Ф. Е. Евдокимов

УМУМИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

621.3
Е-16

Ф. Е. ЕВДОКИМОВ

УМУМИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Техникумларнинг электротехникадан бошқа ихтисосга ўқийдиган ўқувчилари учун дарслик

Русча нашридан таржима

БИБЛИОТЕКА
ТИИ ЛП
У/26.27

ТОШКЕНТ — «ЎҚИТУВЧИ» — 1995

Ўзбекистон Республикаси халқ таълими вазирлигининг дарсликларни кўриш махсус комиссияси маъқуллаган.

Дарсликда электротехниканинг назарий ва амалий масалалари баён қилинган. Электр ўлчов асбоблари, электромашиналар, трансформаторларнинг тузилиши, ишлаш принциплари ва асосий характеристикалари кўриб чиқилган. Электромеханик материаллар, электр юритма ва электр таъминотига доир маълумотлар келтирилган.

Техникумларнинг электротехникадан бошқа ихтисос оладиган ўқувчиларига мўлжалланган, ундан ҳунар-техника билим юртларининг ўқувчилари ҳам фойдаланишлари мумкин.

Таржимонлар: т. ф. н. **Абдуҳамид Раҳимов,**
Шукрулло Аъзамов

E $\frac{2202010000-194}{353\ (04)-95}$ 23—93

© «Ўқитувчи» нашриёти, русчадан таржима, 1995
© «Высшая школа», 1987

ISBN 6—645—01594—0

РУСЧА НАШРИГА СЎЗ БОШИ

Кўпгина техникумларнинг ноэлектротехник мутахассислиги ўқув режасига «Умумий электротехника ва электроника асослари» фани киради.

Халқ хўжалигида барча энергия турлари ичида энг кўп қўлланиладигани электр энергияси бўлганлиги ва ҳар бир ноэлектрик профилдаги техник-мутахассис ўзининг иш тажрибасида турли технологик, ёритиш ва куч электр жиҳозлари, технологик жараёнларни назорат қилиш ва автоматлаштириш, электр асбоблари ва қурилмалари кабиларга дуч келиши мумкинлиги бу фаннинг зарурлигини тақозо қилади.

Ҳозирги вақтда электрон ҳисоблаш техникасини қўлланилишига, микропроцессорларни ўз ичига олган асбоблар, машина ва ускуналарни автоматлаштириш ва улар асосида автоматлашган технологик комплексларни яратишга алоҳида эътибор берилаяпти.

Автоматлашган технологик жараёнлар ва автоматик электр ускуналари бўлими махсус соҳа фанларининг ўқув дастурларида кўзда тутилган. Бу фанларни ўрганиш учун ўқувчилар электроника ва электротехниканинг назарий масалалари, назорат асбоблари ва автоматика элементлари, кучли электр ускуналари ва қурилмаларининг умумий ҳаракат принциплари билан олдиндан таниш бўлишлари керак.

«Электроника асослари ва умумий электротехника» фанининг дастури икки бўлимдан иборат. Мазкур ки-

тоб «Умумий электротехника» номли биринчи бўлими мазмунига мослаб ёзилган.

Муаллиф қўлёзма тақризчилари — техн. фанлари номзоди, доцент А. А. Бокуняевга ва инж. Л. А. Прибиловага уларнинг фойдали маслаҳати ва қимматли таклифлари учун, шунингдек инж В. Ф. Евдокимовга қўлёзмани нашрга тайёрлашдаги катта хизматлари учун миннатдорчилик билдиради.

Тақриз ва таклифларни қуйидаги манзилга юборишингизни сўраймиз: 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная кўчаси, 29/14, «Высшая школа» нашриёти.

Муаллиф

ҚИРИШ

Ҳозирги замон энергетикаси мамлакат халқ хўжалигининг асосий тармоғидир. У фан-техника тараққиётини ривожлантиришда, ижтимоий ишлаб чиқаришни жадаллаштиришда ҳал қилувчи роль ўйнайди.

Электр энергиясининг ишлатилиши. Ҳозирги вақтда фойдаланиладиган барча энергия турлари орасида электр-магнит энергиясидан энг кўп фойдаланилади. Энергиянинг бу турини кундалик амалиётда электр энергияси деб аташ қабул қилинган.

Энергия материянинг хоссаларидан биридир. Ҳар бир энергия турининг энергия тарқатувчи моддий объекти мавжуддир. Масалан, гидротурбинанинг парракларига тушаётган сув, шамол, буралган пружина механик энергияни, иситилган газ, буғ, қайноқ сув эса иссиқлик энергиясини тарқатади.

Материянинг алоҳида тури бўлган электр-магнит майдон электр энергиясининг тарқатувчиси ҳисобланади. Электр-магнит майдоннинг асосий ўзига хос хусусияти шундан иборатки, у электр жиҳатдан зарядланган заррачаларга ўз таъсир кучини ўтказади, бу куч заррачаларнинг тезлиги ва улар зарядларининг катталигига боғлиқ бўлади.

Электр-магнит майдоннинг бу хоссаси физика курсидан бизга маълум бўлган, электр жиҳатдан зарядланган ва магнитланган жисмларнинг ўзаро таъсири, электр токи, электр-магнит индукция каби бир-бири билан боғлиқ бўлган электр ва магнит ҳодисаларнинг асоси ҳисобланади.

Бу ҳодисалардан фойдаланиб, электр энергияни ҳосил қилиш, уни узатиш ва ўзгартириш масалалари билан электротехника фани шуғулланади. Ахборотни симсиз узатиш учун электр-магнит майдон ва унинг энер-

гиясидан фойдаланиш эса радиотехниканинг вазифасидир.

Электр энергиядан саноат ва қишлоқ хўжалигининг барча тармоқларида, транспортда, фан ва турмушда кенг кўламда фойдаланилади, у машина ва механизмларни ишга тушириш, иссиқлик ва ёруғлик ҳосил қилиш, моддаларнинг кимёвий таркибини ўзгартириш, материаллар ишлаб чиқариш ҳамда уларга ишлов бериш ва бошқа мақсадларда бошқа турлар (механик, иссиқлик, ёруғлик ва кимёвий энергиялар) га айлантирилади.

Электр энергияни электр двигателлар ёрдамида механик энергияга айлантириш турли хил иш машиналари — металл қирқиш станоклари, прокат станлар, кўтариш-транспорт механизмлари, насослар, вентиляторлар, тикув ва пойабзал машиналари, янчиш машиналари, дон тозалаш, ун тортиш машиналари ва ҳоказолар ёрдамида амалга ошириш иқтисодий жиҳатдан афзал ҳамда қулайдир (11-бобга қ.). Электр двигателлар поездларда, денгиз ва дарё кемаларида, шаҳар транспортида ишлатилади.

Кўпчилик технологик жараёнларда электр энергияни иссиқлик ва кимёвий энергияга айлантиришдан фойдаланилади. Масалан, электр билан иситиш ва электролиз ёрдамида ниҳоятда тоза материаллар ҳолидаги юқори сифатли пўлатлар, рангли металлар олинади, электр-термик ишлов бериш натижасида юқори сифатли металлар, резина буюмлар, пластмассалар, шиша ва ёғоч олишга эришилади.

Мамлакатимизда электр пайвандлаш жуда ривожланган, у металларни жуда сифатли қилиб улашга, меҳнат унумдорлигининг ва бошқа техник-иқтисодий кўрсаткичларнинг юқори бўлишига имкон беради.

Гальванотехниканинг асоси ҳисобланган электр кимёвий жараёнлар коррозиядан муҳофаза қилувчи қопламалар, нурларни қайтариш учун идеал сиртлар ва ҳоказоларни ҳосил қилишга имкон беради.

Сунъий ёритиш қурилмаларида фақат электр ёруғлик манбаларидан фойдаланилади, бунда ёритиш сифати фақат табиий қуёш ёруғлигидангина кейинда туради, холос.

Ҳозирги алоқа техникаси (телефон, телеграф, радиоқурилмалар) ни яратиш фақат электр энергиясидан фойдаланиш туфайлигина мумкин бўлди. Яқин вақт-

ларга қадар фаннинг медицина, биология, астрономия, геология, математика каби соҳаларида умумий мақсадларга мўлжалланган электр қурилмалар (электр лампалар, электр двигателлар, электр қиздиргичлар ва ҳ. к) ишлатилар эди, эндиликда амалий ишларни ёки тадқиқотларни бажариш учун мўлжалланган махсус электр асбоблар, аппаратлар, қурилмалар тобора кўпроқ жорий этилмоқда.

Фан-техника тараққиётини янада ривожлантириш учун электр ҳисоблаш машиналари катта аҳамиятга эга, улар иқтисодий ҳисобларни, режалаштириш ва бошқаришни, турли қурилмалар ва технологик жараёнларни автоматлаштиришда ниҳоятда самарали воситалар бўлиб қолди.

Электр энергиясини ҳосил қилиш ва узатиш. Электр энергияси энергиянинг бошқа турларидан бевосита ёки оралиқ ўзгартиришлар йўли билан олинади. Бунинг учун табиий энергия манбалари — органик ядро ёқилғисидан, шунингдек, тикланадиган энергия манбаларидан: дарёлар оқими, шаршаралар, океан сувларининг кўтарилиши, қуёш радиацияси, шамол, геотермаль манбалардан фойдаланилади.

Ҳозирги вақтда саноатни, қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқаришини, транспортни ва халқ хўжалигининг бошқа соҳаларини электрлаштиришда ишлатиладиган электр энергиянинг асосий қисми иссиқлик электр станцияларида (ТЭС) органик ёқилгининг кимёвий энергиясини ўзгартириш орқали олинади.

Ёқилғи ёнганда ҳосил бўладиган иссиқлик энергияси иссиқлик турбиналари (буғ, газ турбиналари) га ўтади, уларда механик энергияга айланади ва бу энергия электр генераторларга (8,9-бобларга қ.), яъни механик энергияни электр энергиясига айлантирадиган қурилмаларга узатилади. Электр энергиясини ишлаб чиқариш ҳажми жиҳатидан гидроэлектростанциялар (ГЭС) иккинчи ўринда туради, уларда дарёлар оқимининг энергиясидан фойдаланилади; бу энергия гидротурбиналар ва гидрогенераторлар ёрдамида электр энергиясига айлантирилади.

Асосий энергияни ишлаб чиқарувчилар қаторида иссиқлик станциялари ва гидроэлектростанциялардан кейин атом электростанциялар (АЭС) туради. АЭС да энергиянинг бирламчи тури атомлар ядроларининг энергияси ҳисобланади. У иссиқлик энергиясига айлан-

тирилади, кейин иссиқлик энергиясидан иссиқлик станциясининг схемаси бўйича электр энергияси олинади.

Органик ёқилғи запаслари тез камайиб кетаётганлигини, шунингдек, иссиқлик электр станцияларининг теварак-атрофга зарарли таъсир этишини эътиборга олиб, электр энергиясини термоядро энергиясидан ва юқорида айтиб ўтилган тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланиш асосида олишнинг техник ва иқтисодий жиҳатдан фойдали усулларини излашга доир ишлар олиб борилмоқда.

Кимёвий энергия, иссиқлик энергияси, нур энергияси электрокимёвий, термоэлектрик, термоэмиссион, фотоэлектрик генераторлар ёрдамида бевосита электр энергиясига айлантирилади. Бу қурилмаларнинг қуввати кичик, шу сабабли катта энергетика учун яроқсиз, улар асосан радиотехника ва космик техникада ишлатилади.

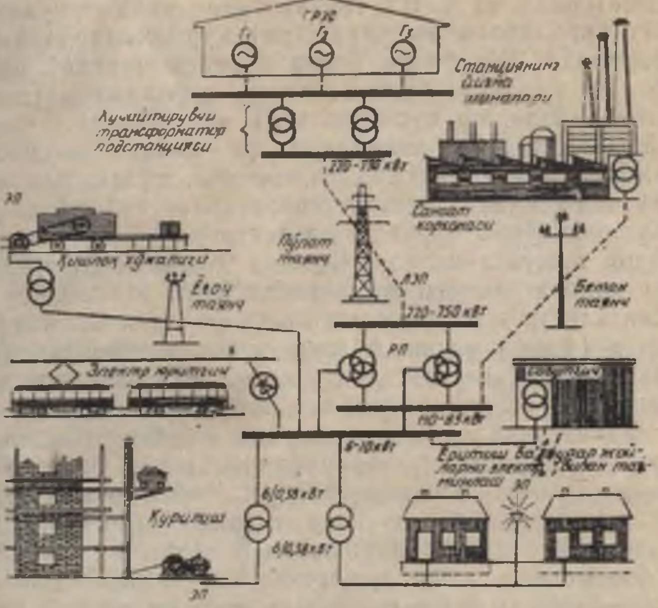
Кўп миқдордаги электр энергияни олиш учун магнитогидродинамик генераторлар ва термоядро энергиясини бевосита электр энергиясига айлантирадиган қурилмалар анча истиқболли ҳисобланади.

Айрим географик районларда табиий энергия ресурсларининг тўпланиб қолишидан олинган электр энергияни катта масофаларга узатиш ва қувватларнинг катта диапазонида электр истеъмолчиларга тақсимлаш зарурати келиб чиқади.

Электр станциядаги электр энергияси истеъмолчиларга боргунга қадар ўнлаб, юзлаб, ҳатто минглаб километрларга узатилади, бунда электр энергиясининг миқдор ва сифат кўрсаткичларини белгиловчи кучланиш ва токлар бир неча марта ўзгаради.

Шу сабабли электр таъминотининг умумий схемасида (В.1-расм) уни ташкил этувчи бир неча звеноларни (бўғинларни) ажратиб кўрсатиш мумкин. Бу звеноларда элементларнинг таркиби, электр қурилмаларнинг конструктив жиҳатдан ишланиши турличадир, чунки уларнинг қуввати, кучланиш қиймати, электр қурилмаларни монтаж қилиш ва ишлатиш шароитлари турлича бўлади.

Электр таъминоти схемасининг бошланишида электр энергиясининг манбаи, схеманинг охирида эса электр истеъмолчи туради. Манба бирор турдаги энергияни (механик, иссиқлик, атом энергияси ва ҳ.) электр энергиясига айлантириб беради, у эса электр истеъмолчида



В.1- расм

энергиянинг бошқа турларига — механик (электр двигателлар), иссиқлик (электр печлар), ёруғлик (электр лампалар) ва б. энергияларга айланади.

Электр энергиясининг манбалари билан истеъмолчилари орасида уларни узатиш ва тақсимлашни таъминловчи қурилмалар — электр узатиш линиялари, трансформаторлар ва бошқа ўзгартгичлар, бошқариш, назорат ва муҳофаза қилиш аппаратлари туради.

Ҳар қайси электр станцияда одатда бир неча электр генераторлар ишлайди (В.1-расмдаги $Г_1$, $Г_2$, $Г_3$ генераторлар), улар кучланишни ошириш мақсадида шу ерга ўрнатилган трансформаторлар билан бевосита боғланган бўлади. Электр станциялардан электр энергияси электр узатиш линиялари (ЛЭП) орқали район подстанцияларига (РП) узатилади, сўнгра истеъмолчилар (завод, цех, совхоз, қишлоқ ва ҳ.). орасида тақсимланади. Ҳар қайси истеъмолчида электр энергиясини қабул қилиш ва уни группалар ёки алоҳида электр истеъмолчилар (ЭП) орасида тақсимлаш пунктлари бўлади.

Электр энергияси исталган қувватдаги электр қабул қилгичларга тақсимланади. Алоқа техникасида,

автоматикада ва ўлчов техникасида кичик қувватли (ватт бирликлари ва улушлари) қурилмалардан фойдаланилади. Шу билан бирга қуввати минглаб ва ўн минглаб киловатт бўлган электр қурилмалар (двигателлар, қиздириш қурилмалари) ҳам бўлади.

Электр узатиш линиялари ва электр тақсимлаш тармоқлари учун металл (алюминий, пўлат, мис симлар) ишлатилади. Электр генераторлар таъсирида сим ва уларни ўраб турувчи диэлектрикда электромагнит майдон вужудга келади. Симлар бўлганда бу майдоннинг концентрацияси жуда катталашиб кетади, шу сабабли электр энергияни узатишда фойдали иш коэффициенти (ф.и.к.) юқори бўлади, у кичик қувватли эмас, балки катта қувватли электр қабул қилгични ҳам ишга туширишга етарли миқдорларда бўлади.

Радиотехникада электромагнит майдон туташтириш симларисиз узатилади, шунинг учун у ҳамма томонга тарқалади ва катта ҳажмда ёйилади. Қабул қилиш қурилмалари энергиянинг оз қисминигина тутиб қолади, у машиналар, иситиш қурилмалари, ёритиш манбалари ва бошқаларни ишга тушириш учун етарли бўлмайди. Лекин бу усул ахборот узатиш учун яроқлидир, чунки сигналларни тиклаш учун узатувчи энергиясининг жуда оз қисминигина қабул қилишнинг ўзи кифоядир.

Мамлакатимизда электр энергияни ишлаб чиқариш йилдан-йилга ортиб бормоқда. Лекин бу электр энергияни тежаш зарур эмас, деган маънони билдирмайди. Аксинча, электр энергиядан тежаб-тергаб, оқилона фойдаланиш, уни истеъмол қилиш, узатиш ва тақсимлашда рўй берадиган исрофгарчиликни имкони борича камайтириш энг муҳим вазифа бўлиб қолади.

Тежаб-тергаб фойдаланиш масаласи фақат электр энергиясигагина эмас, балки энергия ресурсларининг барча турларига тааллуқлидир. У барча турдаги — моддий, меҳнат, молиявий ресурсларни тежашга ва улардан оқилона фойдаланишга доир катта ишнинг бир қисми ҳисобланади.

Текшириш учун саволлар

1. Электр станцияларнинг турларини уларнинг атроф-муҳитга салбий таъсир этишининг камайиб бориши тартибида қандай жойлаштириш мумкин?
2. Уйингиздаги электр асбоблар электр энергияни қайси энергияларга айлантириб беради?
3. Уйингизда электр энергиясини тежашга доир қандай чоралар кўрилади ва яна қандай чоралар кўриш мумкин?

I-БОБ

ЭЛЕКТР МАЙДОНИ

Электрланган жисмларнинг бир-бирига тортилиши ва итарилиши, электростатик индукция каби электр ҳодисаларини ўрганиш натижасида электр майдони ҳақидаги тушунчага эга бўлинди.

Бунда Г. В. Рихман билан бирга атмосфера электри миқдорини миқдорий анализ қилган М. В. Ломоносовнинг хизматлари катта.

1.1-§. ЭЛЕКТР МАЙДОНИНИНГ АСОСИЙ ХУСУСИЯТЛАРИ ВА ХАРАКТЕРИСТИКАСИ

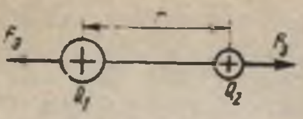
Электр майдони фазода жойлашган бўлиб, зарядланган заррачалар ва жисмларни ўраб туради ҳамда улар билан боғлангандир.

Электр майдонининг асосий хусусияти зарядланган заррачаларга куч билан таъсир қилади, бу таъсир қилувчи куч заррача зарядига пропорционал бўлиб, унинг тезлигига боғлиқ бўлмайди.

Электр токи бўлмайдиган, ҳаракатланмайдиган, зарядланган жисмлар электр майдони электростатик майдон дейилади.

Кулон қонуни. Француз физиги Кулон ўзининг тажрибалари натижасида 1785 йилда иккита электрланган жисмнинг ўзаро таъсир кучини ифодаловчи қонунни яратди (1.1-расм).

Қуйида Кулон қонуни ва унинг математик ифодасидан иборат нуқта зарядланган жисмлар орасидаги ўзаро таъсир кучи мисолида берилган. Икки нуқтадан иборат зарядланган жисмнинг ўзаро таъсир кучи бу жисмларнинг зарядларига тўғри ва улар орасидаги масофанинг квадратига тескари пропорционалдир, яъни



1.1- расм

$$F_э = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}, \qquad (1.1)$$

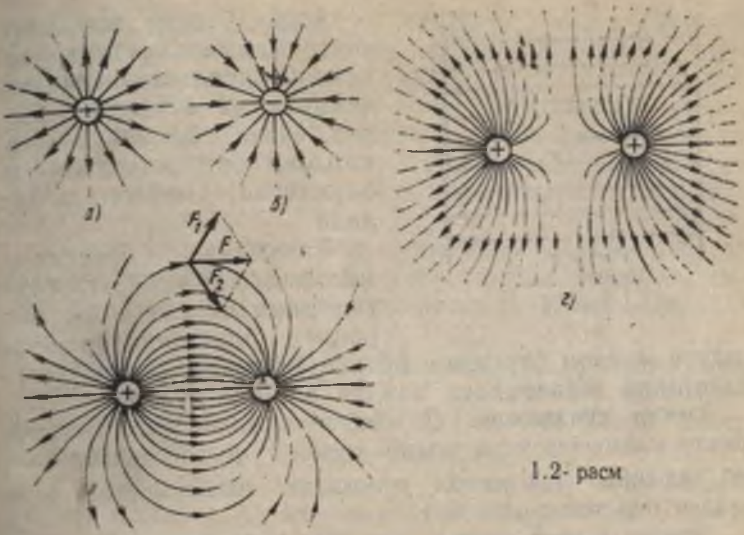
бу ерда $F_э$ — электр кучи, Н (ньютон); Q_1, Q_2 — электр зарядлари, Кл (кулон); r — зарядланган жисмлар орасидаги масофа, м (метр); $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м (фарад/метр) — электр доимийси, бу катталик бўлиб, бирлик системасини танлашдан аниқланади.

(1.1) ифода нуқтадан иборат вакуумдаги ўзаро таъсирини аниқлаш учун чиқарилган. Бу ва бундан кейинги ифодалар вакуумдаги электр майдонига тааллуқли бўлиб, ҳаво муҳитидагина тўғридир. Уларнинг бошқа муҳитдаги қўлланиши 1.2-§ да кўрилган.

Электр майдонини зарядланган заррача ва жисмлар ҳосил қилади ва у зарядланган заррачалар ва жисмларга куч билан таъсир этади. Шуни ҳисобга олган икки муҳим ҳолни кўриб ўтамиз: ўзаро таъсир этаётган жисмларнинг ҳар бири (Q_1 ва Q_2 зарядли) ўзининг электр майдонини ҳосил қилади, улар жойлашган бўшлиқда бир майдон иккинчисига қўшилиб, умумий электр майдони ҳосил бўлади (бу ерда майдонларнинг устма-уст тушиши принципига асосланилади); икки зарядланган жисмларнинг ўзаро куч таъсирини уларнинг ҳар бирига шу жисмлар ҳосил қилган умумий электр майдонининг таъсири натижаси деб қараш керак.

Электр майдон кучланганлиги. Электр майдонининг амалиёт учун муҳим бўлган хусусиятлари ва характеристикаси зарядланган жисмнинг формаси, катталиги, ишораси ва унинг зарядини тақсимланишига, зарядланган жисмларнинг ўзаро жойлашишига (агар майдонни бир гуруҳ жисмлар ҳосил қилса), зарядланган жисмлар жойлашган муҳит хоссасига ва бошқа факторларга боғлиқ бўлади. Шунинг учун ҳар хил шароитда ҳосил бўлган электр майдонлар бир-биридан формаси, миқдор ва сифат кўрсаткичлари билан фарқ қилади.

Электр майдонларнинг ишлатилиш имкониятларини баҳолаш ва уларнинг керакли жиҳатларини ҳисоблаш ва бир-бирига солиштириш учун электр майдоннинг энергетик ва куч характеристикасидан фойдаланилади.



1.2- расм

Фараз қилайлик, электр майдон манбаи Q_1 зарядли жисм, Q_2 заряд шунчалик кичикки, у майдоннинг характеристикасини ўзгартирмайди. Бу ҳолда Q_2 синов заряди бўлиб, унинг ёрдамида $F_э$ кучни аниқлаш ва электр майдонини ҳар хил нуқталарда текшириш мумкин. Электр майдоннинг кучланганлиги унинг куч характеристикасидир.

Электр майдон кучланганлиги вектор катталик бўлиб, унинг қиймати мусбат зарядланган заррачага таъсир этувчи кучнинг унинг зарядига нисбатига тенгдир:

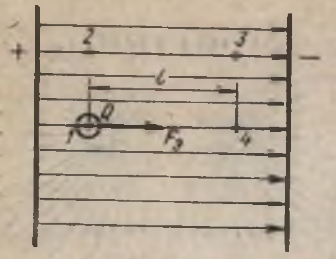
$$E = F_э / Q, \qquad (1.2)$$

бу ерда E — электр майдон кучланганлиги, В/м (вольт/метр).

(1.1) формуланинг иккала томонини Q_2 га бўлиб, нуқтадан иборат зарядланган жисмдан r масофада жойлашган исталган нуқтадаги электр майдон кучланганлигининг ифодасини оламиз:

$$E = Q / (4\pi\varepsilon_0 r^2). \qquad (1.3)$$

Электр майдонни яққолроқ тасвирлаш учун кучланганлик чизиқлари (куч чизиқлари) ўтказилади. Бундай чизиқларнинг ҳар бир нуқтасида электр майдон кучланганлиги векторининг йўналиши бу чизиққа уринманинг йўналишига мос келади (1.2- расм, *а—г*).



1.3- расм

Агар электр майдонининг ҳамма нуқталарида майдон кучланганлигининг қиймати ва йўналиши бир хил бўлса, бундай электр майдони бир жинсли (ёки бир текис) майдон дейилади.

Ўлчамлари орасидаги масофадан анча катта бўлган зарядланган икки параллел пластинкалар орасидаги майдон бир текис бўлиб (1.6-расм, *а* га қаранг). пластинка четларидаги майдон нотекис бўлади.

Электр кучланиши. Q мусбат зарядли эркин заррача электр майдонида унга таъсир этувчи $F_э$ куч йўналиши бўйлаб силжийди (1.3- расмда мулоҳазани соддалаштириш учун майдон бир текис олинган).

Заррача 1 ва 2 нуқталар орасида l масофага силжиганда $A_{1,2} = F \cdot l$ иш бажарилади, бу ишни (1.2) ифодани ҳисобга олган ҳолда электр майдон кучланганлиги орқали ифодалаш мумкин:

$$A_{1,2} = EQl.$$

Бажарилган иш фақатгина майдон катталиклари (E, l) га боғлиқ бўлмай, балки заррача заряди Q га ҳам боғлиқдир. Шунинг учун ишнинг қиймати эмас, балки унинг силжиган заррача зарядига нисбати электр майдоннинг энергетик характеристикасидир.

$$U = A_{1,2} / Q, \tag{1.4}$$

U — электр кучланиши, В (вольт); $A_{1,2}$ — иш, Ж (Жоуль).

Зарядланган заррачани икки нуқта орасида силжитишда электр майдон кучи бажарган ишнинг заррача заряди қийматига нисбати **шу нуқталар орасидаги электр кучланиши** дейилади.

(1.4) тенгликка иш ифодасини қўйиб электр майдон энергетик характеристикасининг (U) куч характеристикаси билан (E) боғланиш ифодасини оламиз:

$$U = E \cdot l. \tag{1.5}$$

Шунингдек, ҳисоблаш учун электр майдонининг ҳар бир нуқтасидаги энергетик характеристикаси, яъни электр потенциал (V) ҳам қўлланилади. Фараз қилайлик, Q зарядга эга бўлган синов заррачаси 1 нуқтага жойлашган (1.3- расм). Заррача A_1 потенциал энергияга эга (ернинг тортиш кучи майдонида m массага эга бўлган бирон-бир жисм потенциал энергияга эга бўлгани сингари).

Электр майдон бирон-бир нуқтасидаги зарядланган заррача потенциал энергиясининг унинг заряди миқдорига нисбати шу нуқтадаги майдон потенциалини ифодалайди: $V_1 = A_1/Q$; $V_2 = A_2/Q$.

Электр майдонда бир нуқтадан иккинчи нуқтага кучланганлик чизиқлари бўйлаб ўтганда зарядланган заррачанинг потенциал энергияси камаяди. Куч $F_э = 0$ бўлган электр майдон ташқарисида у нолга тенглашади.

F куч таъсирида зарядланган заррачанинг 1 нуқтадан 2 нуқтага кўчганда A_{12} иш бажарилади. Заррачанинг 2 нуқтадаги потенциал энергияси 1 нуқтадагига қараганда шунча миқдорга кам: $A_{12} = A_1 - A_2$. Бу ифодани заряд миқдорига бўлсак: $U_{12} = A_{12}/Q = A_1/Q - A_2/Q$ ёки

$$U_{12} = V_1 - V_2. \tag{1.6}$$

Одатда потенциал ва потенциал энергия бошланғич деб олинган бирон-бир даражага нисбатан аниқланади.

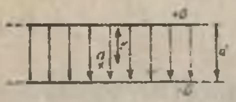
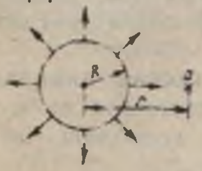
Электр қурилмаларига тааллуқли амалий масалаларни ечишда, одатда бошланғич деб нолга тенглаштирилган ер потенциали олинади.

Электр майдонининг характеристикасини аниқлаш. Электр майдон кучланганлиги, потенциаллари ва кучланишини аниқлаш электр майдонини ҳисоблаш масалаларидан биридир.

Нуқтадан иборат зарядланган жисмнинг исталган нуқтадаги электр майдонининг кучланганлиги (1.3) ифода бўйича аниқланади. Бундан потенциал миқдорни аниқловчи ифода ҳосил бўлади.

Амалда жисм заряди унинг юзаси бўйлаб, маълум зичлик билан тарқалган ҳол кўпроқ учрайди. Бундай ҳолларда электр майдони Гаусс теоремаси асосида олинган ва 1.1- жадвалда исботсиз келтирилган ифодалар орқали ҳисобланади.

1.1-жадвал

Электр майдонини ҳосил қилувчи зарядланган жисм	Электр майдони кучланганлиги	Потенциал	Формулаларга кирувчи катталиклар
Алоҳида-алоҳида нуқтадан иборат жисм	$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$	$V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$	Q — заряд (Кл); $\sigma = Q / S$ сиртдаги зичлик (Кл/м²) τ — заряднинг чизиқли зичлиги (Кл/м)
Чексиз чўзилган текислик	$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$	$V = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}(r_x - r)$	r — мусбат пластинкадан, сфера марказидан, сим ўқидан берилган нуқтагача бўлган масофа (м); r_x — сфера марказидан, сим ўқидан потенциали нолга тенг бўлган ($V_x = 0$) берилган нуқтагача бўлган масофа; R — сфера радиуси (м); d — пластинкалар орасидаги масофа (м); l — симнинг узунлиги (м)
Иккита параллел текислик 	$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$	$V = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}(d - r)$	
Сфера 	$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{\sigma R^2}{\varepsilon_0 r^2}$	$V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r} = \frac{\sigma R^2}{\varepsilon_0 r}$	
Чексиз узун тўғри сим	$E = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_0 l r} = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0 r}$	$V = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0} \ln \frac{r_x}{r}$	

1. Электрон бир жинсли электр майдонда ҳаракатланаяпти. Агар унинг тезлиги ўзгарса, унга таъсир этувчи куч ўзгарадими?

2. Нима учун электр майдонида ҳаракатланаётган зарядланган синов жисмнинг куч характеристикаси унга таъсир қилаётган кучнинг ўзи эмас, балки кучланганлик E унинг характеристикаси бўлади?

3. Чексиз чўзилган икки текислик бир хил δ зичликка эга бўлган карама-қарши заряд билан зарядланган (1.1-жадвалга қаранг). Пластинкалар орасидаги ва пластинкалар ташқарисидаги бўшлиқда электр майдон кучланганлиги қандай қийматга эга?

4. Q заряд сфера сиртида бир текис тақсимланган. Ҳисоблашда зарядланган сферанинг заряди сфера марказида йиғилган нуқтадан иборат зарядланган жисм деб қараш мумкинми?

5. Электр майдонида (1.3-расмга қаранг) тўғри бурчакли *1—2—3—4—1* контур тузилган. Бу контур бўйлаб потенциал қандай ўзгаради?

1.1-масала. Томонлари 6 ва 8 см бўлган вакуумда жойлашган тўғри тўртбурчакнинг қарама-қарши учларида зарядланган нуқтадан иборат жисмлар жойлашган: $Q = 3{,}2 \cdot 10^{-11}$ Кл. $Q_2 = -4{,}267 \cdot 10^{-11}$ Кл. Тўртбурчакнинг бошқа учлари ва диагоналлари кесишган нуқтадаги электр майдон кучланганлигини аниқланг.

1.2-масала. Ўлчамлари орасидаги масофага қараганда анча катта бўлган параллел пластинкалар (1.6-расм. *a*) орасидаги кучланиш $U = 100$ В. Мусбат пластинкадан $r = d$, $3d/4$, $d/2$, $d/4$ масофадаги нуқта потенциалини ноль деб қараб, пластинкалар потенциалларини аниқланг; d — пластинкалар орасидаги масофа.

1.2-§. ЭЛЕКТР МАЙДОНИДАГИ ЎТКАЗГИЧЛАР ВА ДИЭЛЕКТРИКЛАР

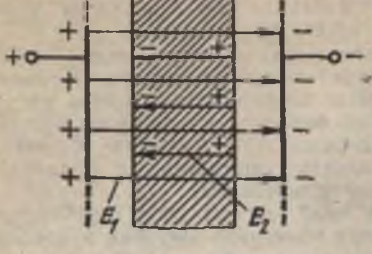
1.1-§ да келтирилган ифодалардан кўриниб турибдики, вакуумдаги электр майдон потенциали ва кучланганлиги заряд ташувчи жисмнинг шакли, электр зарядининг тақсимланиш характери ва қийматига боғлиқ.

Бирор моддадаги электр майдон характеристикаси шу модда хусусиятига ҳам боғлиқ, чунки электр майдон моддага таъсир этади ва у ўз навбатида маълум даражада электр майдонини ўзгартиради.

Электр майдонидаги ўтказгичлар. Ташқи электр майдон кучланганлиги E_1 таъсирида металл жисмда (1.4-расм) манфий зарядланган юзага қараб электронлар силжийди, қарама-қарши юза эса мусбат зарядланади (электростатик индукция ҳодисаси).

