2} қаршилиги шунтланади. Бунда айлантурувчи момент қиймати яна $M_{\max}$ гача кўпайиб қолиши лозим ва ҳ.к.

Резисторнинг учинчи, яъни охириги поғонаси R_{t3} шунтланганда табиий характеристика бошланадиган 4 нуқта олинса, у ҳолда ҳисоблашнинг график қисми тугайди, акс ҳолда эса $M_{\min}$ 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 қаршилик R_n ни ифодалагани учун резисторнинг биринчи 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, $R_{t2} = R_n \frac{cd}{af}$; $R_{t3} = R_n \frac{bc}{af}$; $R_4 = R_n \frac{ab}{af}$ Ом бўлиб, резисторнинг тўла қаршилиги $R_t = (R_{t1} + R_{t2} + R_{t3})$ Ом бўлади.

6.1-масала. Уч поғонада ишга тушириладиган П-61-типли параллел қўзғатишли мотор учун резистор қаршилиги график 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 ч и ш. Даставвал моторнинг табиий характеристикаси қурилади. Бунинг учун n_0 ва M_n қийматлари аниқланади, яъни

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

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

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 $M_{\max}$ ва $M_{\min}$ қийматлари аниқланади, яъни

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

$M_{\min}$ қиймати эса график усул билан ҳисоблаб аниқланади, яъни

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

Резисторли характеристикаларни юқоридаги тартибда қуриб, сўнгра 6.6-расмда кўрсатилган графикдан резистор қаршиликлари аниқланади, яъни

$$R_{t1} = R_n \frac{de}{af} = \frac{U_n}{I_n} \frac{de}{af} = 1,67 \cdot 0,213 = 0,355 \text{ Ом},$$

$$R_{t2} = R_n \frac{cd}{af} = 0,197 \text{ Ом}; \quad R_{t3} = R_n \frac{bc}{af} = 0,121 \text{ Ом},$$

$$R_n = R_n \frac{ab}{af} = 0,183 \text{ Ом}; \quad R_t = R_{t1} + R_{t2} + R_{t3} = 0,673 \text{ Ом}.$$

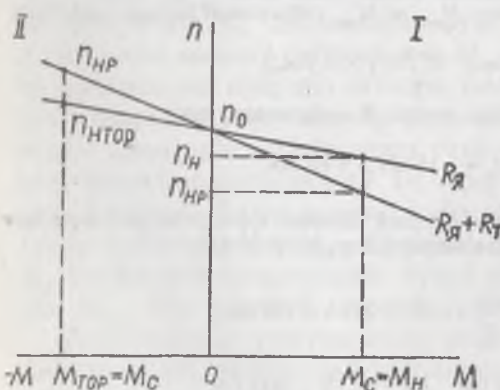
6.11. Параллел қўзғатишли мотор тормоз режимларининг механик характеристикалари

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

Рекуператив тормозлаш режими. Номинал режимда ишлаб турган моторнинг частотаси ташқи куч таъсирида ортиб бориши билан унинг якорида ҳосил бўлган э. ю. к. қиймати кўпайиб боради ва, ниҳоят, $n = n_0$ бўлганда $E_a = U$ бўлиб, $I_a = \frac{U - E_a}{R_a} = 0$ ва, демак, $M = 0$ бўлади. Агар мотор валидаги n частота ташқи куч таъсирида n_0 дан катта, яъни $n > n_0$ қилинса, у ҳолда $E_a > U$ бўлиб, якорь токи ва, демак, айлантирувчи моменти тескари йўналишга эга бўлади. Бунда n қиймати n_0 га нисбатан қанча катта бўлса, $I_a = \frac{-(E_a - U)}{R_a}$ нинг қиймати ҳам, мотордаги тормозлавчи электромагнит момент $M_t = k_m \Phi(-I_a) = -C_m \frac{E_a - U}{R_a}$ нинг қиймати ҳам шунча катта бўлади. Демак, частотани бирор $n > n_0$ қийматида $M_t = M_c$ бўлиб мотор валидаги частота ўзгармас қийматга эга бўлади. Бунда якорь чулғамидан ўтувчи I_a токи электр тармоғидан олинмай, балки унга берилиб турилади ва шу сабабли бу режимни моторнинг генератор ёки рекуператив тормозлаш режими дейилади.

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

$$n = \frac{U}{C_E} + \frac{\Sigma R}{C_E C_m} M_t = n_0 + \frac{(R_a + R_t)}{C_E C_m} M_t = n_0 + \frac{\Sigma R}{C_E} I_a \quad (6.40)$$



6.7-расм. Параллел қўзғатишли моторнинг рекуператив тормозлаш режимдаги механик характеристикаси.

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

Электродинамик тормозлаш режими. 6.8-расмда параллел қўз-

гатишли моторни электродинамик тормозлаш режимига ўтказиш схемаси ва унга тегишли механик характеристикалари кўрсатилган. Номинал режимда ишлаб турган моторни динамик тормозлаш режимига ўтказиш учун унинг якорь чулғамини электр тармоғидан ажратиб, бирор қаршиликка улаш кифоя. Бунда моторнинг қўзғатувчи чулғами электр тармоғига уланганича қолиб унинг якори инерция кучлари таъсирида ўз айланишини давом эттиради ва, демак, мотор генератор режимига ўтиб ишлай бошлайди. Бу режимнинг дастлабки пайтида частота қиймати ўзгаришга улгурмайди, яъни $n = n_n = n_0$ бўлади, бунда n_0 — бошланғич частота.

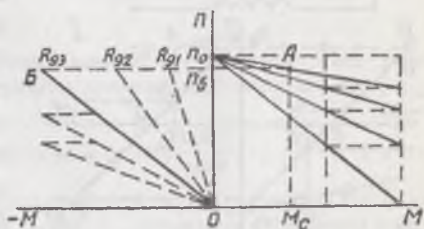
Демак, электродинамик тормозлаш режимининг дастлабки пайтида якорь занжирида ҳосил бўлган токнинг қиймати ва йўналиши қуйидагича бўлади:

$$I_a = \frac{E_a}{R_a + R_{дин}} \quad (6.41)$$

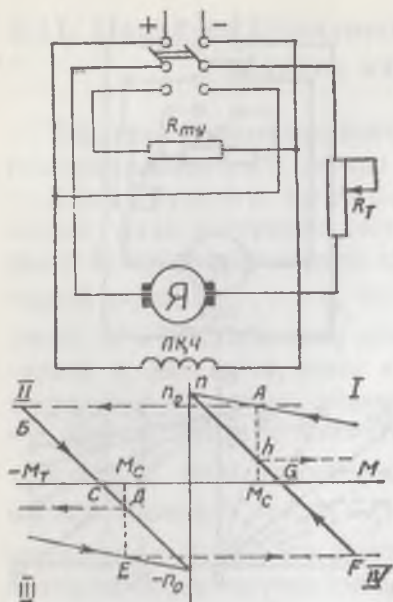
бунда $R_{дин}$ — якорь занжирига киритилган динамик қаршилик. Бу қаршиликнинг қиймати ҳам $I_a = 2I_n$ бўлиши шартидан аниқланади. Демак, тормозлаш моментининг дастлабки қиймати

$$M_t = -C_m \frac{E_a}{R_a + R_{дин}} \approx -2M_n$$

бўлади. Бу момент таъсирида якорьнинг айланиш частотаси камайиб натижада э. ю. к. ва демак, якорь токининг қиймати ҳам камай бошлайди. Демак, частота камайиши билан унга пропорционал равишда тормозлаш моментининг қиймати ҳам камайиб боради ва, ниҳоят, $n = 0$ бўлганда $M_t = 0$ бўлади (6.8-расм). Моторни тез ва бир текис тормозлаб тўхтатиш учун частота камайиши билан $R_{дин}$ қийматини ҳам камайитириб ($R_{дин1} > R_{дин2} > R_{дин3}$) бориш лозим. Бунда тормозлаш моментининг ўртача қиймати ўзгармас бўлиб, моторни тез ва силлиқ тўхтатиш мумкин бўлади.



6.8-расм. Параллел қўзғатишли моторни электродинамик тормозлаш йўли билан тўхтатиш схемаси.



6.9-расм. Параллел қўзғатишли моторни тескари уланиш режимига ўтказиб тормозлаб тўхтатиш схемаси.

Шунга биноан, мотордаги электромагнит момент ҳам ўз йўналишини ўзгартириб, тормозловчи момент $M_t = -C_\Phi \frac{(U+E)}{R_\Phi + R_{\Gamma y}}$ 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 $M = -C_\Phi \frac{(U+E)}{R_\Phi + R_{\Gamma y}}$ бўлади. Бу момент таъсирида эса мотор тескари томонга мотор режимда 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 режимдаги механик характеристикаси кўрсатилган бўлиб, унинг III ва I квадрантлардаги давоми эса мотор режимига тегишлидир. Моторнинг тескари уланиш режимидаги қувватларнинг мувозанат тенгламаси қуйдагича ифодланади:

Тескари уланиш режими. 6.9-расмда параллел қўзғатишли моторни тескари уланиш режимига ўтказиш схемаси ва унга тегишли механик характеристика кўрсатилган.

Номинал режимда ишлаб турган моторни тескари уланиш режимига ўтказиш учун унинг якори занжирини электр тармоғидан узиб, сўнгра уни яна шу тармоққа тескари қилиб улаш лозим, қўзғатувчи чулғам эса электр тармоғига уланганича қолиши керак. Бу режимнинг дастлабки пайтида мотор якори инерция кучлари таъсирида ўз айланишини давом эттираверади. Аммо якори токининг қиймати ва йўналиши ўзгариб, яъни $I_\Phi = \frac{(U+E)}{R_\Phi + R_{\Gamma y}}$ бўлиб қолади, бунда $R_{\Gamma y}$ — якори занжирига киритилувчи тескари уланиш қаршилиги. Бу қаршиликнинг қиймати ҳам $I_\Phi \approx 2I_\Phi$ ҳисобидан аниқланади.

$$P_{эл} + P_{мех} = UI_\Phi + E_\Phi I_\Phi = I_\Phi^2 (R_\Phi + R_{\Gamma y}),$$

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

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

$I_\Phi^2 (R_\Phi + R_{\Gamma y})$ — якори занжирдаги қаршиликларнинг қизишига сарфланган қувват исрофи.

Демак, тескари уланиш режимида электр тармоғидан ҳам қувват олинади. Шунга биноан бу энг тежамсиз тормозлаш режимларидан ҳисобланади.

6.2-масала. П-61 типли моторни электродинамик тормозлаш усули билан тўхтатиш учун унинг якори занжирига киритилadиган динамик қаршилик қиймати $R_{дин}$ ни аниқлансин.

Берилган: $P_\Phi = 6$ кВт; $U_\Phi = 110$ В; $I_\Phi = 66$ А ва $n_\Phi = 1000$ $\frac{\text{айл}}{\text{мин}}$.

Е ч и ш. Тормозлаш режимининг дастлабки пайтида $E_{\max} = U_\Phi = 110$ В ва $I_{\max} = 2I_\Phi = 2 \cdot 66 = 132$ А деб қабул қилинади. Бунда $R_{дин}$ қийматини қуйдагича аниқлаш мумкин.

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

6.3-масала. П-61 типли моторнинг тескари уланиш режимдаги тормозловчи моменти $M_t = 2M_\Phi$ бўлиши учун унинг якори занжирига киритилadиган қаршилик R_Φ аниқлансин.

Е ч и ш. Бу режимда ҳам $\Phi = \text{const}$ бўлгани учун $M_t = C_\Phi I$ бўлади. Шунга биноан R_Φ қаршиликни қуйдаги тенгламадан аниқлаш мумкин:

$$2I_\Phi = \frac{U+E_\Phi}{R_\Phi + R_{\Gamma y}},$$

унда $E_\Phi \approx U = 110$ В

Демак,

$$R_{\Gamma y} = \frac{U+E_\Phi}{2I_\Phi} - R_\Phi = \frac{110+110}{132} - 0,15 = 1,45 \text{ Ом.}$$

6.4-масала. 100 А ток билан рекуператив тормозлаш режимда ишлаётган П-61 типли мотор валидаги частота аниқлансин.

Е ч и ш. Бунда якори занжирига ташқи қаршилик киритилмаган деб частота қийматини қуйдагича аниқлаш мумкин:

$$n = n_0 + \frac{R_\Phi}{C_E C_M} M = n_0 + \frac{R_\Phi}{C_E} I_\Phi = \frac{n_0 U_\Phi}{U_\Phi - I_\Phi R_\Phi} + \frac{R_\Phi n_0}{U_\Phi - I_\Phi R_\Phi} I_\Phi =$$

$$= 1100 + 150 = 1250 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}. \text{ Бунда } C_E = \frac{U_\Phi - I_\Phi R_\Phi}{n_0} = 0,1 \text{ В} / \frac{\text{айл}}{\text{мин}}.$$

6.12. Параллел қўзғатишли мотор частотасини ростлаш усуллари

Параллел қўзғатишли моторнинг частотаси ҳам уч хил усулда ростланади. Якорь занжирига киритиладиган ташқи қаршилиқ R_T нинг қийматини кўпайтириш билан моторнинг частотасини ростлашда қувват исрофининг қиймати $I_a^2(R_a + R_T)$ бўлади. Шунга биноан, қаршилиқни киритиш билан мотор частотасини номиналга нисбатан 25÷30% паст томонга ростлаш тавсия қилинади. Ростлаш диапазони бундан ҳам кўпайтирилса, ростлашдаги тежамлилик жуда ҳам пасайиб кетади. Бундан ташқари, R_T қийматининг ортиб бориши билан резисторли характеристикаларнинг қаттиқлиги ва, демак, ростлаш мўътадиллиги пасайиб боради. Якорь занжирига 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 механик характеристика тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

$$n = n_0 \frac{R_{ш}}{R_k + R_{ш}} - \frac{n_0 I_m}{M_{ш} U_n} \left(R_{ш} + \frac{R_k R_{ш}}{R_k + R_{ш}} \right) M, \quad (6.42)$$

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

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

Магнит оқимни ўзгартириш билан параллел қўзғатишли моторнинг частотасини ростлаш. Магнит 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. Магнит 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 фоизига тенг бўлгани учун частотани бу усулда катта тежамлилик билан ростлаш имкони олинади. Магнит оқимни камайтириш билан олинандиган сунъий характеристикалар қаттиқлиги табиийга нисбатан паст бўлади, аммо частотаси қиймати юқорилашгани учун ишлашдаги мўътадиллик, деярли пасаймайди. Частотани бу усул билан рост-

лашда магнит оқим қийматини, умуман, қутблардаги қолдиқ магнитизм 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 магнит оқимнинг камайтириши билан $M = k_\Phi I_m$ нинг қиймати ҳам камайтириши сабабли моторнинг ишлашдаги мўътадиллиги (турғунлиги) пасаяди.

Кучланишни ўзгартириш билан мустақил қўзғатишли мотор частотасини ростлаш. Кучланишни ўзгартириш йўли билан олинандиган 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 олинандиган ростлаш диапазони қиймати ток манбаидаги кучланишнинг ўзгариш диапазони билан аниқланади. Мустақил қўзғатишли моторнинг частотасини бу усулда ростлаш учун кучланишни ўзгартириб берувчи ток манбаи сифатида, кўпинча, мустақил қўзғатишли генератордан фойдаланилади. Бунда генератор ва моторнинг якорь чулғамлари бир-бирига бевосита уланади, қўзғатувчи чулғамлари эса, қўзғатгич деб аталувчи кичик қувватли параллел қўзғатишли генератордан ток билан таъминланади. Бу қўзғатгич ҳам мустақил қўзғатишли генераторни ҳаракатга келтирувчи мотор вали билан айлантирилади. Мотор частотасини бундай система билан ростлаш амалда жуда кенг тарқалган бўлиб, уни генератор — мотор (Г—М) системаси дейилади. 6.10-расмда Г—М системасининг уланиш схемаси кўрсатилган,

бунда M — частотаси ростланандиган мотор;

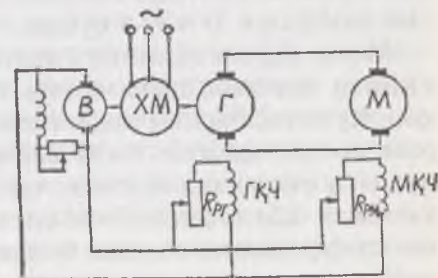
G — кучланиши ўзгартириладиган генератор;

B — қўзғатгич;

XM — генератор ва қўзғатгични ҳаракатга келтирадиган мотор;
 $ГҚЧ$, $МҚЧ$ — тегишлича генератор ва моторнинг қўзғатувчи чулғамлари;

$R_{гг}$, $R_{мм}$ — тегишлича генератор ва моторнинг қўзғатиш занжирларига киритилган ростлаш реостатларининг қаршиликлари.

Генератор—мотор системасини ишга тушириш учун даставвал XM сифатида қўлланилган асинхрон ёки синхрон мотор



6.10-расм. Генератор — мотор системасининг уланиш схемаси.

ишга туширилади. Бунда Γ ва B лар ўзгармас частота билан айлан-тирилади. Частотаси ростланадиган моторни ишга тушириш учун унинг магнит оқимини $\Phi = \Phi_n$, генераторникини эса $\Phi_r = \Phi_{мин} = \Phi_{қол}$ га тенглаштириш лозим. Бунинг учун $МҚЧ$ даги $R_{рм}$ қаршилиги ноль, $ГҚЧ$ даги $R_{рг}$ қаршилиги эса максимум қийматларга эга бўлиши ке-рак. Бунда $ГҚЧ$ ни ток манбаига улаш билан генератор якорида қолдиқ э. ю. к. га яқин, яъни кичик қийматга эга бўлган э. ю. к. $E_{қол} = E_{гмин}$ ҳосил бўлади.

Натижада, мотор якори занжиридан қуйидаги ток ўта бошлайди:

$$I_{ишт} = \frac{E_{гмин}}{R_{ям} + R_{яг}}. \quad (6.43)$$

Бу токдан моторда ҳосил бўлган айлантурувчи момент $M = k_m \Phi I_{ишт}$ қиймати M_e дан катта бўлса, мотор айлана бошлайди, акс ҳолда у қўзғалмай қолаверади. Моторни ҳаракатга келтириш ёки унинг ай-ланиш частотасини кўпайтириш учун $R_{рг}$ ни камайтириш билан ге-нератор қўзғатиш токини кўпайтириш кифоя. Частотанинг ортиб боришида якорь токи қуйидагича аниқланади:

$$I_{я} = \frac{E_r - E_m}{R_{ям} + R_{яг}}. \quad (6.44)$$

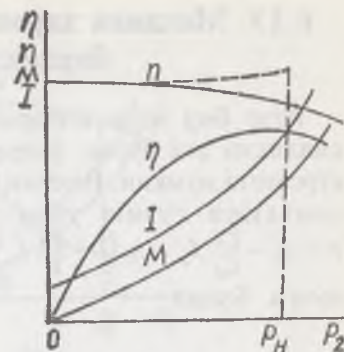
Моторнинг минимал частотаси генераторнинг қолдиқ магнетиз-ми ва, демак, унинг қолдиқ э. ю. к. $E_{қол}$ билан аниқланади. Ҳақиқатан генераторнинг қутбларида кичик қийматли қолдиқ магнит оқим $\Phi_{қол}$ бўлгани учун қўзғатиш чулғамида ток бўлмаса ҳам $E_{қол} = k_e n \Phi$ ҳосил бўлади. $E_{қол}$ нинг қиймати генератор номинал кучланишининг 3÷6 фоизини ташкил қилади. Э. ю. к. нинг бу қийматида ҳам кичик юкламали мотор “судралиш” деб аталувчи кичик частотада айла-ниб туриши мумкин. $R_{рг}$ қаршилиқни бир текисда камайтириш би-лан мотор частотасини номинал қийматгача силлиқ ва тежамли ра-вишда ростлаш имкони олинади. Бу система билан олинадиган рост-лаш диапозони $D = 4 \div 6$ бўлади.

Мотор магнит оқимини ўзгартириш билан Γ — M системадан оли-надиган ростлаш диапозонини $D = 8 \div 12$ гача кенгайтириш мум-кин. Қўзғатиш чулғамлардаги токни ўзгартириш билан частотанинг ростланиши сабабли Γ — M системаси ҳам тежамли ҳисобланади. Аммо бу системани яратиш учун тўртта электр машинадан фойда-ланилади. Шу сабабли Γ — M системасининг нархи юқори, фойдали иш коэффиценти эса паст бўлади. Бу камчиликларга қарамай, час-тотани кенг миқёсда силлиқ ва тежамли ростлаш каби афзаллик-лари учун генератор — мотор системасидан ҳозирги пайтда ҳам фойдаланилади. Кучланишни кенг диапозонда силлиқ ва тежамли

равишда ўзгартириб берувчи турли ста-тик ўзгартгичлардан иборат системалар билан ҳам мотор частотасини ростлов-чи автоматик системалар иши билан ки-тобнинг иккинчи қисмида таништири-лади.

Параллел қўзғатишли моторнинг иш характеристикалари. Электр моторнинг айланиш частотаси n , юклама токи I , айлантирувчи моменти M ва фойдали иш коэффиценти η нинг мотор вали-даги фойдали қувват P_2 га боғланиши-ни ифодаловчи эгри чизикларни унинг иш характеристикалари деб аталади. Бу характеристикаларни олишда электр тармоғидаги кучланиш ва моторнинг қўзғатиш занжиридаги ток қийматлари ўзгармай туриши лозим.

6.11-расмда параллел қўзғатишли моторнинг иш характери-стикалари кўрсатилган. Бунда $n = \frac{U}{k_e \Phi} - \frac{R_a}{k_e \Phi} I_a$ ифодага кўра мотор ва-лидаги фойдали юкламанинг ортиб бориши билан I_a нинг қиймати ҳам ортиб боради. Механик характеристикага биноан юкламанинг кўпайиши билан частота камайса, якорь реакциясининг магнит-сизлантуриш таъсирида эса Φ нинг қиймати камайиб частота орта-ди. Агар якорь реакциясининг магнитсизлантурувчи таъсирида юк-ламанинг ортиб бориши билан частота ҳам кўпайиб борса (6.11-расм, пунктир чизик), у ҳолда мотор тургун бўлмаган режимда ишлай бошлайди. Якорь реакцияси таъсирини камайтириш ёки бутунлай йўқотиш учун, одатда, мотор қутбларига бир неча ўрамдан иборат чулғам ўрнатилади. Бу чулғам якорь занжирига кетма-кет уланиб якорь реакцияси таъсирини автоматик равишда камайтириб тура-ди. Шунинг учун буни частотани мўътадиллаштирувчи чулғам деб ҳам аталади. Мўътадиллаштирувчи чулғами бўлган моторюклама-сининг ортиб бориши билан унинг частотаси фақат $I_a R_a$ ҳисобига камайиб боради. Мотор якоридаги ток ва электромагнит момент қийматлари юкламага пропорционал равишда ўзгариб боради. Аммо юклама кўпайиши билан частота қийматининг 3÷8 фоизга камаи-ши сабабли момент қиймати юқори томонга бир оз қайрилган чи-зиқ бўйича ўзгаради. Юкламанинг тахминан 50 фоизидида фойдали иш коэффиценти максимал қийматига етади, юкламанинг номи-налгача ортиб боришида эса унинг қиймати деярли ўзгармайди. Но-миналга яқин ва ундан катта юкламаларда фойдали иш коэффици-ентининг қиймати бир оз камая бошлайди.



6.11-расм. Параллел қўзғатиш-ли моторнинг иш характери-стикалари.

6.13. Механик характеристикаларни қуришда нисбий бирликлардан фойдаланиш

Агар бир неча моторнинг механик характеристикаси бир хил қияликка эга бўлса, уларни нисбий бирликда битта чизиқ билан кўрсатиш мумкин. Нисбий бирликдаги механик 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

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

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

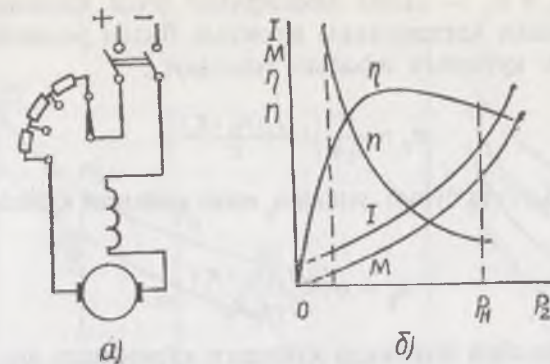
Частота пасайишининг нисбий бирликдаги ифодаси эса $\Delta n' = I_a' \Sigma R' = M' \Sigma R'$ бўлади. Номинал ток ёки номинал моментда $I_a' = 1$; $M' = 1$ бўлгани учун частота пасайишини яна соддароқ ифодалаш мумкин, яъни $\Delta n' = \Sigma R'$, бунда: $I_a' = \frac{I_a}{I_n}$ — нисбий бирликдаги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

6.14. Кетма-кет қўзғатишли ўзгармас ток мотори

Қўзғатувчи чулгами 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 магнит оқим $\Phi_{\text{нинг}}$ қиймати ҳам юклама токига боғлиқдир. Юклама токининг кичик қийматларида қутб ўзаклари тўйинмаган ҳолатда бўлгани сабабли магнит оқимнинг қиймати юклама токига тўғри пропорционал, яъни $\Phi = k I_a$. Электромагнит момент $M = k_m \cdot k I_a I_a = C I_a^2$ бўлгани учун юклама токининг қиймати қуйидагича бўлади:

$$I_a = \sqrt{\frac{M}{C}}. \quad (6.45)$$



6.12-расм. Кетма-кет қўзғатишли моторнинг характеристикалари.

(6.45) га биноан, қаршилик моментининг қиймати номиналга нисбатан, масалан, икки марта кўпайса, юклама токининг қиймати I_n га нисбатан фақат 40 фоизга 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 механик характеристикаси тенгламаси олинади, яъни

$$n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{\Sigma R}{k_E \Phi} I_a = \frac{U}{k_E \sqrt{\frac{M}{C}}} - \frac{\Sigma R}{k_E k} = \frac{A}{\sqrt{M}} - B, \quad (6.46)$$

бунда $A = \frac{U}{k_E k \sqrt{C}}$ ва $B = \frac{\Sigma R}{k_E k}$ — ўзгармас коэффициентлар. (6.46)

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

6.13-расмда МП ва П типли кетма-кет қўзғатишли моторларнинг $n' = f(I_a')$ ва $M' = f(I_a')$ характеристикалари кўрсатилган. Механик характеристикаларни графоаналитик усул билан қуриш учун частота характеристикаси тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

$$n = \frac{U - I_a R_D}{k_E \Phi} = \frac{U}{k_E \Phi} \left(1 - \frac{I_a R_D}{U}\right), \quad (6.47)$$

бунда $R_D = R_{\text{я}} + R_{\text{х}}$ — якорь занжирнинг ички қаршилиги. Якорь занжирига ташқи қаршилиқни киритиш билан резисторли характеристиканинг қуйидаги ифодаси олинади:

$$n_p = \frac{U}{k_F \Phi} \left[1 - \frac{I_{\text{я}} (R_D + R_T)}{U} \right]. \quad (6.48)$$

(6.48) ни (6.47) га бўлиб, ундан n_r нинг қиймати қуйидагича аниқланади:

$$n_p = n \frac{U - I_{\text{я}}(R_D + R_T)}{U - I_{\text{я}}R_D} \quad (6.49)$$

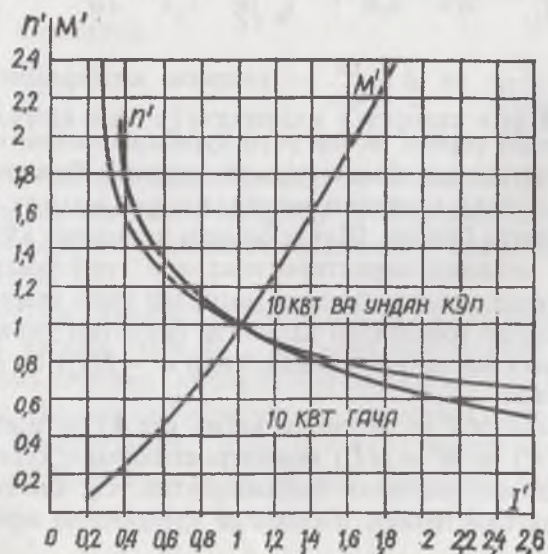
Бу тенглама нисбий бирликда қуйидаги кўринишга эга

$$n'_p = n' \frac{1 - I'_s R'_e}{1 - I'_s R'_{es}} \quad (6.50)$$

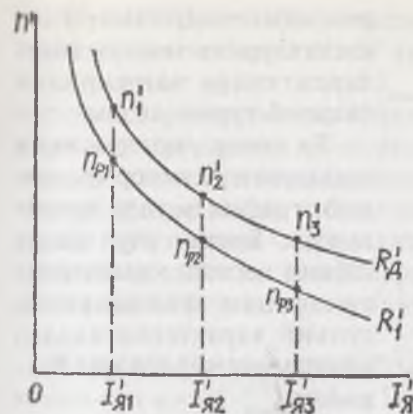
бунда

$$R' = \frac{R_D + R_T}{R_H}; R'_D = \frac{R_D}{R_H}; n' = \frac{n}{n_H}; n'_D = \frac{n}{n_H}; I'_Y = \frac{I_Y}{I_H}.$$

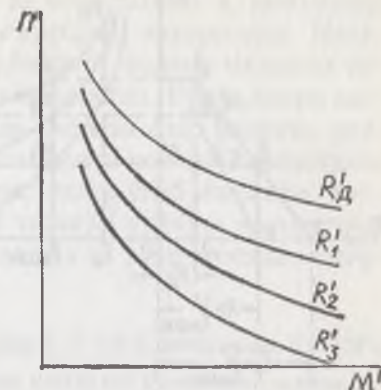
6.13-расмда келтирилган табиий частота характеристикаси $n' = f(I'_я)$ дан фойдаланиб, (6.50) ифодага биноан турли ташқи $R_{т1}$, $R_{т2}$ қаршилиқлар учун сунъий частота характеристикаларини қуриш мумкин.



6.13-расм. МП ва П типли кетма-кет қўзғатишли моторларнинг табиий универсал характеристикалари.



6.14-расм. Якорь занжирига ташқи қаршилиқ киритилган кетма-кет қўзғатишли моторнинг частота харақтеристикаси.



6.15-расм. Кетма-кет қўзғатишли
моторнинг табиий ва сунъий
механик характеристикалари.

6.14-расмда ташқи $R_{т1}$ қаршилиги учун қурилган сунъий характеристика кўрсатилган.

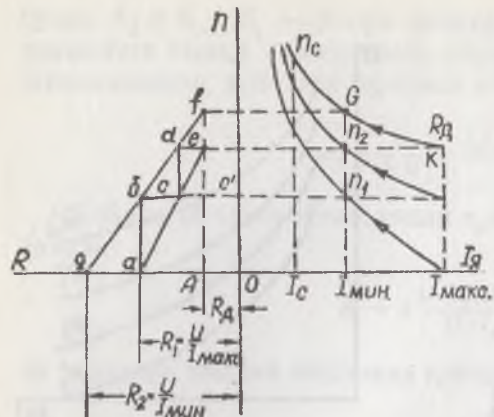
Шундай қилиб, 6.13-расмдаги $M' = f(I'_\kappa)$ ва 6.14-расмдаги частота характеристикаларидан фойдаланиб кетма-кет қўзғатишли моторнинг 6.15-расмда кўрсатилган табиий ва сунъий механик характеристикаларини қўриш мумкин.

Юкламанинг ўзгариши билан кетма-кет қўзғатишли моторнинг частотаси кескин равишда ўзгариб боради ва шу сабабли уларнинг механик характеристикалари юмшоқ бўлади. Якорь занжирига кетма-кет уланган ташқи қаршилиқ туфайли механик характеристиканинг юмшоқлиги яна ҳам ортади. Магнит оқимнинг қиймати юклама токига боғлиқлиги сабабли юкламанинг камайиши билан кетма-кет қўзғатишли мотор частотаси хавфли даражагача ортиб кетиши мумкин. Шунга биноан мотор валидаги доимий юкламанинг минимал қиймати номинал юкламанинг 25÷30 фоизини ташкил этиши керак.

Юқорида қайд қилинган хусусиятларга кўра 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, токининг қиймати жуда ортиб кетади.

Моторнинг айланиш частотаси ортиб бориши билан ток ва айлангувчи момент қийматлари камайиб боради. Айланиш частотаси бир текисда ортиб бориши учун ишга туширувчи резистор ай-



6.16-расм. Кетма-кет қўзғатишли мотор якорига киритиладиган поғонали реостат қаршилигини график усулда ҳисоблаш.

теристикаси қурилиб, унда $I_{\max} = 2I_n$ ва $I_{\min} = 1,2 I_n$ га тегишли K ва G нуқталар белгиланади.

Бу нуқталардан A f вертикал чизиги билан кесишгунча давом этадиган ва абсцисса ўқига параллел бўлган fG ва eK чизиқлари 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 $R_2 = \frac{U}{I_{\min}}$ қаршилиқларга тегишли бўлган oa ва og кесмалари белгиланади. Агар a билан e ва g билан f нуқталар бирлаштирилса, мотор частотасининг якорь занжири қаршилигига боғлиқлигини ифодалидиган икки тўғри чизиқ 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 чизиқлари ўтказилади. cd ва ef лар ҳам худди шу тарзда ўтказилади.

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

рим поғоналарининг қаршилиқларини маълум вақтларда якорь занжиридан чиқариб туриш лозим.

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

6.16-расмда икки поғонали резистор қаршилигини график усулда ҳисоблаш кўрсатилган. Бунда, даставвал, табиий частота харак-

иб 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 занжиридаги 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 электродинamik тормозлаш 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 минутига 200 марта айланишгача камайтириш учун якорь занжирига киритиладиган ташқи қаршилиқ қиймати аниқлансин, сўнгра бу қаршилиқка тегишли резисторли характеристика қурилсин. Бунда оклама токининг қиймати номиналга тенг, яъни $I_s = I_n$ бўлиши керак.

Е ч и ш. 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 ифодалардан аниқланади:

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

Ҳисоблаш натижалари қуйидаги жадвалда келтирилган:

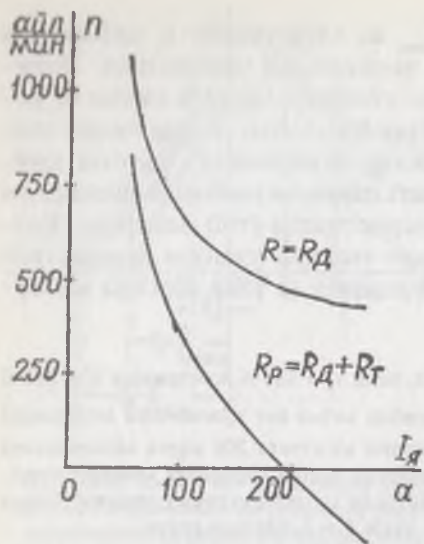
№ №	I'_n	I_n	n'	n
	—	А	—	айл/мин
1	0,4	53,6	1,9	1090
2	0,6	80,4	1,35	776
3	0,8	106,2	1,13	650
4	1	134	0,98	564
5	1,2	160	0,93	535
6	1,4	188	0,86	495
7	1,6	214	0,81	464
8	1,8	240	0,78	447
9	2	268	0,75	430

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 коэффициентини эса

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

Демак, $R_n = 0,5(1-\eta) R_n = 0,5(1-0,85) 1,64 = 0,11$ Ом.



6.17-расм. Кетма-кет қўзғатишли моторнинг табиий сунъий характеристикаларини қуриш.

$$n_p = n \frac{U_n - I_a(R_D + R_r)}{U_n - I_a R_D},$$

бунда n — табиий характеристикадаги турли юклама тоқларига тегишли частоталар. Ҳисоблаш натижалари қуйидаги жадвалда келтирилган:

№№	I_a	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 поғона қаршиликдан иборат ишга туширувчи резистор ҳисоблансин.

Еч и ш. Бу моторнинг юқорида қурилган табиий характеристикасида $I_{макс}$ ва $I_{мин}$ тоқларга тегишли икки нуқта белгиланади ва $I_{макс} = 2I_a$, $I_c = I_a = const$ деб қабул қили-

Кетма-кет қўзғатишли чулғам қаршилиги эса

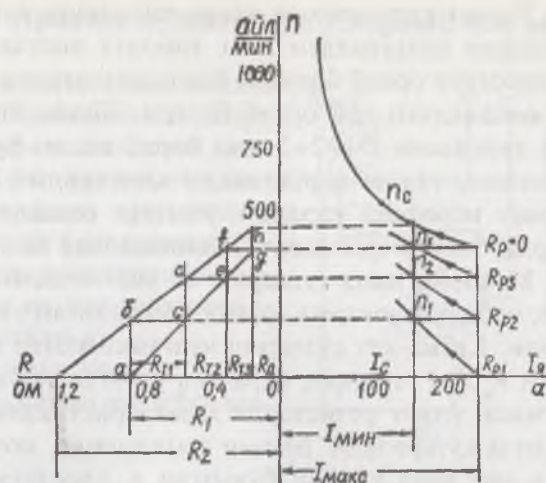
$$R_a \approx 0,5 \quad R_s = 0,5 \cdot 0,11 = 0,055 \text{ Ом}$$

Шунга кўра, $R_D = R_s + R_a = 0,11 + 0,055 = 0,165 \text{ Ом}$.

Мотор частотасини $n = 200 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ гача камайтириш учун лозим бўлган ташқи қаршилик қиймати (6.49) ифодадаги якорь токи урнига унинг номинал қийматини қўйиб, қуйидагича аниқланади:

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

Моторнинг резисторли характеристикаси қуйидаги ифодага биноан ҳисобланади:



6.18-расм. Кетма-кет қўзғатишли мотор якорига киритиладиган уч поғонали ишга тушириш реостати қаршилигини график усулда ҳисоблаш.

нади. Бир неча қайта график ҳисоблашлардан сўнг, токнинг минимум қиймати $I_{мин} = 1,2 I_a$ га тенглиги аниқланади, 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-расмда уч поғона қаршиликдан иборат ишга туширувчи резисторни график усулда ҳисоблаш кўрсатилган. Бу графикдан поғона қаршиликларининг қуйидаги қийматлари аниқланган:

$$R_{r1} = 0,3 \text{ Ом}; \quad R_{r2} = 0,21 \text{ Ом}; \quad R_{r3} = 0,17 \text{ Ом}.$$

Демак,

$$R_{p1} = R_D + R_{r1} + R_{r2} + R_{r3}; \quad R_{p2} = R_D + R_{r2} + R_{r3}; \quad R_{p3} = R_D + R_{r3}.$$

Натижада резисторнинг тўла қаршилиги $R_p = R_{r1} + R_{r2} + R_{r3} = 0,68 \text{ Ом}$ 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 магнит оқимини ўзгартириб рост-

лаш 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 диапозони $D = 2 \div 3$ гача бориб етади. Бундай усулда частотани ростлаш, ташқи қаршиликни қиздиришга сарфланадиган катта қувват исрофига қарамай, ўзининг соддалиги туфайли, баъзи кранларда, электр транспорт машиналарида ва шу кабиларда қўлланилади. Моторни ишга тушириш ва унинг частотасини ростлаш учун узоқ муддатли юклама токига ҳисобланган умумий резистор ишлатилади. Кетма-кет қўзғатиш чулғамли мотор якорига кетма-кет уланган R_k дан ташқари, параллел уланган ташқи қаршилик R_{ω} лар киритилса, унинг резисторли характеристикаларининг қаттиқлиги ҳам анча кўтарилади. Бунинг натижасида, моторнинг салт иш режимида ҳам унча хавфли бўлмаган n_{ω} частоталарни олиш мумкин. Шунт қаршилиги қанча кичик бўлса, идеал частота n_{ω} ҳам шунча паст бўлади.

Шундай қилиб, якорни шунтлаб, частотанинг ростланиш диапозонини $D = 3 \div 5$ гача кўтариш мумкин. Агар моторнинг қўзғатиш чулғами шунтланса, у ҳолда магнит оқим камайиб, унинг частотаси номиналга нисбатан юқори бўлади. Бунда частотани $D \leq 2$ диапозонида ростлаш мумкин.

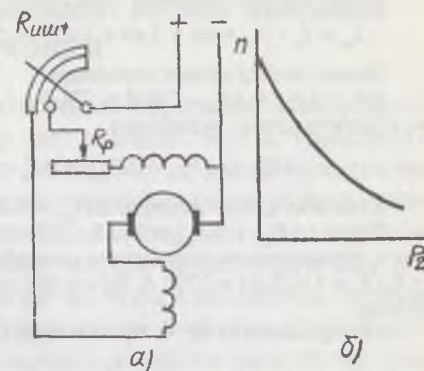
Кучланишни ўзгартириб кетма-кет қўзғатишли мотор частотасини ростлаш усули кўпинча икки моторли, яъни битта валга ўрнатилган иккита мотор орқали ҳаракатлантириладиган механизмларда қўлланилади. Битта мотор ўрнига унинг қувватининг ярмисига мўлжалланган иккита мотор ишлатиш билан частотани ростлашдан ташқари, моторни ишга тушириш ва тормозлаб тўхтатиш вақтини тежаш имкони олинади. Катта габаритли мотор ўрнига кичик габаритли моторларни ўрнатиш анча қулайлик туғдиради ва уларнинг ишлашдаги ишончилиги 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 улашга ўтказилади. Натижада кетма-кет қўзғатишли моторларнинг ҳар бирига бериладиган кучланиш қиймати электр тармоғидаги кучланишга нисбатан икки марта ўзгартирилади. Демак, частотанинг ростланиш диапозони 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

Қутбларга ўрнатилган иккита қўзғатувчи чулғамининг бири якорь занжирига 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:

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



6.19-расм. Аралаш қўзғатишли моторнинг уланиш схемаси.

бунда Φ_{ω} ва Φ_k — параллел ва кетма-кет қўзғатувчи чулғамлардаги тоқлар таъсирида машина қутбларида ҳосил бўладиган магнит оқимлари. Агар бу чулғамлар мос уланган бўлса, умумий магнит оқим қиймати $(\Phi_{\omega} + \Phi_k)$, номос бўлса, $(\Phi_{\omega} - \Phi_k)$ бўлади.

Демак, мос уланишда юкламанинг ортиб бориши билан умумий магнит оқим қиймати кўпайиб, мотор частотаси камайиб боради. Номос уланишда эса юкламанинг ортиб бориши билан магнит оқимнинг қиймати камайиб, частотанинг қиймати ортиб бориши сабабли мотор турғун бўлмаган режимида ишлаши мумкин. Аммо кам ўрамлардан иборат кетма-кет чулғамнинг номос уланишида юкламанинг 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).

6.7.-масала. 2П серияли параллел қўзғатишли ўзгармас ток мотори қуйидаги кўрсаткичларга эга: $P_n = 8$ кВт; $U_n = 110$ В; $n_n = 1000$ айл/мин; $I_n = 86$ А; $R_a = 0,05$ Ом; қўзғатиш чулғами занжири қаршилиги $R_k = R_p + R_{\omega} = 32$ Ом. Моторнинг номинал режимдаги тоқлари, қувват исрофлари, тескари э. ю. к. E_r ва айлантирувчи моменти ҳамда ишга тушириш реостати R_{ω} сиз ишга тушириш токи ва $R_{\omega} = 0,6$ Ом бўлганда ишга тушириш токи аниқлансин.

Е чиш. Моторнинг электр тармоғидан оладиган тула қуввати $P_{\omega} = UI_n = 110 \cdot 86 = 9460$ Вт. Демак, мотордаги қувват исрофи $P_n = P_{\omega} - P_{\omega} = 9460 - 8000 = 1460$ Вт, фойдали иш коэффициенти эса, $\eta = P_n / P_{\omega} = 8000 / 9460 = 0,846$ бўлади. Моторнинг номинал айлантирувчи моменти $M_n = 9550 \cdot P_n / n_n = 9550 \cdot 8 / 1000 = 76,4$ Нм; Қўзғатиш чулғами занжири токи ва ундаги қувват исрофи,

$$I_{\text{кн}} = U_{\text{н}}/R_{\text{к}} = 110/32 = 3,44 \text{ А}; \Delta P_{\text{кн}} = I_{\text{кн}}^2 R_{\text{к}} = 3,44^2 \cdot 32 = 378,7 \text{ Вт}$$

Якорь чулгами занжири токи ва чулгам қувват исрофи,

$$I_{\text{ян}} = I_{\text{н}} - I_{\text{кн}} = 86 - 3,44 = 82,56 \text{ А}; \Delta P_{\text{ян}} = I_{\text{ян}}^2 R_{\text{я}} = 82,56^2 \cdot 0,05 = 340,8 \text{ Вт}$$

Демак, электр қувват исрофлари

$\Delta P_{\text{я}} = \Delta P_{\text{ян}} + \Delta P_{\text{кн}} = 340,8 + 378,7 = 719,5 \text{ Вт}$ бўлиб, мотор пўлатидаги механик ва қушимча қувват исрофлари

$$\Delta P_{\text{пўл}} + \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{қуш}} = \Delta P_{\text{н}} - \Delta P_{\text{я}} = 1460 - 719,5 = 740,5 \text{ Вт};$$

Қушимча қувват исрофи, $\Delta P_{\text{қуш}} = 0,01 P_{\text{н}} = 0,01 \cdot 8000 = 80 \text{ Вт}$.

Демак, $\Delta P_{\text{пўл}} + \Delta P_{\text{мех}} = 740,5 - 80 = 660,5 \text{ Вт}$ бўлади. Моторни $R_{\text{ишт}}$ реостатисиз ишга туширишдаги якорь токи дастлабки $n = 0$; $E_{\text{я}} = K_E n \Phi = 0$ пайтда $I_{\text{ишт}} = U_{\text{н}} - E_{\text{я}}/R_{\text{я}} = 110/0,05 = 2200 \text{ А}$. Қўзғатиш токи $I_{\text{қш}} = I_{\text{ишт}} + I_{\text{кн}} = 2200 + 3,44 = 2203,44 \text{ А}$ бўлади.

Мотор моменти $M_{\text{н}} = 76,4 \text{ Нм}$ бўлиб, унинг ишга тушириш моменти,

$$M_{\text{ишт}} = M_{\text{н}} \frac{I_{\text{ишт}}}{I_{\text{ян}}} = 76,4 \frac{2200}{82,56} = 2056,8 \text{ Нм бўлади.}$$

Демак, $R_{\text{ишт}}$ реостатисиз ишга туширишда, мотор токи ва айлантурувчи момент қийматлари номиналга нисбатан жуда кўп марта ошиб кетиб, уни ишдан чиқариши мумкин. Коммутация талабларига биноан, уларнинг қийматлари номиналга нисбатан 2—2,5 марта ортқ бўлиши мумкин. Шунга биноан, якорь занжирига кетма-кет $R_{\text{ишт}} = 0,6 \text{ Ом}$ қаршилиги уланади ва натижада $I_{\text{ишт}} = U_{\text{н}} - E_{\text{я}}/R_{\text{я}} + R_{\text{ишт}} = 110/0,05 + 0,6 = 169,2 \text{ А}$; $M_{\text{ишт}} = 76,4 \frac{169,2}{82,56} = 156,6 \text{ Нм}$ гача камайтиради.

Назорат саволлари

1. Ўзгармас ток машинасининг генератор ва мотор режимларида ишлаш принципини тушунтиринг.
2. Ўзгармас ток машинаси тузилиши ва айрим қисмлари вазифаларини тушунтиринг.
3. Ўзгармас ток машинаси э. ю. к. ва айлантурувчи момент формулаларини ёзиб кўрсатинг.
4. Ўзгармас ток машинасида якорь реакцияси нима?
5. Ўзгармас ток генераторининг асосий тавсифлари қандай?
6. Ўзгармас ток машинасида қўзғатиш чулгамининг аҳамияти нимадан иборат?
7. Ўзгармас ток моторининг ишлаш принципини тушунтиринг.
8. Параллел қўзғатишли ўзгармас ток моторини уланиш схемасини ва уни ишга туширишни тушунтиринг.
9. Параллел қўзғатишли ўзгармас ток мотор тезлигини ростлаш усуллари тушунтиринг.
10. Параллел қўзғатишли ўзгармас ток моторининг механик тавсифларини тушунтиринг.
11. Ўзгармас ток моторларида ишга тушириш реостатини аҳамияти ва унинг қаршилигини аниқлашни тушунтиринг.
12. Кетма-кет қўзғатишли ўзгармас ток моторининг механик тавсифлари ва қўлланишини тушунтиринг.

VII БОБ. ТРАНСФОРМАТОРЛАР

7.1. Трансформаторнинг тузилиши, ишлаш принципи ва ишлатилиши

Ўзгарувчан ток кучланишини ўзгартириб берадиган электромагнит 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 чулгам ўрнатиш кифоя. Электр тармоғидаги ёки генератордаги кучланишга ҳисобланган ва унга уланадиган чулгам бирламчи, кучланишни ўзгартириб берадиган иккинчи чулгам иккиламчи чулгам дейилади. Бу чулгамларга тегишли миқдорлар ҳам тегишлича бирламчи ва иккиламчи деб юритилади. 7.1-расмда бир фазали трансформаторнинг принципиал схемаси кўрсатилган. Бунда U_1 — бирламчи чулгамга бериладиган бирламчи кучланиш; U_2 — иккиламчи чулгамдан олинладиган иккиламчи кучланиш; I_1 , I_2 — бирламчи ва иккиламчи чулгамларда ҳосил бўлган бирламчи ва иккиламчи тоқлар; Φ — бирламчи тоқдан ёпиқ занжирли пўлат ўзакда ҳосил бўлиб, бирламчи ва иккиламчи чулгамлар билан илашувчи магнит оқим; W_1 , W_2 — бирламчи ва иккиламчи чулгамларнинг ўрамлари сони.

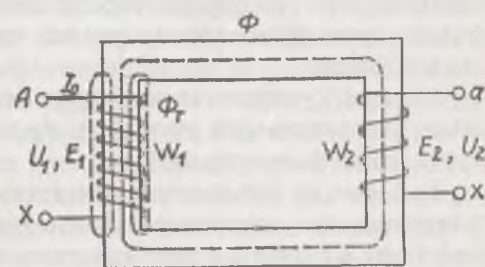
Агар бирламчи чулгамга U_1 кучланиши берилса, у ҳолда ўзгарувчан I_1 токи ва, демак, ўзгарувчан магнит оқим ҳосил бўлади. Бу магнит оқимнинг бирламчи ва иккиламчи чулгамлар билан илашиши натижасида электромагнит индукция қонунига биноан бирламчи E_1 ва иккиламчи E_2 э. ю. к. лар ҳосил бўлади. Э. ю. к. 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 тармоғидаги кучланишнинг частотаси. Бизда, частотаси $f_1 = 50$ герц бўлган электр энергиясидан фойдаланилади;

Φ_m — пўлат ўзакда ҳосил бўлган магнит оқимнинг максимал қиймати.



7.1-расм. Бир фазали икки чулғамли трансформаторнинг принципиал схемаси.

(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 ўрамлар сони нисбати билан аниқлаш мумкин. Трансформаторнинг салт иш режимида унинг бирламчи чулғаида ҳосил бўлган магнитлантириш токининг қиймати номинал токнинг фақат $3 \div 5$ фоизини ташкил қилгани учун $\bar{U}_{1н} = -\bar{E}_1 + \bar{I}_0 Z_1 \approx -\bar{E}_1$ бўлади.

Салт иш режимида иккиламчи чулғамга юклама уланмаслиги сабабли $I_2 = 0$, $U_{2н} = E_2$ бўлади; бунда $U_{1н}$ — бирламчи чулғамга бериладиган кучланишнинг номинал қиймати;

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

Z_1 — бирламчи чулғамнинг тўла қаршилиги;

R_n — юкламанинг актив қаршилиги.

Юқори кучланишли чулғамда ҳосил бўлган э. ю. к. нинг паст кучланишли чулғамда ҳосил бўлган э. ю. к. га нисбати трансформаторнинг трансформация коэффициенти деб аталади ва k ҳарфи билан белгиланади. Агар юқори кучланишли чулғам бирламчи бўлиб, паст кучланишли иккиламчи бўлса, у ҳолда трансформаторнинг трансформация коэффициенти 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 коэффициентини 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) электр ўлчаш асбобларини кучланиши ва токи турлича бўлган занжирларга улаш учун ўлчаш трансформаторлари;

4) пайвандлашда, симобли тўғрилагичларда, частотани ўзгартириш, тиббиёт, 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 электромагнит ҳодисалар бирибидан 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 эгаллашига асосий сабаблар қуйидагилардан иборат:

а) трансформатор ёпиқ пўлат ўзакли электромагнит статик аппаратдан иборат бўлгани учун унинг фойдали иш коэффициенти 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 чулғамлардаги 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 шчитиди кўрсатилган номинал қуввати, кВА, бу қувват иккиламчи чулғамга тегишли бўлади;

U_1 ва U_2 — трансформатор шчитиди кўрсатилган фазалараро кучланишлар;

б) $\frac{U_{1н}}{U_{2н}} \approx \frac{I_{2н}}{I_{1н}} \approx k$ бўлгани учун, ишлаб чиқарилган электр энергияси кучланишини трансформатор билан ошириб, бу энергияни узок масофаларга кам қувват исрофи билан узатиш имкони олинади. Ҳақиқатан, узатиш линиясининг қизишига сарфланган қувват исрофи ундан ўтаётган токнинг квадратиға пропорционал, яъни $\Delta P_n = I_n^2 R_n$ бўлади. Демак, трансформатор билан кучланишнинг қиймати, масалан, 5 марта оширилса, узатиш линиясидан ўтадиган ток қиймати эса 5 марта камаёди. 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 статик (ҳаракатсиз) аппарат бўлгани учун у билан генератор кучланишини 1500000 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. Уярма тоқлар туфайли содир бўлувчи қувват исрофини камайтириш мақсадида трансформаторнинг магнит занжири ҳам бир-биридан изоляция қилинган ва қалинлиги $0,35 \div 0,5$ мм бўлган электротехник пўлат тунукалардан йиғилади. Чулғам ўрнатиладиган пўлат ўзак трансформатор бакига электр уланиб ерга туташтирилади. Трансформатор чулғамлари учун изоляцияланган мис ва алюминий симлар ишлатилади. Мой билан совитиладиган трансформаторларнинг чулғам симларидаги ток зичлиги $2 \div 4,5 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ бўлса, куруқларидагида $1 \div 2,5 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ бўлади. Пўлат ўзакка паст кучланиш чулғами ўрнатилиб, унинг устига юқори кучланиш чулғами ўралади. Чулғам ўрнатиладиган пўлат ўзак минерал мой тўлдирилган бакка жойлаштирилади. 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 ўрнатиладиган кенгайтиргич цилиндр шаклидаги ёпиқ пўлат идишдан иборат бўлиб, труба орқали бак билан уланган бўлади. Қизиш натижасида бакка сиғмай қолган ортиқча мой кенгайтиргичга ўтади. Мойнинг сатҳини кузатиб туриш учун кенгайтиргичга махсус шиша найчали кўрсаткич ўрнатилади ва унда 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 ичида хавфли бўлган портловчи газлар ҳосил бўлса, газ релеси трансформаторни ўз-ўзидан электр тармоғидан ажратиб уни ҳимоялайди.

Трансформаторнинг юқори кучланишли чулғамдаги ўрамлар сонини махсус алмашлаб улагич воситасида ўзгартириш билан унинг

трансформация коэффициентини 5% га ростлаш мумкин. Юкламали трансформаторни электр тармоғидан ажратмасдан унинг кучланишини алмашлаб улагич воситасида 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.

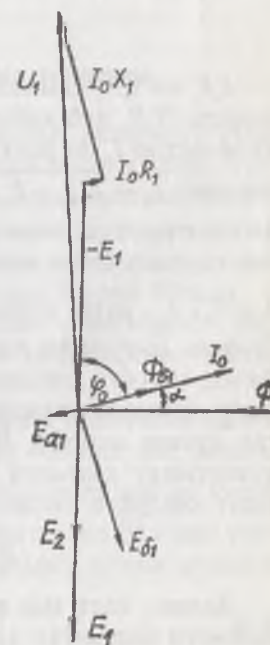
7.3. Трансформаторнинг салт иш режими

Трансформаторнинг бирламчи чулғамига номинал кучланиш берилиб, иккиламчи чулғами узук қолдирилса, яъни унга юклама уланмаса, у ҳолда трансформаторнинг салт иш режими олинади. Амалда салт иш режими билан трансформатор узук вақт ишлаб туриши ҳам мумкин. Салт иш режимидаги магнитлантириш токидан магнит юритувчи куч $I_0 W_1$ ҳосил бўлади. Бу магнит юритувчи куч таъсирида ҳосил бўлган магнит оқимнинг пўлат ўзак бўйича ёпилувчи ва бирламчи ҳамда иккиламчи чулғамлар билан илашувчи катта қисми Φ орқали белгиланиб, уни асосий магнит оқим дейилади. Магнит оқимнинг ҳаво бўшлиғи орқали фақат бирламчи чулғам билан илашувчи кичик $\Phi_{\delta 1}$ қисми бу чулғамда $E_{\delta 1}$ э. ю. к. ни ҳосил қилади. Бу магнит оқим $\Phi_{\delta 1}$ дан иккиламчи чулғамда э. ю. к. ҳосил бўлмайди. Шунга ўхшаш магнит оқимнинг яна кичик $\Phi_{\delta 1}$ қисми ҳаво бўшлиғи ва фақат иккиламчи чулғам билан илашади ҳамда бу чулғамда э. ю. к. $E_{\delta 1}$ ни ҳосил қилади. Демак, бирламчи чулғам занжири учун э. ю. к. ларнинг қуйидаги тенгламасини тузиш мумкин:

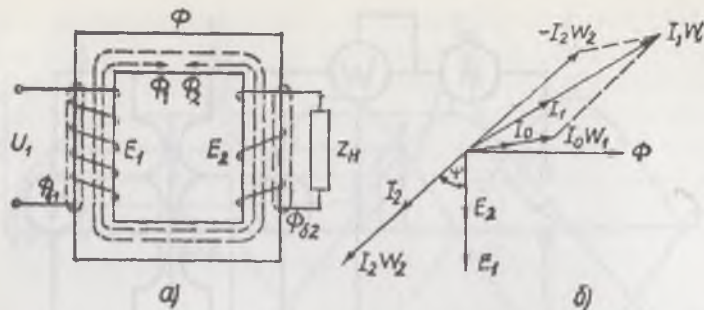
$$\bar{U}_1 = -(\bar{E}_1 + \bar{E}_{\delta 1} + \bar{E}_{a1}). \quad (7.5)$$

7.2-расмда трансформаторнинг салт иш режимидаги (7.5) ифодага биноан қурилган вектор диаграммаси кўрсатилган.

Бунда асосий магнит 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. Бирламчи чулғамда ҳосил бўлган $E_{\delta 1}$ ва E_{a1} э. ю. к. лар қийматини чул-



7.2-расм. Трансформаторнинг салт ишлаш режимидаги вектор диаграммаси.



7.5-расм. Трансформаторнинг юклама режими.

Демак, бирламчи чулғамдаги м. ю. к. $I_1 W_1$ трансформатор ўзаги-ни магнитлантиса, иккиламчи чулғамдаги $I_2 W_2$ эса уни магнитсиз-лайди. (7.8) нинг чап ва ўнг томонларини W_1 га бўлиб, қуйидаги-ларни олиш мумкин, яъни $\frac{I_0 W_1}{W_1} = \frac{I_1 W_1}{W_1} + \frac{I_2 W_2}{W_1}$ ёки $\bar{I}_0 = \bar{I}_1 + \bar{I}_2 \frac{W_2}{W_1}$, аммо $\frac{W_2}{W_1} = \frac{1}{k}$ бўлгани учун $\bar{I}_0 = \bar{I}_1 + \frac{\bar{I}_2}{k}$ бўлади, бунда $\frac{I_2}{k}$ — икки-ламчи токнинг бирламчи чулғамга келтирилган қиймати.

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

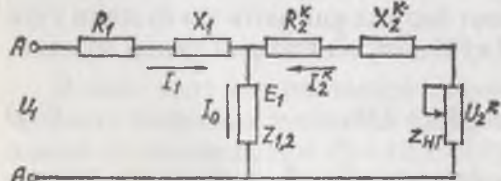
Иккиламчи чулғамдаги э. ю. к. E_2 бирламчидан k марта кичик бўлгани учун келтирилган э. ю. к. E_2 ифодасини топиш учун E_2 ни k га кўпайтириш кифоя, яъни $E_2' = E_2 \cdot k = E$. Шунга ўхшаш $U_2' = U_2 \cdot k = U_1$ бўлади. Токнинг келтирилган қиймати бирламчи ва иккиламчи чулғамлардаги қувватни ўзгартмаслик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

яъни $E_2 \cdot I_2 = E_2' \cdot I_2'$ дан аниқланади. Демак,

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

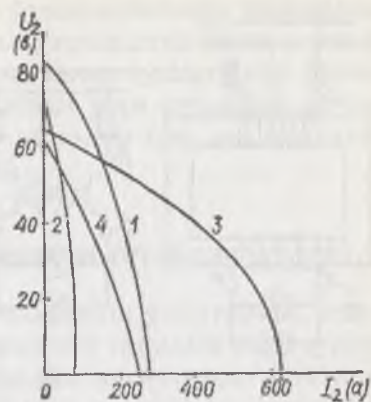
бўлади. Шунга ўхшаш

$$I_2' R_2 = (I_2')^2 R_2' \text{ дан}$$



7.6-расм. Келтирилган трансформаторнинг эквивалент схемаси

расмда СТАН-1 нинг ташқи харак-теристикалари кўрсатилган, бунда 1 эгри чизиғи — I поғонада ва магнит шунтнинг ичкаридан чиқарилган ҳолатида олинган характеристика; 2 эгри чизиғи — I поғона ва магнит шунтнинг ичкарига сурилган ҳола-тига тегишли характеристика; 3 эгри чизиғи — II поғона ва шунтнинг ич-каридан чиқарилган ҳолатига тегиш-ли характеристика ва 4 эгри чизиғи — II поғона ва магнит шунтнинг ичка-рига сурилган ҳолатига тегишли ха-рактеристика. Бунда дросселнинг таъсири туфайли ташқи характе-ристика кескин ўзгаришга эга бўлади. Ҳақиқатан, иккиламчи чулғамдаги кучланиш қиймати ёйдаги ва реактив чулғамдаги кучланиш тушув-ларининг йиғиндисидан иборат бўлгани учун ёй қаршилигини ка-майтириш билан пайвандлаш токи қийматининг кўпайиши содир бўлади. Бу эса дроссель чулғамидаги кучланиш тушувини кўпайти-риб, ёйдагини камайтиради. Натижада пайвандлаш токининг қий-мати кам ўзгариб пайвандлаш жараёни яхши ўтади (7.18-расм).



7.18-расм. Пайвандлаш трансфор-матори СТАН-1 нинг ташқи характеристикалари.

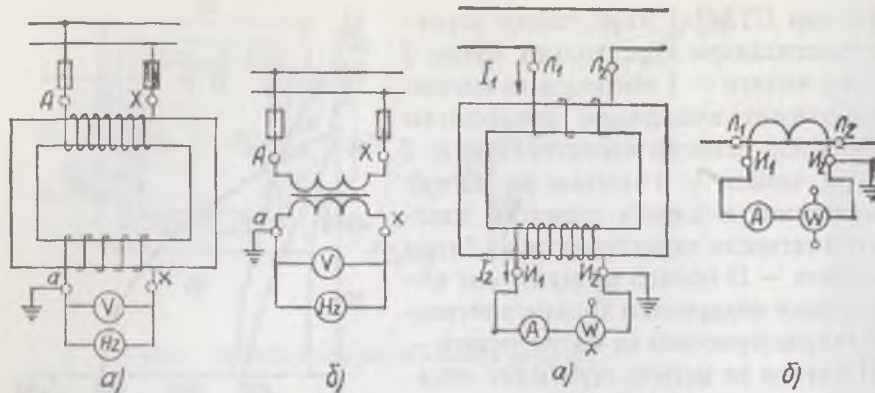
СТАН-1 нинг техник кўрсаткичлари

Бирламчи кучланиши 20÷380 В
Иккиламчи кучланиши 60÷70 В
Пайвандлаш токини 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 автоматик назорат қилиш занжирларида ишлатилади.

Юқори кучланишли қурилмаларда ўлчаш трансформаторлари-дан фойдаланиш натижасида ўлчаш асбоблари ҳамда хизмат қилув-чи ходимларнинг хавфсиз ишлаши таъминланади. Вольтметр, час-тотомер, ваттметр, ҳисоблагич ва реленинг кучланиш ғалтакларини юқори кучланиш занжирига улаш учун кучланиш трансформатор-лари ишлатилади (7.19-расм).

7.19-расмда кучланиш трансформаторларининг а — принци-пал схемаси ва б — шартли белгиси кўрсатилган. Бундай трансфор-маторлар ўлчаш асбобларига кучланишни пасайтириб беради. Куч-



7.19-расм. Кучланиш трансформатори.

7.20-расм. Ток трансформатори.

ланиш трансформаторлари бир ва уч фазали конструкцияда ишлаб чиқарилади.

Электр 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 *a* — принципиал 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 туташтириш режимида ишлайди.

Ток трансформаторининг бирламчи чулғамидаги тоқдан Φ_1 магнит оқим ҳосил бўлса, иккиламчисидадан Φ_2 ҳосил бўлади. Иккиламчи чулғамдаги тоқдан ҳосил бўлган магнит оқим трансформатор пўлат ўзагини магнитсизлантиради. Шу сабабли пўлат ўзакда ҳосил бўлган умумий магнит оқим кичик бўлади. Агар бирламчи чулғамдан юклама тоқи ўтаётганида иккиламчи чулғам узук қолса, у ҳолда $I_2 = 0$ ва демак, $\Phi_2 = 0$ бўлиб, трансформатор ўзагидаги умумий магнит оқим фақат юклама тоқидан 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 юклама тоқи ўтаётганида трансформатор иккиламчи чулғами-

ни узук қолдириш мумкин эмас. Агар ўлчаш асбоблари таъмирлаш 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 (стабилизатори).

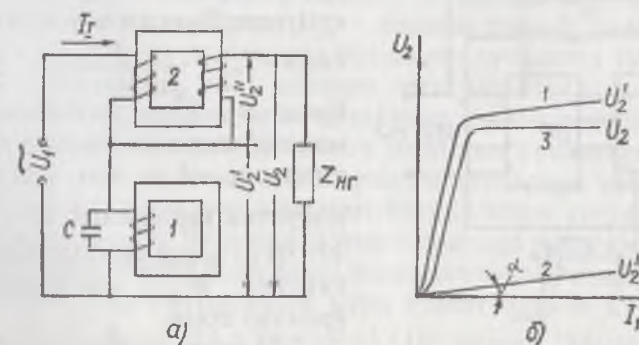
Электротехник қурилмалардаги кучланишни ўзгартирмай, яъни мўътадил сақлаш учун, кўпинча электромагнит типидagi (агар қурилма қуввати 5 кВА гача бўлса) мўътадиллаштиргичлардан фойдаланилади. Булар ферромагнит ўзакнинг тўйиниши ҳамда кучланиш ва токнинг феррорезонанс ҳодисаларига асосланиб тузилади. 7.21-расмда *a* — феррорезонанс мўътадиллаштиргичнинг схемаси ва *б* — унинг характеристикаси кўрсатилган, бунда *I* — реактив ғалтак. Бу ғалтак ўрнатилган ўзакнинг ҳолати электр тармоғидаги кучланиш U_1 нинг берилган ўзгариш диапазонида тўйинган бўлади; *C* — конденсатор; 2 — ўзаги тўйинмаган ҳолатда ишловчи автотрансформатор.

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

$$\bar{U}_2 = \bar{U}_2' - \bar{U}_2'',$$

бунда U_2' — автотрансформаторнинг иккиламчи кучланиши;

U_2'' — реактив ғалтакдан олинувчи кучланиш. Феррорезонанс ҳодисасига биноан реактив ғалтакдаги кучланиш қийматининг I_1 токига боғланиши кескин ўзгарувчи эгри чизиқ шаклига эга бўлади (7.21-расм, б). Автотрансформатор ўзаги тўйинмаган ҳолатга эгали-



7.21-расм. Феррорезонанс мўътадиллаштиргичи.

ги сабабли $U_2' = f(I_1)$ боғланиши тўғри чизиқ бўйича ўзгаради. Реактив ғалтак ва автотрансформатор параметрларини танлаш билан $U_2' = f(I_1)$ эгри чизигининг тўйинган ҳолатга тегишли қисмининг абсцисса ўқиға 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 мўътадиллаштиргичдан олинадиган 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.

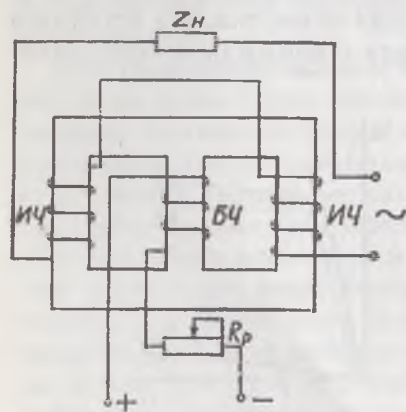
Феррорезонанс мўътадиллаштиргичларининг фойдали иш коэффициентлари анча юқори, яъни $\eta = 0,8 \div 0,85$ бўлади. Буларнинг камчилиги, U_2 қийматининг электр тармоғидаги ток частотасига ва юкламанинг қувват коэффициентига боғлиқлиги ҳамда учинчи гармоника сабабли U_2 нинг синусоидадан фарқ қилиши ҳисобланади.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

7.12. Магнит кучайтиргич

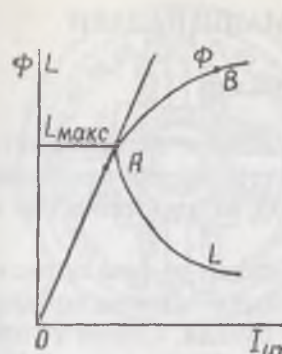
Магнит кучайтиргич статик электромагнит аппаратдан иборат бўлиб, у автоматик ростлаш системаларида жуда кенг ишлатилади. 7.22-расмда магнит кучайтиргичининг схемаси кўрсатилган, бунда ИЧ — иш чулғами; БЧ — бошқариш чулғами; Z_H — юкламанинг тўла қаршилиги; R_p — бошқариш токини ростловчи реостатнинг қаршилиги. Магнит кучайтиргичнинг ўзгарувчан ток билан таъминланувчи иш чулғами кетма-кет уланган икки қисмдан иборат бўлиб, улар уч стерженли берк пўлат ўзакнинг четки стерженларига, ўзгармас ток билан таъминланувчи бошқариш чулғами эса ўрта стерженга ўрнатилади. Ом қонунига биноан иш чулғамининг токи $I_{ич} = \frac{U}{\sqrt{R_p^2 + (\omega L + X_H)^2}}$ бўлади,

бунда R_H , X_H — тегишлича юкламанинг актив ва индуктив қаршиликлари; ωL — иш чулғамининг индуктив қаршилиги; $L = W_{ин} \frac{d\Phi}{dI_{ич}}$ 10–8[Гн] — иш чулғамининг индуктивлиги; $W_{ин}$ — иш чулғамининг ўрамлар сони.

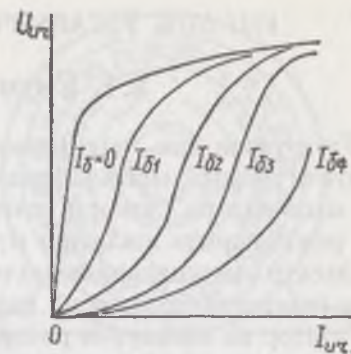
7.23-расмда пўлат ўзакнинг магнитланиш характеристикаси, яъни



7.22-расм. Магнит кучайтиргичнинг принципиал схемаси.



7.23-расм. Пўлат ўзакнинг магнитланиш характеристикаси.



7.24-расм. Турли қийматдаги бошқариш тоқлари I_b га тегишли $U_{ич} = f(I_{ич})$ эгри чизиклари, $U_{ич}$ — иш чулғамидан $I_{ич}$ токидан кучланиш тушуви.

магнит оқим Φ нинг иш чулғами токи $I_{ич}$ га боғланишини ифодаловчи эгри чизиқ 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 чулғамига 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, магнит кучайтиргичнинг ишлаш принципи пўлат ўзакнинг тўйиниш даражасини ўзгартиришга асосланган бўлиб, натижада бошқариш чулғамидан кичик қийматли ўзгармас токни ўзгартириш билан иш чулғамидан ўтадиган катта қийматли юклама токини бошқариш имкони олинади. 7.24-расмда $U_{ич} = f(I_{ич})$ эгри чизиклари кўрсатилган, бунда $U_{ич}$ — юклама токи $I_{ич}$ нинг иш чулғамидан ўтиши билан унда ҳосил бўладиган кучланиш тушуви. Демак, бошқариш токи I_b нинг қиймати ортиб бориши билан иш чулғамининг индуктив қаршилигининг камайиши ҳисобига ундаги кучланиш тушуви ҳам камайиб, юкламага берилган кучланиш қиймати ортиб боради. Иш чулғами қисмларидаги токлардан ҳосил бўлган магнит оқимлар ўзаро мос йўналган бўлиб, четки стерженлар оралиқ бекилади. Демак, бу оқимлар ўрта стерженда ўзаро қарши йўналиб, ўзгармас ток ўтувчи бошқариш чулғамига таъсир этмайди. Турли типдаги магнит кучайтиргичлар учун қувват бўйича кучайтириш коэффициенти $K_p = \frac{P_{нагр}}{P_0} \approx 20 \cdot 10^3 \div 2 \cdot 10^5$ бўлади. Магнит кучайтиргичларни ярим ўтказгичли диодлар билан биргаликда бошқаришнинг тўғрилагич сифатида ҳам ишлатиш мумкин.

8.1. Умумий тушунчалар

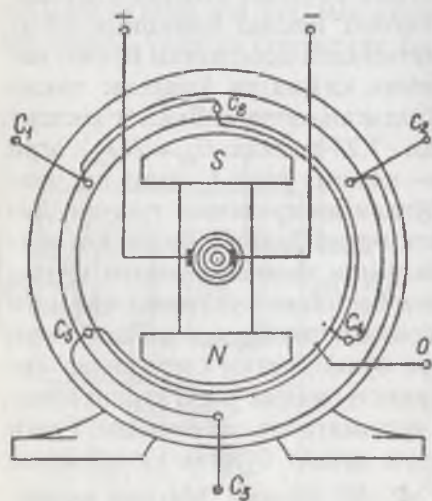
Ўзгарувчан ток машиналари асосан синхрон ва асинхрон деб аталувчи электр машиналардан иборат бўлиб, уларни ҳам ўзгармас ток машиналари сингари генератор, мотор ва электромагнит тормоз режимларида ишлатиш мумкин.