Ўтказгичда зарядларнинг тақсимланиши натижасида йўналиши ташқи майдонга қарама-қарши ва кучланганлиги E_2 бўлган ички электр майдони ҳосил бўлади. Ички ва ташқи майдон кучланганликлари тенглашгунга қадар ўтказгичда қисқа муддатли эркин электронлар ҳаракати бўлади.

БИБЛИОТЕКА
Бух. ТИИ и ЛП
№ 9/2627



1.4- расм

$E_1=E_2$ бўлганда электр майдон кучланганлиги нолга тенг. Ўтказгичнинг исталган икки нуқтаси орасидаги кучланиш ҳам нолга тенг, яъни унинг ҳамма нуқталаридаги потенциаллари бир хил.

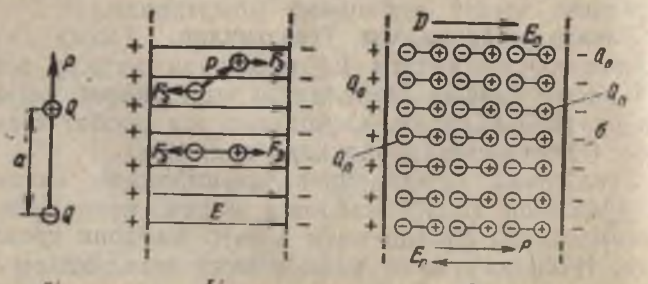
Демак, ўтказгичда эркин заряд ташувчилар бор пайтда унда электростатик майдон бўлиши мумкин эмас.

Агар электр майдонга ички ҳовол ўтказгични жойлаштирсак, зарядланган заррачалар фақат унинг сиртига жойлашиб, металлнинг ички тарафи ва ўтказгичдаги ҳоволда электр майдон бўлмайди.

Бир жинсли диэлектрикдаги электр майдони. Ўтказгичларга қараганда диэлектрикнинг ҳажм бирлигида зарядланган эркин заррачалар анча кам. Шунинг учун ташқи электр майдони мавжуд бўлганда зарядланган эркин заррачаларнинг йўналтирилган ҳаракатини ҳисобга олмаса ҳам бўлади ва диэлектрикларда кўпроқ электростатик ҳодисалар рўй беради деб ҳисоблаш мумкин.

Қутбланган ва қутбланмаган молекулали диэлектриклар мавжуддир. Қутбланган молекулаларни электр жиҳатидан худди электр диполь (1.5- расм *а, б*) деб қараш мумкин.

Электр диполь — қийматлари бир хил ва ишора қарама-қарши бўлиб, ораларидаги масофа кузатиш



а) б) в)

1.5- расм

нуқтасигача бўлган масофадан анча кичик бўлган биргаликдаги икки электр заряди билан зарядланган заррачалардир.

Ташқи электр майдонда қутбли молекула (диполь) га жуфт куч таъсир этиб, электр моментининг йўналишини майдон кучланганлиги йўналишига буради (1.5-расм, *б*, *в* да икки зарядланган металл пластинкалар орасидаги бир текис электр майдондаги диэлектрик кўрсатилган).

Ташқи электр майдон таъсири остидаги қутбланмаган диэлектрик молекулалари зарядланган заррачалари кучланганлик вектори E йўналиши бўйлаб силжийди, натижада молекулалар диполлик хусусиятига эга бўлиб қолади.

Зарядланган заррачаларнинг молекуладаги чекланган силжиш ҳодисаси ёки электр кучланиши таъсиридаги диэлектрик диполь молекулаларнинг ориентациясининг ўзгаришига диэлектрик қутбланиши дейилади.

Диэлектрик қутбланиши натижасида қутбланган молекулалар ташқи электр майдон кучланганлиги (E_0— кучланганлик) чизиғи бўйлаб жойлашади. Бунда диэлектрик ичида молекула ҳажмидан кам бўлмаган исталган ҳажмда у ёки бу ишорадаги зарядларнинг тенглиги сақланади, натижада диэлектрик нейтраллигича қолади. Лекин, металл пластинкаларга ёпишган диэлектрик сиртида бир хил ишорали зарядли заррачалар йиғилади: мусбат пластинкада манфий ишорали ва манфий пластинкада мусбат ишорали (1.5- расм, *в*) заррачалар тўпланади. Иккала юзада ҳам заряд бир хил σ зичлик билан тарқалган. Шундай қилиб, металл пластинка ва диэлектрик орасида икки хил зарядланган заррачалар жойлашган: ташқи электр майдони (кучланганлиги E_0) ни ҳосил қилувчи металл пластинкаларнинг умумий зарядли эркин заррачалари ва ички майдон (кучланганлиги E_0) ни ҳосил қилувчи умумий $Q_п$ зарядга эга бўлган диэлектрикнинг қарама-қарши ишорали богланган заррачалари.

Диэлектрикдаги электр майдони заррачаларнинг $Q = Q_0 - Q_п$ умумий зарядига тўғри келади ва уни ташқи ҳамда ички майдон қўшилмаси деб қараш мумкин.

Бу майдонлар кучланганликларининг E_0 ва $E_п$ векторлари қарама-қарши йўналган бўлиб, натижада майдоннинг кучланганлиги қуйидагича бўлади:

$$E = E_0 - E_п.$$

Диэлектрикдаги электр майдони характеристикасини аниқлашда электр кучи, майдон кучланганлиги ёки потенциални аниқловчи ифодалардаги электр доимийси ε_0 ўрнига $\varepsilon_0 > \varepsilon$ ни қўйиб, умумий зарядни эркин заррачалар зарядига тенг ($Q = Q_0$) деган ҳолда аниқлаш мумкин.

Диэлектрикнинг хусусиятларини характерловчи ε_0 катталик **абсолют диэлектрик сингдирувчанлик** дейилади. Ифодаларда электр доимийсини диэлектрик сингдирувчанлик билан алмаштириш диэлектрикдаги электр майдонни худди вакуумдагидек, яъни диэлектрикнинг қутбланишини ҳисобга олмаган ҳолда ҳисоблаш имконини беради.

Турли диэлектрикларнинг диэлектрик сингдирувчанлигини справочниклардан топиш мумкин. Одатда справочник жадвалларида (масалан, П.1-жадвалга қ.) нисбий диэлектрик сингдирувчанлик ε_r яъни ε_a абсолют диэлектрик сингдирувчанликнинг ε_0 электр доимийсига нисбати ($\varepsilon_r = \varepsilon_a / \varepsilon_0$) келтирилган бўлади.

Диэлектрикларнинг асосий электр хоссалари. Исталган, ҳатто энг оддий электр қурилмани ҳам диэлектрик материалларсиз тузиб бўлмайди. Бундай материаллар кўпинча электр изоляциялар, яъни электр потенциали жиҳатидан ўзаро фарқ қиладиган электр ўтказувчи қисмларни бир-биридан ва ердан ажратиш учун қўлланилади.

Электр изоляция тўлиқ ёки қисман ток ўтказувчи қисмларни ўраб туради ва электр қурилмаларнинг махсус схемаларида кўзда тутилган электр токининг ўтиш имконияти бўлган барча йўлларни тўсади.

Турли электр потенциалига эга бўлган электр ўтказувчи қисмлар орасида электр майдон мавжуд, демак, диэлектрик материаллар шу майдон таъсирида ёки электр кучи таъсирида бўлади.

Диэлектрикдаги электр майдон кучланганлиги ўтказгич (электродлар) орасидаги кучланишга, электродлар орасидаги масофага, электродларнинг шакли ва ўлчамларига, диэлектрик сингдирувчанликка боғлиқ бўлади.

Изоляциянинг электр кучи таъсири ундаги электр майдон кучланганлиги билан белгиланади. Майдон кучланганлиги қанча катта бўлса, молекулаларнинг зарядланган заррачаларига таъсир этадиган кучлар шунча катта бўлади (1.5-расм, *б*). Бу кучларга заррачалар-

нинг ички молекуляр илашиш кучлари қарши таъсир этади, диэлектрикларнинг электр изоляция хоссалари апа шу кучларнинг катталигига боғлиқ. Агар электр майдон кучланганлиги бирор критик қийматдан ортиб кетса, у ҳолда диэлектрик электр изоляция хоссаларини йўқотади. Бу ҳодиса диэлектрикнинг тешилиши, бу ҳодисани содир этган кучланиш қиймати эса тешувчи кучланиш дейилади.

Электр майдон кучланганлигининг тешувчи кучланишга мувофиқ келадиган қиймати диэлектрикнинг электр мустаҳкамлиги дейилади.

Электр мустаҳкамлик ($E_м$) тешувчи кучланиш (U_m) нинг диэлектрикнинг қалинлиги (d) га нисбати билан аниқланади, яъни

$$E_м = U_m / d.$$

Электр тузилма ва қурилмаларнинг ишончли ишлашини таъминлаш учун уларнинг электр изоляцияси маълум мустаҳкамлик запаси (K) га эга бўлиши керак, у электр мустаҳкамлик $E_м$ нинг электр майдон кучланганлигининг ҳақиқий қиймати E га нисбатига тенг:

$$K = E_м / E.$$

Электр изоляциянинг тешилиши кўпгина омилларга боғлиқ. Бу омилларнинг қайси бири кучли эканлигига қараб электр тешилиш, электр-иссиқлик тешилиш ва электр-кимёвий тешилиш каби турларга бўлинади.

Электр тешилиш ҳодисаси диэлектрикдаги кучли электр майдон таъсирида вужудга келадиган электронли жараёнлар билан боғлиқ, бу жараёнлар электр ўтказувчанликнинг бир жойда анча ортиб кетишига олиб келади ва тешилиш содир бўлади.

Электр ўтказувчанлиги нолга тенг бўлган идеал диэлектрикда электр кучлар таъсирида зарядланган заррачаларнинг ички молекуляр боғланишлари узилиши натижасида электр майдон кучланганлигининг ортиб кетишидан тешилиш содир бўлиши мумкин.

Тажриба шуни кўрсатадики, реал диэлектрикларда тешилиш майдон кучланганлигининг қиймати ички молекуляр боғланишларнинг узилиш қийматидан кичик бўлганда содир бўлади. 2-иловадаги II. 1-жадвалдан кўриниб турибдики, диэлектрикларнинг электр ўтказувчанлиги жуда кичик, лекин нолга тенг эмас, бу эса уларда оз бўлса-да маълум миқдорда зарядланган эркин зарядлар бўлишидан далолат беради.

Бу заррачалар (асосан электронлар) нинг тезлиги электр майдон таъсирида тезлашади ва диэлектрикнинг нейтрал атомлари ва молекулалари билан тўқнашади. Майдон кучланганлиги ортиши билан электронларнинг тезлиги нейтрал заррачалардан бошқа электронларни ажратиш учун етарли қийматга етади.

Натижада эркин электронлар миқдори жуда кўпайиб, оқа бошлайди (бу жараён з а р б и й и о н л а н и ш дейилади) ва маълум оралиқда диэлектрик электр ўтказувчан бўлиб қолади. Тешилишнинг бундай тахминий схемаси газлар учун хосдир.

Суюқ ва қаттиқ диэлектрикларда электр-иссиқлик жараёнлари асосий роль ўйнайди. Электр майдон кучланганлиги ортиши билан диэлектрик ичида (ҳажмий электр токи) ва сиртида (спирт токи) эркин электронларнинг ҳаракати кучаяди.

Ўзгарувчан кучланишда (ўзгарувчан ток қурилмаларида) электр изоляция ўзгарувчан электр майдони таъсирида бўлади, бу қутбланганликнинг даврий равишда тўхтовсиз ўзгаришига сабаб бўлади (зарядланган заррачаларнинг силжиши ва диполь молекулаларнинг ориентацияси даврий равишда ўзгариб туради).

Шу сабабли диэлектрикда электр энергияси иссиқликка айланади. Электр майдон кучланганлиги маълум қийматга етганида электр изоляция материалининг бирор жойи қизийди, натижада у дарз кетади, кўмирга айланади ва шу жойи электр ўтказувчан бўлиб қолади. Бундай тешилиш э л е к т р-и с с и қ л и к д а н т е ш и л и ш дейилади ва жуда кўп учрайди.

Тешилиш диэлектрикдаги электр майдон таъсири билан боғлиқ бўлган электр-кимёвий жараёнлар оқибати бўлиши ҳам мумкин. Диэлектрикларнинг электр мустаҳкамлиги уларнинг таркибида бегона қўшимчалар (масалан, мойда сув томчиси, қаттиқ диэлектрикларда газ пуфакчалари) бўлишига ҳамда кўпгина бошқа омилларга, шу жумладан кучланишнинг шакли, ўзгариш частотаси ва таъсир этиш давомийлигига, электродларнинг шаклига, диэлектрикнинг қалинлигига, температурага, намликка ва бошқаларга кўп жиҳатдан боғлиқ. Диэлектрикка электр майдон таъсиридаги вақт бирлиги ичида иссиқликка айланадиган энергия д и э л е к т р и к и с р о ф л а р дейилади.

Бу исрофлар энергиянинг бошқа исрофлари сингари

номақбул бўлиб, электр изоляциянинг ишлаш шароитини анчагина ёмонлаштиради.

Лекин баъзи моддаларни қиздириб қуритиш ёки юқори температураларда борадиган кимёвий реакцияларни кучайтиришда диэлектрик исрофлардан фойдаланилади.

Диэлектрик материаллар. Диэлектрик материалга унинг асосий электр хоссаларига биноан умумий баҳо бериш мумкин, масалан, яхши материалнинг электр мустаҳкамлиги юқори, электр ўтказувчанлиги паст, диэлектрик исрофлари кам бўлиши керак. Баъзи ҳолларда диэлектрик сингдирувчанликнинг қиймати ёки унинг ташқи электр майдон кучланганлигига боғлиқлиги муҳим аҳамиятга эга бўлади.

Лекин конкрет шароит учун диэлектрик материал танлашда бошқа физик ва кимёвий хоссалар, яъни механик мустаҳкамлик, қаттиқлик, эластиклик, қовушоқлик, гигроскопиклик ва нам сингдирувчанлик, иссиқбардошлилик ва совуққа чидамлилик, радиацияга чидамлилик ва бошқа хоссаларни ҳам эътиборга олиш зарур.

Технологик ва иқтисодий сифатлар ҳам муҳим аҳамиятга эга, изоляцион деталлар ва конструкцияларни тайёрлаш усуллари, бирор ишлов бериш турини қўллаш мумкинлиги, изоляцион қопламаларни қоплаш, шунингдек, материалларнинг нархи ва камёблиги ана шу сифатларга қараб аниқланади.

Диэлектрикларнинг электр-изоляцион, механик ва бошқа хоссалари уларнинг кимёвий табиатига боғлиқ ва шу муносабат билан улар органик ва анорганик диэлектрикларга бўлинади.

Кўпчилик органик материаллар электротехникада кенг кўламда ишлатилади, чунки электр-изоляцион хоссалари қониқарли бўлиши билан бирга механик хоссалари ва технологик сифати, яъни эгилувчанлиги, эластиклиги яхши, улардан тола, лента, плёнка ва бошқа турли-туман шаклли буюмларни ясаш ва ишлатиш имконияти бор. Лекин, уларнинг иссиққа чидамлилиги нисбатан кичик бўлганлиги сабабли уларни ишлатиш чекланган.

Ишлаш температураси юқори бўлган электр изоляция учун анорганик моддалардан тайёрланган материаллар ишлатилади, уларнинг кўпчилиги эгилувчан ва

эластик бўлмайди, ишлов бериш учун эса анча мураккаб технология талаб қилинади.

Электр амалиётида хоссалари жиҳатидан органик ва анорганик материаллар ўртасида оралиқ ҳолатни эгаллайдиган электр-изоляцион материаллар ҳам ишлатилади, улар органик асосда сунъий тайёрланган бўлиб, молекуласига одатда органик моддаларга кирмайдиган атомлар киритилган бўлади.

Электр изоляцион материаллар агрегат ҳолатига кўра газ ҳолатдаги суюқ ва қаттиқ материалларга бўлинади. Қотадиган материаллар алоҳида гуруҳни ташкил этади, улар бошланғич ҳолатда ва изоляцияни тайёрлаш вақтида суюқликлар бўлиб, сўнгра қотади ва ишлатиш вақтида қаттиқ жисмлар ҳисобланади.

Газ ҳолатдаги диэлектриклар. Газ ҳолатдаги диэлектриклардан энг катта аҳамиятга эга бўлгани ҳаво, у ҳамма жойда тарқалганлиги сабабли кўпчилик электр ва радиотехник қурилмалар электр изоляцион системасининг бир қисми ҳисобланади.

Ҳавонинг диэлектрик сингдирувчанлиги вакуумнинг диэлектрик сингдирувчанлигидан ($\varepsilon_r = 1$) кам фарқ қилади, нормал шароитда электр ўтказувчанлик ва диэлектрик исрофларнинг қийматлари жуда кичик бўлади.

Ҳавонинг электр пухталиги кўпчилик суюқ ва қаттиқ диэлектрикларникига нисбатан бир неча марта кичик бўлади (2-иловадаги II.1-жадвалга қ.).

Электр изоляцияси сифатида ҳаводан ташқари инерт газлар (неон, аргон, криптон), водород, азот, карбонат ангидрид ва б. ҳам ишлатилади.

Суюқ диэлектриклар. Суюқ ҳолдаги электр изоляцион материаллар сифатида нефтдан олинадиган электр изоляцион мойлар, айрим синтетик суюқликлар ишлатилади.

Суюқ диэлектрикларни ишлатиш қаттиқ диэлектрикларни ишлатишга нисбатан кўпчилик ҳолларда конструктив жиҳатдан анча мураккаб бўлади. Лекин суюқ диэлектриклар электр изоляцияси вазифасини бажариш билан бирга қаттиқ материаллар ёрдамида ҳал қилиш қийин ёки мумкин бўлмаган бошқа масалаларни ҳам бир йўла ҳал қилишга имкон беради.

Мой тўлдирилган трансформатор (7.7-расмга қ.) да мой фақат изоляция вазифасини бажарибгина қолмай, яхши иссиқлик ўтказувчи муҳит ҳам ҳисобланади:

юқори вольтли мойли узгичда мой электр ёйни сўндиришда актив роль ўйнайди.

Мой толали қаттиқ материаллар (қоғоз, тўқима, газлама ва ҳ.) га яхши шимилади, конструктив элементлар орасидаги бўшлиқни тўлдиради, бу билан шу қурилманинг электр изоляциясини анча яхшилайди.

Синтетик суюқ диэлектриклардан хлорлаплан углеводородлар (жумладан, совол, совтол, гексол), кремний-органик суюқликлар энг кўп ишлатилади.

Суюқ диэлектрикларнинг электр изоляцион хоссалари намланганда ва ифлосланганда анча пасаяди.

Қаттиқ диэлектриклар. Кўпчилик қаттиқ диэлектриклар электр изоляция вазифасини бажариш билан бирга уларга механик куч ҳам тушади.

Толали электр изоляцион материаллар турли хил моддалар — органик (ўсимликлардан олинадиган, синтетик) ва анорганик моддалар (шиша, асбест) нинг толаларидан тайёрланади.

Монтаж ва чулғам симлари, кабеллар, электр машина ва аппаратларнинг электр изоляцияси учун тўқима, газлама, қоғоз, картон ишлатилиб, кейин уларга махсус шимдириш таркиблари шимдирилади.

Толали материаллар электр изоляцион материалларнинг бошқа турлари (локланган газламалар, қатламли пластиклар, эластик найлар ва б.) ни ишлаб чиқаришда асос ҳисобланади.

Шимдириладиган, қуйиладиган, қопланадиган материаллар асосида табиий ва сунъий юқори молекулали моддалар, шу жумладан смолалар, битумлар, мумлар бўлади. Улар толали материалларга шимдириш, электр қурилмаларнинг айрим элементларига қуйиш (герметиклаш), қатламли пластиклар тайёрлаш учун ишлатилади. Қоплама материалларнинг (асос — ўсимлик мойлари, нефтдан олинадиган моддалар) ўзига хос хусусияти шундан иборатки, улар изоляцияланадиган юзага суртилгандан кейин электр изоляция хоссалари яхши бўлган юпқа эгилувчан қаттиқ парда ҳосил қилади.

Қатламли пластиклар қоғоз (гетинакс, асбогетинакс) газламалар (текстолитлар), ёғоч шпонига (ёғоч тола пластик) турли хил боғловчиларни қўшиб пресслаш йўли билан тайёрланади. Қатламли пластиклар механик мустаҳкамлиги анча катта бўлган листлар, цилиндрлар, найлар кўринишида ишлаб чиқари-

лади. Улар панеллар, босма схемаларнинг асослари, каркаслар, турли хил қистирмалар ва бошқа деталлар тайёрлашда электр изоляцион ва конструкцион материаллар сифатида ишлатилади.

Пластмассалар боғловчилар (асосан синтетик полимерлар) асосида турли-туман тўлдирувчилар (органик ва анорганик) қўшиб ва қўшмасдан тайёрланади.

Пластмассалардан пресслаш ва қуйиш усуллари билан яхши электр, механик ва физик хоссаларни ўзида мужассамлаштирган турли хил шаклдор деталь ва узеллар тайёрланади. Пластмассалар кўп миқдорда паст вольтли аппаратура (штепсель қисмлари, электр лампочкалар ўрнатиладиган патронлар ва ҳ.) тайёрлашга кетади.

Электр изоляцион плёнкалар баъзи синтетик полимерлардан ва целлюлоза эфирларидан тайёрланади. Конденсаторлар тайёрлашда асосий диэлектрик сифатида, электр машина ва аппаратлар чулғамларини, сим ва кабелларни изоляциялаш учун ишлатилади. Кўпчилик ҳолларда улар толали асос билан бирга ишлатилади.

Резина — натурал ёки синтетик каучукдан вулканлаш усули билан олинадиган материал. Резиналарнинг эластиклиги ва эгилувчанлиги юқори бўлади, сим ва кабелларнинг электр изоляцияси сифатида эгилувчан найлар, зичловчи қистирмалар учун ишлатилади.

Слюда ва слюдали электр изоляцион материаллар соф ҳолда конденсаторларнинг асосий диэлектриги сифатида, электрон лампаларда электродлар орасини изоляциялашда ишлатилади. Слюда турли хил толали ва ёпиштирувчи моддалар билан бирга электр изоляция сифатлари юқори бўлган материаллар тайёрлаш учун ишлатилади. Шу билан бирга слюдали материалларнинг иссиққа чидамлилиги юқори бўлади. Улар ишончлилиги юқори бўлиши зарур бўлган ҳолларда электр машина ва аппаратлар изоляциясини тайёрлаш учун ишлатилади.

Керамик материаллардан электр изоляцион деталлар ва конструкциялар (электр изоляторлар, ғалтакларнинг каркаслари, штепсель қисмлари, лампа панеллари ва ҳ.) тайёрлаш учун фойдаланилади, улар қолиплаш ва кейин куйдириш йўли билан тайёрланади.

Шиша электр ёритиш лампаларининг колбаларини, электровакуум асбоблар, шиша толали материаллар (тола, тўқима, газлама, қоғоз) тайёрлаш учун ишлатилади.

Сегнетоэлектриклар ва электретлар қутбланиш жараёнида ўзига хос хусусиятлари бўлган қаттиқ диэлектрикларнинг алоҳида гуруҳини ташкил этади.

Сегнетоэлектриклар (сегнет тузининг номидан олинган) учун қутбланишнинг домена типи хосдир, бу шуниси билан фарқ қиладики, ташқи электр майдон қўйилгунга қадар диэлектрикда алоҳида қутбли молекулалар эмас, балки ўз-ўзидан қутбланадиган бутун бир соҳалар (доменлар) бўлади. Ташқи электр майдон таъсирида доменлар бир хилда шундай ориентирланадики, диэлектрикда катта қутбланган заряд ва катта электр момент вужудга келади. Демак, бундай материалларнинг диэлектрик сингдирувчанлиги жуда катта бўлади. Бундан ташқари, диэлектрик сингдирувчанликнинг электр майдон кучланганлигига тўғри чизиқли боғланишда эмас, ташқи электр майдони олингандан кейин эса сегнетоэлектрикларда қутбловчи заряд нолгача камаймайди, яъни қолдиқ қутбланувчанлик кузатилади.

Анчагина қолдиқ қутбланувчанликни узоқ вақт сақлаб турадиган диэлектриклар электретлар дейилади.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Электростатик индукция ҳодисасидан амалда бирор қурилмани ташқи электр майдони таъсиридан муҳофаза қилиш учун фойдаланилади. Электростатик экранлаш (тўсиш) дейиладиган муҳофаза усулининг моҳияти нимадан иборат?

2. Агар зарядланган пластинкалар орасидаги ҳаво бўшлиғи парафин билан тўлдирилса, улар орасидаги электр майдон кучланганлиги қандай ўзгаради?

3. Ишчи кучланиши бир хил бўлганда электр кабелнинг ток ўтказувчи симлари орасидаги масофа ҳаво йўли симлари орасидаги масофадан нима учун анча кам бўлади?

4. Зарядланган пластинкалар орасидаги изоляция диэлектрикларнинг иккита қатламидан таркиб топган. бунда $\varepsilon_{r1} > \varepsilon_{r2}$. Қайси қатламда электр майдон кучланганлиги катта бўлади?

5. Баъзи моддаларнинг диэлектрик исрофлар ҳисобига исишидан уларни қуритиш учун фойдаланилади. Нима учун бундай ҳолларда кўпинча юқори частотали кучланишда ишлайдиган қурилмалар ишлатилади?

1.3-масала. Ясси параллел пластинкалар орасидаги изоляция қалинлиги $d=0{,}5$ см бўлган слюдадан иборат ва унинг электр мустаҳ-

камлиги тўрт марта катта. Пластинкалар орасидаги ишчи кучланишни аниқланг. Худди шу ишчи кучланишда тўрт марта кўп мустаҳкамликни таъминлайдиган картон изоляциянинг қалинлигини топинг.

1.4-масала. Металл пластинкалар (электродлар) орасидаги кучланиш $U = 15$ кВ. Изоляция қуйидагилардан тайёрланган бўлса, пластинкалар орасидаги изоляциянинг электр мустаҳкамлиги заҳирани аниқланг: а) битта қатлам қалинлиги $d = 0.5$ см бўлган картон; б) битта ҳаво қатлами $d = 1.5$ см; в) иккита қатлам — қалинлиги $d_1 = 0,5$ см бўлган картон ва $d_2 = 1,5$ см ли ҳаво.

Кўрсатма. Икки қатламли изоляцияда электр майдон кучланганлиги қуйидаги формулалардан аниқланади:

$$E_1 = \frac{U\varepsilon_{r2}}{d_1\varepsilon_{r2} + d_2\,\varepsilon_{r1}}; \quad E_2 = \frac{U\varepsilon_{r1}}{d_1\varepsilon_{r2} + d_2\,\varepsilon_{r1}}.$$

1.3-§. ЭЛЕКТР СИҒИМ. КОНДЕНСАТОРЛАР

Электр заряди бор ўтказгичлар электр майдон манбалари ҳисобланади. Ўтказгичнинг заряди ўзгарганида иш бажарилади, шу сабабли ўтказгичнинг потенциали ҳам тегишлича ўзгаради.

Ўтказгичнинг электр зарядини тўплаш хусусияти унинг сиртининг шакли ва ўлчамларига, ўтказгичлар орасидаги масофага (агар майдонни бир гуруҳ ўтказгичлар вужудга келтирган бўлса), ўтказгичлар жойлашган муҳитнинг хоссаларига боғлиқ.

Бу боғлиқликни ифодалаш учун электр сиғим тушунчаси киритилган.

Ўтказгич ва ўтказгичлар орасидаги электр сиғими. Ўтказгичнинг электр сиғими ўтказгичнинг электр зарядини тўплаш хусусиятини кўрсатадиган катталик, сон жиҳатдан ўтказгич зарядининг унинг потенциалига нисбатига тенг:

$$C = Q/V, \tag{1.7}$$

бунда C — электр сиғими, Ф (фарад).

Зарядланган ўтказгичлар системасида улардан ҳар бирининг заряди ва потенциалига бошқа ўтказгичларнинг шакли, жойлашуви ва зарядининг катталиги таъсир этади. Бу ҳолда ўтказгичлар орасидаги сиғим тушунчаси қўлланилади. Амалда зарядлари катталиги жиҳатидан тенг, лекин ишораси жиҳатидан қарама-қарши бўлган икки ўтказгичдан иборат система энг катта аҳамиятга эга. Бундай системаларга электр тармоғининг ҳаводаги икки сими (12.5-расмга қ.), электр кабелининг икки сими, кабелнинг битта сими билан унинг

зирҳ қопламаси (2.3-расмга қ.), электрон лампанинг икки электроди ва ҳ. мисол бўлади.

Икки ўтказгич орасидаги электр сиғими битта ўтказгич электр зарядининг (Q) шу ўтказгичлар орасидаги потенциаллар айирмасига (U) нисбатига тенг:

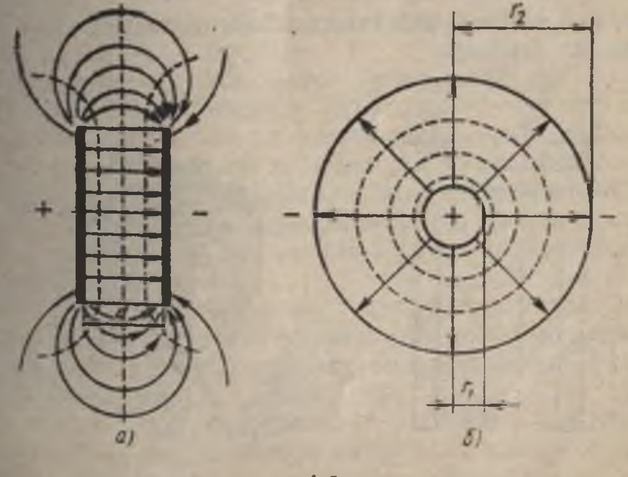
$$C = Q/(V_1 - V_2) = Q/U.$$

Электр конденсаторлар. Илгари айтиб ўтилган ҳолларда ўтказгичлар орасидаги электр сиғими махсус ҳосил қилинмайди: у электр қурилмаларининг конструкцияси билан аниқланади ва электр қурилмаларини, айниқса радиотехник қурилмаларни ҳисоблаш, монтаж қилиш ва ишлатишда бу сиғимни эътиборга олишга тўғри келади.

Лекин электротехника, радиотехника, электроникада махсус қурилган ва электр майдон вужудга келтириш ҳамда унинг энергиясини сақлаш учун мўлжалланган электр сиғимли қурилмалар кўп ишлатилади.

Электр занжирнинг унинг электр сиғимидан фойдаланишга мўлжалланган элементи э л е к т р к о н д е н с а т о р дейилади.

Электр конденсаторлар тебраниш контурлари, кучланиш ва қувват кучайтиргичлари, электр фильтрлар ҳамда радиотехник ва электрон аппаратуранинг бошқа элементлари ва узеллари схемаларига киради. Ўзгарувчан ток электр тармоқларида конденсаторлар реактив



1.6-расм

қувватни компенсациялаш учун ишлатилади (12.4-§ га қ.).

Электр конденсаторнинг иккита ўтказгичи бўлади (улар баъзан қопламалар дейилади), улар бир-биридан диэлектрик билан ажратилган; ўтказгичларнинг шаклига қараб конденсаторлар ясси (1.6-расм, *а*) ва цилиндрсимон (1.6-расм, *б*) бўлади.

Ясси конденсаторнинг сиғимини аниқлаш учун (1.5) ва $E=\sigma/\varepsilon_0$ формуладан (1.1-жадвалга қ.) фойдаланамиз, кейинги формуладан фойдаланганда электр доимийси ε_0 ни диэлектрикнинг диэлектрик сингдирувчанлиги ε_a билан алмаштирамиз:

$$E=\sigma/\varepsilon_a; \quad U/d=\sigma/\varepsilon_a,$$

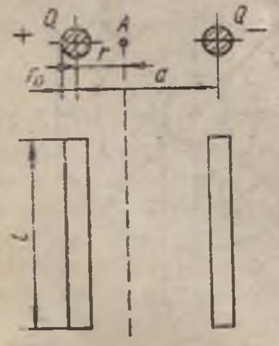
бунда d — конденсатор қопламалари орасидаги масофа. Тенгликнинг иккала қисмини S га (S — битта қопламанинг юзаси) кўпайтириб, ясси конденсатор сиғимининг ифодасини оламиз:

$$C=Q/U=\varepsilon_a S/d. \quad (1.9)$$

Цилиндр шаклидаги конденсатор сиғимини (1.10) формула, икки симли ҳаво линиясининг (1.7-расм) сиғимини эса (1.11) формула ифодалайди:

$$C=\frac{2\pi\varepsilon_a l}{\ln\frac{r_2}{r_1}}, \quad (1.10)$$

бунда l — цилиндр шаклидаги конденсаторнинг ёки линия қисмининг узунлиги



1.7-расм

1.8-расм

$$C=\frac{\pi\varepsilon_a l}{\ln\frac{a}{r_0}}, \quad (1.11)$$

бунда r_1, r_2 — ички ва ташқи қопламаларнинг радиуслари; a — линия симларининг ўқлари орасидаги масофа: r_0 — симнинг радиуси.

Конденсаторлар тайёрлаш учун ишлатиладиган диэлектрикларнинг диэлектрик сингдирувчанлиги электр майдон кучланганлиги қандайлигидан қатъи назар, кўпчилик ҳолларда ўзгармас қийматга эга бўлади. Шу сабабли конденсаторлар сиғимининг катталиги ҳам ўзгармас бўлади.

Сигнетоэлектрикларда ε_a электр майдон кучланганлигига боғлиқ бўлади, шу сабабли сегнетоэлектрикли конденсаторларнинг (варикондлар) вольт-кулон характеристикаси чизиқлимас $Q=f(U)$. Улар автоматика ва радиотехникада ўзгармас ва ўзгарувчан ток диэлектрик кучайтиргичларининг схемаларида, частота кўпайтиргичлар ва тақсимлагичларда, кучланиш стабилизаторларида ва ҳ. ишлатилади.

Қандай мақсадга мўлжалланганига, ишчи характеристикалари (сиғим, кучланиш, частота катталиклари) га қараб саноатда конструкцияси ва материаллари жиҳатидан бир-биридан фарқ қиладиган қоғозли, электролитик ва б. конденсаторлар ишлаб чиқарилади.

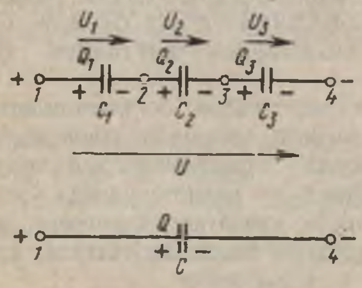
Қоғозли конденсаторларда ўтказгичлар алюминий зарқоғознинг иккита узун лентасидан иборат бўлиб, улар парафинланган қоғоз ленталар билан изоляцияланган бўлади (1.8-расм).

Электролитик конденсатор қопламаларининг бири ҳам алюминийли зарқоғоз *2* дан, иккинчи қоплам эса электролит шимдирилган қоғоз ёки газлама *1* дан иборат бўлади. Алюминий зарқоғоздан қилинган қоплама юзасидаги юпқа оксид қатлам изоляция бўлиб ҳисобланади. Электролитик конденсаторлар қопламаларнинг доимий қутблилиги шароитида (ўзгармас ток занжирларида) ишлайди.

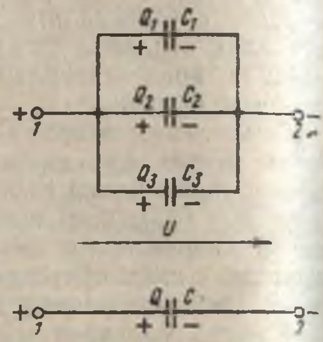
Конденсаторларни улаш. Амалда баъзан конденсаторларни батарея қилиб улаш зарур бўлиб қолади, бунинг учун кетма-кет, параллел ва аралаш улаш схемалари қўлланилади.

Ҳар қайси конденсаторнинг бошқа элементларга улаш учун мўлжалланган иккита ташқи клеммаси (қисма) бўлади (бошланиши «Н», охири «К»).

Схемада (1.9- расм) кейинги конденсаторнинг боши олдинги конденсаторнинг учига уланган (кетма-кет улаш). Манба четки конденсаторларнинг қопламаларига уланган, ички конденсаторлар эса манбага бевосита уланмаган ва электростатик индукция йўли билан зарядланади. Шунинг учун барча конденсаторлар гуруҳи ва ҳар бир конденсаторнинг заряди бир хил бўлади:



1.9- расм



1.10- расм

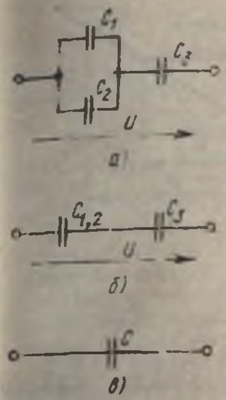
$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3.$$

Схема ва ҳисоблашларни соддалаштириш учун конденсаторлар гуруҳини эквивалент сиғим C ли битта конденсатор билан алмаштириш мумкин. Бу ҳолда умумий кучланиш U конденсаторлар орасида уларнинг сиғимига тескари пропорционал равишда тақсимланади (1.8- формулага қ.) ва шу конденсаторлардаги кучланишлар йиғиндисига тенг бўлади: $U = U_1 + U_2 + U_3$.

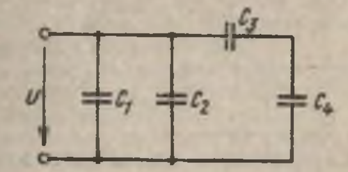
Бу тенгликка (1.8) формуладаги кучланишлар ифодасини қўйиб, кейин ифодани Q га қисқартирилгандан кейин эквивалент сиғимни аниқлаш ифодасини оламиз:

$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3. \qquad (1.12)$$

Схемада (1.10- расм) гуруҳ конденсаторлари битта қопламаси билан умумий нуқта *1* да, иккинчи қопламаси билан эса умумий нуқта *2* да бирлаштирилган. Бу нуқталарга манба кучланиши келтирилади. Бундай улашда (параллел) ҳам конденсаторлар гуруҳини C эквивалент сиғимли битта конденсаторга алмаштириш мумкин.



1.11- расм



1.12- расм

Ушбу схемада гуруҳ конденсаторларининг ҳаммасида қопламалари орасидаги кучланиш бир хил, U зарядлари эса турлича, уларнинг сиғимига пропорционал бўлади (1.8 формулага қ.).

Ҳар қайси конденсатор бошқаларига боғлиқ бўлмаган ҳолда заряд олади, шу сабабли умумий заряд алоҳида конденсаторлар зарядларининг йиғиндисига тенг бўлади:

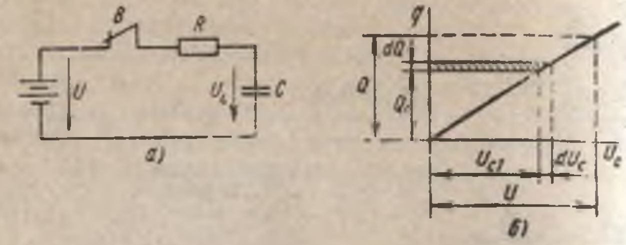
$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3.$$

Бу ерга (1.8) формуладаги зарядлар ифодасини қўйиб ва U га қисқартириб, эквивалент сиғимни аниқлаш формуласини оламиз:

$$C = C_1 + C_2 + C_3. \qquad (1.13)$$

Схемаларда (1.11- расм, *а*, 1.12- расм) конденсаторлар кетма-кет ва параллел уланган (аралаш улаш) қисмлар бор. Конденсаторларнинг бундай гуруҳини сиғими C бўлган эквивалент конденсаторга алмаштириш мумкин (1.11- расм, *б*, *в*).

Электр майдон энергияси. Электр майдоннинг энергияси бўлади, бу энергия электр қурилмада заряд ҳосил бўлишида тўпланади. Бундай қурилмага электр конденсатор яққол мисол бўлади; унинг ўзгармас кучланиш U ли электр энергия манбаидан R қаршиликли резистор орқали зарядланиш схемасини кўриб чиқамиз (1.13- расм, *а*). Конденсатор заряди зарядланган заррачаларнинг ташқи энергия манбаи таъсири остида бир қопламадан иккинчисига ўтишидан ҳосил бўлади. Бундай манба энергиясининг бир қисми заряд ҳосил бўли-



1.13- расм

шига сарфланади ва конденсаторда электр майдо энергияси сифатида тўпланади, иккинчи қисми эса резистор ва туташтирувчи симларда иссиқликка айла нади.

Заряд бирлигини силжитишда бажарилган иш қий мати қопламалар орасидаги кучланиш U_s га тенг. Агар бу кучланиш зарядлаш жараёнида ўзгармаган бўлса у ҳолда энергияни кучланишнинг зарядга кўпайтмаси дан аниқлаш мумкин бўлур эди (1.4- формулага қ. Лекин заряднинг тўпланиш жараёнида кучланиш ҳа ортиб боради, шу сабабли заряд ҳосил бўлишига сарф ланган энергияни аниқлашда кучланиш билан заря орасидаги боғланишни ҳам эътиборга олиш керак: б боғланиш конденсатор сиғимининг катталиги C ўзгар мас бўлганда график равишда тўғри чизиқ билан ифо даланади (1.13- расм *б*).

Заряд Q_1 жуда кичик қиймат dQ га (шу қадар кичикк унинг ўзгариш чегарасида кучланишни ўзгармас деб ҳисоб лаш мумкин) ортган деб фараз қилайлик: $U_s = U_{s1} \cdot (dU_s \to 0)$. Бу ҳолда заряд dQ га ортганида бажарилган иш уш бу кўпайтма билан аниқланади: $U_s = U_{s1}\, dQ$. 1.13- расм, да иш штрихланган юза элементи билан кўрсатилган.

Заряд ҳосил бўлишига сарфланган барча ишни заряднинг 0 дан Q гача ва кучланишнинг 0 дан $U_C = U$ гача ўзгариш чегарасидаги юза элементларини қўшиш, яъни тўғри бурчак ли учбурчакнинг юзи билан аниқлаш мумкин: $W_э = UQ/2$ (1.7) формулани ҳисобга олсак, конденсатор электр майдони нинг энергияси учун яна иккита ифода оламиз:

$$W_э = UQ/2 = CU^2/2 = Q^2/2C. \quad (1.1$$

1. 2- иловадаги II. 1- жадвалда кўрсатилган диэлектриклардан қайси бири бошқа шароитлар бир хил бўлганда конденсаторнинг энг катта электр сиғимини ҳосил қила олади?

2. Конденсаторнинг сиғими заряднинг кучланишга нисбати билан ифодаланади (1.8- формулага қ.). Шу билан бирга (1.9)—(1.11)- формулалар конденсаторларнинг сиғими заряд ва кучланишга боғлиқ эмаслигини кўрсатади. Бу ҳолни қандай тушунтириш керак?

3. $Q = f(U)$ вольт-кулон характеристикага боғлиқ ҳолда чизиқли ва чизиқлимас конденсаторлар бўлади. Бу турлардаги конденсаторларнинг бир-биридан асосий фарқи нималан иборат?

4. Радиотехникада ростланадиган сиғимли конденсаторлар кенг кўламда ишлатилади. Ростланадиган ва чизиқлимас конденсаторларнинг бир-биридан фарқи нимадан иборат?

5. Учта конденсаторни кетма-кет, параллел ва аралаш уланишли схемалар бўйича улаш мумкин. Бир хил C сиғимли учта конденсатордан нечта уланиш схемасини тузиш мумкин ва улардан қайси бирининг эквивалент сиғими энг кичик бўлади?

1.5- масала. Агар конденсатор қопламаларининг юзаси $S = 200$ см^3, заряднинг сирт зичлиги $\sigma = 4.10^{-8}$ Кл/см^2 бўлса, шу ясси конденсатор электр майдонининг кучланганлиги ва сиғимини аниқланг. Қопламалар орасидаги кучланиш $U = 1000$ В. Масалани икки ҳол учун ечинг: а) ҳаво конденсатори; б) қопламалар орасидаги диэлектрик — мой шимдирилган қоғоз ($\varepsilon_r = 10$).

1.6- масала. Сиғими 4 мкФ бўлган тўртта конденсатордан схемаларнинг иккита варианти тузилган: а) C_1 ва C_2 ўзаро параллел, C_3 ва C_4 эса кетма- кет уланган: бу иккита гуруҳ кириш қисқичларига нисбатан параллел уланган;

б) C_1 ва C_2 ўзаро кетма- кет, C_3 ва C_4 эса параллел уланган; бу иккала гуруҳ кириш қисқичларига нисбатан кетма- кет уланган. Агар иккала схемада заряд $Q_3 = 8 \cdot 10^{-5}$ Кл бир хил бўлса, кучланишни, ҳар қайси конденсаторнинг ва барча занжирнинг зарядини аниқланг.

2- БОБ.

ЎЗГАРМАС ТОК ЭЛЕКТР ЗАНЖИРЛАРИ

Электр энергияни ҳосил қилиш, узатиш ва тақсимлаш, уни энергиянинг бошқа турларига айлантириш электр токи ҳодисаси билан боғлиқ. Бу энергетик ўзгаришлар электр занжирларда содир бўлади.

Электр занжир бу электр токи учун йўл ҳосил қиладиган қурилма ва объектлар мажмуидир. Электр занжирлардаги электромагнит жараёнларни, электр юритувчи куч, ток ва кучланиш тушунчалари ёрдамида баён қилиш мумкин.

Рус электротехникасининг отаси ҳисобланган академик В. В. Петров (1761—1834) электр ёйи ҳодисасини кашф қилди ва уни металларни суюқлантириш,

электр пайванд учун биринчи марта татбиқ этди, бу билан электрдан амалда фойдаланишга асос солди.

Электр занжирлар ўзгармас ва ўзгарувчан токлар нинг электр занжирларига бўлинади. Ушбу бобда ўзгармас ток занжирлари ва иккала хил занжирларга тегишли баъзи умумий масалалар кўриб чиқилган.

2.1-§. ЭЛЕКТР ТОКИ

Электр токи тегишли шароитда қайси турдаги моддада пайдо бўлганлигига қараб, бир неча хил бўлади. Моддалар электр ўтказувчанлик даражасига кўра ўтказгичлар, ярим ўтказгичлар ва ток ўтказмайдиганларга ва (диэлектрикларга) бўлинади. Ушбу параграфда ўтказгичлардаги ток ва диэлектриклардаги кўчиш токи кўриб чиқилган.

Ўтказувчан электр токи. Ўтказгичларда электр токи электр зарядининг эркин ташувчиларини ҳосил қилади. Металларда — булар эркин электронлар, электролитларда (туз, кислота, ишқор эритмаларида) — зарядланган атом ва молекулалар (ионлар). Металларнинг электр ўтказувчанлиги *электронли*, электролитларнинг эса *ионли ўтказувчанлик* дейилади.

Агар ўтказгичда электр майдон сақлаб турилса, бетартиб иссиқлик ҳаракатида иштирок этаётган эркин зарядланган заррачалар (электронлар, ионлар) электр майдон таъсир кучи $F_э$ йўналишида (кучланганлик чизиғи бўйлаб) тезлик олади. Бу ҳолда заррачалар асосан битта йўналишда: мусбат заррачалар майдон йўналиши бўйлаб, манфий заррачалар тескари томонга ҳаракат қилади.

Электр токини фақат ўтказгичда эмас, балки агар зарур шароит яратилса, вакуумда ҳам ҳосил қилиш ва сақлаб туриш мумкин.

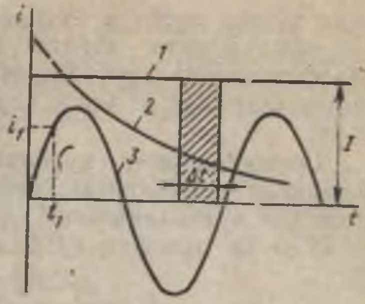
Модда ёки вакуумда электр заряди эркин ташувчиларининг бир йўналишда ҳаракатланиш ҳодисаси ўтказувчанлик электр токи дейилади.

Ўтказувчанлик токининг қиймати ўтказгичнинг кўндаланг кесимидан вақт бирлигида ўтадиган барча заррачаларнинг йиғинди электр заряди Q билан аниқланади:

$$I = Q/t, \tag{2.1}$$

бунда I — ток, А (ампер); t — вақт, с (секунд).

Амалий ҳисобларда электр токининг зичлиги тушунчаси



2.1-расм

дан фойдаланилади, у ўтказгичдаги токнинг унинг кўндаланг кесим юзасига нисбати билан ифодаланади:

$$J = I/S \tag{2.2}$$

бунда J — электр токининг зичлиги, А/м²; S — ўтказгичнинг кўндаланг кесим юзаси, м².

Вақт ўтиши билан ўзгармайдиган электр токи **ў з г а р м а с** ток, вақт ўтиши билан ўзгарадиган ток эса **ў з г а р у в ч а н** ток дейилади.

2.1-расмда ўзгармас ток (*1* эгри чизиқ) ва ўзгарувчан токларнинг графиклари (*2*, *3* эгри чизиқлар) кўрсатилган. Ўзгарувчан ток графигида ординаталар ўқи бўйлаб токнинг оний қийматлари қўйилади, улар элементар заряд ΔQ нинг чексиз кичик вақт оралиғида ўзгариши билан аниқланади:

$$i = dQ/dt. \tag{2.3}$$

3-эгри чизиқда t_1 вақт моментидаги оний ток i_1 кўрсатилган. Ўзгармас токда зарядланган заррачаларнинг ҳаракатланишига қарамай, ўтказгичда заряднинг тақсимланиши ўзгармас бўлади, чунки ҳажмнинг исталган элементида маълум вақт оралиғида чиқиб кетадиган ва келадиган заррачаларнинг заряди бир хил бўлади.

Бу ҳолда вақт ўтиши билан ўзгармайдиган электр токи **с т а ц и о н а р э л е к т р м а й д о н** (токли ўтказгич кўзғалмас бўлганда) ни ҳосил қилади. У электростатик майдондан ҳаракатланаётган заряд ташувчилар билан боғлиқлиги жиҳатдан фарқ қилади, лекин миқдорий характеристикалари бир хил бўлади, чунки заряд катталиги ўзгармайди. Шу сабабли кейинчалик ўзгармас токларни кўриб чиқишда электростатик майдон учун олинган баъзи ифодалардан фойдаланилган.

Диэлектрикдаги кўчиш электр токи. Ташқи электр майдон таъсирида диэлектрикда ўтказувчанлик токи жуда кичик (ишчи кучланиш ва температурада), диэлектрикнинг исталган ажратилган ҳажмида заряднинг асосий ўзгариши боғланган зарядланган заррачалар-

нинг кўчиш оқибати эканлиги илгари таъкидлаб ўтилган эди. Электр майдон кучланганлиги ўзгарганида диэлектрикнинг қутбланиши ўзгаради, зарядланган заррачаларнинг кўчиши эса электр токини ҳосил қилади.

Диэлектрикнинг қутбланиши ўзгарганида ундаги боғланган зарядланган заррачаларнинг ҳаракатланиш ҳодисаси қутбланишнинг электр токи дейилади.

(2.3) га мувофиқ қутбланиш токи

$$i_n = \frac{dQ}{dt} = \frac{d(\sigma S)}{dt} = S\frac{d\sigma}{dt},$$

бунда σ — диэлектрикда заряднинг кўчиш зичлиги.

Электр ўтказувчанлик ва ўтказгичларнинг қаршилиги. Тажрибаларда шу нарса аниқланганки, электр токининг зичлиги электр майдон кучланганлиги E га пропорционал ва ўтказувчан модданинг хоссаларига боғлиқ; бу хоссалар ушбу ҳолда солиштирма электр ўтказувчанлик γ катталиги билан ифодаланади:

$$J = \gamma E. \quad (2.4)$$

Солиштирма электр ўтказувчанлик электр ўтказувчанликни, яъни модданинг ўзгармайдиган электр майдон таъсири остида ўзгармайдиган электр токи ўтказиш хоссасини характерлайди.

Амалий мақсадлар учун ўтказгичдаги ток қийматини аниқлаш аҳамиятлидир, бунинг учун ўтказгичнинг шакли ва ўлчамлари: узунлиги l, кўндаланг кесим юзаси S маълум бўлиши керак. Бир меъёрдаги электр майдон сим бўйлаб йўналган, деб фараз қилайлик, у ҳолда сим учлари орасидаги потенциаллар айирмасини $U = El$ формула билан ифодалаш мумкин.

Ток ўтказгич кесими бўйлаб бир текис тақсимланганда ток зичлигининг электр майдон кучланганлигига боғлиқлигини эътиборга олсак, $J = I/S = \gamma U/l$ ни ҳосил қиламиз. Бундан берилган ўлчамдаги симнинг электр ўтказувчанлигини ифодалайдиган формула келиб чиқади:

$$G = I/U = \gamma S/l, \quad (2.5)$$

бунда G — электр ўтказувчанлик, См (сименс).

γ нинг қиймати ўзгармас бўлганда G катталик ҳам ўзгармас бўлади. Шу сабабли симдаги ток унинг учлари орасидаги кучланишга пропорционал. Электр ўт-

казувчанликка тескари катталик симнинг электр қаршилиги R ни, солиштирма электр ўтказувчанликка тескари катталик эса сим материалининг хоссаларини характерлайди ва солиштирма электр қаршилик $\rho = 1/\gamma$ дейилади.

Бу таъриф ва белгиланишларни эътиборга олиб, ўзгармас ток электр занжирлари учун бошқа ҳисоблаш формулаларини ҳосил қиламиз:

$$R = 1/G = \rho l/S, \quad (2.6)$$

$$I = U/R \quad (2.7)$$

бунда R — электр қаршилик, Ом.

(2.7) формула Ом қонунини ифодалайди. Ўтказгичдаги ток унинг учлари орасидаги кучланишнинг ўтказгичнинг қаршилигига нисбатига тенг.

Физика курсидан маълумки, ўтказгичларнинг электр қаршилиги уларнинг температурасига боғлиқ. Бу боғлиқлик қуйидаги формула билан ифодаланади:

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)], \quad (2.8)$$

бунда R_1, R_2 — ўтказгичнинг бошланғич (t_1) ва охирги (t_2) температуралардаги қаршилиги; α — қаршиликнинг температура коэффициенти (1 / °C).

Электр занжирларининг барча элементларида (симлар ва кабеллар электр машиналар, аппаратлар, асбобларнинг чулғамлари ва х.) электр қаршилик (оз ёки кўп) бўлади. Бу ҳолларда қаршилик олдиндан мўлжаллаб ҳосил қилинмайди, балки материалларнинг хоссалари туфайли пайдо бўлади.

Лекин электротехникада, радиотехникада, электроникада махсус яратилган ва электр занжирларда фойдаланиш учун мўлжалланган электр қаршиликли қурилмалар кенг кўламда ишлатилади.

Электр занжирнинг электр қаршилигидан фойдаланишга мўлжалланган элементи резистор деб аталади.

Агар резисторнинг ток ўтказувчи элементи солиштирма электр ўтказувчанлик қиймати ўзгармас, ток ёки кучланишга боғлиқ бўлмаган материалдан тайёрланган бўлса, у ҳолда резистор чизиқли дейилади, чунки унинг қаршилиги ўзгармас ва қисқичларидаги ток билан кучланиш орасидаги боғлиқлик тўғри чизиқли — вольт-

ампер характеристикаси $I=f(U)$ бўлади. Бундай турдаги резисторларга ростланадиган резисторлар ҳам киради, уларнинг конструкциясида қаршиликларини мажбурий ўзгартириш имконияти назарда тутилган бўлади.

Амалда қаршилиги қисмаларига берилган кучланишга боғлиқ бўлган резисторлар (варисторлар) ҳам ишлатилади. Бундай турдаги резистор чизиқлимас дейилади, чунки унинг вольт-ампер характеристикаси чизиқлимас бўлади.

Электр занжирларнинг чизиқлимас элементларига чизиқлимас характеристикали $I=f(U)$ бошқа қурилмалар ҳам киради, масалан электрон лампалар, ярим ўтказгич асбоблар ва б.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Қандай шароитларда вакуумда ўзгармас ўтказувчанлик электр токини ҳосил қилиш мумкин?

2. Металл ўтказгичда ўзгармас электр токи заряд ташувчиларнинг ҳаракат йўналишига нисбатан қайси томонга йўналган бўлади?

3. Ўтказгичлар қаршилик қиймати R ва нисбий қаршилик билан тавсифланади. Бу катталикларнинг физик жиҳатдан ўхшашлиги ва фарқи нимадан иборат?

4. Металл ўтказгичларнинг электр қаршилиги уларнинг температураси кўтарилиши билан ортади. Бу ҳодисани электр ўтказувчанликнинг электрон назарияси асосида қандай изоҳлаш мумкин?

5. Тўғри бурчакли координаталар системасида ўлчамлари бир хил, лекин турли материалдан — мис билан алюминийдан тайёрланган иккита сим учун (2.7) ифодага кўра токнинг кучланишга боғлиқлик графигини $I=f(U)$ тасвирланг. Бу графикларнинг ўхшашлиги ва фарқи нимадан иборат?

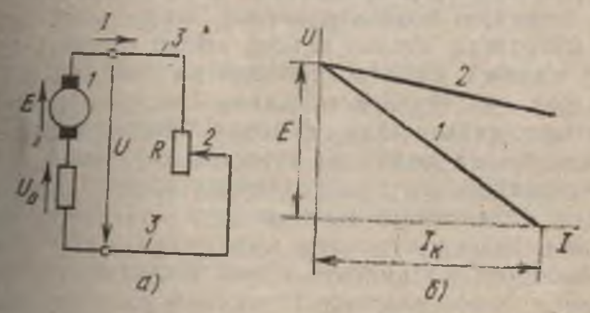
2.1- масала. Ўзгармас ток электр тармоғининг тақсимлаш пунктидан электр истеъмолчигача бўлган масофа $l_1=200$ м. Электр истеъмолчининг қаршилиги $R=15$ Ом, унинг қисмларидаги кучланиш $U=120$ В. Қуйидагиларни линиянинг кўндаланг кесим юзаси $S=10$ мм^2 бўлган мис симларида кучланишнинг пасайишини: алюминий симларнинг линиядаги кучланишнинг пасайиши номинал кучланишнинг 5% ни ташкил этадиган энг кичик кўндаланг кесим юзасини аниқланг.

2.2- масала. Электр двигатель чулғамининг изоляцияланган мис симининг узунлиги $l=275$ м, кўндаланг кесим юзаси $S=4$ мм^2. Қуйидагиларни: чулғамнинг $t_1=+20°C$ ва $t_2=+10°C$ температуралардаги қаршилигини; двигатель ишлаганда чулғамнинг қаршилиги $R_2=1{,}4$ Ом га қадар ортган бўлса, чулғамнинг двигатель ишлагандан кейинги температурасини аниқланг.

2.2- §. ЭЛЕКТР ЗАНЖИРЛАРНИНГ АСОСИЙ ЭЛЕМЕНТЛАРИ

Энг оддий электр занжири (2.2- расм) учта асосий элементдан: манба *1*, электр энергия истеъмолчиси *2* ва туташтирувчи симлар *3* дан таркиб топган бўлади. Бу элементлар шартли равишда асосий деб аталади, чунки улардан бирортаси бўлмаганда ҳам электр занжир йиғиб бўлмайди.

Электр занжир таркибига кирадиган, унда муайян вазифани бажарадиган алоҳида қурилма **электр занжир элементи** деб аталади.



2.2- расм

Электр занжирлар таркибига асосий элементлардан ташқари бошқариш, ростлаш, назорат-муҳофаза қилишга мўлжалланган ёрдамчи элементлар ҳам киради.

Электр энергия манбалари. Электр энергияси энергиянинг бошқа турларини тегишли ўзгартгичлар воситасида электр энергиясига айлантириш йўли билан олинади; бундай ўзгартгичлар **электр энергияси манбалари** дейилади.

Ҳозирги вақтда бундай қурилмаларнинг асосий тури электромеханик генераторлар — механик энергияни электр энергиясига айлантириш учун ишлатиладиган электр машиналар ҳисобланади.

Иссиқлик электр станцияларида иссиқлик (буғ, газ) турбиналари билан ҳаракатга келтириладиган турбогенераторлар ишлайди, гидроэлектр станцияларида эса гидравлик турбиналар воситасида ҳаракатга келадиган гидрогенераторлар ўрнатилган бўлади. Турбогенераторлар ва гидрогенераторлар — булар ўзгарувчан ток машиналаридир (8.5- §. га қ.).

Ўзгармас ток занжирларида электр энергия манбалари сифатида қуйидагилар ишлатилади: электромеханик генераторлар (9. 3- § га қ.); электрокимёвий манбалар (гальваник элементлар, аккумуляторлар, ёқилғи билан ишлайдиган элементлар), термоэлектрогенераторлар (иссиқлик энергиясини бевосита электр энергиясига айлантирадиган қурилмалар), фотоэлектрогенераторлар (нур энергиясини электр энергиясига айлантирувчилар).

Электр энергиясини энергиянинг бошқа турларидан олиш имконияти шу билан боғлиқки, зарядланган заррачаларга муайян шароитларда электр майдон кучларидан ташқари ноэлектромагнит жараёнлар туфайли пайдо бўладиган кучлар таъсир этиши мумкин. Бундай кучлар ташқи кучлар дейилади ва кимёвий реакцияларда, ҳар хил турдаги металлар ёки яримўтказгичлар контактини қиздиришда, фотоэлементлар ёритилганда ва баъзи бошқа ҳолларда вужудга келади.

Энергиянинг ҳар хил турларини электр энергиясига бевосита айлантириш принциплари, ўзгартгичларнинг тузилиши физика курсидан маълум ва ушбу китобда (8, 9- бобларга қ.) қисқача кўриб чиқилган. Манбаларнинг умумий хоссаларини таъкидлаб ўтамиз: ҳар қандай энергия турини электр энергиясига айлантиришда манбада мусбат ва манфий зарядлар бир-биридан ажралади ҳамда электр юритувчи куч (э. ю.к.) ҳосил бўлади.

Шундай қилиб, электр энергиясини ташқи майдон ёки индукцияланган электр майдон борлигида энергиянинг бошқа турларидан олиш мумкин экан.

Ташқи майдон ва индукцияланган электр майдоннинг электр токи ҳосил қилиш хусусиятини кўрсатадиган катталик электр юритувчи куч дейилади.

Энергиянинг сақланиш қонунига мувофиқ, манбада ҳосил қилинган электр энергияси миқдори $W_м$ ташқи ёки электромагнит кучларнинг заряднинг бўлиниш жараёнида бажарган ишига тенг ($W_м = A$).

Бу ишнинг бўлинган заряд катталигига нисбати электр юритувчи куч катталигини ифодалайди

$$E = A | Q, \qquad (2.9)$$

бунда — Е — э.ю.к., В.

Шуни эътиборга олсак, манба энергиясининг ифодасини ҳосил қиламиз:

$$W_м = EIt, \qquad (2.10)$$

бунда $W_м$ — энергия, Ж (жоуль).

Манбада вақт бирлиги ичида (бир секундда) ҳосил бўладиган электр энергияси манбанинг қуввати дейилади:

$$P_м = W_м \ \ t = EI, \qquad (2.11)$$

бунда $P_м$ — манбанинг қуввати, Вт (ватт).

Манба ишининг самарадорлигини баҳолаш учун унинг фойдали иш коэффициенти $\eta_м$ (ф. и. к.) аниқланади:

$$\eta_м = (P_м = \Delta P_м) P_м \qquad (2.12)$$

бунда $\Delta P_м$ — манбада энергия исрофининг қуввати.

Электр энергия истеъмолчилари. Электр занжирларнинг энг кўп ва турли-туман элементлари электр энергиясининг истеъмолчилари (электр истеъмолчилар) ҳисобланади. Улар электр энергиясини энергиянинг бошқа турларига: механик энергияга (ўзгарувчан ва ўзгармас ток электр двигателлари, тортиш электр магнитлари), иссиқлик энергиясига (саноатдаги электр печлар, турмушда ишлатиладиган иситиш асбоблари, пайвандлаш аппаратлари), ёруғлик энергиясига (электр ёритиш лампалари, прожекторлар), химиявий энергияга (зарядлаш жараёнидаги аккумуляторлар, электролитик ванналар ва б.) айлантириш учун хизмат қилади.

Электр энергиясини иссиқлик энергияси ва химиявий энергияга айлантиришда содир бўладиган физик жараёнлар физика курсида ўрганилади. Бу жараёнларни тавсифловчи миқдорий ифодаларни кўриб чиқамиз.

Қаршилиги R бўлган ва электр истеъмолчи ҳисобланган ўтказгичнинг учлари орасида потенциаллар айирмаси U (ўтказгичда э. ю. к. бўлмаганида), кўчган заррачалар заряди $Q = It$ деб фараз қиламиз.

Зарядланган заррачаларнинг кўчишига сарфланган электр майдон энергияси (1.4) ифодага мувофиқ $W_э = UQ = UIt$.

(2.7) формулани эътиборга олсак, электр истеъмолчи энергиясининг ифодасини ҳосил қиламиз:

$$W_и = UIt = I^2Rt. \qquad (2.13)$$

Электр истеъмолчида электр энергиясининг энер-

гиянинг бошқа турига айланиш тезлиги **электр истеъмолчининг қуввати** дейилади. У сон жиҳатдан электр истеъмолчида бир секундда ўзгарган энергия миқдори билан ифодаланади:

$$P_и = W_и / t = UI = I^2R, \qquad (2.14)$$

бунда $P_и$ — электр истеъмолчининг қуввати, Вт.

Электр истеъмолчининг ф. и. к. ушбу нисбат билан ифодаланади:

$$\eta_и = (P_и - \Delta P_и) / P_и, \qquad (2.15)$$

бунда $\Delta P_и$ — электр истеъмолчида энергия исрофлари қуввати.

Чўғланиш электр лампаларининг ишлаши ҳам электр энергиясининг иссиқлик энергиясига айланиш принципига асосланган. Лампанинг қийин суюқланадиган металлдан (масалан, вольфрамдан) тайёрланган толаси ундаги электр токида 3000°C температура атрофида қизийди. Лампа толасининг температураси юқори бўлганда энергиянинг бир қисми (10% дан камроғи) ёруғлик тарзида нурланиб кетади.

Ҳар қандай электр энергияси манбаида бўлгани каби аккумуляторда зарядлаш вақтида э.ю.к. билан токнинг йўналиши бир хил бўлади.

Зарядлаш режимида аккумуляторнинг э. ю. к. $E_а$ ўз йўналишини сақлаб қолади, токнинг йўналиши эса тескарисига ўзгаради, чунки у э. ю. к. $E_а$ билан эмас, балки ташқи зарядловчи манба э. ю. к. E билан аниқланади. Аккумуляторни зарядлаш вақтида унинг э. ю. к. заряд токига тескари йўналган бўлади ва шу сабабли **қарши** э. ю. к. дейилади.

Аккумуляторни зарядлаш вақтида зарядланган заррачалар зарядловчи манба вужудга келтирадиган электр майдон таъсирида бир жойдан иккинчи жойга кўчади. Вақтнинг исталган онида электр майдон кучлари ташқи кучлар (ушбу ҳолда кимёвий кучлар) билан мувозанатлашади, шу сабабли электр майдон кучларининг заряд бирлигига тўғри келадиган ишини $E_а$ га тенглаштириш мумкин. У ҳолда зарядлашга сарфланган энергия ва қувват ушбу формулалар билан ифодаланади:

$$W_п = E_аQ = E_аIt; \qquad (2.16)$$

$$P_п = W_п / t = E_аI. \qquad (2.17)$$

Бу формулалар қарши э.ю.к. ли барча электр истеъмолчиларга тааллуқлидир.

Ўтказгич материаллар. Ўтказгич материаллар сифатида металлар ва уларнинг қотишмалари энг кўп ишлатилади.

Ўтказгич материалларнинг асосий электр характеристикалари солиштирма ўтказувчанлиги γ (ёки солиштирма қаршилиги ρ), қаршиликнинг температура коэффициенти α (II. 2.1-жадвалга қ.).

Электр ўтказувчанлик нуқтаи назаридан ўтказгич материаллар солиштирма қаршилиги кам, ўта ўтказувчан ва солиштирма қаршилиги катта материалларга бўлинади.