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 уярма тоқлардан ҳосил бўлувчи қувват исрофини камайтириш мақсадида уни бир-биридан изоляцияланган пўлат тунукалардан йиғилади (8.1-расм).

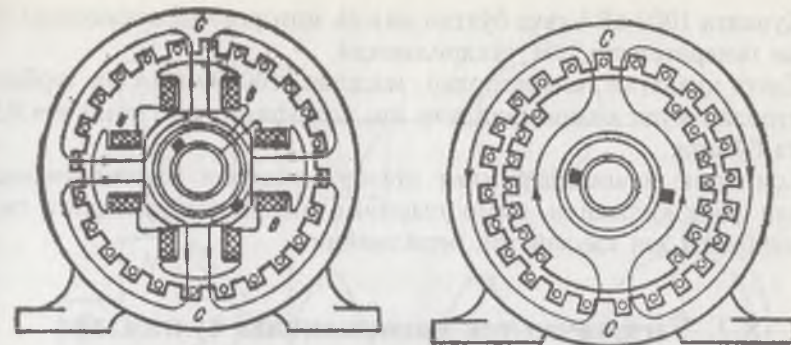
Синхрон машинасининг ротори икки типда, яъни аён ва аён бўлмаган қутбли қилиб тайёрланади. Гидротурбиналар билан паст частотада айлантириладиган кичик ва ўрта қувватли гидрогенераторлар аён, буғ турбиналари билан юқори тезликда айлантириладиган катта қувватли турбогенераторлар эса, аён бўлмаган қутбли қилиб чиқарилади.

8.2-расмда синхрон машинанинг *a* — аён ва *б* — аён бўлмаган қутбли роторлари кўрсатилган. Роторнинг ўзаги, одатда, қуйма пўлатдан ясалиб, унга қўзғатувчи чулғам ўрнатилади. Айланувчи ротордаги бу қўзғатувчи чулғамга чулка ва ҳалқалар воситасида ўзгармас ток берилиб, асосий магнит оқим ҳосил қилинади. Демак, ўзгармас ток билан таъминланган ротор чулғамини бирламчи мотор (турбина) билан айлантирилса, у ҳолда, электромагнит индукция қонунига биноан статор чулғамида ўзгарувчан э. ю. к. ҳосил бўлади.

Бу э. ю. к. синусоида қонуни бўйича ўзгариши учун қутбларда ҳосил бўлган магнит индукция синусоида бўйича тақсимланиши керак. Магнит индукциянинг $B = B_{\text{макс}} \sin \alpha$ бўйича тақсимланиши учун



8.1-расм. Синхрон машинасининг статори.



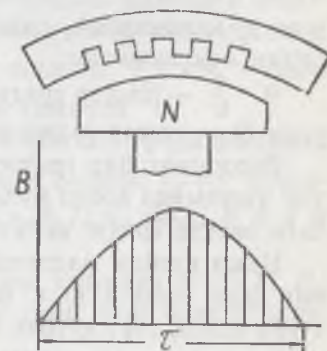
8.2-рasm. Синхрон машинасининг роторлари.

кутб ўзағи билан статор ўзағи 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 юклама уланса, у ҳолда генераторнинг статор чулғамларидан уч фазали юклама токи ўтади. Синхрон машинани қўзғатиш учун керак бўлган ўзгармас токни қўзғатгич ёки чала ўтказгичли тўғрилагичлардан 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 400/230 В, 400 кВА дан катталари эса 6300 В ва ундан ҳам юқори кучланишли қилиб тайёрланади.

Фазалар	Фаза чулғамларининг	
	боши	охири
Биринчи	C_1	C_4
Иккинчи	C_2	C_5
Учинчи	C_3	C_6



8.3-расм. Ротор қутбларида ҳосил бўлувчи магнит индукциянинг синусоидал тақсимланиши.

Куввати 1000 кВА гача бўлган дизель моторга мўлжалланган СГД типли генераторлар ҳам чиқарилмоқда.

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 чулғамга 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 тавсифланади:

z — статор ўзагидаги пазлар сони;

m — статор чулғамидаги фазалар сони;

p — жуфт кутблар сони;

q — фаза ва кутбга тўғри келувчи пазлар сони бўлиб, уни қуйидагича аниқланади:

$$q = \frac{z}{2pm}, \quad (8.1)$$

τ — кутб ўрталарининг орасидаги масофа (кутб бўлинмаси);

y — чулғам қадами, секциянинг кенглиги;

y_ϕ — фаза чулғамларининг учлари орасидаги масофани кўрсатувчи фаза қадами. Фаза қадами қуйидагича аниқланади:

$$y_\phi = \frac{2}{3}\tau. \quad (8.2)$$

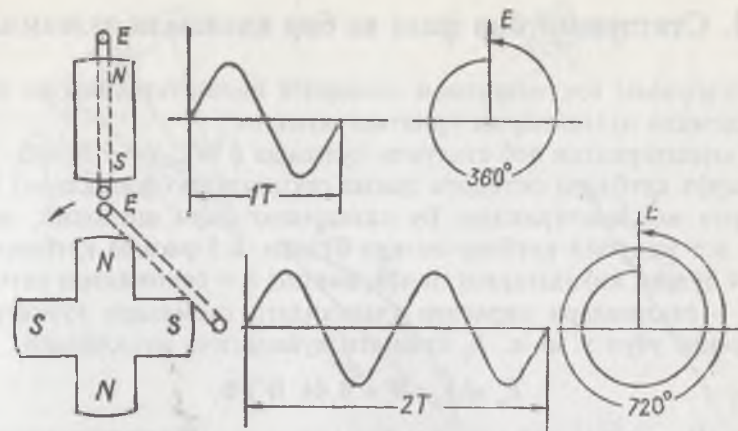
y ва y_ϕ қадамларни, одатда τ нинг бирор бўлаги ёки пазлар сони билан ифодаланади;

$\alpha = \frac{\pi}{Q}$ — электр градусларда ўлчанган пазлар орасидаги бурчак; унда Q — статор ўзанининг кутб кенглиги орасидаги пазлар сони.

Роторнинг бир градусга бурилиш бурчаги фазовий градус, статор чулғамида ҳосил бўладиган э. ю. к. векторининг бурилиш бурчаги электр градус дейилади.

Икки кутбли машинада роторнинг бир марта тўла айланишига бир давр, яъни э. ю. к. векторининг ҳам бир марта тўла айланиши тўғри келса, тўрт кутбли машинада роторнинг бир марта тўла айланишига икки давр, яъни э. ю. к. векторининг икки марта тўла айланиши тўғри келади (8.4-рasm).

Демак, кутблар сони $2p$ бўлган кўп кутбли синхрон машинада роторнинг бир марта тўла айланишига p сонли давр, яъни э. ю. к.



8.4-рasm. Фазовий ва электр градусларнинг ўзаро боғланишига тегишли расмлар.

векторининг p марта тўла айланиши тўғри келади. Шунга кўра, бир фазовий градус — p электр градус бўлади.

Кутб бўлинмаси τ ҳамма вақт 180 электр градусга тенг бўлгани учун $y_\phi = \frac{2}{3}\tau = \frac{2}{3} 180 = 120$ электр 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 электромагнит индукция қонунига биноан $E_{\text{yp}} = B_{\text{yp}} l v$ бўлади, бунда l — статор чулғами ўтказгичи узунлиги; m ; v — магнит куч чизиқларининг ҳаракат тезлиги, $\frac{\text{м}}{\text{сек}}$; B_{yp} — ҳаво бўшлиғидаги магнит индукциянинг ўртача қиймати, Тл.

Чизиқли тезлик v ни айланиш частотаси n билан ифодалаб ҳамда $\pi D = 2\pi r$ бўлгани учун $v = \frac{\pi D n}{60} = \frac{2\pi r n}{60}$ олинади. Бундан $\frac{pn}{60} = f$ бўлгани учун $v = 2fr$ бўлади. Демак, $E_{\text{yp}} = B_{\text{yp}} l v = B_{\text{yp}} l 2fr$, аммо $B_{\text{yp}} l r = \Phi$ бўлгани учун $E_{\text{yp}} = 2f\Phi$ 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 шакллилиги коэффициенти.

Ҳар бир ўрам икки ўтказгичдан иборат бўлгани учун ўрамдаги э. ю. к. қиймати қуйидагича аниқланади:

$$E_{\text{yp}} = 2 \cdot 1,11 \cdot 2f\Phi = 4,44 f\Phi. \quad (8.3)$$

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 кутблари остидаги ҳамма секциялари (галтаклари) иккита пазга жойлаштирилади. Бу пазларнинг бири шимолий, иккинчиси эса жанубий кутблар остида бўлади. 8.5-расмда кутблар сони $2p = 4$ бўлган йиғиштирилган чулғамнинг a — секциялари кетма-кет ва b — секциялари параллел улангандаги схемалари кўрсатилган. Бу чулғам учун э. ю. к. E_n қиймати қуйидагича аниқланади:

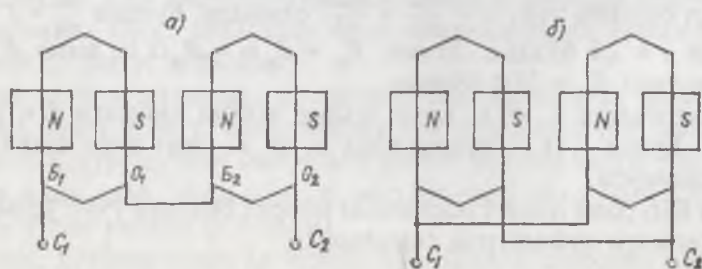
$$E_n = E_y \cdot W = 4,44 W f \Phi, \quad (8.4)$$

бунда W — кетма-кет уланган ўрамлар сони. Йиғиштирилган чулғамда пўлат ўзакдан 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 йиғиндиси (8.6-расм, а) тенг, яъни $\bar{E}_{\text{соч}} = \bar{E}_1 + \bar{E}_2 + \bar{E}_3 + \bar{E}_4$ бўлади.

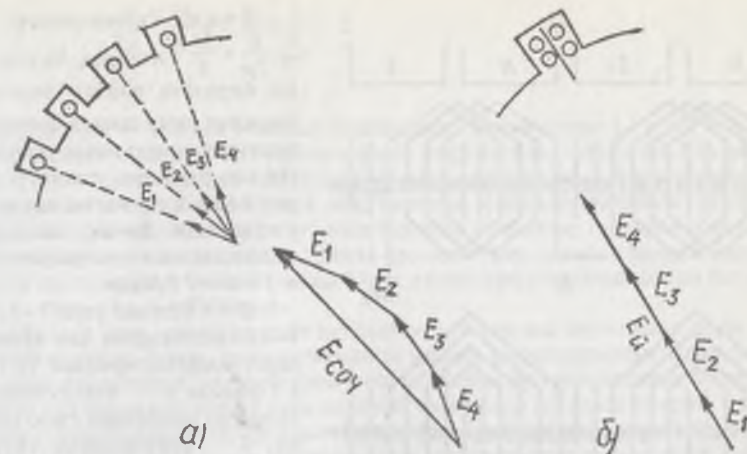
Йиғиштирилган чулғамда эса тўртта секция бир пазга жойлаштирилиши сабабли, бу секциялардаги э. ю. к. қиймати ҳар бир секциядаги э. ю. к. ларнинг алгебраик йиғиндиси (8.6-расм, б) тенг, яъни $E_n = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 = q \cdot E$ бўлади.

Сочилган чулғамдаги э. ю. к. нинг, йиғиштирилгандагига нисбати чулғамнинг сочилиш коэффиценти дейилади ва $k_{\text{соч}}$ деб белгиланади:

$$k_{\text{соч}} = \frac{E_{\text{соч}}}{E_n} = \frac{\bar{E}_{\text{соч}}}{qE}. \quad (8.5)$$



8.5-расм. Статорнинг бир фаза ва бир қатламли чулғамлари.



8.6-расм. Бир фазали чулғамнинг:

а — сочилган; б — йиғиштирилган чулғам секцияларидаги э. ю. к. лар қиймати.

бунда $\bar{E}_{\text{соч}}$ — секция э. ю. к. лари самарали қийматларининг геометрик йиғиндиси;

E_n — секция э. ю. к. лари самарали қийматларининг алгебраик йиғиндиси.

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 коэффиценти, одатда, бирдан кичик бўлгани учун сочилган чулғам фазасида йиғиштирилган чулғамникига нисбатан кичикроқ э. ю. к. ҳосил бўлади.

Шунга кўра:

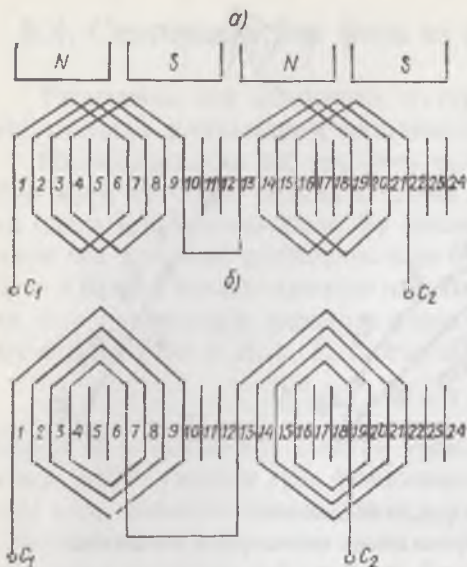
$$E_{\text{соч}} = 4,44 k_{\text{соч}} \cdot W f \Phi, \text{ В} \quad (8.7)$$

8.1-масала. Параметрлари $q = 4$, $\alpha = 15^\circ$ бўлган чулғамнинг $k_{\text{соч}}$ қийматини топинг.

$$k_{\text{соч}} = \frac{\sin q \frac{\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\sin 4 \cdot \frac{15^\circ}{2}}{4 \cdot \sin \frac{15^\circ}{2}} = \frac{\sin 30^\circ}{4 \sin 7,5^\circ} = 0,96$$

8.2-масала. Қуйидаги параметрларга биноан сочилган чулғам схемасини тузинг.

$$Q = 4; 2p = 4; Z = 24; y = \tau$$



8.7-расм. Сочилган бир фазали чулғамнинг схемаси.

нинг боши жойлашган паз рақамига 2τ ни қўшиш кифоя. 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 электр 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 мис симлар тежаллади.

8.3-масала. Қадами $\frac{1}{6}\tau$ га қисқартирилган, яъни $y = \frac{5}{6}\tau$ ҳамда $Z = 24$; $2p = 4$; $m = 3$ бўлган икки қатламли, сочилган уч фазали чулғам схемасини тузинг.

Ечиш. $q = \frac{Z}{2pm} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2,$

Ечиш. Чулғам қадами $y = \tau = \frac{Z}{2p} = \frac{24}{4} = 6$ бўлади. Чулғам тузиш-ни биринчи паздан бошлаймиз.

Биринчи пазга секция бошини жойлаштириб унинг охири жойлашадиган паз рақамини топиш учун секция боши жойлашган паз рақамига y қўшилади. Демак, секция охири жойлашадиган паз рақами $1 + y = 1 + 6 = 7$ бўлади.

$Q = 4$ бўлгани учун 2—8, 3—9 ва 4—10-секцияларни ҳам қўшни пазларга жойлаштирилади (8.7-расм). 8.7-расмда *a* — чулғамнинг актив бўлмаган томонлари ўзаро кесишувчи, *b* — кесишмовчи схемалари кўрсатилган. Бу секциялар группасини бир жуфт қутблар остидаги пазларга жойлаштирилгандан сўнг, иккинчи секциялар группасини иккинчи жуфт қутблар остидаги пазларга жойлаштирилади.

Бунда иккинчи секция группасининг боши жойлаштириладиган паз рақамини топиш учун биринчи-

$$\tau = \frac{Z}{2p} = \frac{24}{4} = 6; y = \frac{5}{6}\tau = 5,$$

$$y_{\phi} = \frac{2}{3}\tau = 4.$$

Биринчи фаза чулғамини 1-паздан бошлаймиз. Секция охири $1 + y = 1 + 5$, яъни 6-пазга жойлаштирилади. $q = 2$ бўлгани учун бу жуфт қутблар остига яна бир секция, яъни (2.7) ни жойлаштирамиз. Келгуси секциялар группасининг боши жойлашадиган паз рақами $1 + 2\tau$, яъни 13 бўлади. Агар биринчи секциялар группаси соат стрелкаси ҳаракатининг тескари томони бўйича ўралади. Агар ҳисобга биноан иккинчи секциялар группасининг боши 13-пазга бўлса, унинг охири жойлашадиган паз рақами $13 - y$, яъни $13 - 5 = 8$ бўлади.

$q = 2$ бўлган учун, иккинчи жуфт қутблар 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 рақамини 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 рақамини топиш учун биринчи фаза бошига y_{ϕ} қўшилади. Демак, иккинчи фазани $1 + y_{\phi} = 1 + 4$, яъни 5-паздан бошлаб, биринчи фаза чулғами сингари тузилади (8.8-расм).

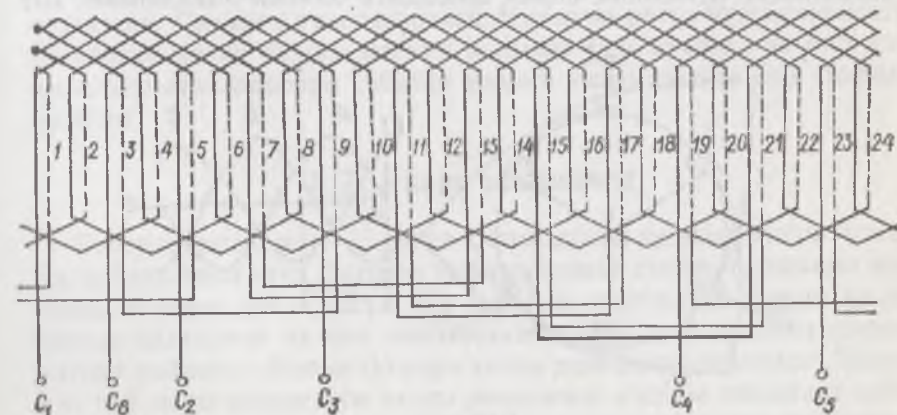
Чулғам қадамини қисқартириш сабабли унда ҳосил бўлувчи э. ю. к. қиймати камайди. 8.9-расмда чулғам қадамини қисқартириш билан унда ҳосил бўладиган э. ю. к. қийматининг камайиши кўрсатилган.

Қадами қисқартирилган чулғамда э. ю. к. нинг бундай камайиши қисқартириш коэффиценти деб аталувчи k_{ϕ} билан ифодаланади. Сочилиш коэффиценти билан қисқартириш коэффиценти кўпайтмаси чулғам коэффиценти дейилади ва k_{ϕ} билан белгиланади:

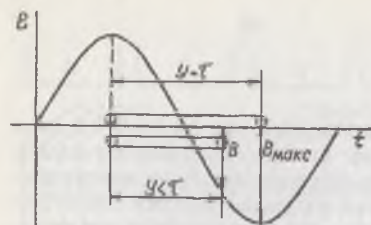
$$k_{\phi} = k_{\text{соч}} k_{\phi}. \quad (8.8)$$

Чулғам коэффиценти киймати тахминан $k_{\phi} = 0,9 \div 0,95$ бўлади. Бунда қадами қисқартирилган, сочилган чулғам фазасидаги э. ю. к. қиймати қуйидагича аниқланади:

$$E_{\phi} = 4,44 \cdot k_{\phi} f \cdot W \Phi. \quad (8.9)$$



8.8-расм. Сочилган уч фазали чулғамнинг схемаси.



8.9-расм. Қадами қисқартирилган чулғамдаги э. ю. к. нинг камайиши.

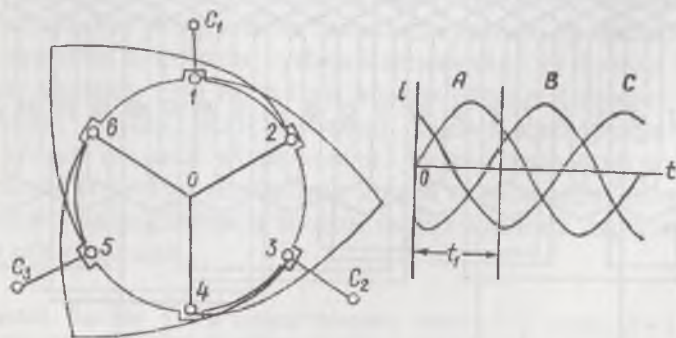
Генератор фаза чулғамларини учбурчаклик схемасида улаш мумкин бўлса ҳам, аммо уларни купинча, юлдуз схемаси билан уланади. Чулғамда ҳосил бўладиган э. ю. к. мутлақо синусоидал бўлмагани сабабли унда учинчи гармониканинг таъсири сезиларли бўлади. Шу сабабли чулғамни учбурчаклик схемаси билан уланса, учинчи гармоникадан ҳосил бўлган ток юклама токига қўшилиб, генератор чулғамини ток бўйича ўта юклантириши мумкин.

8.6. Статорнинг магнит майдони

Симметрик юкламага уланган уч фазали синхрон генераторининг фазавий симметрик чулғамларидан бир хил қийматли, фазаси эса бир-биридан 120 электр градусга фарқ қилувчи тоқлар ўтади. Бу тоқлардан статор ўзагининг гардиши бўйича айланувчи магнит 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.

Токнинг бир марта тўла ўзгариш даврини 8.10-расмда кўрсатилган $t = 0$, $t = t_1$ ва ҳоказо моментларида уч фазали тоқдан ҳосил бўлган бир жуфт қутбли магнит майдонлар айланувчи характерга эга бўлади (8.11-расм).

$t = 0$ бўлганда A фазада нол, B да манфий, C да эса мусбат қийматли ток бўлади. B ва C фазалардаги тоқдан ҳосил бўлган магнит майдоннинг йўналиши парма қоидасига биноан аниқланади. Шу



8.10-расм.

a — статор чулғамини юлдуз схемаси билан улаш; b — статор чулғамдаги уч фазали токнинг графиги.

сингари $t = t_1$ бўлганда уч фазали тоқдан ҳосил бўлган магнит майдон $t = 0$ дагига нисбатан маълум бурчакка бурилган. Чулғамдаги токнинг бир марта тўла ўзгариш даврида уч фазали тоқдан ҳосил бўлган магнит майдон 360 электр градусига айлангани сабабли бу магнит майдоннинг айланиш частотаси ток частотасига тенг бўлади. Демак, уч фазали токнинг частотаси $f = 50$ гц бўлса, у ҳолда бу тоқдан ҳосил бўлган магнит майдон бир секундда 50 марта айланади. Статор чулғамдаги тоқдан ҳосил бўлган айланувчи магнит майдоннинг айланиш частотаси синхрон частота деб аталади, уни умумий ҳолда қуйидагича аниқланади:

$$n = \frac{60}{p} f, \quad (8.10)$$

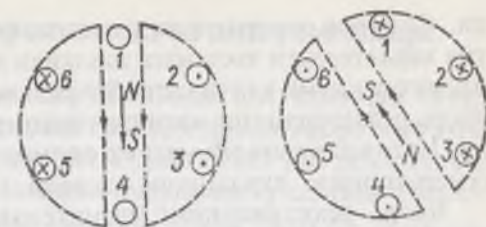
бунда p — ротордаги жуфт қутблар сони.

f — жуфт магнит қутблар сони p бўлган роторни n частота билан айлантириш натижасида статорнинг фаза чулғамида ҳосил бўлган токнинг частотаси.

Демак, синхрон генератори статорида ҳосил бўлган магнит 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 тоқлардан ҳосил бўлган магнит 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 тоқдан ҳосил бўлган айланувчи магнит майдоннинг ротор қутбларидаги асосий магнит майдонга бўлган таъсири якорь реакцияси дейилади. Ўзгармас ток машиналаридаги якорь реакцияси юклама токининг қиймати билан аниқланса, синхрон генераторлардаги якорь реакцияси юклама токининг қиймати ҳамда унинг характери билан аниқлана-



8.11-расм. Статор чулғамида уч фазали тоқдан ҳосил бўладиган айланувчи магнит майдон:

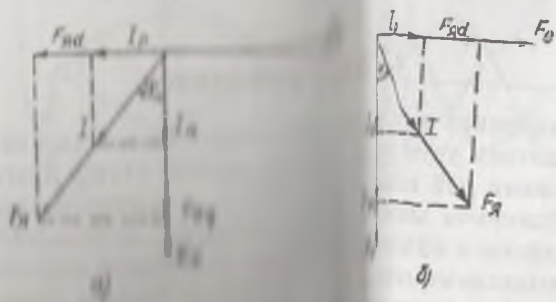
a — t_0 , b — t_1 моментларида магнит майдоннинг ҳолатлари.

ди. Синхрон генераторлар, одатда, $\cos\varphi = 0,8$ бўлган актив-индуктив характердаги юкламага ишлайди деб ҳисобланади. Юкламанинг индуктив қисми қанча катта бўлса, $\cos\varphi$ қиймати шунча кичик бўлиб, якорь реакциясининг магнитсизлантириш таъсири шунча катта бўлади. Натижада умумий магнит 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. Юклама токининг индуктив қисмидан ҳосил бўлган бўйлама магнит оқим ротордаги асосий магнит оқимга тескари йўналиб, уни камайтиради. Актив қисмидан ҳосил бўлган кўндаланг магнит оқим асосий магнит оқимни қийшайтириб кутбнинг бир томонида умумий магнит оқимни зўрайтурса, унинг иккинчи томондагисини сустрасиради. 8.12-расмда синхрон генератор магнит юритувчи кучларининг a — актив-индуктив ва b — актив-сигим юкламалардаги вектор диаграммалари кўрсатилган.

Ротор чулғамидаги токдан унинг кутбларида магнит юритувчи куч F_0 ҳосил бўлади. F_0 векторининг айлантирилиши натижасида статорнинг чулғамларида э. ю. к. E_0 ҳосил бўлади. Актив-индуктив юкламаларда E_0 га нисбатан ψ бурчагига кейинда қолувчи, актив-сигим юкламада эса ψ бурчагига ўзувчи бўлиб, унинг қиймати $0^\circ < \psi < 90^\circ$ бўлади.

Юклама токидан ҳосил бўлган магнит юритувчи кучи $F_{я}$ нинг вектори ток вектори томон индуктив бўлади. Магнит юритувчи кучнинг бўйлама $F_{яд}$ қисми юкламанинг индуктив векторининг индуктив I_p , кўндаланг $F_{яқ}$ қисми эса юкламанинг актив I_a қисмлари томон йўналган бўлади. Актив-индуктив характердаги юкламаларда якорь магнит юритувчи кучининг бўйлама $F_{яд}$ қисми F_0 га тескари йўналиб, генератор магнитсизлантирилади. Актив-сигим юкламада эса F_0 га мос йўналиб, генератор магнитсизлантирилади.



8.8. Синхрон генераторнинг вектор диаграммалари

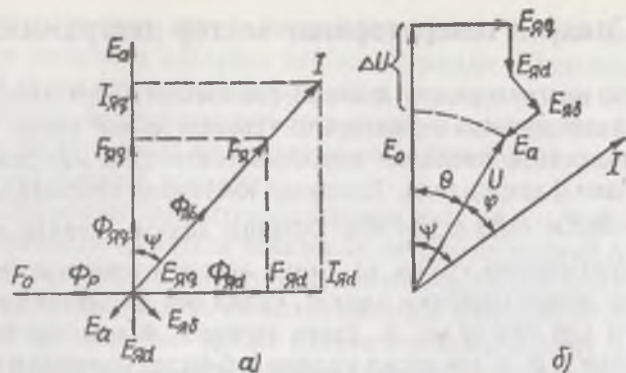
Синхрон генераторнинг юклама режимидаги кучланиши якорь реакциясининг магнитсизлантириш таъсири ҳамда якорь чулғамидаги кучланишнинг пасайуви ҳисобига унинг салт иш режимидаги э. ю. к. E_0 дан фарқ қилади. Номинал юкламада кучланиш пасайиши $\Delta U_n = \frac{E_0 - U_n}{U_n} \cdot 100 \leq 30 \div 50\%$ бўлиши лозим. Электр юритувчи кучлар тенгламасини тузиш ва унинг асосида синхрон генераторнинг вектор 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 чулғамидаги токдан асосий м. ю. к. F_0 , ундан асосий магнит оқим Φ_0 , асосий магнит оқимдан эса E_0 , яъни генераторнинг салт иш режимида тегишли э. ю. к. ҳосил бўлади. Генераторнинг юклама токи I дан эса якорьнинг магнит юритувчи кучи $F_{я}$, ундан якорь ва ротор ўзаги орқали бекилувчи якорьнинг асосий $\Phi_{я}$ магнит оқимлар ҳосил бўлади. Агар $F_{я}$ ни бўйлама ва кўндаланг қисмлардан иборат дейилса, улардан тегишлича $\Phi_{яд}$ — бўйлама ва $\Phi_{яқ}$ — кўндаланг магнит оқимлар, бу магнит оқимлардан эса тегишлича $E_{яд}$ ва $E_{яқ}$ э. ю. к. лар ҳосил бўлади. Шу сингари, якорьнинг $\Phi_{яб}$ магнит оқимидан э. ю. к. $E_{яб}$ ҳосил бўлади деб, бу сунъий э. ю. к. лар қийматини қуйидаги ифодалардан аниқланади: 1) $E_{яқ} = I_{яқ} \cdot x_{яқ}$ — якорьнинг кўндаланг магнит оқимидан ҳосил бўлган э. ю. к., бунда $I_{яқ} = I \cos\psi$ — якорь токининг актив қисми; $x_{яқ}$ — якорь реакциясининг кўндаланг индуктив қаршилиги; 2) $E_{яд} = I_{яд} \cdot x_{яд}$ — якорьнинг бўйлама магнит оқимидан ҳосил бўлган э. ю. к., бунда $I_{яд} = I \sin\psi$ — якорь токининг реактив қисми; $x_{яд}$ — якорь реакциясининг бўйлама индуктив қаршилиги; 3) $E_{яб} = I_{яб} \cdot x_{яб}$ — якорьнинг $\Phi_{яб}$ магнит оқимидан ҳосил бўлган э. ю. к., бунда $x_{яб}$ — якорь чулғамининг индуктив қаршилиги; 4) $E_{я} = IR_{я}$ — якорь чулғамининг актив қаршилигида кучланишнинг пасайуви, бунда $R_{я}$ — якорь чулғамининг актив қаршилиги.

Демак, магнит кутблари аён бўлган синхрон генератори учун э. ю. к. лар тенгламасини қуйидагича тузиш мумкин:

$$\bar{U} = \bar{E}_0 + \bar{E}_{яқ} + \bar{E}_{яд} + \bar{E}_{яб} + \bar{E}_{я}. \quad (8.11)$$

8.13-расмда актив-индуктив юкламали магнит кутблари аён бўлган синхрон генераторнинг, a — магнит юритувчи ва b — электр юритувчи кучларининг вектор диаграммалари кўрсатилган.

(8.11) тенгламаси асосида қурилган э. ю. к. лар вектор диаграммаси (8.13-расм, б) ни Блондель диаграммаси деб ҳам ата-



8.13-расм. Аён қутбли синхрон генераторнинг вектор диаграммалари.

лади. Блондель диаграммасидан фойдаланиб ΔU қийматини аниқлаш 8.13-расм, б да кўрсатилган. Симметрик юкламада генератор вектор диаграммасини бир фаза учун қуриш қифоя. Бунда юклама токи билан E_0 орасидаги φ бурчаги берилган. Чулғамдаги токдан ҳосил бўлган м.ю.к. ва магнит оқим векторлари ток вектори томон йўналган бўлади. Магнит оқимдан ҳосил бўлган э. ю. к. вектори эса магнит оқим векторидан 90° кейиндан қолувчи бўлади. Магнит қутблари аён бўлмаган синхрон генераторнинг ротор ва статор ўртасидаги ҳаво бўшлиғи қўндаланг 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 $F_{я}$ таъсирида $\Phi_{я}$ ундан эса $E_{яx} = I x_{яx}$ ҳосил бўлади деб эътироф этиш қифоя, бунда $E_{яx}$ — якорь магнит оқимининг асосий қисмидан ҳосил бўлган э. ю. к.; $x_{яx}$ — якорь реакциясининг индуктив қаршилиги. $\Phi_{я}$ ва $\Phi_{яб}$ — магнит оқимлар якорь чулғамидаги умумий токдан ҳосил бўлгани учун $x_{яx}$ ва $x_{яб}$ қаршиликларини қўшиш мумкин, яъни $x_c = x_{яx} + x_{яб}$, бунда x_c — магнит қутблари аён бўлмаган синхрон машинасининг синхрон қаршилиги.

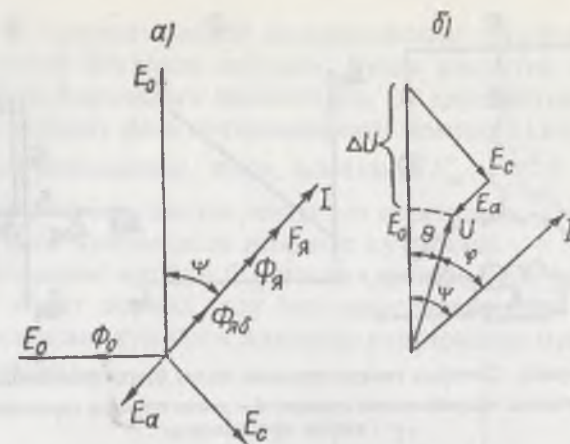
Демак, магнит қутблари аён бўлмаган синхрон генератори учун э. ю. к. лар тенгламасини қуйидагича тузиш мумкин:

$$\bar{U} = \bar{E}_0 + \bar{E}_c + E_{я}, \quad (8.12)$$

бунда $E_c = I x_c$ — якорьнинг умумий магнит оқимидан ҳосил бўлган э. ю. к.

8.14-расмда актив-индуктив юкламали магнит қутблари аён бўлмаган синхрон генераторнинг а — магнит юритувчи ва б — электр юритувчи кучларнинг вектор диаграммалари кўрсатилган.

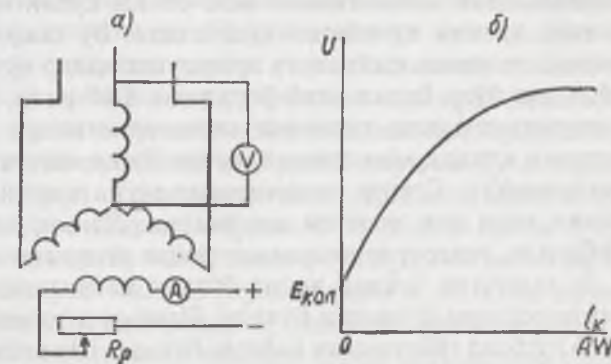
8.13 ва 8.14-расм, б ларда кўрсатилган э. ю. к. вектор диаграммаларини қуриш ва ундан ΔU қийматини аниқлашда синхрон ма-



8.14-расм. Магнит қутблари аён бўлмаган синхрон генераторнинг вектор диаграммалари.

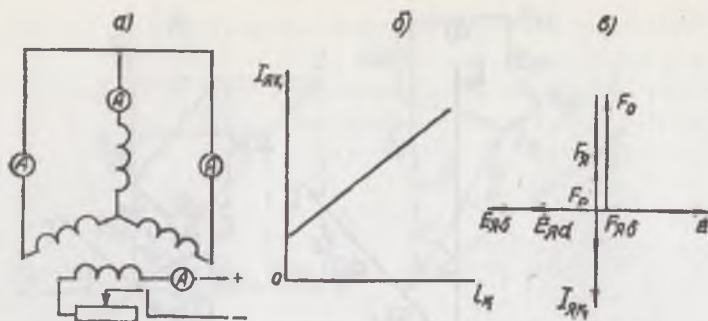
шина қутбларидаги пўлат ўзакнинг тўйиниши ҳисобга олинмаган. Тўйинишни ҳисобга олиб ΔU қиймати, одатда э. ю. к. ларнинг амалий деб аталувчи диаграммасидан график усулда топилади. Амалий диаграммани қуриш учун салт иш ва қисқа туташиниш характеристикаларидан фойдаланилади.

Синхрон генераторнинг салт иш характеристикаси $U_0 = E_0 = f(i_k)$ ни 8.15-расм, а да кўрсатилган схема асосида тажриба усули билан олинади. 8.15-расм, б да салт иш характеристикаси кўрсатилган. Бунда ҳам юклама 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



8.15-расм.

а — синхрон генераторнинг салт ишлаш тажрибаси схемаси;
б — синхрон генераторнинг салт ишлаш характеристикаси.



8.16-расм. Синхрон генераторнинг пўлат ўзаги тўйингандаги:

a — қисқа туташиш тажрибасининг схемаси; *b* — қисқа туташиш характеристикаси ва *c* — вектор диаграммаси.

статор чулғаида қолдиқ э. ю. к. $E_{\text{пол}}$ 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 чулғаидаги токнинг қўзғатиш токига боғланишини ифодаловчи график, яъни $I_{\text{як}} = f(I_f)$ унинг қисқа туташиш характеристикаси деб аталади. Бунда генератор тезлиги ўзгармас, кучланиши эса ноль, яъни $n_r = \text{const}$, $U_r = 0$ бўлиши керак.

Қисқа туташиш характеристикаси қисқа туташиш тажрибаси асосида 8.16-расм, *a* да кўрсатилган схемага биноан олинади. Бунинг учун статор чулғаи 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, *b* да синхрон генераторининг қисқа туташиш характеристикаси кўрсатилган. Қутблардаги қолдиқ магнетизм сабабли бу характеристика ҳам нолдан бошланмайди. Статор чулғамининг актив қаршилиги жуда кичик бўлгани учун уни ҳисобга олинмайди. Демак, қисқа туташиш тажрибасида, генератор юкламаси фақат индуктив характерга эга бўлиб, бу индуктив токдан ҳосил бўлган магнит оқим асосий магнит оқимга тескари йўналган бўлади. Натижада умумий магнит оқим пасайиб қутблар тўйинмаган ҳолатда бўлади. Шу сабабли қисқа туташиш характеристикаси тўғри чизиқ бўйича ўзгаради. 8.16-расм, *c* да қисқа туташиш тажрибасига тегишли э. ю. к. ларнинг вектор диаграммаси кўрсатилган.

Э. ю. к. ларнинг амалий диаграммасини қуришда ҳамма миқдорлар нисбий бирликда олинади. Бунда индуктив қаршиликларнинг нисбий бирликдаги қийматлари, бу қаршиликлардаги кучланиш пасаювининг фаза кучланишининг номинал қийматига бўлган нисбатидан аниқланади, яъни, масалан, $X'_{\text{як}} = \frac{I_{\text{н}} X_{\text{як}}}{U_{\text{фн}}}$ якорь чулғамининг нисбий бирликдаги индуктив қаршилиги, Ом;

$U_{\text{фн}}$ — фаза чулғаидаги номинал кучланиш.

Генераторнинг нисбий бирликда қурилган салт иш характеристикасини унинг нормал салт иш характеристикаси дейилади. Бу характеристикани қуйидаги жадвалда келтирилган миқдорларга биноан қурилади.

№№	$I_{\text{к}}$	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 $F_{\text{я}}$ кўндаланг ва бўйлама ташкил этувчиларга ажратилмайди. Бу эса қутб ўзагининг тўйинишини ҳисобга олиш имконини беради. Амалий диаграмма билан генераторнинг юкламаси 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 $U_0 = OA$ ва унга нисбатан $\varphi_{\text{н}}$ бурчак фарқида $I_{\text{н}}$ векторлари ўтказилади (8.17-расм). $X_{\text{як}}$ қаршилигининг қиймати маълум бўлгани учун $U_{\text{як}}$ векторининг охиридан $I_{\text{н}}$ дан 90° га ўзувчи бўлган $I_{\text{н}} X_{\text{як}} = AB$ вектори ўтказилади. $R_{\text{я}} \approx 0$ бўлгани учун $I_{\text{н}} R_{\text{я}} = 0$ деб O ва B нуқталарини бириштириб юклама берилгандаги э. ю. к. га тегишли вектор $E_{\text{н}}$ олинади. OB радиусида $E_{\text{н}}$ вектори ордината ўқига ўтказилиб, ундан салт иш характеристикаси билан кесишгунча горизонтал чизиқ ва кесишини нуқтасидан вертикал чизиқ ўтказилади. Бунинг натижасида қўзғатиш токининг қиймати $i_{\text{н}} = OK$ аниқланади. Қўзғатиш токининг бу қийматида юклама режимдаги генераторда $E_{\text{н}}$

$$E_{\phi 0} = \frac{E_{\text{по}}}{\sqrt{3}} = \frac{700}{1,73} = 405 \text{ В},$$

$$U_{\phi} = \frac{U_{\text{нл}}}{\sqrt{3}} = \frac{525}{1,73} = 304 \text{ В}.$$

Фазага тегишли индуктив қаршиликлар

$$X_{\text{я}\delta} = \frac{X'_{\text{я}\delta} U_{\phi}}{I_{\text{н}}} = \frac{0,16 \cdot 304}{690} = 0,07 \text{ Ом},$$

$$X_{\text{я}q} = \frac{X'_{\text{я}q} \cdot U_{\phi}}{I_{\text{н}}} = \frac{0,45 \cdot 304}{690} = 0,198 \text{ Ом},$$

$$X_{\text{я}d} = \frac{X'_{\text{я}d} \cdot U_{\phi}}{I_{\text{н}}} = \frac{0,84 \cdot 304}{690} = 0,37 \text{ Ом}.$$

Статор токининг актив ва реактив ташкил этувчилари

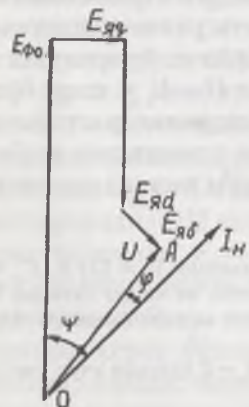
$I_q = I_{\text{н}} \cdot \cos \psi = I_{\text{н}} \cdot \cos 42^{\circ} = 690 \cdot 0,74 = 510 \text{ А}; I_d = I_{\text{н}} \sin \psi = I_{\text{н}} \sin 42^{\circ} = 690 \cdot 0,67 = 460 \text{ А}.$
Статордаги э. ю. к. лар

$$E_{\text{я}d} = I_{\text{н}} X_{\text{я}d} = 690 \cdot 0,07 \approx 48 \text{ В},$$

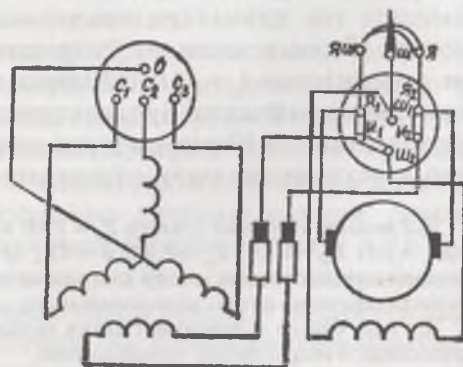
$$E_{\text{я}q} = I_q X_{\text{я}q} = 510 \cdot 0,198 \approx 101 \text{ В},$$

$$E_{\text{я}d} = I_d X_{\text{я}d} = 460 \cdot 0,37 \approx 170 \text{ В}.$$

8.20-расмда ҳисобга биноан топилган параметрлар асосида генератор учун қурилган вектор диаграмма кўрсатилган. Бу диаграммани қуриш учун даставвал $E_{\phi 0}$ ва унга нисбатан ψ бурчак фарқида $I_{\text{н}}$ векторлари ўтказилади. $E_{\phi 0}$ дан $E_{\text{я}q}$, $E_{\text{я}d}$ ва $E_{\text{я}}$ векторларини айириш натижасида юклама режимга тегишли кучланиш вектори $U_{\phi} = OA$ топилади. Қабул қилинган масштабга биноан $U_{\phi} = OA = 245 \text{ В}$ бўлиб, $U_{\text{н}} = \sqrt{3} U_{\phi} \approx 423 \text{ В}$ бўлади.



8.20-расм. Синхрон генераторнинг вектор диаграммаси.



8.21-расм. Синхрон генераторнинг электр машина қўзғатгич билан қўзғатилиш схемаси.

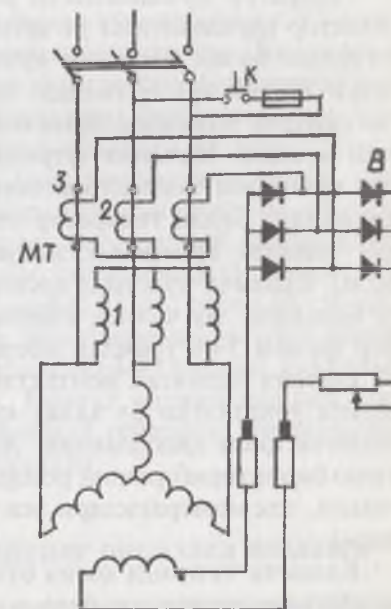
8.9. Синхрон генераторларнинг қўзғатиш схемалари

Синхрон генераторни қўзғатишнинг бир қанча схемалари мавжуд.

8.21-расмда синхрон генераторнинг электр машина қўзғатгич билан мустақил қўзғатиш схемаси кўрсатилган. Бунда статор чулғами юлдуз схемаси билан уланиб, унинг нол (нейтрал) нуқтаси $400 \div 230$ вольтли генераторларда ерга туташтирилган бўлади. Қўзғатгич сифатида параллел қўзғатишли ўзгармас ток генераторидан фойдаланилади. Синхрон генераторининг айланиш йўналиши ўзгаририладиган 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 ўзгаририш кифоя. Электр машина қўзғатгич синхрон генераторнинг валига ўрнатилиб, унинг конструкциясини мураккаблаштиради. Бу қўзғатгичда коллектор ва чўткалар бўлганлиги сабабли синхрон генераторнинг ишлашдаги ишончлигини пасайтириб юборади. Бу камчиликларни йўқотиш мақсадида С. Б. Юдицкий синхрон генераторнинг янги конструкциясини ишлаб чиқарди. Бунда

электр машина қўзғатгич чала ўтказгичли тўғрилагич билан алмаштирилиб, синхрон генератор ўз-ўзини қўзғатиш принципида ишлатилади. 8.22-расмда ўз-ўзини қўзғатувчи синхрон генераторнинг схемаси кўрсатилган, бунда 1 — мўтадиллаштирувчи уч чулғамли трансформатор МТ нинг статор чулғамига параллел уланган бирламчи чулғами; 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 $E_{\text{жол}}$ таъсирида мўтадиллаштирувчи трансформаторнинг 1 чулғамидан ток ўтади. Бу токдан ҳосил бўлган магнит оқим иккиламчи чулғамда э.ю.к. ҳосил қилади. Бу э.ю.к.



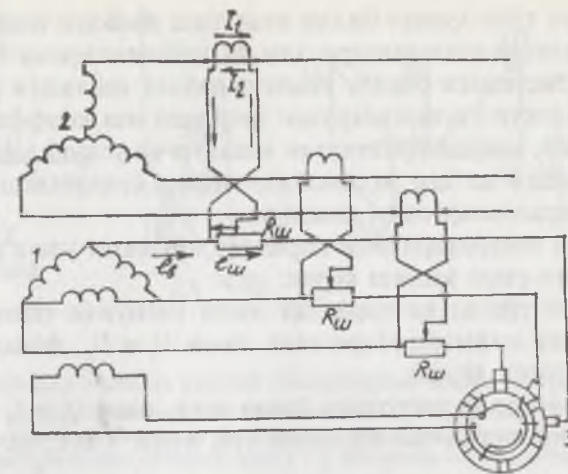
8.22-расм. Ўз-ўзини қўзғатувчи синхрон генераторнинг уланиш схемаси.

вентил (тўғрилагич) B га берилиб, ундан олинган ўзгармас токни синхрон генераторнинг қўзғатувчи чулғамига берилади ва натижада унинг кучланиши ўз-ўзидан номиналгача ортиб боради. Генераторга юклама берилиши билан мўтадиллаштирувчи трансформаторнинг чулғами 3 дан ҳам ток ўта бошлайди. Бу чулғамдан юклама токининг ўтиши билан ҳосил бўлган магнит оқимдан фойдаланиб генератор чулғамидаги кучланишнинг пасайуви ҳамда якорь реакцияси магнитсизлантириш таъсирини мутлақо йўқотиш имкони олинади. Шундай қилиб, мўтадиллаштирувчи трансформатор билан генератор кучланишининг берилган қиймати автоматик равишда ўзгартирилмай сақланиб турилади.

Ўз-ўзини қўзғатиш жараёнини тезлатиш учун синхрон генераторни ишга туширишда унинг икки фазаси тугма K билан қисқа туташтирилади. Бунда $E_{\text{кол}}$ дан ҳосил бўлган қисқа туташуш токи МТ нинг 3 чулғамидан ўтиб унинг 2 чулғамида ҳосил бўладиган э. ю. к. қийматини кўпайтиради ва, демак, генераторнинг қўзғатиш токи ҳам тезда ортиб у жадал қўзғатилади. Ўз-ўзини қўзғатиш жараёнининг бошланиши билан, яъни генератор кучланишининг ортиб бориши билан, K тугмаси дарҳол ўзининг дастлабки ҳолатига қайтарилади.

Генератор кучланишини ростлаш учун қўзғатиш занжиридаги резистор қаршилигини ўзгартириш кифоя. Бундай схемада юклама ўзгариши билан генератор кучланишини берилганга нисбатан ўзгариши 5% дан кўп бўлмайди. Қуввати 30÷50 кВА дан ортиқ бўлмаган синхрон генераторларни механик тўғрилагичлар билан ҳам қўзғатиш мумкин. Механик 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. механик тўғрилагичга берилади. Бу чулғам учбурчаклик схемасида уланиб, унинг ҳар бир фазаси 5÷8 ўрамдан иборат бўлади. Механик тўғрилагич эса, 12 қисмага 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, ток номерликлари эса унинг иккинчи учига уланади (8.23-расм).

Ёрдамчи чулғамда ҳосил бўлган э. ю. к. лар механик тўғрилагичга чўткалар воситасида берилади. Чўткалар бир-биридан 120 электр градусига сурилган бўлиб, уларнинг сони жуфт кутблар сонидан уч марта кўп бўлади. Механик тўғрилагичдаги мис ҳалқа ёрдамчи қисмининг кенглиги чўтка кенглигидан бир оз катта қилинади. Бунда



8.23-расм. Механик тўғрилагич билан қўзғатилувчи СГТ типли синхрон генераторнинг уланиш схемаси.

чўтка ҳалқанинг бир иш қисмидан иккинчисига ўтишида уларни ўзаро қисқа туташтирмайди.

8.23-расмда механик тўғрилагич билан қўзғатилувчи СГТ типли синхрон генераторнинг уланиш схемаси кўрсатилган. Бунда юклама ўзгариши билан генератор кучланишини автоматик равишда ростлаб туриш учун компаундлаш қурилмасидан фойдаланилган. Компаундлаш қурилмаси учта ток трансформатори ва учта 1 Ом ли шунт қаршилигидан иборат бўлиб, улар бошқарувчи панель шчитига ўрнатилади. Компаундлаш даражасини, яъни юкламанинг ўзгаришида берилган кучланиш қийматини ўзгартирмай сақлаб қолиш даражасини шунт қаршилиги $R_{\text{ш}}$ ни ўзгартириш билан ростлаш мумкин. Ҳозирги пайтда ЕС-91-4С ва ЕС-83-6С типли ва (50 ва 30 кВт ли) механик тўғрилагич билан қўзғатилувчи синхрон генераторлар ўзлаштирилган. Бунда ток трансформаторининг иккиламчи чулғами зигзаг схемасида уланади. Бунинг натижасида эса, симметрик бўлмаган юклама билан ишлашда генератор кучланишини мўтадиллаштириш шароити яхшиланади.

8.10. Синхрон генераторларнинг параллел ишлаши

Электр станцияларида, одатда, бир неча генераторлар ўрнатилади. Бу генераторлар ўз энергияларини умумий шинага узатиб, ўзаро параллел ишлайди. Юклама талабига биноан параллел ишловчи генераторларнинг сони ўзгариб туради ва натижада ҳар бир

генераторни тўла 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 камаяди.

Синхрон генераторларни параллел ишлашга улаш учун қуйидаги шартларга риоя қилиш керак:

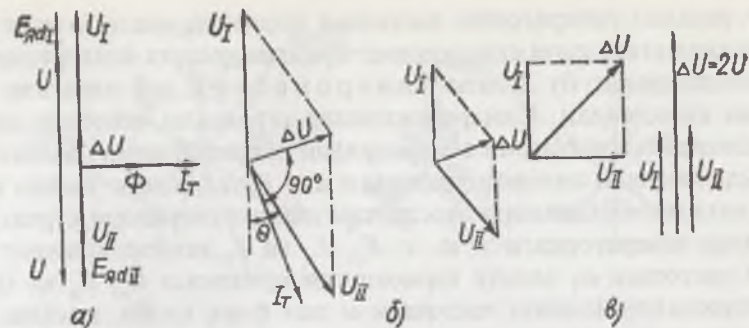
1) ишлаб турган ва параллел ишга уланувчи генератор кучланишларининг қиймати ўзаро тенг, яъни $U_I = U_{II}$, фазалари эса 180° га фарқ қилиши лозим;

2) генераторлар частотаси ўзаро тенг, яъни $f_I = f_{II}$ 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 $U_I > U_{II}$ 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 эгалиги 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 $\Phi_{ад}$ ундан эса $E_{адI}$ ҳосил бўлиб, кучланиши ортиқ бўлган биринчи генераторнинг U_I кучланиши U гача камаяди. Иккинчи генераторда эса, I_T сиғим токи бўлиб, ундан генераторни магнитлантирувчи якорь реакцияси, сўнгра $E_{адII}$ ҳосил бўлади ва натижада генераторнинг U_{II} кучланиши U гача кўпаяди. Тенглаштирувчи ток I_T туфайли генератор чулғамларидан номинал юклама токини ўтказиш имкони бўлмай, натижада улар қувватидан тўла фойдаланилмайди. Аммо, тенглаштирувчи ток реактив бўлгани учун ундан генераторларни айлантирувчи бирламчи мотор моментига тескари бўлган момент ҳосил бўлмайди.

8.24-расм, а да кучланишлари ўзаро тенг бўлмаган, яъни $U_I > U_{II}$ бўлган генераторларнинг параллел ишлашидаги вектор диаграмма 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 юклама олади ва



8.24-расм. Параллел ишлашга уланган генераторнинг вектор 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 вектор диаграммалар.

натижада генератор роторини айлантирувчи бирламчи мотор валида унинг моментига тескари бўлган момент ҳосил бўлади. Тенглаштирувчи ток биринчи генератор чулғамидан ўтиши билан генератор роторининг айланиши томон йўналган электромагнит momenti 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 уланишда ҳосил бўлувчи кескин механик 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 вектор 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 $2U_\phi$ гача, θ эса нолдан то 180° гача ўзгариб туради (8.24-расм, в).

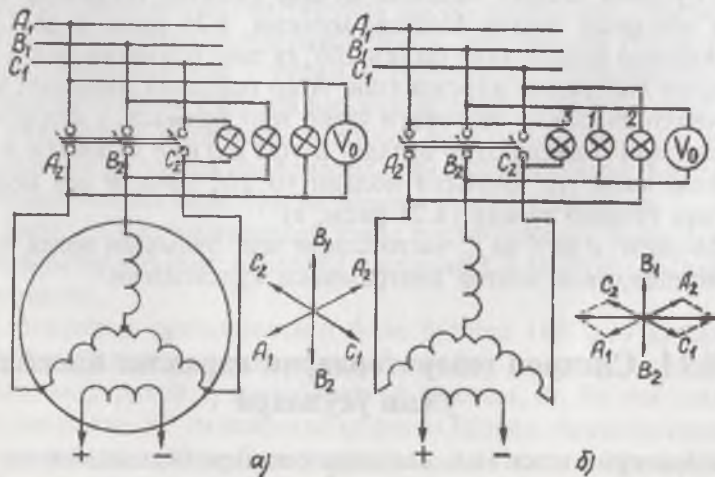
8.24-расм, в да f_I ва f_{II} частоталари тенг бўлмаган ҳолга тегишли кучланишларнинг вектор диаграммаси кўрсатилган.

8.11. Синхрон генераторларни параллел ишлашга улаш усуллари

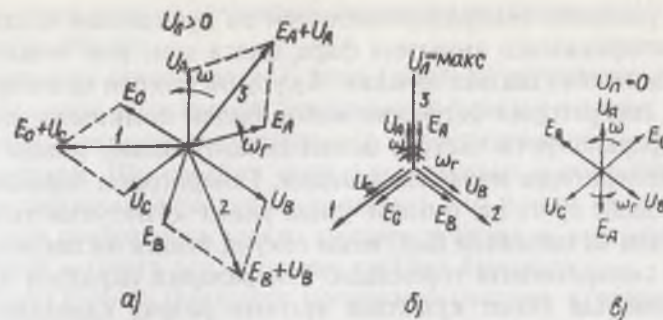
Генераторни икки хил, яъни аниқ синхронизациялаш ва ўз-ўзини синхронизациялаш усулларида электр тармоғидаги генераторлар билан параллел ишлашга улаш мумкин. Аниқ синхронизация-

лаш усулида генераторни даставвал параллел ишлаш шартларига риоя қилинган, яъни синхронлаштирилган ҳолатга келтирилади. Генераторларнинг бу ҳолати синхроскоп деб аталувчи асбоб билан аниқланади. Синхроскоплар стрелкали асбоблар сингари тузилишда ёки чўғланиш лампаларидан иборат бўлиши мумкин. 8.25-расмда лампали синхроскопнинг *а* — ёруғликнинг ўчиши 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 моментида $\vec{E}_A + \vec{U}_A > 0$ бўлиб, бу кучланишнинг таъсирида синхроскопнинг лампалари ёнади (8.26-расм, *а*). Бошқа бир дақиқада эса бу векторлар бир томонга мос равишда айланиб умумий векторнинг қиймати $\vec{U}_A + \vec{E}_A = 2\vec{U}_A = 2\vec{E}_A$ 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 $\vec{E}_A + \vec{U}_A = 0$, $\vec{E}_B + \vec{U}_B = 0$ ва $\vec{E}_C + \vec{U}_C = 0$ 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 кифоя, ω_r билан ω нинг фарқи катта бўлса, у ҳолда лампалар тез ёниб-ўчиб туради. Генераторни айлантирувчи мотор частотасини ўзгартириш билан $\omega_r = \omega$ ва, демак, $f_r = f$ қилиб, лампаларнинг узоқ вақтгача ўчиб туриши таъминланади ва



8.25-расм. Лампали синхроскопнинг уланиш схемалари.



8.26-расм. Ёруғликнинг ўчишига асосланган синхронизациялашдаги кучланишларнинг вектор диаграммалари.

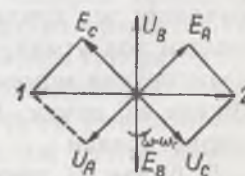
бу синхронлаштирилган дақиқада генераторни электр тармоғи билан параллел ишлашга уланади.

Аниқ синхронизациялаш усули билан генераторни параллел ишлашга улаш, одатда, ёруғликнинг айланиш схемаси асосида ўтказилади. 8.27-расмда ёруғликнинг айланишига асосланган синхронизациялашдаги кучланишларнинг вектор диаграммаси кўрсатилган.

Бунда лампалардан бири генератор ва электр тармоғининг бир хил фаза учларига уланиб, қолган иккитаси турли фазаларга уланади. Агар $\omega_r \neq \omega$, яъни $f_r \neq f$ 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 кўпроқ частота билан айланаётган бўлса, у ҳолда ёруғлик соат стрелкаси томон, пастроқ тезликда эса, ёруғлик соат стрелкасининг тескари томонига айланади. Демак, ёруғликнинг айланиш принципи асосланиб тузилган синхронизация схемасида уланувчи генератор частотасини кўпайтириш ёки камайтириш 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



8.27-расм. Ёруғликнинг айланишига асосланган синхронизациялашдаги кучланишларнинг вектор диаграммаси.

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 айлантририлиб, 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 якorigа 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 жараёнини 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, параллел ишлашга уланган генератордаги э. ю. к. E_0 нинг қиймати электр тармоғидаги кучланиш U_r га тенг, унинг йўналиши эса кучланишга тескари бўлади. Бунда генератор чулғамидан ток ўтмай, у юкламасиз ишлайди. Бирламчи моторнинг айлантрирувчи моменти кўпайтирилса, генератор роторининг дастлабкига ва, демак, E_0 нинг U_r га нисбатан ҳолатлари θ бурчагига ўзгариб қолади.

E_0 билан U_r векторларининг геометрик йиғиндисидан ҳосил бўлган ΔE вектори таъсирида генератор чулғамидан I_r токи ўта бошлайди. Статор чулғамининг актив қаршилиги ҳисобга олинмаса, I_r токи ΔE дан 90° га кейинда қолувчи бўлади. Бунда генератордан электр тармоғига бериладиган актив қувват $P_2 = m_1 U_r I_r \cos \varphi_r$ бўлиб,

электр тармоғидаги кучланиш генератор кучланиши U_r билан мувозанатда бўлади.

Генератор статоридаги I_r токи билан ротор магнит оқимининг ўзаро таъсири натижасида электромагнит момент ҳосил бўлади. Бу электромагнит момент генераторнинг айлантрирувчи моментига тескари йўналади. Шу сабабли статор чулғамидан I_r токи ўтиши билан электр тармоғига уланган юкламанинг бир қисми генераторга ўтади. Бунда генераторга электр юкламаси берилса, уни айлантрирувчи бирламчи моторга эса, механик юклама берилади.

Шунга биноан бирламчи моторнинг механик қуввати қуйидагича бўлади:

$$P_1 = P_0 + P_{эм},$$

бунда $P_0 = P_{мех} + P_{п} + P_{куз}$ — генераторнинг салт иш режимидаги қувват исрофи;

$P_{мех}$ — генератордаги механик ишқаланишларга сарфланган қувват исрофи;

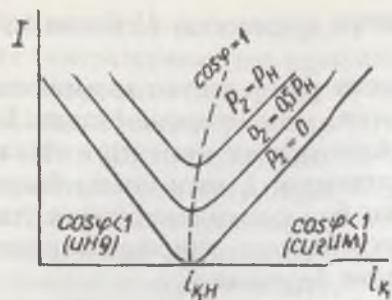
$P_{куз}$ — генераторни қўзғатишга сарфланган қувват исрофи;

$P_{эм}$ — генераторнинг электромагнит қуввати.

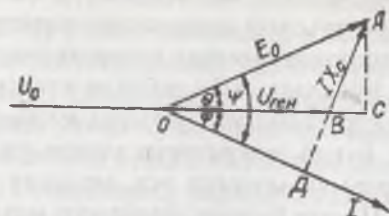
Демак, параллел ишлашга уланган генератордан олинувчи актив қувват $P_r = P_{эм} - m_1 I_r R_1$ ни ростлаш учун бирламчи мотор қуввати P_1 ни ўзгартириш кифоя.

Кучланиш ва частотаси ўзгармас бўлган электр тармоғи билан параллел ишлашга уланган генераторнинг тармоққа берадиган актив қуввати ўзгармас бўлса, у ҳолда статордаги токнинг ротор қўзғатиш чулғамидаги токка боғлианиши 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 $I_{мин} = I_r \cos \varphi$ га тенг бўлган актив қисмигагина эга бўлади. Бунда синхрон генератори $\cos \varphi = 1$ билан ишлайди. Маълумки, юкламанинг ортиб бориши билан генератор кучланиши пасайиб боради. Бунда генератор кучланишини бир хил қийматда сақлаш учун унинг қўзғатиш токини пунктир чизиқ бўйича кўпайтириш 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 олинган актив қувват P_2 нинг ифодасини аниқлаш учун 8.29-расмдан



8.28-рasm. Синхрон генераторининг U -симон диаграммаси.



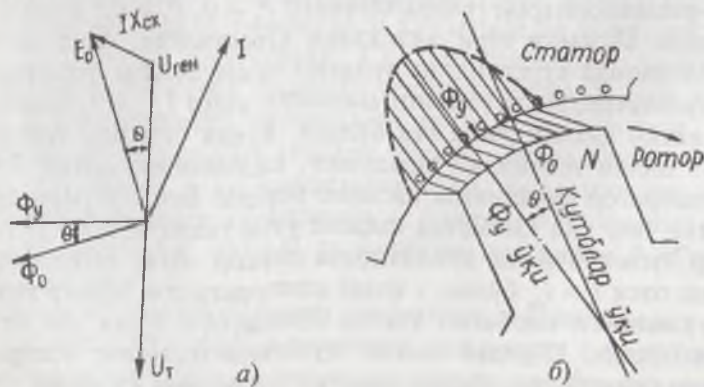
8.29-расм. Синхрон генератордан олинадиган электромагнит кувватни аниқлашга доир диаграмма.

Фойдаланилади. Бунда синхрон генератори аён бўлмаган қутбли деб қабул қилинади. Электротехника курсидан маълумки, уч фаза-ли синхрон генераторидан олинadиган электромагнит қувват қуйи-дагича ифодаланади:

$$P_{\text{эл}} = 3U_r I \cos \varphi [\text{Вт}], \quad (8.13)$$

8.29-расмдаги диаграммага биноан эса:

$$P_{\text{м}} = 3E_0 I \cos \psi \text{ [Bт]}. \quad (8.14)$$

$$U_{\tau} \cos \varphi = E_0 \cos \varphi \text{ бўлгани учун } AC = AB \cos \varphi = IX_c \cos \varphi = E_0 \sin \theta, \\ \cos \varphi = \frac{AC}{AB} = \frac{E_0 \sin \theta}{IX_c} \text{ бўлгани учун эса, } P_{\Sigma} = 3 U_{\tau} I \frac{E_0 \sin \theta}{IX_c} \text{ бўлади. Шунга}$$


8.30-расм. д бурчаги тушунчасига тегишли расмлар.

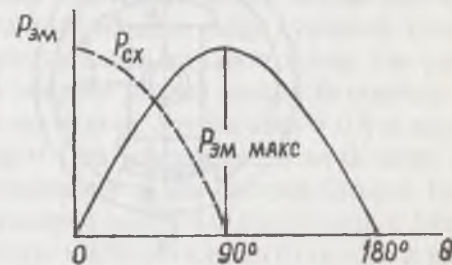
биноан, генератордан электр тармоғига берилувчи қувват қуйида-
гича ифодаланadi:

$$P_{\text{эм}} = 3U_r E_0 \frac{\sin \theta}{X_c}. \quad (8.15)$$

Демак, $P_{эм}$ қиймати θ бурчагининг синусига пропорционалдир. Агар вектор диаграммада E_0 ва U_r векторлари орасидаги бурчак θ билан ифодаланса, генераторда эса, θ бурчаги орқали қутб ўқи билан машинада ҳосил бўлган умумий магнит 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 ёқилғи ёхуд турбинага бериладиган буғ ёки сувни кўпайтириш зарур.

Синхрон генераторнинг электромагнит $P_{эм}$ ёки электр тармоғига бериладиган P_r қувватининг θ бурчагига боғланишини ифодаловчи график унинг бурчак характеристикаси деб аталади. 8.31-расмда синхрон машинанинг бурчак характеристикаси кўрсатилган.

(8.15) ифодага 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 $\theta = 90^\circ$ бўлганда 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 ўтказиш учун биринчи генераторни айлантирувчи мотор қувватини камайтириш, иккинчисиникини эса кўпайтириш лозим. Бунда уларнинг кучланишлари ўзгармаслиги учун қўзғатиш токлари ўзгартирилади. Агар биринчи генератор қўзғатиш токини кўпайтириб, иккинчисиникини камайтирилса, реактив қувватнинг тақсимланиши ўзгариб, 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.



8.31-расм. Синхрон машинасининг бурчак характеристикаси.

9.1. Синхрон моторнинг ишлаш принципи

Ўзгармас ток машинаси сингари синхрон машина ҳам генератор, ҳам мотор режимида ишлайди. Синхрон моторнинг конструкцияси генераторникидан фарқ қилмайди.

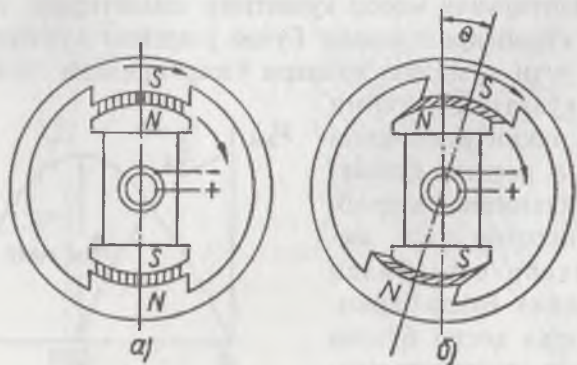
✓ Синхрон машинани мотор режимида ишлатиш учун унинг статор чулғамига уч фазали, ротор чулғамига эса ўзгармас ток берилади. Статор чулғамига берилган токдан айланувчи магнит майдон ҳосил бўлиб, унинг тезлиги қуйидагича бўлади:

$$n = \frac{60f}{p}, \text{ айл./мин.},$$

бунда f — ўзгарувчан токнинг частотаси;

p — статор чулғамига берилган токдан ҳосил бўлган магнит майдоннинг жуфт кутблар сони.

Статордаги айланувчи магнит майдон билан ротордаги токнинг ўзаро таъсири натижасида электромагнит момент ҳосил бўлади. Электромагнит моментнинг таъсирида мотор ротори статордаги айланувчи магнит майдон йўналишида айлана бошлайди. Статордаги айланувчи магнит майдон N ёки S кутби ротор магнит майдонидаги уларга тескари бўлган кутблари билан эластик занжир сингари боғланишга эгаллиги сабабли роторнинг айланиш частотаси ҳам $n = \frac{60f}{p}$ бўлади. Роторнинг статордаги айланувчи магнит 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 магнит майдонларининг



9.1-расм. Синхрон моторнинг ишлаш принципи:
а — салт иш; б — юклама режимлари.

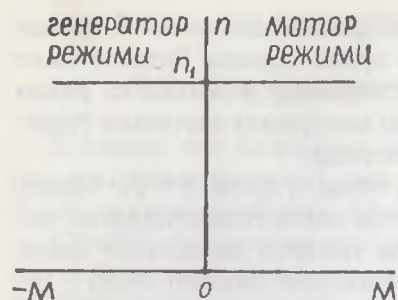
ўқлари орасидаги бурчак $\theta = 0$, юклама режимида эса $\theta > 0$ бўлади (9.1-расм, а, б). Мотор юкламасининг ортиб бориши билан θ нинг қиймати ҳам ортиб боради. Аммо юкламанинг номинал ва ундан бир оз катта қийматгача ўзгаришида ҳам моторнинг частотаси ўзгармас синхрон қийматга эга бўлиб қолаверади.

Агар юклама ҳаддан ташқари катта бўлса, у ҳолда $\theta > 90^\circ$ бўлиб, эластик боғланиш гўё узилади ва мотор синхронлаштирилган режимида ишлай олмай, унинг частотаси синхрон қийматдан пасая бошлайди. Бундай режимда моторни ишлатиш мумкин эмас.

9.2. Синхрон моторнинг механик ва бурчак характеристикалари

Айлантирувчи моментнинг ўзгариши билан $n = \frac{60f}{p} = \text{const}$ бўлгани туфайли синхрон моторнинг механик характеристикаси абсцисса ўқига параллел бўлган тўғри чизиқ билан ифодаланади, яъни унинг частотаси юкламага 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 юкламадан ташқари, ротордаги қўзғатиш чулғамига бериладиган ўзгармас ток i_k га ҳам боғлиқ бўлади. Агар ротор чулғамига 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 берилётган 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.

Бунда мотор ўзувчи $\cos\varphi$ га эга бўлади. Ўзувчи $\cos\varphi = 0,8$ га ҳисобланган синхрон моторлар $\cos\varphi = 1$ дагига нисбатан анча оғир, баҳоси қиммат, фойдали иш коэффициенти эса пастроқ бўлади. Синхрон моторлар асинхрон моторларга нисбатан ишончлироқ бўлгани ҳамда уларнинг $\cos\varphi$ ва η лари нисбатан юқори бўлганлиги учун, катта қувватли ва узоқ вақт давом этадиган иш режимига эга бўлган механизмларда, масалан, компрессор, насос ва шу кабиларда синхрон моторлардан фойдаланиш қулайроқ бўлади.



9.2-расм. Синхрон моторнинг механик характеристикаси.

зиқ синхрон моторнинг бурчак характеристикаси деб аталади. Бу характеристика тенгламасини топиш учун синхрон машинанинг (8.15) ифодада кўрсатилган электромагнит 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 магнит майдоннинг статор чулғами билан кесилишидан ҳосил бўлган э. ю. к. Бу э. ю. к. қиймати тахминан $\bar{U} = (-\bar{E})$ бўлади;

$\omega_0 = \frac{\pi n}{30}$ — роторнинг айланиш бурчак частотаси;

X_c — кутблари аён бўлмаган синхрон машинанинг синхрон қаршилиги.

9.3-расмда синхрон моторнинг турли $i_{k1} < i_{k2} < i_{k3}$ кўзғатиш токлари ва уларга тегишли $E_1 < E_2 < E_3$ э. ю. к. ларига биноан (9.1) ифода асосида қурилган бурчак характеристикалари кўрсатилган.