Солиштирма қаршилиги кам материаллар линия симлари ва кабеллар тайёрлашга (электр энергиясини узатиш ва тақсимлаш линиялари, алоқа линиялари қуриш учун), чулғам симлари тайёрлашга (электр машиналар, аппарат ва асбобларнинг турли-туман чулғамларини) сарфланади. Шу мақсадларда мис билан алюминий энг кўп ишлатилади.

Миснинг кенг кўламда ишлатилишига унинг солиштирма ўтказувчанлиги юқори эканлигигина эмас, балки бошқа хоссалари, шу жумладан механик жиҳатдан ниҳоятда пухталиги ва коррозияга етарлича бардош бериши ҳам сабаб бўлади. Мисдан турли хил йўғонликдаги (миллиметрнинг мингдан бир улушларига қадар) симлар, ленталар ва зарқоғоз тайёрлаш мумкин. Электротехникада соф мис билан бир қаторда унинг қотишмалари (бронза, жез) ҳам ишлатилади. Электротехникада техника-иқтисодий мулоҳазаларга кўра алюминий тобора кўп ишлатилмоқда. Алюминийнинг солиштирма қаршилиги мисникидан юқори, механик пухталиги эса паст бўлади, лекин унинг зичлиги тахминан 3,5 марта кам, шу сабабли йўғон алюминий сим қаршилиги шунча бўлган мис симга нисбатан тахминан икки марта енгил бўлади. Алюминийнинг энг муҳим афзаллиги шундан иборатки, у мис каби камёб эмас, ишлов берилиши жиҳатдан (пайвандланишдан ташқари) мисдан қолишмайди. Алюминий асосан комбинацияланган электр узатиш линиялари ва алоқа линиялари (пўлат алюминий симлар) симларини тайёрлаш учун ишлатилади ва кабеллар ҳамда изоляцияланган симлар ишлаб чиқаришда тобора кўпроқ ишлатилмоқда.

Температура пасайганида металларнинг солиштир-

ма қаршилиги камаяди. Ҳозирги вақтда шу нарса маълумки, кўпчилик соф металлар ва мураккаб моддалар (қотишмалар ва кимёвий бирикмалар) мутлақ нолга яқинлашиб келадиган температурага қадар совитилганда ўта ўтказувчан ҳолатга ўтади, бу ҳолатга ўтиши билан уларнинг солиштирма қаршилиги амалда нолга қадар бирдан камаяди. Ўта ўтказгичлар қаторига алюминий, симоб, тантал, қўрғошин, ниобий ва унинг қотишмаларини киритиш мумкин. Бу моддалар орасида ўта ўтказувчан ҳолатга ўтишнинг критик температураси алюминийда энг паст (1,2 K) бўлади.

Ўта ўтказгичда электр токи мавжуд бўлганида энергия исрофи деярли бўлмайди, шу сабабли ёпиқ ўта ўтказувчан контурда бир марта пайдо бўлган ток кўп йиллар давомида айланиб юради, бунда ташқаридан энергия берилмаса ҳам токнинг қиймати ўзгармайди. Лекин контурнинг температурасини критик қийматдан пастда сақлаб туриш учун совитиш қурилмасининг ишлашини таъминлашга энергия сарфлаш зарур.

Солиштирма қаршилиги катта бўлган материаллар асосан металл қотишмалари ҳисобланади: мис — марганец қотишмаси ўлчов асбоблари ва қаршилик намуналари тайёрлашда ишлатилади; константан — мис-никель қотишмаси симли резисторлар ва реостатларга ўраш учун ишлатилади; нихром — никель, хром ва темирнинг қотишмаси; фехраль — темир, хром ва алюминийнинг қотишмаси электр иситиш асбоблари ясаш учун ишлатилади.

Бу материалларнинг солиштирма электр қаршилиги катта, механик жиҳатдан анча мустаҳкам бўлиб, турли хил қалинликдаги ленталар, симлар олишга имкон беради.

Қайси соҳада ишлатилишига қараб катта қаршиликли қотишмаларнинг бошқа характеристика ва хоссалари ҳам муҳим роль ўйнайди, масалан солиштирма қаршилигининг температура коэффициенти жуда кичиклиги (манганин, константан), ишлаш температурасининг юқорилиги (нихром, фехраль), коррозияга чидамлилиги катта аҳамиятга эга. Электротехникада ишлатиладиган ўтказгич материаллар қаторига кўмир материаллар, металл ва металлокерамик контакт материаллар, кавшарлар ва б. ҳам киради.

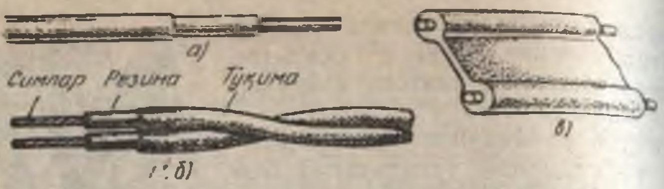
Ўтказгич буюмлар. Ўтказгич буюмларга электр кабеллар, девор ичидан ўтказиладиган электр симлар ва

уларнинг шнурлари, ҳаводан электр узатиш линияларининг симлари, чулғам симлари, контакт буюмлар ва ҳ. киради.

Катта кучланишли ток қоладиган кабелда ток ўтказадиган бир неча томирлар бир-биридан изоляцияланган, биргаликда буралган ва умумий герметик қобиққа жойланган бўлади (2.3- расм). Қобиқнинг ҳимоя қопламалари бўлади. Ток ўтказувчи томирлар мис ёки алюминий симлардан *1* тайёрланади. Томирларнинг кўндаланг кесими сектор шаклида ясалиб, кабелнинг диаметри кичрайишига эришилади. Ток ўтказувчи томирларнинг изоляцияси *2* зич кабель қоғоздан (кабеллар учун мўлжалланган) тайёрланади. Томирлар бирга буралганда ҳосил бўладиган бўшлиқларни тўлдириш учун тўлдирувчилар *3* қуйилган ва сўнгра кабель қоғоздан умумий белбоғ изоляция *4* қилинган. Қоғозга махсус кабель масса шимдирилган. Қоғоз изоляция ўрнига резина ёки пластмасса изоляция ҳам ишлатилади. Кейинги герметик қобиқ *5* қўрғошиндан, алюминийдан, 1 кВ гача кучланишли кабелларда эса пластмассадан қилинган бўлиб, намлик, кислоталар ва газлар киришидан муҳофаза қилади. Шундан кейин қоғоз-битумли *6* ва кабель тўқимасидан қопламалар *7* қўйилади. Механик шикастланишлардан кабелни пўлат лентадардан ясалган зирҳ *8* муҳофаза қилади. Зирҳнинг сиртида битум шимдирилган кабель тўқимадан яна қоплама бўлади, у зирҳни коррозияланишдан сақлайди.

2.3- расм

Ҳаводан электр узатиш линияларида қуйидагилар ишлатилади: изоляцияланмаган, кесими 16—400 мм² бўлган кўп симли алюминий симлар: кесими 35—600 мм² бўлган комбинацияланган пўлат-алюминий симлар, уларда пўлат ўзак (механик юкни кўтариш учун) бўлиб, унинг атрофи алюминий симлардан қилинган ташқи қобиқ (электр ўтказувчи қисм) билан қопланади. Кам қувватли ҳаво линиялари қуриш учун пўлат симлар ишлатилади. Ички (ер остидан, девор орасидан)



2.4- расм.

ўтказиладиган симлар учун кабеллардан ташқари изо-ляцияланган симлар, шнурлар, шинали симлар ҳам ишлатилади.

2.4- расм *а—в* да изоляцияланган симларнинг айрим турлари кўрсатилган: ПР ва АПР — махсус модда шимдирилган ип тўқима ўралган резина изоляцияли бир томирли симлар (биринчисида томири мисдан, иккинчисида — алюминийдан; поливинилхлорид изоляцияли худди шундай симлар ПВ ва АПВ маркали бўлади); б) ПРД—ип тўқима ўралган резина изоляцияли, томири мисдан бўлган икки томирли эластик симлар; в) ППВ ва АППВ — томирлари мисдан (биринчиси) ва алюминийдан (иккинчиси) бўлган поливинилхлорид изоляцияли икки ва уч томирли ясси симлар.

Чулгам симлари электр машина ва аппаратларнинг чулғамларини тайёрлаш учун ишлатилади.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Электр энергияси манбаида ўзгармас ток электр занжирининг бошқа элементларига улаш учун чиқиш қисмалари (иккита+ва— қутблар) бўлади. Э. ю. к. ва ток манба ичида унинг қисмаларига нисбатан қандай йўналган?

2. Занжирнинг ташқи қисмида манба кучланиши ва ток манбанинг чиқиш қисмаларига нисбатан қандай йўналган?

3. Истеъмолчидаги кучланиш ва ток унинг кириш қисмаларига нисбатан қандай йўналган?

4. Линия симлари. Чулғам симлари учун мис ўрнига алюминий ишлатишнинг қандай афзаллик ва камчиликлари бор?

5. Амалда электр энергиясини ва қувватни ўлчаш ҳамда ҳисоблаш учун қуйидаги асосий бирликлар қўлланилади: жоуль (Ж), ватт (Вт) ва уларнинг ҳосилалари, анча йирик бирликлар — киловатт (кВт), мегаватт (МВт), киловатт соат (кВт·с). Ишлаб чиқаришдаги бирликлар асосий бирликлар орқали миқдорий жиҳатдан қандай ифодаланади?

2.3- масала. Ўзгармас токнинг иккита генератори сутка давомида умумий истеъмолчига ишлаб, биргаликда бир ойда (30 сут.) 96 000 кВт·с электр энергияси берди. Биринчи генератор 10 сутка давомида ремонтда турди ва шу вақт ичида электр истеъмолчи линиясига ўрнатилган электр энергияси счётчиги 24 000 кВт·с ни кўрсатди. Агар

генераторлар ишлаётган вақтда уларнинг нагрузкаси ўзгармаган, биринчи генератор занжиридаги амперметр $I_1 = 500$ А токни, иккинчисининг занжиридагиси эса $I_2 = 1000$ А токни кўрсатган бўлса, ҳар қайси генераторнинг қуввати ва э. ю. к. ни аниқланг.

2.4- масала. Ўзгармас ток электр тармоғининг тақсимлаш шчитига электр двигатель ва электр печь уланган. Қуйидагилар берилган: двигателнинг валидаги механик қувват $P_{мех} = 6$ кВт, ф. и. к. $= 83\%$, двигатель қисмаларидаги кучланиш $U_{2д} = 120$ В. линия қаршилиги $R_1 = 0{,}1$ Ом; линиянинг электр печгача бўлган узунлиги $l = 37$ м, алюминий симнинг кўндаланг кесим юзаси $S = 16$ мм², линияга киришда ваттметрнинг кўрсатиши $P_1 = 5670$ Вт. Тақсимлаш шчитидаги кучланиш U_1 ни, электр печнинг қисмаларидаги кучланиш $U_{2п}$ ни аниқланг, бунда шчитдаги кучланиш ўзгармас деб ҳисобланг.

2.3- §. ЎЗГАРМАС ТОК ЭЛЕКТР ЗАНЖИРЛАРИ ҲИСОБИНИНГ АСОСЛАРИ

Электр занжирни ҳисоблашда унинг элементларининг ишлашини тавсифлайдиган ток, кучланиш, қувват ва бошқа катталиклар аниқланади.

Ҳисоблаш натижалари ишлаш шароитини баҳолашга ва шу шароитга мос келадиган манбалар, истеъмолчилар, симлар, ёрдамчи электр ускуналар ҳамда асбобларни танлашга имкон беради.

Электр занжирларнинг режимлари. Электр энергиясининг манбалари ва истеъмолчилари, шунингдек ёрдамчи аппарат ва асбоблар номинал катталиқлар билан тавсифланади, улар қаторига кучланиш $U_{ном}$, ток $I_{ном}$, қувват $P_{ном}$ ва б. киритиш мумкин. Сим ва кабеллар учун номинал кучланишдан ташқари рухсат этиладиган токлар $I_{рух}$ ҳам кўрсатилади. Номинал катталиклар қурилманинг паспортида, каталогда кўрсатилган бўлади. Қурилмани тайёрлайдиган заводлар унинг нормал ишлашини ана шу катталикларга ҳисоблайдилар.

Ҳақиқий ток, кучланиш, қувват ва бошқа катталиклар электр занжир элементларининг номинал характеристикаларига мос келадиган режим н о м и н а л (нормал) р е ж и м дейилади.

Номинал режимдан четга чиқиш номақбул ҳисобланади (номинал катталиклардан ортиб кетишига кўпчилик ҳолларда йўл қўйиб бўлмайди), чунки бунда электр тузилма ва қурилмаларнинг ишончлилиги, ҳисобий ишлаш муддати ва тежамлилигига кафолат бериб бўлмайди.

Электр энергия истеъмолчиларининг нормал ишлаш шароитини таъминлаш учун биринчи навбатда кучла-

нишларнинг мувофиқлигига риоя қилиш лозим: тузилманинг қисмаларидаги ҳақиқий кучланиш унинг номинал кучланишига тенг бўлиши керак.

Электр занжир режимлари турли хил сабабларга кўра номинал режимдан қисман фарқ қилиши мумкин. Агар режимнинг ҳақиқий характеристикалари номинал қийматлардан фарқ қиладиган, лекин йўл қўйиладиган чегараларда бўлса, бундай режим **иш режими** дейилади.

Энг оддий электр занжир схемасида (2.2-расм, *а*) туташтирувчи симлар қаршилиги истеъмолчиникига қўшилган (истеъмолчи билан симларнинг умумий қаршилиги R).

Бу занжирга энергиянинг сақланиш қонунини татбиқ этиб, маълум t вақт учун энергетик баланс тенгламасини тузамиз: электр энергияси манбада $W_м = EIt$ миқдорда олинган (2.10), унинг кўпчилик қисми истеъмолчига узатилади $W_и = I^2 Rt$ (2.13), кам қисми эса манбанинг ўзида сарфланади ($W_0 = I^2 rt$ — энергия исрофи) $W_м = W_0 + W_и$ ёки $EIt = I_r^2 + I^2Rt$. Бу ерда манбада энергия исрофи истеъмолчи энергияси каби, манбанинг ички қаршилик қиймати r ни киритиш йўли билан ифодаланган. t га қисқартирилгандан кейин қувватлар баланси тенгламасини оламиз $EI = I_r^2 = I^2R$, яна I га қисқартирсак, — кучланишлар тенгламаси олинади $E = Ir + IR$ ёки $E = U_0 + U$, бунда U_0 — манбада кучланишнинг ички пасайиши; U — манбанинг ташқи қисмаларидаги кучланиш. Кучланишлар тенгламасидан занжирдаги ток ва манбанинг ташқи қисмаларидаги кучланиш учун ифодалар келиб чиқади:

$$I = E / (r + R), \qquad (2.18)$$

$$U = IR = E - Ir. \qquad (2.19)$$

(2.18) ва (2.19) формулалар энг оддий электр занжир учун Ом қонунини ифодалайди.

2.2-расм, *а* даги схемада $R = \infty$ деб фараз қиламиз, у ҳолда занжирда ток бўлмайди ($I = 0$), бу эса занжир узилишига мувофиқ келади.

Электр занжирнинг ёки унинг айрим элементларининг ток нолга тенг бўладиган режими **салт ишлаш режими** дейилади.

(2.18) ифодага мувофиқ, $R = 0$ бўлганда занжирда ток

$I = E/r$, истеъмолчи ва манба қисмаларидаги кучланиш эса $U = 0$.

Электр занжирнинг битта ёки бир неча элементли қисми қисқа туташган ва шу муносабат билан шу қисмда кучланиш нолга тенг бўлган режими қисқа туташув режими дейилади.

Манба қисмаларидаги кучланишнинг нагрузка токига боғлиқлиги $U = f(I)$ ташқи характеристика дейилади. (2.19) тенглама ва 2.2-расм, *б* даги *1*, *2* характеристикалар ана шундай боғлиқликни ифодалайди.

Электр занжирларнинг схемалари. Электр тузилма ва қурилмаларни ишлаб чиқиш, монтаж қилиш ва ишлатишда электр схемалар зарур.

Электр занжир схемаси — бу электр занжир элементларининг шартли белгилари ва улар орасидаги туташувлар кўрсатилган график тасвирдир.

Амалда принципиал схемалар, уланиш (монтаж) схемалари ва б. бўлади.

Электр занжирларни ҳисоблаш учун ўриндош (ҳисоблаш) схемалари ҳам тузилади.

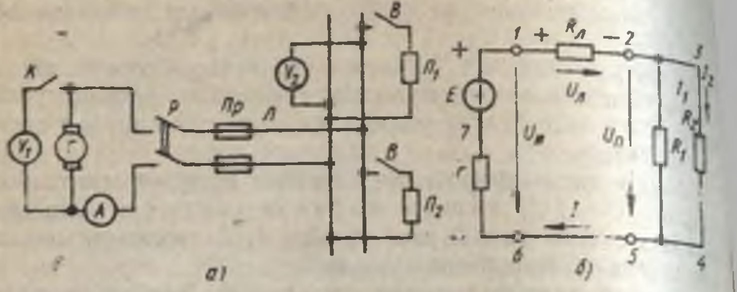
Принципиал схема элементларнинг тўлиқ таркибини ва улар орасидаги боғланишларни кўрсатади. У, одатда, электр буюм, қурилманинг ишлаш принциплари ҳақида мукаммал тасаввур беради.

Уланиш (монтаж) схемаси буюм, қурилма таркибий қисмларининг туташувини кўрсатади, бу туташув амалга ошириладиган симлар, жгут ва кабелларни, шунингдек, уларнинг бирикиш ва кириш жойларини белгилайди.

Принципиал схемадан буюм, қурилманинг ишлаш принципи ўрганилади: уланиш схемалари асосида монтаж қилинади ва уларнинг таркибий қисмлари бирбирига уланади: иккала схемадан ҳам буюм, қурилмаларни созлашда, ростлашда, назорат, ремонт қилиш ва ишлатишда фойдаланилади.

Электр занжирнинг ўриндош схемаси шу занжирнинг маълум шароитлардаги хоссаларини акс эттиради ва ҳисоблашларда ишлатилади. Ўриндош схемада ҳисоблаш натижаларига таъсир этадиган барча элементлар тасвирланади ва улар орасидаги принципиал схемага мувофиқ келадиган электр уланишлар кўрсатилади. Электр схемалар учун шартли белгилар стандартларда тасдиқланган.

Электр энергияси иссиқлик энергиясига айланади-



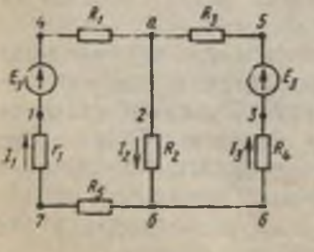
2.5- расм

ган занжир элементи ўриндош схемада унинг қаршилиги R ёки ўтказувчанлиги G қиймати билан тавсифланади. Бундай элементлар п а с с и в элементлар дейилади. Агар туташтирувчи симларнинг қаршилигини эътиборга олиш зарур бўлса, улар ҳам пассив элементларга киритилади.

Электр занжирларнинг элементларида энергиянинг ўзгаришида электр юритувчи кучлар вужудга келадиган бўлса, бундай элементлар (аккумуляторлар, электр машиналар) а к т и в элементлар дейилади. Бунда энергиянинг бир қисми иссиқликка айланади (энергия исрофи), шу сабабли ўриндош схемада бундай элемент э.ю.к. E ва ички қаршилик r қийматлари билан тавсифланади.

2.5- расм, *а* да бирор электр занжирнинг принципиал схемаси, 2.5- расм, *б* да эса — унинг ўриндош схемаси кўрсатилган.

2.6- расмда мураккаб электр занжирнинг ўриндош схемаси тасвирланган. Турли хил электр занжирларнинг схемаларини кўздан кечириб, улардаги ўзига хос қисмларни ажратиш мумкин: т а р м о қ — электр занжирнинг ток бир хил бўладиган қисми; т у г у н — электр занжир тармоқларининг туташган жойи; к о н т у р — электр занжирнинг бир неча тармоқларидан иборат ёпиқ йўл. Схемаларда э. ю. к., кучланиш ва токларнинг мусбат йўналишлари стрелкалар билан кўрсатилади.



2.6- расм

Кирхгоф қонунлари. Электр занжирларни ҳисоблашда Ом қонуни билан бирга Кирхгофнинг иккита қонунидан ҳам фойдаланилади.

Кирхгофнинг биринчи қонуни токнинг узлуксиз (зарядннинг сақланиш) принципининг оқибати бўлиб, электр занжирларнинг тугунларига татбиқ этилади.

Электр занжирнинг битта электр тугунида бирлаштирилган тармоқларида тугунга йўналган токлар йиғиндиси (I_n) тугундан йўналган токлар йиғиндисига (I_k) тенг:

$$\sum_{1}^{n} I_n = \sum_{1}^{k} I_k. \qquad (2.20)$$

Кирхгофнинг биринчи қонунига мувофиқ, электр занжирнинг ҳар қайси тугуни учун токлар тенгламасини (тугун тенгламасини) тузиш мумкин, масалан, 2.6- расмдаги схемада *б* тугун учун $I_2 = I_1 + I_3$.

Кирхгофнинг иккинчи қонуни энергиянинг сақланиш қонунидан келиб чиққан бўлиб, электр занжирларининг контурларига қўлланилади.

Электр занжирнинг контурини ҳосил қилувчи тармоқларда э. ю. к. алгебраик йиғиндиси пассив элементларда кучланиш пасайишининг алгебраик йиғиндисига тенг:

$$\sum_{1}^{n} E_n = \sum_{1}^{k} I_k R_k. \qquad (2.21)$$

Кирхгофнинг иккинчи қонунига мувофиқ электр занжирнинг ҳар қайси контури учун кучланишлар тенгламасини (контур тенгламасини) тузиш мумкин. Масалан, 2.6- расмдаги схемада, $a - 5 - 3 - б - 1 - 4 - a$ контур учун $E_1 - E_3 = I_1R_1 - I_3R_3 - I_3R_4 + I_1R_5 + I_1r_1$. Бу тенглама қуйидаги тартибда тузилган: тармоқлардаги токнинг йўналиши ва контурни айланиб ўтиш йўналиши ихтиёрий танлаб олинган; тенгламанинг чап қисмига контурни айланиб чиқишда учрайдиган э. ю. к. нинг алгебраик йиғиндиси, ўнг қисмига эса — контурнинг пассив элементларида кучланиш пасайишининг алгебраик йиғиндиси ёзилган. Схемадаги бошқа контурлар учун ҳам худди шу тартибда тенглама тузиш мумкин. Бунда йўналиши контурни айланиб ўтиш йўналишига мос келадиган э. ю. к. ва токлар мусбат ҳисобланади.

1. Манба қисмаларидаги кучланиш U (2.2- расм, *а* га қ.) нагрузка токи билан (2.19) тенглама орқали боғланган. Э. ю. к. E ва ички қаршилик r қийматлари ўзгармас бўлганда манбанинг нагрузкаси салт ишлашдан қисқа туташувга қадар ўзгарганда унинг кучланиши қандай ўзгаради?

2. 2.2- расм, *б* да манбанинг иккита ташқи характеристикаси (1.2) кўрсатилган. Истеъмолчининг ишлаш шароити нуқтаи назаридан улардан қайси бири афзалроқ?

3. Электр плитани улаш вақтида худди шу тармоққа уланган ёқилган электр лампанинг равшанлиги бир оз камайди. Бу ҳодисани қандай изоҳлаш мумкин?

4. Электр занжирда (2.6- расмга қ.) нечта тармоқ, тугун ва контурлар бор?

5. Ток I бўлганда қисмалардаги кучланиш: а) қаршилиги R, э. ю. к. E ва ички қаршилиги r бўлган электр истеъмолчида; б) э. ю. к. E ва ички қаршилиги r бўлган электр энергияси манбаида умумий ҳолда қандай (формула билан) ифодаланади?

2.5- масала. 2.2- расм, *а* даги электр занжирда электр энергияси манбаининг э. ю. к. $E = 24$ В, ички қаршилиги $r = 1$ Ом, электр истеъмолчининг қаршилиги $R = 7$ Ом. Занжирдаги токни, манба қисмаларидаги кучланишни, манба ва электр истеъмолчининг кувватини, манбанинг ф. и. к. ни аниқланг.

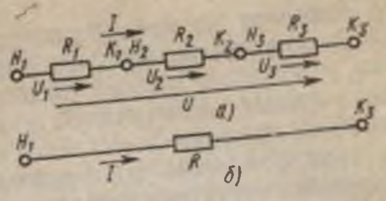
2.6- масала. 2.6- расмдаги электр занжир схемаси учун Кирхгофнинг биринчи қонунига мувофиқ барча тугунлар учун ва Кирхгофнинг иккинчи қонунига мувофиқ барча контурлар учун тенгламалар тузинг.

2.4- §. Э. ю. к. МАНБАИ БИТТА БЎЛГАН ЭЛЕКТР ЗАНЖИРЛАР

Э.ю.к. манбаи битта бўлган электр занжирларни ҳисоблаш масаласи амалда энг кўп учрайди. Бундай занжир схемасида (2.9- расм, *а*) манба унинг тармоқларидан бирида — актив тармоқда бўлади, қолган барча тармоқлар пассив ҳисобланади.

Пассив элементлар сонидан ва уларнинг уланиш схемаларидан қатъи назар, бундай занжирларни ҳисоблашга доир масалалар одатда схемани энг оддий кўринишга қадар ўзгартириш усули билан (2.9- расм, *б, в, г*) ечилади. Бундан кейин схемаларни ўзгартириш конкрет мисолларда кўриб чиқилган, бу схемаларда кетма-кет ва параллел уланган қисмларни ажратиш мумкин.

Пассив элементларни кетма-кет улаш. Электр занжирнинг қисмлари ёки айрим элементлари кетма-кет уланганда уларда ток бир хил бўлади. Кетма-кет улашнинг бу аломатига 2.7- расм, *а* даги схема мувофиқ келади, унда учта элемент (масалан, қаршиликлари



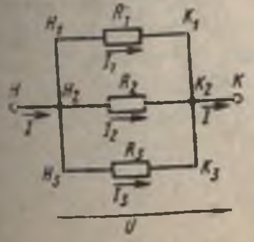
2.7- расм

R_1, R_2, R_3 бўлган учта резистор) шундай тартибда уланган: кейинги элементнинг боши олдинги элементнинг охирига уланган, бу элементлар гуруҳида биринчи элементнинг боши билан охирги элементнинг учи (H_1, K_3) кириш қисмалари ҳисобланади. Кириш қисмалари орасида кучланиш U таъсир этади, у Кирхгофнинг иккинчи қонунига мувофиқ айрим элементлардаги (қисмлардаги) кучланиш пасайишининг йиғиндисига тенг:

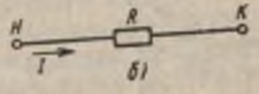
$$U = U_1 + U_2 + U_3 = IR_1 + IR_2 + IR_3;$$
$$U = I\ (R_2 + R_2 + R_3) = IR;$$
$$R = R_1 + R_2 + R_3. \qquad (2.22)$$

Ихтиёрий сондаги пассив элементларни (n) кетма-кет улаш учун худди шунга ўхшаш ифодани ёзиш мумкин. Қаршилик R ўзининг таъсирига кўра n пассив элементлар қаршиликларига эквивалентдир. Шунинг учун пассив элементлар гуруҳини битта (эквивалент) элемент билан алмаштириш ва занжирнинг анча оддий схемасини (2.7- расм, *б*) ҳосил қилиш мумкин, унда токнинг қиймати ва қувватлар баланси ўзгаришсиз қолади.

Пассив элементларни параллел улаш. Занжирнинг қисмлари ёки айрим элементларини параллел улашда улар битта тугунлар жуфтига бириктирилади, яъни битта кучланиш таъсири остида бўлади.



а)



2.8- расм

Параллел улашнинг бундай аломатига 2.8- расм, *а* даги схема мувофиқ келади, унда қаршиликлари R_1, R_2, R_3 бўлган учта пассив элемент (масалан, учта резистор) *Н* тугунда, уларнинг учлари эса *К* тугунда бирлаштирилган. Тугун нуқталар орасида $U = U_1 = U_2 = U_3$ кучланиш таъсир этади.

Пассив элементлар параллел уланганда ҳисоблашларда тармоқларнинг ўтказувчанлигини (2.6) формула бўйича аниқлаб, улардан фойдаланиш қулай. Ушбу ҳолда ўтказувчанликлар $G_1 = 1/R_1$; $G_2 = 1/R_2$; $G_3 = 1/R_3$, тармоқлардаги токлар эса $I_1 = UG_1$; $I_2 = UG_2$; $I_3 = UG_3$.

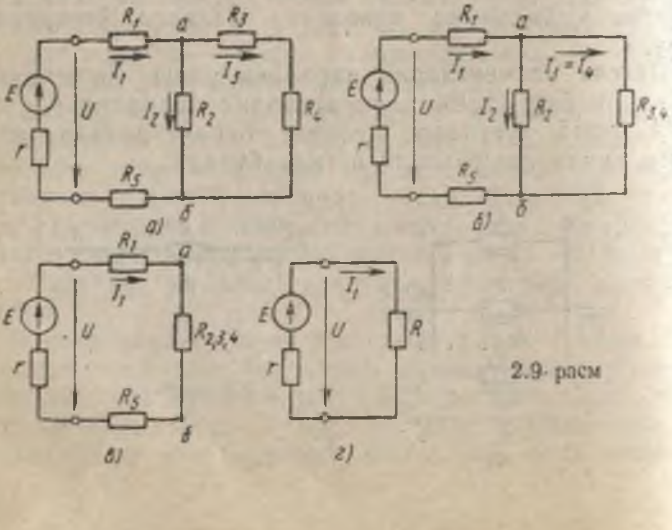
Кирхгофнинг биринчи қонунига мувофиқ тармоқлар (элементлар) гуруҳининг умумий токи *I* тармоқлардаги токлар йиғиндисига тенг ва ушбу ҳолда *Н* тугундан *К* тугунга қараб йўналган:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = UG_1 + UG_2 + UG_3;$$

$$I = U\ (G_1 + G_2 + G_3) = UG;$$

$$G = G_1 + G_2 + G_3. \qquad (2.23)$$

Ихтиёрий сондаги пассив элементлар (*n*) параллел уланган ҳол учун худди шунга ўхшаш ифодани ёзиш мумкин. Умумий ўтказувчанлик *G* ўзининг таъсирига кўра *n* пассив элементлар ўтказувчанликларига эквивалент бўлади, бунда умумий ток ва қувватлар балансининг қийматлари сақланган бўлиши лозим. Шу сабабли пассив элементлар гуруҳини бит-



2.9- расм

та (эквивалент) элемент билан алмаштириш ва анча оддий схемани (2.8- расм, *б*) ҳосил қилиш мумкин, унда $R = 1/G$.

Схемаларни ўзгартириш. 2.9- расм, *а* да электр занжир схемаси кўрсатилган, унда битта энергия манбаи бор (E, r), пассив элементлар гуруҳида эса электр истеъмолчилар кетма-кет уланганлигини ва тармоқлар параллел уланганлигини таъкидлаш мумкин. Бундай занжирларни ҳисоблаш учун схемаларни ўзгартириб оддий кўринишга келтириш усули қўлланилади. Бу занжир учун пассив элементларнинг қаршиликлари, э.ю.к. E маълум, занжирдаги ҳар қайси элемент учун ток, кучланиш ва қувватни топиш талаб қилинади, деб фараз қилайлик.

Ушбу ҳолда схемани ўзгартириш учинчи тармоқдан бошланади, унда кетма-кет уланган R_3 ва R_4 элементларни битта $R_{3,4} = R_3 + R_4$ қаршилик билан алмаштирамиз ва 2.9-расм, *б* даги анча оддийроқ схемани ҳосил қиламиз. Бу схемада R_2 ва $R_{3,4}$ элементлар параллел уланган. Уларни эквивалент элемент $R_{2,3,4}$ га алмаштирамиз, бунда ўтказувчанликларни қўшамиз: $G_2 = 1/R_2$ ва $G_{3,4} = 1/R_{3,4}$; $G_{2,3,4} = G_2 + G_{3,4}$ $R_{2,3,4} = 1/G_{2,3,4}$. Алмаштирилгандан кейин янада оддийроқ схема (2.9- расм, *в*) ҳосил бўлади, унда барча элементлар кетма-кет уланган. Занжирнинг ташқи қисмидаги умумий (эквивалент) қаршилик $R = R_1 + R_{2,3,4} + R_5$. Бундай алмаштиришда энг оддий схема (2.9- расм, *г*) олинади, унда ток $I_1 = E/(r + R)$.

Иккинчи ва учинчи тармоқлардаги токларни аниқлаш учун аввало 2.9- расм, *в* даги схемадан тугун нуқталар орасидаги кучланишни топиш лозим $U_{аб} = I_1 R_{2,3,4}$. I_2 ва I_3 токларни Ом қонуни бўйича осон аниқлаш мумкин (2.9- расм, *б* даги схема): $I_2 = U_{аб}/R_2$; $I_3 = U_{аб}/R_{3,4}$.

Токларни аниқлагандан кейин бизга маълум бўлган формулалардан фойдаланиб пассив элементларнинг кучланиши ва қувватини, манбанинг қувватини аниқлаш ва қувватлар балансини тузиш осон: манба қуввати билан манбадаги исрофлар қувватининг айирмаси барча электр истеъмолчилар қувватларининг йиғиндисига тенг:

$$P_{и} - P_0 = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5.$$

1. Пассив элементлари сони ихтиёрий n бўлган электр занжир учун ушбу ифодалар ёзилган: $I = I_n$; $U = \sum_{1}^{n} U_n$; $R = \sum_{1}^{n} R_n$. Шу занжирда пассив элементлар қандай схемада уланган?

2. Пассив элементлари сони ихтиёрий n бўлган электр занжир учун ушбу ифодалар ёзилган: $U = U_n$; $I = \sum_{1}^{n} I_n$; $G = \sum_{1}^{n} G_n$. Шу занжирнинг пассив элементлари қандай схемада уланган?

3. 2.9- расм, *а* даги схемада қаршилик R_1 камайтирилса, манба қисмаларидаги кучланиш ва «а» ҳамда «б» тугун нуқталар орасидаги кучланиш қандай ўзгаради? R_5 кўпайтирилганда-чи?

4. Агар элемент R_4 қисқа туташтирилса (2.9- расм, *а* га қ.) R_2 ва R_5 элементларда кучланиш пасайиши қандай ўзгаради? R_3 ва R_4 элементларни туташтирувчи сим узилгандачи?

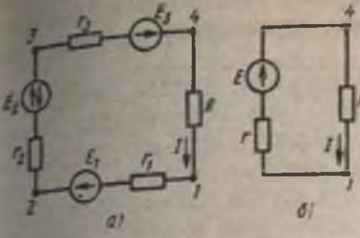
5. Агар 2.9- расм, *а* даги схемада қаршилик R_4 камайтирилса ток I_2 ва кучланиш U_5 пасайиши (R_5 элементида) қандай ўзгаради? R_2 кўпайтирилганда- чи?

2.7- масала. Схемаси 2.8- расм, *а* да келтирилган электр занжир учун қуйидагилар берилган: $E = 160$ В; $r = 0{,}5$ Ом; $R_1 = 2$ Ом; $R_2 = 30$ Ом; $R_3 = 12$ Ом; $R_4 = 8$ Ом; $R_5 = 1{,}5$ Ом. Ҳар қайси элементдаги ва бутун занжирдаги ток, кучланиш ва қуватни аниқланг.

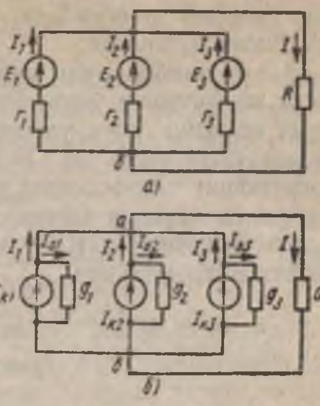
2.8- масала. 2.9- расм, *а* да кўрсатилган схемадаги электр занжир учун қуйидагилар берилган $R_1 = 3$ Ом; $R_2 = 20$ Ом; $R_3 = 18$ Ом; $R_4 = 12$ Ом; $R_5 = 2$ Ом; $r = 1$ Ом; $I_2 = 3$ А. Ҳар қайси элемент аа бутун занжирдаги ток, кучланиш ҳамда қувватни, электр энергияси манбаининг Э. ю. к. ва қувватини топинг.

2.5- §. Э. ю. к. МАНБАИ БИР НЕЧТА БУЛГАН ЭЛЕКТР ЗАНЖИРЛАР

2.6- расм ва 2.9- расм, *а* бир-биридан 2.6- расмда э.ю.к. манбаи борлиги билан фарқ қилади. Агар иккала схемада элементларнинг қаршиликлари ва э.ю.к. E_1 ни бир хил деб фараз қилсак, у ҳолда токлар тармоқлар бўйича турлича тақсимланади, чунки ҳар қайси тармоқда E_1 манбадан келаётган токка E_3 манбадан келаётган ток ҳам қўшилади (токларнинг қўшилиш принципи).



2.10 - расм



2.11 - расм

2.4-§ -да кўриб чиқилган ўзгартириш усулини 2.6-расмдаги схемага татбиқ этиб бўлмайди, чунки э.ю.к. E_3 борлигида иккинчи ва учинчи тармоқларнинг пассив элементларини параллел уланган деб бўлмайди. Э.ю.к. манбаи бир неча бўлган занжирларни ҳисоблаш учун турли хил усуллар қўлланилади, биз улардан бир нечтасини кўриб чиқамиз.

Э.ю.к. манбаларини кетма-кет улаш. 2.10-росм, *а* даги схема учун Кирхгофнинг иккинчи қонунига [(2.21) формулага қаранг] мувофиқ:

$$E_1 + E_2 + E_3 = E_{r1} + E_{r2} + E_{r3} + IR.$$

Схемада э.ю.к. контурни айланиб ўтиш йўналишига нисбатан бир хил йўналган, яъни шунга мувофиқ уларнинг ҳаммаси тенгликнинг чап томонида мусбат деб қабул қилинган. Занжирдаги ток

$$I = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{(r_1 + r_2 + r_3) + R} = \frac{E}{r + R}. \qquad (2.24)$$

Агар учта манбани ўрнига 2.10-расм, *б* даги схема бўйича э.ю.к. $E = E_1 + E_2 + E_3$ ва ички қаршилиги $r = r_1 + r_2 + r_3$ бўлган битта эквивалент манба қўшилса истеъмолчидаги ток ўзгармайди.

Агар схемада n та манба кетма-кет уланган бўлса, бундай схемани ҳам худди шунга ўхшаш соддалаштириш мумкин: $E = \sum_1^n E_n$; $r = \sum_1^n r_n$. Ушбу ҳолда контурни айланиб чи-

қиш бўйича йўналган э.ю.к. мусбат, қарама-қарши йўналгани эса — манфий ҳисобланади. Ички қаршиликлар r_n арифметик йўл билан қўшилади.

Э.ю.к. манбаларини параллел улаш. Амалда электр энергияси манбаларини битта ёки бир неча истеъмолчида биргаликда ишлатиш учун уларни параллел улаш кўпроқ қўлланилади (2.11-расм, *а*). Бунда манбалар орасида токларни (нагрузкани) тақсимлашдек муҳим масала ҳал қилинади. (2.19) формулани биринчи тармоққа татбиқ этиб *а*, *б* тугунлар орасидаги кучланишни ($U_{аб}$) ва манбалари бор тармоқлардаги токларни ифодалаймиз

$$U_{аб} = E_1 - I_1 r_1; \text{ бу ерда}$$

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{аб}}{r_1}. \qquad (2.25)$$

Манба э.ю.к нинг унинг ички қаршилигига нисбати манбанинг қисқа туташув токини ифодалайди:

$$I_{қ.1} = E_1/r_1 = E_1 g_1,$$

бу ерда g_1 — манбанинг ички ўтказувчанлиги. $I_{01} = U_{аб}/r_1$ катталик манбадаги энергия исрофи қувватининг унинг қисмларидаги кучланиш $U_{аб}$ га нисбати билан аниқланадиган токни ифодалайди: $I_{01} = P_{0.1}/U_{аб}$; $I_1 = I_{қ1} - I_{0.1}$. Бу ифода ва бошқа тармоқлар учун ёзилган шунга ўхшаш ифодалар 2.11-расм, *а* даги схемадан 2.11-расм, *б* даги эквивалент схемага ўтиш имконини беради, унда манба қисқа туташув токи ва ички ўтказувчанлик (E_1, r ўрнига $I_қ$, g), истеъмолчи эса — ўтказувчанлик $g = 1/R$ билан тавсифланади.

Кирхгофнинг биринчи қонунига мувофиқ *а* тугун учун

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = I_{қ1} + I_{қ2} + I_{қ3} -$$
$$- (I_{0.1} + I_{0.2} + I_{0.3}),$$

бу тенгликка токлар ифодасини қўйсак, қуйидагини оламиз:

$$U_{аб}G + U_{аб}\,(g_1 + g_2 + g_3)/(I_{қ1} = I_{қ2} + I_{қ3}).$$

Бундан, тугунлар орасидаги кучланиш

$$U_{аб} = \frac{I_{қ1} + I_{қ2} + I_{қ3}}{(g_1 + g_2 + g_3) + G} = \frac{I_қ}{g + G}. \qquad (2.26)$$

(2.26) ифода параллел уланган учта энергия манбаини уларга эквивалент бўлган битта манба билан алмаштириш мумкинлигини кўрсатади, қисқа туташув токи $I_қ = I_{қ1} + I_{қ2} +$

$+I_{к3}$ ва ички ўтказувчанлик $g = g_1 + g_2 + g_3$, унинг характеристикалари бўлиб ҳисобланади.

Агар 2.11-схемада э.ю.к. (E) ва электр энергияси манбаларининг ички қаршилиги (r) маълум бўлса, у ҳолда тармоқлардаги токларни қуйидаги тартибда аниқлаш мумкин: аввал тармоқларнинг ўтказувчанлигини, сўнгра қуйидаги формуладан тугундаги кучланишни топамиз:

$$U_{аб} = \frac{E_1g_1 + E_2g_2 + E_3g_3}{g_1 + g_2 + g_3 + G}. \qquad (2.27)$$

$I_к = E_к$ эканлиги эътиборга олинса, юқоридаги формула (2.26) ифодадан келиб чиқади: кейин (2.25) формуладан ток I_1 ни ва худди шунга ўхшаш бошқа тармоқлардаги токларни топамиз. Токларни аниқлашнинг бу тартиби параллел тармоқлар сони исталганча бўлганда иккита тугунли электр занжирларни ҳисоблашга татбиқ этилади.

Конкрет занжирни ҳисоблашга киришишда дастлаб барча тармоқлар учун бир тугундан иккинчи тугунга ўтишнинг бир хил йўналиши танланади. Тармоқларни айланиб ўтишнинг қабул қилинган йўналишида йўналган э.ю.к. мусбат, тескари томонга йўналганлари — манфий ҳисобланади. Тармоқларнинг ўтказувчанлиги доимо мусбат бўлади.

Мураккаб электр занжирлар. Агар электр занжирини оддий кўринишга келтириб бўлмаса, бундай занжир шартли равишда м у р а к к а б дейилади, чунки схемани ўзгартиришнинг бирор босқичида унда кетма-кет ёки параллел уланган бир жинсли элементларни (пассив ёки актив) ажратиб бўлмайди.

Мураккаб электр занжирларни ҳисоблашнинг барча усулларидан биз энг универсалини — тугун тенгламалари ва контур тенгламалари усулини кўриб чиқамиз. Бу усулда ҳисоблаш учун пассив элементларнинг қаршиликлари (ёки ўтказувчанликлари), манбаларнинг э.ю.к. (қиймати ва йўналиши) бошланғич маълумотлар ҳисобланади. Берилган электр занжирнинг тармоқларидаги токларни аниқлаш талаб қилинади. Бу занжирнинг схемасидаги тугун ва контурлар учун Кирхгоф қонунлари бўйича тенгламалар (биринчи қонун бўйича тугун тенгламалари, иккинчи қонун бўйича контур тенгламалари) тузиш мумкин.

Бу тенгламаларга номаълум токлар киради, уларни тенгламалар системасини ечиб топиш мумкин, тенг-

ламалар сони номаълум токлар сонига (тармоқлар сонига) тенг бўлади.

Масалани ечиш учун тармоқлардаги токларнинг йўналиши танланади (ихтиёрий равишда), сўнгра тенгламалар тузилади. Системада тугун тенгламалари сони схемадаги тугунлар сонидан битта кам бўлиши лозим, қолган тенгламалар — контур тенгламалар бўлади. Контур тенгламаларни тузишда энг оддий контурлар танлаб олинади, лекин уларнинг ҳар бирида бошқа танланган контурларга кирмайдигани камида битта тармоқ бўлиши керак. Бу шартлар системадаги тенгламаларнинг мустақиллигини таъминлайди, шу сабабли уларнинг ҳеч бири бошқасидан келиб чиқмайди.

Текшириш учун савол ва масалалар

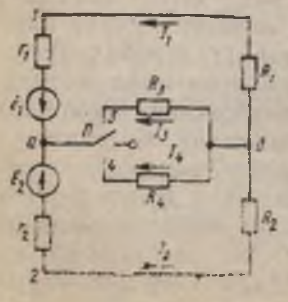
1. 2.10- расм, *а* даги схемада э. ю. к. E_2 нинг йўналиши қарама-қарши томонга ўзгартирилди. Қандай шарт бажарилганда занжирда токнинг йўналиши ўзгаради?

2. 2.10- расм, *а* даги занжирда аккумуляторлар э.ю.к. манбаи бўлиб ҳисобланади, бунда $(E_1 + E_3) < E_2$. Агар: а) E_2 нинг йўналиши қарама-қарши томонга ўзгартирилса; б) барча э.ю.к лар (E_1, E_2, E_3) йўналиши қарама- қарши томонга ўзгартирилса, уларнинг қайси бири зарядланиш режимида бўлади?

3. 2.11- расм, *а* даги занжир манбаларида токларнинг тақсимланиши ҳисоблаш йўли билан топилади. (2.25) формуладан фойдаланиб, ток қайси манбада энг катта бўлишини олдиндан айтиш мумкинми?

4. Э. ю. к. манбаларини кетма-кет мувофиқ улаш бир хилдаги аккумулятор элементларини батарея ҳолида бирлаштирилганда қўлланилади. Бу ҳолда қандай мақсад назарда тутилади? Бундай батареяни битта элементнинг номинал токидан катта бўлган ток билан юклаш мумкинми?

5. Агар туташтирилган электр истеъмолчиларнинг қувватини ошириш талаб қилинадиган бўлса, электр энергияси манбаларини параллел улаш усули қўлланилади. Агар электр истеъмолчига худди шундай электр истеъмолчи параллел уланадиган бўлса 2.11- расм, *а* даги занжирда кучланиш $U_{аб}$ ва умумий ток қандай ўзгаради?



2.12- расм.

2.9.- масала. 2.12- расмда схемаси кўрсатилган электр занжир учун қуйидаги икки ҳолда қувватлар балансини тузинг: а) узиб улагич П *3* ҳолатда; б) узиб- улагич *П О* ҳолатда. Токларни аниқлаш учун тугун ва контур тенгламаларини тузиш усулини татбиқ этинг ва ечимни тугун кучланиш усули билан текшириб кўринг. Қуйидагилар берилган: $E_1 = 120$В; $r_1 = 0{,}2$Ом; $E_2 = 90$В; $r_2 = 0{,}4$ Ом; $R_1 = 9{,}8$ Ом; $R_2 = 4{,}6$ Ом; $R_3 = 5$ Ом; $R_4 = 10$ Ом.

2.10- масала. 1.12- расмдаги схема бўйича занжирни 2.9- масала шарти бў-

йича ҳисобланг, бунда узиб-улагич *П 4* ҳолатда. Токларни аниқлаш учун тугун кучланиш усулини татбиқ этинг ва ечимни тугун ва контур тенгламалари усули билан текшириб кўринг.

2.6-§. ЎЗГАРМАС ТОКНИНГ ЧИЗИҚЛИМАС ЭЛЕКТР ЗАНЖИРЛАРИ

Ўзгармас ток электр занжирларини аналитик ҳисоблашнинг илгари кўриб чиқилган усуллари чизиқли элементлардан тузилган чизиқли занжирлар учун татбиқ этилади.

Таркибида битта чизиқлимас элементи бўлган занжир ҳам **чизиқлимас** занжир дейилади.

Чизиқлимас занжир учун Ом ва Кирхгоф қонунлари тўғри келади, лекин ҳисоблаш масалаларини аналитик усулда ҳал қилиб бўлмайди, чунки чизиқлимас элементнинг қаршилиги бир хилда берилиши мумкин эмас. Ушбу ҳолда қаршилик қиймати ток ёки кучланишга боғлиқ, улар ҳам ҳисоблаш бошланишида номаълум бўлади.

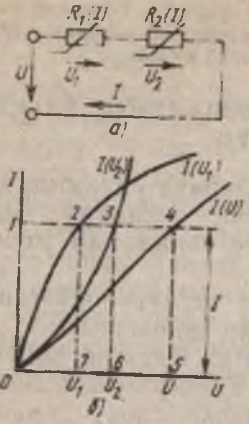
Чизиқлимас занжирларни ҳисоблаш учун график ва графоаналитик усуллар қўлланилади, элементларнинг вольт-ампер характеристикалари $I = f(U)$ эса бошланғич маълумотлар сифатида берилади.

Чизиқлимас элементларни кетма-кет улаш. 2.13-расм, *а* даги занжирни ҳисоблаш учун 2.13-расм, *б* да элементларнинг вольтампер характеристикалари $I(U_1)$ ва $I(U_2)$ берилган. Ана шу характеристикалар асосида токнинг умумий кучланишга боғлиқлигини ифодалайдиган барча занжирнинг вольт-ампер характеристикаси $I(U)$ ни қуриш қийин эмас.

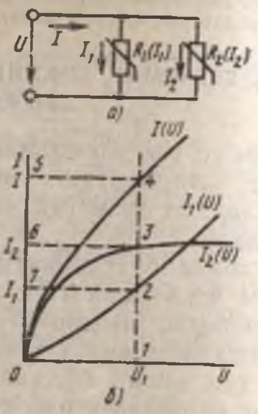
Занжирнинг иккала қисмида ток бир хил, умумий кучланиш эса $U = U_1 + U_2$, шу сабабли умумий вольт-ампер характеристикани қуриш учун бошланғич эгри чизиқлар $I(U_1)$ ва $I(U_2)$ нинг токнинг қатор қийматларига тўғри келадиган абсциссаларини қўшишнинг ўзи кифоя. Битта нуқта учун қуриш 2.13-расм, *б* да кўрсатилган абсциссалар ўқига параллел равишда I токка мос келадиган $1-3$ тўғри чизиқ ўтказилган: танланган масштабдаги $1-2$ ва $1-3$ кесмалар U_1 ва U_2 кучланишларни ифодалайди. Уларни қўшиш йўли билан умумий кучланиш U ни ифодалайдиган $1-4$ кесма ва умумий вольт-ампер характеристикасидаги нуқта *4* олинади.

Худди шу йўл билан яна бир нечта нуқта топилади ва эгри чизиқ $I(U)$ чизилади.

Вольт-ампер характеристикаларни ясаш (2.13-расм, *б*)



2.13- расм



2.14- расм

турли хил масалаларни ечиш учун тайёрлов босқичи ҳисобланади. Масалан, агар умумий кучланиш U маълум бўлса, занжирдаги токни ҳамда қисмлардаги U_1 ва U_2 кучланишларни топиш талаб қилинади.

Абсциссалар ўқида U кучланишга мос келадиган *0 — 5* кесмани белгилаб олиш керак; *5* нуқтадан ординаталар ўқига параллел қилиб умумий вольт-ампер характеристика билан *4* нуқтада кесишадиган *5 — 4* тўғри чизиқ ўтказилади; шу нуқтадан абсциссалар ўқига параллел қилиб *4 — 1* чизиқ ўтказилади. *5 — 4* кесма занжирдаги токка, *1 — 2* ва *1 — 3* кесмалар эса қисмлардаги кучланишларга (тегишлича U_1 ва U_2) мос келади.

Чизиқлимас элементни чизиқли элемент билан кетма-кет улашда, шунингдек, иккитадан ортиқ элементларни (чизиқли ва чизиқлимас) улашда ҳам масала худди шунга ўхшаш ечилади.

Чизиқлимас элементларни параллел улаш. Иккита чизиқлимас элементни (2.14-расм, *а*) параллел улашда уларга битта кучланиш қўйилган, занжирнинг тармоқланмаган қисмидаги ток эса тармоқлардаги токлар йиғиндисига тенг: $I = I_1 + I_2$.

Элементларнинг берилган вольт-ампер характеристикалари асосида умумий вольт-ампер характеристика I (U) 2.14-расм, *б* да кўрсатилгандек, кучланиш қийматларига мос келадиган токларни қўшиш йўли билан қурилади. Берилган кучланиш U асосида тормоқлардаги токлар I_1, I_2 ва умумий ток I ни

топиш керак, деб фараз қилайлик. Абсциссалар ўқига кучланиш U (0 — 1 кесма) қўйилади ва ординаталар ўқига параллел қилиб 1 — 4 тўғри чизиқ ўтказилади. Тўғри чизиқнинг вольт-ампер характеристикалар билан кесишиш нуқталари 2, 3, 4 токлар I_1, I_2, I нинг қийматларини кўрсатади (тегишлича 1 — 2, 1 — 3, 1 — 4 кесмалар).

Чизиқлимас элементни чизиқли элемент билан параллел улашда, шунингдек, чизиқли ва чизиқлимас элементларнинг сони иккитадан кўп бўлганда ҳам масалалар худди шунга ўхшаш ечилади.

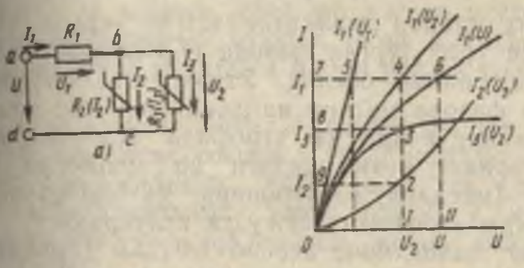
Текшириш учун савол ва масалалар

1. 2.13-расм, б даги масалани қайси тартибда ечиш керак: ток I берилган, кучланишлар U_1, U_2, U ни аниқлаш керак; кучланиш U берилган, ток I, кучланишлар U_2, U ни аниқлаш керак?

2. 2.14-расм, б га қараб масалаларни қай тартибда ечиш керак: умумий ток I берилган, токлар I_1, I_2 ни, кучланиш U ни аниқланг; ток I_2 берилган, токлар I_2, I ни, кучланиш U ни аниқланг.

3. 2.13-расм, б да иккита чизиқлимас элементнинг вольт-ампер характеристикалари $I(U_1)$ ва $I(U_2)$ берилган. Ток I_1 бўлганда бу элементлардан қайси бирининг қаршилиги кам бўлади?

2.11-масала. 2.15-расм, а даги схемадаги чизиқлимас элементларнинг вольт-ампер характеристикалари 2.1-жадвалда берилган. Агар занжирнинг тармоқланмаган қисмига қаршилиги $R_1 = 5$ Ом бўлган чизиқли резистор уланган бўлса, бутун занжирнинг вольт-ампер характеристикасини ясанг.



2.15-расм

2.1-жадвал

U_2, В	0	10	20	30	40	50	60	80	100	120
I_2, А	0	0,2	0,6	1,0	1,2	1,8	2,2	3,2	4,2	6
I_3, А	0	1,6	2,8	3,4	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,7

2.12-масала. 2.11-масалани ечишда қурилган вольт-ампер характеристикалар асосида қуйидагиларни: а) кириш қисмаларидаги кучланиш

$U = 90$ В бўлганда занжирнинг барча элементларидаги токларни: а) агар ток $I_1 = 2$ А бўлса, чизиқли резисторда кучланишнинг пасайишини аниқ-ланг.

3-БОБ.

МАГНИТ МАЙДОН

Магнит майдон ҳақидаги тушунча фанга магнит ҳодисаларни узоқ вақт кузатиш ва ўрганиш натижасида кириб келди. Бундай ҳодисалар магнитланган жисмлар (доимий магнитлар) ёки симларнинг бир-бирига тортилиши ва итарилиши, токли симнинг магнит стрелкасига таъсири, электромагнит индукция (3,6-§ га қ.) ва бошқалар киради.

Магнит ҳодисаларни ва улардан амалда фойдаланиш имкониятларини ватанимиздаги ва чет эллардаги кўпчилик олимлар ўрганганлар. Улар қаторида рус академиклари Э. Х. Ленц (1804—1865), Б. С. Якоби (1801—1874), француз физиги ва математиги Ампер (1775—1836) ва бошқалар бор.

3.1-§. МАГНИТ МАЙДОННИНГ АСОСИЙ ХОССАЛАРИ ВА ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

Магнит майдон ҳаракатланаётган зарядланган заррачаларни ўраб турган фазода бор бўлиб, майдон шу заррачалар билан боғлиқ. Ўтказгичда ёки унинг атрофидаги фазода магнит майдонни шу ток, магнитланган жисмнинг ичида ва атрофида эса — зарядланган заррачаларнинг атом ичидаги ва молекула ичидаги ҳаракати (масалан, электроннинг ўз ўқи атрофида ва атом ядроси атрофида) вужудга келтиради.

Магнит майдоннинг асосий хоссаси ҳаракатланаётган электр жиҳатдан зарядланган заррачага куч билан таъсир этишидир, бунда таъсир кучи заррачанинг зарядига ва унинг тезлигига мутаносиб бўлади.

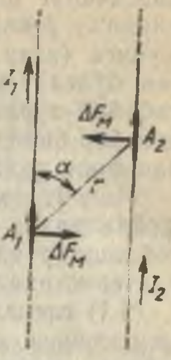
Магнит майдоннинг бу хоссаси унинг миқдорий характеристикаларини аниқлашга асос бўлади, бу характеристикаларсиз магнит ҳодисаларни ўрганиб ва уларнинг амалда фойдаланилиши билан боғлиқ ҳисоблашларни бажариб бўлмайди.

Ампер қонуни. 1820 йилда Ампер электр токларнинг ўзаро таъсир кучини ифодаловчи қонунни яратди. Бу

қонуннинг таърифи ва математик ифодаси кейинроқ ток элементлари ўзаро таъсирининг идеаллаштирилган ҳоли учун берилган (3.1- расм).

Тўғри чизиқ шаклидаги ўтказгич бўйлаб ўтадиган ўтказувчанлик токининг (I) шу ўтказгичнинг чексиз кичик кесмасига (Δl) кўпайтмасига сон жиҳатдан тенг бўлган катталик $A = I \Delta l$ ток элементи дейилади.

Ток икки элементининг ўзаро таъсир кучи шу ток элементларининг кўпайтмасига тўғри мутаносиб ва улар орасидаги масофанинг квадратига тескари мутаносибдир.



3.1- расм.

$$\Delta F_{м} = \frac{\mu_0 A_1 A_2 \sin\alpha}{4\pi r^2}, \qquad (3.1)$$

бу ерда $\Delta F_{м}$ — элементар магнит кучи, Н; А — ток элементи, А м; r — ток элементлари орасидаги масофа; α — йўналишлар орасидаги бурчак; A_1 ва r; $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \frac{\text{генри}}{\text{метр}}$(гн/м) — магнит доимийси.

(3.1) формула токлар вакуумда ўзаро таъсир этадиган ҳол учун ёзилган. Бу формула ҳамда вакуумдаги магнит майдонга тааллуқли кейинги ифодалар магнит майдон ҳаводa ёки бошқа ноферромагнит муҳитда ҳосил бўлганда ҳам тўғридир (ферромагнит муҳитдаги магнит майдон ҳақида 3.3-§ га қаранг).

Магнит майдоннинг манбаи I_1 токли сим, ток I_2 эса шу майдоннинг характеристикаларини ўзгартирмайдиган даражада кичик, деб фараз қилайлик. Ушбу ҳолда ток элементи A_2 синов элементи ҳисобланади, унинг ёрдамида $F_{м}$ кучни аниқлаш ва фазонинг турли нуқталарида магнит майдонни текшириш мумкин.

Иккита ток элементидан (A_1 ва A_2) ҳар бири ўзининг магнит майдонини вужудга келтиради; уларни ўраб турган фазода бир майдон иккинчисига қўшилади ва умумий магнит майдон ҳосил бўлади (майдонларнинг қўшилиш принципи). Икки токнинг куч билан ўзаро таъсирини уларнинг ҳар бирига шу токлар вужудга келтирган умумий магнит майдоннинг таъсири натижаси сифатида қараш керак.

Магнит индукцияси. Магнит майдоннинг амалиёт учун муҳим бўлган хосса ва характеристикалари ўт-

казгичнинг шаклига, ундаги токнинг қиймати ва йўналишига, ўтказгичларнинг бир-бирига нисбатан жойлашувига (агар майдонни ўтказгичлар гуруҳи ҳосил қилган бўлса), муҳитнинг хоссаларига ва б. боғлиқ. Шу сабабли турли шароитларда ҳосил бўлган магнит майдон бир-биридан шакли ва миқдорий кўрсаткичлари билан фарқ қилади.

Магнит майдонларни ўзаро таққослаш, улардан фойдаланиш имкониятларини баҳолаш ва тегишли ҳисоблашлар қилиш учун уларнинг куч ва энергетик характеристикалари аниқланган ҳамда қўлланилмоқда.

(3.1) ифодадан кўриниб турибдики, куч $F_м$, ток A_2 синов элементининг катталигига боғлиқ, шу сабабли ундан магнит майдон характеристикаси сифатида фойдаланиб бўлмайди. Вектор магнит индукцияси B магнит майдоннинг куч характеристикаси ҳисобланади.

Магнит индукцияси — вектор катталик бўлиб, сон жиҳатдан зарядланган заррачага таъсир этувчи кучнинг заряд билан заррача тезлиги кўпайтмасининг (агар тезлик йўналиши куч максимал бўладиган томонга йўналган бўлса) нисбатига тенг.

Магнит индукциянинг йўналиши куч $F_м$ билан заррача тезлиги векторларига перпендикуляр бўлади.

Ана шу таъриф асосида ва (2.1) формулани эътиборга олиб, элементар магнит индукциясининг ифодасини ҳосил қиламиз:

$$\Delta B = \frac{\Delta F_м}{Qv} = \frac{\Delta F_м}{Q \Delta l / \Delta t} = \frac{\Delta F_м}{I \Delta l},$$

(3.1) формуладан қуйидаги келиб чиқади:

$$\Delta B = \frac{\Delta F_м}{A_2} = \frac{\mu_0 A_1 \sin \alpha}{4 \pi r^2}.$$

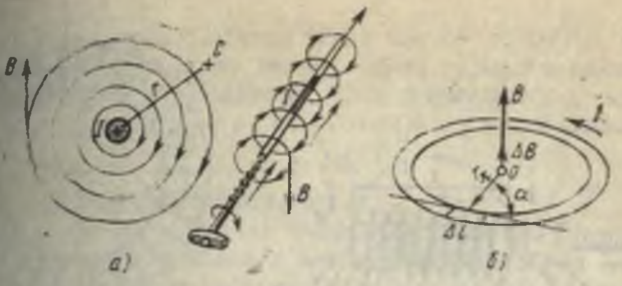
Бундан

$$\Delta B = \frac{\mu_0 I \Delta l \sin \alpha}{4 \pi r^2}, \qquad (3.2)$$

бу ерда ΔB — магнит индукцияси, Тл (тесла); $I \Delta l$ — токнинг синов элементи, А·м.

(3.2) формула Био — Савар қонунини ифодалайди ва фазонинг токли симнинг ўқидан r масофадаги исталган C нуқтасида элементар магнит индукциясини билдиради.

Чекли ўлчамдаги сим кўп элементлардан таркиб топган бўлади, шу сабабли берилган нуқтадаги магнит



3.2- расм

индукциясини симнинг бутун узунлиги бўйлаб олинган элементар катталиклар ΔB нинг вектор йиғиндиси сифатида топиш мумкин.

Ток I ли узун тўғри сим учун (3.2- расм, *а*) бундай ечим $B = \mu_0 I/2\pi r$ формулага олиб келади, ток I ли симнинг ҳалқасимон ўрамининг марказидаги (3.2- расм, *б*) магнит индукцияси эса $B = \mu_0 I/2r_x$, бунда r_x — ҳалқасимон ўрам радиуси.

Узунлиги l, ўрамлар сони N ва улардаги ток I бўлган ғалтакнинг ичида (3.3- расм, *а*) магнит индукцияси

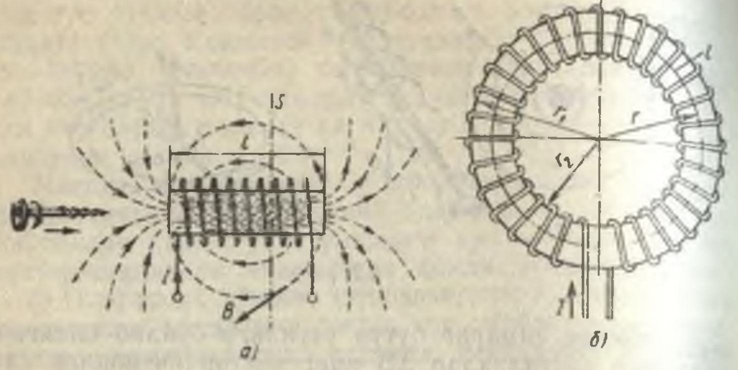
$$B = \mu_0 IN/L. \qquad (3.3)$$

Ҳалқа шаклидаги ноферромагнит ўзакли ғалтак учун (3.3- расм, *б*) $l = 2\pi r$, бунда r — ўзак радиуси.

Магнит майдоннинг яққол тасвири магнит индукцияси чизиқлари (куч чизиқлари) ёрдамида ҳосил қилинади. Бундай чизиқнинг ҳар бир нуқтасида магнит индукцияси векторининг йўналиши шу чизиққа уринма билан устма-уст тушади (3.2- расм, *а*, 3.3- расм, *а*).

(3.3) формула ва 3.3- расм, *а* дан кўриниб турибдики, узун цилиндрсимон ғалтакнинг ичида магнит индукцияси барча нуқталарда катталиги ва йўналиши жиҳатидан бир хил бўлади. Бундай магнит майдон бир жинсли (ёки бир меъёрдаги) майдон дейилади.

Магнит оқими ва оқимилашуви. 3.3- расм, *а* да ғалтак ўқига перпендикуляр равишда S майдон жойлашган (унинг изи штрихпунктир чизиқ билан кўрсатилган). Ушбу ҳолда бу текисликни бир меъёрли майдон магнит индукцияси чизиқлари тўғри бурчак остида тешиб ўтади (магнит индукцияси чизиқларининг йўна-



3.3- расм

лиши билан S текисликка бўлган нормал орасидаги бурчак $\alpha=0$).

Ғалтакнинг магнит майдон характеристикаси сифатида магнит индукцияси қийматидан ташқари магнит индукцияси оқими (магнит оқими) ҳам аниқланади, у берилган шароитда ($B=\text{const}$, $\alpha=0°$) қуйидаги кўпайтма билан ифодаланади:

$$\Phi = BS. \quad (3.4)$$

бу ерда Φ — магнит оқими Вб (вебер).

Юза бирлигига тўғри келадиган магнит индукцияси чизиқларининг сони (чизиқлар зичлиги) магнит индукцияси B қийматига сон жиҳатдан тенг, деб фараз қилайлик. У ҳолда ғалтак ичидаги чизиқларнинг умумий сони BS бўлади (S — ғалтак кўндаланг кесимининг юзаси ёки ўрам билан чекланган юза), яъни у ғалтакнинг магнит индукцияси оқимига сон жиҳатдан тенг.

Агар магнит индукцияси чизиқлари $\alpha=0$ бўлганда текисликни тешиб ўтадиган бўлса, у ҳолда магнит оқими ушбу формуладан топилади:

$$\Phi = BS\cos\alpha. \quad (3.5)$$

(3.4) формулага магнит индукцияси ифодасини (3.3) қўйсак, қуйидагини оламиз:

$$\Phi = \frac{\mu_0 INS}{l}. \quad (3.6)$$

3.3- расм, *б* даги ғалтакнинг магнит майдонида унинг N ўрамларига илашган бирор ёпиқ контур l ни кўриб чиқамиз.