Бу характеристикаларнинг $\theta = 0 \div 90^\circ$ гача бўлаги уларнинг турғун, $\theta = 90 \div 180^\circ$ гача бўлаги эса уларнинг беқарор қисми дейилади. Характеристиканинг турғун қисмида моторнинг юкламаси кўпайиши билан θ бурчагининг қиймати ортиб боради. Бунда моторнинг айлантирувчи моменти ҳам, янги қаршилик моментига тенглашгунга қадар ўз-ўзидан ортиб боради. Қаршилик моменти айлантирувчи моментнинг максимал қийматидан бир оз ортиши билан $\theta > 90^\circ$ бўлиб, синхрон моторнинг айлантирувчи моменти камайиб боради ва моментлар мувозанати тиклана олмай мотор ўз-ўзидан

тўхтаб қолади. Синхрон мотор юкламасининг тасодифан кескин ўзгаришини ҳисобга олиб, θ бурчакнинг номинал қийматини $25 \div 30^\circ$ га тенг қилиб олинади. Демак, синхрон моторнинг ўта юкланиш қобилияти $\frac{M_{\max}}{M_H} = 2 \div 2,5$ бўлади. U ва $f = \text{const}$

бўлса, мотордаги магнит оқимнинг умумий қиймати ҳам ўзгармас бўлади. Демак, ротор кўзғатиш чулғамидagi ток кўпайтирилса, статор чулғамидagi токнинг магнитлантирувчи қисми камаяди. Шунга биноан, кўзғатувчи ток қийматини кўпайтириш билан электр тармоғидан статорга берилувчи токнинг реактив қисмини нолга тенглаш мумкин. Бунда $\cos \varphi = 1$ бўлиб, индуктив қаршиликдаги кучланишнинг тушуви ноль бўлади. Натижада статор чулғамида ҳосил бўлган э. ю. к. E кўпайиб, унинг қиймати кучланишга яқинлашади. Э. ю. к. қийматининг ортиб бориши билан (9.1) ифодага биноан айлантирувчи моментнинг максимал қиймати ҳам бирмунча ортади, яъни $M_{1м} < M_{2м} < M_{3м}$ 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 кутбли ва, демак, паст частотали синхрон моторларнинг статори билан ротори орасидаги ҳаво бўшлиғи айлана бўйича турли қийматга эга бўлгани учун уларнинг $X_{ад}$ ва $X_{яқ}$ қаршиликлари ўзаро тенг бўлмайди. Шу сабабли якорь реакциясининг таъсири бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича алоҳида ҳисобга олинади. Бунда электромагнит момент ҳам икки моментнинг йиғиндисидан иборат, яъни

$$M = \frac{3}{\omega_0} \left[\frac{UE \sin \theta}{X_{ад}} + \frac{U^2 \sin 2\theta}{2} \left(\frac{1}{X_{яқ}} - \frac{1}{X_{ад}} \right) \right] = M_{\sin} + M_{\text{реакт}}$$

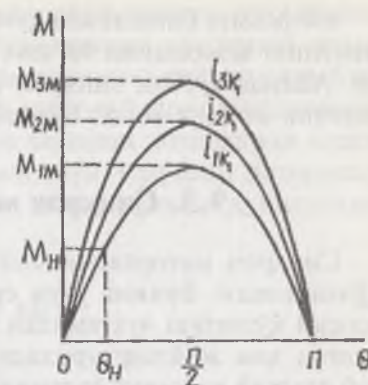
деб қабул қилинади,

бунда $X_{яқ}$ ва $X_{ад}$ — тегишлича кўндаланг ва бўйлама индуктив қаршиликлар;

$M_{\sin}$ — 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 кутбли синхрон моторнинг бурчак характеристикаси кўрсатилган.

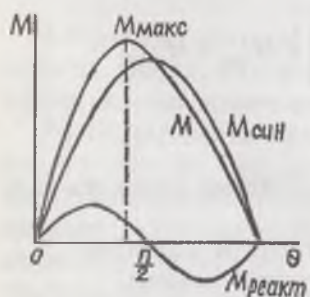


9.3-расм. Синхрон моторнинг бурчак характеристикалари.

9.4-расмга биноан аён қутбли синхрон мотор электромагнит моментнинг максимуми 90° дан кичик бўлган θ бурчагида ҳосил бўлади. Аёнмас қутбли синхрон моторларда $X_{ад} = X_{яқ}$ 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, катаксимон 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 магнит майдон ҳосил бўлади. Статорнинг айланувчи магнит майдоннинг ротордаги қисқа туташган чулғам билан кесилиши натижасида бу чулғамда э. ю. к. ва, демак, ток ҳосил бўлади. Ротордаги ток билан айланувчи магнит майдонининг ўзаро таъсири натижасида роторни $n_p = 0,95 n$ частота билан айлантирувчи электромагнит 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 магнит 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 бўлган



9.4-расм. Аён қутбли синхрон моторнинг бурчак характеристикаси.

хавфни йўқотиш учун разряд қаршилиги $R_{разр}$ нинг қиймати қўзғатувчи чулғам қаршилигидан тахминан 10 марта катта қилиб олинади.

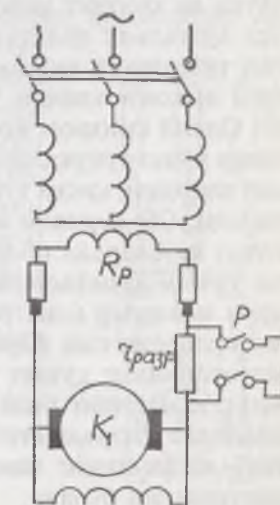
Синхрон моторнинг ишга тушириш токи $I_{ишт} = (3 \div 8) I_n$ бўлиб, ишга тушириш моментни эса $M_{ишт} = (0,5 \div 2) M_n$ бўлади. Юқори частотали моторда $I_{ишт}$ нинг қиймати паст частотали мотордагига нисбатан катта бўлади. Катта қувватли синхрон моторларни ишга туширишда, электр тармоғидаги кучланиш ортиқча пасайиб кетмаслиги ҳамда статор чулғамига таъсир этадиган динамик 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. Электр 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

$$\frac{P}{p} \leq 250 \div 300 \text{ кВт},$$

бунда p — қутблар сони.

6000 вольтли моторни бевосита ишга туширишда эса $\frac{P}{p} \leq 250 \div 300$ кВт бўлиши лозим. Электр тармоғига бевосита улаб ишга тушириш мумкин бўлмаган моторлар учун, каталогда, уларнинг статорига берилиши мумкин бўлган максимал кучланиш қиймати $U_{\text{макс}}$ кўрсатилади. Бунда $U_{\text{макс}} \leq 60 \div 90\% U_n$ бўлиши керак. 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 айлантириладиган параллел қўзғатишли ўзгармас ток генераторидан олинар эди. Ҳозирги вақтда эса ротор чулғамига бериладиган ўзгармас ток кўпинча алоҳида ўрнатилган статик ярим ўтказгичли қўзғатгичлардан олинмоқда. Кейинги пайтларда ротор чулғамига ўзгармас токни контактсиз, яъни ҳалқа ва чўткаларсиз бериш имконига эришилди. Бундай контактсиз синхрон моторда ротор ўзаги яхлит пўлатдан қуйилган қутбларга эга бўлиб, бу қутблар роторга ўрнатиладиган ишга тушириш чулғами вазифасини ҳам ўтайди. Натижада синхрон моторнинг конструкцияси соддалашмоқда, унинг ишлашдаги ишончлилиги анча кўтарилмоқда. Ҳозирги пайтда кичик қийматли қаршилик моментлари, яъни $M_c = (0,3 \div 0,4) M_n$ билан ёки салт иш режимида ишга тушириладиган синхрон моторлар роторидаги қўзғатувчи чулғамга қўзғатгични бевосита улаб қўйиш схемаси кенг қўлланилмоқда. Бунда қўзғатгич яқори разряд қаршилиги орқали ёки бевосита ротор чулғамига уланади (9.5-расм). Мотор частотасининг тахминан, $0,95n$ қий-



9.5-расм. Синхрон моторни ишга тушириш схемаси.

матида 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 режимида, 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 кўпчилиги технологик сабабларга биноан тўла бўлмаган юкламада ишлатилади. Бунда уларнинг асосий энергетик кўрсаткичи бўлмиш қувват коэффиценти айниқса пастдир. Электр тармоғи қувват коэффиценти ошириш мақсадида катта қувватли электр юритмалар учун юқори кучланишли синхрон моторлар қўлланилмоқда.

Латвия Фанлар академиясининг институтида яхлит пўлат кутб-ли контактсиз СО серияли синхрон моторнинг яратилиши билан ҳатто кичик ва ўрта қувватли асинхрон моторларни ҳам синхрон моторига алмаштириш имкони яратилди.

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 уза-тиш 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 кутблардан иборат бўлиб, бу кутблар моторни ишга туширувчи чулғам вазиасини ҳам ўтайди. Шундай қилиб, контактсиз синхрон моторлар конструкциясининг оддийлиги жиҳатидан асинхрон моторлардан кам фарқ қилади. Аммо номинал юкламада асинхрон моторларнинг қувват коэффиценти $\cos\varphi 0,8 \div 0,85$ бўлиб, юкламанинг камайиши билан у пасайиб борса, СО серияли моторнинг номинал юкламадаги қувват коэффиценти $\cos\varphi = 1$ га ҳисобланиб, юкламанинг камайиши билан $\cos\varphi$ нинг қиймати ўзувчи характерга эга бўлади.

Демак, кичик ва ўрта қувватли асинхрон моторларнинг контактсиз синхрон моторлари билан алмаштирилиши қувват коэффиценти кескин ошириш имконини беради.

Қуйидаги жадвалда тажриба тариқасида чиқарилган СО серияли синхрон моторларнинг асосий кўрсаткичлари келтирилган:

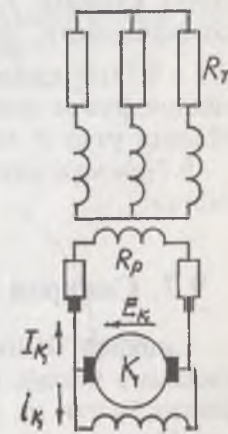
Мотор типи	Номи- нал қува- ти, кВт	Номинал юкламада			$\cos\varphi$	$M_{\max}$	$I_{\max}$	$M_{\text{эвт}}$	$M_{\text{сн}}$	G кГ	$GD^2_{\text{рот}}$ кГм ²
		статор токи, А		ф.и.к.		$M_{\text{н}}$	$I_{\text{н}}$	$M_{\text{н}}$	$M_{\text{н}}$		
		220 В	380 В								
Айланиш частотаси $n = 1500$											
CO41-4	2,2	7,05	4,05	0,82						55	0,04
CO51-4	4	12,20	7,05	0,86	1,0	1,4	2,5	0,7	0,12	90	0,13
CO61-4	7,5	22,40	12,90	0,88						130	0,29
Айланиш частотаси $n = 1000$											
CO41-6	1,5	4,85	2,8	0,81						55	0,05
CO51-6	3	9,25	5,35	0,85	1,0	1,4	2	0,8	0,25	90	0,17
CO61-6	5,5	16,75	9,7	0,86						130	0,38

9.5. Синхрон моторни тормозлаб тўхтатиш усуллари

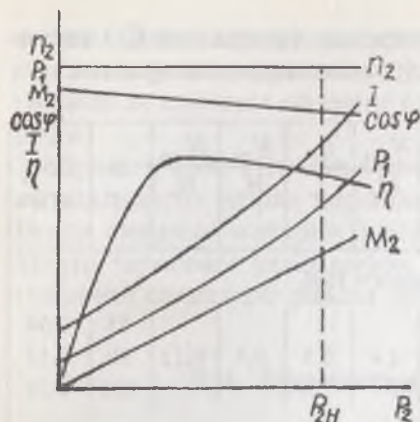
Бундай моторларни тезда тўхтатиш учун умуман тескари ула-ниш ва электродинamik усулларни қўллаш мумкин. Аммо тескари уланишда статордан катта ток ўтиши ҳамда частота ноль бўлиши билан уни электр тармоқдан дарҳол ажратадиган қимматбаҳо ас-бобларнинг керак бўлгани туфайли тескари ула-ниш билан тормозлаш усули амалда деярли қўлланилмайди. Электродинamik усул билан тор-мозлаш учун ишлаб турган мотор статорини электр тармоқдан ажратиб, уни ташқи актив қар-шиликка 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.

Моторнинг бу режимида ҳосил бўлувчи тор-мозлаш моментининг қиймати статор чулғамига киритилган R_r ва қўзғатиш занжиридаги ток қий-матига боғлиқ бўлади.

Агар динамик тормозлаш жараёнида ротор чулғамига бериладиган ўзгармас ток алоҳида ўрнатилган қўзғатгичдан олинса, у ҳолда, мотор



9.6-расм. Синхрон моторни электродинamik усулда тормозлаш схемаси.



9.7-расм. Синхрон моторнинг иш характеристикалари.

тез тўхтайди, мотор валида айланидиган қўзғатгичдан олинган тақдирда эса частота камайиши билан E ва, демак, I қийматлари ҳам камайиб боради. Бу эса тормозловчи момент қийматини камайитириб, 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 юкламага боғлиқ бўлмай, ўзгармас, яъни $n = \text{const}$ бўлади; $P_1 = P_2 + \Delta P$ — моторга берилган қувват бўлиб, қувват исрофи ΔP нинг чулгамнинг қизиши учун сарфланган қисми юклама токининг квадрати га пропорционаллиги учун $P_1 = f(P_2)$ боғланиши эгри чизиқ билан ифодаланади; $\cos \varphi$ — қувват коэффициентининг қиймати бўлиб, юкланиннг кўпайиши билан бир озгина камаёди; I — статор чулгамидаги ток бўлиб, юклама кўпайиши билан $\cos \varphi$ бир оз камайгани учун унинг қиймати P_1 га нисбатан тезроқ ўзгаради; η — фойдали иш коэффициенти, унинг энг юқори қиймати номинал юкланиннг $(0.5 + 0.75)P_n$ 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 машинаниннг фойдали иш коэффициенти

Синхрон машинаниннг генератор ёки мотор бўлиб ишлашида юкламага боғлиқ бўлмаган, яъни ўзгармас қийматли ва юкламага боғлиқ бўлган ва, демак, ўзгарувчи қийматли қувват исрофлари содир бўлади.

Машина подшипнигидаги ишқаланиш, роторнинг ҳавога ишқаланиши, чўтканиннг контакт ҳалқаларига ишқаланиши ва совитувчи каналлардаги ишқаланишлардан содир бўлувчи механик исрофлар,

статор пўлатидаги гистерезис ва уюрма тоқлардан ҳосил бўлувчи магнит исрофлар ҳамда қўзғатиш учун сарфланган қувватларнинг қиймати юкламага 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 чулгамининг қизишига сарфланган қувват билан аниқланади, яъни

$$P_{\text{мис}} = m P_{\text{я}} 75^\circ \text{C}$$

бўлади.

Бунда $P_{\text{мис}}$ — статор чулгамининг қизишига сарфланган қувват исрофи, Вт;

m — фазалар сони;

$R_{75^\circ \text{C}}$ — 75°C даги фаза чулгамининг актив қаршилиги, Ом;

I — фаза токи, А.

Синхрон машинаниннг фойдали иш коэффициенти $\eta = \frac{P_2}{P_1}$ бўлиб, унинг қиймати, одатда, қуйидаги формуладан аниқланади:

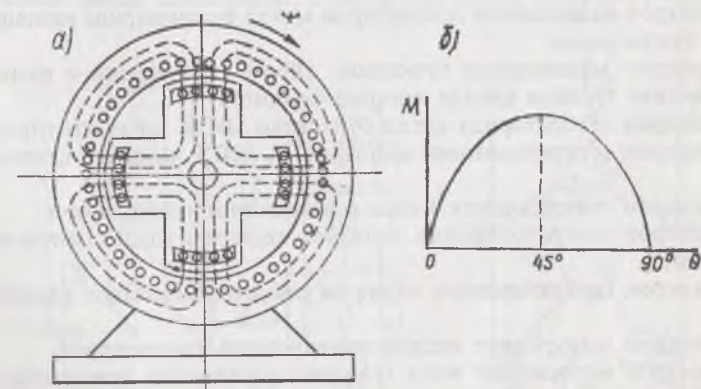
$$\eta_{\text{ген}} = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma \Delta P},$$

бунда P_2 — генераторнинг фойдали қуввати бўлиб, унинг қиймати қуйидагича аниқланади:

$$P_2 = \sqrt{3} I_{\text{а}} U_{\text{а}} \cos \varphi, \quad (9.2)$$

$$\Sigma \Delta P = \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{п}} + \Delta P_{\text{к}} + \Delta P_{\text{мис}} = P_0 + P_{\text{мис}}.$$

Синхрон машиналарда $\eta = 0.85 \div 0.99$ бўлиб, унинг юқори қиймати катта қувватли машиналарга тегишли бўлади.



9.8-расм. Реактив синхрон моторнинг: а — тузилиши; б — бурчак характеристикаси.

9.8. Синхрон реактив мотори

Реактив деб аталувчи синхрон моторининг статори оддий синхрон моторникидан фарқ қилмайди, унинг аён қутбли роторида эса қўзғатиш чулғами бўлмайди.

9.8-расмда реактив синхрон моторнинг тузилиши ва бурчак хараактеристикаси кўрсатилган.

Бундай мотор куйидаги принципда ишлайди. Статор чулғамини электр тармоққа улаш билан айланувчи магнит майдон ҳосил бўлади ва бу магнит майдон таъсирида ротор магнитланади. Статордаги магнит майдонга нисбатан магнитланган ротор энг кам магнит қаршиликка эга ҳолат томон бурилишга интилади ва натижада мотор ротори айланувчи магнит 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 уюрма 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.

Назорат саволлари

1. Синхрон машинанинг генератор ва мотор режимларида ишлаш принципини тушунтиринг.
2. Синхрон машинанинг тузилиши, айрим қисмларининг вазифалари ва роторининг турлари ҳақида гапириб беринг.
3. Синхрон генераторида ҳосил бўладиган ЭЮК ни тушунтиринг.
4. Синхрон генераторининг частотаси ва ЭЮК қиймати қандай ростланади?
5. Синхрон генератордаги якорь реакциясини тушунтиринг.
6. Синхрон генераторларини параллел ишлашга улаш шартларини тушунтиринг.
7. Синхрон генераторининг актив ва реактив қувватлари қандай ростланади?
8. Синхрон моторининг ишлаш принципини тушунтиринг.
9. Синхрон моторининг ишга тушуриш усуллари тушунтиринг.
10. Синхрон моторининг механик ва бурчак тавсифларини тушунтиринг.
11. Синхрон моторининг электромагнит қуввати ва моменти формулаларини ёзиб тушунтиринг.

Х БОБ. АСИНХРОН МАШИНАЛАР

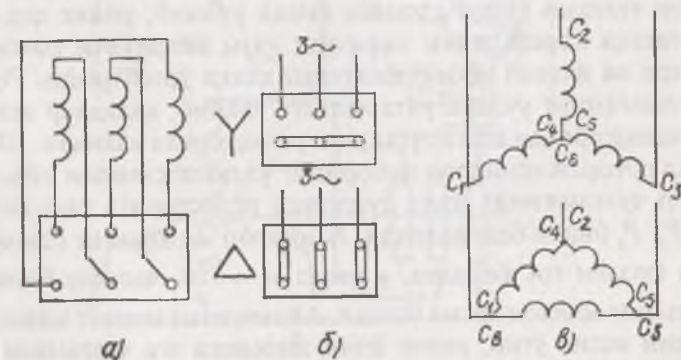
10.1. Умумий тушунчалар

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 электромагнит 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.

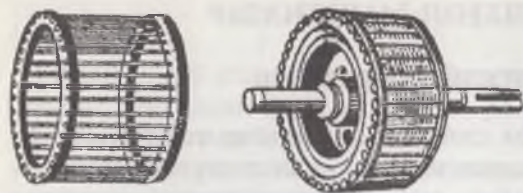
10.2. Уч фазали асинхрон мотор

Асинхрон моторларнинг уч фазали тузилишдагилари жуда кенг тарқалгани сабабли, уларни қисқача асинхрон моторлар дейилади, яъни уч фазали сўзи қўшилмайди. Роторнинг 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, қисқарти-



10.1-расм. Асинхрон моторнинг чулғами ва унинг уланиши.



10.2-расм. Асинхрон мотори роторининг қисқа туташтирилган чулғами.

дуз 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 шчитидagi чулғам учларини юлдуз ва учбурчаклик схемалари билан улаш кўрсатилган.

Роторнинг ўзаги электротехник пўлат тунукалардан йиғилади, сиртки томони пазлар ҳосил қилувчи цилиндрдан иборат бўлади. Уорма токлардан ҳосил бўлувчи қувват исрофини камайтириш учун ротор ўзагини ташкил қилувчи ҳар бир пўлат 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.

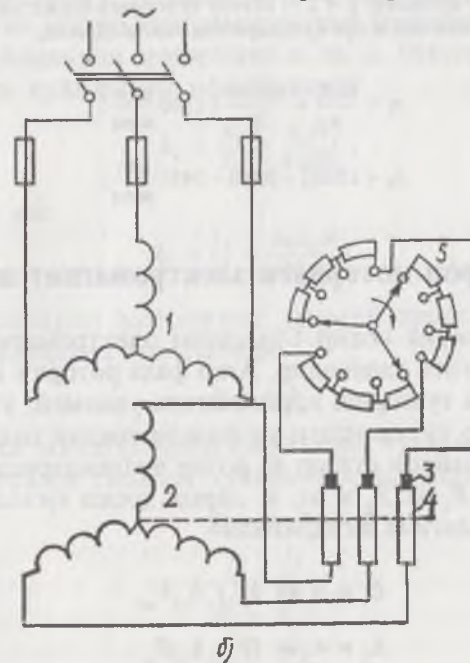
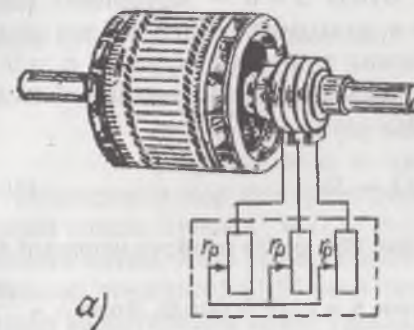
Фаза роторли моторларнинг ротор ўзаги пазларига статорники сингари уч фазали чулғам ўрнатилади. Моторнинг ишга тушириш токини камайтириш мақсадида ротор чулғами занжирига кетмакет қилиб ташқи қаршилиқ киритилади (10.3-расм, а).

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 $n_1 = \frac{60f_1}{p}$ частота билан айланувчи магнит майдон ҳосил бўлади. Айланувчан магнит майдон ротор чулғамини кесиб ўтиб, унинг ёпиқ занжирга эга чулғамида э. ю. к. ва, демак, ток ҳосил қилади. Ротор чулғамидаги ток билан статордаги айланувчи магнит майдоннинг ўзаро таъсири натижасида ай-

лантирувчи электромагнит момент ҳосил бўлиб, натижада мотор n_2 частота билан айлана бошлайди. Айлантирувчи моментни ҳосил қилувчи кучларнинг йўналиши чап қўл қоидаи билан аниқланади. Шундай қилиб, моторнинг статорига берилган электр энергияси электромагнит жараён натижасида роторни айлантирувчи механик энергияга айланади. Асинхрон моторнинг айланиш йўналишини ўзгартириш учун статор чулғамининг электр тармоғига уланадиган ҳар қандай икки учини ўзаро алмаштириш кифоя. Бунда айланувчи магнит майдон ва у томон эргашиб айланувчи роторнинг айланиш

йўналишлари тескарига ўзгаради. Роторнинг айланиш частотаси n_2 айланувчи магнит майдонининг синхрон частотаси n_1 га нисбатан ҳамма вақт кичик бўлади. Ҳақиқатан, агар $n_2 = n_1$ бўлган тақдирда ротор чулғамида ток ва, демак, айлантирувчи момент ҳам ҳосил бўлмайди. Айланувчи магнит майдони ва ротор частоталари айирмасининг синхрон ча-



10.3-расм. Фаза роторли асинхрон моторнинг уланиш схемаси.

стотага 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 юкмасига 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. Сирпаниши $S = 0,03$ бўлган тўрт қутбли асинхрон моторнинг частотаси аниқлансин.

Ечиш. Асинхрон моторнинг частотаси $n_2 = n_1(1 - S)$ бўлади, бунда $n_1 = \frac{60f_1}{p}$ асинхрон моторнинг синхрон частотаси; $f_1 = 50$ гц — ҳудудимизда қабул қилинган sanoat частотасининг қиймати; $p = 2$ — статор чулғамига берилган уч фазали токдан ҳосил бўлган магнит майдон жуфт қутбларининг сони. Демак,

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$$

$$n_2 = 1500(1 - 0,03) = 1455 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$$

10.3. Асинхрон мотордаги электромагнит жараёнлар

Асинхрон моторда содир бўладиган электромагнит жараёнлар трансформатордагига ўхшашдир. Агар фаза роторли моторнинг ротор чулғами ишга тушириш қаршилигига уланмай, узук қолдирилса, у ҳолда статор чулғамидаги уч фазали токдан пайдо бўлган айланиувчи магнит майдон статор ва ротор чулғамларида трансформатордаги сингари E_1 ва E_2 э. ю. к. ларни ҳосил қилади. Бу э. ю. к. қийматлари қуйидагича аниқланади:

$$E_1 = 4,44 W_1 f_1 k_{q1} F_m \quad (10.3)$$

$$E_2 = 4,44 W_2 f_2 k_{q2} F_m \quad (10.4)$$

бунда F_m — айланиувчи магнит майдоннинг магнит 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;

$k_{q1} k_{q2}$ — 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 пасаюви;

$I_0 X_1$ — статор чулғамининг индуктив X_1 қаршилигида кучланиш пасаюви (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 $5 \div 10\%$ ини ташкил этса, асинхрон моторда эса статор ва роторнинг пўлат ўзақлари орасида ҳаво бўшлиғи борлиги сабабли $I_0 \approx 20 \div 60\% I_{1n}$ бўлади. Демак, салт иш режимидаги асинхрон моторнинг вектор 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:

$$k_i = \frac{I_2}{I_1} = \frac{m_1 k_{q1} W_1}{m_2 k_{q2} W_2} \quad (10.6)$$

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 туташтиш режими олинади. Бунда статор чулғами билангина илашувчи индуктив магнит оқими кўпроқ бўлгани учун қисқа туташтиш кучланиши трансформатордагига нисбатан каттароқ бўлади. Агар тормозланган ротор чулғамини қисқа туташтириб, статор чулғамига номинал кучланиш берилса, у ҳолда қисқа туташтиш токининг бошланғич қиймати номинал токка нисбатан $4+7$ 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 туташтиш режимида бўлади. Асинхрон моторнинг салт иш режимидаги қувват исрофи трансформатордаги сингари пўлат ўзақларнинг қизишига сарфланса, қисқа туташтиш режимидагиси эса чулғам мис симларининг қизишига сарфланади.

Нормал режимда ишга туширилган мотор статоридаги айланувчи магнит майдон роторга нисбатан $n = n_1 - n_2$ частотада ундан ўзган ҳолда айланади. Демак, статордаги айланувчи магнит 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 $f_2 = \frac{pn}{60} = \frac{p(n_1 - n_2)}{60}$ нинг сураат ва махражини n_1 га кўпайтириб ва бўлинса, сирпаниш частотасининг қуйидаги ифодаси олинади:

$$f_2 = \frac{pn_1(n_1 - n_2)}{60n_1} = Sf_1 \text{ Гц} \quad (10.13)$$

Шунга кўра, айланувчи ротор чулғамида ҳосил бўлган э. ю. к. қиймати $E_{2s} = 4,44 k_{\omega 2} f_2 W_2 \Phi_m = 4,44 k_{\omega 2} W_2 \Phi_m f_1 S$ бўлади. Тинч ҳолатдаги ротор чулғамида ҳосил бўлган э. ю. к. қиймати $E_2 = 4,44 k_{\omega 2} W_2 f_1 \Phi_m$ 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:

$$I_{2s} = \frac{E_{2s}}{\sqrt{R_2^2 + X_{2s}^2}} = \frac{E_2 S}{\sqrt{R_2^2 + (X_2 S)^2}}. \quad (10.16)$$

(10.16) нинг сураат 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 билан айланувчи магнит майдон ҳосил бўлади. Роторнинг ўзи n_2 частота билан айлангани учун роторда ҳосил бўлган магнит 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 магнит майдонлар бир хил частота ва бир хил йўналишга эга бўлади. Асинхрон моторнинг м. ю. к. ларининг вектор 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.

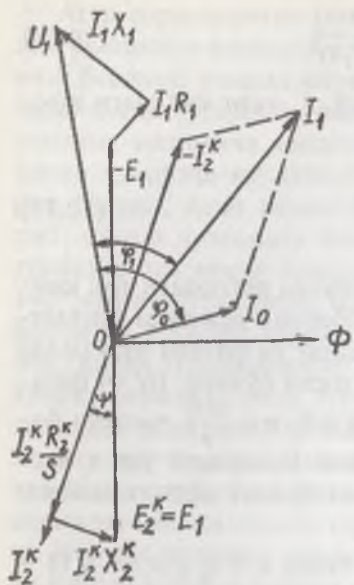
10.4. Асинхрон моторнинг вектор диаграммаси ва эквивалент схемаси

10.4-расмда ротор чулғамининг параметрлари статор чулғамига келтирилган асинхрон моторнинг юклама режимидаги вектор 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 пасаювларининг 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 ифодланади:

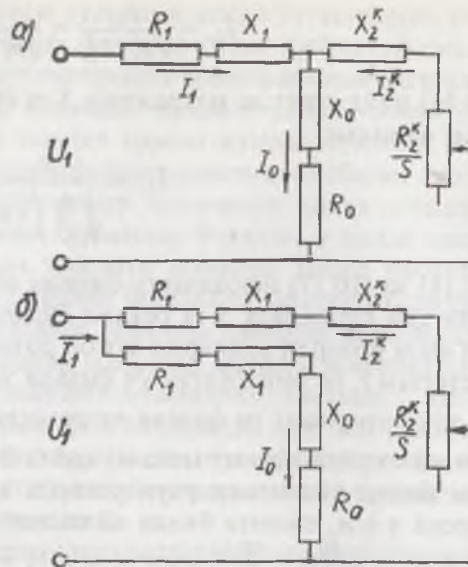


10.4-расм. Ротор чулгамининг параметрлари статор чулғамига келтирилган асинхрон моторнинг юклама режимидаги вектор диаграммаси.

$$\bar{U}_1 = -\bar{E}_1 + \bar{I}_1 X_1 + \bar{I}_1 R_1. \quad (10.19)$$

10.4-расмда кўрсатилган вектор диаграммага биноан юклама режимидаги $\cos\varphi_1$ қиймати салт иш режимидаги $\cos\varphi_0$ га нисбатан анча юқори. Шу сабабли асинхрон моторларни салт иш режимида ёки кичик юклама билан ишлатиш тавсия этилмайди. Ротор чулгамининг параметрлари статорникига келтирилган асинхрон мотор бир фазасини (10.17), (10.18), (10.19) даги ток ва э. ю. к. тенгламалари ҳамда 10.4-расмдаги вектор 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, ундан ҳисоблаш ишларида фойдаланиш анча мураккаб. Шу сабабли ҳисоблашларда кўпинча Г- симон соддалаштирилган схемадан фойдаланилади. Бу схема I_0 токи ўтадиган магнитлантирувчи ва I_2^k 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 қаршиликлари киритилади. Мотор юкламасининг ўзгариши билан,



10.5-расм. Асинхрон моторнинг схемалари.

даставвал, сирпаниш ўзгаради. Бунда эквивалент схеманинг $\frac{R_2^k}{S}$ параметри ўзгаради. Моторнинг салт иш режимида $S = 0$ бўлиб, $\frac{R_2^k}{S} = \infty$ бўлгани учун $I_2^k \approx 0$ бўлади.

Асинхрон моторнинг юклама режимида эквивалент схеманинг иш занжиридаги ток қиймати қуйидагича аниқланади:

$$I_2^k = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2^k}{S}\right)^2 + (X_2 + X_2^k)^2}}. \quad (10.20)$$

10.5. Асинхрон моторнинг энергетик диаграммаси

10.6-расмда асинхрон моторнинг энергетик диаграммаси кўрсатилган. Бунда электр тармоғидан моторга бериладиган актив қувват қуйидагича ифодаланади:

$$P_1 = 3 U_{1\phi} I_{1\phi} \cos\varphi_1, \text{ Вт.} \quad (10.21)$$

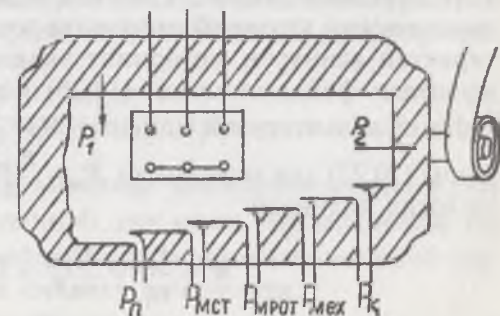
Бу қувватнинг бир қисми мотор пўлат ўзагининг ва статор чулгамининг қизишига сарфланади. Статор чулгамининг қизишига сарфланадиган қувват исрофи $P_{\text{м.ст}} = 3 I_{1\phi}^2 R_1$ бўлади.

P_1 қувватнинг қолган қисми электромагнит усулда роторга берилади. Буни электромагнит $P_{\text{эм}}$ қувват дейилади. $P_{\text{эм}}$ қувватнинг бир қисми ротор чулгамининг қизишига сарфланади. Ротор чулгамининг қизишига сарфланадиган қувват исрофи $P_{\text{м.рот}} = 3 I_{2\phi}^2 R_2$ Вт бўлади. Электромагнит қувватнинг қолган қисми механик қувват $P_{\text{мех}}$ дейилиб, у роторни ҳаракатга келтириш учун сарфланади. Ротордаги механик қувватдан механик ишқаланишларга сарфланувчи ва қўшимча қувват исрофи $P_{\text{к}}$ айирилса, у ҳолда мотор валидаги фойдали қувват P_2 олинади. P_2 нинг қиймати мотор шчитиди кўрсатилади. Шундай қилиб, P_1 нинг қиймати қуйидагича аниқланади:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta}, \quad (10.22)$$

бунда η — моторнинг фойдали иш коэффиценти бўлиб, у қуйидагича ифодаланади:

$$\eta = \frac{P_1 - \sum P}{P_1}, \quad (10.23)$$



10.6-расм. Асинхрон моторнинг энергетик 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 $\eta = 0,7 \div 0,9$ бўлиб, η нинг юқори қиймати катта қувватли моторларга тааллуқли.

Электромагнит қувватдан роторда ҳосил бўлган механик қувватни айлантириб 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 механик қувватни қуйидагича ифодалаш 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 электромагнит 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 механик характеристикаси

Асинхрон моторнинг механик характеристикасини $S = f(M)$ боғланиш билан ифодалаш қулайроқ бўлади. Механик 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:

$$M = \frac{P_{\text{эм}}}{\omega_1} = \frac{P_{\text{м.рот}}}{\omega_1 S} = \frac{m I_2^2 R_2}{\omega_1 S} \text{ Нм}. \quad (10.28)$$

(10.28) га биноан айлантирувчи моментнинг қиймати ротор чулғамининг қизиши учун сарфланадиган қувват исрофига тўғри пропор-

ционал. Ротор параметрларини статор чулғамига келтиришда унинг мисидagi 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 механик 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 айлантирувчи моменти-нинг қиймати электр тармоғидан статорга бериладиган кучланиш-нинг квадратага пропорционал, яъни $M \propto U_{1\phi}^2$ бўлади. Демак, кучланишнинг бир оз ўзгаришида айлантирувчи моментнинг кескин ўзгариши содир бўлади. Бу асинхрон моторнинг асосий камчилик-ларидан бири ҳисобланади. Механик характеристикани қуриш учун S ўрнига унинг турли юкламалардаги $S = 0 \div 1$ гача бўлган қийматлари қўйилиб (10.30) дан S нинг бу қийматларига тегишли айлантирувчи моментлар аниқланади. Бу қийматларга биноан механик характеристикани қуришда $U_{1\phi}$ ва f_1 ўзгармас деб қабул қилинади. Айлантирувчи моментининг ишга туширишдаги $M_{\text{ишт}}$ қийматини аниқлаш учун (10.30) ифодадаги S ўрнига унинг ишга тушириш пайтидаги $S = 1$ қийматини қўйиш кифоя. Бунда $M_{\text{ишт}}$ учун қуйида-ги ифода олинади:

$$M_{\text{ишт}} = \frac{3 U_{1\phi}^2 R_2^k}{\omega_1 [(R_1 + R_2^k)^2 + (X_1 + X_2^k)^2]}. \quad (10.31)$$

Айлантирувчи моментнинг максимал қийматини аниқлаш учун (10.30) ифодадан $\frac{dM}{dS}$ ҳосила олиниб, уни нолга тенглаш лозим. Бунинг натижасида максимал айлантирувчи моментга тегишли сирпанишнинг қуйидаги критик қиймати аниқланади:

$$S_{\text{кр}} = \pm \frac{R_2^k}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2^k)^2}} \approx \mp \frac{R_2^k}{X_1 + X_2^k}, \quad (10.32)$$

бунда R_1 қиймати ($X_1 + X_{2k}$) га нисбатан анча кичик бўлгани учун уни ҳисобга олинмайди. (10.30) даги S ўрнига унинг (10.32) даги критик қийматини қўйиб, айланттирувчи моментнинг қуйидаги максимал қиймати аниқланади:

$$M_{\max} = \pm \frac{3U_{1\phi}^2}{2\omega_1[\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2} \pm R_1]} \approx \pm \frac{3U_{1\phi}^2}{2\omega_1[(X_1 + X_2') \pm R_1]} \quad (10.33)$$

(10.32) ва (10.33) ифодалардаги мусбат ишора асинхрон машининг 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 механик характеристикани қуриш учун R_1 , R_2^k , X_1 ва X_2' лар маълум бўлиши керак, аммо моторнинг бу параметрлари каталогларда, кўпинча, берилмайди. Шу сабабли (10.30) ифодани (10.33) ифодага бўлиб, механик характеристикани ҳисоблаш учун қулай бўлган қуйидаги тенглама олинади:

$$M = \frac{2M_{\max}(1+q)}{\frac{S}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S} + 2q}, \quad (10.34)$$

бунда $q = \frac{R_1}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}} = S_{\text{кр}} \frac{R_1}{R_2^k}$. Одатда, асинхрон моторлар учун

$R_1 \approx R_{2k}$ 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 механик характеристика тенгламаси яна ҳам соддалашиб қуйидагича ифодаланади:

$$M = \frac{2M_{\max}}{\frac{S}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S}} \quad (10.35)$$

(10.35) ифодага биноан механик характеристикани қуриш учун $S_{\text{кр}}$ ни аниқлаб олиш кифоя. Бунинг учун (10.35) ифодадаги M ва $S_{\text{кр}}$ ўрнига уларнинг номинал қийматларини қўйиб, ундан $S_{\text{кр}}$ қиймати қуйидагича топилади:

$$S_{\text{кр}} = S_n(\lambda \pm \sqrt{\gamma^2 - 1}), \quad (10.36)$$

бунда $\lambda = \frac{M_{\max}}{M_n}$ — асинхрон моторнинг ўта юкланиш қобилятини характерловчи коэффициент, нормал тузилишдаги моторлар учун

$\gamma = 1,8 \div 2,5$ бўлади. Бу коэффициенти нинг қиймати мотор каталогларида берилади;

$M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n} H_m = 975 \frac{P_n}{n_n}$ кГм — айланттирувчи моментнинг номинал қиймати;

P_n — ротор валидаги фойдали номинал қувват, кВт. Номинал қувватнинг қиймати ҳам мотор шчитиди берилади;

n_n — номинал юклама билан ишлаётган моторнинг номинал частотаси бўлиб, унинг $\frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ бирлигидаги қиймати ҳам мотор шчитиди

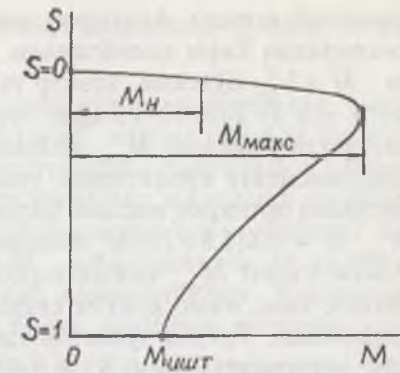
берилган бўлади. Айланттирувчи моментнинг максимал қиймати $M_{\max} = \lambda M_n$ бўлади.

(10.36) ифодадаги ($\pm$) ишоранинг мусбати мотор, манфийси эса генератор режимларига тегишлидир. Шундай қилиб, сирпанишга турли, яъни $S = 0 \div 1$ гача қийматлар бериб, уларга тегишли айланттирувчи момент қийматлари (10.35) ифодадан осонгина аниқланади. 10.7-расмда қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторнинг (10.35) ифода асосида қурилган механик характеристикаси кўрсатилган.

Механик характеристиканинг $S = 0 \div S_{\text{кр}}$ бўлаги унинг иш ёки турғун қисми, $S = S_{\text{кр}} \div 1$ бўлаги эса унинг беқарор ёки турғун бўлмаган қисми дейилади. Характеристиканинг турғун қисмида ишлаётган мотор юкламаси берилгандагига нисбатан M_{c1} ёки M_{c2} га ўзгариб қолгудай бўлса, у ҳолда айланттирувчи моментнинг қиймати ўзгариб моментлар мувозанати, яъни $M = M_{c1}$ ёки $M = M_{c2}$ автоматик равишда тикланади.

Ҳақиқатан, механик характеристика ифодасига биноан юклама ўзгариши билан сирпаниш ҳам ўзгаради. Сирпанишнинг ўзгариши билан эса (10.20) ифодага биноан ток I_2^k қиймати ва, демак, айланттирувчи момент қиймати автоматик равишда ўзгаради. Агар юклама, яъни қаршилик моменти M_c нинг қиймати айланттирувчи моментнинг $M_{\max}$ қийматидан бир оз ортиб кетгудай бўлса, у ҳолда механик характеристикага биноан частота табиий равишда пасаяди. Бунда моторнинг айланттирувчи моменти кўпайиш ўрнига камайиб қолади ва натижада моментлар мувозанати тиклана олмай, мотор ўз-ўзидан тўхтаб қолади.

Демак, юкланишнинг қаршилик моменти тасодифан ҳаддан ташқари катта қийматга эга, яъни $M > M_{\max}$ бўлиб қолса, у ҳолда асинхрон мотор автоматик равишда тўхтаб, шу билан бирга ўз-ўзини



10.7-расм. Асинхрон моторнинг механик характеристикаси.

химоялаб қолади. Асинхрон моторнинг бу хусусияти унинг афзалликларидан бири ҳисобланади. Айлантурувчи моментнинг қиймати $M = U_{1\phi}^2$ бўлгани, электр тармоғидаги кучланиш $U_{1\phi}$ нинг қиймати эса $5 \div 10\%$ га ўзгариб туриши сабабли асинхрон моторнинг каталогда берилган $M_{\text{макс}}$ қийматини амалий ҳисоблашларда $0,8$ коэффициентига кўпайтириб, унинг қисқа вақт давомида номиналга нисбатан ортиқроқ юклама билан ишлаш қобилияти, яъни $M'_{\text{макс}} = 0,8 M_{\text{макс}} = 0,8(1,8 \div 2,5) M_n$ 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. Уртача қувватли қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторлари учун $S_{\text{кр}} = 0,12 \div 0,2$ бўлиб, катта қувватлиларда $S_{\text{кр}} = 0,04 \div 0,05$ бўлади. Ротор чулғамига ташқи қаршилик киритилмаган фаза роторли моторлар учун $S_{\text{кр}} = 0,08 \div 0,3$ 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 $I_{\text{ишт}} = (5 \div 8) I_n$ бўлиб, унинг нисбий қиймати $\frac{I_{\text{ишт}}}{I_n}$ мотор каталогларида берилади. Ишга тушириш токи катта бўлишига қарамай, асинхрон моторнинг ишга тушириш momenti нисбатан кичик, яъни $M_{\text{ишт}} = (1 \div 2) M_n$ 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 вектор 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:

$$M = \frac{m I_2^k}{\omega_1} 4,44 k_{\text{ч1}} W_1 f_1 \Phi_m \cos \psi_2 = k_m \Phi_m I_2^k \cos \psi_2 \text{ Нм}, \quad (10.38)$$

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.

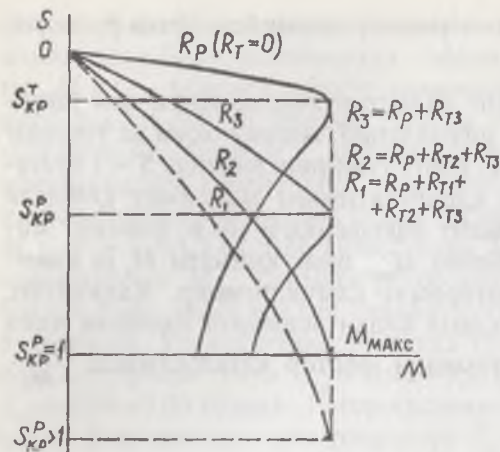
Демак, асинхрон моторнинг айлантирувчи momenti ҳам ўзгармас ток моториники сингари ифодаланиб, магнит оқим ва токнинг актив қисми билан аниқланади. Ишга тушириш пайтида $S = 1$ бўлгани сабабли ротор индуктив қаршилигининг максимал қиймати $X_{2\text{макс}} = 2\pi f_2 L_2 = 2\pi f_1 L_2$ да момент ифодасидаги $\cos \psi_2$ 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 юклама 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 ростланган баъзи кранларда, прокат станларида, пресс ва маховикли қурилмаларда қўллаш мақсадга мувофиқдир.

Бундай моторларнинг максимал momenti $M_{\text{макс}} = 1,5 \div 3,5 M_n$ 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 қаршилик поғоналари ротор занжиридан чиқариб борилади. Ротор занжирига киритиладиган ташқи актив қаршиликни 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 занжиридаги актив қаршиликни $R_2^k = X_1 + X_2^k$ 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 $M_{\text{ишт}}$ ҳам камайиб боради (10.8-расм). 10.8-расмда кўрсатилган резистор характеристикаларнинг сони ротор занжиридаги ишга тушириш резисторининг поғоналар сонига тенг қилиб олинган. Шундай қилиб, ротор занжиридаги актив қаршиликни ўзгартириш билан ишга тушириш токи



10.8-расм. Асинхрон моторнинг резистор характеристикалари.

киритилган резистор поғоналари қаршилигини параллел қўзғатишли ўзгармас ток моториники сингари график 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 $I_{\text{ишт}} = I_{2n}$ ва $M_{\text{ишт}} = M_n$ бўлса, ротор занжиридаги актив қаршилик ўзининг номинал қиймати R_{2n} га тенг бўлади. Бунда қуйидаги пропорцияни тузиш мумкин, яъни $\frac{R_2}{R_{2n}} = \frac{M_n}{M} S$. Агар $M = M_n = \text{const}$ бўлса $\frac{R_2}{R_{2n}} = S$ бўлади. Демак, ротор занжиридаги актив қаршиликнинг нисбий бирликдаги миқдорини сирпаниш билан аниқлаш мумкин. Моторнинг номинал қаршилиги эса қуйидагича аниқланади:

$$R_{2n} = \frac{E_{2n}}{\sqrt{3}I_{2n}},$$

бунда E_{2n} — узук занжирли ротор чулгамининг икки фазаси ора-сидаги э. ю. к.;

I_{2n} — роторнинг номинал токи. Моторнинг E_{2n} ва I_{2n} қийматлари каталогда берилган бўлади.

Ишга тушириш токини номинал ток қиймати I_{2n} гача чегараловчи ротор занжирининг тўла актив қаршилиги фаза роторли моторнинг номинал қаршилиги деб аталади ва R_{2n} билан белгиланади. Демак, ротор чулгамининг ҳар бир фазасидаги актив қаршиликнинг қиймати $R_p = S_n R_{2n}$ 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 $I_{\text{ишт}} = (5 \div 10) I_n$ токи билан ишлайди. Бу токнинг қиймати жуда қисқа вақт ичида юклама токи қийматигача пасайганлиги сабабли унинг мотор учун хавфи бўлмайди. Лекин бундай моторларнинг электр тармоғига уланиш сони катта бўлса, мотор $I_{\text{ишт}}$ токи таъсирида ҳаддан ташқари қизиби кетиши мумкин. Шунга кўра электр тармоғига уланиш сони катта бўлган ҳолларда қисқа туташтирилган роторли моторларни қўллаш тавсия этилмайди. Катта қувватли моторларни ишга туширишда $I_{\text{ишт}}$ 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 юклама 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 $P_m \leq 0,25 P_{\text{тм}}$ бўлиши лозим, бунда P_m — моторнинг қуввати; $P_{\text{тм}}$ — электр тармоғидаги таъминловчи трансформаторнинг қуввати.

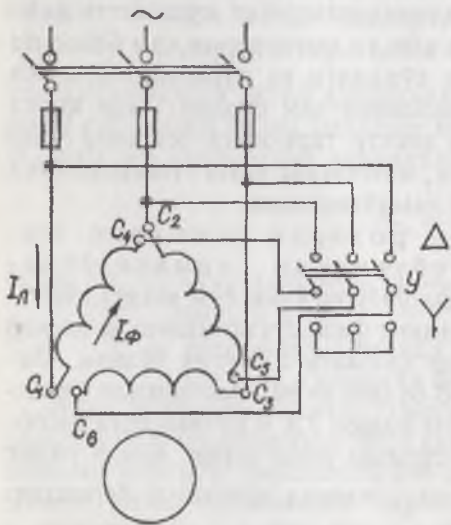
Ҳозирги пайтда электр тармоқларидаги қувват жуда катта қийматга эгалиги учун бир неча минг кВт ли моторларни ҳам бевосита ишга тушириш мумкин. Қишлоқ хўжалиги ва қурилишларда эса нисбатан кичик қувватли ток манбалари ҳам бўлади. Агар қисқа туташтирилган роторли моторни электр тармоғига бевосита улаб 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 чулгамининг фаза кучланишига ва электр тармоғидаги фазалараро кучланиш қийматига боғлиқ бўлади. Масалан, тармоқдаги кучланиш 380 В бўлиб, мотор паспортида берилган кучланиш 220/380 В, яъни унинг фазаси 220 В кучланишга ҳисобланган бўлса, бу моторни юлдуз схемада улаш керак. Бунда унинг фазасига $U_{\phi} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1,73} = 220$ 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 қиймати, учбурчаклик схемадагига нисбатан уч марта камаяди. Ишга тушириш токининг уч марта камайирилиши сабабли электр тармоғидаги кучланишнинг пасайиши ҳам сезиларли бўлмайди. Юлдуз схемада ишга туширилган мотор токининг уч марта камайишига сабаб қуйидагидан иборат бўлади. Ом қонунига биноан $I_n^Y = I_\phi^Y = \frac{U_n}{\sqrt{3}Z_\phi}$ бўлади, бунда $I_n^Y = I_\phi^Y$ — юлдуз схема билан уланган моторнинг линия ва фаза токлари; Z_ϕ — статор чулғамининг фаза қаршилиги. Учбурчаклик схема учун эса $I_n^\Delta = \sqrt{3}I_\phi = \sqrt{3}\frac{U_n}{Z_\phi}$ бўлиб, $\frac{I_n^Y}{I_n^\Delta} = \frac{U_n \cdot Z}{U_n \cdot Z_\phi \cdot 3} = \frac{1}{3}$ 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.

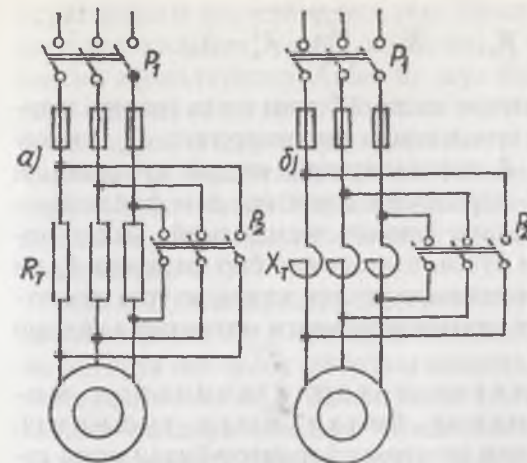
Демак, бу усул билан моторни фақат салт иш режимида ёки $M = (0,3 \div 0,4)M_n$ бўлган юкламаларда ишга тушириш мумкин. 10.9-расмда моторни алмашлаб улагич у билан юлдуз схемадан учбурчаклик схемага ўтказиб ишга тушириш кўрсатилган. Ишга тушириш жараёни тугаши билан мотор учбурчаклик схемага ўтказилади.

Ҳозирги пайтда бу усулдан кенг фойдаланиш мақсадида фаза кучланиши 380 вольтга ҳисобланган ва, демак, нормал иш режимида, 380 вольтли электр тармоғига учбурчаклик схемада уланадиган, керак бўлганида эса юлдуз схемада ишга тушириладиган моторлар кўплаб ишлаб чиқарилмоқда.

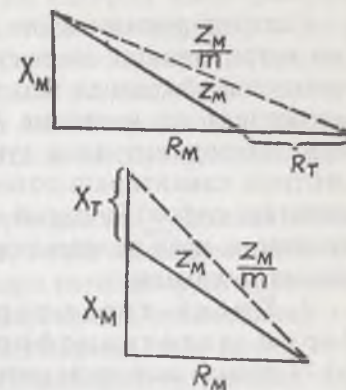


10.9-расм. Асинхрон моторни юлдуз схемасидан учбурчаклик схемаси ўтказиб ишга тушириш.

2. Қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторни унинг статор чулғамига актив ёки индуктив қаршиликларни кетма-кет киритиб ишга тушириш. 10.10-расм, а ва б ларда моторни актив R_r ва индуктив X_r қаршиликлар билан ишга тушириш схемаси кўрсатилган. Бунда электр тармоғидаги кучланишнинг маълум қисми R_r ёки X_r қаршиликларга ўтиб, қолган қисми статор чулғамига берилади. Ишга тушириш жараёни тугаши билан, рубильник P_2 ни



10.10-расм. Қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторни:
а — актив R ; б — индуктив X қаршиликлари воситасида ишга тушириш схемалари.



10.11-расм. Асинхрон моторни ишга туширишдаги ташқи актив R ва индуктив X қаршиликлари қийматини аниқлаш диаграммалари.

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 камайитириш учун статор чулғамига киритиладиган R_r ёки X_r қаршиликлари қуйидагича аниқланади. $M \equiv U^2$ бўлгани учун $n = m^2$, яъни момент токнинг қийматида нисбатан кўпроқ камаяди. Ҳақиқатан, $m = 0,7$ бўлса, $n = 0,49$ бўлади.

10.11-расмда кўрсатилган графиклардан мотор токини m марта камайитирувчи R_r ва X_r қаршиликлар қуйидагича аниқланади:

$$R_r = \sqrt{\left(\frac{Z_m}{m}\right)^2 - X_m^2} - R_s;$$

$$X_r = \sqrt{\left(\frac{Z_m}{m}\right)^2 - R_s^2} - X_s,$$

бунда $\frac{Z_m}{m}$ — моторнинг ишга тушириш токини m марта камайитириш учун керак бўлган тўла қаршилик;

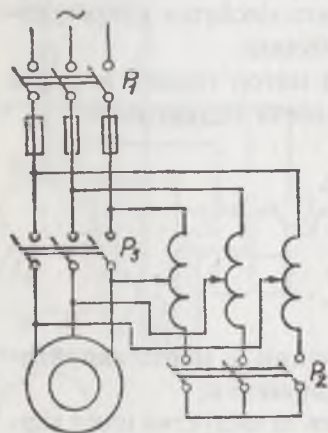
$R_m = R_1 + R_2^k$, $X_m = X_1 + X_2^k$ — моторнинг актив ва индуктив ички қаршиликлари.

Шунга ўхшаш, ишга тушириш моментини n марта камайитириш учун керак бўлган ташқи R_r ва X_r қаршиликлари қуйидагича 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 режимда ёки кичик юклама билан ишга тушириладиган катта қувватли ва паст кучланишли моторларнинг $I_{\text{ишт}}$ ни камайтириш мақсадида актив R_T қаршилигидан, юқори кучланишли моторларда эса индуктив X_T қаршилиги (реактор) дан фойдаланилади. Моторнинг ишга тушириш токини чегараламай, фақат моменти камайтириш лозим бўлса, статорнинг бир фазасига R_T ни киритиш кифоя. Бу оддий ва тежамли усулни кичик ва ўрта қувватли станок, кран ва транспорт механизмларидаги моторларга қўллаш тавсия қилинади.

3. Қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторни 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 автотрансформаторнинг трансформация коэффициенти k_a марта қадар камайтирилган 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 жараёни бошлангандан сўнг, P_2 рубильниги очилади. Бунда автотрансформатор статор чулғамига



10.12-расм. Асинхрон моторни автотрансформатор воситасида ишга тушириш схемаси.

кетма-кет уланган реакторга айланади. Натижада статор чулғамига берилган кучланиш қиймати автотрансформатордагига нисбатан бир оз кўпаяди. Айланиш частотасининг ортиб бориши билан P_3 рубильник беркитилади ва мотор номинал кучланиш билан табиий характеристикага ўтиб ишлай бошлайди.

Демак, моторни автотрансформатор билан ишга тушириш қуйидаги уч босқичда амалга оширилади: биринчи босқичда, статор чулғамига $U_{1-1} = (0,5 \div 0,7) U_n$, иккинчида $U_{1-2} = (0,7 \div 0,8) U_n$, учинчи босқичда $U_{1-3} = U_n$, яъни тўла кучланиш берилади.

Шундай қилиб, моторни автотрансформатор билан ишга туширишда статор чулғамидан ўтадиган токнинг қиймати, реактор ва актив қаршилиқни 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 $I_{\text{ишт}}$ токининг камайиши билан $M_{\text{ишт}}$ нинг ҳам камайиши, баъзи механизм, масалан, ип йигирув ёки қоғоз тайёрлаш машиналари талабига жуда қўл келса, катта қийматли $M_{\text{ишт}}$ 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 электромагнит 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 $3 \div 5\%$ юқори частота n_2 билан айлантрилса, бундай машина асинхрон генератор режимда ишлай бошлайди. Бунда асинхрон машина роторига бирламчи мотор томонидан берилган механик энергия электр энергиясига айланиб, унинг статори орқали электр тармоғига узатилади.

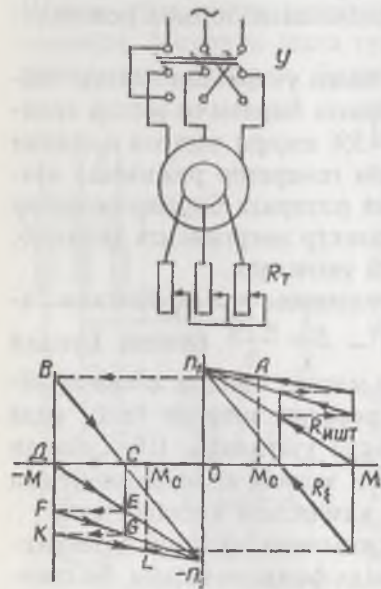
Асинхрон машинанинг генератор режимда $n_2 > n_1$ бўлгани сабабли унинг сирпаниши манфий, яъни — $S = \frac{n_1 - n_2}{n_2}$ бўлади. Бундай машина генератор режимда айланувчи магнит майдон ҳосил қилиши учун электр тармоғидан статорга реактив энергия ўтиб, унда ҳосил бўлган актив энергия эса тармоққа узатилади. Шу сабабли асинхрон генератор электр тармоғидаги қувват коэффициентини кескин камайтиради. Бу унинг асосий камчилиги ҳисобланади.

Асинхрон машинанинг генератор режимдан, кўпинча автотрактор моторларини чиниқтириш стендларида фойдаланилади. Бу стенда автотрактор мотори, даставвал, ёқилғи бериб ишга туширилмайди, балки асинхрон мотор билан маховик сингари айлантрилади ва сўнг унга ёқилғи берилиб аста-секин ишга туширилади. Нати-

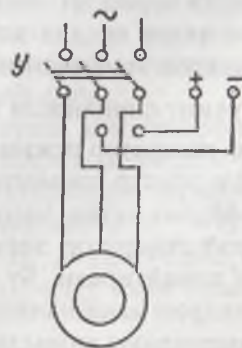
жада автотрактор моторининг частотаси асинхрон моторнинг частотасига яқинлаша боради. Бунда асинхрон моторнинг айлантиврувчи моменти камайиб боради ва автотрактор моторининг n_2 частотасини синхрон частотаси n_1 гача кўпайтирилганда, асинхрон машина электр тармоқдан актив энергия олмай, фақат реактив энергия олиб ишлайди. Сўнгра $n_2 > n_1$ бўлиши билан асинхрон машина генератор режимига ўтади. Бунда асинхрон машинада ҳосил бўлган электромагнит момент автотрактор моторининг айлантиврувчи моментиға тескари бўлади. Демак, асинхрон машина автотрактор моторига юклама бўлиб, унинг механик 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 $S \geq 1$ 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 камайитириш 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.



10.13-расм. Асинхрон моторни тескари уланиш режимига ўтказиш схемаси.



10.14-расм. Асинхрон моторни электродинимик тормозлаш режимига ўтказиш схемаси.

Моторнинг бу режимда ишлаши ва механик характеристикаси параллел қўзғатишли ўзгармас ток моториники сингари бўлади.

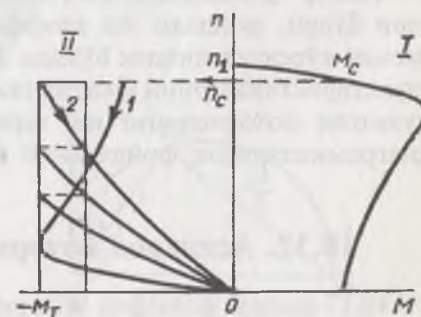
Асинхрон моторнинг тескари уланиш режимида ҳам инерция кучи таъсирида айланувчи қисмларининг кинетик энергияси ёки туширилаётган юкнинг потенциал энергияси электр энергиясига айланиб, ротор занжири қаршиликларининг қизишига сарфланади. Бунда мотор электр тармоғидан энергия олиб, бу энергия ротор занжири қаршиликларининг қизишига сарфланади.

Асинхрон моторнинг электродинимик тормозланиш режими. Моторни тез ва аниқ тўхтатишда электродинимик 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 магнит майдонни кесиб ўта бошлайди, натижада ротор чулғаида э. ю. к. ва, демак, унинг берк занжирида ток ҳосил бўлади. Бу ток билан статордаги магнит майдоннинг ўзаро 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 қаршилигига ва моторнинг бошланғич частотаси қийматларига боғлиқдир (10.15-расм).

Электродинимик тормозлаш режимида юлдуз схема бўйича уланган статор чулғаида бериладиган ўзгармас токнинг қиймати $I_y = 1,223 I_\phi$ бўлади, бунда I_ϕ — статор чулғаидаги фаза токининг номинал қиймати. Учбурчаклик схемада эса $I_y = 2,12 I_\phi$ бўлиши лозим. Фаза роторли мотор учун тормозлаш жараёнини тезлаштириш мақсадида ротор занжирига киритилган қўшимча қаршилик поғоналарини ундан кетма-кет чиқариш керак (10.15-расм).

10.15-расмда асинхрон моторнинг электродинимик тормозлаш режимидаги механик характеристикалари кўрсатилган. Бунда 1 — ротор занжирига ташқи қаршилик киритилмагандаги механик характеристика; 2 — уч поғонали қаршиликка тегишли механик характеристика.



10.15-расм. Асинхрон моторнинг электродинимик тормозлаш режимидаги характеристикалари.

Асинхрон моторларни ўз-ўзини қўзғатиш принципига асосланган электродинамик усул билан тормозлаш ҳам мумкин. Бунда старторга конденсатор батареялари уланади. Моторнинг нормал режимида конденсатор батареялари $\cos\varphi$ ни оширади. Мотор тармоқдан ажратилиши билан у ўз-ўзини қўзғатадиган генератор режимига 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, $S = \frac{P_{\text{м.рот}}}{P_{\text{эм}}}$ бўлгани учун салт иш режимида ротор чулғамининг қизишига сарфланган қувват исрофини $P_{\text{м.рот}} = 0$ деб қабул қилинса, у ҳолда $S \approx 0$; $n_2 \approx n_1$ бўлади. Юкламанинг номинал қийматида $S = \frac{P_{\text{м.рот}}}{P_{\text{эм}}} = 0,01 \div 0,06$ бўлиб, $n_{2n} = n_1(1 - S_n)$ бўлади. $M_2 = 9550 \frac{P_2}{n_2}$, $M = M_0 + M_2$ ва $n_2 = \text{const}$ бўлгани учун айлантирувчи моментнинг ўзгариши мотор валидаги қувватга пропорционал бўлади. Моторнинг магнитлантирувчи токининг қиймати $I_0 \approx (0,25 \div 0,35) I_{1n} \approx \text{const}$. Шу сабабли салт иш режимида $\cos\varphi_1 \approx 0,2$ бўлиб, юкламанинг номиналга яқин қийматида эса у ўзининг энг юқори қиймати, яъни $\cos\varphi_1 = 0,7 \div 0,9$ га эришади. Юкламанинг 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 юклама билан ишлатиш зарур.

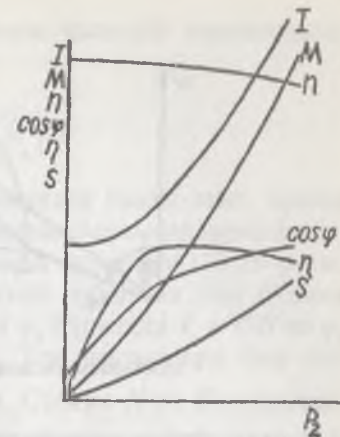
Статор чулғамидаги ток I_1 нинг ўзгариши M нинг ўзгариши сингари бўлиб, фойдали иш коэффициентининг ўзгариши эса 10.16-расмда кўрсатилганидек бўлади. Қуввати кичик асинхрон мотор иш характеристикаларини юклама тажрибаси билан олиш мумкин. Катта қувватли моторларнинг иш характеристикалари уларнинг айлана диаграммаларидан фойдаланиб курилади.

10.12. Асинхрон моторнинг айлана диаграммаси

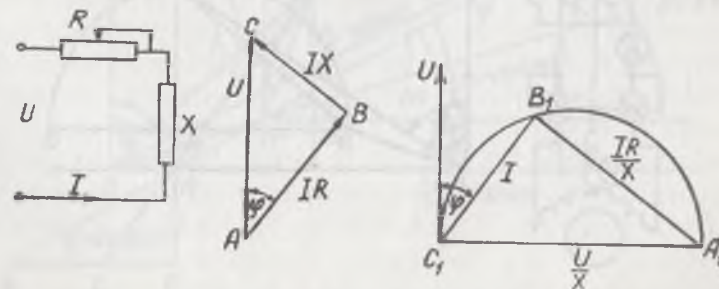
10.17-расмда асинхрон моторнинг айлана диаграммасини тушунтиришга оид схема ва диаграммалар кўрсатилган.

Агар актив қаршилиги R ростланадиган, индуктив қаршилиги X эса ўзгармас бўлган занжирдан ўзгарувчан ток I ўтказилса, у ҳолда

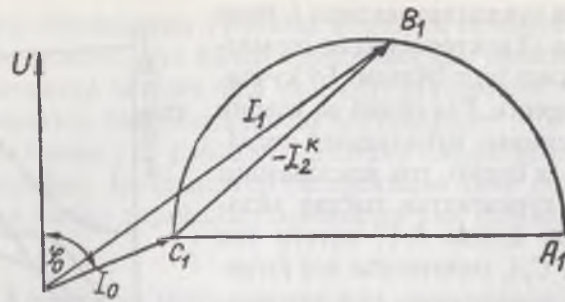
бу занжирдаги кучланиш вектори U нинг қиймати IR ва IX векторларнинг геометрик йиғиндисига тенг бўлади. Бу кучланиш векторларини X га бўлиб ва уларни соат стрелкасининг йўналишига тескари томон 90° га буриб, ток векторининг 10.17-расмда кўрсатилган тоқлар айланаси олинади. Бунда $B_1 C_1$ катети ток вектори I ни, $C_1 A_1$ гипотенуза эса ўзгармас $\frac{U}{X}$ миқдорини ифодалайди. Агар $R = 0 \div \infty$ чегарасида ўзгаради деб қабул қилинса, у ҳолда ток векторининг қиймати $\frac{U}{X}$ дан нолгача ўзгаради. Бунда ток векторининг охири $\frac{U}{X}$ диаметри билан айлана чизади (назарий электротехника курсига қаранг). Бу айлана тоқлар айланаси дейилади. Демак, асинхрон моторнинг 10.5-расмда кўрсатилган Г-симон эквивалент схемаси асосида унинг учун ҳам айлана диаграмма тузиш мумкин бўлади. Бунда асинхрон моторнинг айлана диаграммаси магнитланиш контури учун тузилган вектор диаграмма билан тоқлар айланасидан иборат бўлади. Ҳақиқатан, эквивалент схемадаги ўзаро параллел уланган магнитланиш ва иш занжирларига ўзгармас кучланиш U берилади. Бунда $\vec{I}_1 = \vec{I}_0 + (-\vec{I}_2^k)$ 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 токи ўтади. Бу ток учун юқоридаги сингари тоқлар айланасини тузиш мумкин. I_0 векторининг боши билан $-I_2^k$ векторинининг охири бирлаштириб асинхрон мо-



10.16-расм. Асинхрон моторнинг иш характеристикалари.



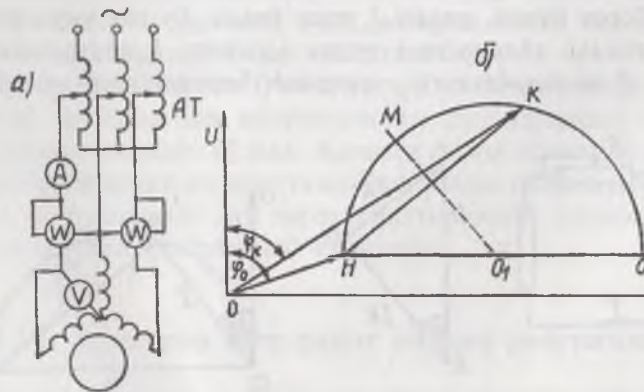
10.17-расм. Асинхрон моторнинг айлана диаграммасига оид схема ва диаграммалар.



10.18-расм. Асинхрон моторнинг айлана диаграммаси.

торнинг айлана диаграммаси ва ундан моторнинг электр тармоғидан олаётган I_1 токи аниқланади. 10.18-расмда асинхрон моторнинг айлана диаграммаси кўрсатилган.

Асинхрон моторнинг айлана диаграммасини қуриш учун унинг салт иш ва қисқа тутатиш тажрибаларидан олинган параметрларидан фойдаланилади. Салт иш тажрибасидан P_0 , $U_0 = U_n$ ва I_0 лар аниқланиб, улардан $\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{m U_{нф} I_{0ф}}$ топилади. Қисқа тутатиш тажрибасидан эса P_k , $I_k = I_n$ ва I_0 лар 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 тутатиш тажрибаси учун керак бўлган паст кучланиш автотрансформатор АТ билан олинали. Бунда мотор ротори тормозлаб қўйилади. Бу тажриба паст кучланишда ўткази-



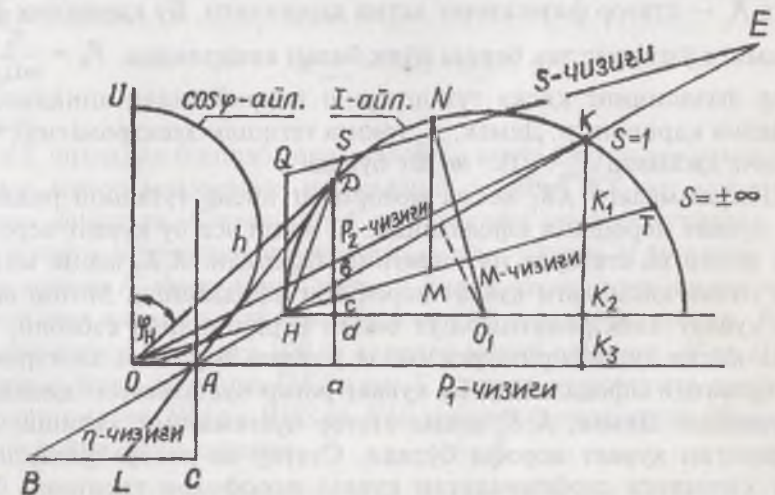
10.19-расм. Асинхрон моторнинг:

а — салт ишлаш ва қисқа тутатиш тажрибаларининг схемаси;
б — айлана диаграммасини қуриш.

лиши сабабли қисқа тутатиш режимидаги ҳақиқий параметрлар қуйидагича ҳисобланади:

$$I_{к1} = I_k \frac{U_n}{U_k}; P_{к1} = P_k \left(\frac{U_n}{U_k} \right)^2.$$

Бунда $I_{к1}$ токи моторни ишга туширишдаги токка тенг. Қисқа тутатиш 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 $I_{к1} = OK$ векторлари қурилади. Ток векторлари бир хил ток масштабда, яъни $m_i \left[\frac{A}{мм} \right]$ да олинали. Сўнгра H ва K нуқталарни бирлаштирилиб, улар ўртасидан перпендикуляр ўтказилади. H нуқтадан абсцисса ўқига ўтказилган параллел чизиқ билан перпендикуляр кесишган O_1 нуқта токлар айланасининг маркази бўлади. Демак, O_1H радиуси билан токлар айланасини қуриш мумкин. 10.20-расмда айлана диаграммадан фойдаланиб асинхрон мотор параметрларини аниқлаш кўрсатилган. Бунинг учун кучланиш векторига нисбатан φ_n бурчак фарқида ток вектори $I_n = OD$ қурилади. Айлана диаграммага қўйилган I_1 токнинг ҳар бир қийматида 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 ўлчан-



10.20-расм. Айлана диаграммадан фойдаланиб, асинхрон моторнинг параметрларини аниқлаш.

ган 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:

$$m_p = m_1 \cdot m \cdot U_{\text{инф}} \frac{\text{Вт}}{\text{мм}},$$

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 туташир режимларига тегишлидир. Шунга кўра HK кесма фойдали қувват P_2 нинг чизиги дейилади.

Демак, $P_2 = m_p \cdot D\theta$ Вт бўлади. Электромагнит 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 электромагнит қувват чизиги H ва K_1 нуқталардан ўтказилади. K_1 нуқтанинг ҳолати қуйидагича аниқланади:

$$\frac{R_1}{R_K} = \frac{K_1 K_2}{KK_2},$$

бунда R_1 — статор фазасининг актив қаршилиги. Бу қаршилиқ фаза чулғамига ўзгармас ток бериш йўли билан аниқланади. $R_K = \frac{P_K}{m I_{K\Phi}^2}$ — мотор фазасининг қисқа туташтириш тажрибасидан аниқланадиган актив қаршилиги. Демак, $I_{ин}$ токига тегишли электромагнит қувватнинг қиймати $P_{эм} = Dc \cdot m_p$ Вт бўлади.

Диаграммадаги KK_2 кесма моторнинг қисқа туташир режимдаги қувват исрофини ифодалайди. K_1 нуқта эса бу қувват исрофининг ротор ва статорга тегишлигини ажратади. $K_2 K_3$ кесма моторнинг пўлат қисмидаги қувват исрофини ифодалайди. Мотор роторига қувват электромагнит йўл билан берилганлиги сабабли, KK_1 кесма қисқа туташтириш режимда роторга берилган электромагнит қувватни ифодалайди. Бу қувват ротор чулғамининг қизишига сарфланади. Демак, $K_1 K_2$ кесма статор чулғамининг қизиши учун сарфланган қувват исрофи бўлади. Статор ва ротор чулғамларининг қизишига сарфланадиган қувват исрофлари тахминан бири-бирига тенг бўлгани учун айлана диаграмма қуришда KK_2 кесмадан K_1 ни топиш учун KK_2 ни тенг бўлақларга бўлинади.

Демак, ротор ва статор чулғамининг мислари ва пўлатидаги қувват исрофи қуйидагича аниқланади:

$$P_{м.рот} = bc \cdot m_p \text{ Вт},$$

$$P_{м.рот} = cd \cdot m_p \text{ Вт},$$

$$P_n = da \cdot m_p \text{ Вт}.$$

Моторнинг айлантирувчи моменти $M = P\omega_1$ ва $\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60} = \text{const}$ бўлгани учун $P_{эм} = M$, $M = Dc \cdot m_m$ бўлади. Бунда m_m — момент масштаби бўлиб, унинг қиймати қуйидагича аниқланади:

$$m_m = 9,55 \frac{m_p}{n_1} \frac{H_m}{\text{мм}}.$$

Роторнинг ҳаракатсиз, яъни $S = 1$ бўлган ҳолатида унга берилган электромагнит қувват KK_1 кесма билан ифодаланиши сабабли моторнинг ишга тушириш моменти ҳам шу кесма билан топилади, яъни

$$M_{ишт} = KK_1 \cdot m_m.$$

Айлантирувчи моментнинг максимал қийматини аниқлаш учун тоқлар айланасининг маркази O_1 дан моментлар чизигига перпендикуляр ўтказилади ва бу перпендикулярнинг айлана билан кесишган N нуқтасидан моментлар чизигига қадар вертикал NM ўтказилади. Бунда моторнинг максимал моменти NM кесма билан ифодаланади, яъни

$$M_{\text{макс}} = NM \cdot m_m$$

бўлади.

HK_1 чизикдан бошлаб тоқлар айланасигача бўлган вертикал миқдорлар мотор моментини ифодалаши сабабли HK_1 ни моментлар чизиги дейилади. Сирпаниш S ни аниқлаш учун H нуқтадан абсцисса ўқига HQ перпендикуляр ўтказилади. Сўнгра Q нуқтадан фойдали қувват P_2 чизигининг давоми билан кесишгунга қадар ҳамда моментлар чизигига параллел бўлган QE чизик ўтказилади. Бунда QE чизикнинг узунлиги 100 га каррали қилиб олинади. H ва D нуқталардан ўтган чизикни QE билан S нуқтада кесишгунга қадар давом эттирилади Hbc ва HQS ва HDc учбурчакликларнинг ўхшашлигидан қуйидагини оламиз:

$$S = \frac{P_{м.рот}}{P_{эм}} = \frac{QS}{QE}.$$

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 чизикларининг 100 мм га тенг бўлган оралиғида абсцисса ўқига параллел қилиб BC чизик билан L нуқтада кесишгунга қадар давом эттирилади. Моторнинг фойдали иш коэффициенти қуйидаги нисбатан 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 коэффициенти ифодаляди. 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

$$\frac{M_{\max}}{M_n} = \frac{NM}{Dc},$$

ишга тушириш хусусияти эса $\frac{M_{\text{ишг}}}{M_n} = \frac{KK_1}{Dc}$, бўлади.

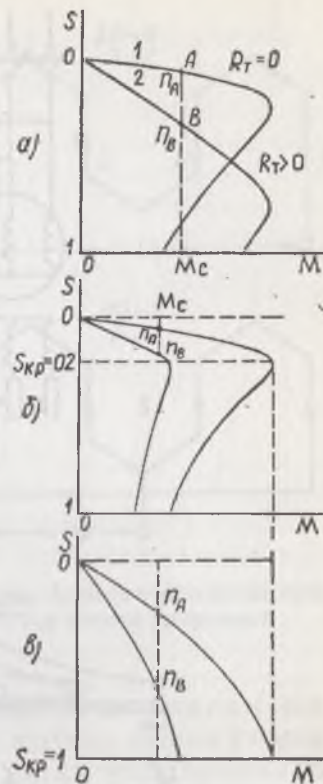
Айлана диаграммадан, асосан, асинхрон моторнинг иш характеристикаларини қуришда фойдаланилади. Бунинг учун юклама тажрибасининг кераги бўлмай, статор токига $I_1 = \left(\frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}, 1, \frac{5}{4}\right) I_n$ қийматларини бериб, моторнинг уларга тегишли параметрларини айлана диаграммадан топилади ва улар асосида моторнинг иш характеристикалари қурилади.

10.13. Асинхрон моторнинг айланиш частотасини ростлаш усуллари

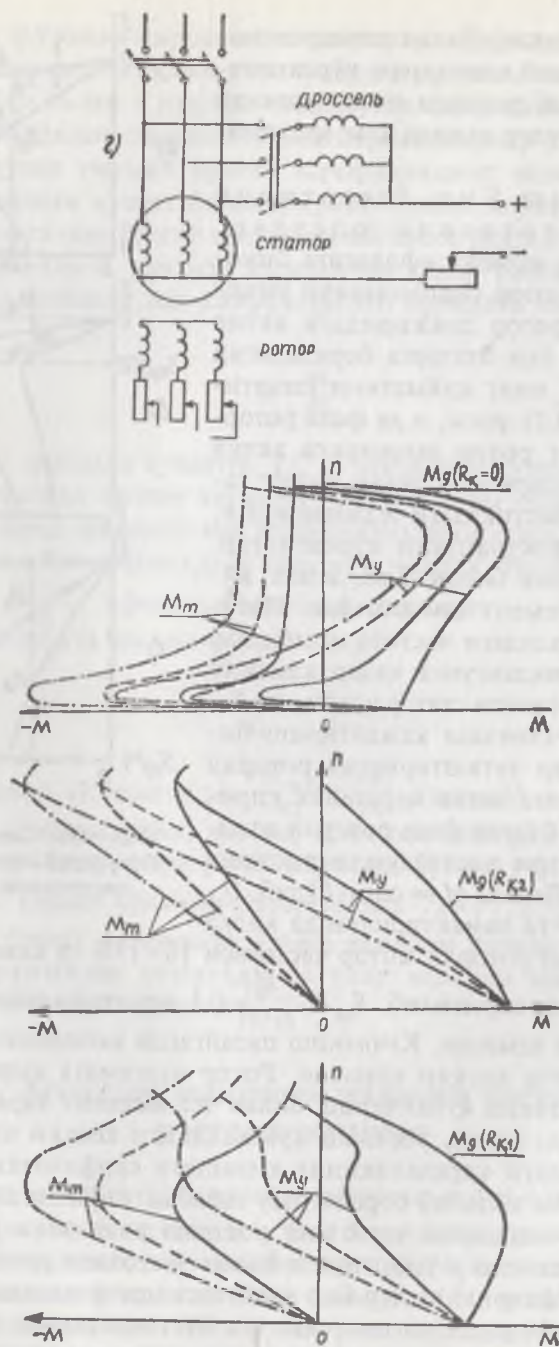
Асинхрон моторнинг айланиш частотаси $n_2 = n_1(1-S) = \frac{60f_1}{p}(1-S)$ бўлгани учун унинг частотаси n_1 ёки S ни ўзгартириш билан ростланади. Статордаги магнит майдон частотаси n_1 ни ўзгартириш учун статор чулғамининг жуфт кутблар сони p ни ёки унга бериладиган уч фазали токнинг частотаси f_1 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 қониқарли кўрсаткичларга эга қилиб ростлаш анча мураккаб бўлгани учун улар амалда кам қўлланилади.

Сирпаниш S ни ўзгартириб мотор частотасини ростлаш. Айлантурувчи 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, a 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, айлантурувчи момент ҳам камаяди. Натижада мотор валидаги частота моментлар мувозанати тиклангунга қадар камайиб боради. 10.21-расмда статор чулғамига бериладиган кучланиши камайтириш билан b — қисқа туташтирилган роторли ва c — 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, $S_{кр} = \frac{R_2^k}{x_1 + x_2} = 1$ қилинган мотор частотаси 50÷60% га камаяди. Кучланиш пасайганда моторнинг ўта юкланиш қобилияти кескин камаяди. Ротор чулғамига киритиладиган актив қаршиликни кўпайтириш билан эса механик характеристика қаттиқлиги ва, демак, ростлаш мўътадиллиги кескин пасайиб, ротор занжиридаги қаршиликнинг қизишига сарфланадиган қувват исрофи кескин кўпайиб боради. Шу сабабли, сирпанишни ўзгартириш билан олинадиган частотани ростлаш диапазони $D \leq 1,3 \div 1,5$ бўлади. Сирпанишни ўзгартириш билан частотани ростлаш диапазонини кенгайтириш ва ҳар бир частотада мотор ишини мўътадиллаш, яъни қониқарли қаттиқликка эга бўлган механик характеристика олиш учун муаллиф иштирокида янги усул таклиф этилган. Бу усулга биноан частотани ростлаш учун ротор занжирига актив



10.21-расм. Сирпаниш S ни ўзгартириб асинхрон мотор частотасини ростлаш.



10.21-расм. г. Сирпанишни ўзгартириб асинхрон мотор частотасини ростлаш.

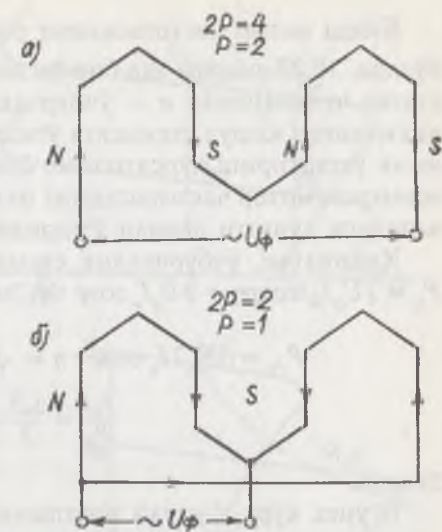
қаршилиқни киритиш билан бир-га статор чулғамига ўзгармас ток ҳам берилади. Қаршилиқ ҳамда ўзгармас ток қийматларини ўзгартиш билан мотор частотасини кенг диапазонда ростлаш имкони олинади. Частотанинг бундай ростланишида асинхрон машина бир вақтда мотор ва электродинamik тормоз режимларида ишлайди. Шу сабабли бу усулда асинхрон моторнинг салт иш режимидаги тезлигини ҳам ва, демак, механик характеристика қаттиқлигини ҳам ростлаш имкони олинади. 10.21-расм, г да фаза роторли мотор частотасини янги усулга биноан ростлашда қўлланилган схема ва олинган механик 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 чулғамининг 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 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.



10.22-расм. Асинхрон моторнинг жуфт қутблар сонини ўзгартириш.

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; *б* — иккиланган юлдуз схемасига ўтказиб, чулғамнинг жуфт кутблар сонини ўзгартириш кўрсатилган. бунда қисқа туташтирилган роторли асинхрон мотор частотасининг икки марта ростланишида ҳам унинг валидаги қуввати деярли ўзгармай қолади.

Ҳақиқатан, учбурчаклик схемасида уланган моторнинг қуввати $P_{\Delta} = 3 U_{\phi} I_n \cos \varphi = 3 U_{\phi} I_n \cos \varphi \cdot \eta$, иккиланган юлдуз схемасида эса,

$$P_{YY} = 3 U_{\phi} 2 I_n \cos \varphi \cdot \eta = \sqrt{3} U_{\phi} \cdot 2 I_n \cos \varphi \cdot \eta \text{ бўлиб,}$$

$$\frac{P_{YY}}{P_{\Delta}} = \frac{2\sqrt{3}}{3} = 1,15 \approx 1$$

бўлади.

Шунга кўра, бундай ростлашни частотанинг ўзгармас қувватда ростланиши деб аталади. Икки хил частотада ҳам бундай мотордан тўла фойдаланиш учун уни турли частоталарда 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 $P_{YY} = 3 U_{\phi} 2 I_n \times \cos \varphi \cdot \eta$ бўлиб, $\frac{P_{YY}}{P_Y} = 2$, $\frac{M_{YY}}{M_Y} = \frac{P_{YY} n_Y}{n_{YY} P_Y} = 1$ бўлади. Тез-

лиқнинг қиймати икки мартага ростланганида айлантирувчи моменти ўзгармайди. 10.24-расм, *a* ва *б* ларда частотанинг $M = \text{const}$ ва $P = \text{const}$ бўлиб ростланишидаги механик характеристикалар кўрсатилган. Жуфт кутблар сонини ўзгартиришда частота силлиқ ўзгармай поғона-поғона бўлиб ростланса ҳам, аммо турли частоталарда механик характеристика қаттиқлиги

ва ростлашдаги тежамлилик 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.

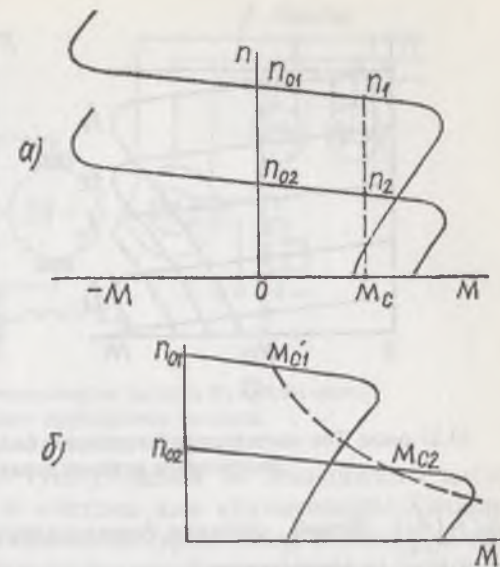
Ток частотасини ўзгартириш билан айланиш частотасини ростлашда асинхрон моторнинг $\cos \varphi$, η ва $\lambda = \frac{M_{\text{макс}}}{M_n}$ каби параметрларининг номинал қийматида қолиши учун М. П. Костенко аниқлаган қуйидаги боғланишга риоя қилиш керак, яъни

$$\frac{U}{U_n} = \frac{f}{f_n} \sqrt{\frac{M_c}{M_{cn}}}, \quad (10.38)$$

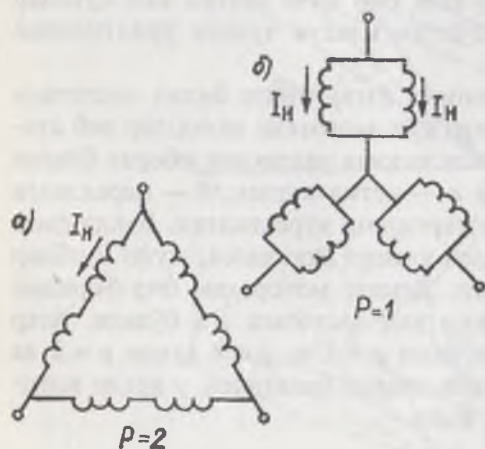
бунда U_n ва M_{cn} — номинал частота f_n га тегишли номинал кучланиш ва қаршилик моменти;

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 кучланишни частотага пропорционал равишда ўзгартириш лозим бўлади. Бунинг учун, масалан, бирламчи моторнинг частотасини ўзгартириш билан частотаси ўзгартириладиган синхрон генераторнинг қўзғатувчи токини ўзгартирмаслик лозим. Агар частота ўзгариши билан $M_c \equiv n_2^2$ бўлса, у ҳолда $n_2 = \frac{60f}{P_2} (1-s)$ ва, демак, $n_2 \equiv f$ бўлгани учун $M_c \equiv f_2$,

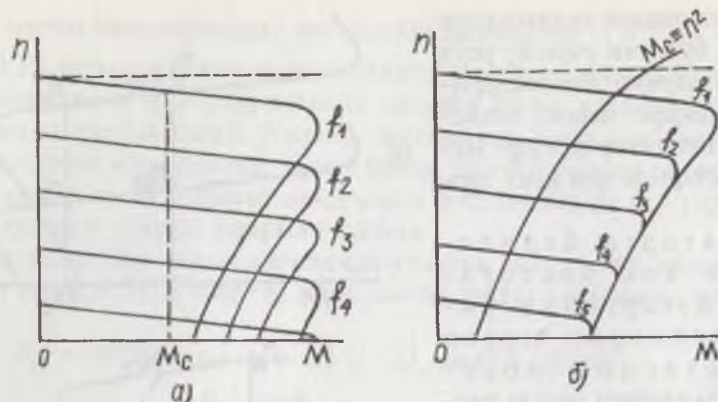


10.24-расм. Асинхрон моторнинг жуфт кутблар сонини ўзгартириш билан частотасини ростлашдаги механик характеристикалари.



10.23-расм. Асинхрон моторнинг статор чулғами:

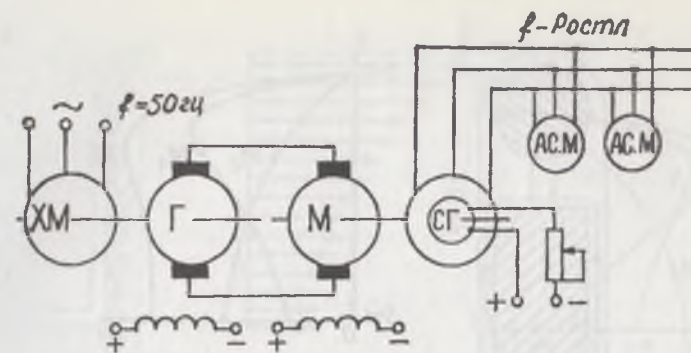
a — учбурчаклик схемадан; *б* — иккиланган юлдуз схемасига ўтказиб жуфт кутблар сонини ўзгартириш.



10.25-расм. Ток частотасини ўзгартириш билан асинхрон мотор частотасини ростлашдаги механик характеристикалар.

$\frac{U}{U_n} = \left(\frac{f}{f_n}\right)^2$ бўлиб, моторга бериладиган кучланиш қийматини частотанинг квадратиغا пропорционал равишда ўзгартириш керак. Бунинг учун қўзғатувчи ток қийматини синхрон генераторнинг айланиш частотасига пропорционал равишда ўзгартириш лозим. (10.38) ифодани олишда асинхрон моторнинг магнит 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 риоя 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 механик характеристикалари кўрсатилган.

Асинхрон моторга электр тармоғидаги ток частотасининг кучланишини ўзгартириб бериш билан унинг частотасини ростлаш учун турли типдаги частота ўзгартиргичлардан фойдаланилади. Электр машина частота ўзгартгичлар синхрон генераторли частота ўзгартгичи ва ундан таъминланувчи асинхрон моторлари системасининг принципиал схемаси кўрсатилган. Бундай ростлаш системасини прокат станининг рольганг механизмида учратиш мумкин. 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 электр машинадан иборат бўлиб, частотани $D = 12$ диапазонида ростлаш

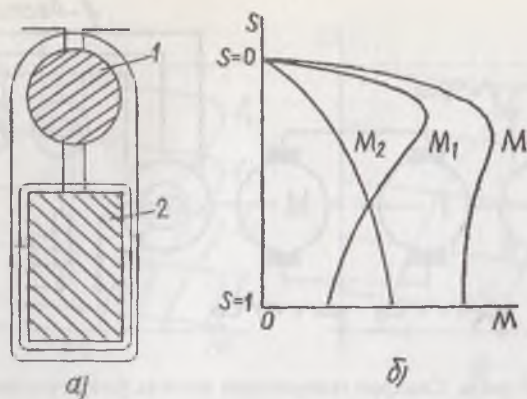


10.26-расм. Синхрон генераторли частота ўзгартгич-мотор системасининг принципиал схемаси.

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 кўпайтириб берувчи частота ўзгартгичлардан таъминланувчи асинхрон моторлари билангина электрошпиндель номли силлиқлаш станогиди $150000 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ га тенг бўлган частотани олиш имкони бўлади. Ток частотасини ўзгартириш билан айланиш частотасини ростлашда олинадиган кўрсаткичлар, асосан, частота ўзгартгичнинг техника ва иқтисодий кўрсаткичлари билан аниқланади.

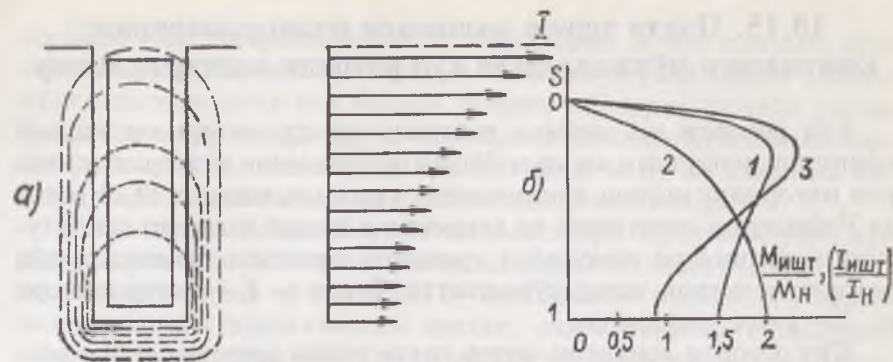
10.14. Қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторларнинг махсус типлари

Қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторлар ўзининг оддийлиги ва ишлашда ишончилиги каби афзалликлари билан бир қаторда ишга тушириш токининг катталиги, моментининг кичиклиги каби камчиликларга ҳам эга. Қўш хонали ва чуқур 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



10.27-рasm. Кўш хонали асинхрон моторнинг:
а — роторининг пазининг; б — механик характеристикаси.

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 моментнинг 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 $I_2 \cos \varphi_2$ қиймати эса анчагина катта бўлади. Демак, нормал моторга нисбатан кўш хонали моторнинг ишга тушириш токи кичик, ишга тушириш моменти эса катта бўлади. Ишга тушириш жараёни тугаши билан сирпаниш қиймати ва, демак, роторнинг индуктив қаршилиги жуда ҳам кичик бўлиб қолгани учун айлантирувчи момент асосан пазнинг ички қисмидаги чулғам токидан ҳосил бўлади. Шу сабабли бу чулғамни иш чулғами дейилади. 10.27-рasm, б да кўш хонали асинхрон моторнинг механик 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. Кўш хонали мотор роторини такомиллаштириб чуқур пазли мотор яратилган. Чуқур пазли мотор ҳозирги пайтда қисқа туташтирилган роторли



10.28-рasm. Чуқур пазли асинхрон моторининг:
а — роторининг пазининг; б — ишга тушириш характеристикалари.

моторларнинг асосий типини ҳисобланади. Бундай мотор роторининг чуқур пазларига кўндаланг кесими бўйи энига нисбати жуда катта бўлган алюминий ўтказгичлар ўрнатилади (10.28-рasm, а). Ўтказгичнинг пастки қисми зич, юқори қисми эса сийрак бўлган магнит куч чизиқлари билан ўралгани учун чуқур пазли моторнинг ишга тушириш жараёни ҳам худди кўш хонали моторники сингари, яъни ишга тушириш токи ротор чулғами кўндаланг кесимининг 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-рasm, б да чуқур пазли моторнинг ишга тушириш характеристикалари кўрсатилган.

Бунда 1 — чуқур пазли ва 3 — нормал тузилишдаги қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторларнинг механик характеристикалари; 2 — чуқур пазли мотор ишга тушириш токининг сирпанишга нисбатан ўзгариш эгри чизиғи. 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.

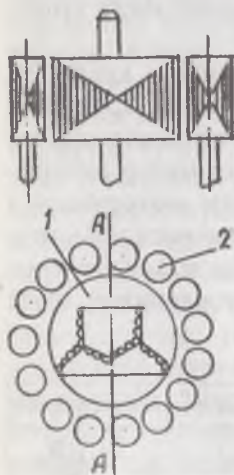
Кўш хонали мотор		Чуқур пазли мотор		Нормал тузилишдаги мотор	
$I_{\text{ишт}}/I_H$	$M_{\text{ишт}}/M_H$	$I_{\text{ишт}}/I_H$	$M_{\text{ишт}}/M_H$	$I_{\text{ишт}}/I_H$	$M_{\text{ишт}}/M_H$
3,3	1,0	4,0	1,2	4,0	0,8
3,7	1,5	4,8	1,5	6,0	1,0
5,5	2,0	—	—	7,0	1,2

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 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 бўлмиш шпинделларнинг юритмаси учун махсус яратилган. Бундай моторнинг статори фаза роторли асинхрон моторнинг ротори тузилишига ўхшаш бўлиб, унинг пазларига АА чизиги бўйича бўлинган иккита уч фазали чулғам ўрнатилади. Статор атрофидаги цилиндр шакли барабанга ўрнатилган шпинделларнинг учи бу моторнинг қисқа туташтирилган роторлари билан тугайди. Демак, мотор роторларининг сони пахта териш машинасининг барабанига ўрнатилган шпинделлар сонига тенг қилиб олинади.

Статор чулғамлари электр тармоғига маълум тартибда уланса, уларда қарама-қарши йўналишдаги югурувчи деб аталмиш магнит майдонлари ҳосил бўлади. Бу магнит майдонлар билан қисқа туташтирилган роторларни кесилиши натижасида ҳосил бўлувчи электромагнит кучлар таъсирида АА чизигининг 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 тескарига айланиб, пахтани териш технологиясига мувофиқ ҳаракат олинади. Ҳар бир шпиндель ҳам ўз ўқи атрофида, ҳам барабан билан бирга берилган ўзгармас частотада айланиши 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



10.29-расм. Кўп роторли асинхрон мотор.

сек давомида ўзгариши 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 электр юритма қўлланилса, бу юритманинг ишлашдаги мўтадиллиги ҳамда ишончилиги ортади, уни автоматик бошқариш, шпинделлар частотасини электр усулда ростлаш имкони олинади.

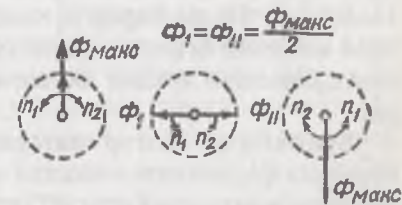
Мотор статори чулғамларини ток билан таъминлашда ҳосил қилинган асимметрия асосида шпинделлар (роторлар) ни ўз ўқи атрофида айлантиришдан ташқари, улар ўрнатилган барабани ҳам берилган ўзгармас частотада айлантириш мумкин.

Бунда пахта териш машинасининг кинематикаси анча соддалашиб, унинг техник ва иқтисодий кўрсаткичлари кескин равишда кўтарилади. Кўп роторли асинхрон мотордан ташкил топган электр юритмадан тўқимачилик машиналари ва шу кабиларда ҳам фойдаланиш мумкин. Бундай электр моторининг фойдали иш коэффициенти $\eta \approx 0,4 \div 0,5$ бўлади.

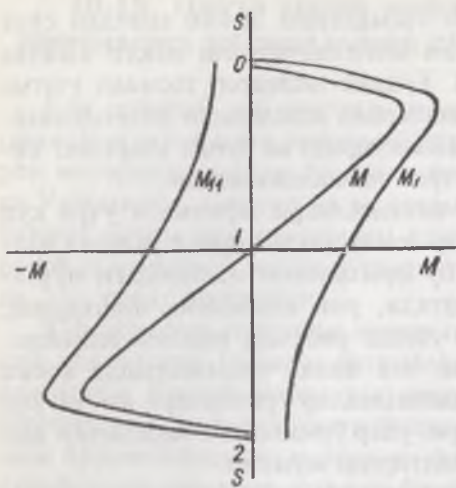
10.16. Бир фазали асинхрон моторлар

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 магнит оқим ҳосил бўлади. Пульсацияланувчи магнит майдонни қийматлари $\frac{\Phi_{\max}}{2}$ бўлган ва бир-бирига тескари йўналган иккита бир хил синхрон частота $n_1 = n_2 = \frac{60f_1}{p}$ билан айланаётган магнит майдонларнинг йиғиндисидан иборат деб қабул қилиш мумкин (10.30-расм).

Бу айланувчи магнит 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



10.30-расм. Пульсацияланувчи магнит майдоннинг иккита айланувчи магнит майдон сифатида тасвирланиши.



10.31-расм. Уч фазали асинхрон моторнинг бир фазали режимидаги механик характеристикаси.

Бунда ротор занжирида $\cos\psi_{11} < \cos\psi_1$ бўлгани учун M_1 моменти M_{11} га нисбатан катта бўлади. Ҳақиқатан уннг томонга n_{2p} частота билан айланаётган ротор чулғамининг магнит оқими Φ_1 билан кесилиш частотаси $n_{s1} = n_1 - n_{2p} = n_1 - n_1(1 - S) = n_1 S$ бўлса, Φ_{11} билан кесилиш частотаси эса $n_{s2} = n_1 + n_{2p} = n_1(2 - S)$ бўлади. Демак, $n_{s2} > n_{s1}$ бўлгани учун n_{s2} частота билан кесилган ротор занжиридаги индуктив қаршилик нисбатан катта ва, демак, $\cos\psi_{11} < \cos\psi_1$ бўлади.

10.17. Бир фазали моторларни ишга тушириш

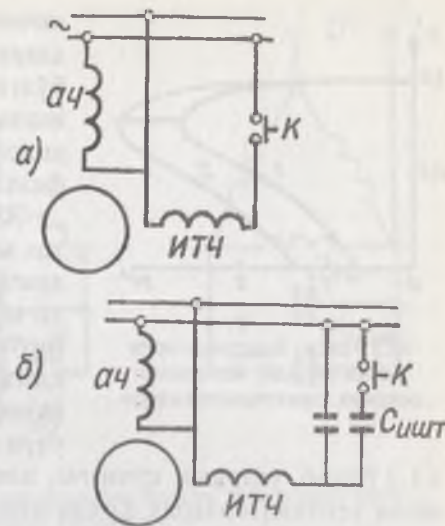
Юқоридаги мулоҳазага биноан оддий бир фазали, яъни статорига биргина чулғам ўрнатилган, ротори эса қисқа туташтирилган чулғамга эга бўлган моторни ишга тушириш учун даставвал, уни ташқи куч билан бирор n_2 частотагача айлантириш лозим. Бир фазали моторни бевосита ишга тушириш учун унинг статоридаги чулғамга берилган токдан айланувчи магнит майдон ҳосил бўлиши зарур.

Бунинг учун мотор статорига, ўқлари бир-бирига нисбатан, 90° бурчакка фарқланувчи иккита чулғамни жойлаштириб, улардаги токни бир-бирига нисбатан 90° 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

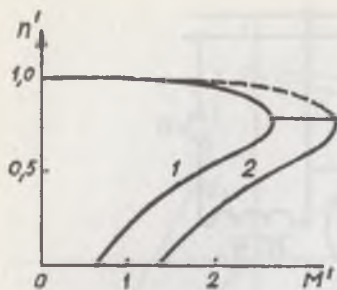
яқин бурчакка фарқ қилиши учун бир фазали моторни 10.32-расм, а ва б да кўрсатилган схемалар билан ишга туширилади. 10.32-расм, а даги схемада бир фазали моторнинг ишга тушириш чулғами ўрамлари сони кам бўлган ингичка симдан тайёрланиб, унинг актив қаршилиги асосий чулғамникига нисбатан катта, индуктив қаршилиги эса кичик бўлади. Шу сабабли бу чулғамлардаги тоқлар фазаси $0^\circ < \varphi < 90^\circ$ га фарқ қилиб, статорда айланувчи магнит майдон ҳосил бўлади. Демак, бундай моторни бевосита ишга тушириш мумкин.

Ишга тушириш жараёни тугагач, қисқа вақт ишлашга ҳисобланган ишга тушириш чулғами ИТЧ электр тармоғидан тугмача К билан ажратилади. 10.32-расм, б даги схемада ишга тушириш чулғами конденсатор орқали электр тармоғига уланади. Бунда ишга тушириш жараёни 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 техник иқтисодий кўрсаткичлари уч фазалига нисбатан анча паст бўлади. Ҳақиқатан Φ_1 ва Φ_{11} магнит 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 тушириш чулғамига конденсатор киритилган моторларда $\eta = 0,6 \div 0,75$, $\cos\varphi = 0,8 \div 0,95$ бўлиб уч фазали моторларникига яқинроқдир. Аммо бундай моторнинг ишга тушириш моменти кичик, яъни $M_{шт} \approx 0,3 M_n$ бўлади. (10.33-расм, 1 эгри чизик). Конденсаторли моторда $M_{шт}$ ни ошириш учун ишга тушириш чулғамидаги С сифимли конденсаторга параллел қилиб $C_{шт}$ уланади. Бунда моторнинг механик характеристикаси 10.33-расмдаги 2 эгри чизиги билан ифодаланади. Конденсаторли мотордаги конденсаторнинг сифими номинал юклама режимига ҳисобланган бўлиб, унинг қиймати $C = 0,05 P_n$ (мкф) бўлади, бунда P_n — моторнинг номинал қуввати, Вт. Аммо



10.32-расм.

а — бир фазали; б — икки фазали асинхрон моторларни ишга тушириш схемалари.



10.33-расм. Конденсаторли (икки фазали) моторнинг механик характеристикалари.

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 магнит қутбларига кийгизилган мис ҳалқачалар ишга тушириш чулғами вазифасини ўтайди. Бундай моторлар учун $\eta = 0,3$, $\cos \varphi = 0,4 \div 0,6$; $\lambda = 1,1 \div$

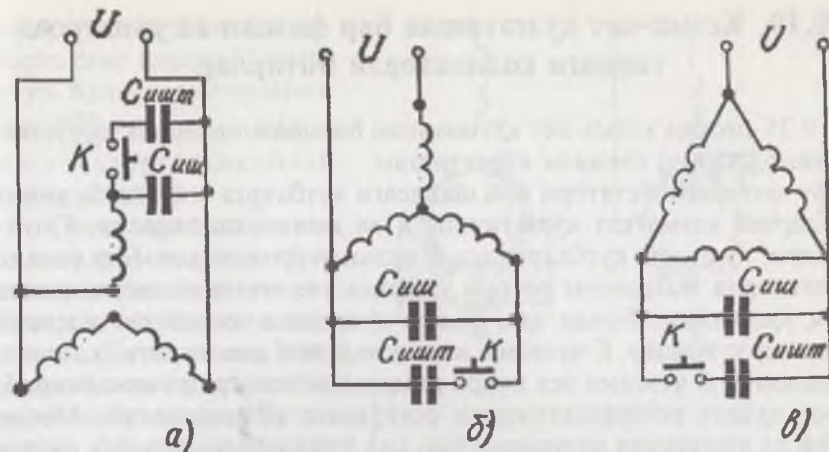
$\div 1,2$ бўлиб, улардан, кўпинча, электр патенфонларида, кичик қувватли вентиляторларда фойдаланилади. Ҳозирги вақтда характеристикаси анча яхшиланган бундай моторлар кир ювиш машиналарида ҳам ишлатилмоқда. Умуман, бир фазали ва конденсаторли моторларнинг кичик қувватлиларидан автоматикада, турмушда кенг тарқалган совитиш қурилмаларида, кир ювиш ва тикув машиналарида, магнитофон ва шу кабиларда фойдаланилади. Бир фазали юқори частотали моторлар, бундан ташқари, ўрмон 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 қаршиликли фаза силжитгич воситасида бир фазали тармоққа улаб ишлатиш схемалари кўрсатилган.

Схемалардаги $C_{иш}$ ва $C_{ишт}$ тегишлича иш ва ишга тушириш конденсаторларининг сиғимларидир. Агар мотор салт иш режимида ёки кичик юклама билан ишга тушириладиган бўлса, $C_{ишт}$ нинг кераги бўлмайди — K тугмачаси босилмайди. Номинал юкламада эса даставвал K тугмачаси босилади, сўнгра мотор электр тармоғига уланади. Ишга тушириш жараёни тугаши билан K тугмачаси бўшати-



10.34-расм. Уч фазали асинхрон моторларини бир фазали электр тармоғига улаб ишга тушириш схемалари.

либ, $C_{ишт}$ 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 сиғим 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 $60 \div 80\%$ ига тенг бўлади. 10.34-расм, а даги схемага биноан ишга туширилувчи мотор учун иш конденсаторининг сиғими қуйидаги эмпирик формула билан аниқланади:

$$C_{ишт} = 2740 \frac{I_{1н}}{U_{1н}} \text{ мкФ.}$$

$$\text{б схемада } C_{иш} = 2860 \frac{I_{1н}}{U_{1н}} \text{ мкФ,}$$

$$\text{в схемада } C_{иш} = 4800 \frac{I_{1н}}{U_{1н}} \text{ мкФ,}$$

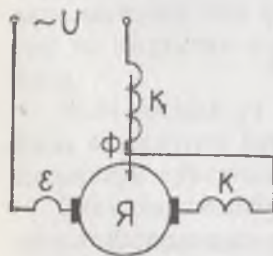
бу ерда $I_{1н}$ — уч фазали моторнинг номинал токи, А;
 $U_{1н}$ — уч фазали моторнинг номинал кучланиши, В.

Ишга тушириш моментини номинал момент қийматигача қўтариш учун $C_{иш} (2,5 \div 3) C_{ишт}$, максимал моментгача қўтариш учун эса $C_{иш} = (6 \div 8) C_{ишт}$ 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 ўзакларига кетма-кет қўзғатишли K ва компенсацияловчи K чулғамлари, қўшимча қутбларга эса E чулғами ўрнатилади. Бир фазали коллекторли моторнинг ротори ўзгармас ток моторининг якорида 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 оқим бир вақтда ўзгариб, натижада бир томонга йўналган айлантирувчи момент ҳосил бўлади. Коллекторли моторда ҳосил бўлган айлантирувчи момент $2f$ частота билан пульсацияланиб, унинг ўртача қиймати максимал моментнинг ярмисига тенг, яъни $M_{yp} = \frac{M_{max}}{2}$ бўлади. Моторнинг қўзғатувчи чулғамидаги токдан ҳосил бўлувчи асосий магнит оқим ҳам пульсацияланувчи бўлиб, ундан якорь чулғамида трансформаторли E_{tr} ва айланишли $E_{айл}$ э. ю. к. лар ҳосил бўлади. Чўткаларни геометрик нейтрал бўйича ўрнатиб E_{tr} қийматини нолга тенглаштирилади ва натижада мотор ишига E_{tr} нинг салбий таъсири йўқотилади (10.36-расм, а). Шундай қилиб, бир фазали коллекторли моторнинг айланишида ҳам унинг якорида ўзгармас ток мотори якоридаги 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.



10.35-расм. Кетма-кет қўзғатишли бир фазали коллекторли моторнинг уланиш схемаси.

10.36-расм, в да бир фазали коллекторли моторнинг вектор диаграммаси кўрсатилган. Бунда $I\Sigma X$ — чулғамлардаги ўзиндукция таъсирида ҳосил бўлган индуктив қаршиликларда кучланиш тушуви; $I\Sigma R$ — чулғамлардаги актив қаршиликларда кучланиш тушуви; демак, бир фазали коллекторли моторнинг э. ю. к. лар тенгламаси $\bar{U} = -\bar{E}_{айл} + \bar{I}\Sigma R + \bar{I}\Sigma X$ бўлади. 10.36-расм, в да кўрсатилган вектор диаграммага биноан мотор частотасини ошириш билан $E_{айл}$ ҳам ортиб, ток билан кучланиш орасидаги бурчак фарқининг қиймати камаяди. Демак,

юқори частотали моторларда $\cos\phi$ юқори бўлгани учун бундай моторларни 8000 $\frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ га қадар юқори частоталарга ҳисоблаб тайёрланади.

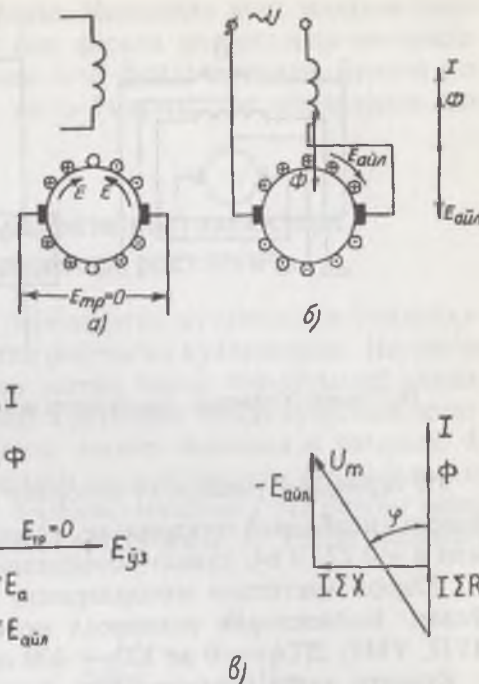
Кичик қувватли коллекторли моторлар компенсацияловчи чулғам ва ёрдамчи қутбларсиз, кўпинча, ўзгармас ва ўзгарувчан тоқларда ишлаш учун тайёрланади. Шу сабабли бундай моторлар универсал моторлар деб аталади.

Универсал коллекторли моторлар 5÷270 Вт ли қилиб тайёрланади. Бундай моторлар электр асбоблари, вентиляторлар, чанг сўрувчи, тикув машиналари каби механизмларда қўлланилади. Ўзгарувчи токда чулғам қаршиликлари ўзгармас токдагига нисбатан катта бўлгани учун моторни ўзгармас токка улашда унинг қўзғатувчи чулғамининг ҳаммаси занжирга киритлса, ўзгарувчан токда эса бир қисми киритилади (10.37-расм). Мотор бундай уланишда ўзгарувчан ва ўзгармас ток билан ҳам бир хил айлантирувчи 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.

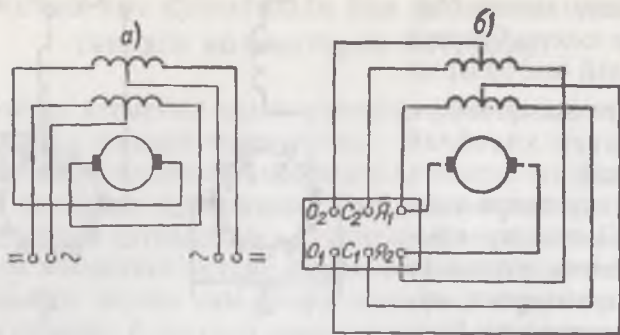
0,4; 0,5 ва 0,6 габаритли моторларнинг ўзгармас токда C_1 ва C_2 , ўзгарувчан токда эса O_1 ва O_2 қисмалари электр тармоғига уланади (10.37-расм, б). Бунда моторнинг айланиш йўналишини ўзгартириш учун якорь чулғамидан чиқувчи қисмалар ўрнини ўзаро алмаштириш кифоя.

Қуввати жуда ҳам кичик бўлган универсал моторлар ўзгарувчан ва ўзгармас тоқларда ҳам бир хил схемада уланади. Бундай моторлар ўзгарувчан токда ўзгармас токдагига нисбатан камроқ айлантирувчи моментга эга бўлади.



10.36-расм. Бир фазали коллекторли моторнинг вектор диаграммаси.

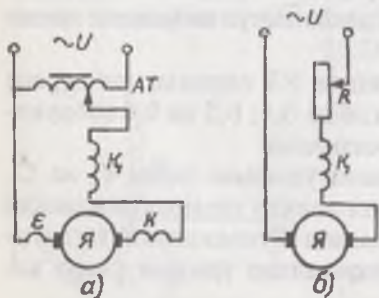
а ва б — якорида ҳосил бўладиган э. ю. к. лар; в — вектор диаграммаси.



10.37-рasm. Универсал коллекторли моторларнинг уланиш схемалари.

УЛ сериядаги универсал моторлар 2700, 5000 ва 8000 $\frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ частоталарга ҳисобланиб чиқарилади, уларнинг фойдали иш коэффициенти $\eta = 0,22 \div 0,64$, қувват коэффициенти эса $\cos \varphi = 0,7 \div 0,9$ бўлади. Юқори частотали моторларнинг қувват коэффициенти катта бўлади. Коллекторли универсал моторлар УЛ сериядан ташқари МУН, УМТ, ДТА — 40 ва КО — 400 серияларида ҳам чиқарилади.

Куввати катта бўлмаган бир фазали коллекторли моторларни электр тармоғига бевосита улаб ишга тушириш мумкин. Катта қувватли моторлар эса автотрансформатор билан ишга туширилади (10.38-рasm, a). Бундай моторлар частотаси кучланишни ўзгартириш билан ростланади. Бунинг учун кичик қувватли моторларда резистор (10.38-рasm, б), катта қувватлиларда эса автотрансформатордан фойдаланилади. Бундан ташқари, бир фазали коллекторли моторлар частотасини кетма-кет қўзғатишли ўзгармас ток моторларида қўлланилган бошқа усуллар билан ҳам ростлаш мумкин. Коллекторли моторлар якорь чулғамининг қисқа туташтириладиган 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 ёмонлашди. Бундай моторлар кичик юкламада ишга туширилса, улар частотасининг ҳаддан ташқари



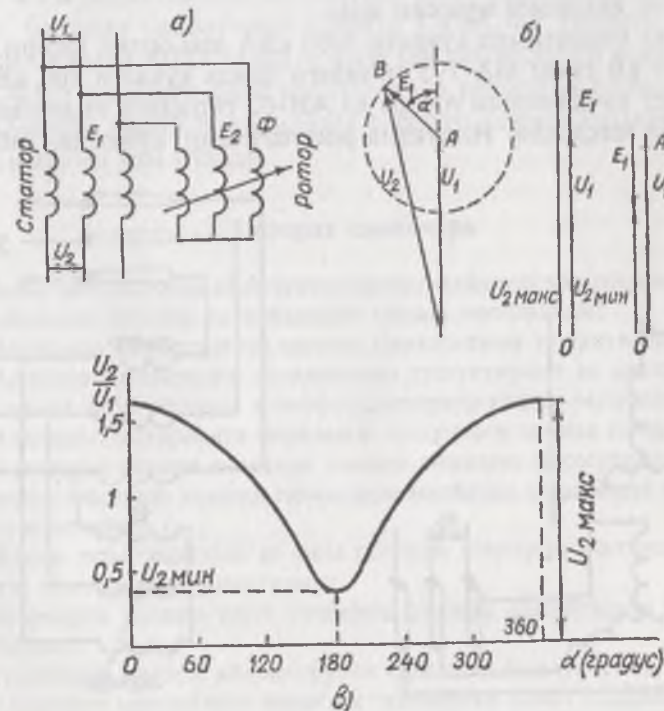
10.38-рasm. Бир фазали коллекторли моторлар частотасини:

a — автотрансформатор воситасида;
б — резистор билан кучланишни ўзгартириб ростлаш.

ри ортиб кетиш хавфи ҳам бўлади. Частотани кенг миқёсда ростлаш имкони борлиги сабабли бир фазали коллекторли моторлардан турмуш ва ишлаб чиқаришда кенг фойдаланилади. Бундай моторлар электр транспортдан 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-рasm, a). Ротор чулғамига



10.39-рasm. Индуктив ростлагич:

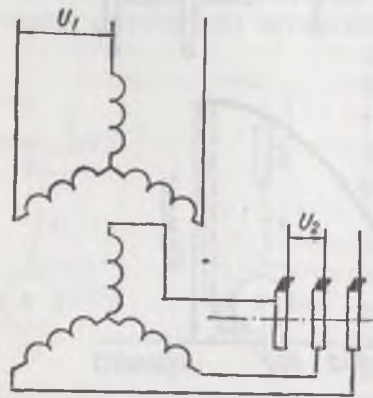
a — уланиш схемаси; б — вектор диаграммаси; в — $f = f(a)$ эгри чизиги.

берилган уч фазали токдан айланувчи магнит 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 вектор диаграмма кўрсатилган.

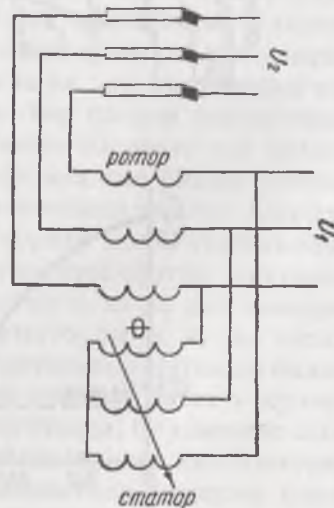
Статор ва ротор чулғами ўқларининг фазодаги ҳолати мос бўлса, уларда ҳосил бўлган э. ю. к. E_1 ва E_2 лар фаза бўйича мос, яъни бир томонга йўналган бўлади. Бунда U_2 нинг максимал қиймати олиниб, ротор 180 электр градусга бурилганда эса U_2 нинг минимал қиймати олинади (10.39-расм, б). Ротор α электр бурчакка бурилса, U_2 нинг қиймати $OA = U_1$ ва $AB = E_1$ векторларнинг йиғиндиси билан аниқланади. Демак, роторнинг 360 электр 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.

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, лаборато-



10.40-расм. Фаза роторли асинхрон мотордан индуктив ростлагич сифатида фойдаланиш схемаси.



10.41-расм. Фаза ростлагичнинг уланиш схемаси.

рия 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 олинади (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 олинadиган кучланиш U_2 фазасини статор чулғамига бериладиган U_1 фазасига нисбатан ўзгартирилади. Фаза ростлагичнинг статор ва ротор чулғамлари электр 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 жараёни электр мотори билан бажарилиши сабабли уларни масофадан бошқариш имкони ҳам бўлади.

Назорат саволлари

1. Асинхрон моторда айланувчи магнит майдони қандай ҳосил бўлади, унинг айланиш тезлиги ва йўналиши қандай ростланади?
2. Асинхрон моторларини ишлаш принципини тушунтиринг.
3. Асинхрон моторлари тузилишини тушунтиринг ва қисқа туташтирилган ҳамда фаза роторли асинхрон моторлар ҳақида маълумот беринг.
4. Асинхрон моторидаги сирпаниш тушунчаси ҳақида гапириб беринг.
5. Асинхрон мотори номинал токини аниқлаш формуласини ёзинг ва унинг ишга тушириш токини номиналга нисбатан неча марта катта бўлишини тушунтиринг.
6. Қисқа туташтирилган ва фаза роторли асинхрон моторларини ишга тушириш усулларини тушунтиринг.
7. Асинхрон мотори ишга тушириш токини камайтириш усулларини тушунтиринг.
8. Асинхрон мотори айлантирувчи моменти формуласини ёзинг.
9. Асинхрон моторининг механик тавсифини унинг соддалаштирилган формуласи асосида ҳисоблаб қуришни тушунтиринг.
10. Асинхрон моторининг қувват ва фойдали иш коэффициентлари қандай аниқланади?

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 айланувчи (электр машинали) ва қўзғалмас (статик), 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 электр юритмасидаги моторлар, аккумулятор батареяларини зарядлаш ва шу кабилар учун ўзгармас ток талаб қилинса, электротермия ва юқори частотали электр юритма моторлари учун юқори частотали ток талаб қилинади. Автоматлаштирилган ўзгармас ва ўзгарувчан ток электр юритмаларида тўғриланган кучланиши ростланадиган бошқарилувчи ток ўзгартгичлар ва частотаси ростланадиган бошқарилувчи частота ўзгартгичлари қўлланилади.

Бундай ўзгартгичлардан таъминланувчи электр моторининг частотаси кенг миқёсда ростланиб, унинг механик характеристикасини талабга 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 электр машина ўзгартгичлар

Электр машина 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 айлантирилувчи ўзгармас ток генераторидан иборатдир.

Ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантириш учун бир якори ток ўзгартгичи деб аталувчи ўзгартгич ҳам қўлланилади. Якори валига коллектор ва ҳалқалар ўрнатилган ўзгармас ток машинасидан иборат бўлган бундай ўзгартгичдан инвертор сифатида фойдаланиш ҳам мумкин (11.1-расм). Ўзгартгич якorigа ўзгармас ток берилса, у ўзгармас ток мотори сифатида ишлаб, учбурчак схемаси билан уланган якори чулғами ва унга уланган ҳалқалар орқали ўзгарувчан ток олинади. Бунда ҳалқалар сони олинадиган ўзгарувчан токнинг фазалар сонига тенг, яъни масалан, олти фазали ток олиш учун якори валига олти ҳалқа ўрнатиш лозим бўлади.

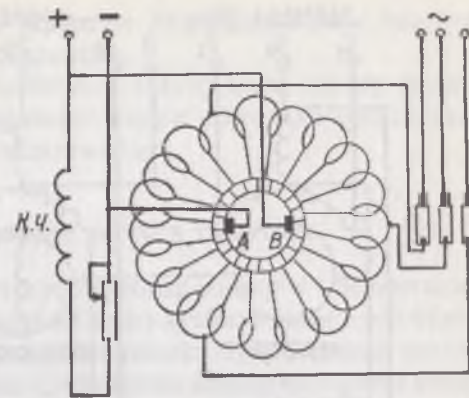
Агар ўзгартгич ҳалқалари орқали якори чулғамига ўзгарувчан ток берилиб, машина қутбига ўрнатилган қўзғатиш чулғамига ўзгармас ток берилса, у ҳолда машина асинхрон мотор сифатида айланиб А ва В чўткалардан ўзгармас ток олинади.

Ўзгартгични синхрон мотор сифатида ишга тушириш учун унинг қутбларига қисқа туташтирилган чулғам ўрнатилади.

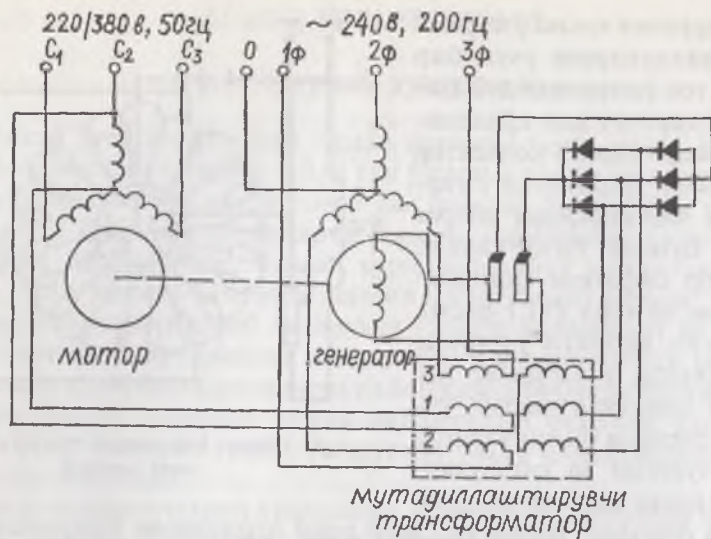
Бир якори ток ўзгартгичи, асосан, ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантирувчи тўғрилагич сифатида кенг ишлатилади. Бундай ўзгартгичдан олинадиган ўзгармас ток кучланишини ростлаш учун ҳалқалар орқали бериладиган ўзгарувчан ток кучланишини автотрансформатор ёки индуктив ростлагичлар билан ростлаш лозим бўлади. Аммо бунда ҳам $U_{\phi} = \frac{\sin \frac{\pi}{m}}{\sqrt{2}} = U_1$ бўлгани учун кучланишни кенг миқёсда ростлаб бўлмайди. Бу эса ўзгартгичнинг асосий камчиликларидан ҳисобланиб, ишга тушириш жараёнининг мураккаблиги эса унинг яна бир камчилиги ҳисобланади. Шу сабабли бундай ўзгартгичлардан кам фойдаланилади.

ПСЧ-5 типли частота ўзгартгич

Қишлоқ хўжалигида, қўпинча 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



11.1-расм. Бир якори ток ўзгартгичнинг схемаси.



11.2-расм. ПСЧ-5 типли частота ўзгартгичнинг схемаси.

махсус уч чулғамли мўтадиллаштирувчи 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 юклама токининг ортиб бориши билан трансформаторнинг 2 ва 3 чулғамларидаги ток ҳам кўпаяди. Натижада селенли тўғрилагичга бериладиган кучланиш ва, демак, генератор роторидан ўтадиган қўзғатиш токи ҳам кўпаяди. Юклама 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 $n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ 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 юкламада 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 коэффициентини $\eta = 0,75$ бўлганда юкламанинг ўзгаришига қарамай генератор куч-

ланиши, автоматик равишда, берилган 240 вольтга тенг ёки унга нисбатан $\pm(5 \div 8)\%$ фарқида сақланади.

ПСЧ-5 типли частота ўзгартгичдан электр арра, электр бутагич ва шу каби қўл асбоб моторларининг юқори частотали электр энергияси билан таъминлашда фойдаланилади.

И-75 типли асинхрон частота ўзгартгич

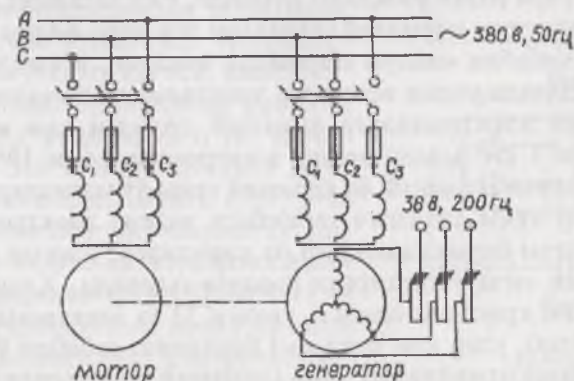
Асинхрон частота ўзгартгич жуфт қутблар сони $p = 1$ бўлган асинхрон мотори билан айлантирилувчи жуфт қутблар сони $p = 3$ бўлган фаза роторли асинхрон генератордан иборат бўлиб, ундан моллар жунини қирқувчи машиналарда қўлланувчи электр моторини юқори частотали электр энергияси билан таъминлашда фойдаланилади. 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 магнит майдонлари қарама-қарши томонларга айланиб, генераторнинг ротори занжиридан кучланиши 36 вольт, частотаси эса 200 Гц бўлган ўзгарувчан ток олинади. Ҳақиқатан, статорнинг магнит 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, $\frac{\text{айл}}{\text{мин}}$;



11.3-расм. И-75 типли асинхрон частота ўзгартгичнинг принциал схемаси.

n_2 — генератор статоридаги айланувчи магнит 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 $n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 200}{1} = 12000 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$, кучланиши эса $U = 36$ В бўлган, яъни юқори тезлик ва паст кучланишли асинхрон мотордан фойдаланиб, бу асбоб оғирлигини 1,75 кг гача камайтиришга эришилди. Кейинги пайтларда, фойдали иш коэффициентини нисбатан кичик, нархи юқори, габарити катта, ишлаш ишончлилиги паст бўлган электр машина ўзгартгичларни ион ва ярим ўтказгичли асбоблардан ташкил топган статик ўзгартгичлар билан сиқиб чиқарилмоқда.

11.3. Ярм ўтказгичли статик частота ўзгартгичлар

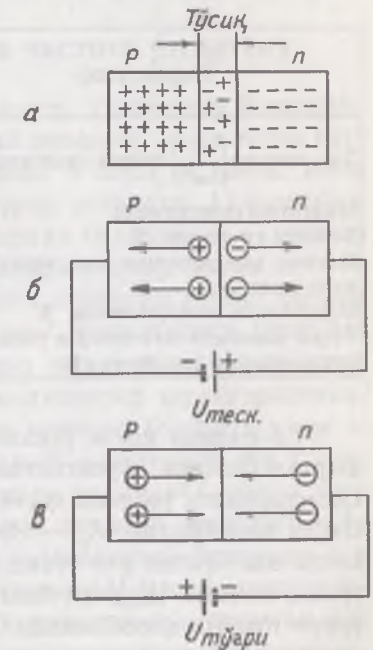
Статик ўзгартгичлар билан танишишдан илгари ярм ўтказгичларнинг тузилиши ва хусусиятларини бир оз эсга оламиз.

Ярм ўтказгич деб солиштирма қаршилиги металланидан катта, аммо диэлектриканидан кичик бўлган қаттиқ жисмга айтилади. Солиштирма қаршилиқ эса жисмнинг тузилиши, яъни атомдаги электронларнинг жойланиш структурасига боғлиқ бўлади.

Маълумки, қаттиқ жисмнинг ҳар бир атоми мусбат зарядга эга бўлган ядро ва унинг атрофида катта частота билан айланадиган манфий зарядли электронлардан иборат. Бу электронларнинг ядрога яқин бўлган орбиталарда жойлашганлари ядро билан маҳкам боғлангани учун ундан узоқлаша олмайди, узоқдагилари, яъни жисмнинг валентлигини ифодаладиганлари эса ядро билан кучсиз боғланганлиги сабабли маълум шароитда, масалан, иссиқлик энергиясининг таъсирида ундан осонгина узоқлашиши ва ҳатто ундан ажралиб эркин электронларга айланиб қолиши ҳам мумкин. Уй хароратидаги 1 см^3 мисда эркин электронлар сони 10^{22} бўлса, энг кўп ишлатилувчи германий ва кремний ярм ўтказгичларида $10^5 \div 10^{11}$ бўлади. Агар ярм 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 боғланиш сабабли ўз орбиталаридан узоқлаша олмайдилар. Тоza германий кристаллида эркин ҳолатидаги валент электронлар бўлмаганлиги учун уни диэлектрик ёки изолятор деб аталади. Ковалент боғланиш деб валент электронлар-

нинг қўшни атомдаги шу сингари электронлар билан боғланишда бўлиб, улар билан бирга ҳаракатланишига айтилади. Агар германий кристаллига 5 валентли сурьма қоришмаси киритилса, у ҳолда валент электронлардан бири ковалент алоқага эга бўлмай, эркин ҳолда қолади. Натижада германий диэлектриги ярим ўтказгичга айланади. Кристалл ҳолдаги диэлектрикка қўшилиб, ундан эркин электрон ҳосил қиладиган бирикма, масалан, сурьма донор деб аталади. Донор бирикмали ярим ўтказгич n -типли ярим ўтказгич дейилади. Агар германий кристаллига, 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 электрондаги 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 ярим ўтказгични эса p -типли ярим ўтказгич дейилади. Шундай қилиб, германийга акцептор киритилганда ундаги электр ўтказувчанликнинг миқдори ва ишораси ўзгаради. p -типли ярим ўтказгичнинг бу хусусияти автоматика учун янги асбоблар яратишда жуда катта аҳамиятга эга.

Агар германий кристаллининг бир томонига донорли ва иккинчи томонига акцепторли бирикмалар киритилса, у ҳолда p -ярм ўтказгичда тешикларнинг, n -ярм 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, a). Бу қатламнинг ҳосил бўлиши билан унинг таъсирида диффузия жараёни ўз-ўзидан тўхтайтиди. Шунга кўра, буни беркитувчи (тўсиқ) қатлам ёки p - n ўтиш дейилади. Агар ток манбаини



11.4-расм.

κ — p - n ўтишнинг схемаси;
 p - n ўтишга ток манбаининг;
 б — тескари; в — тўғри улиниш
 схемалари.

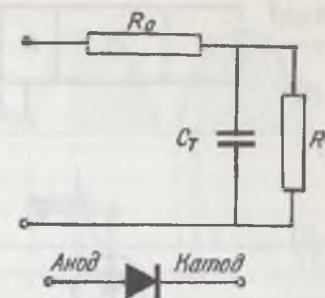
p - n ўтишга 11.4-рasm, б даги сингари уланса, у ҳолда тешик ва электронлар ток манбаининг турли қутблари томон силжий бошлайди. Бунда p - n ўтишдаги ток ҳосил қиладиган заррачаларнинг камайиши сабабли, тўсиқ қаршилиги жуда ҳам катта қийматга эга бўлиб қолади. Шунга кўра, ток манбаининг бундай уланиши 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-рasm, в даги сингари уланса, у ҳолда тешик ва электронлар тўсиқ томон силжийди. Бунда тўсиқ ўтказувчанлигининг қиймати кескин равишда кўпаяди 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 ярим ўтказгичли тўғрилагич сифатида фойдаланиш мумкин. Ўзгарувчан токни ўзгармас токка айлантириб берадиган ярим ўтказгичли икки электродли асбоб (диод) — тўғрилагич деб аталади.

Саноатда кенг тарқалган ярим ўтказгичли диодларнинг параметрлари қуйидаги жадвалда келтирилган.

Параметрлар	Вентиль турлари		
	селен	германий	кремний
Ток зичлиги $\left[\frac{\text{А}}{\text{см}^2} \right]$ табиий совитилишда.	0,7	40	80
Мажбурий совитилишда	0,2	100	200
Тескари кучланиш, В	25÷45	100÷150	400
Ишлаш ҳароратининг максимал қиймати, град	85	70	150
Фойдали иш коэффициенти, %	92	98,5	99,6
Тўғри уланишга тегишли p - n ўтишидаги кучланишнинг пасайиши, В	0,6	0,5	0,7÷1

11.5-расмда ярим ўтказгичли диоднинг эквивалент схемаси ва шартли белгиси кўрсатилган. Бунда R_0 — ярим ўтказгичнинг p ва n қисмларидаги умумий қаршилиқ 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 сизими. Шартли белгининг чўққи томони вентилнинг ўтказувчи томони ҳисобланади. Агар ярим 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 ҳисоб-

ланган германий диодларини ўзлаштириб, 1000 амперга ҳисобланганини ўзлаштирмоқда, 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 100000 ампергача ва кучланиши бир неча минг вольт бўлган тўғрилагичларни ишлаб чиқармоқда. Ишда ишончилиги, фойдали иш коэффициенти катта бўлиши, тезкорлиги, ихчамлиги ва енгиллиги сабабли кремнийли ярим ўтказгич тўғрилагичлар билан мотор-генератор, симобли ва селенли тўғрилагичлар сиқиб чиқарилмоқда.

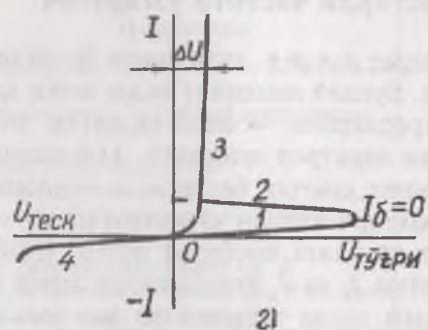
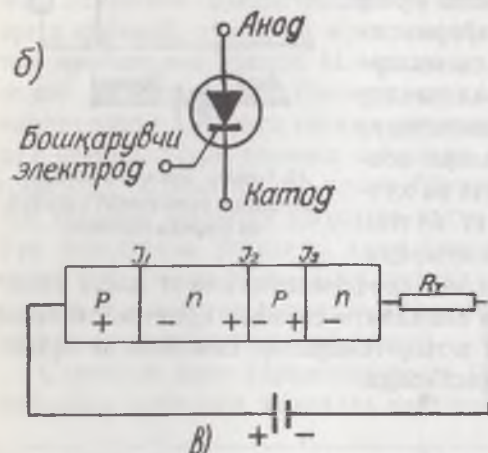
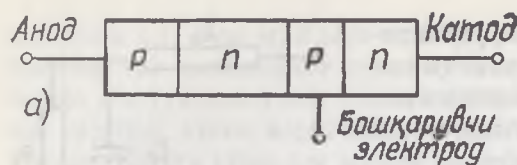


11.5-расм. Ярим ўтказгичли диоднинг эквивалент схемаси ва шартли белгиси.

11.4. Тиристор ва тиристорли частота ўзгартгич

Кремний кристалларидан иборат p - n - p - n тузилишли бошқарилувчи диод тиристор деб аталади. Бундай диоднинг икки четки қатламларига бириктирилган электродларини — анод ва катод, ички база қатламдагисини бошқарувчи электрод дейилади. 11.6-расмда: а — тиристор тузилиши, б — 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 вольтампер характеристикасини тўрт қисмдан иборат деб кўрсатиш мумкин, бунда: I- 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, ниҳоят, 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



11.6-расм. Тиристор:

а — тузилиши; б — шартли белгиси; в — улаиш схемаси; г — вольт-ампер характеристикаси.

билан ундан ўтадиган ток I қийматининг штрихланган юза бўйича ростланиши кўрсатилган.

Тиристорнинг очик, яъни тўйинган ҳолатида бошқариш токи $I_6 = 0$ бўлиб қолса ҳам, у узоқ вақт очиклигича қолиши мумкин.

Шунга кўра, бошқариш электроди занжиридаги кичик қийматли сигнал билан очик ҳолатдаги тиристори берк ҳолатга ўтказиб бўлмайди. Очик ҳолатдаги тиристори анод занжиридаги сигнал билангина беркитиш мумкин, бу эса унинг камчилиги ҳисобланади. Тиристорларнинг қувват бўйича кучайтириш коэффициентлари жуда катта,

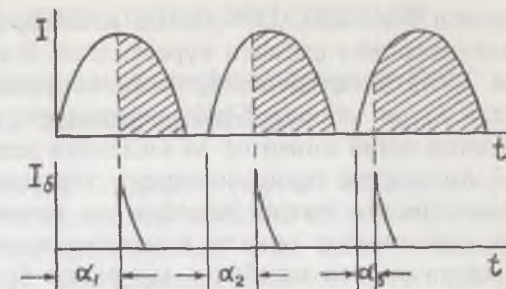
$\Delta U = 1 \div 2$ вольтдан ортмайди. Агар анодга манфий потенциал берилса, у ҳолда четки p - n ўтишлар тескари уланишга эга бўлиб, тўсиқ ҳосил бўлади ва натижада характеристиканинг 4-қисми олинади. Агар тиристорнинг бошқариш электродига, унинг катодига нисбатан мусбат потенциал берилса, у ҳолда марказий ўтиш J_2 нинг “тешилиши” камроқ кучланишларда содир бўлади. Демак, бошқариш электродидан ўтадиган ток J_6 қиймати ва унинг фазасини ўзгартириш билан тиристорнинг очилиш жараёнини, тиратрондаги сингари бошқариш мумкин.

Агар бошқариш токи I_6 фазасини тиристор токи I га нисбатан 180° гача ўзгартириш мумкин бўлса, у ҳолда юкламадан ўтадиган тўғрилانган ток қийматини катта диапазонда ростлаш имкони олинади.

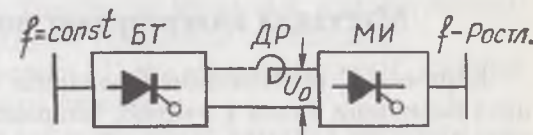
11.7-расмда бошқариш электродига бериладиган I_6 токи фазасини, яъни тиристорнинг очилиш бурчаги α ни ўзгартириш

яъни $\kappa_p = 10^4 \div 10^5$ бўлади. Масалан, ток манбаидаги э. ю. к. $E = 300$ В ва тиристордан ўтаётган ток 100 А бўлса, у ҳолда юкламадаги қувват $P = 30$ кВт бўлади (агар тиристорлардаги қувват исрофини, унинг қиймати кам бўлганлиги учун ҳисобга олинмаган бўлса). Бунда тиристори очик ҳолатга ўтказиш учун тахминан $0,15$ Вт бошқариш қуввати P_6 талаб қилинади. Агар $P_6 = 0,15$ Вт бўлса, тиристорнинг кучайтириш коэффициенти $\kappa_p = 2 \cdot 10^5$ бўлади.

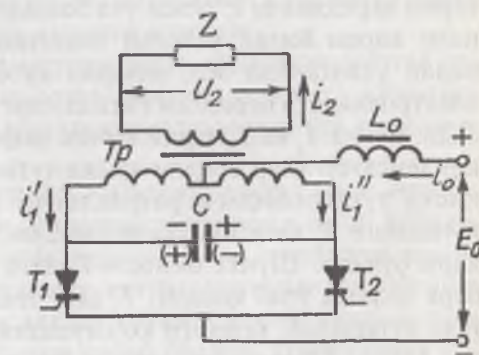
Статик ўзгартгичлар ичида энг истиқболлиси кремнийли бошқарилувчи диод (тиристор) лар асосида яратилган частота ўзгартгич ҳисобланади. 11.8-расмда частота ўзгартгичларидан бир турининг тузилиш схемаси кўрсатилган. Бунда бошқариладиган тўғрилагич БТ орқали берилган частотадаги ўзгарувчан ток кучланиши ўртача U_0 қиймати ростланадиган тўғрилانган кучланишга айлантирилади. Тўғриланган 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 ростланиб туриладиган куч-



11.7-расм. Тиристор очилиш бурчаги α ни ўзгартириш билан ундан ўтадиган тўғриланган ток қийматини ростлаш.



11.8-расм. Тиристорли частота ўзгартгичнинг тузилиш схемаси.



11.9-расм. Бир фазаги мустақил инверторнинг принципаи схемаси.

ланиш берилади. 11.9-расмда кенг тарқалган бир фазали мустақил инверторнинг схемаси кўрсатилган. Инвертор схемаси тиристор T_1 ва T_2 статик конденсатор C , трансформатор T_p ва текисловчи дроссель L_0 дан иборат. Бунда конденсатор C билан ток коммутацияси таъминланиб инвертор ва юкламага реактив қувват берилади ҳамда U_2 ни юқори гармониклардан тозаланади. Токни бир вентилдан иккинчисига узатиш жараёни 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 манбаидаги E_0 таъсирида дроссель, трансформатор, бирламчи чулғамининг чап томони ва T_1 орқали i_1' токи ўта бошлайди.

Бунда T_p нинг иккиламчи чулғаида 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 кўтарилиб, кейинги коммутацияга нормал шароит ҳосил қилади. Бунда TP нинг иккиламчи чулғаида ҳосил бўлган ток ҳам ўз йўналишини ўзгартиради. Шу пайтда конденсатор тескари зарядлана бошлайди. Токнинг бундай ўзгариш жараёни бошқариш сигналининг ҳар бир даврида қайтарилиб туради. Шу сабабли инвертордан олинadиган кучланиш U_2 частотасининг қиймати **МИ** даги вентиль T_1 ва T_2 ларининг бошқариш электродларига бериладиган импульс частотаси $f_{имп}$ билангина аниқланади ва унга тенг бўлади. Демак, тиристорларнинг бошқариш электродларига берилувчи мусбат сигнал частотасини ўзгартириш билан **МИ** дан олинadиган ўзгарувчан кучланиш U_2 частотасини ростлаш имкони бўлади.