Шу контур қамраб оладиган тўлиқ ток IN кўпайтма билан ифодаланади. Ғалтакнинг магнит оқими тўлиқ ток қийматига тўғри пропорционал боғланган [(3.6) формулага қ.], шу сабабли IN катталикни **магнитловчи куч** ҳам дейилади:

$$F = IN, \tag{3.7}$$

бу ерда F — магнитловчи куч, А.

Магнитловчи кучнинг йўналиши ғалтак ўрамларидаги токнинг йўналишига боғлиқ ва уни парма қоидаси билан аниқлаш мумкин: *агар ўнг йўлли парманинг дастаси ўрамлардаги ток йўналиши бўйича айлантирилса, у ҳолда парманинг илгарилама ҳаракати токли ғалтакдаги магнитловчи кучнинг йўналишини кўрсатади* (3.3- расм, *а*).

3.3- расм, *а* га қараб, магнит индукцияси чизиқларини ғалтакнинг ўрамлари ўраб олганлигини ва улар ўрамларни қамраб олиб туташувини яққол тасаввур қилиш мумкин. Магнит оқими ғалтак ўрамларига илашган дейилади, ҳисоблашлар учун эса оқимилашув катталиги киритилган.

Ғалтакнинг алоҳида ўрамларига илашган магнит оқимлари йиғиндиси **оқимилашув** дейилади.

N ўрамининг ҳаммаси магнит оқими Φ билан илашган ғалтакнинг оқимилашуви ушбу кўпайтма билан ифодаланади:

$$\psi = \Phi N, \tag{3.8}$$

бу ерда ψ — оқимилашув, Вб.

Ғалтакнинг оқимилашуви шу ғалтакнинг токи туфайли пайдо бўлган бўлса, у **хусусий ёки ўзиндукция оқимилашуви** дейилади. 3.4- расм, *а*, *б* ларда ғалтак N_1 нинг оқимилашуви хусусийдир $\psi_{1.1} = \Phi_1 N_1$. Агар ғалтакнинг оқимилашуви бошқа ғалтакнинг электр токи туфайли пайдо бўлган бўлса, у **ўзаро оқимилашув ёки ўзаро индукция оқимилашуви** дейилади.

3.4- расм, *а* даги ғалтак N_2 нинг ўзаро оқимилашуви $\psi_{1.2} = \Phi_{1.2} N_2$ бор, 3.4- расм, *а* да $\Phi_{1.2} = \Phi_1$, 3.4- расм, *б* да эса $\Phi_{1.2} < \Phi_1$, чунки бунда маълум миқдорда сочилиш магнит оқими Φ_s бўлади.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Магнит майдонда электрон магнит индукцияси чизиқларига перпендикуляр равишда ҳаракатланади. Агар унинг тезлиги ўзгарса, электронга таъсир этувчи куч ҳам ўзгарадими? Агар электроннинг

тезлиги нолга тенг бўлса, бу кучнинг катталиги қанча бўлади?

2. Нима учун магнит майдонда ток элементига таъсир этувчи кучнинг ўзи эмас, балки магнит индукцияси B магнит майдоннинг куч характеристикаси ҳисобланади?

3. 3.2- расм, *а* дан фойдаланиб, токли тўғри симнинг магнит индукцияси чизиқларининг йўналишини аниқлаш учун қўлланиладиган парма қоидасини таърифлаб беринг. 3.5- расм, *а — д* ларда кўрсатилган ҳолларда магнит индукцияси чизиқларини қандай йўналтириш лозим?

4. Ҳалқа шаклидаги ғалтакнинг (3.3- расм, *б* га қ.) магнит майдон йўналишини ўзгартириш учун қандай имкониятлар бор?

5. Бир меъёрдаги магнит майдоннинг магнит индукцияси чизиклари доира шаклидаги текисликни ва унга таянадиган сферик сиртни (3.6- расм) $\alpha=90°$ бурчак остида тешиб ўтади. Ана шу текисликлар орқали ўтадиган магнит оқимларини бир хил, дейиш мумкинми? Агар бундай дейиш мумкин бўлмаса, қайси магнит оқими катта бўлади?

3.1- масала. 3.7- расмда кўрсатилгандек жойлашган *А, В, С* нуқталардаги магнит индукциясини аниқланг. Линия симларидаги ток $I=1000$ А, симлар орасидаги масофа $b=40$ см.

3.2- масала. Радиуси ўрта чизиғи бўйлаб $r=10$ см ва кўндаланг кесим юзаси $S=10$ см^2 бўлган, ноферромагнит материалдан ясалган ҳалқага бир текисда $N=300$ ўрам жойлаштирилган. Ғалтакдаги ток $I=30$ А бўлганда ғалтакнинг оқимилашувини аниқланг. Агар хусусий оқимилашуви $\Psi=18\cdot10^{-4}$ Вб бўлса, ўша чулғамдаги токни топинг.

3.2- §. ИНДУКТИВЛИК

Токли тўғри ўтказгич ёки ғалтак магнит майдон манбаи ҳисобланади ва хусусий оқимилашув билан тавсифланади.

Ғалтакда ток ўзгарганида унинг хусусий оқимилашуви ҳам ўзгаради; агар системада ўзаро магнит оқими билан боғланган иккита ғалтак бўлса, у ҳолда ўзаро оқимилашуви ҳам ўзгаради (3.4- расмга қ.). Иккала ҳолда ҳам оқимилашуви ток қиймати билан аниқланибгина қолмасдан, муҳитнинг хоссаларига, ғалтакларнинг шакли ва ўлчамларига, иккинчи ҳолда эса уларнинг ўзаро жойлашувига ҳам боғлиқ бўлади.

Бу боғлиқликни ифодалаш учун хусусий ва ўзаро индуктивлик деган тушунчалар киритилган.

Хусусий индуктивлик. Бу индуктивлик ток билан шу ток вужудга келтирган магнит майдон орасидаги боғлиқликни тавсифлайди.

Ҳусусий индуктивлик катталиги электр занжир элементининг ўз индукция оқимилашувининг шу занжирдаги токка нисбатига тенг:

$$L = \psi / I, \qquad (3.9)$$

бу ерда L — индуктивлик, Гн (генри).

Амалда электр узатиш линиялари ва симли электр алоқанинг, электр машиналар, аппаратлар, электромагнитлар ва ҳоказоларнинг индуктивлиги аниқланади ва ҳисоблашларда эътиборга олинади.

Электротехникада, радиотехникада, электроникада хусусий ва ўзаро индуктивлиги бор қурилмалар кенг кўламда ишлатилади, индуктивликдан муайян мақсадларда фойдаланилади.

Электр занжирининг индуктивлигидан фойдаланишга мўлжалланган элементи **индуктив ғалтак** дейилади.

Индуктивликнинг умумий таърифи [(3.9) формулага қ.] ва бошқа бизга маълум ифодалар асосида маълум қурилмаларнинг индуктивлигини ҳисоблашга доир формулаларни осон келтириб чиқариш мумкин: (3.10) формула — цилиндрсимон ёки ҳалқасимон ғалтак учун, (3.11) формула эса — икки симли линия кесмаси учун:

$$L = \psi / I = \mu_0 N^2 S / l, \qquad (3.10)$$

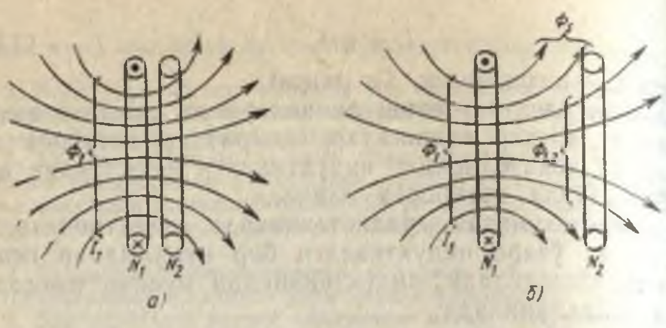
$$L = \frac{\mu_0 l}{\pi} \ln \frac{a}{r_0}. \qquad (3.11)$$

бу ерда a — линия симлари орасидаги масофа; r_0—симнинг кўндаланг кесим радиуси.

(3.10) формула ғалтакнинг магнит майдони бир меъёрда ва ғалтакнинг барча ўрамлари билан битта магнит оқимнинг ўзи илашади, деган фараз асосида олинган. Шу сабабли ундан узунлиги диаметридан анча катта ($l \gg D$) бўлган цилиндрсимон ғалтакнинг индуктивлигини ҳисоблаб топиш учун фойдаланиш мумкин.

l/D нисбат қанча катта бўлса, натижа ҳам шунча аниқ бўлади. Амалда (масалан, радиотехникада) шундай ғалтаклар ишлатиладики, улар учун бу шарт кўпинча бажарилмайди, шу сабабли индуктивликни аниқлаш учун (3.10) формулага тузатиш коэффициентлари, ҳисоблаш эгри чизиқлари ёки справочникларда келтириладиган эмпирик формулалар ишлатилади.

Ўзаро индуктивлик. Бир-бирига яқин жойлашган токли икки ғалтакнинг магнит боғлиқлигига сабаб шуки, биринчи ғалтакнинг токи I_1 ҳосил қилган магнит оқими иккала ғалтакнинг ўрамлари билан тўлиқ ёки



3.4- расм

қисман илашган бўлади. Магнит сочилиши йўқ, яъни магнит оқими Φ_1 нинг ҳаммаси иккала ғалтакнинг ўрамлари билан илашган, деб фараз қилайлик (3.4-расм, *a* га к.). Ушбу ҳолда биринчи галтакнинг хусусий оқимилашуви

$$\psi_{1.1} = \Phi_1 N_1 = L_1 I_1 \quad (3.12)$$

ва ўзаро оқимилашув бўлади

$$\psi_{1.2} = \Phi_1 N_2 = M_{1.2} I_1, \quad (3.13)$$

бу оқимилашув хусусий оқимилашув каби, оқимни ҳосил қиладиган токка мутаносиб бўлади [(3.13) формула (3.12) формула каби ёзилган].

Мутаносиблик коэффициенти $M_{1.2}$ ўзаро индуктивлик дейилади.

Агар хусусий ва ўзаро оқимилашувлар иккинчи ғалтакнинг токи I_2 туфайли вужудга келган бўлса, улар ҳам худди шундай ифодаланади:

$$\psi_{2.2} = \Phi_2 N_2 = L_2 I_2 \quad (3.14)$$

$$\psi_{2.1} = \Phi_2 N_1 = M_{2.1} I_2. \quad (3.15)$$

Иккита индуктив ғалтакнинг ўзаро индуктивлиги — бу битта галтак ўзаро индукцияси оқимилашувининг иккинчи ғалтакнинг шу оқимилашувни келтириб чиқарган токига нисбатига тенг катталикдир.

(3.12) — (3.15) ифодалар асосида $M_{1.2} M_{2.1} = L_1 L_2$ тенгликни ҳосил қилиш, ўзаролик принципидан фойдаланиб эса $M_{1.2}$ ва $M_{2.1}$ коэффициентлар бир хил эканлигини исботлаш мумкин: $M_{1.2} = M_{2.1} = M$. Шу сабабли магнит сочилиш бўл-

маганида, яъни магнит боғланиш тўлиқ бўлганда $M=\sqrt{L_1 L_2}$ бўлади. Ҳақиқатда биринчи ғалтак магнит индукцияси чизиқларининг бир қисми иккинчи ғалтак билан магнит боғланиш ҳосил қилмайди. Бу чизиқлар сочилиш магнит оқими Φ_s ни ҳосил қилади. Магнит (индуктив) боғланишдан фойдаланиладиган реал қурилмаларда сочилиш магнит оқими иложи борича камайтирилиши керак. Бироқ сочилиш оқимларини нолга қадар камайтириб бўлмайди, шу сабабли ўзаро индуктивлик ушбу формула билан ифодаланади:

$$M = k\sqrt{L_1 L_2}. \qquad (3.16)$$

Магнит боғланиш коэффициенти амалда доимо бирдан кичик ($x < 1$) бўлади, назарий жиҳатдан эса у 0 дан 1 гача қийматга эга бўлиши мумкин.

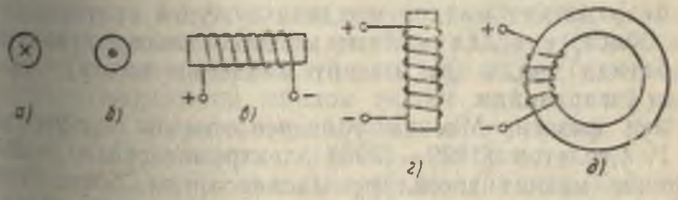
Текшириш учун савол ва масалалар

1. Ғалтак индуктивлигини аниқлаш мақсадида (3.10) ифодани ҳосил қилиш учун 3.1-§ даги қандай формулалардан фойдаланиш керак?

2. Хусусий индуктивликни аниқлаш учун (3.9), (3.10), (3.11) формулалардан фойдаланилади. Уларни таҳлил қилиб, индуктивлик ток қийматига ва оқимилашувга боғлиқ эмас, дейиш мумкинми?

3. Хусусий индуктивлик ва электр сиғими тушунчалари электротехника ва радиотехникада муҳим аҳамиятга эга. Бу тушунчаларнинг ўхшашлиги ва уларнинг бир-биридан асосий фарқи нимадан иборат?

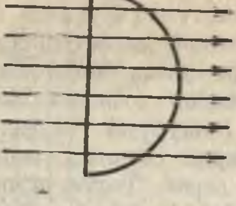
4. Индуктивлиги бўлмаган ғалтак ҳосил қилиш зарур бўлса, ғалтакка иккига букланган сим ўралади (бифиляр ўрам). Нима учун бундай ғалтакнинг индуктивлиги бўлмайди?



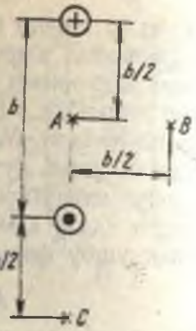
3.5- расм

5. Битта ўзакка жойланган иккита чулғам электр жиҳатдан кетма-кет уланади, магнит жиҳатдан эса уларни мувофиқ ёки муқобил қилиб улаш мумкин. Қандай усулда уланганда системанинг умумий индуктивлиги кам бўлади?

3.3- масала. Тўғри бурчакли кўндаланг кесими $S=6$ см, ташқи ва ички радиуслари 11 см ҳамда 9 см бўлган ноферромагнит ўзакка ўралган, ўрамлар сони $N=500$ бўлган ҳалқасимон ғалтакнинг индуктивлигини аниқланг. Ғалтакнинг ўлчамлари худди шундай (l, S) бўлганда унинг индуктивлиги $h=1{,}2$ мГн бўлса, чулғамидаги ўрамлар сонини аниқланг.



3.6- расм.



3.7- расм.

3.4- масала. Ноферромагнит материалдан ясалган, диаметри (ўрта чизиғи бўйлаб) $D=20$ см бўлган ҳалқасимон ўзакка ўрамлари сони $N_1=800$, $N_2=300$ бўлган иккита чулғам жойлаштирилган. Ўзакдаги магнит оқимини ва чулғамлардаги ток $I=5$ А бўлганда индуктивликни икки ҳол учун аниқланг: а) чулғамлар мувофиқ уланган; б) чулғамлар муқобил уланган.

3.3- §. МОДДАЛАРНИНГ МАГНИТ ХОССАЛАРИ

Магнит майдон интенсивлиги шу майдонни вужудга келтирган ток билан аниқланади. Буни (3.3) ифода тасдиқлайди, бу ифодадан вакуумдаги магнит индукцияси ток қийматига мутаносиб эканлиги кўриниб турипти.

Агар магнит майдон моддада вужудга келтириладиган бўлса, у ҳолда майдон моддага таъсир этади, ўз навбатида модда ҳам магнит майдонни маълум даражада ўзгартиради.

Рус физиги, Москва университетининг профессори А. Г. Столетов (1839—1896) электромагнетизм, моддаларнинг магнит хоссалари масалаларига доир катта илмий-тадқиқот ишларини ўтказди. Унинг шу соҳадаги ишларидан темирнинг магнитланишини, ферромагнит материалларнинг хоссалари ва характеристикаларини ўрганишга доир ишларни таъкидлаб ўтамиз.

Магнитланиш. Ташқи магнит майдонда (ташқи токлар майдонида) турган модда магнитланади ва унда қўшимча ички магнит майдон вужудга келади. Бу майдон ҳаракатланаётган зарядланган заррачалар билан боғлиқ (электронларнинг ички атом орбиталари бўйлаб ҳаракати ёки электронлар ва атом ядроларининг ўз ўқ-

лари атрофидаги ҳаракати). Ушбу ҳолда зарядланган заррачаларнинг ҳаракатини элементар айланма токлар сифатида қараш мумкин.

3.8- расм

Элементар айланма токнинг (3.8- расм) магнит хоссалари магнит моменти билан тавсифланади, бу моментнинг қиймати элементар айланма ток билан у ҳосил қилган доиранинг юзасига кўпайтмаси билан ифодаланади $m = iS$, унинг йўналиши эса парма қоидаси билан аниқланади.

Ташқи магнит майдон бўлмаганида элементар токлар модда ичида тартибсиз йўналади, шу сабабли ҳатто кичик ҳажмли модданинг ҳам умумий (йиғинди) магнит моменти нолга тенг ва теварак-атрофдаги фазода элементар ички токларнинг магнит майдони бўлмайди.

Ташқи магнит майдонининг моддадаги элементар токларга таъсири шундан иборатки, бунда заррачаларнинг айланиш ўқларининг жойлашуви ўзгариб; уларнинг магнит моментлари бир томонга йўналган бўлиб қолади. Бир хил ташқи магнит майдонда турли моддаларнинг магнитланиш жадаллиги ва характери бир-биридан анча фарқ қилади. Шу нуқтаи назардан моддалар диамагнит, парамагнит ва ферромагнит моддаларга бўлинади.

Диамагнит моддаларнинг (сув, водород, кварц, кумуш, мис ва б.) ўзига хос хусусияти шундан иборатки, уларда ички токларнинг магнит майдони (иккиламчи) ташқи майдонга қарама-қарши йўналган бўлади, шу сабабли натижавий майдон ташқи майдондан кучсизроқ бўлади. *Парамагнит* (алюминий, кислород, ҳаво ва ҳ.) ва *ферромагнит* (темир, кобальт, никел ва уларнинг баъзи қотишмалари) моддаларда элементар токларнинг магнит моментлари ташқи магнит майдон йўналишида бўлади, яъни уни кучайтиради. Ферромагнит моддалар электротехникада айниқса муҳим аҳамиятга эга, шу сабабли уларнинг магнит хоссалари кейинроқ батафсил кўриб чиқилган.

Магнит сингдирувчанлик. Модда хоссаларининг магнит майдонга таъсирини ҳисобга олиш учун магнит индукцияси ҳамда вакуумдаги магнит оқимини ифодаловчи (3.2), (3.3), (3.6) формулаларга кўпайтувчи сифатида ўлчамсиз коэффициент киритиш керак, у нисбий магнит сингдирувчанлик

дейилади: $\mu_a = \mu_0 \mu_r$. Бундай белгилашда (3.3) ва (3.6) ифодалар асосида магнит индукциясининг ва ғалтак магнит оқимининг формулаларини ёзиш мумкин бўлади:

$$B = \frac{\mu_a I_0 N}{l}, \qquad (3.17)$$

$$\Phi = \frac{\mu_a INS}{l}. \qquad (3.18)$$

Диамагнит ва парамагнит моддаларда μ_r нинг қиймати бирдан жуда кам фарқ қилиши тажрибаларда аниқланган, шу сабабли амалий ҳисобларда бундай моддалар учун $\mu_r = 1$ деб олинади, яъни вакуум учун бўлган ифодалардан фойдаланилади. Ферромагнит моддаларда $\mu_r \gg 1$ бўлади.

Бунга сабаб шуки, бундай моддаларда ўз-ўзидан магнитланадиган жойлар, яъни қисмлар (доменлар) бўлади, шундай қисмлар доирасида (ҳажми 10^{-7}—10^{-6} $см^3$) элементар магнит моментлар бир хил йўналган бўлади. Улар тўпланиб, доменларнинг умумий магнит моментини ҳосил қилади.

Алоҳида қисмларининг ўз-ўзидан магнитланишига қарамай, ферромагнит жисмларнинг магнит хоссалари уларни ўраб турган фазода сезилмайди, чунки доменларнинг магнит моментлари турли йўналишларда йўналган бўлади. Ташқи магнит майдон таъсирида доменларнинг магнит моментлари бир томонга йўналади ва ташқи магнит майдон йўналган томонга йўналган бўлиб, жисмнинг умумий магнит майдонини ҳосил қилади.

Ғалтакларнинг ферромагнит ўзакларидан фойдаланиб, амалиётда бу муҳим хусусиятдан қўлланилади, бу эса ток қиймати ва ўрамлар сони ўзгармаган ҳолда магнит индукциясини ва магнит оқимини кескин кучайтиришга имкон беради, бошқача айтганда нисбатан кичик ҳажмда магнит майдонни тўплаш мумкин бўлади.

Магнит майдон кучланганлиги. Ферромагнит моддаларнинг ўзига хос яна бир хусусияти шундан иборатки, уларнинг магнит сингдирувчанлиги ўзгармас катталик эмас, балки магнит индукциясининг қийматига қараб ўзгариб туради. Бу деган сўз, кўпчилик ҳисоблашларда ўзакнинг магнит сингдирувчанлик қиймати олдиндан маълум бўлмайди ва шу сабабли магнит индукцияси ёки оқимини аниқлаш учун келтирилган ҳисоблаш фор-

мулаларидан [масалан, (3.17), (3.18)] фойдаланиб бўлмайди.

Бундай масалаларни ечиш мумкин бўлиши учун магнит майдон характеристикаси сифатида магнит индукцияси билан бир қаторда бошқа катталикни ҳам киритиш керак; бу катталик муҳитнинг (ўзак материалининг) хоссаларига боғлиқ бўлмайди, балки фақат ғалтакдаги ток қиймати ва унинг ўлчамлари (l, S, N катталиклар) билан аниқланади.

Мисол тариқасида ҳалқасимон ғалтак оламиз ва (3.17) да тенгликнинг иккала қисмини μ_a га бўламиз: $B/\mu_a = IN/l$ Тенгликнинг чап қисмидаги катталик магнит майдон кучланганлиги дейилади:

$$H = B/\mu_a. \tag{3.19}$$

Бу формуладан кўриниб турибдики, магнит майдон кучланганлиги магнит индукцияси билан боғлиқ ва шу сабабли магнит майдон характеристикаси ҳисобланади. Лекин уни ғалтакнинг конструктив характеристикаларини (N, l) ва унинг чулғамидаги ток қийматини ҳисобга олгандагина аниқлаш мумкин:

$$H = IN/l \tag{3.20}$$

бу ерда H — магнит майдон кучланганлиги, А/м (ампер/метр).

Ферромагнит моддаларда $B = f(H)$ боғланиш чизиқлимас, магнит сингдирувчанлик доимий эмас, балки магнит индукцияси ўзгариши билан ўзгариб туради ($\mu_a \neq \text{const}$), шу сабабли (3.19) формуладан магнит майдон кучланганлиги H нинг маълум қиймати асосида магнит индукцияси B нинг қийматини (ёки, аксинча, B нинг маълум қиймати асосида H қийматни) топиб бўлмайди.

Бундай масала ўзак материалининг магнитланиш эгри чизиғига $B = f(H)$ қараб ечилади (3.11- расмга ёки 2- иловадаги 3- жадвалга қ.).

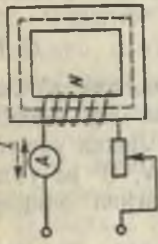
Шу билан бирга (3.19) формула ўзакнинг берилган магнитланганлик ҳолатида, яъни B ва H қийматлари маълум бўлганда абсолют магнит сингдирувчанлик μ_a қийматини аниқлашга имкон беради.

Абсолют магнит сингдирувчанлик — бу модданинг магнит хоссаларини тавсифловчи катталик бўлиб, магнит индукцияси модулининг магнит майдон кучланганлиги модулига нисбатига тенг.

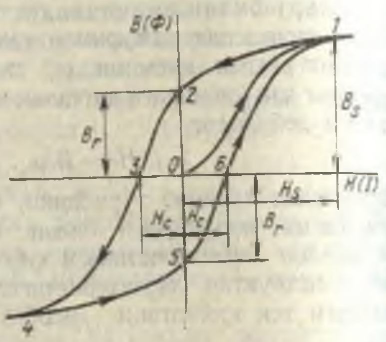
(3.20) формуладан (3.21) тенглик келиб чиқади, у тўлиқ ток қонунига мувофиқ келади (батафсилроқ 3.4- § га қ.):

$$IN = Hl. \qquad (3.21)$$

Ферромагнит материаллар ва уларнинг хоссалари. Магнитланиш ва ташқи магнит майдонни кучайтириш хусусияти — бу ферромагнит моддаларнинг муҳим хусусияти, лекин ягона хусусияти эмас. Амалда уларнинг магнитланиш жараёнида юзага келадиган бошқа хоссалари ҳам катта аҳамиятга эга.



3.9- расм



3.10- расм

3.9- расмда галтак ферромагнит ўзагининг магнитланиши учун ишлатиладиган қурилманинг схемаси кўрсатилган. Ғалтакда ток кўпайиши билан магнит майдоннинг кучланганлиги мутаносиб равишда ортади [(3.20) формулага қ.).]

Агар кучланганликнинг қатор қийматлари учун уларга мос келадиган магнит индукцияси қийматлари ўлчанса, у ҳолда дастлабки магнитланиш характеристикасини $B = f(H)$ ясаш мумкин, у 3.10- расмда кўрсатилган (*0—1* қисми).

0 — 1 қисмда кучланганлик H ортиши билан магнит индукцияси H кўпаяди. Бунга сабаб шуки, илгари ихтиёрий йўналган доменларнинг магнит моментлари ташқи магнит майдон йўналишини олади. Сўнгра магнит индукциясининг ички магнит майдон ҳисобига ортиши камаяди, шундан ка-йин батамом тўхтайди, яъни магнит индукцияси B_s бўлганда магнит тўйиниш ҳолати (*1* нуқтадан кейин) қарор топади.

Ташқи магнит майдон кучланганлиги камайганида (ғалтакда ток камайганида) магнит индукцияси *1* — 2 — 3 эгри ча-зиқ бўйича камаяди, бу эгри чизиқ дастлабки магнитланиш

эгри чизиғи билан мос тушмайди ва $H=0$ бўлганда $B=B_r$ бўлади.

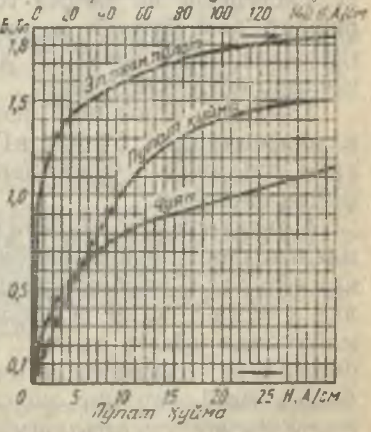
Ўзакнинг магнитсизланиши майдон кучланганлигининг камайишига нисбатан гўё кечикади. Бу ҳодиса **магнит гистерезиси**, B_r катталик эса **қолдиқ магнит индукцияси** дейилади.

Ўзакни батамом магнитсизлаш учун ғалтакдаги токнинг йўналишини ўзгартириш ва уни ошириб бориб, майдон кучланганлигини H_c катталиккача қадар етказиш лозим, бу катталик **коэрцитив (кечиктирувчи) куч** деб аталади.

Ғалтакдаги токнинг қиймати ва йўналишини ўзгартириб, ёпиқ эгри чизиқ $B=f(H)$ ясаш учун зарур бўлган маълумотларни олиш мумкин, бу эгри чизиқ **магнит гистерезиси сиртмоғи** деб аталади.

Техник ҳисоблашларда берилган материалнинг дастлабки магнитланиш эгри чизигига яқин, лекин у билан устма-уст тушмайдиган асосий магнитланиш эгри чизиғидан фойдаланилади. 3.11-расмда баъзи ферромагнит материалларнинг асосий магнитланиш характеристикалари тасвирланган. Муайян частота билан циклик қайта магнитлашда ферромагнит материаллар қизиб кетади, бу қайта магнитлашга энергия сарфланишидан далолат беради.

Магнит гистерезиси сиртмоғи билан чегараланган юза қанча катта бўлса, буэнергия исрофлари ҳам шунча кўп бўлади.

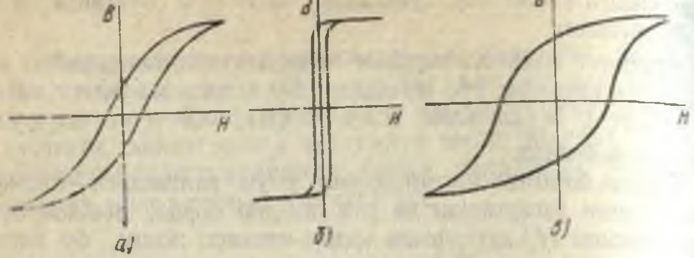


3.11-расм

Ферромагнит моддаларнинг химиявий таркибига қараб юқорида таъкидлаб ўтилган хоссалар турли даражада намоён бўлади. Шу муносабат билан ферромагнит материаллар иккита асосий гуруҳга бўлинади: **магнит-юмшоқ** ва **магнит-қаттиқ** материаллар.

Магнит-юмшоқ материаллар бошланғич ва максимал магнит сингдирувчанлик қийматларининг катталиги ва коэрцитив куч қийматининг кичиклиги ($H_c \leqslant 400$ А/м) билан

6—2758



3.12- расм

тавсифланади, осон магнитланади ва магнитсизланади, гистерезис сиртмоғи тор бўлади (3.12- расм, *а*, *б*) ва шу сабабли гистерезис туфайли бўладиган энергия исрофлари кам бўлади.

Асосий металл магнит-юмшоқ материаллар — кам углеродли пўлатлар, чўян доимий магнит майдонида ишлайдиган магнит ўтказгичлар сифатида ишлатилади; таркибида кремний миқдори кўп (4% гача) электротехник лист пўлатлар ўзгарувчан ток қурилмаларининг (трансформаторлар, электр машина ва аппаратларининг) магнит ўтказгичларини тайёрлаш учун ишлатилади.

Темир-никелли қотишмалар — пермаллойлар, уларнинг магнит сингдирувчанлиги юқори, коэрцитив кучи кам (3.12- расм, *б*), нисбий қаршилиги катта, гистерезис ва уюрма токлар туфайли бўладиган исрофлар кам бўлади ва шу сабабли магнит кучайтиргичларда, радиоэлектрон аппаратнинг юқори частотали узелларида ишлатилади.

Темир ва алюминий асосида олинган қотишмалар — альсиферлардан 50 000 кГц гача частоталар диапазонида ишлашга мўлжалланган ўзаклар тайёрлаш учун фойдаланилади.

Магнит-юмшоқ материалларда кремний қўшимчаси магнит сингдирувчанликни оширади, коэрцитив кучни камайтиради, нисбий қаршилигини кўпайтиради, бу билан уюрма токлар туфайли бўладиган исрофларни камайтиради (3.6- § га қ.): металлар оксидларининг бирикмалари — ферритлар — темир оксидининг (Fe_2O_3) бошқа металларнинг оксидлари (ZnO, MnO ва х.) билан кукунсимон аралашмасини юқори температураларда пресслаш ва қовуштириш йўли билан тайёрланади.

Магнитодиэлектриклар — магнит-юмшоқ материалнинг (карбонил темир, пермаллойлар, альсиферлар) бирор органик ёки анорганик диэлектрик (эпоксид ёки бакелит смола, полистирол, суюқ шиша ва б.) билан аралашмасидан таркиб топган материаллардир.

Ферритлар ва магнитодиэлектрикларнинг нисбий қаршилиги катта, уюрма токлардан бўладиган исрофлари кам бўлади, бу эса уларни юқори частоталарда ишлатиш имконини беради. Бу материаллардан трансформаторларнинг ўзакларини, симли алоқа ва радиоалоқа аппаратларини тайёрлашда, ҳисоблаш қурилмаларида, автоматикада кенг кўламда фойдаланилади. Баъзи ферритларда магнит гистерезисининг сиртмоғи тўғри тўртбурчак шаклида бўлади, шу сабабли бундай материаллардан тайёрланган ўзаклар чулғамда ток импульси бўлганида тўйингунча магнитланиши ва магнитланган ҳолда узоқ вақт қолиши мумкин. Бу хоссалар уларни ҳисоблаш техникасининг хотирада сақлаш қурилмаларида ишлатишга имкон беради.

Магнит-қаттиқ материаллар қийинлик билан магнитланади, лекин магнитланганлари ҳолда у узоқ вақт сақланади. Улар қолдиқ магнит индукциясининг қиймати (0,2—2,25 Тл) ва коэрцитив кучи катта (20000—60000 А м), магнит гистерезисининг сиртмоғи кенг бўлади, шу сабабли улар доимий магнитлар тайёрлашда ишлатилади.

Магнит-қаттиқ материалларга юқори углеродли мартенсит, шунингдек, легирланган пўлатлар (легирловчи компонентлар — хром, волфрам, кобалт, молибден) киради.

Темир, алюминий, никел асосида олинган, кобалт, мис, титан, ниобий билан легирланган магнит-қаттиқ қотишмаларининг магнит характеристикалари анча юқори бўлади. Жуда кичик ўлчамдаги ёки мураккаб шаклдаги магнитлар металл-керамик материаллардан (кукунларни пресслаш ва юқори температурада қовуштириш йўли билан) тайёрланади.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Ғалтакнинг ёпиқ ўзаги ноферромагнит материалдан тайёрланган, магнит майдонининг кучланганлиги маълум. Ўзакдаги магнит индукциясини қандай топиш мумкин?
2. Ғалтакнинг ёпиқ ўзаги ферромагнит моддадан тайёрланган,

ўзакдаги магнит индукцияси маълум. Магнит майдон кучланганлигини қандай топиш мумкин?

3. Ғалтакнинг ўзаги (3.3- расм, *б* га қ.) тайёрланган ферромагнит материалнинг магнитланиш характеристикаси $B=f(H)$ маълум. Ғалтак ўзагининг магнитланиш эгри чизиғи $\Phi=f(I)$ ни ясаш учун яна қандай катталикларни билиш керак?