XII БОБ. ЭЛЕКТР МАШИНАНИНГ НУҚСОНЛАРИ

12.1. Электр машиналар ва трансформаторлар ўта қизишининг асосий сабаблари

Электр машина ёки трансформаторнинг умуман нормадан ортиқ қизиб кетишига, яъни ўта қизишига, кўпинча ва асосан, уларнинг номиналга нисбатан каттароқ юклама токи билан ишлаши сабаб бўлади. Бундан ташқари, электр 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 ўрнатилган бўлса ҳам, машина қисмларидаги иссиқликнинг ташқарига тарқалиши сустлашади;

3) ташқи муҳитнинг ҳарорати 35° дан юқори бўлса ҳам, машинадаги иссиқлик ташқарига кам тарқалади;

4) электр машина яқини ёки роторининг номинал частотага нисбатан паст частота билан айланишида ҳам ундаги ҳаво алмашилиши, 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 қизиши мумкин;

6) номиналга нисбатан паст частота билан айлантирилаётган 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 тортилиши сабаб бўлади.

Ўзгармас ток машинаси коллекторининг ўта қизишига қоникарсиз коммутация ҳамда чўтканинг қаттиқ материалдан бўлиши ёки уни коллекторга қаттиқ босилиши натижасида чўткалар остида зўр учқунланишнинг содир бўлиши сабаб бўлади. Паст қувват коэффициентига эга бўлган юклама билан ишлайдиган синхрон генераторларидаги магнитсизлантириш таъсирини йўқотиш учун унинг қўзғатиш чулғамига номиналга нисбатан каттароқ қўзғатиш токининг берилиши натижасида ротор чулғами ўта қизишига бошқа типдаги электр машиналарга тааллуқли бўлган сабаблардан ташқари қуйидагиларни ҳам кўрсатиш мумкин:

1) электр тармоғидаги кучланишнинг номиналга нисбатан юқори бўлиши машинанинг пўлат қисмидаги қувват исрофининг кўпайиши ва, демак, унинг ўта қизишига сабаб бўлиши мумкин;

2) номинал юкламада икки фаза била ишлаётган моторнинг фаза тоқларининг қиймати номиналга нисбатан тахминан $\sqrt{3}$ марта катта бўлиб, уни ўта қизитиши мумкин;

3) номинал юкламада 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 учбурчаклик схема билан уланса, фазадаги кучланиш ва, демак, ток номиналга нисбатан $\sqrt{3}$ марта ортиб, уни ўта қизитиши мумкин.

Трансформаторнинг ўта қизишига ҳамма электр 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 ҳарорат шу даражагача кўтариладики, ҳатто у болтни эритиб юбориши мумкин. Трансформатор бакидаги мой сатҳи пасайганда ҳам чулғам ўралган пўлат ўзакнинг ёғдан ташқи қисмининг совитилиш шароити ёмонлашиб, трансформатор ўта қизиши мумкин.

12.2. Электр машиналар дириллашининг асосий сабаблари

Нормал ишлаб турган электр машинада ҳам дириллаш ҳодисаси кузатилади. Бунга турли-туман механик ва электр ҳодисалар сабаб бўлади. Агар турли айланиш частоталарида ишлаётган машина дириллашидаги тебраниш амплитудасининг иккиланган қиймати куйидаги жадвалда кўрсатилган кўрсаткичлардан ортиб кетмаса, уларни йўл қўйилган даражадаги дириллаш дейилади.

Машинанинг минутига айланишлари сони,	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 механик сабабларининг асосийси куйидагилардан иборат бўлади:

- 1) айланувчи қисмларнинг мувозанат ҳолатда бўлмаслиги;
- 2) бир валга уланиб ишлайдиган машиналар валининг бир-бирига нотўғри марказланиши;

3) валнинг подшипникка ўрнатиладиган жойи (бўйинчаси) машинанинг фундаментга ёмон маҳкамланиши.

Электр машина чулғами ўрамларининг ўзаро туталиб қолишида ҳам дириллаш ҳодисаси содир бўлади. Бунда қисқа туталиш тоқларидан магнит асимметрияси ҳосил бўлиб, машина статори билан роторининг ўзаро тортишиши бир текисда ўтмайди ва, демак, дириллаш ҳодисаси вужудга келади. Машина ротори статорга нисбатан аниқ марказлаштирилмаганда ҳам магнит асимметрияси вужудга келиб дириллаш ҳодисаси рўй беради. Магнит 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 магнит асимметриянинг, акс ҳолда эса механик носозликларнинг таъсири аниқланади.

12.3. Ўзгармас ток генераторларининг асосий нуқсонлари

Ўзгармас ток генератори куйидаги сабабларга кўра қўзғатилмаслиги мумкин:

1) генератор қутбларида 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 тоқдан 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 қаршилик 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 туталишлар 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 қаршилик 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 механик 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 резисторида 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 қутбланишга эга бўлиб, бу секцияларнинг ўтказгичларида мотор моментига нисбатан тескари йўналган кучлар таъсир этади. Бунда мотор ёмон айланиб, чўткалар остида кучли учқунланиш кузатилади;

5) қўзғатиш чулғами занжиридаги қаршилик ҳаддан ташқари катта. Бунда қутблардаги магнит оқим кичик бўлиб, айлантирувчи момент нормадагига нисбатан паст бўлади;

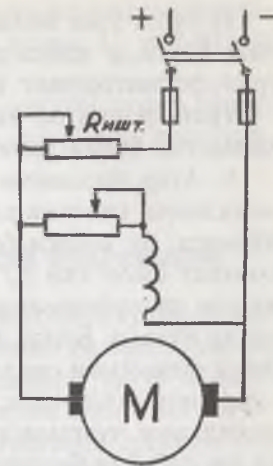
б) аралаш қўзғатишли моторнинг қўзғатувчи чулғамларидаги магнит оқимлар ўзаро қарама-қарши бўлса, юклама токининг ортиб бориши билан умумий магнит оқим ва, демак, айлантирувчи момент камаяди.

Номинал кучланиш ва юкламада ўзгармас ток мотори частотасининг номиналга нисбатан паст бўлишига қуйидагилар сабаб бўлиши мумкин:

1) қўзғатиш чулғами занжиридаги резистор қаршилиги ҳаддан ташқари кичик. Бунда магнит оқим катта қийматга эга бўлгани учун частота паст бўлади;

2) чўткалар геометрик нейтралдан бирмунча сурилган;

3) якорь чулғамида ёмон контакт ёки унинг ўрамларида ўзаро туташилар бор.



12.1-расм. Параллел қўзғатишли ўзгармас ток моторининг нотўғри уланиш 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 сиқилишида, 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 хarakterли 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 юкламанинг бир-биридан ўта фарқланиши натижасида фаза ўзакларидаги магнит оқимнинг турли қийматларга эга бўлишлиги;

3) чулғам ўрамларида қисқа туташган ўрамлар борлиги натижада уларда катта қийматли токларнинг ҳосил бўлишлиги;

4) трансформаторга берилувчи кучланиш номиналга нисбатан юқори бўлишлиги натижасида магнит оқим қийматининг кўпайиши.

Трансформатор ичида қуйидаги сабабларга биноан чирсиллаш ҳодисаси содир бўлиши мумкин:

1) ўта кучланиш натижасида трансформатор чулғами билан унинг корпуси орасида туташилар 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.

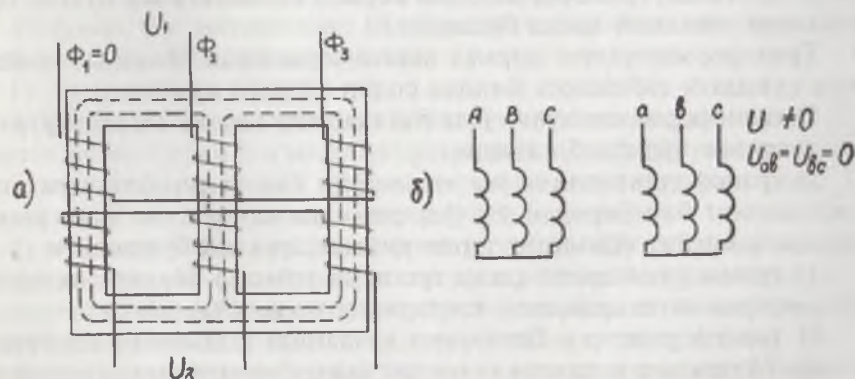
Трансформатор иккиламчи чулғамидаги кучланишнинг нормал қийматли бўлмаслигига қуйидагилар сабаб бўлиши мумкин:

1. Агар бирламчи фазалараро кучланишлар ўзаро тенг бўлиб, иккиламчи кучланишлар салт иш режимида тенг, юкламада эса тенг бўлмаса, бу ҳодиса бирор фазадаги чулғамнинг уланиш жойидаги контакт ёмон ёки Δ/Y ҳамда Δ/Δ схемаси билан уланган уч стер-женли трансформаторнинг бирламчи чулғамида узилиш бўлганда содир бўлади. Бунда икки нормал фазадаги магнит оқимлар учинчи бузуқ фаза ўзаги орқали ёпилиб, салт иш режимида иккиламчи чул-ғамда нормал э. ю. к. ҳосил қилади, юкламада эса бузуқ фазанинг иккиламчи чулғамига етарли қувватни ўтказиш имкони бўлмайди ва шу сабабли бу фазадаги иккиламчи кучланишнинг қиймати но-миналга нисбатан пастроқ бўлади.

2. Агар бирламчи фазалараро кучланишлар ўзаро тенг бўлиб, иккиламчи кучланишлар эса салт иш ва юклама режимларида ҳам тенг бўлмаса, бу ҳодиса Y/Y схемаси билан уланган трансформа-торнинг бирламчи чулғамида узилиш бўлганда содир бўлиши мум-кин (12.2-рasm, а).

Бунда нормал фазалардаги магнит оқимлар узилиш содир бўлган фаза ўзаги орқали ёпилиб, унинг иккиламчи чулғамида паст қий-матли 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 фазала-



12.2-рasm.

а — бирламчи ва иккиламчи чулғамлари юлдуз схемасида уланган трансформаторнинг бирламчи чулғамида узилиш бўлганидаги магнит оқимлари; б — Y/Y ёки Δ/Y схемаларида уланган трансформаторнинг иккиламчи чулғамида узилиш содир бўлиши.

раро кучланишлар нолга тенг бўлади. Ҳақиқатан, агар трансформа-торнинг В фазасида узилиш содир бўлса, у ҳолда $U_{ac} \neq 0$ бўлиб, $U_{ab} = U_{bc} = 0$ бўлади (12.2-рasm, б).

Бунда нормал фазалардаги магнит оқимлар узилиш содир бўлган фаза ўзаги орқали ёпилиб, унинг иккиламчи чулғамида паст қий-матли бўлса ҳам э. ю. к. ҳосил қилади.

12.6. Синхрон машиналарнинг асосий нуқсонлари

Қўзғатгичдаги бузуқликлар, роторнинг қўзғатувчи чулғами зан-жиридаги узилиш, ҳалқа сиртининг ифлосланиши ва занглаши на-тижасида контакт қаршилигининг ҳаддан ташқари катта бўлиши каби сабабларга биноан синхрон генератори қўзғатилмаслиги мум-кин. Фаза чулғамининг бир ёки бир неча ғалтагининг тескари ула-нишида эса генераторнинг салт иш режимидаги фаза кучланишла-ри ўзаро тенг бўлмайди.

Юлдуз схемаси билан уланган статор чулғамининг бир фазаси-да, учбурчаклик схемада эса статорнинг икки фазасида узилиш со-дир бўлса, генераторнинг бирор фазасидаги кучланиш йўқолади.

Номинал қўзғатиш токига эга роторни номинал частота билан айлантирилганида генератор кучланишнинг номиналга нисбатан паст бўлишига қуйидагилар сабаб бўлиши мумкин:

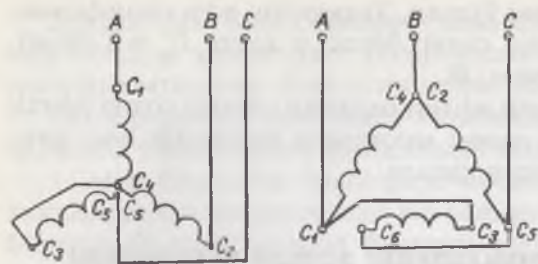
- 1) статор чулғамидаги ўрамларнинг ўзаро тутатиши;
- 2) қўзғатиш чулғам ўрамларининг икки жойда корпусга тутатиб қолиши;
- 3) ротор қўзғатиш чулғами ғалтакларининг нотўғри, яъни кутб-лар кетма-кетлигини ҳисобга олмасдан улаш;
- 4) статор чулғамини юлдуз ўрнига учурчаклик схемаси билан улаш.

Ўзгармас частота билан айлантирилаётган генератор кучлани-ши қийматининг тебраниб туришига марказдан қочма кучлар таъ-сирида қўзғатиш занжиридаги ёмон контактни гоҳ пайдо бўлиб, гоҳ йўқолиши сабаб бўлади.

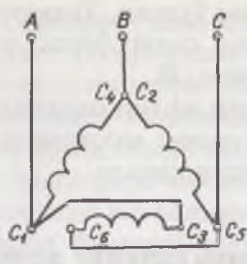
12.7. Асинхрон моторларнинг асосий нуқсонлари

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 нотўғри 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 юклама берилганлиги;

6) тўла юклама 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 охирилари аниқлаб олиш лозим. Учбурчаклик схемаси билан уланган моторнинг бир фазасида узилиш бўлса ҳам у нормал айланади, аммо *B* линиядаги ток қолган *A* ва *C* фазалардагига нисбатан 73% га кўп бўлиб, мотор қуввати ўзининг учдан бир қийматига камаяди (12.4-расм).

Иккинчи қисм

Электр юритма ва уни автоматик бошқариш

XIII БОБ. ЭЛЕКТР ЮРИТМА ТЎҒРИСИДА УМУМҲИЙ ТУШУНЧАЛАР ВА УНИНГ РИВОЖЛАНИШ ТАРИХИ

13.1. Электр 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 бирга-ликда юритма деб аталади. Механик ҳаракат манбаларининг турига биноан юритмалар қўл, от ва механик юритмаларга бўлинади. Сув ва буғ турбиналари ҳамда шамол, ички ёнув ва электр моторлари билан ҳаракатланувчи юритмалар механик юритмалар деб аталади. Механик юритмалардан энг афзали электр моторли юритма бўлгани учун стационар иш машинаси ва механизмларининг асосий юритмаси сифатида электр моторли юритмадан фойдаланилади. Электр моторли юритма қисқача электр юритма деб аталади.

Электр юритма билан электр энергиясини механик энергиясита айлантириб, бу механик ҳаракатни электр усулда бошқариш имкони олинади. Демак, электр юритма асосан электр мотори, узатма ва моторни бошқарувчи электр аппаратлардан иборат бўлади.

13.2. Электр юритмаларнинг классификацияси

Электр мотори билан ҳаракатга келтириладиган иш машиналарининг ёки ишлаб чиқариш агрегатларидаги электр моторларнинг сонига қараб электр юритмалар трансмиссияли, якка моторли ва кўп моторли юритмаларга бўлинади. Трансмиссияли электр юритма ўз навбатида умумтрансмиссияли ва группавий, якка моторли электр юритма эса оддий ва индивидуал якка моторли, кўп моторли электр юритма ҳам оддий ва индивидуал кўп моторли юритмаларга бўлиниши мумкин. Бошқарилиш усулига биноан электр юритмалар автоматлаштирилган ва автоматлаштирилмаган, техно-



13.1-расм. Электр юритмалар классификацияси схемаси.

логик талаб ҳамда мотор хусусиятларига қараб эса ростланадиган ва ростланмайдиган юритмаларга бўлинади (13.1-расм).

Трансмиссияли электр юритмалар. Мотор ҳаракатини пўлат арқон ёки тасмалар ёрдамида корхона цехларидаги бош трансмиссияга узатувчи юритма умумтрансмиссияли электр юритма деб аталади. Бош трансмиссиядаги ҳаракат тасмалар билан трансмиссия бўлаклари ёки иш машиналарига узатилади.

Электр мотор ҳаракатини бир қанча иш машиналарига узатувчи юритмани группавий электр юритма деб аталади.

Группавий электр юритма умумтрансмиссиялига нисбатан афзал бўлишига қарамай, бу юритмада ҳам электр энергиясининг механик тақсимланиш имконларидан тўла фойдаланилмайди. Шу сабабли ҳозирги пайтда трансмиссияли электр юритмалардан деярли фойдаланилмайди.

Якка моторли электр юритма. Ҳар бир иш машинаси ёки механизмнинг ўзига тегишли алоҳида электр мотори бўлган юритма якка моторли электр юритма деб аталади.

Электр мотори иш машинасидан алоҳида ёки унинг тузилишига ўзгартиришлар киритмасдан ўрнатилган юритма оддий якка моторли электр юритма деб аталади.

Бундай электр юритмада қувват исрофи трансмиссиялига нисбатан анча кам бўлса ҳам, аммо унда узатиш механизмнинг мураккаблиги сақланиб қолади.

Индивидуал электр юритма бундай камчиликлардан холи қилинган.

Индивидуал электр юритмада электр мотори ва иш механизми конструктив жиҳатдан яхлит ва ишлаш учун қулай бўлган ташқи кўринишга эга бўлади. Индивидуал электр 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 электр юритма деб аталади.

Электр мотори билан иш механизми орасида узатиш механизми бўлмаган ва моторнинг баъзи бир қисмлари иш механизмнинг узвий органи сифатида қўлланиладиган юритма махсус индивидуал электр юритма деб аталади.

Шу сабабли махсус индивидуал электр юритмали иш машиналари шовқинсиз, енгил, содда конструкцияли, ишлашга қулай, юқори фойдали иш коэффициенти ва автоматлаштириш учун катта имконларга эга бўлади.

Бундай электр юритмаларда электр моторнинг аҳамияти иш машинасининг номида ҳам ўз ифодасини топади, яъни уларга “электр” сўзи қўшиб ёзилади, масалан, электр пардозлагич, электр шпиндель, электр урчуқ ва ҳоказо.

Кўп моторли электр 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 электр юритмалар деб аталади. Электр моторлари мураккаб машинанинг иш органларига бевосита ўрнатилса, бундай юритмани индивидуал кўп моторли электр юритма деб аталади.

Бундай электр 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 кўп моторли электр юритма деб аталади.

Бундай электр юритмалар тўқимачилик, 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 электр юритма деб аталади.

Технологик талабларга биноан частотаси кенг миқёсда ўзгариладиган юритма ростланувчи электр юритма деб аталади. Автоматлаштирилган ва ростланувчи электр юритмада юқоридаги уч асосий қисмлардан ташқари ўзгартгич деб аталадиган қисм ҳам бўлиши мумкин.

Автоматлаштирилган электр юритма билан технологик жараёни такомиллаштириш, унинг талабларини тўла қондириш, иш унумини кўтариш, маҳсулот сифатини яхшилаш, унинг таннархини пасайтириш имконлари яратилади.

13.3. Электр юритма ривожланишининг қисқача тарихи

1838 йилда рус олими Б. С. Якоби ўзи ясаган электр мотори билан кемани ҳаракатга келтириб биринчи электр юритмани яратган. Аммо у пайтда тежамли ток манбалари йўқлигидан электр 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 электр 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 пайтда қуввати бир неча Вт дан бир неча минг кВт гача бўлган электр юритмалари яратилган ва яратилмоқда.

13.4. Мамлакатимизда электр юритманинг тараққиёти

1922 йилда профессор С. А. Ринкевич раҳбарлигида Санкт-Петербургдаги ЛЭТИ институтида очилган “Саноатни электрлаштириш” ихтисослиги бўйича етук инженерлар тайёрлана бошланди.

С. А. Ринкевичнинг 1925 йилда нашрдан чиқарилган “Электрическое распределение механической энергии” деган китобида электр юритманинг назарий ва амалий томонлари ёритилган. Электр юритма назарияси ва амалиётининг 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 электр юритмани ривожлантиришда академиклардан В. С. Кулебакин, М. П. Костенко ҳамда А. Г. Иосифьян, Д. В. Васильев, М. З. Ҳомудхонов ва бошқа олимлар томонидан катта ишлар қилинган. Шўро ҳокимиятининг дастлабки йилларидаёқ электр 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 электр юритмадан фойдаланиш бўйича мамлакатимиз дунёда олдинги ўринларга ўтиб олди.

13.5. Қишлоқ хўжалик машиналари электр юритмалари тараққиётининг асосий йўналишлари

Профессор Г. И. Назаров таклиф этган классификация схемаси (13.1-расм) дан электр юритмаларнинг турларга бўлинишини, келажакдаги тараққиётини ва уларни такомиллаштириш йўллариини яққол кўриш мумкин.

Қишлоқ хўжалик машиналарини дастаки юритма, от ва механик юритмалардан электр юритмаларга ўтказишда уларнинг кинематик схемалари, механик характеристикалари ва ишлаш режимлари ўрганилган.

Электр юритмалардаги ўткинчи жараёнларини чуқур ўрганиш эса ҳозирги замон автоматлаштирилган электр юритма назарияси ва амалиётида катта илмий аҳамият касб этмоқда.

Келажакда яритиладиган қишлоқ хўжалик машиналари системасини ишлаб чиқишда жуда кўп мураккаб назарий, тажриба, конструкторлик ва эксплуатацион масалаларни ҳал этишга тўғри келади. Бу масалаларни тўғри ҳал этиш билан ишлаб чиқаришга, техник параметрлар ва электр юритмалар сифатига ҳамда қишлоқ хўжалик машиналари юритмалари характеристикасига илмий асосланган талаблар комплекси аниқлаб берилади.

Қишлоқ хўжалик машиналари электр юритмалари тараққиёти-нинг асосий йўналишлари:

1) қишлоқ хўжалик машиналари ва поток линиялари электр юритмаларининг турғун ва ўткинчи режимларда ишлашини чуқур тадқиқот этиш;

2) юқори айланиш частотали электр юритмалар ва юқори частотали ток манбаларини яратишга оид илмий-тадқиқот ишларини кучайтириш;

3) трактор ва комбайнларга ўхшаш мобиль машина ҳамда агрегатларга электр юритмаларни татбиқ этишга кўпроқ аҳамият бериш;

4) автоматлаштирилган электр юритмаларни бошқаришга тегишли техник воситаларни қўлаб яратиш ва такомиллаштириш. Автоматик бошқариш схемаларида контактсиз аппарат ва қурилмалардан кенгроқ фойдаланиш;

5) турли режимларда ишловчи қишлоқ хўжалик машиналари электр юритмаларини инженерлик ҳисоблаш усулларини такомиллаштиришдан иборат.

XIV БОБ. ЭЛЕКТР ЮРИТМАЛАРНИНГ ЎТКИНЧИ РЕЖИМЛАРИ

14.1. Умумий тушунчалар

Электр юритманинг бир турғун ҳолатдан иккинчисига ўтиш жараёнидаги иш режими унинг ўткинчи режими деб аталади.

Электр юритмани ишга тушириш, тормозлаб тўхтатиш, ҳаракат йўналишини ўзгартириш каби жараёнлар унинг ўткинчи режими ҳисобланади. Юкларнинг электр тармоғидаги кучланиш ёки ток частотасининг кескин ўзгаришида ҳам электр юритма ўткинчи режимда ишлайди. Ўткинчи режимни яхши ўрганиш билангина электр юритмалар учун мотор ва уни автоматик бошқариш аппаратларини тўғри танлаш имкони олинади. Камдан-кам ишга тушириладиган ва узоқ вақт ишлайдиган электр юритмалардагина (насос, вентилятор ва шу кабиларда) ўткинчи режим айтирлик аҳамиятга эга бўлмайди.

Электр юритмани ишга тушириш ва тўхтатиш каби ўткинчи режим даврларини ўзгартириш билан технологияни такомиллаштириш ва, демак, иш машинаси унумини кўтариш, маҳсулот сифатини яхшилаш имкони олинади. Электр юритманинг ўткинчи режими унинг электр ва механик ўткинчи жараёнларининг биргаликда ёки алоҳида ўтиши билан характерланади.

Бундай режим электр мотори ва иш механизмнинг динамикаси билан бевосита боғлангани сабабли, электр юритмалардаги ўткин-

чи режимни электромеханик, электромагнит ва механик жараёнларга бўлиш мумкин.

Электромеханик ўткинчи жараёнда электр ва механик параметрларнинг ўзгариши ҳисобга олинади. Аммо хусусий ҳолларда, масалан, мотор электр занжирига уланганда у дарҳол ҳаракатлана олмайди ва бунда магнит оқим ўзининг номинал қийматига эришгунга қадар фақат электромагнит жараёнгина содир бўлиб, якорь айлангандан кейингина механик ўткинчи жараён содир бўлади.

Ўткинчи режимларни ҳисоблашда қуйидаги усуллардан фойдаланилади. Агар айлантирувчи ва қаршилик моментларининг частотага боғланишининг аналитик ифодаси берилган бўлиб, чулғамнинг индуктивлиги $L = \text{const}$ ва системанинг инерция моменти $J = \text{const}$ бўлса, у ҳолда момент ва э. ю. к. ларнинг муовозанат 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. Айлантирувчи ва қаршилик моментларининг частотага боғланишининг графиги берилган бўлса, ҳисоблашнинг график усулидан фойдаланилади.

Электр юритма жуда ҳам мураккаб ва катта қувватли бўлса, у ҳолда ўткинчи режим унинг кичик моделида текширилади ва ўхшашлик назарияси асосида моделда олинган боғланишлар ҳақиқий электр юритма параметрларига келтирилиб ҳисобланади. Буни физик моделлаш усули дейилади. Математик моделлаш усули билан ўткинчи режимни ҳисоблашда электр юритма учун тузилган дифференциал тенгламалар системаси электрон аналог ҳисоблаш машинасига берилиб, ундан электр ва механик параметрларнинг вақт бўйича ўзгаришлари эгри чизиклар шаклида олинади.

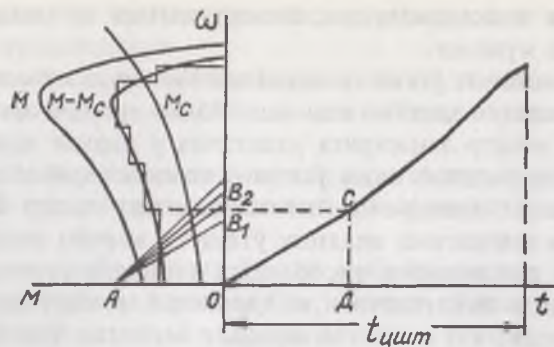
14.2. Ўткинчи жараён вақтини аналитик усул билан ҳисоблаш

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:

$$t_{1-2} = \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{J d\omega}{M \pm M_c}. \quad (14.2)$$



14.1-расм. Асинхрон моторли электр юритмани ишга тушириш вақтини график усулда ҳисоблаш.

Бу интегрални ечиш учун айлантирувчи ва қаршилик моментларининг тезлик билан боғланишини ифодаловчи аналитик формула маълум бўлиши лозим. Агар M , M_c ва $J = \text{const}$ деб қабул қилинса, ўткинчи жараённинг вақти қуйидагича аниқланади:

$$t_{1-2} = J \frac{\omega_2 - \omega_1}{M \pm M_c} = \frac{GD_2(n_2 - n_1)}{375(M \pm M_c)}, \quad (14.3)$$

бунда GD^2 — юритма системасининг мотор валига келтирилган силташ momenti;

n_1 ва n_2 — бошланғич ва охири частоталар.

Бу ифода билан электр моторларини резистор билан ишга тушириш ва тормозлаб тўхтатиш вақтларини аниқлаш мумкин.

Электр юритмани ишга туширишдаги ўткинчи жараён вақти қуйидагича топилади:

$$t_{\text{ишт}} = \frac{GD^2 n_{\text{сн}}}{375(M_{\text{ур}} - M_c)}. \quad (14.4)$$

Бунда бошланғич частота $n_1 = 0$, охири частота $n_2 = n_{\text{сн}}$ деб қабул қилинган;

$n_{\text{сн}}$ — қаршилик momenti M_c билан аниқланадиган турғун частота;

$M_c = \text{const}$ — берилган қаршилик momenti;

$M_{\text{ур}} = \text{const}$ — моторни ишга тушириш пайтидаги айлантирувчи моментнинг ўртача қиймати.

Моторни ишга тушириш жараёнидаги резисторли характеристикалар графигидан $M_{\text{ур}}$ қиймати қуйидагича аниқланади:

1) ўзгармас ток ва фаза роторли асинхрон моторлар учун

$$M_{\text{ур}} = \frac{M_{\text{макс}} + M_{\text{мин}}}{2} \approx 1,7 M_{\text{н}}; \quad (14.5)$$

2) қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторлар учун

$$M_{\text{ур}} = \frac{M_{\text{ишт}} + M_{\text{макс}}}{2} \approx 1,5 M_{\text{н}}; \quad (14.6)$$

бунда $M_{\text{н}}$ ва $M_{\text{ишт}}$ — моторнинг номинал ва ишга тушириш моментлари;

$M_{\text{макс}}$ — ўта юкланиш қобилятига биноан аниқланадиган айлантирувчи моментнинг максимал қиймати;

$M_{\text{мин}}$ — резистор билан ишга туширишдаги минимал айлантирувчи момент қиймати.

Электр юритмани ишга тушириш вақтини аниқроқ топиш учун (14.1) даги M ва M_c ларнинг частотага боғланиш ифодаси маълум бўлиши керак. Системанинг инерция momenti J қўпинча 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 momenti M_0 нинг қиймати $M_0 > 0$ бўлади. Шунга биноан ўткинчи режим жараёнини $n_2 \approx 0,95 n_{\text{сн}}$ да тугайди деб, чекли ишга тушириш вақтининг қиймати топилади. Электр тармоғидан ажратилган моторнинг ўз-ўзидан тўхташ вақти (14.3) га биноан қуйидагича аниқланади:

$$t_{\text{т}} = \frac{GD^2 \cdot n_{\text{сн}}}{375 M_c}, \quad (14.7)$$

бунда $n_1 = n_{\text{сн}}$; $n_2 = 0$; $M = 0$ деб қабул қилинган.

Агар табиий ишқаланишга кўра, электр юритманинг тўхташ вақти қўзилиб, технологик талабни қондирмаса, у ҳолда моторни электр усул билан тормозлаш қўлланилади. Бунда моторнинг айлантирувчи momenti M қаршилик momenti M_c томон йўналган бўлади. Демак, электр юритманинг тормозланиб тўхташ вақти қуйидагича аниқланади:

$$t_{\text{эт}} = \frac{GD^2 \cdot n_{\text{сн}}}{375(M + M_c)}. \quad (14.8)$$

14.3. Ўткинчи жараён вақтини график усул билан ҳисоблаш

Агар M ва M_c ларнинг частотага боғланишлари мураккаб бўлиб, уларнинг фақат графиклари берилган бўлса, у ҳолда ўткинчи жараён вақтини график 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:

$$M - M_c = J \frac{\Delta\omega}{\Delta t}. \quad (14.9)$$

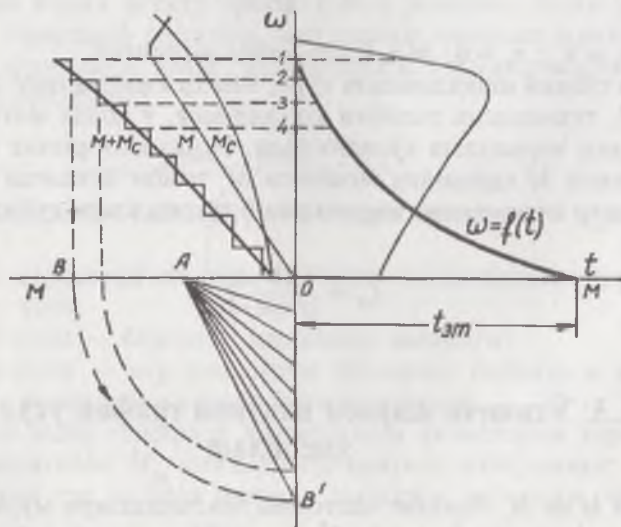
Бунда маълум Δt вақт оралиғида моментлар айирмаси ўзгармас қийматга эга, яъни $M - M_c = \text{const}$ бўлади деб қабул қилинади. 14.1-расмда қисқа туташтирилган роторли асинхрон мотор билан вентилятор ҳаракатлантирилганида электр юритмани ишга тушириш вақтини график усулда аниқлаш кўрсатилган.

Бунинг учун (14.9) тенгламадан қуйидаги пропорция тузилади:

$$\frac{M - M_c}{J} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}. \quad (14.10)$$

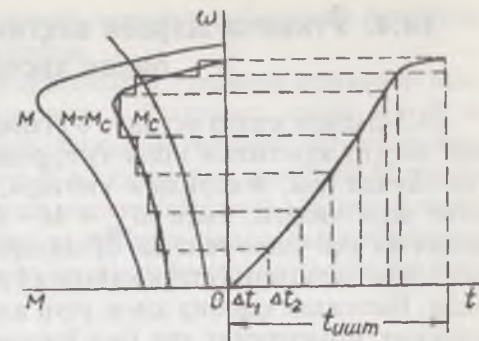
Бу пропорцияга биноан, даставвал, график усул билан мотор ва механизм механик характеристикаларининг айирмаси, яъни динамик момент $M_{\text{дин}} = M - M_c$ қурилади. Сўнгра частотанинг маълум $\Delta\omega$ ўзгариш оралиғида $M_{\text{дин}}$ эгри чизигининг ўртача қийматлари ўзгармас бўлган поғонали чизиклар билан алмаштирилади.

Қуриш аниқлиги поғоналар сонига боғлиқ, уларнинг сони қанча кўп бўлса, қуриш шунча аниқ чиқади. Сўнгра ҳар бир поғонадаги динамик момент миқдори ордината ўқига ўтказилади. Бунда биринчи поғона учун ордината ўқида OB_1 , иккинчи поғона учун эса OB_2 ва бошқа поғоналар учун ҳам шундай кесмалар олинади. Орди-



14.2-расм. Асинхрон моторли электр юритмани электродинamik режимда тормозлаб тўхтатиш вақтини график усулда ҳисоблаш.

ната ўқидаги B_1, B_2 ва ҳ. к. нуқталарни абсисса 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 уч-



14.3-расм. Электр юритмани ишга тушириш вақтини графоаналитик усулда ҳисоблаш.

бурчакликлигига ўхшашлигидан $\frac{OB_1}{OA} = \frac{CD}{OD}$, бунда $OB_1 = M_1 - M_{c1}$; $OA = J$ ва $CD = \Delta\omega$, бўлгани учун OD кесма биринчи участкадаги ишга тушириш вақтини, яъни $OD = \Delta t_1$ ни ифодалайди.

Шу каби қуришлар асосида частотанинг ўткинчи жараёнидаги $\omega = f(t)$ боғланиш топилиб, ундан $t_{\text{ишт}}$ аниқланади. Бунда миқдорлар масштаби учун қуйидаги пропорцияни тузиш мумкин:

$$\frac{m_m}{m_\omega} = \frac{m_\omega}{m_t}, \quad (14.11)$$

бунда m_m, m_ω ва m_t — тегишлича айлантирувчи момент, бурчак частота ва вақтга биноан қабул қилинган масштабларнинг маълум қиймати. Булар асосида (14.11) пропорциядан m_t масштабини аниқлаш мумкин. 14.2-расмда асинхрон моторни электродинamik усул билан тормозлаб тўхтатиш вақтини график 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 динамик момент ордината ўқида ўтказилади. Натижада B' нуқта топилиб уни A нуқта билан бирлаштирилади. Бунда ҳам OA кесма инерция моменти J ни ифодалайди. 1 нуқтадан AB' чизикка параллел бўлган ва 2 нуқтадан ўтган чизик билан кесишгунга қадар давом этган чизик ўтказилади. Натижада юқоридаги сингари $\omega = f(t)$ олинади, ундан эса электр усулда тормозлаш билан электр юритмани тўхтатиш вақти $t_{\text{ст}}$ топилади.

14.4. Ўткинчи жараён вақтини графоаналитик усул билан ҳисоблаш

14.3-расмда юзлар усули деб аталадиган графоаналитик усул билан электр юритмани ишга тушириш вақтини аниқлаш кўрсатилган. Бунда ҳам, юқоридаги сингари, график усулда динамик момент эгри чизиги, яъни $M_{\text{дин}} = M - M_c = f(\omega)$ аниқланади. Сўнгра ордината ўқи ўзаро тенг $\Delta\omega$ бўлакларга, $\Delta\omega$ оралиғида динамик момент эгри чизигини ўртача қиймати ўзгармас бўлган қисмларга бўлинади. Натижада ҳар бир қисм учун алоҳида ифода олинади. Бундан динамик моментнинг ҳар бир ўзгармас қисми таъсирида 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 электр юритмани ишга тушириш вақтининг умумий қиймати қуйидаги аналитик ифодадан ҳисобланади:

$$t = \sum_1^m (\Delta t) = J \cdot \Delta\omega \sum_1^m \frac{1}{M - M_c} \quad (14.13)$$

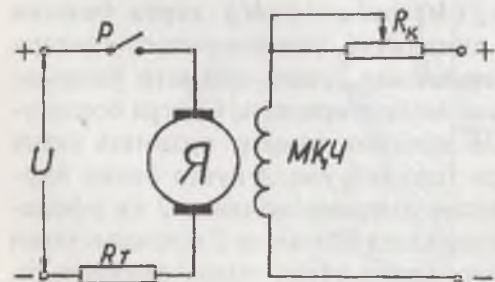
бунда m — қисмлар сони;

$\Delta\omega = \text{const}$ — ҳар бир қисмдаги частотанинг ўзгармас қиймати;

$M - M_c$ — ҳар бир қисмдаги динамик момент қиймати.

14.5. Мустақил қўзғатишли ўзгармас ток моторининг ишга тушириш жараёндаги ўткинчи режими

Кўпинча электр юритма системасидаги ўткинчи режимни текшириш учун унинг механик инерциясигина ҳисобга олинади. Механик инерция система-



14.4-расм. Мустақил қўзғатишли ўзгармас ток моторини ишга туширишдаги ўткинчи режимни текшириш схемаси.

нинг механик параметрлари билан бирга мотор занжиридаги қаршиликнинг электромеханик хусусиятларига биноан аниқланади. Бунда мотор чулғамларидаги индуктивликдан ҳосил бўладиган электромагнит инерция механик инерцияга нисбатан жуда кичик бўлгани учун уни ҳисобга олинмайди.

14.4-расмда мустақил қўзғатишли моторни рубильник ёрдамида ишга тушириш схемаси кўрсатилган.

Моторни ишга тушириш жараёнидаги ўткинчи режимни текширишда якорь занжири қаршилиги ўзгармас, яъни $R = R_a + R_c = \text{const}$ деб қабул қилинади. Бунда моторнинг магнит оқими Φ электр тармоғидаги кучланиш U ва қаршилик momenti M_c ларни ҳам ўзгармас, якорь чулғамининг индуктивлигини эса нолга тенг, яъни $L_a = 0$ деб қабул қилинади ва булар асосида ишга тушириш жараёни учун қуйидаги электр ва механик мувозанат тенгламалари тузилади:

$$U = C_E \omega + i_a R, \quad (14.14)$$

$$M = C_m i_a = J \frac{d\omega}{dt} + M_c \quad (14.15)$$

Агар электромагнит инерция ҳисобга олинб, уни ўзгармас, яъни $J_m = \text{const}$ деб қабул қилинса, у ҳолда (14.14) қуйидагича кўринишни олади:

$$U = C_E \omega + i_a R = J_m \frac{di_a}{dt} \quad (14.16)$$

(14.15) дан i_a ни топиб, уни (14.14) га қўйилади, сўнгра тенгламанинг чап ва ўнг томонларини C_E га бўлиб $\frac{U}{C_E} = \omega + \frac{JRd\omega}{C_E C_m dt} + \frac{M_c R}{C_E C_m}$ ҳосил қилинади. Бу тенгламани қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\omega_0 = \omega + T_m \frac{d\omega}{dt} + \Delta\omega_c \quad (14.17)$$

бунда $\omega_0 = \frac{U}{C_E}$ — идеал салт иш режимидаги бурчак частотаси;

$\Delta\omega_c$ — юклама сабабли мотор частотасининг пасайиши;

$$T_m = \frac{JR}{C_E C_m} \quad (14.18)$$

(14.18) ифодадаги T_m — вақт ўлчов бирлигига эга бўлгани учун уни системанинг электромеханик вақт доимийси деб аталади.

Ҳақиқатан, J [кГм c^2]; R [Ом] ва $C_E = \frac{U}{\omega_0} \left[\frac{B}{1} \right]$, $C_m = \frac{M}{I} \left[\frac{\text{кГм}}{\text{А}} \right]$

бўлгани учун $T_m = \frac{JR}{C_E C_m}$ [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 $C_m = \frac{M_k}{I_k}$ бўлиб, электромеханик вақт доимийсини қуйидагича ифодалаш ҳам мумкин:

$$T_m = \frac{J\omega_0}{M_k} \quad (14.19)$$

Инерция моменти J га тенг бўлган юкмасиз юритмани қўзғалмас ҳолатдан $M = M_k = \text{const}$ бўлган момент билан идеал частота ω_0 гача айлантириш учун кетган вақт электромеханик вақт доимийси деб аталади.

Якорь занжири қаршилигининг ортиб бориши билан M камайиб T_m ортиб боради. Шу билан бирга T_m нинг қиймати юкламага 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 бурчак частотасига 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 ишлаган моторнинг турғун частотаси.

Моторни ишга тушириш 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:

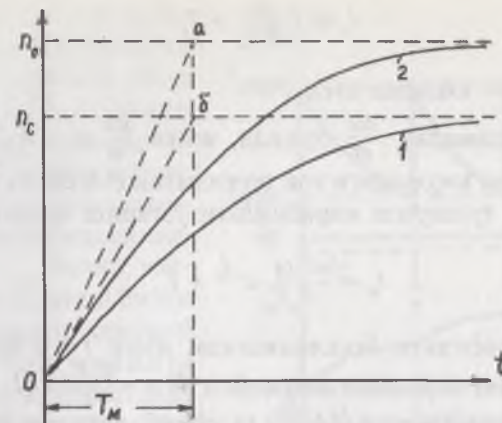
$$\omega = \omega_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_m}}\right). \quad (14.22)$$

Агар мотор идеал салт иш режимида ишга туширилса, у ҳолда частотанинг турғун қиймати ω_0 бўлиб, (14.22) тенглама қуйидагича ифодаланади:

$$\omega = \omega_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_m}}\right). \quad (14.23)$$

Агар бурчак частотаси ω айланиш тезлиги n га алмаштирилса, қуйидаги тенгламалар ҳосил қилинади:

$$n = n_c + (n_0 - n_c)e^{-\frac{t}{T_m}}, \quad (14.24)$$



14.5-расм. Мустақил қўзғатишли мотор частотасини ишга тушириш жараёни даврида ўзгариш эгри чизиклари.

$$n = n_c \left(1 - e^{-\frac{t}{T_m}}\right), \quad (14.25)$$

$$n = n_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_m}}\right). \quad (14.26)$$

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-расмда (14.25) ва (14.26) формулалар асосида қурилган эгри чизиклари кўрсатилган.

Юқоридаги ўткинчи режим тенгламаларига биноан, ишга тушириш жараёни чексиз катта вақтда тугайди, яъни $t = \infty$ бўлганда $n = n_c$ бўлади.

Аммо $M_0 > 0$ бўлгани учун ўткинчи режим даври $t = (3 \div 5) T_m$ 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 $t = 3 T_m$; $e^{-3} \approx 0,05$ 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, юклама бўлмаганда частота oa , юклама бўлганда эса ob тўғри чизиклиги бўйича ўзгарган бўлар эди (14.5-расм).

2 эгри чизикларга координата бошидан ўтказилган oa уринмалардан $n_0 a = n_c b$ кесмаларининг вақт масштабида T_m ни ифодалаши аниқланади. Ишга тушириш пайтида мотор токининг ўзгариш қонуни (14.15) тенгламадан аниқланади:

$$i_a = J \frac{d\omega}{dt c_m} + J_c \quad (14.28)$$

бунда $I_c = \frac{M_c}{C_m}$ — юклама 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 тенгласи (14.28) га қўйсақ, якори токининг ишга тушириш жараёнидаги ўзгариш қонуни топилади:

$$i_a = -\frac{JA}{C_m T_m} e^{-\frac{t}{T_m}} + I_c \quad (14.29)$$

Агар бу жараённинг бошланишида, яъни $t = 0$ бўлганда $i_a = i_6$ бўлса, у ҳолда интеграллаш доимийси $A = -\frac{C_m T_m}{J} \times (I_6 - I_c)$ бўлади. Интеграллаш доимийсини (14.29) га қўйиб, токнинг ўзгариш қонунини ифодаладиган қуйидаги ифода ҳосил қилинади:

$$i_a = I_c + (I_6 - I_c) e^{-\frac{t}{T_m}} \quad (14.30)$$

Токнинг бошланғич қиймати қуйидагича топилади.

Агар мотор қўзғалмас ҳолатдан ишга туширилса, у ҳолда $E = 0$ бўлиб, $I_6 = I_k = \frac{U}{R}$ бўлади. Бунда (14.30) қуйидагича ифодаланади:

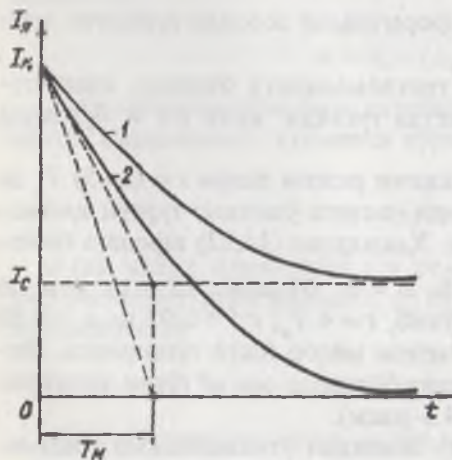
$$i_a = (I_k - I_c) e^{-\frac{t}{T_m}} + I_c \quad (14.31)$$

Агар мотор юкламасиз ишга туширилса, яъни $I_c = 0$ бўлса, (14.31) ифода соддалашиб қуйидаги 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 токининг ўзгаришини кўрсатувчи 1 ва 2 эгри чизиклар кўрсатилган.

Демак, моторнинг механик характеристикалари тўғри чизик бўйича ўзгарса ва ундаги юклама қиймати ўзгармаса, яъни $M_c = \text{const}$ $\omega = f(t)$ ва $i = f(t)$ боғланишлар (14.5), (14.6) расмларда кўрсатилгандек оддий экспоненциал боғланиш билан ифодаланади.



14.6-расм. Мустақил қўзғатишли мотор токини ишга тушириш жараёни даврида ўзгариш эгри чизиклари.

14.7-расмда мустақил қўзғатишли моторни резистор воситасида ишга туширишдаги ўткинчи режимнинг характеристикалари кўрсатилган. Бунда бошланғич токнинг қиймати максимал, яъни $I_6 = I_{\text{макс}}$ бўлиб, частота ортиб бориши билан унинг қиймати камайиб боради. Ток қиймати $I = I_{\text{мин}}$ га тенглашганда қаршиликнинг биринчи поғонаси шунтланиб, токнинг қиймати яна $I_{\text{макс}}$ гача кўтарилади ва χ к.

Мотор токининг максималдан минимал қийматгача камайиши учун кетган вақт (14.30) формуладан аниқланади:

$$I_{\text{мин}} = I_c + (I_{\text{макс}} - I_c) \times e^{-\frac{t_x}{T_{\text{мх}}}} \quad (14.33)$$

бунда t_x — реостатнинг бирор поғона қаршилигида мотор токининг $I_{\text{макс}}$ дан $I_{\text{мин}}$ гача ўзгариш вақти;

$T_{\text{мх}}$ — шу поғонадаги вақт доимийси.

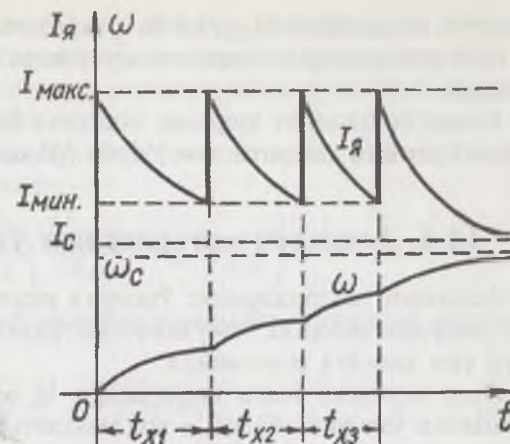
(14.33) дан t_x қуйидагича аниқланади:

$$t_x = T_{\text{мх}} \ln \frac{I_{\text{макс}} - I_c}{I_{\text{мин}} - I_c} \quad (14.34)$$

Агар ишга тушириш жараёнида $I_c = \text{const}$ бўлса, у ҳолда (14.34) ифоданинг логарифми ҳам ўзгармас бўлиб, t_x нинг соддалаштирилган ифодаси қуйидагича бўлади:

$$t_x = k T_{\text{мх}} \quad (14.35)$$

Маълумки, мотор частотаси ортиб бориши билан, якори таъсиридаги ташқи қаршилик поғоналари шунтланиб борилади. $T_{\text{мх}} = \frac{JR}{C_E C_m}$ бўлгани учун частота ортиб бориши билан ташқи поғона қаршилигига тегишли $T_{\text{мх}}$ ва t_x ларнинг қиймати камайиб боради, яъни $t_{x1} > t_{x2} > t_{x3}$ бўлади (14.7-расм). Якори занжиридан резистор қаршилиги охириги поғонасининг чиқарилганидан сўнг $t = (3 \div 4) T_{\text{мх}}$ 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 жараёнидаги



14.7-расм. Мустақил қўзғатишли моторни резистор воситасида ишга туширишдаги ўткинчи режим характеристикалари.

ўткинчи режимнинг $\omega = f(t)$ ва $i_a = f(t)$ тенгламалари ҳам юқоридаги сингари электр ва механик 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 электромагнит инерция механик 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 тенграмаси қуйидагича ифодаланади:

$$\frac{2M_{\max}}{S_{\text{кр}} + S} = J \frac{d\omega}{dt} \quad (14.36)$$

бунда $\omega = \omega_0(1 - S)$ ва, демак, $\frac{d\omega}{dt} = -\omega_0 \frac{dS}{dt}$ бўлиб, (14.36) тенглама қуйидагича ифодаланади:

$$\frac{2M_{\max}}{S_{\text{кр}} + S} = -J\omega_0 \frac{dS}{dt}$$

бундан dt қуйидагича аниқланади:

$$dt = -\frac{J\omega_0}{2M_{\max}} \left(\frac{S_{\text{кр}}}{S} + \frac{S}{S_{\text{кр}}} \right) dS \quad \text{ёки}$$

$$dt = -\frac{T_m}{2} \left(\frac{S_{\text{кр}}}{S} + \frac{S}{S_{\text{кр}}} \right) dS, \quad (14.37)$$

бунда $T_m = \frac{J\omega_0}{M_{\max}}$ — электромеханик 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 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 жараёни тугайди деб қабул қилинади.

Бунда юкламасиз, яъни $M_c = 0$ бўлган моторни ишга тушириш вақти қуйидагича аниқланади:

$$t_{\text{ишт}} = \frac{T_m}{2} \left(\frac{1-0,05^2}{2S_{\text{кр}}} + S_{\text{кр}} \ln \frac{1}{0,05} \right).$$

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 сирпанишнинг 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, электр юритманинг инерция моменти J ни камайтириш керак. Инерция моментини камайтириш учун кўпинча, битта моторни ярим қувватли иккита мотор билан алмаштириш тавсия қилинади. Бунда мотор роторларининг диаметри қисқариб, уларнинг умумий оғирлиги кўпайса 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. Электр юритма инерция моменти J нинг қиймати асосан, мотор якори ёки роторининг инерция моменти J_m билан аниқланиши сабабли унинг камайтирилиши ўткинчи режимдаги энергия исрофининг камайтишига олиб келади.

14.7. Электр юритманинг ўткинчи жараёнларини моделлаш усули билан аниқлаш

Электр юритма ўткинчи жараёнларини текшириш, уларни бошқариш йўллари аниқлаш учун юқорида қўрилган усуллардан фойдаланиш билангина доимо қониқарли натижаларга эришиш имкони бўлмайди.

Шунинг учун ҳозирги пайтда мураккаб электр юритмаларда содир бўладиган ўткинчи жараёнларни уларнинг моделларида текшириш ва ўрганиш кенг қўлланилмоқда.

Электр юритмалар моделини физик ёки математик асосда яратиш мумкин. Физик модель яратиш учун электр юритмани ташкил қиладиган элементларнинг қуввати ва габаритини, кўпинча кичиклаштириб, айрим ҳолларда эса, катталаштириб олинади.

Бунда электр юритма моделидаги элементлар параметрларининг ўзаро нисбати ҳақиқий юритманики сингари бўлиши керак. Шундагина физик моделдаги ҳамма жараёнларнинг физикавий хусусиятлари ҳақиқийники сингари бўлади. Бундай модель ишини текшириш натижасида математик йўл билан ҳисобга олиш мумкин бўлмаган баъзи бир иккинчи даражали ҳодисалар таъсири ҳам аниқланиши мумкин.

Физик моделнинг энг муҳим томонлари шундаки, у орқали ҳақиқий қурилманинг турғун ва ўткинчи жараён режимларини амалда ҳар томонлама текшириш, уни созлаш, 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 техник 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, электромагнит вақт доимийси $T_s = \frac{L_k}{R_k}$ 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 юклама вазифасини ўтовчи генератор габаритини талабга биноан танлаш ёки унинг валига қўшимча маховик ўрнатиш керак бўлади.

Математик модель ясаш учун модель структураси элементларидаги жараён ҳақиқий жараённи ифодаловчи математик тенгламалар асосида ўтиши керак. Аммо бу усулда математик тенгламалар билан ифодалаб бўлмайдиган уярма ток, якорь реакцияси каби ҳодисалар таъсирини математик модель орқали ҳисобга олишнинг иложи йўқ. Кўпинча, математик модель R , L ва C элементларидан ташкил топган электр занжири схемаларидан иборат бўлади.

Ҳақиқатан, $M_c = 0$ бўлганда мустақил қўзғатишли мотор токи ва частотасининг ишга тушириш пайтидаги ўзгариш қонунлари (механик ва электромагнит инерцияларни ҳисобга олганда) R , L ва C дан иборат электр занжиридаги ўткинчи режимга ўхшаш бўлиб, улар-

ни бир хил типдаги қуйидаги математик тенгламалар билан ифодалаш мумкин:

$$\frac{d^2 i_a}{dt^2} + \frac{di_a}{T_s dt} + \frac{i_a}{T_s T_m} = 0,$$

$$\frac{d^2 \omega}{dt^2} + \frac{d\omega}{T_s dt} + \frac{\omega}{T_m T_s} = 0.$$

Мотор токи ва частотасининг математик ифодаси бўлган бу тенгламаларни ҳам юқоридаги сингари электр ва механик мувозанат тенгламаларини биргаликда ечиш билан топилади. Бунда $T_s = \frac{L_k}{R_k}$ — электромагнит вақт доимийси.

R , L ва C элементларидан иборат занжир кучланиши ўзгармас электр тармоғига уланганида ҳосил бўлган токнинг ўзгариш қонуни ҳам юқоридаги тенглама сингари ифодаланади,

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{di}{T_1 dt} + \frac{i}{T_1 T_2} = 0,$$

бунда $T_1 = \frac{L}{R}$; $T_2 = RC$ — вақт доимийси.

Юқорида келтирилган тенгламаларни солиштириш натижасида қуйидаги хулосага келиш мумкин; электр юритманинг инерция моментига эквивалент миқдор сифатида сиғимни қабул қилса бўлади. Демак, $C_s = \frac{J}{C_{ECM}}$ бўлади. Ҳозирги пайтда юқори даражали дифференциал тенгламалардан иборат мураккаб масалаларни ҳам тез ва катта аниқлик билан электрон ҳисоблаш машиналарида ечилмоқда.

Электр юритмадаги ҳодисаларни текшириш учун эса, кўпинча, аналог деб аталувчи электрон ҳисоблаш машиналаридан фойдаланилади. Бунда ҳақиқий электр юритманинг баъзи занжирларини бу машинадаги керакли қисмларга улаб, улардаги ўткинчи жараёнларни бевосита ўрганиш ва, натижада, коррективловчи элементларнинг уланиш жойларини аниқлаш каби масалаларни ечиш ҳам мумкин.

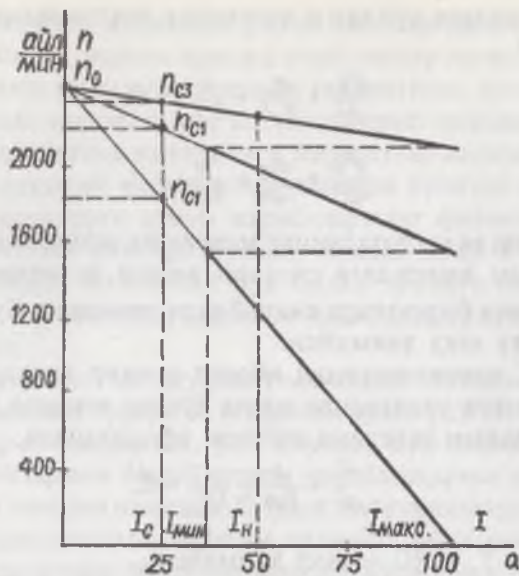
Аналог ҳисоблаш машиналари R , C элементлари ва кучайтиргичлардан ташкил топган математик моделлардан иборат бўлади.

14.1-масала. Қуввати $P_n = 10$ кВт, кучланиши $U_n = 220$ В, токи $I_n = 52,2$ А, айланиш частотаси $n_n = 2250$ айл/мин, $R_n = 0,065$ R_n ва $GD^2 = 4,9$ Нм² бўлган ўзгармас ток моторини икки поғонали қаршилик билан ишга туширишдаги $i = f(t)$ ва $\omega = f(t)$ лар ҳисоблансин. Бунда юклама токи $I_c = 0,5 I_n$ деб қабул қилинсин.

Ечиш. Моторнинг номинал қаршилиги $R_n = \frac{U_n}{I_n} = \frac{220}{52,2} = 4,21$ Ом бўлиб, $R_s = 0,065 \cdot R_n = 0,274$ Ом бўлади.

Ишга тушириш резистори поғоналарининг қаршилиги график усулда аниқланади (14.8-расм).

Бунинг учун $I_{\max} = 2I_n = 104,4$ 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-рasm. Ишга тушириш реостати поғоналари қаршилигини график усулда аниқлаш.

Э. ю. к. ва момент коэффициентлари қуйидагича аниқланади:

$$C_E = \frac{U - I_n R_n}{n_n} = \frac{220 - 52,2 \cdot 0,274}{2250} = 0,09 \frac{В}{\text{айл/мин}}$$

$$C_M = 9,55 \quad C_E = 9,55 \cdot 0,09 = 0,86 \frac{Н \cdot м}{А}$$

Демак,

$$n_c = \frac{U}{C_E} = \frac{220}{0,09} = 2408 \frac{\text{айл}}{\text{мин}} \text{ булади.}$$

$n = f(t)$ ва $i_a = f(t)$ лар қуйидаги формулалар билан ҳисобланади.

Частотанинг биринчи қаршилик 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:

$$T_M = \frac{GD^2 R_1}{375 C_E C_M} = 0,35 \text{ сек}; R_1 = R_n + R_{p2} + R_{p1} = 2,11 \text{ Ом.}$$

Юклама токи $I_n = 0,5 I_n$ га тегишли турғун частота n_{c1} графикдаги масштабга биноан аниқланса, $n_{c1} = 1812 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ булади.

Демак, ишга туширишнинг биринчи поғонасида $n = f(t)$ ни ҳисоблаш формуласи қуйидагича ифодаланади:

$$n = 1812 - 1812 e^{-\frac{t}{0,35}};$$

$i_a = f(t)$ ни эса қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$i_a = I_c + (I_{\text{макс}} - I_c) e^{-\frac{t}{T_{M1}}} = 26,1 + (104,4 - 26,1) e^{-\frac{t}{0,35}} = 26,1 + 78,3 e^{-\frac{t}{0,35}}$$

Биринчи поғонадаги ишга тушириш вақти

$$t_1 = T_{M1} \ln \frac{I_{\text{макс}} - I_c}{I_{\text{мин}} - I_c} = 0,35 \ln \frac{104,4 - 26,1}{38 - 26,1} = 0,65 \text{ сек.}$$

Шундай қилиб, ҳисоблаш формулаларидаги вақт ўрнига $t = 0 \div 0,65$ сек гача бўлган турли қийматлар бериб, қуйидаги жадвал тузилади ва ундан $n = f(t)$ ва $i_a = f(t)$ эгри чизикларини қуриш мумкин.

1 - жадвал

№ №	t	n	i_a
	сек	айл/мин	А
1	0	0	104,4
2	0,2	762	70,1
3	0,4	1236	50,9
4	0,6	1491	40
5	0,65	1538	38

Иккинчи поғонада

$$n = n_{c2} + (n_{c2} - n_{c2}) e^{-\frac{t}{T_{M2}}},$$

$$I_a = I_c + (I_{\text{макс}} - I_c) e^{-\frac{t}{T_{M2}}};$$

$$R_2 = R_n + R_{p2} = 0,76 \text{ Ом}; T_{M2} = \frac{GD^2 R^2}{375 C_E C_M} = 0,125 \text{ сек.}$$

Турғун частотанинг қиймати

$$n_{c2} = 2192 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$$

Иккинчи поғонадаги вақт

$$t_2 = T_{M2} \ln \frac{I_{\text{макс}} - I_c}{I_{\text{мин}} - I_c} = 0,36 \text{ сек.}$$

Демак, ҳисоблаш формулалари: $n = 2191 + (1538 - 2192) e^{-\frac{t}{0,125}} = 2192 - 654 e^{-\frac{t}{0,125}}; i_a = 26,1 + 78,3 e^{-\frac{t}{0,125}}$ булади.

Бу маълумотлар асосида топилган ҳисоблаш натижалари 2-жадвалда кўрсатилган.

2-жадвал

№№	t	n	i_s
	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 бўлади, яъни

$$R_3 = R_n = 0,274 \text{ Ом};$$

$$n_{с3} = 2330 \frac{\text{айл}}{\text{мин}};$$

$$i_s = 26,1 + 78,3 e^{-\frac{t}{0,045}}$$

$$T_{м3} = \frac{4,9 \cdot 0,274}{375 \cdot 0,09 \cdot 0,86} = 0,045 \text{ сек.}$$

$$n = 2330 - 237 e^{-\frac{t}{0,045}};$$

$$t_3 \approx 4T_{м3} = 0,18 \text{ сек.}$$

Ҳисоблаш натижалари 3-жадвалда келтирилган.

3-жадвал

№№	t	n	i_s
	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 $P_n = 15 \text{ кВт}$, $n_c = 1500 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$, $S_n = 2,86\%$, $\lambda = 2,4$ ва $GD_m^2 = 0,9 \text{ кгм}^2$ бўлган асинхрон моторли электр юритмани ишга тушириш, тормозлаш (тескари улаш билан) ва реверслаш вақтларини аниқланг.

Механизм силташ моментининг мотор валига келтирилган қиймати $GD_{мех}^2 = 0,4 \text{ кгм}^2$ бўлиб, унинг қаршилик моменти эса $M_c = 3 \text{ кгм}$.

Ечиш 1. Моторнинг номинал айланиш частотаси:

$$n_n = n_c(1 - S_n) = 1500(1 - 0,0286) = 1457 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$$

$$2. \text{ Моторнинг номинал моменти } M_n = \frac{975 P_n}{n_n} = \frac{975 \cdot 15}{1457} = 10,05 \text{ кгм.}$$

$$3. \text{ Критик сирпаниш } S_{кр} = S_n (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,028 (2,4 + \sqrt{2,4^2 - 1}) = 0,131.$$

4. Моторни ишга тушириш моменти ($S = 1$ га тенг бўлганда)

$$M_6 = \frac{2 \cdot M_{\text{макс}}}{\frac{1}{S_{кр}} + 1} = \frac{2 \cdot 2,4 \cdot 10,05}{0,131 + 1} = 6,22 \text{ кгм.}$$

5. Ишга тушириш пайтидаги ўртача момент

$$M_{\text{ур}} = \frac{M_{\text{макс}} + M_6}{2} = \frac{2,4 \cdot 10,05 + 6,22}{2} = 15,15 \text{ кгм.}$$

6. Электромеханик вақт доимийси

$$T_m = \frac{J \omega_c}{M_{\text{макс}}} = \frac{(GD_m^2 + CD_{\text{мех}}^2) \pi \cdot n_c}{4 \cdot g \cdot M_{\text{макс}} \cdot 30} = \frac{1,3 \cdot 3,14 \cdot 1500}{4 \cdot 9,81 \cdot 24,12 \cdot 30} = 0,216 \text{ сек.}$$

7. Моторни ишга тушириш вақти

$$t_{\text{ишт}} = T_m \left(\frac{1}{4S_{кр}} + \frac{3}{2} S_{кр} \right) \frac{M_{\text{ур}}}{M_{\text{ур}} - M_c} = 0,54 \text{ сек.}$$

8. Тескари улаш билан моторни тормозлашда $s = 2$, тормозлаш моменти

$$M_{s=2} = \frac{2M_{\text{макс}}}{\frac{2}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{2}} = \frac{2024,12}{0,131 + \frac{1}{2}} = 3,16 \text{ кгм.}$$

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

$$t_{\text{тз}} = T_m \left(\frac{3}{4S_{кр}} + 0,345 S_{кр} \right) \frac{M_{\text{ур}}}{M_{\text{ур}} - M_c} = 0,76 \text{ сек.}$$

11. Реверслаш вақти

$$t_p = t_{\text{ишт}} + t_{\text{тз}} = 0,54 + 0,76 = 1,3 \text{ сек.}$$

XV БОБ. ЭЛЕКТР ЮРИТМА СИСТЕМАСИНИ ТАНЛАШ

15.1. Умумий тушунчалар

Ҳар бир такомиллашган иш машинасининг конструкцияси унинг учун танланган электр юритма системасини ҳисобга олиб яратилади. Электр юритма ҳамда мотор турлари ва қувватларини, уларнинг бошқарувчи аппаратлари ва схемаларини берилган кинематик схема, технологик режим параметри ва талаблари асосида аниқлаш иш машинасига электр юритма системасини танлаш деб аталади. Технологик режим параметрлари берилган бўлиши, ёки уларни ҳисоблаб ёхуд ўлчаб топиш мумкин, улар иш машинасини ишга тушириш, турғун ишлаш ва реверсланиш ёки тормозланиб тўхташ

пайтларида унинг юкламаси ва частотасининг ўзгариш диаграммалари билан аниқланади. Иш машинаси частотасининг ростланиш диапазони ва силлиқлиги, берилган частотанинг ўзгармай сақланиши, частотанинг ўзгариши билан қувват ёки моментнинг ўзгармай сақланиши ҳамда иш машинаси ўрнатилган муҳит кўрсаткичлари каби технологик талаблар электр юритма системасини танлашда ҳисобга олинади. Бунда юклама диаграммасига биноан даставвал моторнинг қуввати тахминан аниқланиб, сўнгра у бўйича каталогдан мотор танланади. Танланган мотор ва электр 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 тўла фойдаланиб бўлмайди. Бунда иш машинаси қувватидан тўла фойдаланиш учун моторни номиналдан ортиқ бўлган қувват билан ишлаши керак. Бу эса мотор чулғам изоляциясининг қизиби кетишига ва натижада унинг тезда ишдан чиқишига олиб келади. Агар мотор қуввати талабдагига нисбатан катта бўлса, у ҳолда электр юритманинг иқтисодий ва техник кўрсаткичлари пасайиб, мотор нархи ва ундаги қувват исрофи ортади. Бунда ўзгарувчан ток моторларининг қувват коэффициенти ҳам нормадагига нисбатан пасайиб кетади.

Электр юритма системаси тўғри танланганидагина иш машинаси ва мотор қувватидан тўла ҳамда оптимал фойдаланилади.

Саноат, транспорт, қишлоқ хўжалиги ва бошқа соҳаларда электр юритмадан жуда кенг фойдаланганлиги сабабли уни тўғри танлаш халқ хўжалиги аҳамиятига эга бўлган масалалар қаторига киради. Иш машинаси, кўпинча, ўзгарувчан юклама билан ишлайди. Бунда электр моторидан ўтадиган юклама 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:

$$Q = 0,24 \Delta P t = 0,24 P R t, \quad (15.1)$$

бунда 0,24 — электр энергияни иссиқлик энергиясига ўтказувчи эквивалент коэффициент.

Демак, мотордан ажраладиган иссиқлик миқдори унинг чулғамдаги юклама токининг квадратага пропорционал бўлади.

Агар технологик талабга кўра, мотор тез-тез ишга туширилиб ва тўхтатилиб турилса, у ҳолда бу ўткинчи режимларда мотор чулғамдаги 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. Демак, маълум вақтдан сўнг моторда ажралаётган иссиқлик энергияси унинг таш-

қи муҳитга узатаётган иссиқлик энергияси қийматига тенглашиши мумкин. Бунда моторнинг қизиш жараёни турғун ҳолатга ўтиб, унинг ҳарорати ўзгармас қийматга эга бўлади.

Бу ҳароратининг нормал қиймати чулғамлар қопланган изоляция материалининг тури ва сифати билан аниқланади. Ўта юкланиш сабабли мотор нормадан ортиқроқ қизиби 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 юклама диаграммасида кўрсатилган энг катта юклама 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

$$\Delta P = P_1 - P_2 = P_1(1 - \eta) = \Delta P_{-н} X^2 + \Delta P_{=} = \Delta P_{=} + \Delta P_{=} , \quad (15.2)$$

бунда P_1 — моторга берилган қувват;

P_2 — мотор валидаги қувват;

η — моторнинг фойдали иш коэффициенти;

$\Delta P_{=}$ — моторнинг пўлат қисмларидаги уярма ток ва айланувчи қисмларидаги ишқаланишдан содир бўладиган ўзгармас қийматли, яъни юкламага боғлиқ бўлмаган қувват исрофлари;

$\Delta P_{-н}$ — мотор чулғамларидаги токдан ҳосил бўлган қувват исрофининг номинал қиймати. Бунинг қиймати юкламага боғлиқ бўлиб, юкланиш коэффициенти X нинг квадратага тўғри пропорционал бўлади;

$X = \frac{P_2}{P_{н}}$ — юкланиш коэффициенти;

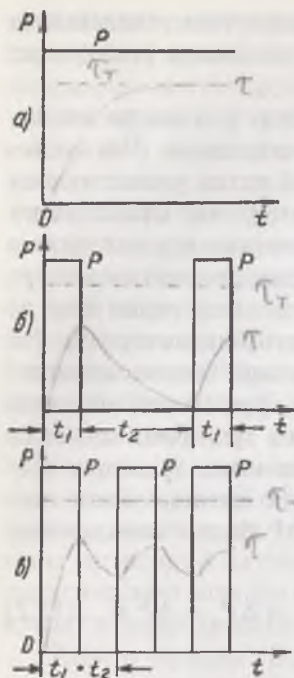
$P_{н}$ — мотор валидаги қувватнинг номинал қиймати.

Моторнинг қизиш ва совиш жараёни, асосан, электр юритманинг иш режимига боғлиқ бўлади.

15.2. Электр юритманинг иш режимлари

Электр юритма юкламаси, кўпинча, ўзгарувчан бўлади.

Аммо у узоқ муддатли ўзгармас ёки ўзгарувчан юкламада ҳамда қисқа муддатли ва такрорланувчи қисқа муддатли режимларда ҳам ишлайди. 15.1-расм, а да узоқ муддатли ўзгармас юклама билан



15.1-расм. Иш машина-сининг:

а — узоқ муддатли; б — қисқа муддатли; в — такрорланувчи қисқа муддатли режимлардаги юклама диаграммалари.

15.3. Моторнинг узоқ муддатли ўзгармас юклама билан ишлаш режимидаги қизиш ва совий жараёнлари

Моторнинг иш жараёнида унинг турли, яъни чўян корпуси, пўлат магнит системаси, мис чулғамлари ва изоляцияловчи материалдан иборат қисмлари ҳар хил ҳарорат билан қизийди.

Бунда моторнинг қизиш жараёнини ҳисоблаш жуда ҳам мураккаб бўлади. Қизиш жараёнини осонроқ ҳисоблаш учун турли қисмлардан иборат бўлган моторни эквивалент иссиқлик сигимиغا эга бўлган бир хил материалдан иборат деб қабул қилинади. Бунда моторнинг қизиш жараёнини иссиқлик балансининг қуйидаги дифференциал тенгламаси билан ифодалаш мумкин:

$$Qdt = A\tau dt + Cdt, \quad (15.3)$$

ишлайдиган иш машинасининг юклама диаграммаси кўрсатилган. Бундай юклама режимини, кўпинча, вентилятор, насос, транспортёр каби механизмларда учратиш мумкин. Узоқ муддатли иш режимида мотор ўзининг нормал ҳароратигача қизий олади. 15.1-расм, б да қисқа муддатли иш режимига тегишли юклама диаграммаси кўрсатилган. Бунда t_1 иш вақтида P қувватга танланган мотор ўзининг нормал ҳароратигача қизий олмайди. Аммо электр тармоғидан ажратилган мотор ҳарорати t_2 даврида (пауза) ташқи муҳит ҳароратигача совий олади.

Ташқи муҳит ҳарорати, 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 режимига тегишли юклама диаграммаси кўрсатилган. Бунда P қувватга танланган мотор t_1 иш даврида ўзининг нормал ҳароратигача қизий олмайди, t_2 да эса унинг ҳарорати ташқи муҳитниқигача совий олмайди. Бундай иш режими, кўпинча, кран ва станокларда учрайди.

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 ҳароратининг ташқи муҳит ҳароратидан юқорилиги, яъни моторнинг қизиш даражаси; град;
 A — мотор билан ташқи муҳит ўртасидаги ҳарорат 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 сигими, $\frac{\text{кал}}{\text{сек}}$ ёки $\frac{\text{Ж}}{\text{сек}}$.
 t — вақт, сек.

Моторнинг қизиш жараёни $\tau = f(t)$ боғланиш билан характерлашиб, 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:

$$\tau = \frac{Q}{A} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_k}}\right) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T_k}}. \quad (15.7)$$

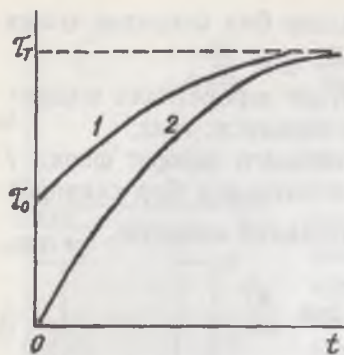
(15.7) даги $\frac{Q}{A} = \tau_k$ ва $\frac{C}{A} = T_k$ деб, моторнинг қизиш жараёнини характерлайдиган тенглама ҳосил қилинади:

$$\tau = \tau_k \left(1 - e^{-\frac{t}{T_k}}\right) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T_k}}. \quad (15.8)$$

бунда τ_k — моторнинг турғун иш режимидаги қизиш ҳарорати;
 T_k — қизишнинг вақт доимийси.

Агар $t = 0$ бўлганда $\tau_0 = 0$ бўлса, у ҳолда (15.8) қуйидагича ифодаланади:

$$\tau = \tau_k \left(1 - e^{-\frac{t}{T_k}}\right). \quad (15.9)$$



15.2-расм. Электр моторнинг қизиш эгри чизиқлари.

дагича ифодаланади:

$$Q dt = C d\tau. \quad (15.10)$$

Агар $\tau_0 = 0$ бўлса, (15.10) дан қуйидаги олинади:

$$t = \frac{C}{Q} \tau. \quad (15.11)$$

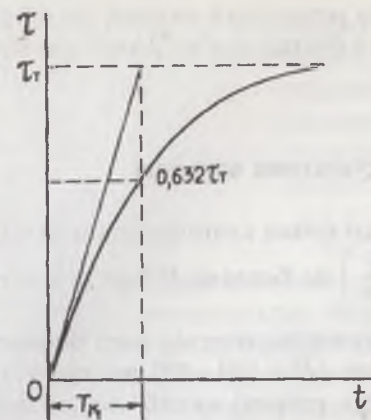
(15.11) га $\tau = \tau_t = \frac{Q}{A}$ ни қўйиб, моторнинг турғун ҳароратгача қизиш учун кетган вақт t_t аниқланади:

$$t_t = \frac{C}{Q} \tau_t = \frac{C}{A} = T_k. \quad (15.12)$$

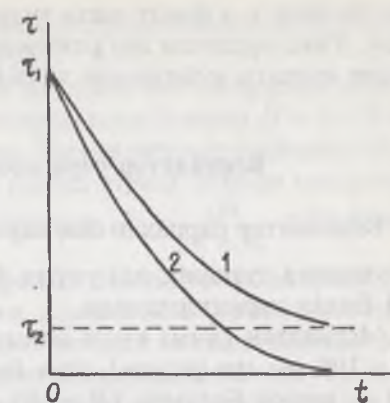
Агар реал шароит ҳисобга олинса, яъни муҳитга мотордаги иссиқликнинг бир қисми тарқалиб турилади дейилса, у ҳолда T_k вақт давомида мотор ҳарорати $\tau = 0,632 \tau_t$ гача қизийди.

Ҳақиқатан (15.9) тенгламадаги t ўрнига T_k қўйилса, юқоридаги ифода, яъни $\tau = \tau_t \left(1 - e^{-\frac{t}{T_k}}\right) = 0,632 \tau_t$ олинади.

Тажриба асосида қурилган $\tau = f(t)$ эгри чизигидан T_k нинг қийматини аниқлашда юқорида олинган ифодадан фойдаланилади. 15.3-расмда тажриба билан топилган $\tau = f(t)$ эгри чизигига уринма ўтказиб, T_k нинг қийматини аниқлаш кўрсатилган. Якорининг диаметри 160÷600 мм бўлган ўзгармас ток машиналари учун қизишнинг вақт доимийси тахминан $T_k = 25 \div 90$ мин; якорининг диаметри 100÷400 мм бўлган ёпиқ МП типидagi машиналар учун $T_k = 65 \div 270$ мин бўлиб, роторининг диаметри 105÷140 мм бўлган қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторлар учун $T_k = 11 \div 22$ мин; роторининг диаметри 160÷600 мм бўлган фаза роторли моторлар учун эса $T_k = 25 \div 90$ мин бўлади. Электр тармоғидан ажратилган ёки камроқ юкламага ўтказилган моторнинг совиш жараёнидаги $\tau = f(t)$



15.3-расм. Қизиш эгри чизигидан график усулда моторнинг қизиш доимийсини аниқлаш.



15.4-расм. Электр моторининг совиш эгри чизиқлари.

боғланишини топиш учун (15.8) ифодадан фойдаланиш мумкин. Бунинг учун $\tau_0 = \tau_1$ ва $\tau_t = \tau_2$ деб, қуйидаги тенглама олинади:

$$\tau = \tau_2 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_k}}\right) = \tau_1 e^{-\frac{t}{T_k}}. \quad (15.13)$$

Агар $\tau_2 = 0$ бўлса, у ҳолда (15.3) тенглама қуйидагича ифодаланади:

$$\tau = \tau_1 e^{-\frac{t}{T_k}}. \quad (15.14)$$

15.14-расмда моторнинг (15.13) ва (15.14) ифодалар асосида қурилган совиш эгри чизиқлари кўрсатилган.

Шундай қилиб, қуввати тўғри аниқланган моторнинг турғун иш режимидаги ҳарорати $\tau_t = \tau_{\text{норм}}$ бўлиши керак. Бунда $\tau_{\text{норм}}$ моторнинг чулғам изоляцияси типига биноан аниқланган нормал қизиш ҳарорати.

15.4. Узоқ муддатли ўзгармас юкламада мотор қувватини аниқлаш

Узоқ муддатли иш режимининг юклама диаграммасидан ёки ҳисоблаш йўли билан иш машинаси қувватини аниқлаш мумкин бўлмаган ҳолларда иш машинасининг ўлчаш билан аниқланган қувватини узатманинг фойдали иш коэффициентига бўлиб, моторнинг қуввати топилади. Мотор валидаги қувватга биноан катологдан мо-

тор 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 қочма кучга асосланган конструкцияда тузилиб, иш унуми $Q \left[\frac{\text{м}^3}{\text{сек}} \right]$ ва босими H [мм сув устуни] билан характерланади.

Марказдан қочма кучга асосланган вентиляторлар паст босимли ($H \leq 100$ мм сув устуни); ўрта босимли ($H \leq 100 \div 400$ мм сув устуни) ва юқори босимли ($H \geq 400$ мм сув устуни) қилиб чиқарилади. Вентилятор қуввати қуйидаги мулоҳазалар асосида топилади.

Агар солиштира оғирлиги $\gamma \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$ бўлган ҳавони кўндаланг 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:

$$P_m = \frac{QH}{102\eta_b\eta_y} \text{ кВт}, \quad (15.17)$$

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)

η_b — вентиляторнинг фойдали иш коэффициенти бўлиб, унинг қиймати катта қувватли вентилятор учун $\eta_b = 0,4 \div 0,75$, марказдан қочма кучга асосланган ўрта қувватли вентилятор учун $\eta_b = 0,3 \div 0,5$ ва ки-

чик қувватдаги парракли вентилятор учун $\eta_b = 0,2 \div 0,35$ бўлади.

η_y — узатманинг фойдали иш коэффициенти. Парракли вентиляторларнинг босими $H = 4 \div 10$ мм сув устуни бўлади. Узатмаларнинг фойдали иш коэффициенти узатма турига биноан аниқланади. Агар

$$H \left[\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \right] \text{ да олинса, } P_m = \frac{QH}{10^3 \eta_b \eta_y} \text{ кВт бўлади.}$$

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:

$$q = Fv\gamma \equiv n. \quad (15.18)$$

(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 ишлатиш шарт. Акс ҳолда, яъни вентилятор иш жараёнида ўзи учун лойиҳаланган миқдорлар билан ишламаса, унинг иш унуми, 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, горизонтал дренаж ва шу каби ирригация иншоотлари учун поршенли ва марказдан қочма кучга асосланган насослар, занжирли ва винтли сув кўтаргичлари ҳамда чархпалаклардан фойдаланилади. Техник ва иқтисодий кўрсаткичларга биноан электр мотори билан ҳаракатга

келтириладиган марказдан қочма кучга асосланган насослар сувни узатиш учун энг қулай иш машиналаридан ҳисобланади. Қишлоқ ҳўжалигига берилаётган электр энергиясининг ярмидан кўп қисми насосларнинг электр юритмасига сарфланади. Насос моторининг қуввати қуйидаги формула билан аниқланади:

$$P_m = \frac{Q\gamma H}{102\eta_n\eta_y} \text{ кВт}, \quad (15.22)$$

бунда Q — насоснинг иш унуми, $\frac{\text{м}^3}{\text{сек}}$;

γ — суюқликнинг солиштирма оғирлиги (сув учун $= 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 9810 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$);

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 вентилларда йўқотиладиган босим исрофларини ҳисобга оладиган босим; H_4 — трубадаги сувнинг ундан берилган тезликда чиқишини таъминлайдиган эркин босим;

$\eta_n\eta_y$ — насос ва узатманинг фойдали иш коэффициентлари.

Насоснинг иш унуми, одатда, истеъмолчи томонидан ҳисобланади ва берилган бўлади.

Насос билан ҳайдаладиган суюқликнинг солиштирма оғирлиги маълумотномалардан олинади. H_1 миқдорининг назарий қиймати атмосфера босими билан сув ҳароратига 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 ҳарорати, °С	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 ҳароратининг ортиб бориши билан буғланиш 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 бўлса, у ҳолда насос станциясини махсус қайиқ устига ўрнатилади.

Насосларнинг сув сўриш трубаларининг пастки учи билан сув манбаининг энг пастки сирти орасидаги баландлик 0,5 метрдан кам бўлмаслиги лозим.

Чуқур қудуқлардан сув тортиш учун, кўпинча, поршенли насослардан фойдаланилади. Бу насосларни сув сиртидан керакли бўлган баландликда ўрнатиш имкони бор.

Бунда электр моторини ер юзасига ўрнатиб у билан насос узун штангали кривошип механизми орқали боғланади. Насос орқали ҳайдалган сувнинг трубалардан чиқиш тезлиги марказдан қочма кучга асосланган насослар учун $v \leq 0,5 \div 2,5 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$, поршенли насослар учун эса сўриш трубасида $v \leq 0,75 + 0,8 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$, ҳайдаш трубасида $v \leq 0,75 \div 1,5 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$ бўлади. H_3 босимнинг трубанинг тўғри участкасидаги қисми қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$h_{\text{тр}} = \lambda \frac{Lv^2}{d2 \cdot g} \text{ [м. сув устуни]}, \quad (15.23)$$

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 коэффициент. Бунинг қиймати турли частоталар учун жадвалдан топилади (масалага қаранг). Бурилиш ва вентиллардаги босим исрофи ҳам (15.23) ифодага ўхшаш ифодалар билан аниқланади (масалага қаранг).

Эркин босим қиймати $H_4 = 6 \div 7$ м сув устунига тенг деб қабул қилинади.

Тақрибий ҳисоблашларда марказдан қочма кучга асосланган насос фойдали иш коэффициентини паст босимли ($H \leq 15$ м) насослар учун $\eta_n = 0,25 \div 0,6$, ўрта босимли ($H > 40$ м) насослар учун $\eta_n = 0,4 \div 0,8$ га тенг деб олиш мумкин.

Поршенли насосларнинг фойдали иш коэффициентлари марказдан қочма кучга асосланган насосларникига нисбатан тахминан 10% га юқоридир. Марказдан қочма кучга асосланган насослар ай-ланиш частотасининг ўзгариши билан уларнинг иш унуми, босими

ва истеъмол қиладиган қуввати вентиляторларники 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, моторнинг юкламаси ортиб боради.

Бунда мотор ўта юкланмаслиги учун насос иш унумини камайтириш лозим. Бунинг учун эса мотор частотасини камайтириш ёки сўриш трубадининг кўндаланг кесимини махсус клапан билан кичрайитириш керак.

Марказдан қочма насосларда клапан ва поршенлар бўлмаганлигидан уларнинг ишлашдаги ишончлилиги анча юқори бўлади. Бундай насослар $1000 \div 3000 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ частоталарга ҳисобланиб, электр моторлари билан бевосита айлантирилади. Шунинг учун насос станциялари ихчам ва шовқинсиз ишлайдиган конструкцияда бўлади. Марказдан қочма насосни ишга тушириш учун ҳайдовчи трубадаги вентил ёпиқ бўлиши керак. Мотор частотаси ўзининг номинал қийматига эришганидан сўнг вентилни очиш мумкин. Насосни ишга тушириш олдида унинг камерасини ва сўриш трубаларини сув билан тўлдириш лозим. Поршенли насосларнинг иш унуми ва қуввати моторнинг айланиш частотасига тўғри пропорционалдир. Поршень ва берилаётган сувнинг частотаси ўзгарувчан бўлганлиги сабабли мотор қуввати пульсацияланиб туради. Шунга кўра, бунда инерция кучлари ҳаддан ташқари ортиб кетмаслиги учун поршеннинг ҳаракат сони чегараланади.

Кичик қувватли насослар учун поршеннинг ҳаракат сони минутига $30 \div 60$ дан, ўрта қувватли насосларда $50 \div 200$ дан ва катта қувватлиларда $100 \div 300$ дан ортиқ бўлмаслиги керак. Бундай насослар тўла босимда ишга туширилиши сабабли мотор ишга тушириш моментининг катта бўлиши талаб қилинади.

15.1-масала. Бир суткада 4 соат ишлаб, 50 м^3 сувни 22 метр баландликка чиқариб бериш учун керак бўлган марказдан қочма 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, $H_1 + H_2 + H_4 = 22 \text{ м}$. Трубадининг узунлиги $L = 200 \text{ м}$ бўлиб, у учта вентил ва учта бурилишга эга. Трубадининг диаметри $d = 65 \text{ мм}$.

Ечиш. 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) Трубадининг тўғри қисмидаги босим исрофи

$$h_{\text{тр}} = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \quad [\text{метр сув устуни}],$$

бунда

$$v = \frac{Q_{\text{сек}}}{\frac{\pi n^2}{4}} = \frac{0,0035 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,065^2} = 1,06 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$$

сувнинг трубадан чиқиш тезлиги.

λ — трубадаги сув тезлигига боғлиқ бўлган коэффициент. Уни қуйидаги жадвалдан аниқланади:

№ №	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

№ №	$\frac{d}{R}$	ξ
1	0,1	0,13
2	0,2	0,138
3	0,3	0,158
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, $h_{\text{тр}} = 0,024 \cdot \frac{200 \cdot 1,06^2}{0,065 \cdot 2 \cdot 9,81} = 4,2$ [метр сув устуни] бўлади. Вентил ва бурилишлардаги босим исрофи қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$h_{\text{бур}} = 3\xi \frac{v^2}{2g} \quad \text{м. сув устуни,}$$

бунда ξ — труба параметрларига биноан қуйидаги жадвалдан аниқланадиган коэффициент;

d — труба диаметри;

R — трубадининг ички бурилиш радиуси;

$\frac{d}{R} = 0,3$ деб қабул қилинса, у ҳолда $\xi = 0,158$ бўлиб, бурилишлардаги босим исрофи

$$h_{\text{бур}} = 3\xi \frac{v^2}{2g} = 3 \cdot 0,158 \cdot \frac{1,06^2}{2 \cdot 9,81} = 0,027 \text{ м.}$$

сув устуни бўлади.

Вентил учун $\xi = 0,49$ деб қабул қилинса, $h_{\text{вен}} = 3 \cdot 0,49 \cdot \frac{1,06^2}{2 \cdot 9,81} = 0,09 \text{ м.}$ сув устуни. Демак, $H_1 = h_{\text{тр}} + h_{\text{бур}} + h_{\text{вен}} = 4,2 + 0,027 + 0,09 = 4,56 \text{ м.}$ сув устуни бўлиб, сувнинг умумий кўтариш баландлиги $H = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 = 22 + 4,56 = 26,56 \text{ м.}$ сув устуни бўлади.

Шундай қилиб, умумий босим, яъни $H = 26,56 \text{ метр}$ сув устуни ва иш унуми Q га биноан каталогдан керакли типдаги насос танланади. Сўнгра бу насос учун мотордан талаб қилинадиган қувват, яъни $P_{\text{м}} = \frac{Q \cdot H}{10^3 \eta_{\text{н}} \eta_{\text{г}}}$ аниқланади, бунда $\eta = 9810 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$ — сувнинг солиштирма огирлиги;

$Q = 0,004 \frac{\text{м}^3}{\text{сек}}$ — танланган насоснинг иш унуми;

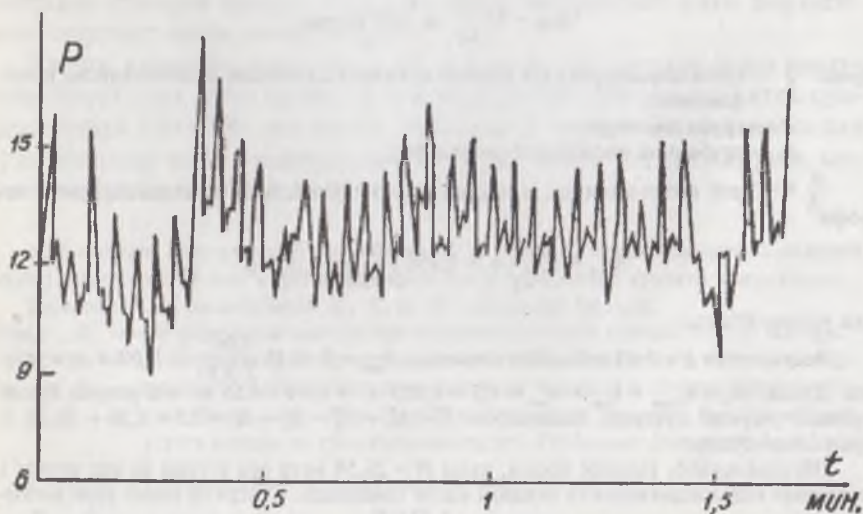
$H = 29$ м сув устуни — танланган насоснинг умумий босими.

$\eta_n = 0,5$ — 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. $\eta_y = 1$ бўлади. Шундай қилиб, $P_n = \frac{0,004 \cdot 9810 \cdot 29}{0,5 \cdot 1 \cdot 10^3} = 2,3$ 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 юкламада мотор қувватини аниқлаш

Ўзгарувчан юкламада мотор қувватини унинг қизиш даражасига биноан аниқлаш анча мураккаб бўлади. 15.5-расмда қишлоқ хўжалик маҳсулотларини янчадиган машинанинг юклама диаграммаси кўрсатилган. Бундай ўзгарувчан юкламали диаграммадан қувватнинг ўртача арифметик қийматини топиб, сўнгра унга биноан мотор қувватини аниқлаш, албатта, нотўғри бўлади. Ҳақиқатан, (15.1) ифодага биноан, моторда ҳосил бўладиган қувват исрофи ва, демак, ундан ажраладиган иссиқлик энергияси миқдори токнинг квадратига пропорционалдир. Шунинг учун ўзгарувчан юкламада мотор қувватини қуйидаги усуллар билан аниқлаш қулайроқ бўлади.



15.5-расм. Янчиш машинасининг юклама диаграммаси.

1. Ўртача исроф усули

Бу усул моторда ажраладиган қувват исрофининг ўртача қийматини аниқлашга асосланган.

15.6-расмда юклама қиймати поғонали ўзгарадиган узоқ муддатли ишлаш режимининг графиги кўрсатилган.

Ўртача исроф усулига биноан, даставвал, графикдаги қувватнинг ўртача арифметик қиймати, $P_{\text{ўр}}$ аниқланади ва уни $1,1 \div 1,8$ га тенг бўлган заҳира коэффициентига кўпайтириб, у бўйича 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 юкламаларга тегишли $\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3$ ва ΔP_4 қувват исрофлари қуйидаги ифодадан аниқланади:

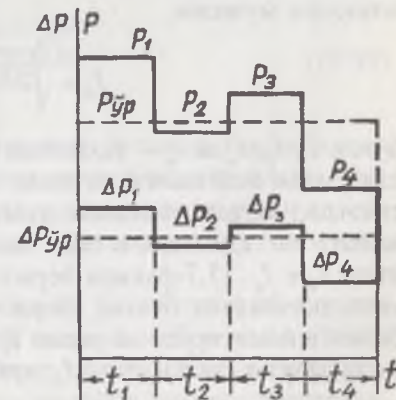
$$\Delta P = P \left(\frac{1-\eta}{\eta} \right). \quad (15.27)$$

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 $\Delta P = f(i)$ графиги кўрсатилган. Бу графикка биноан қувват исрофининг ўртача қиймати қуйидагича аниқланади:

$$\Delta P_{\text{ўр}} = \frac{\Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 + \Delta P_3 t_3 + \Delta P_4 t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4} \quad (15.28)$$

Шундай қилиб, агар $\Delta P_{\text{ўр}} \leq \Delta P_n$ 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 $\Delta P_{\text{ўр}} > \Delta P_n$ бўлса, у ҳолда танланган мотордан бир шкала катта қувватли бошқа мотор олиниб, уни юқоридаги сингари қайта текширилади.

Қизиш ҳароратига биноан тўғри танланган, яъни $\Delta P_n \geq \Delta P_{\text{ўр}}$ бўлган мотор ўта юкланиш ва ишга тушириш моментлари 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 юкламаларга тегишли η қиймати кўпинча берилмайди. Шу сабабли бу усул амалда кам қўлланилади.



15.6-расм. Узоқ муддатли ишлаш режимининг графиги.

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 юклама диаграммаси асосида қурилган $\Delta P = f(t)$ нинг ҳар бир погонаси 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 коэффицент.

Агар мотордаги турли юкламаларда қувват исрофининг ΔP_+ қисми ҳамда δ коэффиенти ўзгармас қолади деб қабул қилинса, у ҳолда ҳар бир юкламадаги қувват исрофини (15.28) ифодага қўйиб, қуйидаги олинади:

$$\Delta P_+ + \delta I_3^2 = \frac{(\Delta P_+ + \delta I_1^2)t_1 + (\Delta P_+ + \delta I_2^2)t_2 + \dots + (\Delta P_+ + \delta I_4^2)t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4} \quad (15.30)$$

(15.30) ифода асосида моторнинг ўзгарувчан юкламадаги узоқ муддатли иш режимини эквивалент юклама қиймати ўзгармас бўлган узоқ муддатли иш режими билан алмаштирилади. Эквивалент ўзгармас юкламада қувват исрофининг қиймати ҳақиқий режимдаги қувват исрофининг ўртача қийматига тенг бўлиши керак. Демак, (15.30) ифодадан фойдаланиб, эквивалент ток I_3 қийматини қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$I_3 = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + I_3^2 t_3 + I_4^2 t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}}, \quad (15.31)$$

бунда I_1, I_2, I_3 ва I_4 — тахминан танланган моторнинг турли юкламалар билан ишлашига тегишли тоқлари. (15.31) ифодага биноан каталогдан мотор танланиб, унинг номинал токи ҳисобланган эквивалент ток қийматига тенг ёки ундан бир оз катта бўлиши лозим, яъни $I_3 \leq I_n$. 15.7-расмда берилган эгри чизиқли $I = f(t)$ графигини унга эквивалент бўлган тўғри чизиқли қисмлардан иборат график билан алмаштириш ва ундан I_3 ни топиш кўрсатилган. Графикнинг уч бурчакли қисми учун I_{31} қуйидагича аниқланади:

$$I_{31} = \frac{I_1}{\sqrt{3}}, \quad (15.32)$$

трапеция шаклли қисми учун эса,

$$I_{35} = \sqrt{\frac{I_4^2 + I_4 I_5 + I_5^2}{3}} \quad (15.33)$$

Мотор қувватини аниқлашда, кўпинча, момент ёки қувват асосида қурилган юклама диаграммаларидан фойдаланилади. Бунда эквивалент момент ёки қувватни эквивалент ток сингари ифодадан аниқлаш мумкин. Ҳақиқатан, магнит оқими $\Phi = \text{const}$ бўлган мустақил қўзғатишли ўзгармас ток мотори ва шу сингари бошқа моторлар учун $I = M$ ва электромагнит момент, тахминан, мотор валидаги моментга тенг деб, (15.31) ифодадан эквивалент момент формуласини олиш мумкин:

$$M_3 = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \quad (15.34)$$

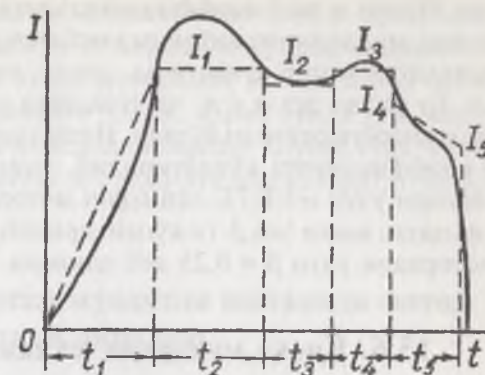
Бунда ўзгарувчан ток мотори учун қувват коэффиенти турли юкламаларда ҳам ўзгармас бўлади деб қабул қилинади.

Механик характеристикаси қаттиқ бўлган моторларнинг частотаси юклама ўзгариши билан деярли ўзгармаслиги сабабли улар учун эквивалент қувват формуласи қуйидагича ифодаланади:

$$P_3 = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}. \quad (15.35)$$

Бу усулдан асосан мустақил қўзғатишли ўзгармас ток ва қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторларда фойдаланилади. Эквивалент миқдор усулларида энг аниғи эквивалент ток усули ҳисобланади. Аммо юклама диаграммаларида, кўпинча, момент ёки қувват кўрсатилади.

Эквивалент миқдорлар усулида очиқ ва ўзини совитиб турадиган тузилишдаги моторлар учун қизиш доимийси $T_k = \text{const}$ бўлади деб қабул қилинади. Агар моторни ишга тушириш, тормозлаб тўхташиш ва пауза пайтларида унинг совиш жараёни нормал частотадагига нисбатан сустлашса, у ҳолда (15.31), (15.34) ва (15.35) ифода махражларини юқоридаги жараёнларга тегишли вақтлари 1 дан ки-



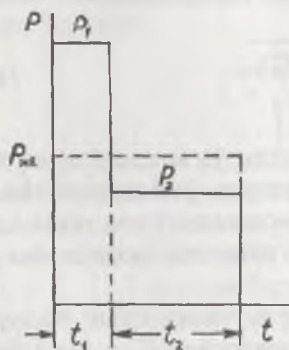
15.7-расм. Эгри чизиқли юклама диаграммасини унга эквивалент бўлган тўғри чизиқли диаграмма билан ифодалаш.

чик 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 $n < n_n$ частоталарда совиш жараёнининг сустрлашгани ҳисобга олинган бўлади. Ишга тушириш ва тормозлаш давлари α коэффициентга кўпайтирилиб, унинг қиймати ўзгармас ток моторлари учун $\alpha = 0,75$, асинхрон моторлари учун $\alpha = 0,5$ деб олинади, пауза вақти эса β га кўпайтирилиб, унинг қиймати ўзгармас ток моторлари учун $\beta = 0,25$ деб олинади.

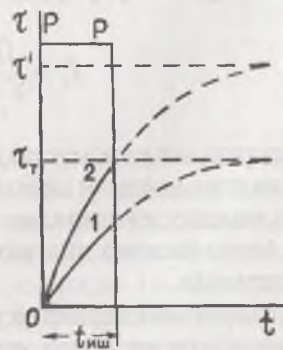
15.6. Қисқа муддатли юкламада мотор қувватини аниқлаш

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 механик 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 юклама диаграммаси кўрсатилган.

Бу диаграмма асосида даставвал эквивалент қувват аниқланиб, сўнгра унга ва иш даврига биноан каталогдан қисқа иш режимига мўлжалланган мотор танланади. Қисқа муддатли режим учун узоқ муддатли юкламага ҳисобланган оддий моторлардан фойдаланиш ҳам мумкин.



15.8-расм. Қисқа муддатли ишлаш режимининг графиги.



15.9-расм. Такрорланувчи қисқа муддатли ишлаш режимининг графиги ва бу режимда моторнинг қизиш ва совиш эгри чизиклари.

Агар узоқ муддатли юкламага мўлжалланган мотор қисқа муддатли иш режимда қўлланилса, уни бирмунча кўпроқ юклама билан ишлатиш мумкин, лекин бунда моторнинг ўта юкланиш бўйича захираси 1,6 дан кам бўлмаслиги лозим. Аммо бунда ҳам, мотордан, уни қизиши бўйича тўла фойдаланилмайди. Шунга кўра, қисқа муддатли иш режимларига махсус шу режимга мўлжалланган мотор қўллаш тавсия қилинади.

15.7. Такрорланувчи қисқа муддатли юкламада мотор қувватини аниқлаш

15.9-расмда такрорланувчи қисқа муддатли иш режимига тегишли юклама диаграммаси ва бу режимда моторнинг қизиш жараёни кўрсатилган.

Бундай режим ишлаш даврининг нисбий узунлиги деб аталувчи ПВ ёки ξ коэффициенти билан характерланади, яъни

$$ПВ\% = \left(\frac{t_{инш}}{t_{инш} + t_0} \right) 100 = \frac{t_{инш}}{t_{цикл}} 100 = \xi \cdot 100, \quad (15.36)$$

бунда $t_{инш}$ — моторнинг P юклама билан ишлаш даври;

t_0 — моторнинг электр тармоғидан ажратилган ёки юкламасиз ишлаш даври.

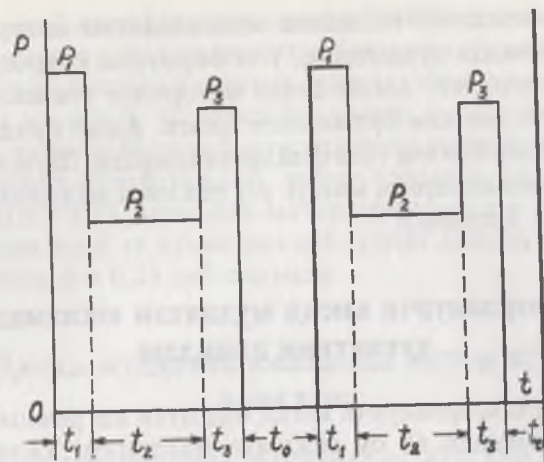
$t_{цикл} = t_{инш} + t_0$ — такрорланувчи цикл даври бўлиб, унинг қиймати 10 минутдан ортиқ бўлмайди деб қабул қилинади.

Демак, бу режимда моторни ишга тушириш ва уни тормозлаб тўхтатиш жараёнлари тезда такрорланиб туриши сабабли, унинг учун қўлланиладиган мотор механик жиҳатдан анча зўрайтирилган бўлиб, катта қийматли ишга тушириш ва максимал моментларга эга бўлиши керак.

Бундай режим учун ҳам махсус моторлар чиқарилиб, уларнинг параметрлари каталогларда турли стандарт ПВ, яъни $ПВ\% = 15, 25, 40$ ва 60 лар учун келтирилган бўлади.

Агар юклама диаграммасидаги иш даври бир неча поғоналардан иборат бўлса (15.10-расм), у ҳолда мотор қуввати яқин ва катта стандарт ПВ га келтирилган эквивалент миқдорга биноан каталогдан танланади. Бирор ξ_x га эга эквивалент $P_{эк}$ қувватни стандарт ПВ га қуйидагича келтирилади:

$$P_{15} = P_{эк} \sqrt{\frac{\xi_x}{0,15}} \quad \text{ёки} \quad P_{25} = P_{эк} \sqrt{\frac{\xi_x}{0,25}} \quad (15.37)$$



15.10-расм. Мотор қувватини стандарт ПВ% га келтириб ҳисоблашга доир диаграмма.

Демак, 15.10-расмдаги диаграммага биноан $\xi_x = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_0}$ бўлиб, $P_{\text{эx}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}}$ бўлса, у ҳолда бундай режим учун мотор қуввати (15.37) ифода асосида аниқланиб, сўнгра ПВ% = 15 ёки 25 га биноан каталогдан танланади. Агар юклама 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 $P_{\text{эx}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_0}}$ 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 юклама диаграммаси ҳар хил қийматига 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, электр 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 электр юритма частотасини бир текис ва кенг диапазонда ростлаш ҳамда технологик талабларга муносиб бўлган ҳар қандай типдаги механик характеристикани олишда ўзгармас ток моторлари қўлланилган ва қўлланилмоқда.

Электр юритмадан ўзгармас ток моторларини бутунлай сиқиб чиқариш учун қисқа туташтирилган роторли мотор частотасини ярим ўтказгичли статик частота ўзгартгичлар билан кенг диапазонда 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 системаларининг техник-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 электр юритмалари, кўпинча, мустақил ток манбаидан таъминланади. Бунда дизель-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 электр юритма учун, даставвал, чуқур пазли, қисқа туташтирилган роторли махсус асинхрон моторни танлаш тавсия қилинади.

Синхрон моторларининг нархи асинхронларникига нисбатан бирмунча юқори, аммо улар ўзувчи $\cos \varphi$ га эга бўлиб ишлаш имкони катта қувватли электр юритмаларда айниқса муҳим аҳамиятга эга.

Шу сабабли, 100 кВт гача бўлган электр юритмаларга асинхрон, ундан каттароқ қувватлиларга эса синхрон моторларни ишлатиш

тежамлироқ. Фаза роторли асинхрон моторларни кран ва катта қувватга эга маховикли иш машинаси юритмаларида қўллаш тавсия қилинади. Частотаси кичик диапазонда, яъни $D = 2$ гача ростлан-диган вентиляторли характеристикага эга бўлган катта қувватли на-сослар, ер қазииш снарядлари ва вентилятор 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 уза-тилиб, мотор ҳамда ёритиш лампалари учун мос кучланишлар оли-нади. Бунда ноль потенциалли сим билан фаза сими орасидаги куч-ланиш нисбатан паст, яъни 220 В бўлиб, ёритиш лампаларига бе-рилади. Коммунал ва қишлоқ хўжалигида учрайдиган кичик қувватли электр юритмаларда 220/127 В кучланиш ҳам ишлатилади.

Ўзгармас ток тармоқлари, одатда, 220 В ли бўлади. Мустақил ток манбаига эга бўлган катта қувватли электр юритмаларда 440 В ли ўзгармас кучланиш ишлатилади. Юқори кучланиш, яъни 6 кВ га ҳисобланган, айниқса, катта қувватли синхрон моторлар жуда те-жамли 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 асин-хрон моторларни ишлаб чиқармоқда. Бу моторлар 220 В га ҳисоб-ланганларга нисбатан бирмунча афзалликларга эга. Хусусан, улар-ни нормал ҳолда учбурчаклик, юкламининг қиймати $(0,3 \div 0,5)P_n$ гача камайиб кетганида эса юлдуз схемаларига ўтказиб ишлатиш имко-ни бўлади. Натижада, кичик юкламаларда ҳам моторнинг энерге-тик кўрсаткичлари нормалдагидан деярли фарқ қилмайди.

3. Айланиш частотасига қараб мотор турини танлаш

Асинхрон моторларнинг номинал частотаси уларнинг статори-даги магнит майдоннинг айланиш частотаси $n = \frac{60f}{p}$ билан аниқ-ланади. Частотаси 50 герцли электр тармоғига уланган асинхрон моторларнинг синхрон частоталари $n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000, 1500; 1000; 750; 600$ ва $500 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ стандарт қийматли бўлиб, синхрон частотаси

$n = 500 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ дан кичик бўлган моторларнинг $\cos \varphi$ ва η лари нисба-тан анча паст бўлади. Шу сабабли паст частотали асинхрон мотор-лар 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 часто-тали мотор редуктор билан биргаликда қўлланилади. Аммо экска-ваторларнинг баъзи механизмларида жуда ҳам паст частота, яъни $16 \div 25 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ талаб қилиниб, уларда паст частотали моторни қўллаш ҳар томонлама қулай бўлади. Вазни енгил ва юқори энергетик кўрсат-кичларга эга бўлган юқори частотали моторлардан қишлоқ хўжали-гида қўлланиладиган баъзи қўл асбобларида (тут новдаларини бута-гичда), электр шпинделларда ва дурадгорлик механизмларида фой-даланилади. Бунда частота ўзгартгичлардан таъминланувчи юқори частотали асинхрон моторлар ишлатилади. Ўзгармас ток моторла-ри, 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 ма-шинасининг тузилишига қараб моторлар турли, яъни очиқ, ҳимоя-ланган ва ёпиқ конструкцияларда ишлаб чиқарилади. Токли ва ай-ланувчи қисмлари ташқи муҳит таъсиридан ҳимояланмаган мотор-лар очиқ конструкцияли моторлар деб аталади. 220 вольтга ҳисобланган бундай моторларни чангсиз, куруқ ва ёнғин хавфи бўлмаган биноларга ўрнатиш мумкин.

Токли ва айланувчи қисмлари юқоридан ёки горизонталга нис-батан 45° бурчак билан тушадиган сув томчилари ва бошқа қаттиқ жисмлардан ҳимояланган мотор ҳимояланган конструкцияли мо-торлар деб аталади. Бундай моторларни, одатда, усти ёпиқ, яшин қайтаргичи бўлган ҳолларда усти очиқ жойга ҳам ўрнатиш мумкин. Ҳимояланган конструкцияли моторларни ифлос чанг, буг ва еми-рувчи гази бўлган хона ёки цехларга ўрнатиш тавсия этилмайди. Очиқ ҳавода ўрнатиладиган бундай моторлар намга чидамли изо-ляцияга эга бўлиши лозим.

Корпусида тешиклари мутлақо бўлмаган моторлар ёпиқ конст-рукцияли моторлар дейилади. Бунда моторлар ташқи муҳит таъси-ридан, муҳит эса мотордан чиқадиган учқунлардан ҳимояланган бўлади. Демак, бундай моторларни оғир шароитли муҳитларга қўллаш тавсия этилади. Агар очиқ ва ҳимояланган конструкцияда-ги моторларни уларнинг валларига ўрнатиш билан вентилятор ёрдами-

да 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

Электр 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 оғанда 25% га камайтирилган, η ва $\cos\varphi$ лари эса бирмунча оширилган. Янги серияли моторлар 9 хил ўлчамда (габаритда), яъни уларнинг статор ўзагининг ташқи диаметри бирдан тўққизгача 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 кутблар сони кўрсатилади. Масалан, АО2-62-4 типли моторни қуйидагича талқин этилади, яъни, бу ҳимояланган конструкцияли, совитилиб туриладиган АО2 серияли, 6-габаритли, 2-узунликли ва кутблар 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 ўлчамланган 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 коэффицентлари

Ишлаб чиқариш корхоналарида жуда кенг тарқалган асинхрон моторлари ва шу каби электромагнит чулғамларга эга бўлган қатор электр истеъмолчиларида ўзгарувчи магнит 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 коэффиценти билан характерланади. Бу коэффицентнинг 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.

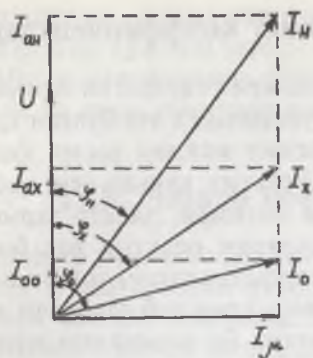
Ток манбаидан талаб қилинадиган реактив қувват қийматини камайтириш билан қувват коэффицентини юқори қийматга эга қилиш мумкин. Қувват коэффиценти қиймати аҳамиятини энг кўп тарқалган истеъмолчилардан бўлган асинхрон мотор учун трансформатор танлаш мисолида кўрсатиш мумкин. Масалан, актив қуввати 220 кВт, $\cos\varphi = 0,85$ бўлган мотор учун танланадиган трансформатор қуввати $S_{\text{тр}} = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{200}{0,85} = 235$ кВА бўлса, $\cos\varphi = 0,5$ бўлганда $S_{\text{тр}} = \frac{200}{0,5} = 400$ кВА бўлади. Демак, қувват коэффиценти камайиши билан мотор учун танланадиган трансформатор ва генератор қуввати кўпайиши керак.

Қувват коэффицентининг камайиш сабаблари

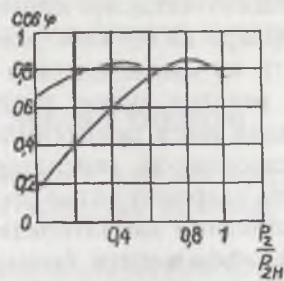
Буни ҳам асинхрон мотор мисолида кўрсатиш мумкин. Моторни ишлатишда магнит майдон ҳосил қилиш учун унга бериладиган токнинг бир қисми реактив (магнитлаштириш токи), қолган қисми актив токдан иборат бўлади.

15.11-расмдаги диаграммада юкламанинг 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 $I_{\text{л}}$ лар ҳам ўзгармас бўлади.

Маълумки, юклама ўзгариши билан токнинг фақат актив қисми ўзгаради. Бунинг натижасида статордаги юклама токи билан кучла-



15.11-рasm. Мотор актив юклaмaси қиймaтининг ўзгaртириши билaн $\cos\varphi$ нинг ўзгaриш дaгpaммaси.



15.12-рasm. Δ дaн Y cxeмaсигa ўткaзилгaн мoтop қуввaт кoэффициeнтининг ўзгaриш гpaфиги.

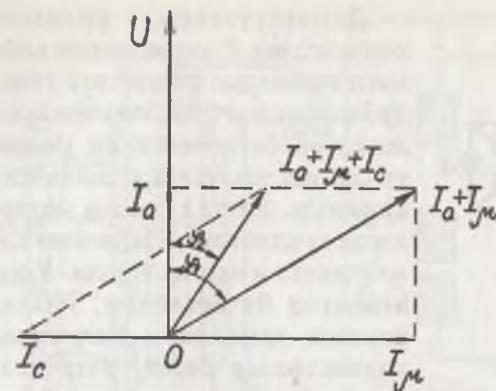
ниш векторлари орасидаги бурчак фарқи φ нинг қиймати ҳам ўзгаради, яъни юклама кўпайиши билан φ бурчаги камаяди ва аксинча. Демак, юқори $\cos\varphi$ га эга бўлиш учун моторни мумкин қадар тўла юклама билан ишлатиш тавсия қилинади.

Қувват коэффициентини ошириш усуллари

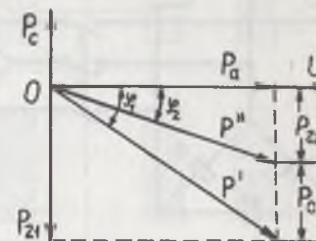
Асинхрон моторларни юқори $\cos\varphi$ га эга қилиш учун даставвал уларни тўла юклама билан ишлатиш лозим. Бунинг учун эса технологик жараёни такомиллаштириш, кичик юклама билан ишлайдиган моторларни кичик қувватли, яъни кичик юкламага мос моторлар билан алмаштириш, салт иш режим вақтини иложи борица қисқартириш ва мотор таъмирлашини сифатли ўтказиш лозим. Узоқ вақт давомида номиналга нисбатан кичик юклама, яъни $P = (0,3 \div 0,5) P_n$ билан учбурчаклик схемасида ишлайдиган асинхрон моторни юлдуз схемасига ўтказилса ҳам унинг қувват коэффициенти кескин ортади. Бунда статорга бериладиган кучланишни ҳамда магнит оқим ҳосил қилувчи I_0 токнинг қийматлари $\sqrt{3}$ марта камаяди. 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-рasm).

Бундай табиий усуллар билан юқори қийматли қувват коэффициентига эга бўлинса, моторнинг фойдали иш коэффициенти ҳам юқори бўлади.

Агар табиий усуллар билан қувват коэффициентини керакли қийматга ошириш имкони бўлмаса, у ҳолда сунъий усуллардан фойдаланилади. Сунъий усуллар ичида энг кўп тарқалгани $\cos\varphi$ ни кон-



15.13-рasm. Конденсатор батареялари билaн мoтop қуввaт кoэффициeнтини оширишгa доир дaгpaммa.



15.14-рasm. Конденсатор батареялари қувватини ҳисоблашгa доир дaгpaммa.

денсатор билан ошириш ҳисобланади. Асинхрон мотор ўрнига синхрон моторни ишлатиб ҳам $\cos\varphi$ ни ошириш мумкин.

Маълумки, статик конденсатордан ўтадиган сиғим токи кучланишдан 90° га ўзувчи бўлиб, натижада умумий реактив токни гўё камайтиради (15.13-рasm).

Демак, маълум қийматли сиғимда $I_c = I_m$ бўлса, $\cos\varphi = 1$ бўлади. Бир хил типдаги 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-рasm):

$$P_c = P_a(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2),$$

бунда P_c — конденсатор батареяларининг қуввати, кВА;

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 берилётган тўла қувватларни конденсатор улангунга қадар ва улангандан кейинги қийматлари.

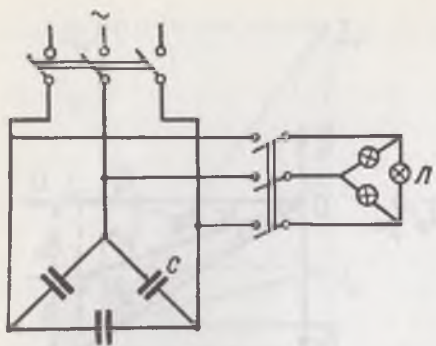
Конденсатор батареяларининг сиғими қуйидагича аниқланади:

$$3C = \frac{P_c \cdot 10^9}{\omega U^2} \text{ мкФ}$$

бунда C — конденсатор батареясининг бир фазасидаги сиғими;

P_c — конденсатор батареяларининг қуввати;

U — конденсатор батареялари фазасидаги кучланиш.



15.15-рasm. Конденсаторларнинг учбурчаклик схемада уланиши.

Демак, ўзгармас сифимли конденсатор P_c қувватининг қиймати кучланиш квадратиға тўғри пропорционал бўлгани учун конденсатор батареяларини юқори кучланиш томонига улаш тавсия қилинади. Катта қувватли моторларда конденсатор сифимини камайтириш имкони бўлади. Конденсатор батареялари, одатда ёритиш лампалари ёки актив қаршиликлар билан разрядланади.

XVI БОБ. ЭЛЕКТР ЮРИТМАНИНГ АВТОМАТИК БОШҚАРИШ АППАРАТЛАРИ

16.1 Умумий тушунчалар

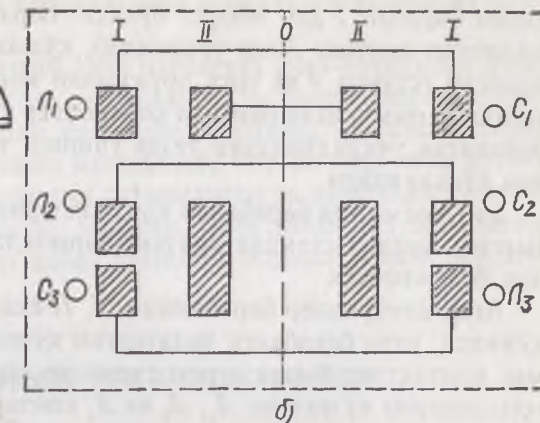
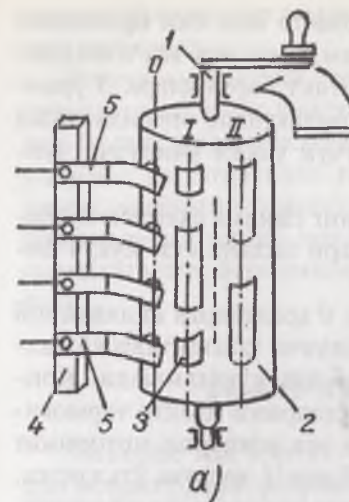
Замонавий электр юритмалардаги моторни берилган тезланишда ишга тушириш, берилган ишлаш частотасини ўзгартирмай сақлаш, реверслаш ва уни берилган секинланишда тормозлаб тўхташ каби мураккаб вазифаларни бошқарувчи системаға тегишли турли хилдаги автоматик бошқариш аппаратлари бажаради. Моторларни бошқаришда дастаки, релеконтакторли, ҳимоялаш, технологик датчиклари, электромагнит муфтлар, электр машина кучайтиргичлари ва ярим ўтказгичли контактсиз бошқариш асбоблари, аппаратлари ва ростлагичларидан кенг фойдаланилади.

16.2. Дастаки бошқариш аппаратлари

Бундай аппаратлар қўл билан бевосита ёки механик узатмалар ёрдамида ҳаракатлантирилиб, кучланиши 500 вольтгача бўлган ўзгарувчан ва ўзгармас ток занжирларини узиб-улаб туриш учун қўлланилади. Дастаки бошқариш аппаратларига рубильник, пакетли ўчиргич, барабанли алмашлаб улагич, контроллер ва шу кабиларни мисол қилиб кўрсатиш мумкин.

Бу аппаратлар нисбатан катта габарит ва кичик бошқариш қувватига эга бўлиб, уларни ҳаракатға келтириш учун анча катта қўл кучи талаб қилинади.

Номинал токи 1000 А гача бўлган электр занжирларини 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 схемаға 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. Барабанли контроллер ўзгарувчан ва ўзгармас ток моторларини ишга тушириш ва улар частотасини ростлашда қўлланилади.

Барабанли контроллер айланувчи ва қўзғалмас қисмлардан (16.1-рasm, а), айланувчи қисм эса даста 1 ёрдамида ҳаракатлантирилади.

Контактлар	Ўзгич-улагич ҳолатлари		
	I	O	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

16.1-рasm. Барабанли контроллер:

а — тузилиши; б — ёйилма схемаси; в — контактларининг уланиш жадвали.

диган барабан 2 дан иборат бўлади. Барабанга мис ёки бронзадан қилинган контакт 3 лар ўрнатилиб, қўзғалмас қисмга эса изоляци-
яланган устунча 4 ва унга пружинали контакт бармоқлари 5 ўрна-
тилган. Коммутация пайтида контроллер контактлари орасида ҳосил
бўладиган учқунланишни тезда ўчириш учун учқун ўчирувчи чул-
ғам қўлланилади.

16.1-расм, б да барабанли контроллернинг ёйилма схемаси кўрсатилган. Бундай схемада контакт бармоқлари айлана ёки 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 уланиши сабабли уни 0 дан I ҳолатга ўтказилса, мотор бир томонга, II га ўтказилганда, тескари томонга айланади, яъни реверсланади.

Контроллерлар схемасида, кўпинча, 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, юклама токини бирмунча камайтириш лозим ёки бошқа типдаги, яъни кулачокли контроллердан фойдаланиш керак. Кулачокли контроллерларда 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

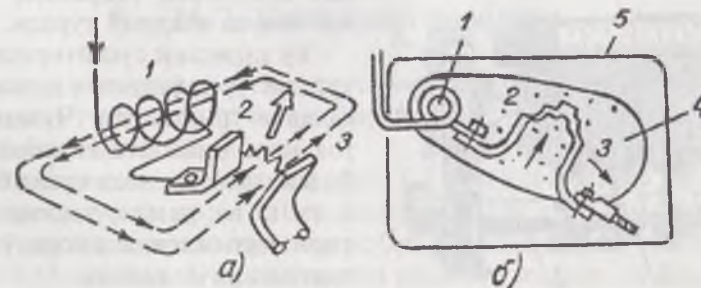
Дастаки бошқариш аппаратлари контактлари тез механик эмирилганлигидан уларнинг хизмат даври ҳам қисқадир. Масалан, рубильникларнинг ўртача хизмат даври 5000 марта уланиш билан, барабанли алмашлаб улагичларники 2500 марта билан характерланса, контакторларники эса бир неча миллион билан характерланади. Келгусида энг катта истиқболга эга бўлган ярим ўтказгичли контактсиз аппаратлар ва мантиқий элементларнинг хизмат даври жуда катта уланиш сонларига эга бўлади. Ҳозирги пайтда автоматик бошқариш учун аппаратлар билан бирга электр машина ва маг-

нит кучайтиргичлар ҳамда турли типдаги вентиль асбобларидан фойдаланилмоқда.

Электр занжирини соатига 1500 мартагача узиб-улайдиган электромагнит аппарат контактор деб аталади. Бу аппаратларни тугмалар билан турли масофадан бошқариш мумкин. Контактторларни ўзгармас ва ўзгарувчан токка мўлжаллаб, бир ва бир неча қутбли қилиб, уларнинг контактларини туташадиган ва ажраладиган тузилишларга эга қилиб чиқариш мумкин. Электромагнит аппаратлар чулғамига ток берилмаган ҳолат уларнинг нормал ҳолати деб аталади.

16.4. Ўзгармас ток контакторлари

Ўзгармас ток контакторлари қўзғалмас ва қўзғалувчан қисмлардан иборат бўлиб, уларнинг қўзғалмас қисмидаги пўлат ўзакка ўзгармас ток бериладиган чулғам ҳамда қўзғалмас контактлар системаси ўрнатилади, қўзғалувчи қисми эса якорь ва унга ўрнатилган қўзғалучи контактлар системасидан иборат бўлади (16.2-расм, а). 16.2-расм, а да кўрсатилган 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 чулғамидаги токдан ҳосил бўлган магнит майдоннинг 2 ва 3 контактлари орасида ҳосил бўлган ёй билан ўзаро таъсирида электромагнит куч ҳосил бўлади. Йўналиши чап қўл қоида 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 итарилиши кўрсатилган. Контактторнинг қўзғатиш чулғами ўрнатилган ўзак билан якорь ўртасидаги ҳаво бўшлиғи магнит қаршилигини камайтириш мақсадида 10 мм дан ортиқ



16.2-расм. Ўзгармас ток контактори:

а — тузилиши; б — контактлар орасидаги электр ёйини ўчиришга доир расм.

бўлмайди. Ўзгармас ток контакторларида асосий контактлардан ташқари, кичик токларга мўлжалланган ва бошқариш занжирларида уланадиган блок-контактлар ҳам бўлиши мумкин.

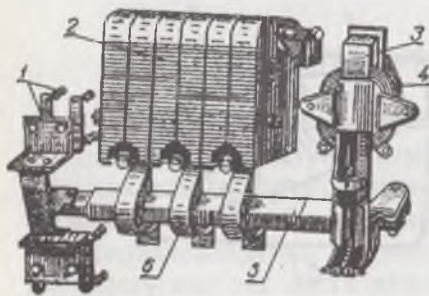
Контактор қўзғатиш чулғамининг ўрамлари сони кўп бўлгани учун унинг индуктивлиги ҳам катта бўлади. Шу сабабли 220 В кучланишда бу чулғам 2 А токка ҳисобланса, 440 В кучланишда эса, фақат 0,5 А токка ҳисобланади. Чулғам индуктивлиги катталиги сабабли унинг вақт доимийси $T_z = \frac{L}{R}$ ҳам нисбатан 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 ҳизмат даврини 30÷50 млн уланиш сонигача етказа олади. Бундай контакторлар билан номинал токи 40÷2500 А бўлган электр занжирларини соатига 1500 мартагача узиб-улаш мумкин.

16.5 Ўзгарувчан ток контакторлари

Ўзгарувчан ток контакторларининг магнит 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 учкун ўчирувчи асбест камера ичига жойлаштирилади.

Қўзғатиш чулғамига бериладиган ўзгарувчан ток маълум вақт оралиғида ноль қийматга эга бўлиши сабабли контакторнинг магнит системаси тебраниб, ўзига хос товуш чиқариб туради.



16.3-расм. Ўзгарувчан ток контакторининг тузилиши.

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 чулғамидagi токнинг қиймати тўла қаршиликка боғлиқ. Қўзғатиш чулғами индук-

тив қаршилигининг қиймати якорь билан ўзак орасидаги ҳаво бўшлиғига боғлиқ бўлиб, бу оралиқ қанча катта бўлса, индуктивлик шунча кичик бўлади. Демак, чулғамнинг тармоққа уланиш пайтида ундаги токнинг қиймати кичик индуктивлик сабабли якорь тортилгандаги токка нисбатан 10÷15 марта катта бўлади. Шунинг учун ўзгарувчан ток контакторларида якорь ўзакка ва, демак, қўзғалувчи контактлар қўзғалмас контактларга зарб билан урилади. Натижада контактларнинг механик емирилиши кўпроқ бўлиб, уларнинг ҳизмат даври фақат 1÷7 млн уланиш, яъни ўзгармас ток контакторларига нисбатан анча кичик сон билан характерланади. Ўзгарувчан ток контакторлари 20÷600 А токка ҳамда 2÷5 гача бўлган кутблар сонига мўлжалланиб чиқарилади.

Контакторнинг қўзғатиш чулғамига ток берилганидан сўнг унинг контактларини тутатиш вақти 0,05÷0,1 сек билан характерланади.

16.6. Магнитли ишга туширгич

Электр моторлари ва шу каби электр истеъмолчиларини масофадан бошқарувчи ва ҳимояловчи электромагнит аппарат магнитли ишга туширгич деб аталади. Бу аппарат бир неча контактор (ўзгарувчан ёки ўзгармас ток) ва тугмалар станциясидан иборат бўлади. Бунда контакторлар, кўпинча, ўта юкланишдан ҳимояловчи иссиқлик релелари билан бирга қўшиб чиқарилади. Контактор чулғамини электр тармоғига улаш ва ундан ажратиш учун тугмалардан фойдаланилади. Икки томонга айлантирилувчи моторни реверсив магнитли ишга туширгич билан бошқарилади. Бунда иккита контактор ҳамда ўнг ва чап томонларга айлантириш, тўхтатиш учун буйруқ берувчи тугмалар бўлади.

16.7. Бошқариш релелари

Электр моторларини ток, кучланиш ва вақтга биноан автоматик бошқариш учун магнит билан бирга турли типдаги бошқариш релелари ҳам ишлатилади.

Агар берилган импульсдан сўнг, 0,1÷0,15 сек ўтиши билан реле ишга тушса, уни дарҳол (бир онда) ишга тушувчи реле дейилади. Агар берилган импульсдан сўнг, реленинг ишга тушиши вақти $t \geq 0,15$ сек бўлиб, бу вақтларни ростлаш имкони бўлса, у ҳолда бундай релеларни вақт релеси деб аталади. Электр моторини автоматик бошқаришда қуйидаги типдаги вақт релеларидан фойдаланилади.

16.8. Вақт релелари.

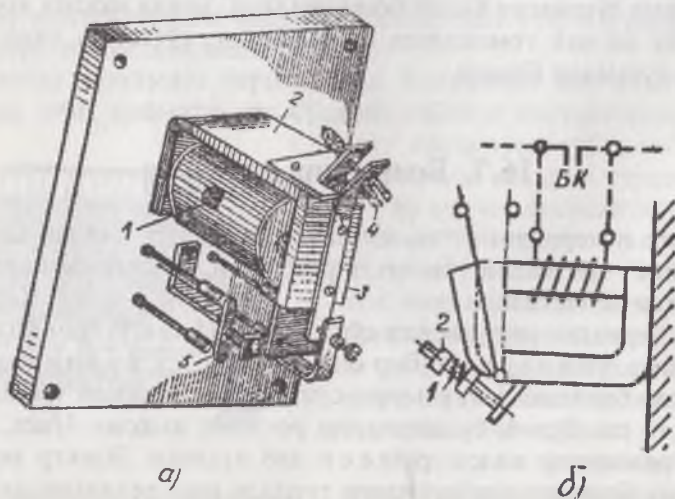
Электромагнит вақт релеси

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 электромагнит вақт релесининг умумий кўриниши ва принципиал схемаси кўрсатилган.

Қистирмаларнинг сонига қараб якорь билан ўзак ўртасидаги 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 магнит 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 кўпайтирилса, якорь билан ўзак оралиғи ортиб, реле якорининг ўзакка тортилиб туриш вақти камаяди ва аксинча. Электро-



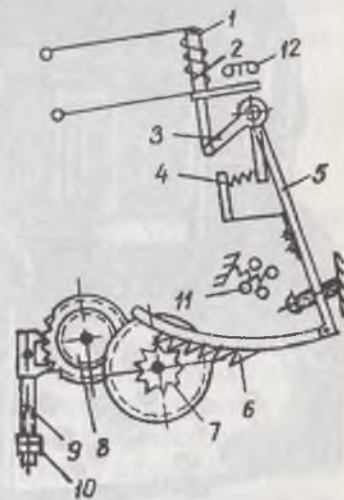
16.4-расм. Электромагнит вақт релесининг тузилиши.

магнит, 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 ярим ўтказгичли тўғрилагичлар орқали ўзгарувчан ток тармоғига улаб ишлатилади. Бу релелар ишда жуда ишончли бўлиб, уларнинг соатига уланиш сони чегараланмайди. Электромагнит вақт релелари 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 таъминтактор 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 якорь 2 тортилиб, ричаглар 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 боғлиқ. Маятникнинг ҳар бир тебранишида анкер храповикнинг фақат битта тишини ўтказади. Тишли гилдирак билан қийшиқ тишли рейканинг илашиши тугаганда реле ҳисоблаган вақт ҳам тамом бўлиб, унинг 11 контакти туташади ва натижада автоматикага керак бўлган сигнал ҳосил бўлади. Маятникли реле вақтини сошлаш ёки ростлаш учун ричаг 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



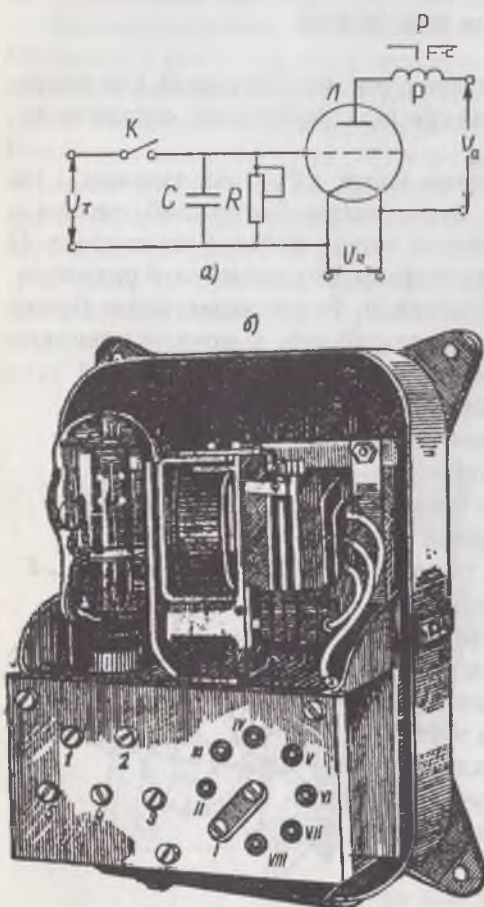
16.5-расм. Маятникли вақт релесининг тузилиши.

электр тармоғидан ажратилиши билан реленинг ҳамма контактлари пружина 4 таъсирида ўзларининг дастлабки ҳолатига қайтади.

Бу реледа бир онда ажраладиган контакт 12 ҳам бўлади. Маятникли вақт релесининг механик емирилиши сабабли уни катта уланиш сони билан ишлатиш имкони бўлмайди.

Электрон вақт релеси

Электрон вақт релеси, одатда, электрон лампали кучайтиргич, яъни триод билан электромагнит 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



16.6-расм. Электрон вақт релесининг тузилиши.

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 электромагнит реле P ўз якорини тортилган ҳолатдан қўйиб юборади. Шу пайтдан бошлаб C сифимли конденсаторнинг R қаршилигига разрядланиши бошланади. Разрядланиш вақти $t = 4T = 4RC$ 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.

Электрон 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 ажралаиш 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 электромагнит вақт релесидан фойдаланиш мумкин. Электромагнит вақт релесини ток релеси сифатида ҳам ишлатиш мумкин. Бунда қўзғатиш чулғами нисбатан кам ўрамлар сони билан юклама 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 электр 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 янги-

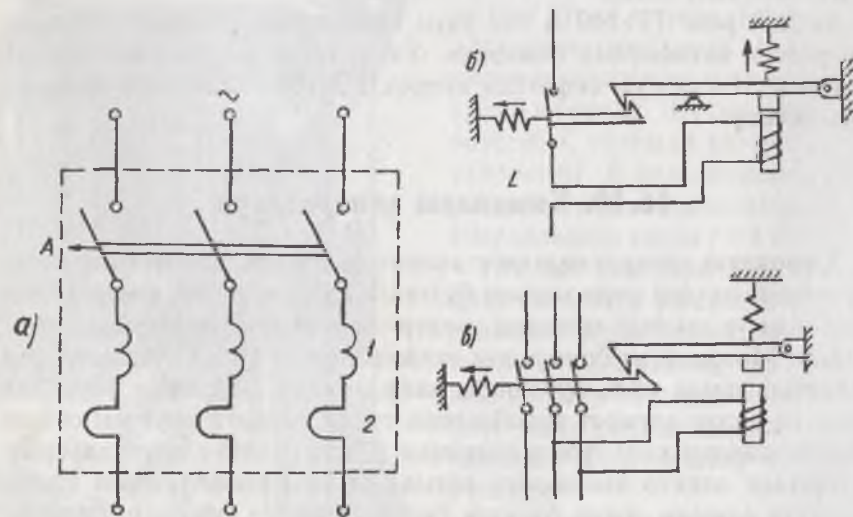
лаш керак. Сақлагичлардаги симнинг суюқланиш харорати симнинг диаметри, узунлиги, уланиш контакти, муҳит харорати, совиш шароитларига боғлиқ бўлгани сабабли унинг ҳимоялаш аниқлиги жуда паст.

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 туташтиш токи хавфларидан аниқ ва тезкорлик билан ҳимоялаш учун ҳамда электр тармоғидан ажралган моторни дарҳол қайта ишга тушириш имконига эга бўлиш учун, кўпинча 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 — электромагнит 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 электромагнит ажратиш механизмларининг схемаси.

16.7-расм, б да максимал ток таъсирида, 16.17-расм, в да эса минимал ёки ноль кучланиш таъсирида электромагнит ажратиш механизмларининг дарҳол ҳаракатланувчи схемаси кўрсатилган.

Максимал ток релеси

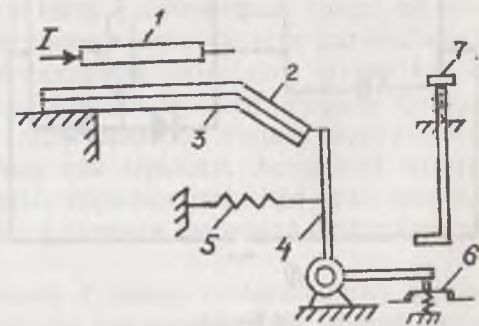
Бундай реле ҳам ўзгарувчан ва ўзгармас ток моторларини қисқа туташтиш токидан ҳимоялаш учун ишлатилади. Реленинг ток чулғами мотор уланган бош занжирга, унинг контакт системаси эса бошқарини занжиридаги контакторнинг қўзғатиш чулғамига кетма-кет уланади. Шунга биноан ток релеси қисқа туташтиш режимда 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, ўзгармас ток мотори учун эса коммутацияга биноан чегараланган ток қийматидан ортиқ бўлмаслиги 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 ўта юкланиш ва икки фаза билан ишлаш режимдан ҳимоялайди. 2 ва 3 биметалл пластинкалар. Бу пластинкалар икки хил қотишмадан иборат бўлиб, қизиш элементи 1 яқинига ўрнатилади.

Демак, қизиш элементи ҳарорати 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 занжирга кетма-кет уланган иссиқлик релесининг контакти б очилади. Бунда мотор электр тармоғидан ажратилади. Моторни қайта ишга тушириш учун даставвал реле контакти б ни нормал, яъни туташган ҳолатга келтириш керак. Бунинг учун қайтариш тугмаси 7 дан фойдаланилади.

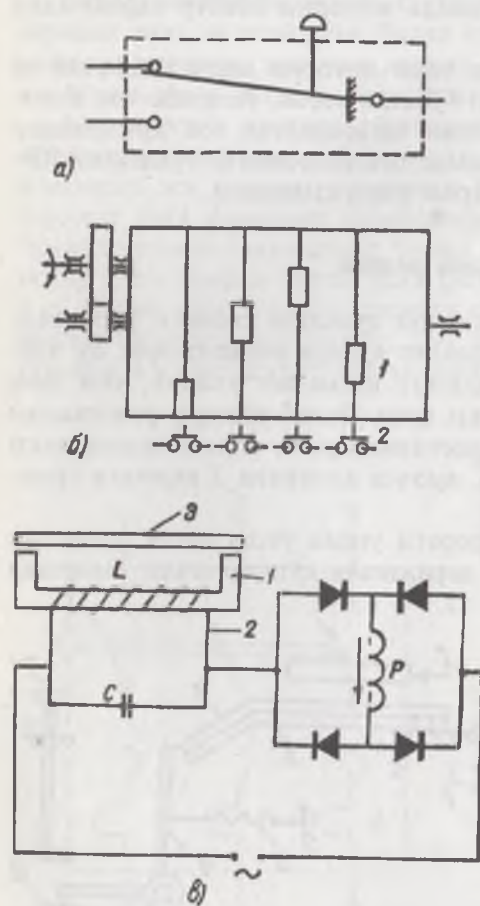


16.8-расм. Иссиқлик релесининг тузилиши.

16.11. Электр юритма ҳамда автоматикада ишлатиладиган баъзи датчик, қурилма ва мантиқий элементлар

Турли технологик параметрлар, яъни масофа, частота, юклама, 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-рasm.

a — 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 механизмидан таъсирланишига қараб бундай датчиклар, асосан, икки типда чиқарилади. Биринчи типдагиларнинг контактлари бевосита механик таъсир натижасида ҳаракатга келса, иккинчи типдагиларникига механик таъсирнинг кераги бўлмайди. 16.9-рasm, a 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 қўлла-

нилади. Бундай датчикнинг хизмат даври унинг контакт ҳолатларининг $5 \div 10 \cdot 10^6$ марта алмашиниши билан характерланади. Агар иш механизми айланма ҳаракат қилса ёки тўғри чизиқли ҳаракат йўлига датчикни ўрнатиш ноқулай бўлса, у ҳолда 16.9-рasm, б да кўрсатилган барабанли йўлакай 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.

Йўлакай индуктив датчик

16.9-рasm, в да йўлакай индуктив датчикнинг схемаси кўрсатилган. Бунда 1 — очиқ пўлат ўзак ва 2 — унга ўрнатилган чулғам, С — чулғамга параллел қилиб уланган С сифимли конденсатор ва P — занжирга кетма-кет уланган электромагнит реленинг чулғами.

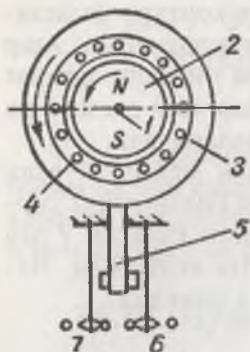
Бунда конденсаторнинг сифими резонанс ҳодисасига биноан танланади. Ҳаракатланувчи механизмга ўрнатилган пўлат пластинка 3 ни магнит система 1 яқинидан ўтганида занжирда ток резонанси содир бўлади. Натижада занжирдаги умумий ток қиймати камайиб, реле ўз якорини қўйиб юборади.

Йўлакай 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 қочма куч ёки индукция принципи асосида яратиш мумкин. Бундан ташқари, частота датчиги сифатида тахогенератор билан электромагнит релени биргаликда ишлатиш ҳам мумкин. Асинхрон моторни тескари улаш билан автоматик тормозлашда, кўпинча, индукцион РКС типли реледан частота датчиги сифатида фойдаланилади (16.10-рasm).

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 ва-



16.10-рasm. Индуктив РКС типли частота датчигининг тузилиши.

ликка алоҳида подшипникда қисқа туташтирилган чулғамли цилиндр 3 ҳам ўрнатилади. 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 магнит майдоннинг ўзаро таъсирида цилиндрни ҳаракатга келтирувчи момент ҳосил бўлади. Бунда ричаг 5 билан контакт системалари 6 ва 7 ҳам ўз ҳолатларини ўзгартирадilar. Демак, частота ўзгариши билан контакт системасининг ҳолати ўзгаради ва автоматик системага керакли бўлган сигнал содир бўлади.

Тахогенераторлар

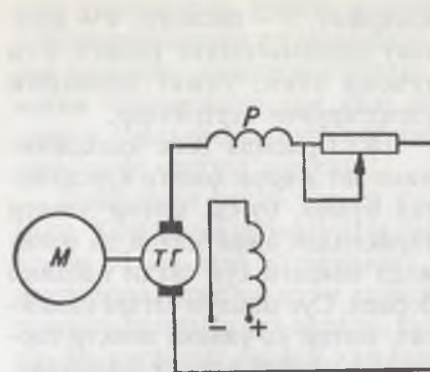
Кучланиши якорь ёки ротор частотасига пропорционал бўлган кичик қувватли ўзгармас ёки ўзгарувчан ток генератори тахогенератор деб аталади. Бундай тахогенераторни электромагнит реле билан биргаликда частота датчиги сифатида ишлатиш мумкин. Бунда тахогенератор вали, частотаси ўлчанадиган ёки назорат қилинадиган мотор вали билан бевосита ёки бирор узатма орқали боғланган бўлади (16.11-рasm).

Мотор частотаси берилган қийматга эришганида тахогенераторда ҳосил бўлган кучланишга соzланган реле ўз якорини тортиб автоматик системага керакли сигнал беради. Ўзгармас ток тахогенераторини қўзғатиш учун электромагнит ўрнига доимий магнитдан фойдаланилади.

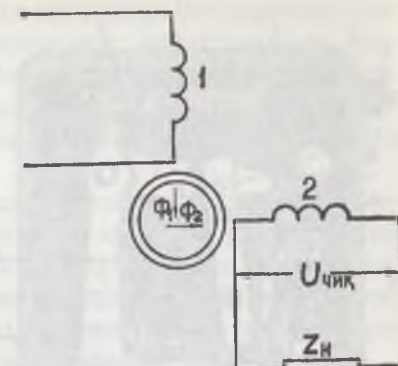
Демак, тахогенераторда ҳосил бўладиган э. ю. к. $E = k_E \Phi n = C_E n$ бўлиб, $k_E \Phi = \text{const}$ бўлади.

Юклама токи кичик бўлгани учун $U \approx E \equiv n$ бўлиб, тахогенератор кучланиши унинг айланиш частотасига пропорционалдир. Тахогенератор чўткаси билан коллектор орасидаги контакт қаршилиги турғун қийматга эга бўлмайди. Шу сабабли ўзгармас ток тахогенераторидан олинадиган кучланиш ҳам мўътадил қийматга эга бўлмайди.

Асинхрон тахогенератори бундай камчиликдан ҳолидир (16.12-рasm). Бундай тахогенераторнинг статорида ўзгарувчан ток тармоғига уланган қўзғатиш чулғами 1 ва юклама Z_n уланадиган чулғам 2 лар ўрнатишган бўлиб, уларнинг ўқи ўзаро 90° бурчакка фарқ қиладди. Бундай частота датчигининг ротори ичи бўш жез цилиндрдан



16.11-рasm. Ўзгармас ток тахогенераторнинг частота датчиги сифатида ишлатиш схемаси.



16.12-рasm. Ўзгарувчан ток тахогенераторининг тузилиш схемаси.