4. Олдинги саволдаги $B=f(H)$ ва $\Phi=f(I)$ характеристикаларни битта чизмада ординаталар ўқи В ва Ф учун умумий, абсциссалар ўқи эса H ва I учун умумий бўладиган қилиб чизиш мўлжалланди. Катталикларнинг масштабини иккинчи эгри чизиқ чизманинг барча нуқталарида биринчи эгри чизиқ билан устма-уст тушадиган қилиб танлаш мумкинми?

5. Ферромагнит материалларнинг магнитланиш жараёнида намоён бўладиган хоссалари доменлар магнит моментларининг жойлашуви ўзгариши билан боғлиқ. Шу нуқтаи назардан магнит тўйиниш, магнит гистерезиси ва қолдиқ магнитланганлик ҳодисаларини қандай тушунтириш мумкин?

3.5- масала. Узунлиги $l=30$ см ва кўндаланг кесими $S=5$ см^2 бўлган ёпиқ ўзакка $N=500$ ўрамли чулғам ўралган. Агар ўзак қуйидаги материаллардан тайёрланган бўлса, чулғамдаги ток $I=3$А бўлганда, ғалтакнинг индуктивлигини ва ўзакдаги магнит оқимини аниқланг: а) электротехника пўлатидан; б) ноферромагнит материалдан. B ва H ларнинг топилган қийматларида электротехника пўлатининг абсолют магнит сингдирувчанлигини топинг.

3.6- масала. $N=600$ ўрамли ҳалқасимон ғалтакнинг (3.3- расм, *б* га қ.) радиуси $r=5$ см ва кўндаланг кесим юзаси $S=6$см^2 бўлган ўзаги бор. Ўзакдаги магнит оқими $\Phi=36\cdot10^{-6}$Вб. Токни ва ғалтакнинг индуктивлигини икки хол учун аниқланг: а) ўзак ноферромагнит материалдан; б) ўзак электротехника пўлатидан ясалган.

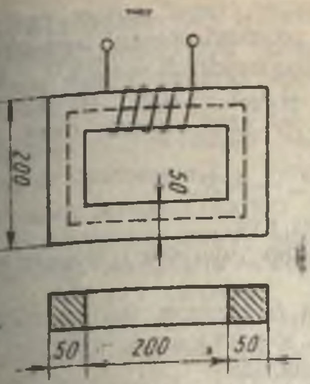
3.4- §. МАГНИТ ЗАНЖИРЛАР

Магнит занжирлар электр машиналари, трансформаторлар, электр-ўлчов асбоблари ва бошқа электромагнит қурилмаларда иш магнит оқимини ҳосил қилиш учун хизмат қилади.

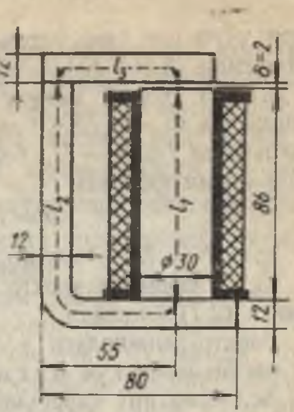
Электромагнит қурилманинг ферромагнит жисмли қисмида магнитловчи куч бўлганда магнит оқими ҳосил бўлиб ва у шу қисмда туташадиган бўлса, қурилманинг шу қисми **магнит занжири** дейилади.

Магнитловчи кучни электр токи бор чулғамлар ёки доимий магнитлар ҳосил қилади. Магнит занжирнинг магнит оқими туташадиган қисми асосан ферромагнит материаллардан тайёрланади ва **магнитўтказгич** дейилади.

Тармоқланмаган (3.13, 3.14-расмлар) ва тармоқланган (3.15- расм) магнит занжирлар бўлади. Бир жинсли ва ҳар хил жинсли магнит занжирлар ҳам бўлади. Бир жинсли занжир магнитўтказгичи бутун узунлиги давомида битта материалдан тайёрланган ва кўнда-



3.13 - расм.



3.14- расм.

ланг кесимининг шакли ҳамда ўлчамлари бир хил бўлади (3.13- расм); ҳар хил жинсли занжирда магнит ўтказгич бир-биридан умумий ҳолда узунлиги, кўндаланг кесими, материали жиҳатидан фарқ қиладиган бир неча қисмдан ташкил топади (3.14- расм).

Тармоқланмаган магнит занжирлар. Магнит занжирларини ҳисоблаш ва тузишда уларнинг шакли, ўлчамлари, материаллари, магнитловчи куч манбаларининг (токли чулғамлар, доимий магнитлар) жойлашуви танланади. Магнит занжирининг конструкцияси маълум, деб фараз қилиб, дастлаб бир жинсли занжир бўлган оддий ҳол учун (3.13- расмга қ.) сочилиш оқимини ҳисобга олмаган ҳолда тўғри ва тескари ҳисоблаш масаласини кўриб чиқамиз.

Тўғри масалада магнит оқими Φ берилган, шу оқимни ҳосил қилиш учун зарурий магнитловчи кучни аниқлаш талаб қилинади.

Масала қуйидаги тартибда ечилади: 1) магнит индукцияси $B=\Phi/S$; 2) ўзакдаги магнит майдон кучланганлиги H ўзак материалининг магнитланиш эгри чизиғи $B=f(H)$ бўйича аниқланади (3.11- расмга ва II.3- жадвалга қ.); 3) магнитловчи куч $IN=Hl$, бу ерда l—магнит ўтказгичнинг қайрилишлар ҳисобга олинмаганда ўрта чизиқ бўйича узунлиги.

Берилган магнитловчи кучга қараб магнит оқими аниқланадиган тескари масала тескари тартибда ечилади: 1) магнит майдон кучланганлиги $H=IN/l$; 2) магнит индукцияси — — магнитланиш эгри чизиғидан; 3) магнит оқими $\Phi=BS$.

Масалани ечишда топилган B ва H нинг конкрет қиймат-

лари учун шу ўзак материалининг статик магнит сингдирувчанлигини (3.19) формуладан ҳисоблаб топиш мумкин $\mu_a = B/H$. У ҳолда магнит индукцияси $B = \mu_0 IN/l$, магнит оқими эса $\Phi = \mu_a INS/l = IN(l)\mu_a S$ бўлади. Бу ифоданинг махражини $l/\mu_a S = R_м$ билан белгилаб, магнит оқим ифодасини ҳосил қиламиз:

$$\Phi = IN/R_м = F/R_м \qquad (3.22)$$

бу ерда $F = IN$ — магнитловчи куч.

(3.22) формула электр занжир учун Ом қонунининг ифодасига (2.7) ўхшайди.

Электр занжирдаги э. ю. к E сингари магнит занжирдаги магнитловчи куч **магнит юритувчи куч** м. ю. к. $R_м$ эса — магнит қаршилик дейилади.

Магнит занжирларни ҳисоблашда, одатда, магнит қаршилик аниқланмайди. Бу тушунчадан баъзи ҳолларда магнит занжирлардаги ҳодисаларни сифат жиҳатдан кўриб чиқишда фойдаланилади. (3.21) формулага мувофиқ бир жинсли магнит занжир учун магнитловчи куч сон жиҳатдан магнит майдон кучланганлиги билан магнит ўтказгичнинг узунлиги кўпайтмасига Hl тенг. Бу катталик **магнит кучланиш** дейилади ва U_m билан белгиланади: ($U_m = Hl$).

Магнит ва электр занжирлар орасидаги илгари таъкидлаб ўтилган ўхшашлик бир жинсли бўлмаган магнит ўтказгичли занжирларга ҳам тааллуқлидир. Магнит занжир учун тўлиқ ток қонунига мувофиқ тенглама тузиш мумкинлиги исботланган, бу тенглама шакли жиҳатдан электр занжир учун Кирхгофнинг иккинчи қонунига мувофиқ тузилган контур тенгламага ўхшайди.

Бундай тенгламанинг чап қисмига берилган магнит контурини айланиб чиқишда учрайдиган магнитловчи кучларнинг алгебраик йиғиндиси ёзилади (агар магнитловчи кучнинг йўналиши айланиб чиқиш йўналиши билан мос келса, бунда у мусбат ҳисобланади); тенгламанинг ўнг қисмига магнитўтказгич қисмларидаги магнит кучланишларнинг алгебраик йиғиндиси ($H_n l_n = U_{mn}$) ёзилади; у электр занжир қисмидаги кучланиш сингари магнит занжир берилган қисмининг магнит кучланиши дейилади ва у магнит оқимнинг шу қисмдаги йўналиши айланиб чиқиш йўналишига мос келганда мусбат ҳисобланади:

$$\sum_1^k F_k = \sum_1^n H_n l_n = \sum_1^n U_{mn} \qquad (3.23)$$

Бу тенгламадан бир жинсли бўлмаган магнит занжирни ҳисоблашга доир тўғри масалани ечишда фойдаланилади. Бу ҳолда тармоқланмаган занжир бир жинсли қисмларга бўлинади ва уларнинг ҳар бири учун магнит индукцияси B_n аниқланади, сўнгра магнит майдон кучланганлиги H_n нинг ва магнит кучланиши U_{mn} нинг қийматлари топилади. (3.23) тенгламадан берилган магнит оқимини ҳосил қилиш учун зарурий магнитловчи куч F аниқланади.

Тескари масалани — берилган магнитловчи кучлар асосида магнит оқимини аниқлаш масаласини бир жинсли занжирники сингари осон ечиб бўлмайди, чунки қисмлар орасида магнит кучланишларнинг тақсимланиши номаълум. Тескари масалани ечиш учун графоаналитик усуллар қўлланилади, бу ерда улар кўриб чиқилмайди.

Тармоқланган магнит занжирлар. Тармоқланган магнит занжирда электр занжирдаги сингари контурларни, тармоқларни ажратиш ва тугунларни белгилаш мумкин. Магнит оқимлар умумий ҳолда турли тармоқларда турлича бўлади (3.15- расм).

Тармоқланган магнит занжирлар учун тугун тенгламаларини ($\Sigma \Phi = 0$) ва контур тенгламаларини ($\Sigma F = \Sigma Hl$) тузиш мумкин. Магнит занжирнинг тугун ва контур тенгламаларини одатдаги усуллар билан алгебраик ечиб бўлмайди, чунки бу система чизиқлимасдир. Шу сабабли амалда тармоқланган магнит занжирларни ҳисоблашнинг график ва графоаналитик усуллари қўлланилади.

Лекин симметрик тармоқланган магнит занжирни (3.15- расм) шартли равишда шундай контурларга ажратиш мумкинки, ажратилган контурнинг барча қисмларида магнит оқими бир хил бўлади. Бундан ташқари, токли чулғамлар симметрик жойлашган, деб фараз қилинади. Симметрик магнит занжирни ҳисоблашни тармоқланмаган занжирлар ҳисобланадиган тартибда битта контурнинг ҳисобига келтириш мумкин.

3.15- расм

1. Куч трансформаторларининг, шу жумладан маиший электротехник ва радиотехник қурилмаларда ишлатиладиган трансформаторларнинг ўзаклари нима учун пўлатдан тайёрланади? Шу мақсадда алюминий ишлатса бўладими?

2. Ғалтакнинг ёпиқ ўзаги ферромагнит моддадан тайёрланган ўзакдаги магнит майдон кучланганлиги маълум. Магнит индукциясини қандай топиш мумкин?

3. Трансформаторнинг ўзагини электротехника пўлатидан тайёрлашда қисмларнинг бир-бирига бирикиш жойларида (стержень билан сиртмоқ орасида) озгина ҳаво тирқиши қолади. Нима учун ана шу тирқишни иложи борича кичрайтиришга ҳаракат қилинади?

4. (3.23) тенглама тўлиқ ток қонунининг ифодаси ҳисобланади, магнит занжирларни ҳисоблашда бу қонун магнит контурларга татбиқ этилади. (3.23) тенглама электр занжирнинг қайси тенгламасига ўхшайди?

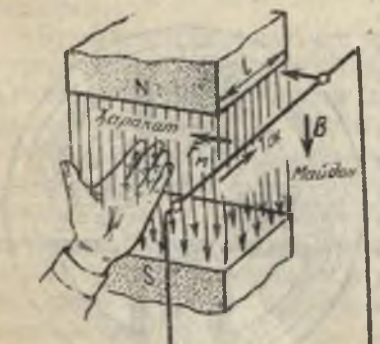
5. Тармоқланмаган, бир жинсли бўлмаган магнит занжирда берилган магнитловчи куч асосида магнит оқимини аниқлаш учун (тескари масала) (3.22) формулани татбиқ этиб бўладими? Жавобингизни тушунтириб беринг.

3.7-масала. 1311 маркали электротехник лист пўлатдан тайёрланган, ўлчамлари 3.13-расмда миллиметрларда кўрсатилган ўзакда $\Phi=3{,}2\cdot10^{-3}$ магнит оқимини ҳосил қилиш талаб қилинади. $N=200$ ўрами бор чулғамдаги токни аниқланг.

3.8-масала. 3.7-масаланинг шартида ўзакда $\delta=2$ мм ҳаво тирқиши қилинган, деб ҳисоблаб, чулғамдаги токни аниқланг.

3.5-§. ЭЛЕКТРОМАГНИТ КУЧЛАР. МАГНИТ МАЙДОН ЭНЕРГИЯСИ

Техникада ишлаши магнит майдоннинг куч таъсирига асосланган қурилмалар (электр двигателлар, реле ва контакторлар, тортувчи ва кўтарувчи электр магнитлар, электр-ўлчов асбоблари ва б.) кенг кўламда ишлатилади. Электр аппаратларни ҳисоблашда, электр станциялар ва тармоқларнинг тақсимлаш қурилмаларини лойиҳалашда ва ҳ. ишларда электромагнит кучларни ҳисобга олишга тўғри келади.



3.16-расм.

Магнит майдонида токли ўтказгичга таъсир этадиган куч. Магнит индукцияси B бўлган бир меъёрдаги магнит май-

донда ток I ли ўтказгичга таъсир этадиган электромагнит кучнинг ифодаси катта амалий аҳамиятга эга (3.16- расм).

Симнинг тўғри чизиқли кесмаси доимий магнит ёки электромагнитнинг (пўлат ўзакли ғалтаклар) қутблари орасидаги фазода шундай жойлашганки, магнит индукцияси билан токнинг йўналишлари орасидаги бурчак $\alpha=90°$ га тенг.

Бир меъёрдаги магнит майдонда сим узунлигининг бир хил элементларига катталиги ва йўналиши жиҳатидан бир хил бўлган электромагнит куч $\Delta F_м = BI\Delta l$ таъсир этади, бу (3.1) ва (3.2) формулалардан келиб чиқади. Симнинг магнит майдонда турган қисмининг узунлиги l бўйлаб элементар кучларини қўшамиз ва электромагнит куч ифодасини оламиз:

$$F_м = BIl, \tag{3.24}$$

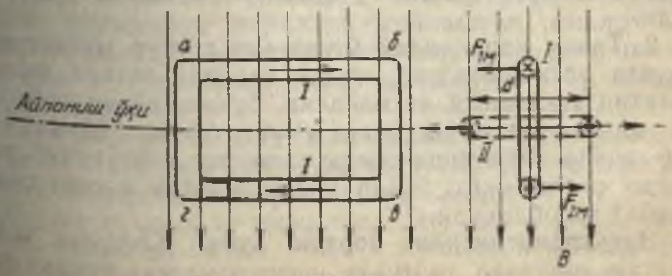
α бурчакнинг бошқа қийматларида электромагнит куч қуйидаги формуладан аниқланади:

$$F_м = BIl\sin\alpha, \tag{3.25}$$

бу ерда $l\sin\alpha$ — кесма l нинг магнит индукцияси йўналишига перпендикуляр бўлган йўналишга проекцияси.

Электромагнит кучнинг йўналиши сим ётган текисликка ва магнит индукцияси чизиғига доимо перпендикуляр бўлади, лекин уни чап қўл қоидаси билан осон аниқлаш мумкин: агар чап қўлни магнит индукцияси чизиқлари кафтга «кирадиган» қилиб жойлаштирилса, чўзилган тўртта бармоқ эса симдаги токнинг йўналишини кўрсатса, у ҳолда кафт бош бармоқ электромагнит куч йўналишини кўрсатади.

Бир меъёрдаги магнит майдонда 3.17- расмда кўрсатилгани каби жойлашган тўғри тўртбурчак шаклидаги ўтказувчи контурни кўриб чиқамиз.



3.17- расм.

Контурда ток I бўлганида унинг *аб* ва *вг* томонларига электромагнит кучлар $F_м$ таъсир этади ва улар айлантирувчи момент ҳосил қилади. Айланиш ўқи контур ўртасидан ўтади ва у I ҳолатдан II ҳолатга бурилади, деб фараз қилайлик. Контурнинг бирор оралиқ ҳолати вертикал текисликдан бошлаб ҳисобланган β бурчак билан тавсифланади (I ҳолатда бурчак $\beta = 0$).

Контур юзасининг магнит индукцияси чизиқларига перпендикуляр бўлган текисликка (горизонтал текислик) проекцияси қайси қонун билан ўзгарса контурнинг бурилиш жараёнида унга илашадиган магнит оқими ҳам шу қонун билан ўзгаради: $S = ld\sin\beta$; $\Phi = BS = Bld\sin\beta$. Магнит оқимининг энг катта қийматини $Bld = \Phi_м$ билан белгилаб (II ҳолат, $\beta = 90°$), қуйидагини оламиз: $\Phi = \Phi_м \sin\beta$.

Ўзгармас ток I да контурнинг бурилиш жараёнида $F_м$ кучлар ўзининг йўналиши ва катталигини сақлаб қолади. Контурга илашган магнит оқими ўзгариши билан бир вақтда электромагнит кучларнинг иши ўзгаради: $\Delta A = 2BIl\frac{d}{2}\sin\beta = I\Phi_м$. Контурнинг бошланғич ҳолатида унга илашган магнит оқими нолга тенг бўлади, шу сабабли контурнинг оралиқ ҳолатидаги магнит оқимининг қиймати оқимнинг ўзгариши ҳисобланади, яъни $\Phi_м \sin\beta = \Delta\Phi$, $\Delta A = I\Delta\Phi$.

Агар ўтказувчи контурда битта эмас, балки N та ўрам бўлса, у ҳолда электромагнит кучларнинг иши N марта ортади, яъни $\Delta A = IN\Delta\Phi$. $N\Delta\Phi = \Delta\Psi$ эканлигини эътиборга олсак, қуйидаги формула ҳосил бўлади:

$$\Delta A = I\Delta\psi. \tag{3.26}$$

Кўриб чиқилган мисоллар электромагнит системаларнинг амалда муҳим бўлган хоссаларининг ифодаси ҳисобланади:

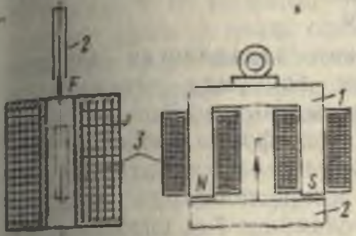
1. Электромагнит системада электромагнит кучларнинг иши ёки энергиянинг ўзгариши ток ва магнит оқимилашуви ўзгаришининг кўпайтмаси билан ифодаланади.

2. Токли ҳар қандай ўтказувчи контур магнит майдонида электромагнит кучлар таъсири остида шундай ҳолатни эгаллашга интиладики, бунда контур илаштирган магнит оқими энг катта мусбат бўлади. (Бунда контур ичида йўналиши жиҳатидан шу контурнинг токи пайдо қилган оқим билан мос келадиган магнит оқими мусбат ҳисобланади.)

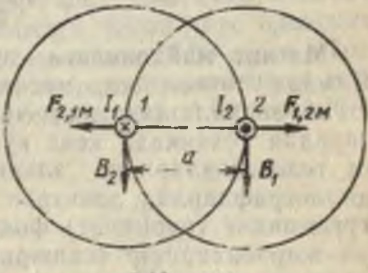
Электромагнитнинг тортиш кучи. Юқорида келтирилган ҳолатлар тортувчи электромагнитларнинг таъ-

сири билан ҳам исботланади. Тортувчи электромагнитларнинг конструкцияси (3.18-расм) турли-туман бўлиб, вазифасига қараб аниқланади. Лекин уларнинг ҳаммасида магнитловчи чулғам *3*, икки қисм — қўзғалмас *1* ва қўзғалувчан *2* қисмдан таркиб топган пўлат магнит ўтказгич бўлади. Магнит ўтказгичнинг қўзғалувчан қисми (якорь) токли чулғамнинг магнит майдонида магнитланади ва қўзгалмас қисмига қуйидагича куч билан тортилади:

$$F_м = B^2S/2\mu_r \qquad (3.27)$$



3.18-расм.



3.19-расм.

бу ерда B — магнит индукцияси, S — қутбнинг кесим юзаси.

Бунда магнит оқими шу электромагнит система учун энг катта қийматга эришади, чунки ўзак билан якорь орасидаги ҳаво тирқиши кичраяди, магнит қаршилик эса энг кам бўлиб қолади.

Токли ғалтагининг ичида қўзғалувчан ўзаги бор электромагнитлар (масалан, 6.8-расмдаги электромагнит ўлчов механизмининг конструкциясига қ.) ҳам худди шунга ўхшаш таъсир этади.

Токли параллел симларга таъсир этувчи кучлар. Токли симларнинг параллел жойлашуви амалда кўп учрайди: масалан, электр станциялар ва подстанциялар тақсимлаш қурилмаларининг шиналарини ўрнатишда шундай бўлади.

Шиналарни ва улар маҳкамланган изоляторларни тўғри танлаш учун шиналарга таъсир этувчи электромагнит кучларни аниқлашга тўғри келади.

Бундай ҳолда (3.19-расм) ток I_2 ли сим *2* ток I_1 нинг магнит майдонида бўлади. Сим *2* жойлашган жойдаги магнит индукцияси $B_1 = \mu_a I_1/2\pi a$, бунда a — симларнинг ўқла-

ри орасидаги масофа. Магнит индукцияси B_1 нинг йўналиши билан ток I_2 нинг йўналиши орасидаги бурчак $90°$, шу сабабли (3.24) формулага мувофиқ

$$F_{\text{м}\,1,2} = B_1 I_2 l_2 = \mu_0 I_1 l_2 / 2\pi a.$$

Ток I_2 ли симнинг магнит майдонидаги сим *1* га таъсир этадиган куч $F_{\text{м}\,2,1}$ ни ҳам худди шунга ўхшаш ифодалаш мумкин.

Иккала симнинг узунлиги бўйича тенг қисмларига таъсир этадиган куч учун умумий ифода қуйидагича бўлади:

$$F_{\text{м}} = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi a}. \qquad (3.28)$$

Магнит майдонидаги эркин зарядланган заррача. Симдан ташқарида, масалан, вакуумда ҳаракатланаётган зарядланган заррачага магнит майдоннинг таъсиридан техникада кенг кўламда фойдаланилади. Бунга телевизорларнинг электрон-нурли найчаларида, осциллографларда, электрон микроскопларда электрон тутамининг (нурининг) фокусланиши ёки силжиши, ядро жараёнларини текшириш учун зарядланган заррачаларни тезлаштириш ва ҳ. мисол бўла олади.

Магнит индукциясига перпендикуляр бўлган бир меъёрли магнит майдонида ҳаракатланаётган Q зарядли заррачага таъсир этадиган кучни аниқлаш учун (3.24) формуладан фойдаланиш мумкин. Бу формулага (2.1) ифодани қўямиз ва заррачанинг ҳаракатланиш тезлигини $l/t = v$ билан белгилаб, $F_{\text{м}} = BQ_v$ ни ҳосил қиламиз.

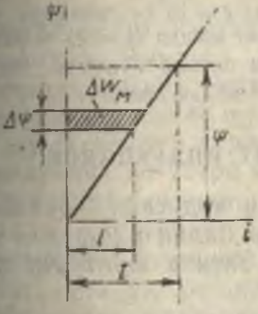
Ушбу ҳолда куч $F_{\text{м}}$ чап қўл қоидасига мувофиқ магнит индукцияси ва заррача тезлиги йўналишларига перпендикуляр йўналган бўлади. Механикадан маълумки, тезлик йўналишига перпендикуляр йўналган, катталиги ўзгармас бўлган куч таъсирида жисм $\rho = mv^2/F_{\text{м}} = mv/QB$ радиусли доира бўйлаб ҳаракатланади.

Агар олинган тенгламанинг ўнг қисмидаги барча катталиклар ўзгармас бўлса, у ҳолда зарядланган заррача магнит индукцияси чизиқларининг йўналишига перпендикуляр бўлган текисликда радиуси ρ бўлган доира бўйлаб ҳаракатланади. Ҳаракатланишнинг бурчак тезлиги $\omega_0 = v/\rho = QB/m$.

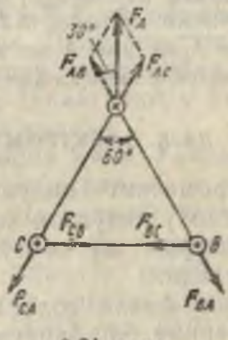
Магнит майдон энергияси. Ўтказувчи контурда электр токи пайдо бўлганида таъминлаш манбаи энергиясининг бир қисми контурнинг электр қаршилигини енгишга сарфланади ва иссиқликка айланади, бошқа қисми магнит майдон энергияси сифатида тўпланади.

Ток кўпайиши билан магнит майдон энергияси ортади. У манбага қайтарилиши ёки ток камайганида энергиянинг бошқа турига айлантирилиши мумкин.

Магнит майдон энергиясини аниқлаш учун (3.26) формуладан фойдаланамиз, бунда контурда ток пайдо бўлиш жараёнида унинг қиймати 0 дан 1 гача ўзгаришини ва шу билан бирга оқимилашув [(3.12) формулага қ.] ҳам ўзгаришини эътиборга оламиз. Демак, (3.26) формулада иккала кўпайтувчи ҳам ўзгарувчан, шу сабабли у жуда кичик вақт оралиғида энергиянинг ортишини $\Delta W_м$ аниқлашгагина асос бўлади, бу вақт давомида контурдаги ток Δi га, оқимилашув эса $\Delta \Psi$ га ўзгаради. Агар контурнинг индуктивлиги ўзгармас бўлса, у ҳолда оқимилашув билан ток орасидаги боғлиқлик тўғри чизиқ билан ифодаланади (3.20- расм). Ток Δi га ўзгарганида энергиянинг ўзгариши трапециянинг юзаси билан ифодаланади (расмда штрихланган): $\Delta W_m = i \Delta \Psi +$



3.20- расм



3.21 - расм

$+ \Delta i \Delta \Psi/2 \approx i \Delta \Psi$. Бундай юзалар йиғиндиси, яъни катетлари Ψ, I бўлган тўғри бурчакли учбурчакнинг юзаси $S = \Psi I/2$ ток I ва оқимилашув Ψ бўлгандаги энергияни ифодалайди:

$$W_m = \Psi I/2 = LI^2/2 = \Psi^2/2L. \qquad (3.20)$$

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Зарядланган заррача бир меъёрли магнит майдонга жойлаштирилган. Қандай шароитда у электромагнит куч таъсирида ҳаракатлана бошлайди?

2. Токли сим магнит майдонда шундай жойлашганки, бунда ток йўналиши билан магнит индукцияси чизиқларининг йўналиши: а) қа-

рама қарши; б) бир-бирига мос. Иккала ҳолда симга таъсир этувчи электромагнит кучнинг катталиги қандай бўлади?

3. Ҳаво линиясининг иккита сими маълум масофада параллел ҳолда жойлаштирилган. Агар улар электромагнит кучлар таъсирида: а) бир-бирига тортилса, б) бир-биридан итарилса, линия симларидаги токнинг йўналиши қандай бўлади?

4. 3.17-расмни таҳлил қилиш II контурнинг ҳолати барқарор эканлигини кўрсатади, чунки электромагнит кучлар жуфтининг моменти нолга тенг. Контур бу ҳолатдан бирор томонга оғганида шу оғишга қарши йўналган момент вужудга келади. Контур доимо бир томонга айланиши учун қандай чора кўриш керак?

5. Агар: а) ўтказгичдаги токнинг йўналиши ўзгартирилса, б) магнит майдон йўналиши тескарисига ўзгартирилса, в) бир вақтнинг ўзида токнинг ва магнит индукциясининг йўналишлари ўзгартирилса магнит майдондаги ўтказгичга таъсир этадиган электромагнит кучнинг йўналиши қандай ўзгаради?

3.9-масала. Индукцияси $B = 1{,}2$ Тл бўлган бир меъёрли магнит майдонда узунлиги $l = 80$ см бўлган $I = 20$ А токли тўғри чизиқли ўтказгич бор. Ўтказгич магнит майдонга нисбатан турли ҳолатларда жойлашганида унга таъсир этадиган кучни аниқланг; токнинг йўналиши билан магнит индукциясининг орасидаги бурчак $\alpha = 30°$, $\alpha = 60°$, $\alpha = 90°$.

3.10-масала. Бир-биридан бир хил $l = 10$ см масофада жойлашган ҳаво линияси симларида (3.21-расм) токлар $I_B = I_C = 6000$А бир томонга, ток $I_A = 12000$ А эса тескари томонга йўналган. Ҳар қайси симнинг 1 метрига таъсир этадиган кучни аниқланг.

3.6-§. ЭЛЕКТРОМАГНИТ ИНДУКЦИЯСИ

Электромагнит индукцияси ҳодисаси шундан иборатки, агар ўтказувчан контур билан илашувчи магнит оқими ўзгарса, шу контурда электр юритувчи куч вужудга келади.

Ана шу физик ҳодиса асосида механик ва электр энергияларини бир-бирига айлантирадиган қурилмалар (электр генераторлар ва двигателлар), электр энергиясини узатиш ва тақсимлаш қурилмалари (трансформаторлар, реакторлар), ахборот қабул қилувчи (радиопередатчиклар, радиоприёмниклар) ва кўпчилик бошқа қурилмалар яратилади ҳамда ишлайди. Ўзгарувчан ток электр занжирларини ўрганиш учун ҳам электромагнит индукцияси ҳодисасини ва қонунини билиш лозим.

Электромагнит индукцияси ҳодисасини 1831 йилда инглиз физиги М. Фарадей кашф этди. Бу ҳодисани ўрганиш ва амалда фойдаланиш ишига рус олимлари Э. Х. Ленц ва Б. С. Якоби (II. 1 га қ.) муҳим ҳисса қўшдилар.

Электромагнит индукцияси қонуни. Ўтказувчи контурда унга илашган магнит оқими ўзгарганида вужуд-

га келадиган электр юритувчи куч (индукцияланган э.ю.к.) миқдор жиҳатдан электромагнит индукцияси қонуни билан аниқланади.

Ўтказувчан контурда индукцияланадиган электр юритувчи куч шу контурга илашган магнит оқимининг ўзгариш тезлигига тенг:

$$e = -d\Phi/dt. \qquad (3.30)$$

Ўрамлар (контурлари) сони N бўлган ғалтакда агар унинг барча ўрамлари бир хил оқим $e = Nd\Phi/dt$ (бунда $d\Phi/dt$ — магнит оқимининг ўзгариш тезлиги) билан илашган бўлса, э. ю. к N марта катта бўлади. Умумий ҳолда ғалтакнинг ўрамлари турли хил оқимлар билан илашган бўлиши мумкин, у ҳолда умумий э. ю. к. алоҳида ўрамлар э. ю. к. нинг алгебраик йиғиндиси билан ёки галтакдаги умумий оқимилашувнинг ўзгариш тезлиги билан аниқланади:

$$e = -d\Psi/dt. \qquad (3.31)$$

Электромагнит индукцияси э.ю.к ни ифодалайдиган формулаларда «минус» ишора Ленц қоидасига мувофиқ келади: **магнит оқимилашув ўзгарганида вужудга келадиган э.ю.к доимо шундай йўналганки, у ўз таъсири билан шу ўзгаришга қаршилик қилади.**

Узиндукция ва ўзаро индукция э.ю.к. Ўзиндукция ва ўзаро индукция оқимилашуви ўзгарганида ҳам э.ю.к пайдо бўлади. Контурнинг (ёки ғалтакнинг) хусусий оқимилашувининг ўзгариши одатда шу контурда (ёки ғалтакда) ток ўзгаришининг оқибати ҳисобланади.

Ушбу ҳолда индукцияланган электр юритувчи куч ўзиндукция э.ю.к. дейилади. (3.31) ва (3.9) ни эътиборга олсак, қуйидаги ифодани оламиз:

$$e_L = -d\Psi_{11}/dt = -Ldi/dt. \qquad (3.32)$$

Ток ёки боғланиш коэффициенти ўзгарганида ўзаро индукциянинг оқимилашуви ўзгаради.

Ўзаро индукция э. ю. к ифодалари (3.31) ва (3.15) формулалардан келиб чиқади:

$$e_{M_1} = -d\Psi_{21}/dt = -Mdi_2/dt. \qquad (3.33)$$

$$e_{M_2} = d\Psi_{12}/dt = -Mdi_1/dt. \qquad (3.34)$$

Ўзиндукция ва ўзаро индукция э.ю.к лари токнинг ўзгариш тезлиги di/dt га мутаносибдир. Хусусий индуктивлик [(3.32) формулага қ.] ёки ўзаро индуктивлик

[(3.33) ва (3.34) формулаларга қ.] мутаносиблик коэффициенти ҳисобланади. Бу формулаларнинг ўнг қисмида (3.30) ва (3.31) формулалардаги сингари «минус» ишора қўйилган, бу эса юк йўналишининг Ленц қоидасига мувофиқ келишини кўрсатади: ўзиндукция ёки ўзаро индукция э.ю.к токнинг ўзгаришига қарши таъсир этади, яъни токнинг ортиши ёки камайишини секинлаштиради, бунда ток қанча тез ўзгарса қарши таъсир ҳам шунча кучли бўлади.

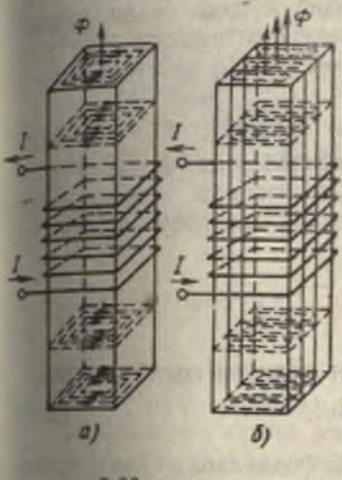
Уюрма токлар. Электромагнит индукцияси ҳодисасидан фойдаланишга трансформаторнинг ишлаши (7-бобга қ.), шунингдек, уюрма токларнинг пайдо бўлиши ва улардан фойдаланиш мисол бўла олади.