иборат бўлади. Агар қўзғатиш чулғами 1 га ўзгарувчан ток берилса, чулғам 2 ўқига тик йўналган пульсацияланувчи магнит оқим Φ_1 ҳосил бўлади. Роторнинг айланишида Φ_1 оқими кесилиб, роторда э. ю. к. ва, демак, ток ҳосил бўлади. Бу токдан ҳам пульсацияланувчи магнит 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, амплитудаси эса ротор частотасига пропорционал бўлган трансформаторли э. ю. к. ҳосил бўлади. Агар роторнинг айланиш йўналиши ўзгарса, чулғам 2 даги э. ю. к. нинг фазаси ҳам 180° га ўзгаради.

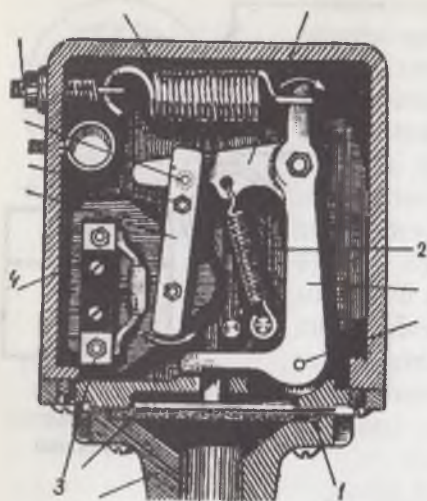
16.14. Қалқовичли релелар

Қалқовичли релелар, одатда, насос станцияларини автоматлаштиришда ишлатилади.

Сув билан таъминловчи минорали насос станцияларида, сув дастлаб минора тепасига ўрнатишган бакка кўтарилади. Бакдаги сув берилган сатҳга кўтарилганда насос мотори тўхтатилиши, сув берилган сатҳга пасайганда эса ишга туширилиши лозим. Насос станциясининг бундай иш режимини автоматлаштириш учун 16.13-рasmда кўрсатилган қалқовичли реледан фойдаланиш мумкин. Бунда 1 — реленинг контакт системаси, 2 —



16.13-рasm. Қалқовичли реленинг тузилиш схемаси.



16.14-расм. Босим релесининг тузилиши.

қалқович, 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 бакдаги сув сатҳи пасайиб боради. Сув маълум сатҳга камайгач, мотор ўз-ўзидан электр тармоғига улашиб ишлай бошлайди.

16.15-расм. 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 очиқ ҳолатга ўтказди ва натижада мотор ўз-ўзидан тўхтайди. Бунда қозондаги сув, фақат ундаги босим таъсирида тақсимлана бошлайди.

16.16. Электромагнитлар ва электромагнит муфтлар

Электромагнитнинг кўзғатиш чулғамига ток берилиши билан у ўз якорини тезда тортиб олади. Шу сабабдан исканжали ва лентали тормоз механизмларини электромагнитлар билан автоматик бошқа-

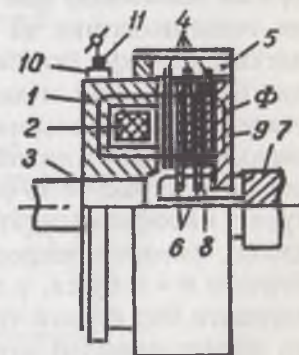
риш имкони бор. Электр моторларини автоматик бошқаришда бундай электромагнит тормозлардан, айниқса кенг фойдаланилади. Бундан ташқари, электромагнитлар пневмо ва гидравентилларни автоматик бошқаришда ҳам кенг қўлланилади. Демак, электромагнитлардан фойдаланиб турли жараёнларни автоматик равишда бошқариш 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.

Электромагнит муфтлар

Электромагнит муфтлар 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^2 га эга бўлган мотор якори ёки роторини иш механизмидан ажратиб, уни тез ва аниқ тўхтатиш имкони олинади.

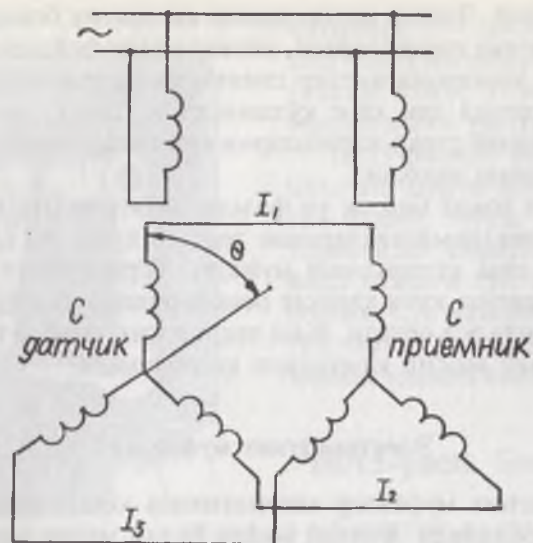
Бундан ташқари, номинал частота билан айланиб турган моторни муфта билан иш механизми валига туташтирилганда, электр юритманинг ишга тушиш вақти, асосан муфтадаги электромагнит жараённинг ўтиши билангина аниқланиб бирмунча қисқаради (бунда моторни ишга тушириш вақти ҳисобга олинмайди). Ҳозирги пайтда кичик габаритли, кўп дискали электромагнит муфтлар станокларнинг частота қутиларида ҳам қўлланилмоқда. Шу сабабли электромагнит муфтлар билан электр юритма частотасини механик усулда автоматик ростлаш ҳамда реверслаш мумкин. Бундай муфтлар 1,6 ÷ 160 кГм гача бўлган моментни узатиш имконига эга қилиб чиқарилмоқда. 16.15-расмда кўп дискали электромагнит муфтанинг схемаси кўрсатилган.



16.15-расм. Кўп дискали электромагнит муфтанинг тузилиш схемаси.

16.17. Сельсинлар

Механик боғланишларсиз бир валдаги ҳаракатни турли масофадаги бошқа валга синхрон равишда узатувчи индукцион



16.16-рasm. Сельсин-датчик ва приёмникларнинг уланиш схемаси.

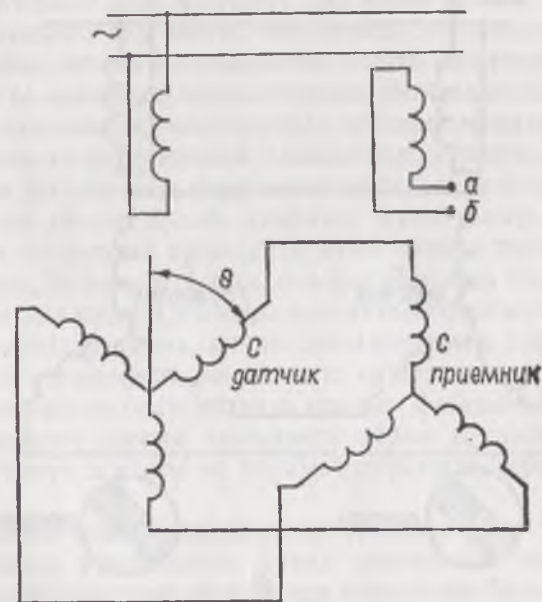
электр машина сельсин деб аталади. Бундай индукцион электр машиналари ўз-ўзини синхронлайди.

Сельсинлар турли тузилишда чиқарилади. Контактли деб аталувчи сельсин статорида ўзгарувчан ток тармоғига уланган бир фазали чулғам бўлиб, унинг роторида эса уч фазали чулғам бўлади. Юлдузсимон схемада уланган 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 механик боғланишсиз турли масофадаги валга узатиш керак. Сельсин-приёмник вали сельсин-датчик валидаги ҳаракатни қабул қилиб, уни ўзгартирмай синхрон равишда такрорлаши керак. 16.16-рasmда сельсин-датчик ротори бурилишини турли масофага узатиш ва уни сельсин-приёмник билан қабул қилиб, синхрон такрорлаш схемаси кўрсатилган. Агар бурилиш бурчаги $\theta = 0$ бўлса, у ҳолда сельсин-датчик ва приёмник статорларидаги бир фазали чулғам токида ҳосил бўлган пульсацияланувчи магнит оқимлар ротор чулғами фазаларида бир хил қийматли, аммо тескари йўналишли э. ю. к. ва ток ҳосил қилади. Бунда фазалардаги умумий ток қиймати нолга тенг бўлиб, сельсинларда айлантйрувчи 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.

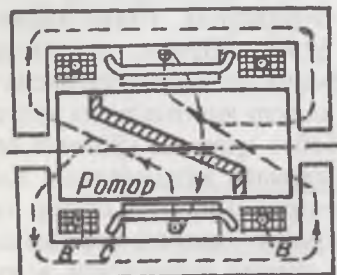
Э. Ю. К. лар тенгсизлиги натижасида сельсинларнинг ротор чулғамидан тенглаштирувчи I_1 , I_2 ва I_3 тоқлар ўтади. Бу тоқлар билан статордаги магнит оқимнинг ўзаро таъсирида бир-бирига тескари йўналган айлантйрувчи моментлар ҳосил бўлади. Бунда датчикда ҳосил бўлган момент ташқи моментга, яъни унинг роторини 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 айлантйрувчи моменти қиймати нолга тенг бўлади. Демак, датчик вали тўхтовсиз айлантйрилиб турилса, приёмник вали ҳам тўхтовсиз айлана бошлайди. Автоматлаштирилган электр юритмаларда хусусан, тақлидчи электр юритмаларда (XVII бобга қаранг), кўпинча сельсинларнинг трансформатор режимли схемаси қўлланилади. Сельсинларнинг бундай режимда сельсин-приёмникнинг статор чулғами ўзгарувчан ток тармоғидан ажратилиб, ротори тормозланиб қўйилади (16.17-рasm). Бунда сельсин-датчик роторидаги э. ю. к. таъсирида иккала сельсин роторлари чулғамидан ток ўта бошлайди. Бу тоқлардан сельсин-приёмникда ҳосил бўлган магнит оқим



16.17-рasm. Сельсинларнинг трансформатор режимли схемаси.

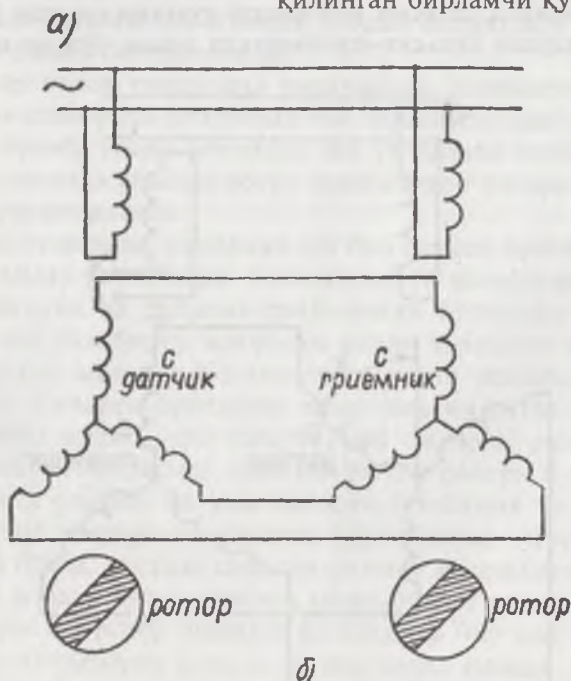
фазода 180° га силжиган бўлиб, ундан сельсин-приёмник статоридаги бир фазали чулғамда трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги сингари э. ю. к. ҳосил бўлади. Бу чулғамда ҳосил бўлган кучланиш қиймати бурилиш бурчаги θ билан қуйидагича боғланган бўлади, яъни $U_{аб} = U_{\max} \cos\theta$. Демак, $\theta = 0$ 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:



$$U_{аб} = U_{\max} \sin\theta$$

16.18-расмда 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 чул-



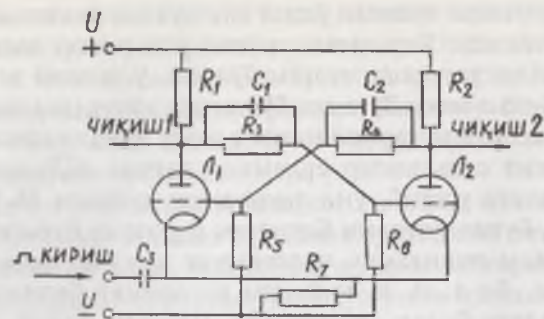
16.18-расм. Контактсиз сельсин:
а — конструктив схемаси; *б* — уланиш схемаси.

гами ва бу қўзғатиш чулғами ўқиға тик бўлган иккиламчи уч фазали чулғам ўрнатилади. 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 магнит 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 магнит оқим иккиламчи чулғамнинг ҳар бир фазасида э. ю. к. ҳосил қилади. Бу э. ю. к. қиймати роторнинг берилган бурчагига бурилиши 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 кўп 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 электр юритмаларда контактсиз аппарат ва мантиқий элементлардан фойдаланиш билан юқори техник ва иқтисодий кўрсаткичларга эришиш мумкин. Контактсиз алмашлаб улагич ва мантиқий элементлар, кўпинча, электрон асбоблар, ярим 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 механик зарбларга чидамли бўлиб, автоматик системаларда улардан фойдаланиш жуда қулай бўлади. Уларнинг асосий камчилиги айрим нусхаларининг турли характеристикага эгаллиги ва параметрларининг хароратга 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



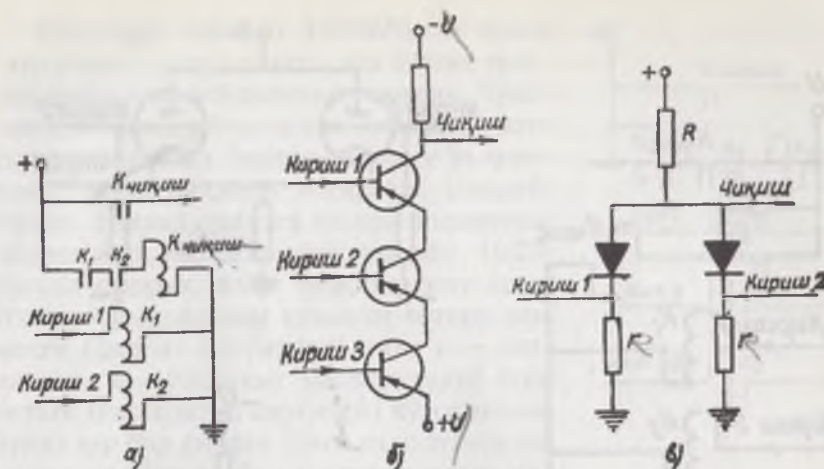
16.19-расм. Триод лампаларидан тузилган триггер схемаси.

очик, L_2 триод берк деб фараз қилинса, у ҳолда триггернинг бу турғун ҳолати, ташқи сигнал бўлмаган тақдирда, R_3 ва R_4 қаршиликларидан олинадиган мусбат тескари боғланишлар 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 очик триод L_1 нинг кириш қисмига бирор сигнал бериб, уни беркитиш керак. Бунинг учун эса L_1 тўрига ёки анодига манфий потенциалли сигнални ёки бўлмаса, унинг катодига мусбат сигнални бериш кифоя. 16.19-расмдаги триггерни бошқа турғун ҳолатга ўтказиш учун L_1 нинг катодига конденсатор C_3 орқали мусбат кириш сигнали берилади. Бунда L_1 анодидаги ток I_{a1} қиймати камайиб, ундаги кучланиш эса ортади. L_1 анодидаги кучланишнинг ортиши C_1 ва R_3 орқали L_2 тўрига берилади ва натижада иккинчи лампадан ҳам ток ўта бошлайди. 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 L_1 тўрига таъсир этиб, I_{a1} қийматини янада камайтиради ва ҳоказо.

Триод тўрларига берилувчи мусбат тескари 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.

Мантикий элементлар

Мантикий элементлар, кўпинча контактсиз асбоблар асосида тузилиб, программа билан бошқарилувчи ва бошқарувчи системаларда ишлатилади. Бу элементлар билан ВА, ЁКИ, ЙҲҚ ҳамда ХОТИ-



16.20-расм.

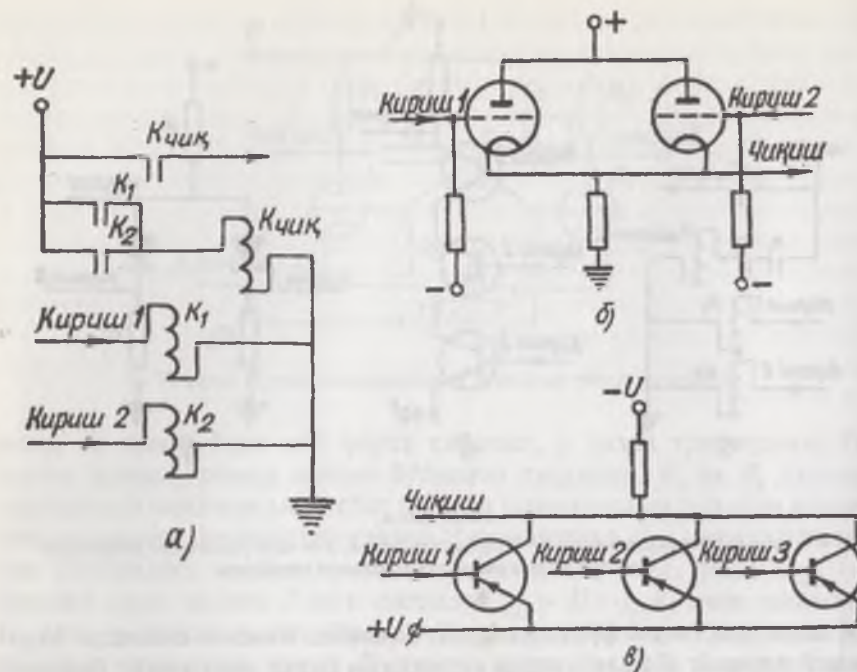
а — реле ва контакторлардан; б — транзисторлардан; в — чала ўтказгичли диодлардан тузилган ВА мантикий элементининг схемалари.

РА деган мантикий функцияларни бажариш имкони олинади. Мантикий элемент ВА дан чиқиш сигналини 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 элементининг 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 элементининг 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 ярим ўтказгичли диодлардан тузилган ВА мантикий элементининг схемаси кўрсатилган. Бундай схема ҳам юқоридагилар сингари принципда 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.

a — реле ва контакторлардан; *б* — триодлардан; *в* — транзисторлардан тузилган *ЁКИ* мантикий элементининг схемалари.

ЁКИ функциясини бажарувчи мантикий элемент бир неча кириш ва битта чиқиш қисмига эга бўлади. Бунда чиқиш сигнаolini олиш учун кириш қисмларининг бири ёки ҳаммасига сигнал бериш зарур. 16.21-расм, *a* 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.

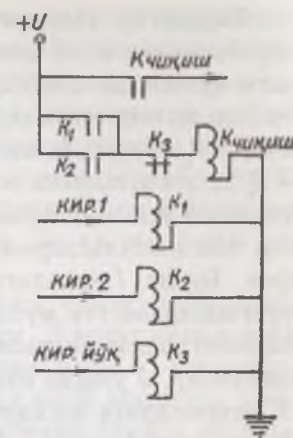
16.21-расм, *в* да транзисторлардан тузилган *ЁКИ* элементининг схемаси кўрсатилган. Бунда транзисторлардан биттасининг *ЁКИ* ҳаммасининг базасига манфий сигнал берилса, у ҳолда элементнинг чиқиш қисмида сигнал ҳосил бўлади.

16.22-расмда реле ва контакторлардан тузилган *ЙЎҚ* элементининг схемаси кўрсатилган.

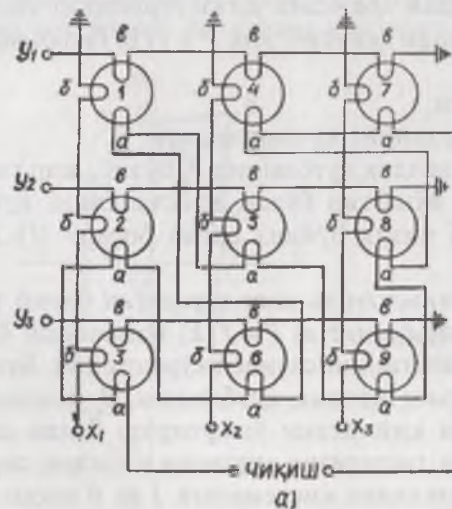
Бундай элементдан чиқиш сигнаlinи олиш учун унинг кириш қисмларидан бирида сигнал бўлиши, кириш *ЙЎҚ* қисмида эса сигнал бўлмаслиги керак.

Мантикий 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 ярим ўтказгич ўзақларидан тузилган хотира элементи (феррит матрицаси) нинг *a* — 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 санаиш учун эса *a* 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.



16.22-расм. Реле ва контакторлардан тузилган *ЙЎҚ* мантикий элементининг схемаси.



16.23-расм.

a — ферритли ўзақ матрицасидан ташкил топган *ХОТИРА* элементининг схемаси; *б* — ферритли ўзакнинг гистерезис сиртмоғи.

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 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 кифоя. Бунда 1 ҳолатига фақат 2 ўзак ўтади. 4, 6, 7 ва 9 ўзакдаги чулғамлардан ток мутлақо ўтмайди. 1, 3, 5 ва 8 ўзақлардаги 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 кифоя. Бунда ўзак 2 нинг — B_k қийматигача тескари магнитланиши содир бўлиб, а чулғамида чиқиш сигнали (э. ю. к.) ҳосил бўлади.

Ферроэлектрикли хотира элементлари сегнетоэлектриклар

$P = f(E)$ боғланиши ферромагнит материалларининг $B = f(H)$ боғланиши каби характерга эга диэлектрик хусусиятли кристаллар ферроэлектрик ёки сегнетоэлектрик деб аталади. Агар бундай диэлектрикни ташқи электр майдонга киритилса, унинг қутбланиши, яъни диэлектрикнинг мусбат ва манфий зарядга эга бўлган қисмларга ажралиши содир бўлади. Бундай ҳодисани диэлектрикнинг поляризацияланиши, яъни қутбланиши дейилиб, уни $P = f(E)$ билан ифодаланади,

бунда P — қутбланиш қиймати;

E — ташқи электр майдоннинг кучланганлиги.

Сегнетоэлектрикларда ҳам қолдиқ қутбланиш P_k бўлиб, агар ташқи электр майдони P_k томон йўналган бўлса, кристаллнинг қутбланиши тўйингунга қадар AB чизик бўйича ортиб боради (16.24-расм).

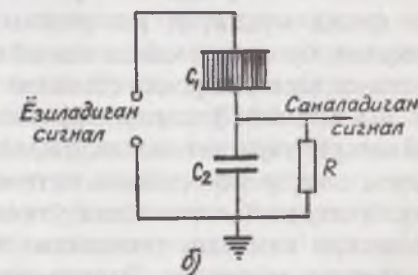
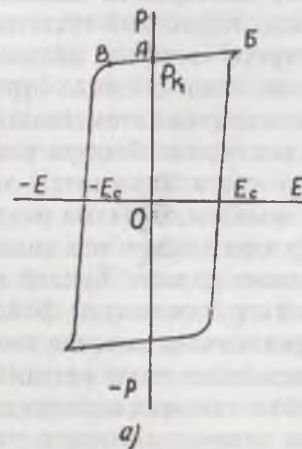
16.24-расмда энг яхши ўрганилган ва кенг тарқалган барий титанатидан иборат сегнетоэлектрикнинг а) $P = f(E)$ боғланиши б) — сегнетоэлектрикли хотира элементининг схемаси кўрсатилган. Бунда ҳам $E = 0$ бўлганда $P = P_k$, яъни қолдиқ қутбланиш P_k олинади. Электр майдон кучланганлиги қийматини ўзгартириш билан сегнетоэлектрикнинг қутбланиши гистерезис сиртмоғи сингари сиртмоқ бўйича ўзгаради. Демак, иккилик системасига 1 ва 0 рақамларини сегнетоэлектрикнинг $+P_k$ (А нуқта) ва $-P_k$ ҳолатлари орқали ифодалаш 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 типигади хотира қурилмасининг босмалаш билан олинган схемасининг бир қисми кўрсатилган.

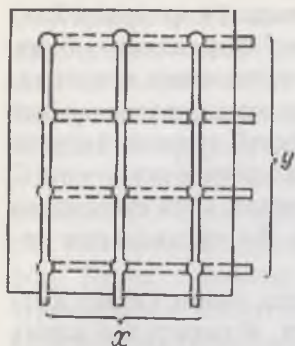
Бунда матрица ферроэлектрик пластинкасида иборат бўлиб, унинг икки томонига бир-бирига тик бўлган X ва Y ўқлари бўйича ток ўтказувчи йўллар босмаланган. X ва Y йўллар кесишган нуқталар йиғувчи конденсаторларни ҳосил қилиб, уларнинг ҳар бири элементар хотира элементини ифодалайди.

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 — сегнетоэлектрикли хотира элементининг схемаси.



16.25-расм. босмалаш билан олинадиган сегнето-электриклик хотира элементининг бир қисми.

санашда чиқиш қисмидан катта сигнал, 0 ни санашда эса кичик сигнал олинади.

XVII БОБ. ЭЛЕКТР ЮРИТМАЛАРНИНГ АВТОМАТИК БОШҚАРИШ СХЕМАЛАРИ

17.1. Умумий тушунчалар

Электр 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 жараёнларини энг яхши кўрсаткичлар билан, яъни оптимал суратда ўтказиш зарур. Бунинг учун электр юритмаларни автоматлаштириш лозим. Электр юритмаларни автоматлаштириш айниқса уларнинг қисқа муддатли иш режимларида катта аҳамиятга эга. Ҳақиқатан, бундай режимда ишлайдиган, масалан, бўйлама рандалаш станоклари ва прокат станлари электр юритмалари иш циклининг 30÷40% ини ўткинчи жараёнлар ташкил қилади. Бундай иш машиналари учун автоматлаштирилган электр юритмадан фойдаланилса, электр моторининг оптимал кўрсаткичлар асосида автоматик бошқариш натижасида ўткинчи жараёнлар учун кетадиган вақт кескин камаяди, технологик жараённи такомиллаштиришга имкониятлар яратилади. Электр юритмани автоматлаштириш учун бошқариш аппаратлари асосида тузилган бошқариш схемаларидан фойдаланилади. Автоматик бошқаришда бошланғич буйруқ операторнинг тугмани босиши ёки буйруқ-контроллерни берилган ҳолатга

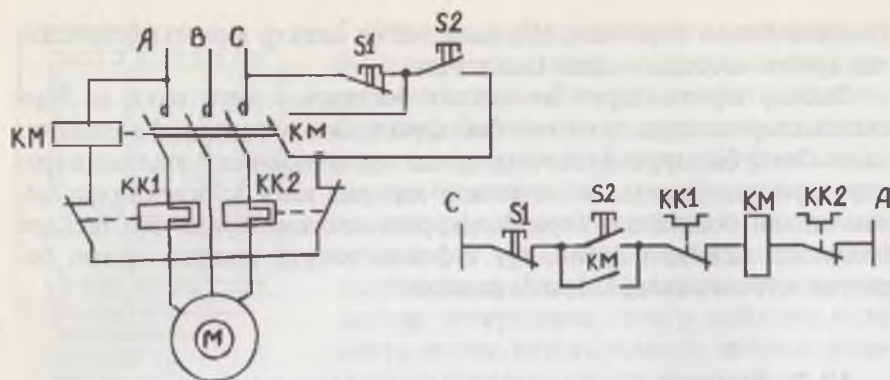
ўтказиш билан берилади. Шундан кейин электр юритма белгиланган қонун асосида ишлай бошлайди.

Электр юритмаларни автоматик бошқариш учун очиқ ва берк системалар асосида тузилган бошқариш схемаларидан фойдаланилади. Очиқ бошқариш системаларида ток манбаи ёки юклама параметрлари ўзгартирилади ва электр юритма янги кўрсаткичлар билан ишлай бошлайди. Берк бошқариш системаларида эса тескари боғланиш занжири бўлиб, шу туфайли электр юритма доимо 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 халқаро стандартлашдаги шартли белгилар билан белгилаб чиқилиши 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, тугма, контроллёр ва турли датчикларнинг контактли ёки контакtsiz 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. Бунда биринчи ҳарф аппаратнинг номига тааллуқли бўлса, бошқалари унинг схемадаги вазифасига тааллуқли бўлади. Масалан, *КМ* — магнитли контакттор ва бу контакттор билан бош занжир линияси туташтирилади. Агар схемада бир хил элементлар бир хил вазифаларни бажарса, уларнинг ҳарфий белгилари ёнига сонлар қўйилади масалан, *КМ1*, *КМ2* ва ҳоказо.

Схемалардаги аппаратларга тегишли турли элементлар шу аппаратлар белгиси билан ифодаланади. Масалан, магнит контакттори чулғами *КМ* билан белгиланган бўлса, у ҳолда бу контактторга тегишли бўлган бош ва блок контактлар ҳам *КМ* билан белгиланади. Электр схемаларда бош ва бошқариш занжирлари бўлади. Электр моторларининг юкланиш токи ўтувчи якорь, ротор ва статор чулғамлари уларнинг бош занжирлари ҳисобланади. Бу занжирлар бошқариш занжирига нисбатан йўғон чизиқлар билан ифодаланади; бошқариш занжирига эса бошқариш, сигналлаш ва назорат қилиш аппаратларининг элементлари уланган занжирлар киради. Бошқариш схемалари принципиал (ёйилган) ва монтаж схемалари тарзида берилиши мумкин.



17.1-рasm. Асинхрон моторни автоматик бошқаришнинг принципаал схемалари.

Ёйилган схеманинг ҳар бир элементи ўзининг уланиш тартибига биноан жойлашган бўлиб, бунда ишлаш принципини осон тушуниш ҳисобга олинади, схема элементларининг турар жойи эса ҳисобга олинмайди.

17.1-рasmда асинхрон моторни автоматик бошқариш схемаси кўрсатилган. Бунда схеманинг ишлаш принципи, ундаги аппаратларнинг бир-бирига таъсирлари яққол кўриниб турибди. Шу сабабли бундай схема принципаал схема дейилади. Бошқарувчи аппаратларнинг панелга ўрнатилиш тартибини ҳисобга олиб тузилган схема монтаж схемаси дейилади. Бундай схемадан бошқариш панелларини монтаж қилишда фойдаланилади. Монтаж схемасини ўқиш принципаал схемага нисбатан анча мураккаб бўлади.

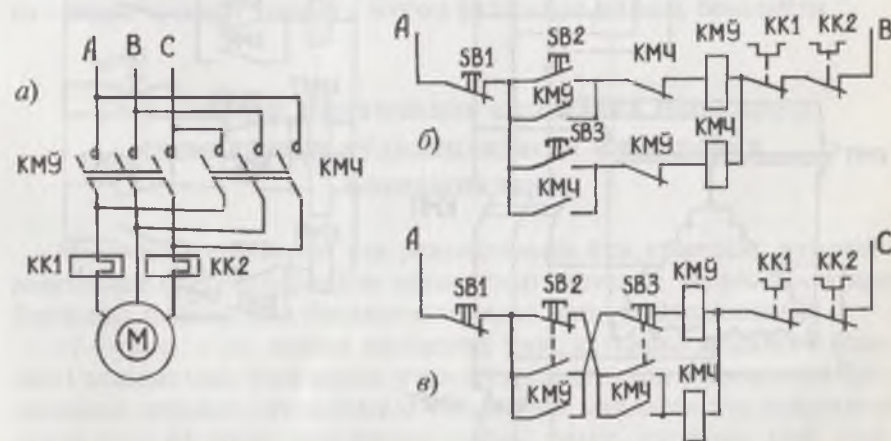
17.3. Очiq системали автоматик бошқариш схемалари

17.1-рasmда қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторни магнит ишга туширгич билан бир томонга бошқариладиган схема кўрсатилган. Бунда хавфсизлик қондасига мувофиқ моторни ишлатиш пайтидагина рубильник *P* уланади, бошқа пайтларда эса ажратилиб қўйилади. Шу сабабли моторни ишга тушириш учун *S2* тугмасини босиш кифоя. Бунда қуйидагидан иборат бошқариш занжири ҳосил бўлади: биринчи фаза, иссиқлик релеларининг ажратувчи *KK1* ва *KK2* контактлари, контакторнинг қўзғатувчи *K1M* чулғами, *S2* тугмасини туташтирувчи контакт, тўхтатиш *S1* тугмасини ажратувчи контакт ва иккинчи фаза. Натижада магнитли ишга туширгичнинг *KM* ғалтаги қўзғатилиб, унинг бош контактлари *KM* билан мотор электр тармоғига уланади. Бунда контакторнинг блок кон-

такты *KM* билан *S2* тугмаси шунтланиши сабабли, уни бир онда босиб, сўнгра бўшатилса ҳам моторнинг бошқариш занжири электр тармоғидан узилмайди. Моторни тўхтатиш учун *S1* тугмасини босиш кифоя. Электр тармоғидаги кучланиш бирор сабабга кўра кескин камайиб ёки йўқ бўлиб қолса, у ҳолда ишлаб турган мотор ўз-ўзидан тўхтаб қолади. Аммо кучланишнинг қиймати тиклангандан сўнг ҳам у ўз-ўзидан ишга туша олмайди. Моторни ишга тушириш учун *S2* тугмасини қайта босиш керак. Демак, магнитли ишга туширгичга эга схема ноль кучланиш хавфидан ҳимояланган бўлади. Схемадаги иссиқлик релеси *KK1* ва *KK2* 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 *KK1* ва *KK2* контактор *KM* чулғамини токсиз қолдиради ва натижада мотор электр тармоғидан ажратилади.

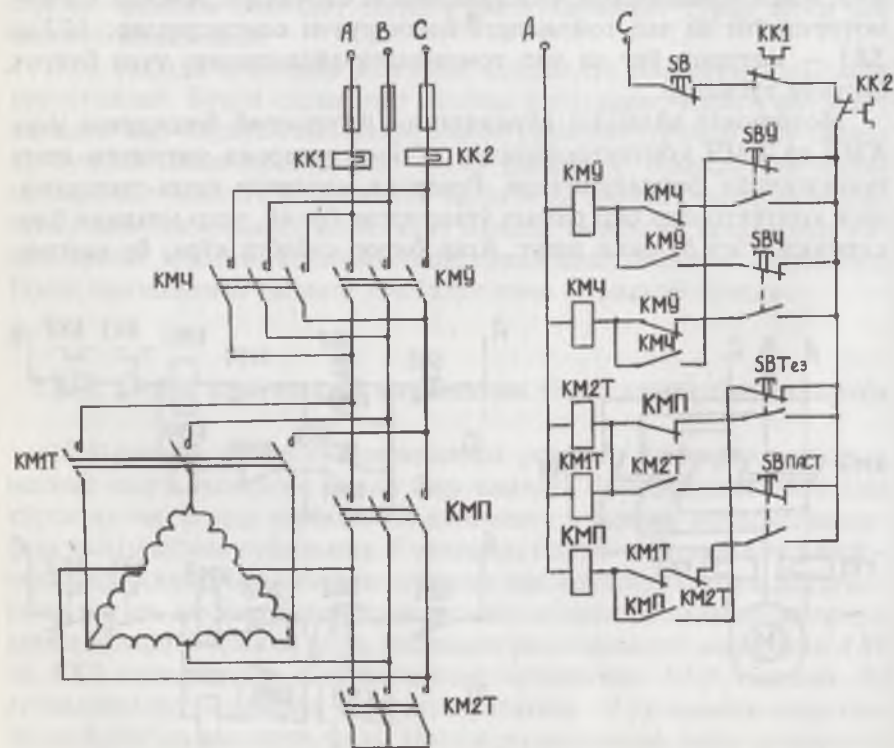
17.2-рasm, *a* да реверсив режимда ишлайдиган асинхрон моторни автоматик бошқариш схемаси кўрсатилган. Бунда *a* — бош занжир, *b* ва *в* — бошқариш занжирларининг схемалари; *KMU* ва *KMC* — моторни ўнг ва чап томонларга бошқарувчи контакторлар; *SB2* ва *SB3* — моторни ўнг ва чап томонларга айлантириш учун буйруқ берувчи тугмалар.

Моторнинг айланиш йўналишини ўзгартириб бошқариш учун *KMU* ва *KMC* контакторларидан иборат реверсив магнитли ишга туширгичдан фойдаланилади. Реверсив магнитли ишга туширгичдаги контакторлар бир рамага ўрнатилган бўлиб, улар механик блокировкага эга бўлиши шарт. Агар бирор сабабга кўра, бу контак-



17.2-рasm. Реверсив режимда ишлайдиган асинхрон мотори:
a — бош занжир схемаси; *b* ва *в* — электр блокировкага эга бошқариш схемалари.

торларнинг асосий контактлари бир вақтда туташиб қолса, у ҳолда бош занжирнинг *A* ва *C* фазалари ўзаро қисқа туташиб катта авария содир бўлиши мумкин. Бунга йўл қўймаслик учун бошқариш занжирига электр блокировка, яъни *КМУ* катактори занжирига, *КМЧ* контакторининг блок контакти *КМЧ* киритилиб, *КМЧ* контакторининг занжирига эса, *КМУ* контакторининг блок контакти *КМУ* киритилади (17.2-рasm, б). Натижада, моторни ўнг ёки чап томонга айлантириш учун буйруқ берилганда уни тескари томонга улаб ишга туширувчи контактор занжири *КМУ* ва *КМЧ* блок контактлари билан очилиб қолади. 17.2-рasm, в даги схемада бошқа хил электр блокировка кўрсатилган. Бунда ўнг томонга айлантириш тугмаси босилганда, унинг ажратувчи *КМУ* контакти чулғам *КМЧ* занжири-ни очиб қўяди ва аксинча. Шу сабабли бу схемада ҳам иккала тугма 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 тугмасини босиш кифоя. 17.2-рasm, б даги схемада эса,



17.3-рasm. Электр ва механик блокировкаларга эга бўлган икки частотали реверсив асинхрон моторни бошқариш схемаси.

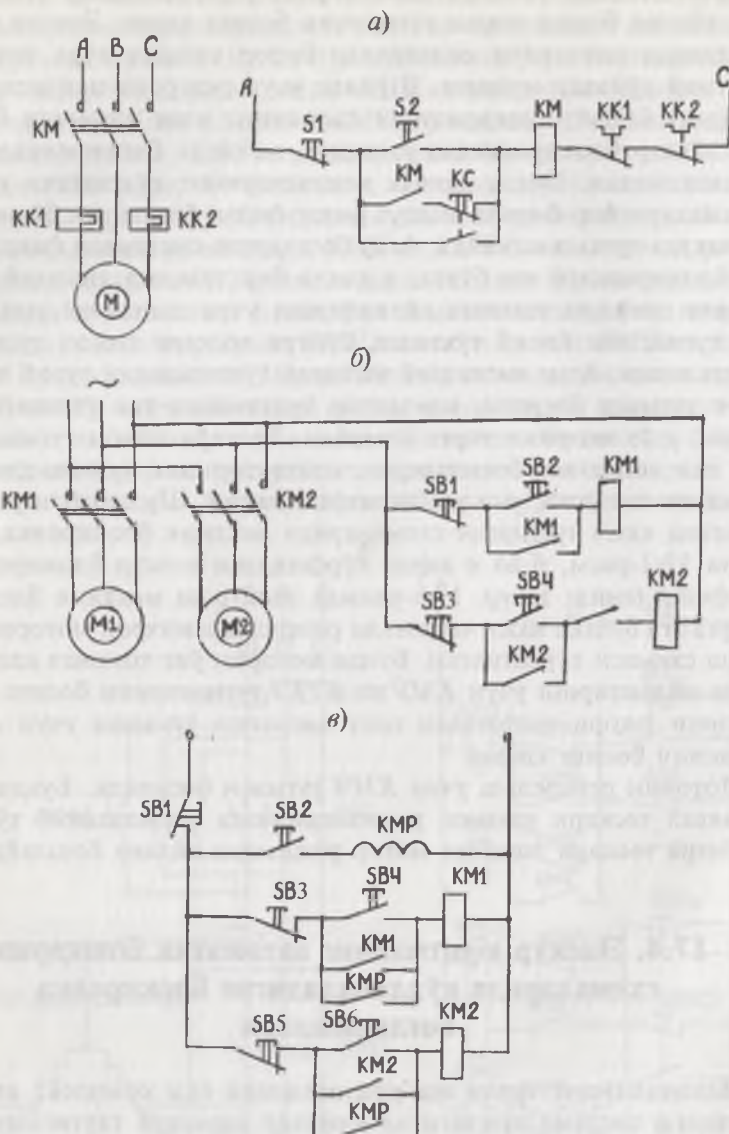
моторни тескари томонга айлантириш учун даставвал уни тўхта-тиш, сўнгра бошқа томон тугмасини босиш керак. Электр блоки-ровкаларда ажратувчи контактлар бирор сабабга кўра занжирни ажратмай қўйиши мумкин. Шунинг учун реверсив магнитли ишга туширгич билан бошқарилувчи схеманинг иши ишончли бўлиши учун электр блокировкадан ташқари, механик 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 меха-ник блокировкага эга бўлса, у ҳолда бир томонга айланиб турган моторни тескари томонга айлантириш учун даставвал уни тўхта-тиш тугмасини босиб тўхташи, сўнгра тескари томон тугмасини босиш лозим. Агар янглишиб моторни тўхтатмасдан туриб тескари томон тугмаси босилса, контактор чулғамидан ток ўтишига қара-масдан, у ўз якорини торта олмайди. Тескари томон тугмаси узоқ вақт ёки кетма-кет босилаверса, контакторнинг чулғамидан катта қийматли ток ўтиб, уни куйдириши мумкин. Шу сабабли реверсив магнитли ишга туширгич схемаларида механик блокировкадан та-шқари 17.2-рasm, б ва в ларда кўрсатилган электр блокировкадан ҳам фойдаланиш зарур. 17.3-рasmда электр ва механик блокиров-каларга эга бўлган икки частотали реверсив асинхрон моторни бош-қариш схемаси кўрсатилган. Бунда моторни ўнг томонга катта час-тотада айлантириш учун *КМУ* ва *КТЭЗ* тугмаларини босиш лозим. Моторни юқори частотадан паст частотага ўтказиш учун *КПАСТ* тугмасини босиш кифоя.

Моторни реверслайш учун *КМЧ* тугмаси босилади. Бунда мотор даставвал тескари уланиш режимида тезда тормозланиб тўхтайди ва сўнгра тескари томонга мотор режимида айлана бошлайди.

17.4. Электр юритманинг автоматик бошқариш схемаларида қўлланиладиган блокировка боғланишлари

Механизмнинг турли иш режимларини ёки комплекс автомат-лаштириш системаларидаги элементлар ҳаракати тартибини ўзаро боғлашда блокировка боғланишларидан кенг фойдаланилади.

17.4-рasm, а да электр моторини узоқ ва қисқа муддатли (соз-лаш) режимларда бошқариш учун қўлланиладиган блокировка боғ-ланишли схемаси кўрсатилган. Бунда узоқ муддатли иш режимини олиш учун *S2* тугмасини босиш кифоя. Аммо, кўпинча, узоқ муд-датли режим олдидан иш машинаси айрим элементлари паст час-тоталарда уларнинг бошланғич ҳолатларига келтирилиши, яъни



17.4-расм.

а — электр моторни узоқ ва қисқа муддатли режимларда бошқариш учун қўлланиладиган блокировка боғланишли схема; б — электр-моторларнинг ўзаро блокировка алоқали бошқариш схемаси; в — электр моторларни биргаликда ва мустақил бошқариш схемаси.

созланиши лозим. Бунинг учун сошлаш тугмаси *КС* ни қисқа вақт ёки дам-бадам босиб, мотор импульсли режимда ва, демак, паст (созлаш) частотада ишлатилади. Бунда, сошлаш тугмаси босиб турилган пайтдагина, мотор ишлайди.

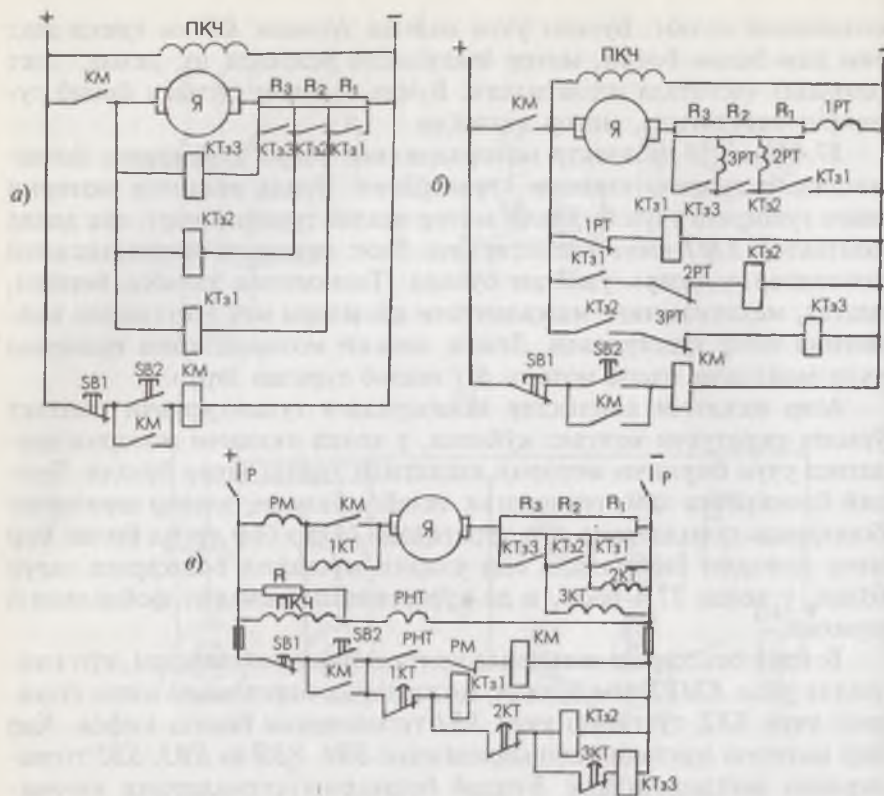
17.4-расм, б да электр моторларининг ўзаро блокировка боғланишли бошқариш схемаси кўрсатилган. Бунда иккинчи моторни ишга тушириш учун биринчи мотор ишлаб туриши шарт, акс ҳолда контактор *КМ1* нинг туташтирувчи блок контакти билан иккинчи контактор занжири узилган бўлади. Технологик талабга биноан, одатда, механизмнинг ишқаланувчи қисмлари мойланганидан кейингина ишга туширилади. Демак, асосий моторни ишга тушириш учун мойловчи насос мотори *М1* 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, электр юритмани бошқариш схемаларида кўп учратилади. Агар бир тугма билан бир неча моторни биргаликда ёки уларни мустақил бошқариш зарур бўлса, у ҳолда 17.4-расм, в да кўрсатилган схемадан фойдаланиш мумкин.

Бундай бошқариш схемасида контакторлардан ташқари, кўп контактли реле *КМРХ* ҳам бўлади, моторларни биргаликда ишга тушириш учун *SB2*, тўхтатиш учун *SB1* тугмаларини босиш кифоя. Ҳар бир моторни мустақил бошқариш учун *SB4*, *SB5* ва *SB3*, *SB6* тугмаларидан фойдаланилади. Бундай бошқариш схемаларини автоматик станок линияларида учратиш мумкин. Автоматик бошқариш схемаларида юқорида келтирилган блокировка боғланишларидан ташқари, бошқа хиллари ҳам учрайди.

17.5. Электр юритмани автоматик ишга тушириш усуллари

Қисқа муддатли такрорланувчи иш режимларида электр юритмани кўп поғонали резистор қаршилиги билан ишга тушириш жараёни анча мураккаб бўлиб, уни оператор орқали бошқарилганда қийинчилик ва хатоликлар юз бериши мумкин. Ишга тушириш жараёнининг турли вақтларида моторнинг частотаси ва ток турли қийматларга эга бўлиши сабабли бу жараёни частота, ток ва вақт асосида автоматик бошқариш мумкин. Электр моторларини частота асосида ишга туширишда марказдан қочма куч принципига асосланган мураккаб тузилмалар частота релеларидан фойдаланилади. Амалда ишга тушириш жараёнини частота асосида ишга туширишда марказдан қочма куч принципига асосланган мураккаб тузилма-



17.5-расм. Параллел қўзғатишли ўзгармас ток моторнинг:

а — э. ю. к.; б — ишга тушириш токи; в — вақт асосида автоматик ишга тушириш схемалари.

ли частота релеларидан фойдаланилади. Амалда ишга тушириш жараёни 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 *SB2* тугмаси босилиши билан мотор уч поғонали резистор қаршилиги воситасида автоматик равишда ишга туширилади. Моторнинг айланиш частотаси n_1 га тенглашганида кучланиш $U_{1\text{тез}} = C_E n_1 + I_{\text{мин}}(R_{\text{я}} + R_3 + R_2)$ га асосланган биринчи тезланиш контактори *KT31* ишга тушади ва унинг контакти биринчи поғона қаршилиги R_1 ни шунтлайди. Бунда якори токи яна $I_{\text{макс}}$ гача кўпайгани сабабли, тезлик иккинчи резисторли характеристикага биноан ортиб боради. Шунга ўхшаш, частотанинг қиймати n_2 га тенглашганида якори занжиридаги кучланиш $U_{2\text{тез}} = C_E n_2 + I_{\text{мин}}(R_{\text{я}} + R_3)$ бўлади ва бу кучланишга созланган *KT32* контактори ишга тушиб, R_2 ни шунт-

лайди ва ҳоказо. Шундай қилиб, мотор ўзининг табиий характеристикасидаги турғун частотага босқичма-босқич чиқиб ишлай бошлайди.

Ўзгарувчан ток моторларини (фаза роторли) ротор занжирига киритиладиган қаршилиқ орқали ишга тушириш жараёни ҳам 17.5-расм, а да кўрсатилган принцип асосида автоматлаштириш мумкин. Бунда кучланишга созланган контакторлар сифатида ўзгарувчан ток контакторлари ишлатилади.

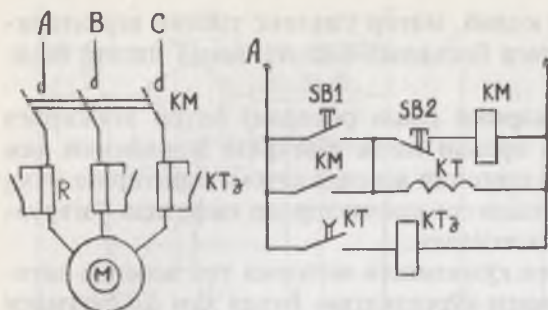
17.5-расм, б да параллел қўзғатишли моторни ток асосида автоматик ишга тушириш схемаси кўрсатилган. Бунда ҳам *SB2* тугмаси босилиши билан мотор тўла қаршилиқ билан ишга туширилади.

Айланиш частотаси ортиб бориши билан якори токи камайиб боради, шу сабабли унинг минимал қийматида биринчи ток релеси *1PT* ўз якорини тортиб туролмай, уни қўйиб юборади. Бунда унинг ажратувчи контакти туташиб, биринчи тезланиш контактори *KT31* ни электр тармоғига улайди. *KT31* контакти биринчи поғона қаршилиги R_1 ни шунтлайди. Шу сингари бошқариш жараёнларидан сўнг R_2 ва R_3 қаршиликлари ҳам шунтланиб, мотор юкланиш 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 электромагнит вақт релеси билан автоматик ишга тушириш схемаси кўрсатилган. Бунда рубильник *P* уланиши билан моторнинг қўзғатиш чулғами *ПҚЧ* ва ноль ток релеси *PHT* дан ток ўта бошлайди. Шу билан бирга, максимал ток релеси *PM*, биринчи вақт релеси *1KT*, якори ва тўла ташқи қаршилиқ орқали ҳам ток ўта бошлайди. Аммо вақт релеси *1KT* чулғамининг қаршилиги катта бўлиши сабабли якори занжирдан ўтган ток кичик қийматга эга бўлиб, мотор айлана олмайди. Вақт релеси *1KT* чулғамидан ток ўтиши билан унинг контакти тезланиш контакторлари занжирларини электр тармоғидан узиб қўяди. Агар *ПҚЧ* ва *PHT* дан номинал қийматли қўзғатиш токи ўтиб турган бўлса, моторни ишга тушириш учун *SB2* тугмасини босиш kifоя. Бунда биринчи вақт релеси *1KT* нинг чулғами линия контакторининг *KM* контакти билан шунтланиб, бу реле созланган вақт t_1 ҳисоблана бошлайди. Ўткинчи режим формуласидан топилган ва реле созланган t_1 вақти ўтиши билан вақт релеси ўз якорини қўйиб юборади ва *KT31* занжири *1KT* контакти билан электр тармоғига уланиб қолади. Бунда тезланиш контакторининг *KT31* контакти билан қаршилиқнинг биринчи поғонаси R_1 ҳамда иккинчи вақт реле-



17.6-рasm. Қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторли вақт асосида автоматик ишга тушириш схемаси.

характеристикада турғун частота билан ишлай бошлайди.

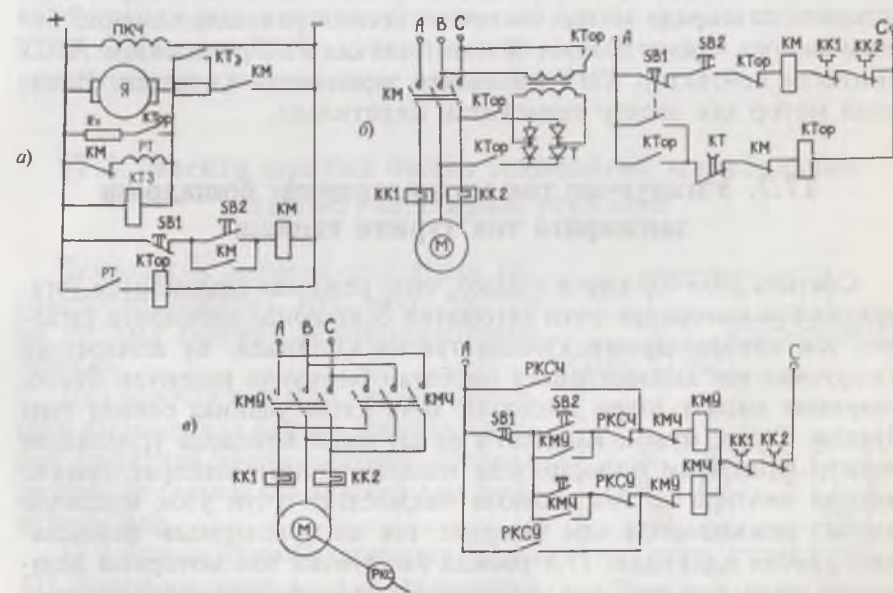
Бундай схема билан ишлаб турган моторни қисқа тутатиш хавфидан максимал ток релеси *PM*, қўзғатиш токининг номиналга нисбатан камайиб ёки нолга тенг бўлиб қолиш хавфидан эса ноль ток релеси *PNT* ҳимоялайди. Моторнинг бошқариш занжири эса қисқа тутатиш токидан, одатда, сақлагичлар билан ҳимояланади. 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 ҳарорати ва юкланиш токи қийматларининг ўзгариши таъсир қилмайди. Шу сабабли 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-рasmда қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторни вақт асосида автоматик ишга тушириш схемаси кўрсатилган. Бунда *SB1* тугмаси босилиши билан моторнинг статор чулғами ишга тушириш токини камайтирувчи ташқи қаршилик орқали электр тармоғига уланади. Ишга тушириш жараёни тугаши билан вақт релеси *KT* нинг контакти тезлатиш контакторини электр тармоғига улайди. Натижада статор занжиридаги қаршилик *KT3* контакти билан шунтланиб, мотор нормал режимда турғун частота билан ишлай бошлайди.

17.6. Электр юритмани автоматик тормозлаб тўхтатиш усуллари

Электр юритмаларни тормозлаб тўхтатишда, кўпинча электродинamik ва тескари улаш усуллари билан фойдаланилади. Рекуперация усули билан эса фақат генератор-мотор системаларида ва куп частотали асинхрон моторлардан иборат юритмаларда фойдаланилади.

Электр юритмани тормозлаб тўхтатишни автоматлаштириш принциплари, уни ишга туширишдаги сингари э. ю. к. частота ва вақтга асосланган бўлиши мумкин. 17.7-рasm, *a* да параллел қўзғатишли моторни электродинamik усул билан э. ю. к. асосида автоматик тормозлаб тўхтатиш схемаси кўрсатилган. Бунда тўхтатиш тугмаси *SB1* ни босиш билан якорь занжири электр тармоғидан ажратилади. Шу ондаёқ, якордаги э. ю. к. таъсирида тормозлаш релеси *PT* қўзғатилиб, у ўз контакти *PT* билан тормозлаш контактори *KTOP* ни электр тармоғига улайди. Бу контакторнинг *KTOP* контакти электр тармоғидан ажратилган якорни тормозлаш қаршилиги *R_r* га улаб моторни динамик тормозланиш режимига ўтказди. Натижада тормозлаш моменти ҳосил бўлиб, унинг таъсирида частота, ва, демак, э. ю. к. камайиб боради. Э. ю. к. нинг бирор кичик қийматида *PT* релесининг контакти билан *KTOP* контактори электр тармоғидан ажратилади ва мотор фақат ишқаланиш моменти таъсирида аста-секин тўхтайдди. Тормозлаш моментининг мотор тўхтагунга қадар таъсир этмаслиги бу усулнинг асосий камчилиги ҳисобланади.

17.7-рasm, *b* да асинхрон моторни электродинamik усул билан вақт асосида автоматик тормозлаб тўхтатиш схемаси кўрсатилган. Бунда тўхтатиш *SB1* тугмаси босилиши билан мотор статори электр



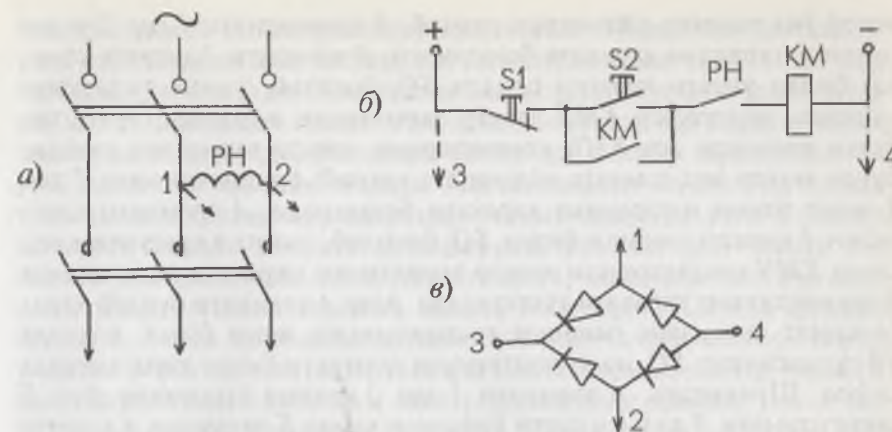
17.7-рasm.

a — параллел қўзғатишли моторни электродинamik усул билан э. ю. к. асосида автоматик тормозлаб тўхтатиш схемаси; *b* — асинхрон моторни электродинamik усул билан вақт асосида автоматик тормозлаб тўхтатиш схемаси; *в* — асинхрон моторни тескари уланиш билан частота асосида автоматик тормозлаб тўхтатиш схемаси.

тармоғидан ажратилаб, тормозлаш контактори *КТОР* эса электр тармоғига уланади. Тормозлаш контактори *КТОР* нинг контакти статор чулғамини ўзгармас ток манбаига улаб, моторни электродинамик режимга ўтказида. Бу пайтда *КТОР* контактори якориға ўрнатилган маятникли вақт релеси *РВ* ишга тушиб, вақтни ҳисоблай бошлайди ва озгина захира билан ҳисобланган тўхташ вақти тугагач, *РВ* нинг *КТ* контакти тормозлаш контактори *КТОР* ни электр тармоғидан ажратади. Демак, бу усулда тормозлаш жараёни мотор тўхтагунга қадар давом этади. 17.7-расм, *в* да асинхрон моторни тескари улаш билан частота асосида автоматик тормозлаб тўхтатиш схемаси кўрсатилган. Бунда тўхтатиш тугмаси *SB1* 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 тугаштирувчи контакти *РКСУ* берк ҳолатда бўлиб, чап томонга айлантириш контактори *КМЧ* занжирини электр тармоғига улашга тайёрлаб қўяди. Шу сабабли, *SB1* тугмасини босиш билан ўнг томонга айлантириш контактори *КМУ* электр тармоғидан ажралиб, чап томон контактори *КМЧ* 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 *РКСУ* контакти контактор *КМЧ* 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 электр 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 занжирини схемалари турли ток манбаларидан таъминлангани сабабли, моторни ноль кучланиш хавфидан ҳимоялашда кучланиш релеси *РН* қўлланилади (17.8-расм, *а*).



17.8-расм.

а ва *б* — ўзгарувчан ток моторини бошқариш учун ўзгармас ток аппаратурасидан тузилган схемалари; *в* — ўзгармас ток манбаи сифатида тўғрилагичдан фойдаланиш схемаси.

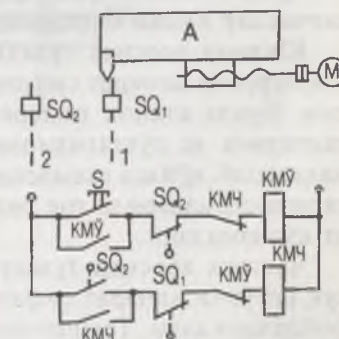
Агар бошқариш занжирини учун алоҳида ўзгармас ток манбаи бўлмаса, у ҳолда уни 17.8-расм, *в* да кўрсатилган тўғрилагичнинг 3 ва 4 нуқталарига уланади. Ўзгармас токли бошқариш занжирига 220 В дан юқори бўлган кучланишни ва, демак, юқори кучланишли аппаратларни қўллаш тавсия этилмайди.

17.8. Электр юритма билан технологик жараёнларни автоматлаштириш усуллари

Технологик жараёнларни турли параметрлар, масалан, йўл, вақт, частота ва юклама 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 *SQ₁* ва *SQ₂* билан иш машинаси *A* элементини 1 ҳолатдан 2 ҳолатга, сўнг 2 ҳолатдан дастлабки 1 ҳолатга ўтиш жараёнларини автоматлаштириш схемаси кўрсатилган. Бунда *S* тугмаси босилиши билан



17.9-расм. Механизм иш циклини йўлакай датчик асосида электр юритма билан автоматлаштириш схемаси.

мотор ўнг томонга айланишга уланиб, *A* элементи *1* дан *2* ҳолат томон илгарилама ҳаракати бошланади. *A* элементи *2* ҳолатга келиши билан ундаги туртгич орқали *SQ₂* босилиб, унинг ажратувчи контакти контактор *KMU* электр тармоғидан ажратади, туташтирувчи контакти эса *KMC* 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 *SQ₁* босилиб, унинг ажратувчи контакти *KMC* контакторини электр тармоғидан ажратади ва натижада *A* элементининг ҳаракати тўхтатилади. Агар *A* элементи бундай ҳаракатининг автоматик равишда такрорланиши зарур бўлса, у ҳолда *SB* тугмасининг *SQ₁* ни туташтирувчи контакти билан шунтланиши кифоя. Шунингдек, *A* элементи *1* дан *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 тўхташини таъминлайдиган схемани тузиш ҳам юқоридаги сингари амалга оширилади.

A ва *B* элементлари бундай ҳаракат циклини ўз-ўзидан такрорлаш учун *SQ₁* ва *SQ₂* нинг кетма-кет уланган туташтирувчи контактарини *S* тугмаси билан шунтлаш кифоя. Юқоридаги схемаларда минимал ёки ноль кучланиш хавфидан ҳимояланиш учун уларни электр тармоғига улашда схемага яна битта кучланиш релесини киритиш кифоя.

Вақт асосида тузилган автоматлаштириш схемаларида буйруқ берувчи аппарат сифатида турли типдаги вақт релеларидан фойдаланилади. Бунда *S* тугмасини босиш билан *A* элементини *1* дан *2* ҳолатга келтириб, сўнгра берилган вақт ўтганидан кейин, уни дастлабки ҳолатига келтириб тўхтатиш схемаси тузилади.

Бундай автоматлаштириш схемаларида вақт релеси *KT* йўлакай датчиклар билан биргаликда қўлланилади.

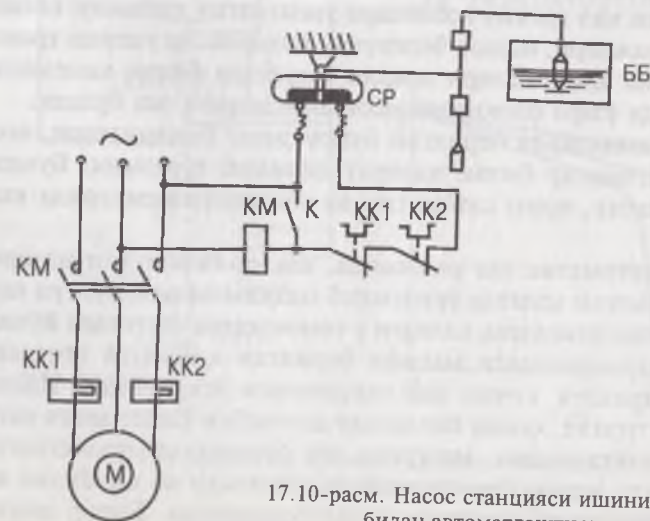
Юклама асосида тузилган автоматлаштириш схемаларида буйруқ берувчи аппарат сифатида ток релесидан ҳам фойдаланиш мумкин. Бунда станок поперецинасини тепага, пастга қараб ҳаракатлантириш ва тўхтатилиши билан уни дарҳол станок устунларига маҳкамлаб қўйиш схемасидан фойдаланилади. Бундай автоматлаштириш схемаларида ток релеси йўлакай датчиклар билан биргаликда қўлланилади.

Частота асосида тузилган автоматлаштириш схемаларида буйруқ берувчи аппарат сифатида тахогенератор (частота датчиги) дан фойдаланилади. Технологик жараён талабига биноан, электр юритмани аниқ жойда ёки аниқ ҳолатда тўхтатиш лозим бўлади. Маълумки, аниқ тўхтатиш учун, даставвал, моторнинг бошланғич айланиш частотасини мумкин қадар пасайтириш керак. Бунда технологик жараён тугаши билан, электр юритма дастлабки частотасини

импульс усули билан пасайтириши керак. Бундай автоматлаштириш схемаларида ҳам частота датчиги йўлакай датчиги билан биргаликда қўлланилади. Технологик жараённинг тугаши билан йўлакай датчиги босилиб, унинг контакти контактор занжирини электр тармоғидан ажратади. Натижада мотор ҳам электр тармоғидан ажраб, частотаси камайиб боради. Частотасининг кичик бир қийматида тахогенератор кучланишидан таъминланувчи реле контакти моторни тескари томонга айлантирувчи контакторни 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 тескари контакторини электр тармоғидан узади. Бунда мотор ҳам электр тармоғидан узилиб, унинг частотаси яна пасая бошлайди ва ҳоказо. Натижада мотор ўртача қиймати паст бўлган частота билан ишлай бошлайди.

17.10-расмда сув билан таъминловчи насос станцияси ишини электр юритма билан автоматлаштириш схемаси кўрсатилган. Бунда насос станцияси автоматик равишда ишлаши учун команда (буйруқ) берувчи асосий аппарат сифатида қалқовичли реледан фойдаланилади.

Қалқовичли реленинг симобли контакт системаси *CP* насос моторини бошқарувчи контактор чулғами занжирига кетма-кет уланади. Симобли контактнинг ҳолати босим боки *ББ* даги сув сатҳига боғлиқ бўлиб, унинг юқори сатҳида очиқ, қуйи сатҳида эса берк бўлади. Рубильник уланиши билан мотор *M* сувни насос орқали бакка кўтара бошлайди ва сувнинг сатҳи юқори белгига етганда, мотор автоматик равишда тўхтатилади. Бакдаги сув истеъмолчи-



17.10-расм. Насос станцияси ишини электр юритма билан автоматлаштириш схемаси.

ларга тарқатилганда унинг сатҳи пасайиб боради ва пастки белгида мотор ўз-ўзидан уланиб, бакни яна сув билан тўлдира бошлайди. Насос станциясини автоматик равишда ишлатувчи системада бирор бузуқлик содир бўлса, уни калит K билан бошқарилади.

Ҳаво-сув босимли қозонга эга бўлган насос станцияси ишини автоматлаштиришда эса, буйруқ берувчи асосий аппарат сифатида мембранали босим релесидан 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.

17.9. Станокларнинг автоматик линиялари

Мураккаб шаклли материалга турли хил ишлов берилганда ёрдамчи ҳаракат жараёнларига жуда кўп вақт сарфланади.

Ҳақиқатан, материални бирор типдаги станокка ўрнатиш, уни қисиш, станокни ишга тушириш ва тўхтатиш, ишлов берилган материални бўшатиб, уни бошқа типдаги станокка ўрнатиш каби ёрдамчи ҳаракат жараёнларига кўп 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 қисиш қурилмалари орқали бир-бири билан кинематик боғланишда ҳамда ўзаро блокировка боғланишларига 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 каллаги у томон катта частотада йўналтирилади ва улар орасидаги масофа берилган қийматга тенглашганда каллак ҳаракати кичик иш частотасига ўтказилади. Ишлов бериш жараёни тугагач, ҳамма каллаklar 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 тугмалари билан ҳамма механизмларни дастлабки ҳолатларига қайтариш лозим, акс ҳолда автоматик блокировка линияни ишга туширишга йўл қўймайди. Автоматик линиялар ишининг ишончлироқ бўлишини таъминлаш учун уларда қўлланилган бошқариш аппаратлари сонини иложи борица камайтириш, кичик тоқларга мўлжалланган ихчам ва контактсиз асбоб, аппарат ва мантиқий элементлардан фойдаланиш тавсия қилинади.

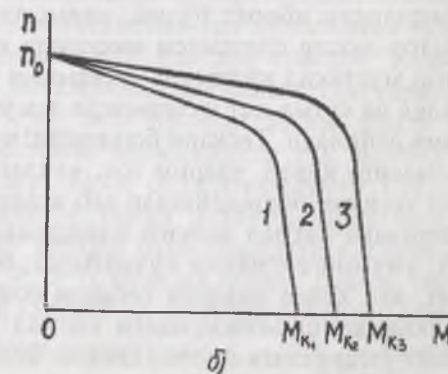
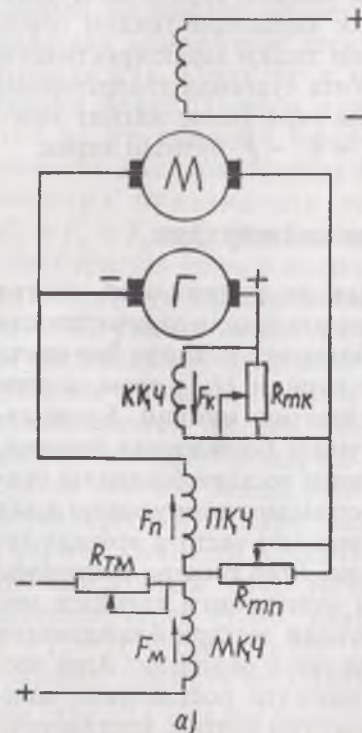
Станоклар линиясида асосий мотор сифатида қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторлари қўлланилиб, улар гидравлик мосламалар билан биргаликда ишлатилади.

17.10. Берк системали автоматик бошқариш схемалари

Тескари боғланиш занжирига эга бўлган системалар берк бошқариш системаси дейилади. Электр юритма системасини жадал ишга

тушириш ва тормозлаб тўхтатиш, унинг турғун частотасини ўзгартирмай сақлаш ва кенг миқёсда ростлаш, моторнинг турли типдаги механик характеристикаларга эга бўлишини таъминлаш учун берк системали автоматик бошқариш схемалардан фойдаланилади.

17.11-расм, *а* да учта қўзғатиш чулғамига эга бўлган берк занжирли генератор-мотор системаси



17.11-расм. Учта қўзғатиш чулғамли генераторга эга бўлган генератормотор системаси:

а — схемаси; *б* — экскаватор типли механика характеристикаси.

кўрсатилган: бунда F_m , F_n ва F_k — тегишлича генераторнинг мустақил, параллел ва кетма-кет қўзғатишли чулғамларининг магнит юритувчи кучлари (ампер-ўрамлари); R_m , R_n ва R_k — тегишлича мустақил, параллел ва кетма-кет қўзғатишли чулғам занжирларига кирилган 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 кучланиши ва, демак, мотор частотасини кенг диапазонда ростлаш учун R_m ва R_n қийматларини ўзгартириш керак бўлади. 17.11-рasm, б да кўрсатилган экскаватор типли механик характеристикаларнинг кескин бурилишига тегишли қисқа тутатиш моменти M_k ёки токи I_k қийматларини ростлаш учун эса R_k ни ўзгартириш керак бўлади. Экскаватор ва шу каби иш машиналарнинг баъзи механизмларида тез-тез ўта юкланиш ҳоллари содир бўлиб туради. Бунда юкламанинг қиймати ҳатто юритмани тўхтатиб қўйиш даражасигача ортиб бориши мумкин. Бундай ҳолларда электр юритманинг механик характеристикаси кескин бурилишга эга бўлиб, мотор ўзига хавфли бўлган қисқа тутатиш, яъни $n = 0$, $I = I_k$, $M = M_k$ режимларидан автоматик равишда ҳимояланиши керак. Кескин бурилишли, яъни экскаватор типли деб аталувчи механик 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 $F_\Sigma = F_n + F_m - F_k$ бўлиши керак.

17.11. Тескари боғланиш занжирлари

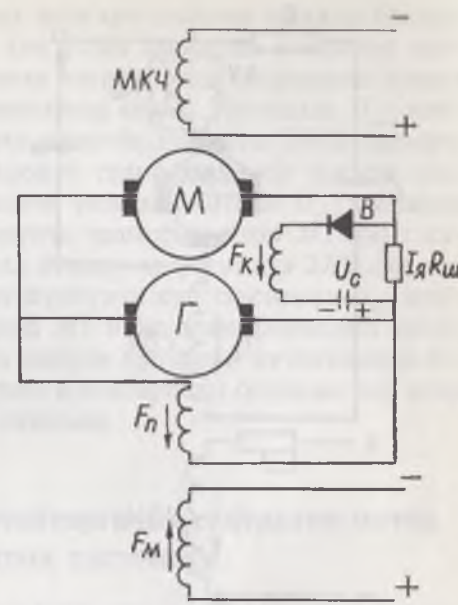
Бирор системанинг кейинги звеноларидан энергия олиб, сўнгра бу энергия билан унинг олдинги звеноларига таъсир этувчи занжир тескари боғланиш деб аталади. Тескари боғланиш занжири бир қанча элементлардан иборат бўлиб, унинг таъсирини 17.11-рasm, а даги генератор-мотор системаси мисолида кўрсатиш мумкин. Бунда генератор мустақил қўзғатиш чулғамини унинг бошқарувчи чулғами, параллел ва кетма-кет чулғамлари эса унинг тескари боғланиш чулғамлари дейилади. Тескари бошқариш чулғамларининг уланиш жойи ва схемасига қараб, уларни ток, кучланиш ёки частота асосида тuzилган тескари бошқаришлар деб аталади. Агар тескари бошқариш занжиридаги сигнал асосий бошқариш чулғамидagi сигналга мос бўлиб, умумий сигнални кучайтирса, бундай тескари бошқаришни мусбат, акс ҳолда манфий тескари бошқариш дейилади. Агар тескари бошқариш занжиридаги сигнал қиймати ростланувчи миқдорнинг ўзгаришига пропорционал бўлса, уни қаттиқ, ростланувчи миқдорнинг ўзгариш частотага пропорционал бўлган тақдирда эса эластик тескари бошқариш деб аталади. Демак, уч чулғамли генераторнинг параллел қўзғатишли чулғами унинг кучланишига бино-

ан мусбат ва қаттиқ тескари бошқаришни ифодаласа, кетма-кет қўзғатиш чулғами якорь занжиридаги юклама токига биноан манфий ва қаттиқ тескари бошқаришни ифодалайди. Шу сабабли бирор турғун режимда ишлаб турган моторнинг юкламаси кескин ўзгарса, генератор қутбларида ўрнатилган учта қўзғатиш чулғамидagi токлардан ҳосил бўлган F_Σ ва демак, кучланишнинг қиймати кескин камаяди. Демак, бундай генератордан таъминланувчи моторнинг механик характеристикаси ҳам уни хавфли юкламадан автоматик равишда ҳимояловчи кескин бурилишли характерга эга бўлади. Агар 17.11-рasm, а даги ток ва кучланишга биноан олинган тескари бошқариш

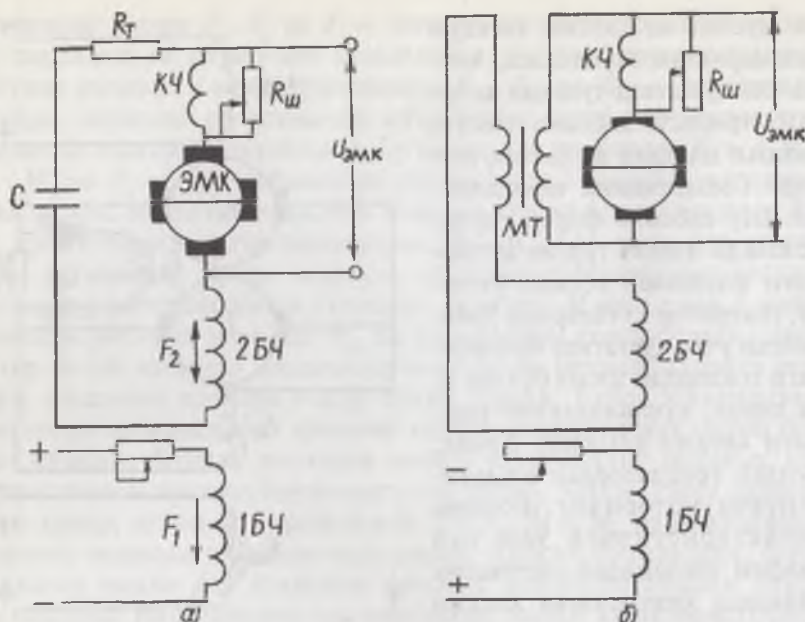
токлари йўналишини тескарисига ўзгартирилса, у ҳолда $F_\Sigma = F_m + F_k - F_n$ бўлиб, моторнинг механик характеристикаси кескин бурилиш ўрнига юқори қаттиқликка эга бўлади ва, демак, берилган турғун частота қиймати ўзгартирилмай сақланади.

17.12-рasmда кечиктирилган тескари бошқариш занжирли $\Gamma - M$ системаси кўрсатилган. Учта чулғамли генераторнинг вентиль ва ўзгармас ток манбаи орқали уланган кетма-кет қўзғатишли чулғами кечиктирилган тескари боғланиш занжири деб аталади. Кечиктирилган тескари бошқариш занжиридан юкламага пропорционал бўлган токнинг ўтиши учун $I_a R_{ш} > U_c$ бўлиши лозим, бунда U_c — кечиктирилган тескари бошқариш занжиридаги ток манбаининг ўзгармас қийматли кучланиши. Буни солиштирилувчи кучланиш деб ҳам аталади. Агар экскаватор типли механик характеристика олиниши керак бўлиб, унинг кескин бурилишидаги юклама токи $I_a = I_c = 2I_n$ бўлса, у ҳолда $2I_n R_{ш} > U_c$ бўлиши лозим. Демак, юклама токнинг қиймати чегаравий қиймат $2I_n$ га тенглашгандан сўнг кечиктирилган тескари бошқариш 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 механик характеристика олинади. Демак, берилган юклама қийматида кескин бурилиши аниқ



17.12-рasm. Кечиктирилган тескари алоқа занжирли генератор-мотор системасининг схемаси.



17.13-расм. Кўндаланг магнит майдонли электр машина кучайтиргичнинг мўтадиллаштириш схемалари:

а — конденсаторли; б — мўтадиллаштирувчи трансформаторли схемалар.

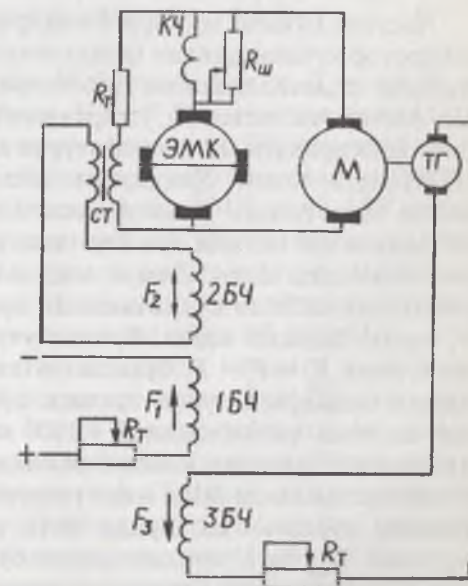
бўлган экскаватор типли характеристикани олиш учун кечиктирилган тескари бошқариш занжири бўлиши шарт. Мотор частотасини ўзгартирмай сақлаш уни кенг диапазонда ростлаш ҳамда экскаватор типли механик характеристикага эга бўлиш учун, кўпинча, электромашина кучайтиргичли $\Gamma - M$ системаларидан фойдаланилади. Бундай системаларда кўндаланг магнит майдонли электр машина кучайтиргич ЭМК нинг қўзғатиш чулғамларидан бири бошқариш, иккинчиси мўтадиллаштириш, қолганлари эса турли параметрлар бўйича тескари бошқариш вазифаларини бажаради. ЭМК нинг кучайтириш коэффициенти $K_p = \frac{P_{\text{чик}}}{P_{\text{кир}}} = 10^4$ 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 17.13-расм, а даги схемага биноан улашиб, мўтадиллаштириш вазифасини бажаради. Бунда ЭМК чиқиш кучланиши қиймати аста-секин ўзгарса ёки ўзгармаса, у ҳолда мўтадиллаштирувчи чулғам 2БЧ занжирдан ток ўтмайди, кескин ўзгарганида эса, масалан, кўпайганида, конденсатор зарядлана бошлайди ва, демак, ундан зарядлаш токи ўтиб камайганида разрядлаш токи ўтади. Де-

мак, мўтадиллаштирувчи чулғам занжири эластик тескари бошқариш вазифасини бажариб 2БЧ дан ўтган зарядлаш токининг магнит юритувчи кучи $U_{\text{ЭМК}}$ қийматини пасайтириш, разрядлаш токига тааллуқли кучи эса $U_{\text{ЭМК}}$ ни кўпайтириш керак. Натижада $U_{\text{ЭМК}}$ қиймати тезда мўтадиллашади. Ўрта ва катта қувватли ЭМК ларнинг мўтадиллаштирувчи чулғами махсус трансформатор орқали уланади (17.13-расм, б). Агар ўткинчи режим пайтида $U_{\text{ЭМК}}$ қиймати кескин ўзгарса, мўтадиллаштирувчи трансформатор МТ нинг иккиламчи чулғамида э. ю. к. ҳосил бўлади ва натижада 2БЧ дан ток ўтиб, ундан ҳосил бўлган магнит юритувчи куч таъсирида $U_{\text{ЭМК}}$ қиймати тезда мўтадиллашади. Бунда МТ нинг трансформация коэффициенти ўзгартириб, 2БЧ га хавфли бўлмаган кучланишни бериш ҳамда унга системанинг турли қисмларидан олинган бир неча сигналларни киритиш имкони олинади.

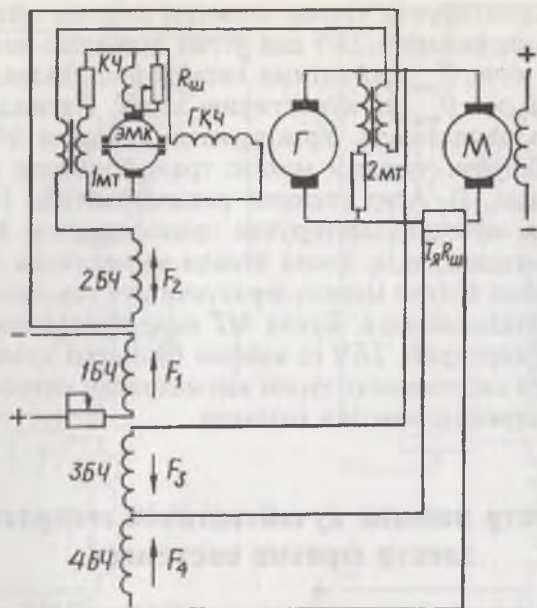
17.12. Электр машина кучайтиргичли генератор мотор электр юритма системаси

Мамлакатимизда кўндаланг магнит майдонли ЭМК ларнинг қуввати бир неча ватт дан 25 кВт гача бўлган турларини ишлаб чиқариш ўзлаштирилган. Уларни кичик ва ўртача қувватли моторлар учун бевосита генератор сифатида қўллаш мумкин.

17.14-расмда ЭМК ли $\Gamma - M$ системаси кўрсатилган. Бу система билан мотор механик характеристикасининг қаттиқлигини ва, демак, унинг берилган частотасини ўзгартирмай сақлаш, ҳамда уни кенг диапазонда ростлаш имкони олинади. Бу система билан мотор механик 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 бошқаришли сигнал киритилади.



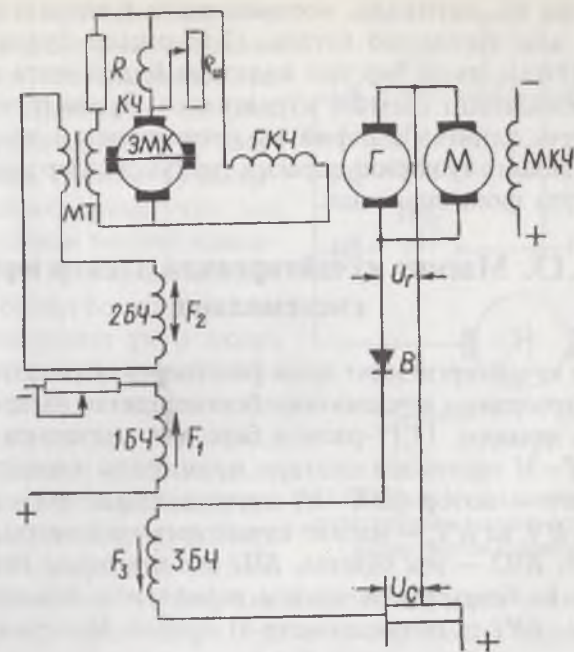
17.14-расм. Электр машина кучайтиргичли генератор-мотор системасининг схемаси.



71.15-расм. Э. М. К. ли қўзғатгичга эга генератор-мотор системасининг схемаси.

Частота бўйича тескари бошқариш сигнаolini олиш учун тахо-генератор кучланишидан фойдаланилади. Бунда тескари бошқариш чулғами таъминланадиган тахогенератордаги э. ю. к. $E_{\text{тр}} = k_E n \Phi$ бўлади. Мотор частотасини ўзгартирмай сақлаш учун тескари бошқариш занжиридаги магнит юритувчи куч F_3 га тескари, яъни $F_{\Sigma} = F_1 - F_3$ бўлиши лозим. Ҳақиқатан, юкламанинг ортиб бориши билан мотор частотасини ўзгартирмаслик учун унинг якorigа берилувчи кучланиш қийматини ҳам берилган қонунга биноан ортиб боришини таъминлаш керак. Демак, юклама кўпайиши билан частота ва F_3 камайиши сабабли кучланишнинг ортиб боришини таъминлаш учун F_{Σ} ортиб бориши керак. Бунинг учун эса тескари бошқариш манфий, яъни $F_{\Sigma} = F_1 - F_3$ бўлиши лозим. Частота бўйича тескари бошқариш занжирига турли типдаги кучайтиргичларни киритиб, бундай система частотасини $D = 1000$ ва ундан ҳам юқorigача бўлган диапазонда ростлаш имкони олинади. 17.15-расмда катта қувватли Г—М системасида ЭМК нинг генератор қўзғатгичи сифатида ишлатилиши кўрсатилган. Бунда ЭМК даги мўтадиллаштирувчи 2БЧ чулғамга $U_{\text{эмк}}$ ва U_r кучланишлари бўйича 1MT ва 2MT орқали эластик бўлган тескари бошқариш сигналлари киритилади.

Шу сабабли система мўтадиллиги (турғунлиги) юқори, яъни унинг ўткинчи жараёнлардан сўнг ўзининг дастлабки кўрсаткичла-



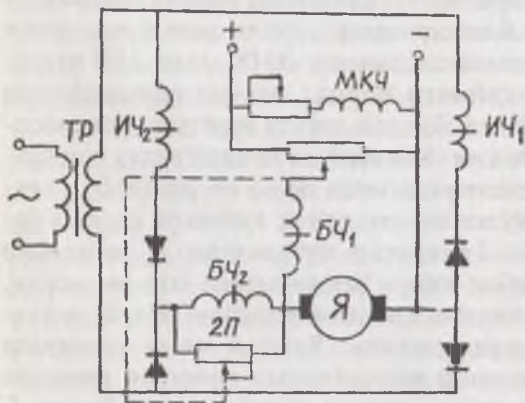
17.16-расм. Жадаллик билан ишга туширилувчи генератор-мотор системасининг схемаси.

рига эришиши тез ва аниқ бўлади. Мотордаги э. ю. к. $E_m = k_E n_m \Phi_m = U_r - I R$ бўлиб, унинг частотаси $U_r - I R$ га пропорционаллиги сабабли 3БЧ ва 4БЧ ларга киритилган кучланиш бўйича манфий ва ток бўйича мусбат тескари бошқаришлар 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 электр юритма системасини жадал ишга тушириш мумкин. Ҳақиқатан, бундай катта ток таъсирида ЭМК нинг магнит системаси тезда тўйиниб унинг $U_{\text{эмк}}$ кучланиши ва генераторнинг қўзғатиш 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, электр юритма жадал ишга туширилади. Бундай ишга тушириш жараёнида частотанинг ўзгариши ҳам мақсадга мувофиқ равишда бир текис ва силлиқ ўтади. Аммо частота ортиб бориши билан F_3 кўпайиб $F_{\Sigma} = F_1 - F_3 + F_4$ эса камайиб боради. ЭМК нинг тўйинган ҳолатида F_{Σ} нинг камайиши сезиларли бўлмайди, тўйинмаган ҳолатга ўтиб ишлаши билан эса F_3 нинг кўпайиши F_{Σ} ни кескин камайити-

риб юборади ва, натижада, моторни ишга тушириш жараёнининг жадаллиги ҳам пастлашиб кетади. 17.16-расмда бундай камчиликдан холи бўлган, яъни бир хил жадаллик билан ишга туширилиувчи Г—М системасининг схемаси кўрсатилган. Бунда генератор кучланиши бўйича олинган манфий ва кечиктирилган тескари бошқариш асосида ишга тушириш жараёни тугагунга қадар жадаллик принципдан тўла фойдаланилади.

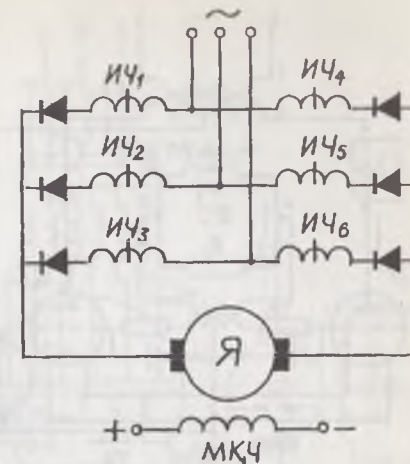
17.13. Магнит кучайтиргичли электр юритма системалари

Магнит кучайтиргичнинг ярим ўтказгичли тўғрилагич билан биргаликда тўғриланган кучланишни бошқарадиган ўзгартгич сифатида қўллаш мумкин. 17.17-расмда берилган частотани ўзгартирмай сақловчи Г—М системаси сингари принципда ишлайдиган магнит кучайтиргич — мотор (МК—М) системасининг схемаси кўрсатилган. Бунда ИЧ₁ ва ИЧ₂ — магнит кучайтиргич иш чулғамининг қисмлари бўлиб, БЧ₂ — ток бўйича, БЧ₁ эса кучланиш бўйича тескари бошқариш ва бошқарувчи чулғам вазифасини бажарувчи чулғамлар. Демак, БЧ₁ 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 бошқаришни тахогенератор орқали берилгудай бўлса, у ҳолда бундай система билан тезликни $D = 100$ ва ундан ортиқ диапазонда ҳам ростлаш имкони олинади. 17.18-расмда катта қувватли моторларни магнит кучайтиргич — мотор система-



17.17-расм. Берилган частотани ўзгартирмай сақловчи магнит кучайтиргич — мотор системасининг схемаси.

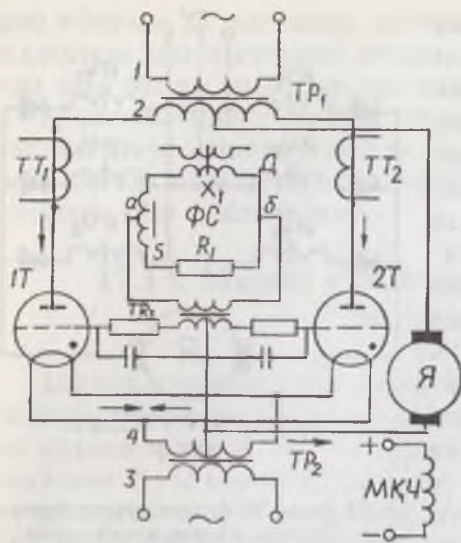
учун МК нинг кетма-кет уланган бошқариш чулғамларига (схемада кўрсатилмаган) бериладиган ток қийматини ўзгартириш кифоя. Частотани кўпайтириш учун бошқариш чулғами токини кўпайтириш, уни камайтириш учун эса бошқариш чулғами токини камайтириш лозим. Моторни магнит кучайтиргич билан бошқариш схемаларида реверслаш учун якорь занжирига реверсив контакторларнинг контактлари киритилади. Агар контакторлар ёрдамида реверслаш тавсия қилинмаса, у ҳолда моторни реверслаш учун икки комплект магнит кучайтиргични схемага киритиш лозим. Магнит кучайтиргич — мотор системасидан иборат электр юритма Г—М га нисбатан анча юқори техник ва иқтисодий кўрсаткичларга эга бўлади.



17.18.-расм. Уч фазали кўприк схемасида уланган магнит кучайтиргич — мотор системасининг схемаси.

17.14. Ион ва ярим ўтказгичли электр юритма системалари

Тиратрон ёки бошқарилувчи симобли тўғрилагичдан таъминланувчи мотор системаси ион электр юритмаси дейилади. 17.19-расмда электрон ва ион асбоблари билан бошқариладиган ва элир деб аталувчи электр юритма системасининг бош занжир схемаси кўрсатилган. Бунда параллел кўзғатишли 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 йўналишда мотордан ўтиб, яна тиратронга қайтади ва шу билан ток занжири бекилади. Анод трансформатори Т_{р1} чулғамига 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.

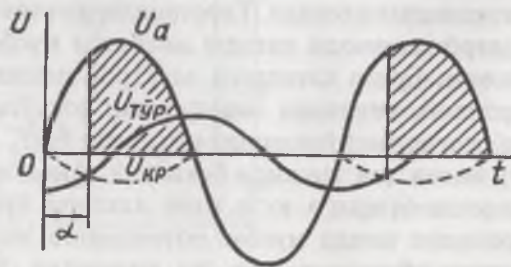


17.19-расм. Элir системаси бош занжирнинг схемаси.

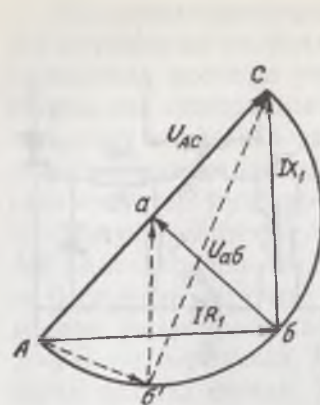
$U_{кр}$ нинг ўзгариши кўрсатилган. Агар тўрдаги потенциал қиймати $U_{тўр} > U_{кр}$ бўлса, у ҳолда тиратрон ёна олмайди ва аксинча.

17.20-расмда тиратрондан ўтган тўғрилланган ток ёки кучланиш қиймати аноддаги кучланишнинг штрихланган қисми билан кўрсатилган. Демак, тўрда бериладиган потенциал фазасини аноддагига нисбатан турли α бурчакларга суриш билан тиратрондан ўтган ток ёки кучланиш ўртача қийматини ростлаш имкони олинади.

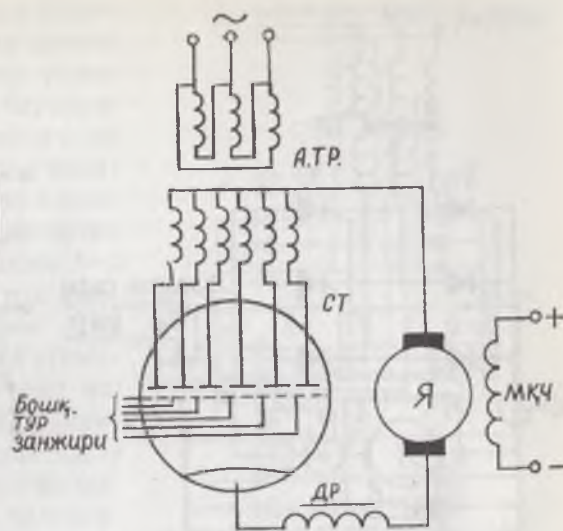
Тўрда бериладиган потенциаллар фазасини ўзгартириш учун турли типдаги фаза силжитгичлар қўлланилади. Фаза силжитгич сифатида илгарилари индукцион машинадан иборат фаза ростлагичдан фойдаланилган бўлса, ҳозирги пайтда, кўпинча, статик фаза силжитгичлардан фойдаланилади. 17.19-расмда индуктив қаршилиги



17.20-расм. Тиратрон тўрига бериладиган потенциалнинг берилган фазасида ундан ўтувчи тўғрилланган токнинг қиймати.



17.21-расм. Индуктив қаршилиги ўзгартириладиган кўприк схемалари фаза силжитгичнинг вектор диаграммаси.

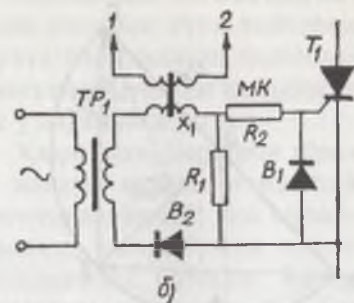
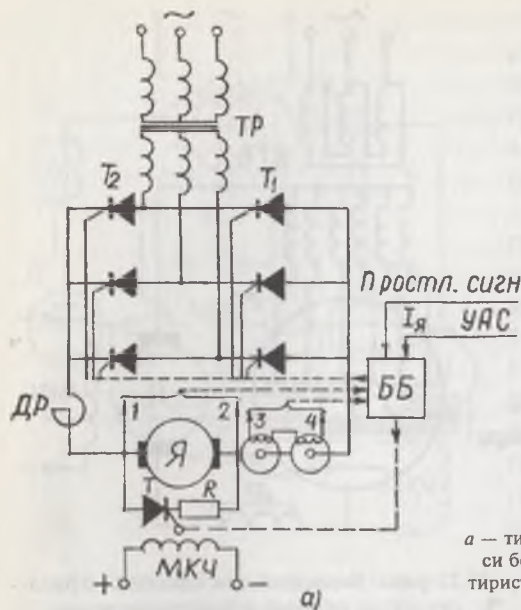


17.22-расм. Бошқарилувчи симобли тўғрилагич-мотор системаси бош занжирининг схемаси.

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 ростланувчи индуктив қаршилиқ X_1 сифатида дроссель D нинг иш чулғами олинади. Фаза силжитгичнинг ab диагонаliga тиратронлар тўрини ток билан таъминловчи трансформатори TP_3 нинг бирламчи чулғами уланган бўлиб, унга U_{ab} кучланиши бериледи. 17.21 расмда фаза силжитгичнинг вектор диаграммаси кўрсатилган. Бунда U_{ac} — трансформатор чулғамидаги кучланиш вектори бўлиб, унинг қиймати $U_{ac} = I_1 X_1 + I_1 R_1 = \text{const}$ бўлгани учун X_1 қийматининг ўзгариши билан U_{ab} кучланиши векторининг b нуқтаси U_{ab} радиусли ярим доира бўйича силжийди.

Демак, a ва b нуқталардан олинadиган кучланишнинг қиймати ўзгармас, фазаси эса U_{ac} га нисбатан мос ёки 180° гача фарқ қиладди. Шунга биноан тиратрон тўрига берилувчи кучланишнинг фазаси U_{ac} га ва, демак, тиратрон аноддаги кучланишнинг фазасига нисбатан ҳам 180° гача фарқ қилиши мумкин. Элir системасининг техник-иқтисодий кўрсаткичлари Г—М никига нисбатан паст бўлгани учун ундан деярли фойдаланилмайди. Амалда бошқарилувчи симобли тўғрилагич ва мотордан иборат бўлган БСТ—М деб аталувчи



17.23-расм.

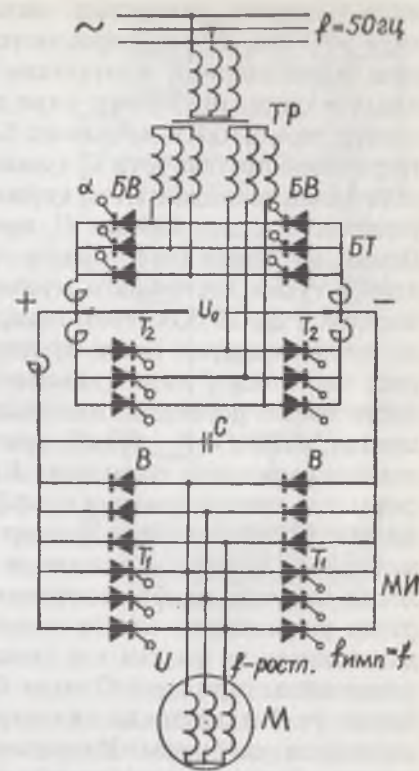
а — тиристор — ўзгармас ток мотори система-
си бош занжирининг схемаси; б — ҳар бир
тиристорнинг очилиш бурчагини бошқарувчи
занжирининг схемаси.

ион электр юритма системасидан кенг фойдаланилади. 17.22-расм-
да БСТ—М системасининг бош занжир схемаси кўрсатилган. Бу
системада ҳам симобли тўғрилагич тўрига бериладиган кучланиш
фазасини анод кучланиши фазасига нисбатан ўзгартириш учун турли
типдаги фаза силжитгичлардан фойдаланилади.

17.23-расм, а да юқоридаги системаларга нисбатан анча юқори
техник-иқтисодий кўрсаткичларга эга бўлган тиристор-мотор сис-
темаси кўрсатилган. Бунда якори токи бўйича манфий ва кечикти-
рилган тескари бошқаришга биноан ишга тушириш токи берилган
қийматда сақланиб, бу билан жараённинг жадал ўтиши таъминла-
нади. Бундай тескари бошқариш учун магнит кучайтиргичнинг бош-
қариш чулғами ва стабилитрондан фойдаланилиб, улардан олинган
сигнал бошқариш блокига берилади. Мотор электродинamik усул
билан тормозланиб, бунинг учун электр тармоғидан тиристорлар-
нинг бекитилиши билан (контактсиз равишда) ажратилган унинг
якори занжири тормозлаш тиристори T билан R қаршилигига ула-
нади. Демак, тиристор-мотор Т—М системали электр юритмани
ишга тушириш, частотасини ростлаш ва тормозлаб тўхтатиш каби
жараёнларининг контактсиз аппаратлар билан бошқарилиши са-
бабли унинг техник ва иқтисодий кўрсаткичлари ҳам нисбатан юқори
бўлади. 17.23-расм, б да ҳар бир фазадаги тиристорнинг очилиш
бурчагини бошқарувчи фаза силжитгич схемаси кўрсатилган.

Маълумки тиристордан ўтади-
ган тўғриланган ток ёки кучланиш
қийматини ростлаш учун унинг
бошқариш электродида берилув-
чи мусбат потенциал фазаси α ни
унинг анодидаги кучланиш фаза-
сига нисбатан ўзгартириш керак.
Бунинг учун магнит кучайтиргич
 $МК$ нинг бошқариш чулғами 1—2
га берилувчи ўзгармас ток қий-
матини ўзгартириш кифоя. Агар
1—2 га ток берилмаса, $МК$ тўйин-
маган ҳолатда бўлади. Унинг иш
чулғамининг индуктив X_L қарши-
лиги R_L га нисбатан жуда катта
бўлиб, трансформатор чулғамида-
ги кучланиш асосан иш чулғами-
да ҳосил бўлган кучланиш тушу-
вига сарфланади. Бунда R_L 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 $МК$ тўйиниб иш чулғами-
нинг индуктив X_L қаршилиги R_L
га нисбатан кичик бўлиб қолади.
Бунда R_L дан олиниб тиристор-
нинг бошқариш электродида бе-
риладиган мусбат потенциал кат-
та қийматга эга бўлиб, тиристор очилади. Демак, $МК$ нинг бошқа-
риш чулғамидаги токни ўзгартириб унинг тўйиниш моментини
ўзгартириш ва, демак, тиристорнинг очилиш бурчагини, яъни ун-
дан ўтадиган ток қийматини ростлаш имкони олинади (17.23-расм,
б), бунда: $ТР_1$ — 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 занжирини унга хавфли бўлган
тескари, яъни манфий потенциалдан ҳимояловчи вентиль; R_2 —
бошқариш электродида берилувчи мусбат потенциал қийматини
чегараловчи қаршилик.

17.24-расмда тиристорли частота ўзгартгичли ва қисқа туташти-
рилган роторли асинхрон мотордан иборат электр юритма сис-
темасининг бош занжири кўрсатилган. Бу система билан моторни



17.24.-расм. Тиристорли частота
ўзгартгич-қисқа туташтирилган
роторли асинхрон мотор системаси
бош занжирининг схемаси.

ишга тушириш, реверслаш, айланишни частотани ўзгартириш усулида ростлаш ва рекуперация усулида уни тормозлаб секинлаштириш жараёнларини контактсиз аппаратлар воситасида бошқариш имкони олинади. Бунинг учун даставвал частотаси 50 герц бўлган электр тармоғидаги кучланиш бошқарилувчи тўғрилагич *БТ* билан тўғриланиб ростланувчи U_0 кучланишга айлантирилади. Сўнгра дросель билан текисланган ва қиймати ростланиш имконига эга бўлган ўзгармас ток кучланиши U_0 мустақил инвертор *МИ* га берилади. Демак, мустақил инвертордаги тиристорларни бошқариш электродларига турли частотадаги мусбат импульсларни бериб мотор учун частотаси M . 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 $f_{\text{мин}}$ билан аниқланади, яъни $f = f_{\text{имп}}$ бўлиб, кучланиш қийматини ўзгартириш учун эса бошқарилувчи тўғрилагич *БТ* ни очилиш бурчаклари ёки трансформатор трансформация коэффициентини ўзгартириш керак. Схепадаги *C* конденсатори филтр 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 комплектдаги тиристор T_1 ларни очилиш фаза кетма-кетлигини ўзгартириб, моторни реверслаш имкони ҳам олинади.

17.15. Тақлидчи электр юритма системалари

Кичик қувватли ўлчаш органи билан берилган механик ҳаракатни тақлид этиб, уни берилган аниқликда такрорловчи катта қувватли юритма тақлидчи электр юритма деб аталади.

Демак, тақлидчи электр юритма, асосан, буйруқ берувчи датчик ва уни қабул қилиб, такрорловчи-приёмник элементларидан иборат бўлади. Ҳозирги пайтда, бундай электр 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 электр юритмаларни ўз-ўзидан ва ташқи тескари боғланишлар билан синхронланувчи юритмаларга бўлиш мумкин. Ўз-ўзидан синхронланувчи тақлидчи электр юритма билан механик боғланишга эга бўлмаган бир неча валларни синхрон равишда айлантириш ёки

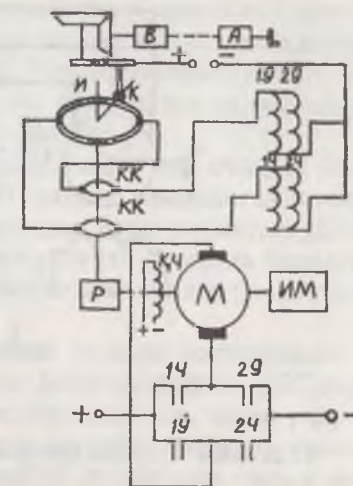
уларни маълум бурчакларга буриш имкони бўлади. Бундай система турли потенциометр ва сельсинлардан иборат бўлиб, уларнинг иш принциплари юқорида кўрсатилган.

Ташқи тескари боғланиш билан синхронланувчи тақлидчи системалар узлукли ва узлуксиз (синхрон) юритмаларга бўлинади.

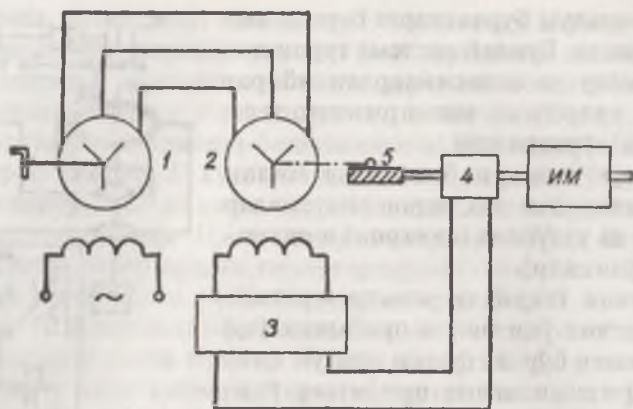
Узлукли тақлидчи электр юритмаларда датчик ўқи билан приёмник ўқи оралиғидаги бурчак фарқи маълум қийматга эришгандагина приёмник ўқининг айланишига сигнал берилади. 17.25-расмда контакт системали тақлидчи электр юритма схемаси кўрсатилган. Бунда *A* — датчик; *B* — приёмник; *K* — контакт системали тақлидчи мослама; 1Ў, 2Ў ва 1Ч, 2Ч — кучайтиргич сифатида қўлланилган реверсив контакторлар; *P* — рудуктор.

Контактли тақлидчи мослама изоляция оралиғи *И* билан ажратилган икки бўлак ярим ҳалқалардан иборат бўлиб, контакт *K* нинг изоляция оралиғидаги, яъни ўзининг нол 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 1Ў, 2Ў лар ва, демак, мотор ҳам электр тармоғига уланиб, мотор билан редуктор ўнг томонга айлана бошлайди. Редуктор айланиши билан контактли система *K* ҳам дастлабки ҳолатига қайтарилди бошлайди. Контакт *K* дастлабки ҳолатга қайтарилиши 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, ўткинчи 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 узлуклилигига нисбатан, анча мураккаб бўлса ҳам, аммо уларда буйруқ аниқроқ ва турли синхрон частоталар билан такрорланади.

17.26-расмда узлуксиз, яъни синхрон тақлидчи системанинг принципаал схемаси кўрсатилган. Бундай электр юритма, асосан датчик 1, приёмник 2 (тақлидчи орган), кучайтиргич 3, иш меха-



17.25.-расм. Контакт системали (узлукли) тақлидчи электр юритма системасининг принципаал схемаси.



17.26.-расм. Узлуксиз (синхрон) тақлидчи электр юритма системасининг принципаал схемаси.

низми *ИМ* ва приёмник билан механик равишда боғланган мотор 4 дан иборат бўлади. Узлуксиз система датчиги ва приёмниги сифатида трансформатор режимида ишловчи сельсинлардан фойдаланиб, унинг кучайтиргичи сифатида эса электр, магнит, механик, пневматик ва гидравлик аппаратлардан фойдаланилади.

Бундай система датчиги роторини берилган бурчакка буриш жараёнида 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. Уртача қувватли тақлидчи электр юритмаларда ўзгармас ток моторлари қўлланилиб, улар ярим ўтказгич ёки тиратрон, катта қувватларда эса симоб вентиллари ёки Г—М системалари билан бошқарилади. Кичик қувватли тақлидчи электр юритмаларида, кўпинча, икки фазали қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторлари қўлланилади.

17.16. Дастур билан бошқариладиган электр юритмалар

Бунда ростланувчи параметрнинг ўзгариш қонуни аниқ бўлиб, у дастур тариқасида берилган бўлади. Саноат буюмларининг кўпчилиги кам сериялаб ишлаб чиқарилади. Бундай электр юритмаларда буюмни ишлаб чиқаришдаги бир режимдан иккинчисига ўтиш учун унга янги дастурни киргизиш кифоя. Шу сабабли ҳозирги замон

электр аппаратлари ва ҳисоблаш техникаси имкониятларига асосланиб янги принципдаги, яъни рақамлар билан бошқариладиган дастурли системалар яратилмоқда. Бундай системаларнинг тузилиши анча мураккаб бўлса, ҳам, аммо уларни тез ва осонгина янги дастурга ўтказиб ишлатиш имкони бўлади.

Дастурли бошқариш система (*ДБС*) лари ҳам очиқ ва берк занжирли бўлади. Очиқ занжирли *ДБС* лардан олинадиган натижа, берилган дастур билан солиштирилмайди. Берк занжирли *ДБС* ларда эса олинаётган натижа узлуксиз ёки узлукли равишда берилган дастур билан солиштирилиб, содир бўлган хатоликлар ўз вақтида тузатилиб турилади.

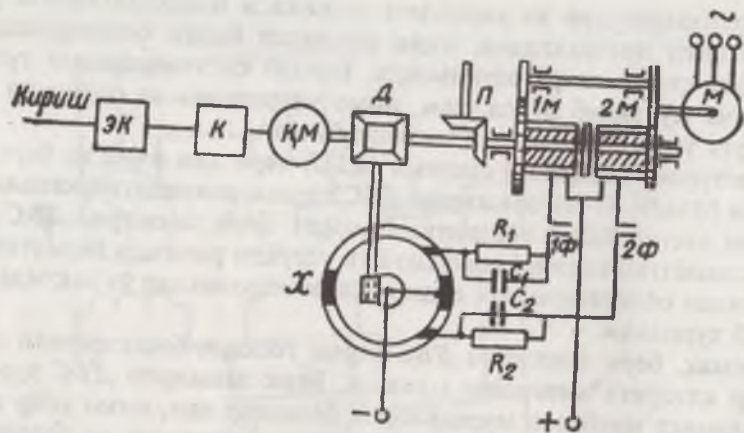
Демак, берк занжирли *ДБС* ларни тескари бошқаришли системалар қаторига киргизиш мумкин. Берк занжирли *ДБС* лар очиқ занжирлига нисбатан мураккаброқ бўлсалар ҳам, аммо улар юқори аниқликка эга. Қадамли моторларнинг яратилиши ва ўзлаштирилиши натижасида очиқ занжирли *ДБС* ларни ҳам юқори аниқлик билан ишлатиш имкони яратилади.

Узлуксиз *ДБС* ларда дастур узлуксиз равишда ўзгариб турадиган миқдорлар орқали ёзиб олинади. Бунда, кўпинча, амплитуда ёки фаза орқали модуляция қилинган системалар қўлланилади. Демак, юқоридаги биринчи системада дастурлаштириладиган ҳаракат амплитудаси узлуксиз ўзгариб турадиган миқдор билан ифодаланса, иккинчисида эса фазаси ўзгариб турадиган (синусоидал) миқдор билан ифодаланади. Узлуксиз *ДБС* ларда дастур магнит лентага ёзиб олинган бўлади. *ДБС* 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 (кескин) ёки ишлов бериладиган буюм ўрнатилган 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 (поғонали, узлукли) характерга эга бўлиб, уларда дастурни тешикли қоғоз ленталари ёки картон варақлари билан ифодалаш қулай бўлади. Контурли *ДБС* системалари эса, кўпинча, фрезер ва токарлик станокларида қўлланилиб, унда кескич ёки буюмнинг ҳаракат йўналиши юқори аниқликда ўтиши керак.

ДБС ларнинг асосий элементлари

17.27-расмда қадамли мотор деб аталувчи махсус моторча билан бошқарилувчи электромагнит муфтали дискрет *ДБС* кўрсатилган. Бунда электрон коммутатори *ЭК* орқали берилган буйруқ сигнал-

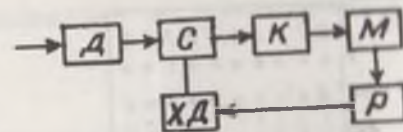


17.27-расм. Қадамли мотор билан бошқарилувчи электромагнитвий муфтаси ПБС нинг схемаси.

лари кучайтиргич K билан кучайтирилиб, қадамли мотор $ҚМ$ га берилади. Қадамли мотор дифференциал узатма $Д$ орқали контактли ҳалқа $Х$ сургичини ҳаракатга келтириб, биринчи электромагнит 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 сургич ҳалқанинг изоляцияланган ораллиғида тўхтади. Электромагнит муфта эса электр тармоғидан ажратилади. Биринчи муфта тармоққа $1Ф$ контакти билан уланганида, иккинчиси ундан $2Ф$ билан ажралиб туради. Бу системада $1М$ ва $2М$ лардан айлантирувчи моментни кучайтиргичлари сифатида фойдаланилиб, контактли ҳалқа $Х$ ўрнига сельсинлардан фойдаланиш ҳам мумкин. 17.27-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, ротор-

нинг айланиш тезлиги статор чулғамларининг уланиш частотаси билан аниқланса, бу чулғамларнинг уланиш кетма-кетлиги эса унинг айланиш йўналишини аниқлайди.

17.28-расмда, ДБС ларнинг содда-лаштирилган структура схемаси кўрсатилган. Структура схемаси



17.28-расм. ПБС нинг соддалаштирилган структура схемаси.

қуйидаги элементлардан, яъни дастурни ишга туширувчи декодлаштирувчи $С$, кучайтирувчи $К$, иш мотори $М$, редуктор $Р$ ва ҳолат датчиги $ХД$ лардан иборат бўлади. Дастурни ишга туширувчи элемент сифатида, кўпинча темир билан қопланган пластмасса лентаси (магнит лента), перфолента, перфокарта, магнит барабан ва киноленталардан фойдаланилади.

Бунда масалан, магнит 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 ёзиш каллаги дастур асосида олинган модуляцияланган синусоидал кучланиш берилади. Магнит лентага ёзилган дастурни шу оннинг ўзида ижро этиш ёки уни бир неча марта ўчириб, сўнгра қайта ёзиш имконлари бўлади. Перфолента ёки перфокарта асосида тузилган дастур эса берилган тартибда жойлашган ва берилган сондаги тешиklar билан ёзилади.

Рақамлар билан бошқарилувчи системада бирор миқдорни дастурга 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 $1263 = 1 \cdot 2^{10} + 0 \cdot 2^9 + 0 \cdot 2^8 + 1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$ бўлади. Демак, 1263 сонининг иккилик системасидаги коди 1001101111 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 дастур лентасида тешик, магнитланиш изи ёки нур изи билан ифодалаш имкони бўлса, ноль (0) рақамини эса тешиксиз, магнит ёки нур излари тушмаган ораллиқ билан ифодалаш имкони бўлади. Демак, электрон ва ион асбоблари, ярим ўтказгичли ва реле-контактор аппаратларидан ток ўтаётган ҳолатни лентада тешик ёки магнит изи бор бўлган ораллиқ, яъни 1 деб қабул қилинса, ток ўтмаётган ҳолатни эса лентада тешик ва

а)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
10	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
100	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
1000	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

б)

2 ¹¹	2 ¹⁰	2 ⁹	2 ⁸	2 ⁷	2 ⁶
•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•
2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰

в)

••••	••••	••••	••••
••••	••••	••••	••••
••••	••••	••••	••••
••••	••••	••••	••••

17.29-расм. 1263-сонининг кодланиши.

да олинган санаш ва хотира элементлари содда, дастур лентаси эса ихчам тузилишда бўлади.

Ўнлик системада аниқланган сонларни иккиликка ўтказиш учун кўп сонли математик ҳисобларни бажариш керак. Шунинг учун дастур билан бошқарилувчи системаларда иккилик санаш системи билан бир қаторда иккилик-ўнлик деб аталувчи системадан ҳам кенг фойдаланилади. Бу системада ўнлик системасининг соддалиги (ўқишда) 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 сони иккилик-ўнлик системасида 001001000, 1100111, 00111001 бўлади.

Бу системада декодлаш элементи ҳам анча соддалашади, кон-такторларнинг уланиш 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 кўрса-

излар йўқ бўлган оралиқ, яъни 0 деб қабул қилинади. 17.29-расмда 1263 сонининг а — ўнлик, б — иккилик ва в — иккилик-ўнлик санаш системаларида кодланиши кўрсатилган. Бунда рақамларни қуйидаги белгилар билан, яъни • — тешик бор ва ○ — тешик йўқ деб ифодаланган. Ўнлик системада кодланган дастурни ўқиш жуда осон бўлса ҳам, аммо бу системада олинган дастурни киритиш ва санаш элементлари анча мураккаб ва ноқулай бўлади.

Иккилик системасида кодланган дастурни ўқиш қийинроқ бўлса ҳам, аммо бу система-

тилган бўлса, 2-жадвалда икки сонининг ҳар хил даражаларининг 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

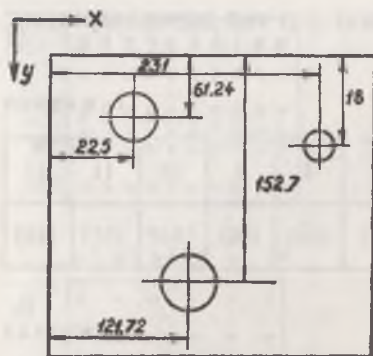
Иккинчи даража	2 ⁰	2 ¹	2 ²	2 ³	2 ⁴	2 ⁵	2 ⁶	2 ⁷	2 ⁸	2 ⁹	2 ¹⁰	2 ¹¹	2 ¹²
Натижа	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024	2048	4096

17.30-расмда бирор буюмни пармалаш учун берилган чизма кўрсатилган. Бу чизмага биноан дастурга киритилиши керак бўлган сонлар қуйидагича аниқланади. Технолог томонидан Х ва У ўқларга 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 дастурга киритилади.

3-жадвал

Кадр	Х	Реверс	У	Пармалаш
I	0 0 2 2 5 0		0 6 1 2 4	Ø20
II	1 2 1 7 2		1 5 2 7 0	Ø25
III	2 3 1 0 0		0 1 8 0 0	Ø15

Агар контур асосида тузилган бошқариш системасига дастур 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 дастур тузилади. Бундай масалаларни ҳисоблаш машинасидан фойдаланмасдан ечилса жуда кўп вақт талаб қилинади. Ҳисоблаш машиналари эса бир секундда 10000 ва ундан ҳам кўп ҳисоб амалларини бажариши мумкин. Шундай қилиб, киритилган бошқариш сигналлари декодлаш элементи Д га узатилади. Декодлаш элементига дастур асосида берилган сигналларни авто-



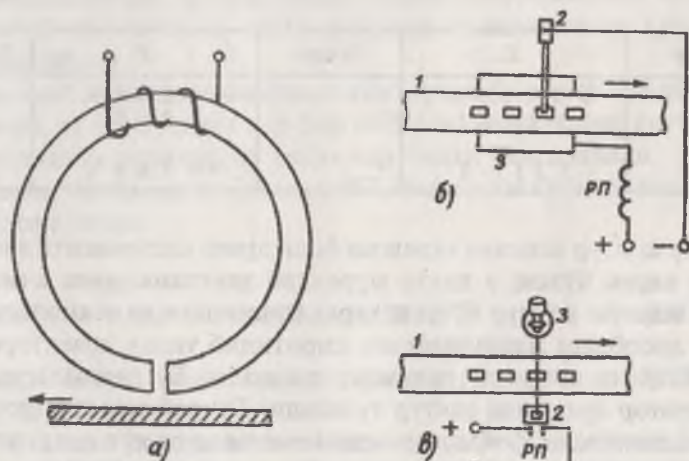
17.30-расм. Буюмни пармалаш учун чизма.

матик бошқариш учун қулай бўлган электр сигналларига айлантирилади. Агар дастур магнит лентага ёзилган бўлса, у ҳолда декодлаш элементи фақат санаш механизмидан иборат бўлади.

Дастурдаги кодни ўқиш (расшифровка) учун санаш механизмидан фойдаланилади. 17.36-расм, а да магнит лентага ёзилган дастурни ўқиб берувчи санаш механизми кўрсатилган. Бунда санаш механизми фақат магнит каллагидан иборат бўлиб, унинг яқинидан магнит лента ўтказилганда очиқ занжирли

ли пўлат ўзагига ўрнатилган ғалтак чулғаида э. ю. к., яъни электр сигнали ҳосил бўлади.

Дастур перфолента ёки перфокартага ёзилган бўлса, уни расшифровка учун электромеханик ёки фотоэлектр системали санаш механизми қўлланилади. 17.31-расм, б да электромеханик санаш механизми кўрсатилган. Бунда лента 1 ни маълум тезликда тортилиб унинг тешиги чўтка 2 тагига келганда, чўтка билан пластинка 3 орасида контакт ҳосил бўлади. Натижада бошқариш системасининг релеси РП дан ток ўта бошлайди. 17.31-расм, в да фото-

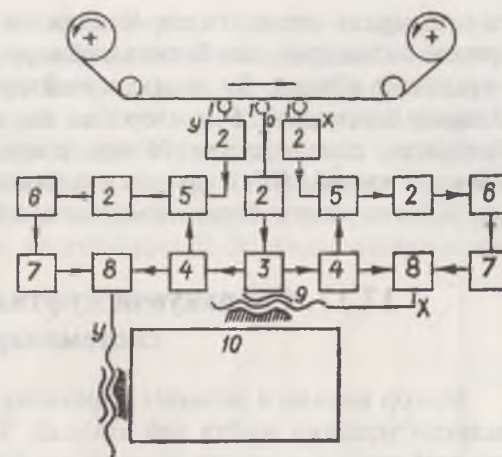


17.31-расм.

а — магнит каллакли санаш механизми; б — электромеханик санаш механизми; в — фотоэлектрик санаш механизмининг принципиал схемалари.

электр санаш механизми кўрсатилган. Бунда лентадаги тешикдан нурни ўтиши билан фотоқаршилик 2 нинг қиймати кескин камайиб РП реледан бошқарувчи сигнал токи ўтади. 17.31-расмдаги декодлаш элементида чиққан сигнал солиштириш элементига берилади. Солиштириш элементидан чиқадиган сигналнинг қиймати дастур 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 бошқаришли берк бошқариш занжирига эга бўлиб, унинг ишлашдаги аниқлиги асосан ҳолат датчиликларининг ишлаш аниқлигига боғлиқ бўлади. 17.32-расмда контурга биноан бошқарилувчи ПБС ли токарлик станогининг структура схемаси кўрсатилган.

Бунда магнит лентанинг тортув механизми билан берилган частотада ҳаракатланаётган пайтида ундаги сигналлар магнит каллаклари 1 орқали санаб борилади. Бунда каллаклардан бири асос сигнаolini 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. Расшифровкадан ва кучайтирилган асос сигнали кучайтиргич 2 орқали фаза бўлувчи 3 га берилади. Натижада асос сигнали уч фазали кучланиш сигнаliga 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 ўтиб, солиштириш элементига узатилади. Демак,

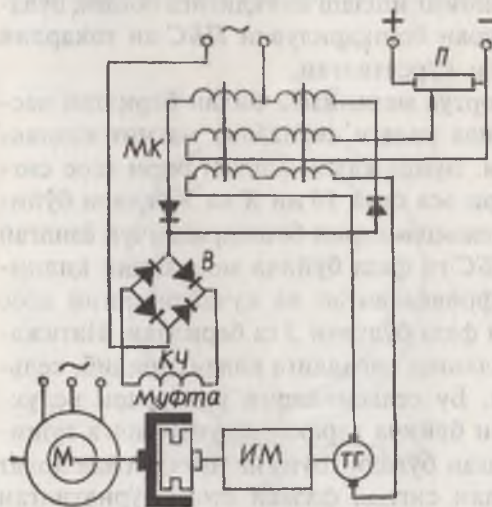


17.32-расм. Контурга биноан бошқарилувчи ПБС токарлик станогининг структура схемаси.

солиштириш элементида чиқадиган сигнал буюмнинг ҳақиқий ҳолати билан дастурда белгиланган ҳолатларининг айирмасига пропорционал бўлади. Бу сигнал кучайтирилиб 2 орқали ЭМК 6 билан 7 ларни бошқаради. Редуктор 8 ва ишга тушириш винтлари 9 билан боғланган станок столи 10 мотор орқали ҳаракатга келтирилади. Шундай қилиб, ПБС лар асосида буюмларга мураккаб траекториялар бўйича ишлов бериш имкони олинади.

17.17. Сирпанувчи муфтали электр юритма системалари

Мотор валидаги механик ҳаракатни иш механизми валига ўтказадиган мослама муфта деб аталади. Техниканинг тараққий қилиши муфтalar зиммасига икки вални ўзаро 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 механик 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 механик ва ҳатто



17.33-расм. Индукторли сирпаниш муфтасига эга тескари алоқали электр юритма системасининг схемаси.

ғатиш чулғамли электромагнитдан иборат. Одатда, якорь индуктордан 1 мм дан ҳам камроқ ҳаво бўшлиғи билан ажралиб, частотаси ростланмайдиган асинхрон ёки синхрон моторлари билан айлантирилади. Индуктор эса иш механизми валига маҳкамланган бўлади. 17.33-расмда индукторли сирпаниш муфтасига эга бўлган частота бўйича тескари боғланишли электр юритманинг принципал схемаси кўрсатилган. Бу система билан электр юритмани автоматик бошқариш ва унинг частотасини Д-50 диапозонида ростлаш мумкин.

Частота, Гц	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
10	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19
15	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38
20	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	0.30	0.33	0.36	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57
25	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36	0.40	0.44	0.48	0.52	0.56	0.60	0.64	0.68	0.72	0.76
30	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95
35	0.06	0.12	0.18	0.24	0.30	0.36	0.42	0.48	0.54	0.60	0.66	0.72	0.78	0.84	0.90	0.96	1.02	1.08	1.14
40	0.07	0.14	0.21	0.28	0.35	0.42	0.49	0.56	0.63	0.70	0.77	0.84	0.91	0.98	1.05	1.12	1.19	1.26	1.33
45	0.08	0.16	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56	0.64	0.72	0.80	0.88	0.96	1.04	1.12	1.20	1.28	1.36	1.44	1.52
50	0.09	0.18	0.27	0.36	0.45	0.54	0.63	0.72	0.81	0.90	0.99	1.08	1.17	1.26	1.35	1.44	1.53	1.62	1.71
55	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90
60	0.11	0.22	0.33	0.44	0.55	0.66	0.77	0.88	0.99	1.10	1.21	1.32	1.43	1.54	1.65	1.76	1.87	1.98	2.09
65	0.12	0.24	0.36	0.48	0.60	0.72	0.84	0.96	1.08	1.20	1.32	1.44	1.56	1.68	1.80	1.92	2.04	2.16	2.28
70	0.13	0.26	0.39	0.52	0.64	0.77	0.89	1.02	1.14	1.27	1.39	1.52	1.64	1.77	1.89	2.02	2.14	2.27	2.39
75	0.14	0.28	0.42	0.56	0.68	0.81	0.93	1.06	1.18	1.31	1.43	1.56	1.68	1.81	1.93	2.06	2.18	2.31	2.43
80	0.15	0.30	0.45	0.60	0.72	0.84	0.96	1.08	1.20	1.32	1.44	1.56	1.68	1.80	1.92	2.04	2.16	2.28	2.40
85	0.16	0.32	0.48	0.64	0.76	0.88	1.00	1.12	1.24	1.36	1.48	1.60	1.72	1.84	1.96	2.08	2.20	2.32	2.44
90	0.17	0.34	0.51	0.68	0.80	0.92	1.04	1.16	1.28	1.40	1.52	1.64	1.76	1.88	2.00	2.12	2.24	2.36	2.48
95	0.18	0.36	0.54	0.72	0.84	0.96	1.08	1.20	1.32	1.44	1.56	1.68	1.80	1.92	2.04	2.16	2.28	2.40	2.52
100	0.19	0.38	0.57	0.76	0.88	1.00	1.12	1.24	1.36	1.48	1.60	1.72	1.84	1.96	2.08	2.20	2.32	2.44	2.56

ИЛОВЛАР

1-ИЛОВА

Амалий ўлчов бирликлари системасидаги баъзи миқдорларни халқаро бирликлар системаси СИ га ўтказиш.

Амалий системада кучнинг ўлчов бирлиги 1 кГ бўлиб, СИ системада эса 1 ньютон (Н) дир.

$$1 \text{ кГ} = 9,81 \text{ Н ёки } 1 \text{ Н} = 0,102 \text{ кГ}.$$

Момент:

$$1 \text{ кГм} = 9,81 \text{ Нм ёки } 1 \text{ Нм} = 0,102 \text{ кГм}.$$

Кувват:

$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Нм/сек} = 1 \frac{\text{Ж}}{\text{сек}} = 0,102 \frac{\text{кГм}}{\text{сек}}.$$

$$1 \text{ кВт} = 1 \text{ кНм/сек} = 102 \text{ кГ/сек}.$$

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:

$$1 \text{ ат} = 1 \frac{\text{кГ}}{\text{см}^2} = 9,81 \cdot 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$$

$$1 \text{ Н/м}^2 = 0,102 \text{ кГ/м}^2,$$

$$1 \text{ Н/м}^2 = 1,02 \cdot 10^{-5} \text{ ат},$$

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кГ/см}^2 = 104 \text{ кГ/м}^2 = 10 \text{ м сув устуни} = 10^4 \text{ мм сув устуни бўлгани учун}$$

$$1 \text{ кГ/м}^2 = 1 \text{ мм сув устуни} = 9,81 \text{ Н/м}^2 \text{ бўлади.}$$

2-ИЛОВА

Асинхрон моторларда ҳосил бўлувчи қувват исрофи ўзгармас қисмининг ўртача қиймати ($\Delta P =$)

Магнит кутбларининг сони	Мотор қуввати P_n , кВт гача	Қувват исрофининг ΔP_n га нисбатан проценти			
		механик қувват исрофи $\Delta P_{\text{мех}}$		Пулат қисмлардаги қувват исрофи ΔP_n	
		А, А2	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 $\Delta P = \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_n$ бўлиб, қувват исрофининг ўзгарувчан, яъни юкланиш токига боғлиқ қисми $\Delta P_n = \Delta P_{\text{н}} - \Delta P =$; ΔP_n — қувват исрофининг номинал қиймати.

II серияли ўзгармас ток моторларининг техника кўрсаткичлари

Тури	P_n , кВт	R_{2n} даги	I_n , А	η , %	Магнит оқим $\Phi_{\text{мн}}$ даги айл/мин	Оғирлиги, кГ	ГД ² , кГм
		n , айл/мин					
П12	1,0	3000	11,8	77,0	3450	23	0,015
П21	1,5		18	76,0	3450	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	3000	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	75,0		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	2250	72	0,15
П42	4,5		51,0	80,0		88	0,18
П51	6		65,5	83,5		105	0,35
П52	8,0		85,5	85,0		127	0,4
П61	11		118	84,5		163	0,56
П62	14		147	86,5		195	0,65
П71	19	1000	207	83,5	2000	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		2,0	59,0		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		11,5	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	0,56
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		340	2,8
П82	25		268	85,0		405	3,2
П91	32	750	347	84,0	1800	560	5,9
П92	42		445	86,0	180	660	7,0
П21	0,2	750	2,78	65,5	1500	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	0,56
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	750	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

А2 типдаги қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторларнинг
асосий техника кўрсаткичлари

Тури	Валдаги номинал қувват, кВт	Номинал юкламада			I_n А	$I_{н\text{ит}}$	$M_{н\text{ит}}$	$M_{н\text{кс}}$	Оғир- лиги, кг
		айланиш частотаси айл/мин	η , %	$\cos\varphi$		I_n	M_n	M_n	
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	535	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
A2 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

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.
 Щукин А. И. Автоматическое управление электроприводами, Госэнергоиздат, 1959 г.
 Щукин А. И. Автоматическое управление электроприводами, Издательство "Энергия", 1964 г.
 М. Хомидхонов, С. Мажидов, Электрик юритма 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 ТИИМСХ, 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.

С. Маджидов “Электр машиналари ва электр юритма”, “Ўқитувчи” нашриёти, 1970 й., 1979 й.

С. Маджидов “Электр машиналари ва электр юритма терминларини изоҳли ўзбекча — русча лугати”, “Фан” нашриёти, 1971 й.

У. Иброҳимов, “Электр машиналар”, “Ўқитувчи” нашриёти, Т. 1972 й., 1988 ва 2002 й.

С. Маджидов, Электр машина ва электрик юритмалардан практикум, “Ўқитувчи” нашриёти, 1975 й.

С. Маджидов “Электротехника”, “Ўқитувчи” нашриёти, Т., 1985 й., 1994 й. ва 3-нашри 2000 й.

С. Маджидов “Электротехника атамаларининг русча-ўзбекча лугати”, Ўқитувчи нашриёти, 1992 ва 1998 йй.

С. Маджидов (А. А. Азимов ҳамкорлигида) “Автоматик бошқаришга оид атамаларнинг русча-ўзбекча лугати”, “Ўз фан ва техника” Давлат қўмитаси нашриёти, 1996 й.

С. Маджидов, А. Воҳидов, Р. Ғозиева, Й. Шойимов “Электромеханика ускуналари ва уларни автоматлаш асослари”, “Ўқитувчи” нашриёти, 2002 й.

МУНДАРИЖА

Кириш 3

БИРИНЧИ ҚИСМ
Электр машиналар ва трансформаторлар
I боб. Электр машиналар тўғрисида умумий тушунчалар

1.1. Электр машиналарининг вазифаси ва таснифи 7
1.2. Электр машиналари ва трансформаторларнинг ишлаш принципи 8
1.3. Электр машиналари ва трансформаторлар тараққиётининг қисқача тарихи ... 11

II боб. Ўзгармас ток машиналарининг ишлаш принципи
ва тузилиши

2.1. Ўзгармас ток генераторининг ишлаш принципи 13
2.2. Ўзгармас ток машинасининг асосий қисмлари 15

III боб. Якорь чулғамлари ва уларда ҳосил бўладиган
электр юритувчи куч

3.1. Умумий тушунчалар 18
3.2. Сиртмоқсимон оддий чулғам 20
3.3. Тўлқинсимон оддий чулғам 23
3.4. Сиртмоқсимон ва тўлқинсимон мураккаб чулғамлар 24
3.5. Аралаш схемали чулғамлар 25
3.6. Якорь чулғамининг электр юритувчи кучи 26

IV боб. Ўзгармас ток машинасининг магнит занжири,
якорь реакцияси ва коммутацияси

4.1. Магнит занжири ва уни ҳисоблаш 28
4.2. Якорь реакцияси 31
4.3. Ўзгармас ток машинасининг коммутацияси 32

V боб. Ўзгармас ток генераторлари

5.1. Умумий тушунчалар 36
5.2. Мустақил қўзғатишли ўзгармас ток генератори ва унинг
характеристикалари 40
5.3. Параллел қўзғатишли генератор ва унинг характеристикалари 43
5.4. Кетма-кет қўзғатишли генератор ва унинг характеристикалари 45
5.5. Аралаш қўзғатишли генератор ва унинг характеристикалари 46

5.6. Электр машина кучайтиргичлари	47
5.7. Автотрактор генераторлари ва стартерлари	48

VI боб. Ўзгармас ток моторлари

6.1. Умумий тушунчалар	51
6.2. Электр мотор валига таъсир этувчи моментлар ва уларнинг мувозанат тенгламаси	53
6.3. Қаршилик ва силташ моментларини мотор валидаги частотага келтириш	56
6.4. Ўзгармас ток моторларининг механик характеристикаси	58
6.5. Ўзгармас ток моторларини ишга тушириш	60
6.6. Электр моторнинг тормоз режимлари	62
6.7. Электр моторлар частотасини ростлаш	64
6.8. Параллел қўзғатишли ўзгармас ток мотори	66
6.9. Параллел қўзғатишли моторнинг механик характеристикаларини қуриш	67
6.10. Параллел қўзғатишли моторни ишга тушириш резисторини ҳисоблаш	69
6.11. Параллел қўзғатишли мотор тормоз режимларининг механик характеристикалари	72
6.12. Параллел қўзғатишли мотор частотасини ростлаш усуллари	76
6.13. Механик характеристикаларни қуришда нисбий бирликлардан фойдаланиш	80
6.14. Кетма-кет қўзғатишли ўзгармас ток мотори	80
6.15. Кетма-кет қўзғатишли мотор частотасини ростлаш усуллари	87
6.16. Аралаш қўзғатишли ўзгармас ток мотори	89

VII боб. Трансформаторлар

7.1. Трансформаторнинг тузилиши, ишлаш принципи ва ишлатилиши	91
7.2. Трансформатор конструкциясининг асосий қисмлари	94
7.3. Трансформаторнинг салт иш режими	95
7.4. Трансформаторнинг юклама режими	97
7.5. Трансформаторнинг қисқа туташтиш режими	100
7.6. Трансформаторнинг ташқи характеристикаси	101
7.7. Трансформаторнинг фойдали иш коэффициенти	102
7.8. Уч фазали трансформаторлар	103
7.9. Трансформаторларнинг параллел ишлаши	106
7.10. Махсус трансформаторлар	108
7.11. Кучланиш муътадиллаштиргичи (стабилизатори)	113
7.12. Магнит кучайтиргич	114

VIII боб. Ўзгарувчан ток машиналари

8.1. Умумий тушунчалар	116
8.2. Ўзгарувчан ток машинасининг чулғамлари	118
8.3. Синхрон генератори статор чулғамининг электр юритувчи кучи	119

8.4. Статорнинг бир фаза ва бир қатламли чулғамлари	120
8.5. Статорнинг уч фазали чулғами	122
8.6. Статорнинг магнит майдони	124
8.7. Якорь реакцияси	125
8.8. Синхрон генераторнинг вектор диаграммалари	127
8.9. Синхрон генераторларнинг қўзғатиш схемалари	135
8.10. Синхрон генераторларнинг параллел ишлаши	137
8.11. Синхрон генераторларни параллел ишлашга улаш усуллари	139

IX боб. Синхрон моторлар

9.1. Синхрон моторнинг ишлаш принципи	146
9.2. Синхрон моторнинг механик ва бурчак характеристикалари	147
9.3. Синхрон моторни ишга тушириш	150
9.4. Контактсиз синхрон моторлар	152
9.5. Синхрон моторни тормозлаб тўхтатиш усуллари	153
9.6. Синхрон моторнинг иш характеристикалари	154
9.7. Синхрон машинанинг фойдали иш коэффициенти	154
9.8. Синхрон реактив мотори	156

X боб. Асинхрон машиналар

10.1. Умумий тушунчалар	157
10.2. Уч фазали асинхрон мотор	157
10.3. Асинхрон мотордаги электромагнит жараёнлар	160
10.4. Асинхрон моторнинг вектор диаграммаси ва эквивалент схемаси	163
10.5. Асинхрон моторнинг энергетик диаграммаси	165
10.6. Асинхрон моторнинг механик характеристикаси	166
10.7. Асинхрон моторни ишга тушириш	170
10.8. Фаза роторли асинхрон моторни ишга тушириш	171
10.9. Қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторни ишга тушириш	173
10.10. Асинхрон моторнинг генератор ва электромагнит тормоз режимлари	177
10.11. Асинхрон моторининг иш характеристикалари	180
10.12. Асинхрон моторнинг айлана диаграммаси	180
10.13. Асинхрон моторнинг айланиш частотасини ростлаш усуллари	186
10.14. Қисқа туташтирилган роторли асинхрон моторларнинг махсус типлари	193
10.15. Пахта териш машинаси шпинделларининг юритмасига мўлжалланган куп роторли асинхрон мотор	196
10.16. Бир фазали асинхрон моторлар	197
10.17. Бир фазали моторларни ишга тушириш	198
10.18. Уч фазали асинхрон моторни бир фазали электр тармоғига улаб ишга тушириш	200
10.19. Кетма-кет қўзғатишли бир фазали ва универсал типдаги коллекторли моторлар	202
10.20. Индуктив ва фаза ростлагичлари	205

XI боб. Ўзгартгичлар

11.1. Умумий тушунчалар	208
11.2. Ток тури ва частота қийматини ўзгартирувчи электр машина ўзгартгичлар	208
11.3. Ярим ўтказгичли статик частота ўзгартгичлар	212
11.4. Тиристор ва тиристорли частота ўзгартгич	215

XII боб. Электр машинанинг нуқсонлари

12.1. Электр машиналар ва трансформаторлар ўта қизишининг асосий сабаблари	219
12.2. Электр машиналар дириллашининг асосий сабаблари	220
12.3. Ўзгармас ток генераторларининг асосий нуқсонлари	221
12.4. Ўзгармас ток моторларининг асосий нуқсонлари	222
12.5. Трансформаторнинг асосий нуқсонлари	223
12.6. Синхрон машиналарнинг асосий нуқсонлари	225
12.7. Асинхрон моторларнинг асосий нуқсонлари	225

ИККИНЧИ ҚИСМ

Электр юритма ва уни автоматик бошқариш

XIII боб. Электр юритма тўғрисида умумий тушунчалар ва унинг ривожланиш тарихи

13.1. Электр юритма ва унинг таърифи	227
13.2. Электр юритмаларнинг классификацияси	227
13.3. Электр юритма ривожланишининг қисқача тарихи	230
13.4. Мамлакатимизда электр юритманинг тараққиёти	230
13.5. Қишлоқ хўжалик машиналари электр юритмалари тараққиётининг асосий йўналишлари	231

XIV боб. Электр юритмаларнинг ўткинчи режимлари

14.1. Умумий тушунчалар	232
14.2. Ўткинчи жараён вақтини аналитик усул билан ҳисоблаш	233
14.3. Ўткинчи жараён вақтини график усул билан ҳисоблаш	235
14.4. Ўткинчи жараён вақтини графоаналитик усул билан ҳисоблаш	238
14.5. Мустақил қўзғатишли ўзгармас ток моторининг ишга тушириш жараёндаги ўткинчи режими	238
14.6. Асинхрон моторларнинг ўткинчи режимлари	244
14.7. Электр юритманинг ўткинчи жараёнларини моделлаш усули билан аниқлаш	245

XV боб. Электр юритма системасини танлаш

15.1. Умумий тушунчалар	251
-------------------------------	-----

15.2. Электр юритманинг иш режимлари	253
15.3. Моторнинг узоқ муддатли ўзгармас юклама билан ишлаш режимидаги қизиш ва совиш жараёнлари	254
15.4. Узоқ муддатли ўзгармас юкламада мотор қувватини аниқлаш	257
15.5. Узоқ муддатли ўзгарувчан юкламада мотор қувватини аниқлаш	264
15.6. Қисқа муддатли юкламада мотор қувватини аниқлаш	268
15.7. Такрорланувчи қисқа муддатли юкламада мотор қувватини аниқлаш	269
15.8. Ток тури, кучланиш қиймати, айланиш частотаси ва тузилиш конструкциясига биноан мотор турини танлаш	271
15.9. Электр моторларининг асосий типлари	274
15.10. Электр моторларининг қувват коэффициентлари	275

XVI боб. Электр юритманинг автоматик бошқариш аппаратлари

16.1. Умумий тушунчалар	278
16.2. Дастаки бошқариш аппаратлари	278
16.3. Реле-контакторли бошқариш аппаратлари	280
16.4. Ўзгармас ток контакторлари	281
16.5. Ўзгарувчан ток контакторлари	282
16.6. Магнитли ишга туширгич	283
16.7. Бошқариш релелари	283
16.8. Вақт релелари	284
16.9. Кучланиш ва ток релеси	287
16.10. Ҳимоялаш аппаратлари	287
16.11. Электр юритма ҳамда автоматикада ишлатиладиган баъзи датчик, қурилма ва мантиқий элементлар	290
16.12. Йўлакай датчиклар (алмашлаб улагичлар)	290
16.13. Частота датчиклари	291
16.14. Қалқовичли релелар	293
16.15. Босим релеси	294
16.16. Электромагнитлар ва электромагнит муфталар	294
16.17. Сельсинлар	295
16.18. Контактсиз датчик ва мантиқий элементлар	299

XVII боб. Электр юритмаларнинг автоматик бошқариш схемалари

17.1. Умумий тушунчалар	306
17.2. Автоматик бошқариш схемаларининг тузилиши	307
17.3. Очиқ системали автоматик бошқариш схемалари	308
17.4. Электр юритманинг автоматик бошқариш схемаларида қўлланиладиган блокировка боғланишлари	311
17.5. Электр юритмани автоматик ишга тушириш усуллари	313
17.6. Электр юритмани автоматик тормозлаб тўхтатиш усуллари	316
17.7. Ўзгарувчан ток моторларининг бошқариш занжирига ток турини танлаш	318