Ғалтак ичидаги ўзгарувчан токли металл ўзакни кўриб чиқамиз (3.22-расм, *а*, *б*). Ўзакда ўқи ўзакнинг ўқи билан мос тушадиган бир неча ёпиқ қатламларни ажратиш мумкин. Бундай қатламнинг ҳар бири ёпиқ ўрамдан иборат бўлиб, унда ўзгарувчан магнит оқими э.ю.к индукциялайди ва магнит оқимининг ўқига перпендикуляр текисликда туташадиган ток пайдо бўлади. Бундай ёпиқ контурлар тўпламини кўриб чиқишда ўзак танасида магнит оқимининг ўқи атрофида туташадиган токлар (уюрма токлар) бор, деб фараз қилиш мумкин.

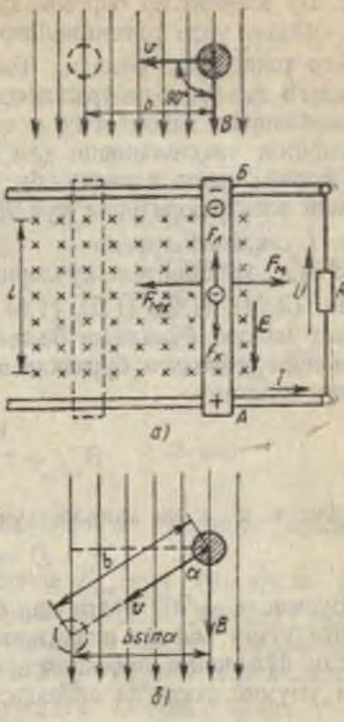
Уюрма токларнинг йўналиши Ленц қоидаси билан аниқланади. Жоуль-Ленц қонунига мувофиқ уюрма токлар натижасида ўзакда иссиқлик ажралиб чиқади. Бу ҳодисадан амалда металларни қиздиришда (пўлатни суюқлантириш, тоблаш ва б.) фойдаланилади.

Электр машиналар, трансформаторлар ва электр аппаратларнинг магнит ўтказгичларида ҳам уюрма токлар пайдо бўлади. Лекин бу ерда улар номақбулдир, чунки қурилмаларда энергиянинг умумий исрофини ошириб юборади ва уларнинг қўшимча қизишига сабаб бўлади.

Магнит майдонида ҳаракатланаётган ўтказгичдаги э. ю. к. Магнит майдонида механик куч таъсири остида ҳаракатланиб, магнит индукцияси чизиқларини кесиб ўтадиган ўтказгичда (3.23-расм, *а*, *б*) электр юритувчи куч пайдо бўлади. *АБ* ўтказгичнинг эркин электронлари у билан бирга v тезлик билан ҳаракатланади. Электромагнит куч ҳар қайси электронга таъсир этади (Лоренц кучлари) ва чап қўл қоидасига мувофиқ ўтказгич бўйлаб йўналган, унинг катталиги



3.22- расм.



3.23- расм.

эса (3.24) ифода билан аниқланади, бу ифода электрон зарядига татбиқ этилганда $F_л = Bl_0v$ кўринишда бўлади. Бу кучлар таъсири остида электронлар ўтказгичнинг бир учига томон ҳаракатланади, у ерда ортиқча манфий заряд вужудга келтиради, ўтказгичнинг иккинчи учида эса қиймати худди шунча бўлган мусбат заряд ҳосил бўлади. Зарядларнинг тақсимланиши ўтказгичда электр майдон ва зарядланган заррачаларнинг Лоренц кучларига қарши йўналган тортишув кучлари $F_к$ ни ҳосил қилади (Кулон кучлари).

Агар ўтказгич ўзгармас тезлик билан ҳаракатланса, у ҳолда Лоренц кучларининг қиймати ҳам ўзгармайди, Кулон кучлари эса зарядлар тўпланиши билан ортиб боради. Электромагнит ва электр кучлар тенглашганда зарядларнинг тақсимланиши тўхтайди. Кучларнинг тенглашиши *АБ* ўтказгичнинг учлари орасида потенциаллар айирмаси $V_А - V_В$ қарор топганлигини билдиради.

Ўтказгич *АВ* сирпаниб юрадиган шиналар металлдан ясалган ва ўзаро резистор *R* орқали уланган, деб фараз қилай-

лик. Бу элементлар биргаликда ёпиқ ўтказувчан контур ҳосил қилади, унда потенциаллар айирмаси $V_A - V_B$ таъсирида электр токи пайдо бўлади. Ток бўлганида $AБ$ ўтказгич учларидаги зарядлар нейтралланади, лекин агар ўтказгичнинг ҳаракатланиши давом этса, у ҳолда бир вақтнинг ўзида зарядларнинг тақсимланиши ҳам содир бўлади, яъни тўхтовсиз жараён қарор топади; бу жараён натижасида контурда доимий электр юритувчи куч $E = V_A - V_B$ ва доимий электр токи I сақланиб туради.

Э.ю.к. катталигини кучларнинг тенглиги $F_л = F_к$ шартидан, (3.24), (1.2), (1.5), (1.6) ифодалардан фойдаланиб ва магнит майдон йўналиши билан ўтказгичнинг ҳаракатланиш йўналиши орасидаги бурчакни $\alpha = 90°$ даб қабул қилиб осон топиш мумкин:

$$B_{l,v} = \frac{V_A - V_B}{l} l_0.$$

Бундан э. ю. к ни аниқлаш учун формула келиб чиқади:

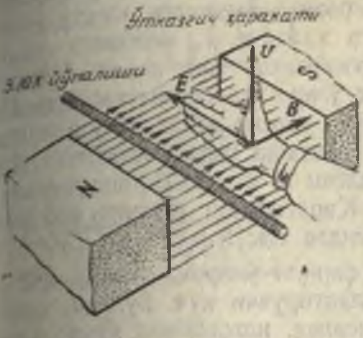
$$E = Bvl. \qquad (3.35)$$

Бурчак $\alpha \neq 90°$ бўлганда бу формулага тўлиқ тезлик ўрнига унинг магнит индукцияси йўналишига перпендикуляр бўлган йўналишга проекцияси $v \sin \alpha$ киритилади ва бунданча умумий формула олинади:

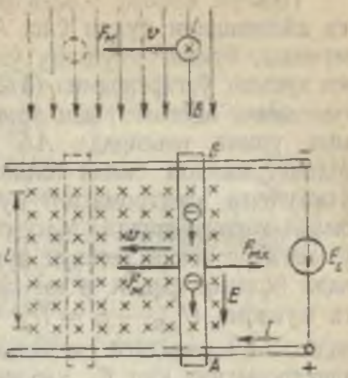
$$E = Bvl \sin \alpha. \qquad (3.36)$$

Ушбу ҳолда э.ю.к. йўналишини аниқлаш учун ўнг қўл қоидаси қўлланилади (3.24- расм): *ўнг қўлни магнит индукцияси чизиқлари кафтга ботадиган қилиб жойлаштирилса, кафт текислигида тўртта чўзилган бармоққа перпендикуляр бўлган бош бармоқ ўтказгичнинг ҳаракат йўналишини кўрсатса, у ҳолда чўзилган тўртта бармоқ э.ю.к. йўналишини кўрсатади.*

Механик энергия билан электр энергиясининг бирбирига айланиши. Электромагнит индукцияси ва магнит майдоннинг токли ўтказгичга куч билан таъсир этишидан механик энергияни электр энергиясига ва электр энергиясини механик энергияга айлантиришда фойдаланилади. Энергиянинг бундай бир турдан иккинчи турга айланиши электр машиналарда содир бўлади, уларнинг тузилиши, характеристикалари ва ишлаш режимлари 8—9-бобларда баён қилинган. Бу ерда биз ўша 3.23- расмдаги схемадан фойдаланиб, механик ва



3.24- расм



3.25- расм

электр энергияларнинг бир-бирига айланиш принциплари кўриб чиқамиз.

АБ ўтказгич магнит майдонда $F_{мх}$ куч таъсирида бирор бирламчи двигателнинг (механик энергия манбаи) механик энергияси ҳисобига ўзгармас тезлик v билан ҳаракатланади, двигателнинг механик қуввати $P_{мх}=F_{мх}v$. Ўтказгичда э.ю.к. E ва ток $I=E(r+R)$ вужудга келади, бунда r — ўтказгичнинг қаршилиги, R — занжир ташқи қисмининг (шиналар, электр истеъмолчининг) қаршилиги.

Ушбу ҳолда ўтказгич $АБ$ электр қуввати $P=EI$ бўлган э.ю.к. манбаи ҳисобланади. Ток пайдо бўлиши билан электромагнит куч $F_м$ вужудга келади, у чап қўл қоидасига мувофиқ АБ ўтказгичга $F_{мх}$ кучга тескари таъсир этади ($F_{мх}$ — ҳаракатлантирувчи куч, $F_м$ — тормозловчи куч). Тезлик ўзгармас (ҳаракат қарор топган) бўлганда $F_{мх}=F_м$. Бу тенгликни ва (3.24), (3.35) формулаларни эътиборга олсак, ушбу ифодани оламиз: $P_{мх}=F_{мх}v=BIlv=EI=P$.

Демак, бирламчи двигателнинг механик қуввати манбанинг электр қувватига тенг, яъни ўтказгич магнит майдонида ташқи механик куч таъсирида ҳаракатланганда механик энергия батамом электр энергиясига айланади. Ўтказгич учларидаги кучланиш $U_{АБ}$ бир вақтнинг ўзида занжирнинг ташқи қисмига ҳам қўйилган бўлади. У э. ю. к. дан кучланишнинг ички пасайиш қиймати қадар кичик бўлади:

$$U_{АБ}=E-I\,r=IR.$$

Тескари жараён — электр энергиясининг механик энергияга айланишини худди ўша АБ ўтказгичнинг ўзида кўрсатиш мумкин, бунинг учун шу ўтказгич кирадиган электр занжирни қисман ўзгартирамиз (3.25-расм). Занжирга электр энергиясининг истеъмолчиси ўрнига э. ю. к. E_0 манбаини улаймиз, унинг таъсирида *АБ* ўтказгичда ток пайдо бўлади. Магнит майдон билан токнинг ўзаро таъсири натижасида *АБ* ўтказгичга электромагнит куч $F_м$ таъсир этади ва у v тезлик билан ҳаракатланади. Магнит майдонда ҳаракатланаётган *АБ* ўтказгичда токка тескари йўналган э. ю. к. E индукцияланади (қарама-қарши э. ю. к). Кирхгофнинг иккинчи қонунига мувофиқ $U_{АБ} - E = Ir$, бундан ток $I = (U_{АБ} - E)/r$ бўлади. 3.23-расмдаги схемадан фарқли ўлароқ, ушбу ҳолда электромагнит куч $F_м$ ҳаракатлантирувчи куч бўлади, ҳаракатга эса механик куч $F_{мх}$ (масалан, ишқаланиш кучи) қарши таъсир кўрсатади. Бу кучлар тенглашганда $F_м = F_{мх}$ ўтказгичнинг ҳаракатланиш тезлиги $v = \text{const}$. Шу электр занжир учун қувватлар балансини тузамиз.

АВ ўтказгич электр истеъмолчи ҳисобланади ва унинг қуввати $P = U_{АБ} I$, лекин $U_{АБ} = E - Ir$, шу сабабли $P = EI + I^2r$ (3.35) ифодани эътиборга олсак, $P = BvlI + I^2r$. Бу йиғиндида биринчи қўшилувчи ҳаракатланаётган ўтказгичнинг механик қувватини, иккинчиси эса — *АБ* ўтказгичдаги иссиқлик туфайли исрофлар қувватини (Жоуль — Ленц қонунига кўра) кўрсатади.

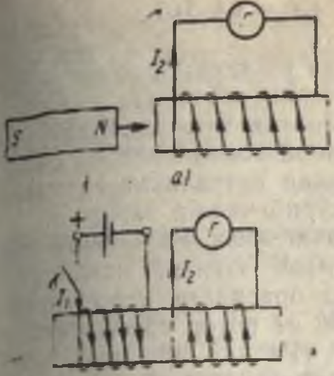
Текшириш учун савол ва масалалар

1. Учлари гальванометрга уланган цилиндрсимон ғалтак ичида (3.26-расм, *а*) доимий магнит маълум тезлик билан ҳаракатланади. Гальванометр стрелкаси оғиб, ғалтакда ток борлигини кўрсатади. Агар доимий магнит: а) ғалтак ичига киритилса, б) ғалтакдан узоқлаштирилса ғалтакдаги ток қайси томонга йўналган бўлади?

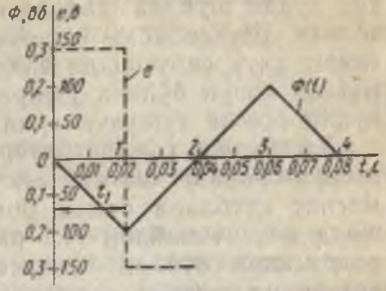
2. Иккита чулғам умумий ўзакда жойлаштирилган (3.26-расм, *б*). Агар узиб-улагич *К* туташтирилса ва сўнгра узиб қўйилса, иккинчи чулғамдаги ток қандай йўналади?

3. Гальванометрли занжирда ток пайдо бўлиши шу занжирда электр энергияси вужудга келганлигини кўрсатади, у қаршилик бўлганида иссиқликка айланади. 3.26-расм, *а* ва *б* лардаги тажрибалар схемаларида электр энергияси энергиянинг қайси туридан олинади?

4. Чулғамдаги ток чулғамга қўйилган кучланишнинг ўзгариши натижасида ўзгаради. Агар чулғамдаги ток: а) кўпайса, б) камайса, чулғамдаги ўзиндукция э. ю. к. кучланишга нисбатан қайси томонга йўналган бўлади?



3.26- расм.



3.27- расм.

5. Агар трансформаторнинг ўзаги бир-биридан изоляцияланган алоҳида-алоҳида электротехника пўлати листларидан йиғилган бўлса ёки электротехника пўлатининг таркибида кремнийнинг миқдори кўп бўлса трансформатордаги энергия исрофлари нима учун камаяди?

3.11- масала. Ғалтак чулғамидаги токдан ўзакда ҳосил бўлган магнит оқими 3.27- расмдаги график бўйича ўзгаради. Ўрамлар сони $N=15$ бўлган чулғамда индукцияланган э. ю. к. графигини ясанг.

3.12- масала. Индуктивлиги $L=30$ мГн бўлган ғалтак доимий кучланиши 50 В бўлган манбага уланади. Ток қиймати 10 А га етган пайтда унинг ортиб бориш тезлиги 1000 А/с эканлиги маълум бўлса, ғалтакнинг қаршилиги R ни аниқланг.

4- БОБ.

БИР ФАЗАЛИ ЎЗГАРМАС ТОК ЭЛЕКТР ЗАНЖИРЛАРИ

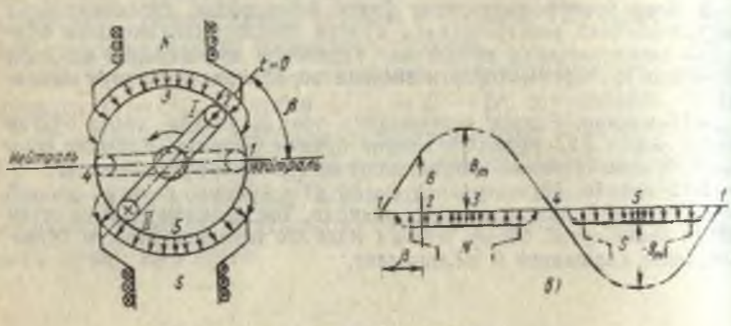
Ҳозирги вақтда электр энергияси олиш, узатиш ва тақсимлаш учун асосан ўзгармас ток қурилма ва иншоотлари: генераторлар, трансформаторлар, электр узатиш линиялари, тақсимлаш электр тармоқлари ишлатилади. Электр истеъмолчиларнинг кўпчилиги ўзгарувчан токда ишлайди. Вақт ўтиши билан ўзгарадиган электр токи **ў з г а р у в ч а н т о к** дейилади.

Амалда ўзгарувчан ток деганда одатда синусоидал электр токи — вақтнинг синусоидал функцияси ҳисобланган даврий электр токи назарда тутилади. Баъзи ҳолларда ток даврий носинусоидал қонун асосида ўзгаради.

4.1-§. СИНУСОИДАЛ э.ю.к. ВА ТОК

Чизиқли электр занжирларда ўзгарувчан синусоидал ток худди шундай шаклдаги э.ю.к. таъсирида вужудга келади. Шу сабабли ўзгарувчан ток занжирларини ўрганиш учун синусоидал э.ю.к. нинг олинишини ва синусоидал қонун бўйича ўзгарадиган катталикларга тааллуқли асосий тушунчаларни кўриб чиқиш зарур.

Ўзгарувчан ток генераторининг э.ю.к. Ўзгарувчан ток генераторининг магнит системаси шундай ясалганки, магнит қутблари билан ротор орасидаги ҳаво тирқишда магнит майдон (4.1-расм, *а*) ротор айланасининг радиуслари бўйлаб йўналган (Радиал майдон), магнит индукцияси эса ҳаво тирқиши бўйлаб синусоида бўйича тақсимланган (4.1-расм, *б*).



4.1-расм.

Ҳаво тирқишининг ҳолати нейтрал текисликдан (нейтралдан) соат стрелкасининг ҳаракатига тескари йўналишда ҳисобланган бурчак β билан аниқланадиган исталган нуқтасида магнит индукцияси $B = B_m \sin \beta$ тенглама билан ифодаланади.

Нейтрал текислик қутблар ўқига перпендикуляр ва магнит системасини симметрик қисмларга бўлади, улардан бири шимолий қутбга, иккинчиси — жанубий қутбга тегишли бўлади.

Магнит индукциясининг энг катта қиймати B_m қутблар ўртасининг тагида, яъни $\beta = 90°$, $\beta = 270°$ бурчакларда бўлади, нейтралда эса ($\beta = 0$, $\beta = 180°$ да) у нолга тенг.

Ротор Ω бурчак тезлик билан бир меъёрда айланганда унинг чулғамида (4.1-расм, *а* да ўрамида) э. ю. к. $e = Bv2l$ пайдо бўлади [(3.35) формулага к.]. Магнит индукциясининг

қийматини ўрнига қўйсак, $e = 2B_m vl \sin\beta$ ҳосил қиламиз. $\beta = 90°$ да, яъни ўрам кутблар ўртасининг тагида бўлган ҳолатда энг катта э. ю. к. $E_m = 2B_m vl$ пайдо бўлади.

Бурчак ифодаси $\beta = \Omega t$ ни эътиборга олсак, э. ю. к. нинг вақтга боғлиқлиги топилади:

$$e = E_m \sin\Omega t. \tag{4.1}$$

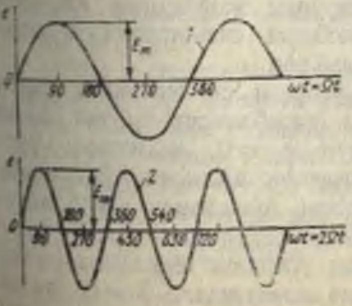
Бунда ўрамнинг текислиги нейтрал билан устма-уст тушадиган *1* ҳолати (2.1- расм, *а* га қ.) бошланғич ҳолат ($\beta = 0$) деб қабул қилинган.

Синусоидал э. ю. к. ва ток тенгламалари ҳамда графиклари. Тўғри бурчакли координаталар системасида э. ю. к. графигини бурчакнинг ёки вақтнинг функцияси сифатида тасвирлаш мумкин (4.2-расм). Эгри чизиқ *1* (4.1) тенглама бўйича чизилган. Унинг биринчи ярмида ($\Omega t = 0$ дан $\Omega t = 180°$ оралиғида) э. ю. к. мусбат, бу ўтказгич *I* шимолий, ўтказгич *II* эса жанубий қутб доирасида ҳаракатланишига мос келади. Кейин ўтказгичлар бир-бири билан жой алмашинади (*1* эгри чизиқнинг $\Omega t = 180°$ дан $\Omega t = 360°$ гача оралиғидаги иккинчи ярми).

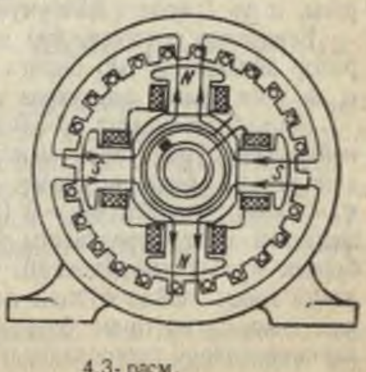
4.3-расмда ўзгарувчан ток тўрт қутбли генераторининг тузилиш схемаси кўрсатилган, унинг қутблари роторда жойлашган, чулғамнинг э.ю.к пайдо бўладиган ўтказгичлари эса статор ўзагининг ўйиқларига жойлаштирилган.

Икки қутбли генератордан фарқ қилиб, бунда роторнинг битта айланишида чулғамнинг ҳар қайси ўтказгичи бир хил қутбланган қутбнинг ўртаси рўпарасида икки марта бўлади.

Демак, ротор айланишининг бурчак тезлиги (Ω) шундай



4.2- расм.



4.3- расм.

бўлганда ярим айланиш давомида э. ю. к. нинг тўлиқ цикл ўзгаришлари, ротор тўлиқ айланганда эса — икки цикл ўзгариши содир бўлади. Бунга $e = E_m \sin 2\Omega t$ тенглама ва 4.2-расмдаги эгри чизиқ *2* мувофиқ келади. Агар генераторнинг қутб жуфтлари сони исталганча p бўлса, у ҳолда унинг э.ю.к. тенгламаси $e = E_m \sin p\Omega t$.

Кучланиш ўзгаришининг синусоидал шаклини айланадиган қисмлари ва магнит қутблари бўлмайдиган электрон генератор ёрдамида ҳосил қилиш мумкин. Шу сабабли э. ю. к. тенгламасига Ω ўрнига, э. ю. к. нинг олиниш усулидан қатъи назар, унинг ўзгариш тезлигини тавсифлайдиган катталик киритиш керак. Бурчак частотаси ω шундай катталик ҳисобланади, у электр машина генераторига татбиқ этилганда $\omega = p\Omega$ тенглик билан ифодаланади, $p = 1$ да эса $\omega = \Omega$. У ҳолда

$$e = E_m \sin \omega t. \tag{4.2}$$

Агар генератор чулғамига ўзгармас қаршилик R ли истеъмолчи уланса, ҳосил бўлган электр занжирда шакли жиҳатдан э. ю. к. эгри чизиғини такрорлайдиган ток вужудга келади:

$$i = e/R = \frac{E_m}{R} \sin \omega t.$$

$E_m/R = I_m$ деб белгиласак, қуйидагини оламиз:

$$i = I_m \sin \omega t. \tag{4.3}$$

(4.2) тенглама вақт ҳисобининг бошланиши $\omega t = 0$ ўрамнинг нейтрал орқали ўтиш моментига мос келадиган (4.1-расм, *а* да *1* ҳолат) ҳол учун ёзилган.

Генератор роторида бир неча ўрам жойлашган ва улар ротор айланасида бир-бирига нисбатан силжиган (4.4-расм, *а* да учта ўрам), деб фараз қилайлик.

Бошланғич моменг $\omega t = 0$ да улардан ҳар бирининг ҳолати нейтралдан ўрам текислигигача ҳисобланган бурчак билан аниқланади: биринчи ўрам учун $\psi_1 = 0$, иккинчиси учун $\psi_2 < 0$ ва учинчиси $\psi_3 > 0$ (роторнинг айланиш йўналишида, яъни соат стрелкасига тескари йўналишда ҳисобланган бурчак мусбат ҳисобланади). Ротор айланганида барча ўрамларда э.ю.к. пайдо бўлади, лекин уларнинг тенгламалари бир хил эмас, бу вақтнинг бошланғич моментидаги ($t = 0$) э.ю.к. катталикларини таққослашдан ҳам кўринади: $e_{1.0} = 0$; $e_{2.0} < 0$

$e_{3.0}>0$. Э.ю.к. нинг ўрамнинг бошланғич ҳолатига бундай боғлиқлиги тенгламага бошланғич бурчак ψ ни киритиш билан ҳисобга олинади:

$$e_1 = E_m \sin \omega t; \quad e_2 = E_m \sin (\omega t - \psi_2); \quad e_3 = E_m \sin (\omega t + \psi_3).$$

Шундай қилиб, умумий ҳолда э.ю.к. тенгламаси қуйидаги кўринишда ёзилиши керак:

$$e = E_m \sin (\omega t \pm \omega_e). \qquad (4.4)$$

ток тенгламаси эса

$$i = I_m \sin (\omega t \pm \psi_i). \qquad (4.5)$$

Синусоидал катталикларнинг характеристикалари. Синусоидал катталик характеристикаларининг таърифи кейинроқ токка татбиқан берилган [умумий ҳолда (4.5) тенглама], лекин улар бошқа э. ю. к., кучланиш, магнит оқими ва ҳ. катталикларнинг характеристикаларига ўхшайди.

Мисол тариқасида конкрет ток тенгламасини $i = 100 \sin (314\,t + 60°)$ ва унинг 4.5- расмдаги графигини олмиз.

Амплитуда I_m — даврий равишда ўзгариб турадиган электр токининг энг катта абсолют қиймати. Ушбу мисолда тенгламадан ва графикдан бевосита кўриниб турибдики, $I_m = 100$ А.

Оний электр токи i — электр токининг кўриб чиқилаётган вақт моментидаги қиймати. Масалан, вақтнинг бошланғич моменти $t = 0$ да оний ток $i_0 = 100 \sin 60° = 86{,}5$ А ва $t = 0{,}005$ с да $i_1 = 100 \sin (314 \cdot 0{,}005 + \pi / 3) = 100 \sin (\pi/2 + \pi/3) =$ ОҚ : 0. Частота f — электр токи даврига тескари катталик

$$f = 1/T = \omega/2\pi. \qquad (4.6)$$

Ушбу мисолда $T = 2\pi/314 = 0{,}002$ с; $f = 1/T = 1/0{,}02 = 50$ Гц (герц).

Фаза — синусоидал токнинг аргументи бўлиб, у ток ноль орқали мусбат қийматга ўтадиган нуқтадан бошлаб ҳисобланади. Фаза (фаза бурчаги) вақтнинг исталган моментида синусоидал токнинг ўзгариш босқичини кўрсатади. Ушбу мисолда фазанинг умумий ифодаси $(314t + 60°)$, вақтнинг $t = 0{,}005$ с моментида эса фазанинг қиймати $(314 \cdot 0{,}005 + \pi / 3) = \frac{5}{6}\pi$ бўлади.

Бошланғич фаза ψ — синусоидал ток фазасининг вақтнинг бошланғич моментидаги қиймати. Бошланғич фаза вақт-

нинг $t = 0$ моментига тўғри келади. Ушбу ҳолда $\varphi = \pi/3 = 60°$.

Бошланғич фазаларининг қиймати турлича бўлган синусоидал катталиклар фаза жиҳатдан бир-бирига нисбатан силжиган дейилади. Фазаларнинг силжиши φ — иккита синусоидал функция бошланғич фазаларининг айирмаси билан аниқланадиган алгебраик катталик: $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$. 4.4- расм, *б* да э.ю.к. орасидаги фазалар силжиши $2/3\pi = 120°$ ни ташкил этади.

Бурчак частотаси ω — ток фазасининг ўзгариш тезлиги.

Бурчак частотасининг таърифидан уни фазанинг вақт бўйича олинган ҳосиласи $\frac{d(\omega t \pm \varphi)}{dt} = \omega$ билан ифодалаш мумкин, деган хулоса келиб чиқади.

Ушбу мисолда $\omega = 3{,}14$ рад/с, бу (4.5) тенглама билан токнинг конкрет тенгламаси таққосланганда ҳам бевосита кўринади.

Давр T — вақтнинг даврий электр токининг оний қийматлари такрорланадиган энг кичик оралиғи

Даврга тўғри келадиган фаза бурчаги 2π ни ташкил этади. Бу қийматни олиш учун фазанинг ўзгариш тезлиги ω ни давр T га кўпайтирамиз, яъни $2\pi = \omega T$; бундан

$$T = 2\pi/\omega. \tag{4.7}$$

Таъсир этувчи ток I — электр токининг бир даврдаги ўртача квадратик қиймати.

Ўзгарувчан токнинг таъсир этувчи қийматини аниқлаш учун электр занжирдаги токнинг бирор таъсири, масалан, иссиқлик таъсири ҳисобга олинади. Қаршилиги R бўлган занжир элементида T даврга тенг вақтда ажралиб чиқадиган иссиқлик миқдорини ифодалаймиз: ток I ўзгармас бўлганда $Q = I^2RT$; ўзгарувчан бўлганда

$i = I_m \sin \omega t$: $Q = \int_0^T i^2 R dt$. Ўзгарувчан токнинг таъсир этувчи I қиймати $Q_- = Q_\sim$ шартдан аниқланади, яъни

$$I^2 RT = \int_0^T i^2 R dt \quad \text{ёки} \quad I^2 T = \int_0^T i^2 dt.$$

Ўнг қисмдаги ифодани график усулда (4.6- расм) топиш мумкин, бунинг учун график $i(t)$ билан бирга график $i^2(t)$ ни ҳам тасвирлаймиз. Буни амалга ошириш учун ток эгри чизиғининг ординатасини квадратга ошириш, сўнгра асоси T бўлган тўғри тўртбурчак ясаш керак; унинг юзаси $i^2(t)$ эг-

ри чизиқ ва T давр чегарасида абсциссалар ўқи билан чегараланган юзага тенг бўлади. Келтирилган тенгликдан кўриниб турибдики, бу тўғри тўртбурчакнинг баландлиги I^2 ни ташкил этади, графикдан кўринишича у $I_m^2/2$, яъни $I^2=I_m^2/2$ га ҳам тенг. Бундан ўзгарувчан токнинг таъсир этувчи қийматини унинг амплитудаси орқали аниқлаш формуласи олинади:

$$I = I_m/\sqrt{2}. \tag{4.8}$$

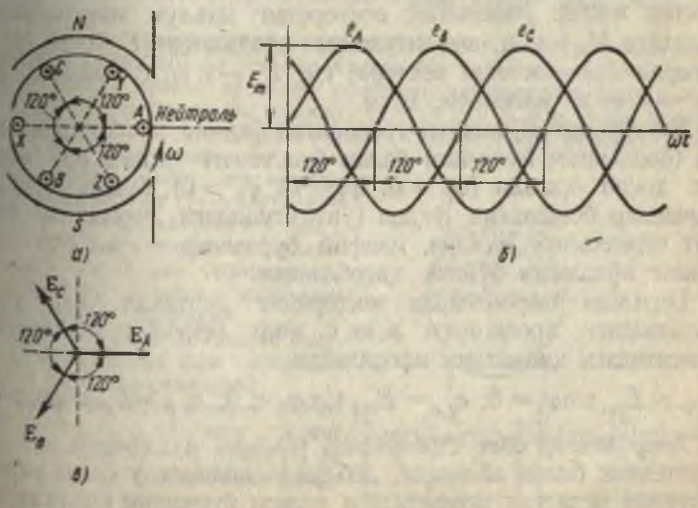
Таъсир этувчи ток ёки кучланиш тегишли ўлчов асбоблари билан ўлчанади; электротехника қурилмаларининг номинал ток ва кучланишлари таъсир этувчи қийматлар билан ифодаланади.

Ўзгарувчан токнинг ўртача қиймати ($I_{ўр}$)—токнинг ярим давр ичидаги барча оний қийматларининг ўртача арифметик қийматидир.

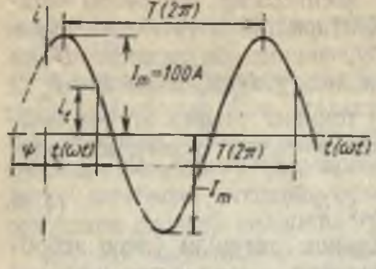
Бу таърифга мувофиқ синусоидал токнинг ўртача қийматини асоси $T/2$ бўлган тўғри тўртбурчакнинг баландлиги билан ифодалаш мумкин; унинг юзаси ярим давр орасида ток эгри чизиғи билан абсциссалар ўқи чегараланган юзага тенг бўлади (4.6- расмга қ.).

Бу қуйидаги ифодага мувофиқ келади

$$I_{ўр} = \frac{2}{T}\int_0^{T/2} i dt = \frac{2}{T}\int_0^{T/2} I_m \sin \omega t dt.$$



4.4- расм.



4·5-расм.

Бундан

$$I_{ўр} = 2\,I_m/\pi. \quad (4.9)$$

Вектор диаграммалар. 4.4-расм, *б* да (4.4) тенгламага мувофиқ ясалган учта ўрамнинг э. ю. к графиклари ва шу графикларга мос келадиган вектор диаграммаси (4.4-расм, *в* га қаранг) кўрсатилган; ўрамлар бир-биридан вақтни ҳисоблашнинг бошланғич моментида нейтралга нисбатан жойлашуви билан фарқ қилади ($\varphi_1 = 0$, $\varphi_2 < 0$, $\varphi_3 > 0$). 4.4-расм, *б*, *в* га биринчи қарашдаёқ синусоидал қийматларни векторлар ёрдамида тасвирлаш оддийлиги ва яққоллиги билан ажралиб туришини сезиш мумкин. Лекин вектор диаграммалар асосан шунинг учун ҳам ишлатиладики, ўзгарувчан ток электр занжирларини ҳисоблашда албатта дуч келинадиган бир хил ишорали синусоидал катталикларни қўшиш ва айириш ишлари вектор шаклида жуда осон бажарилади.

Синусоидал катталиклар тенгламалари ва графиклари асосида вектор диаграммани қуриш ссон. 4.4-расм, *в* да иккита ўзаро перпендикуляр ўқнинг кесишиш нуқтасидан ҳар қайси синусоидал функция учун (ушбу ҳолда учта э. ю. к) иккита шарт асосида вектор ўтказилган: векторнинг маълум масштабдаги узунлиги M_e э.ю. к. амплитудасини ифодалайди $[E_m] = E_m/M_e$; бу ерда E_m — э. ю. к. вектори, см; E_m—э. ю. к. қиймати, В; M_e — э. ю. к. масштаби, В/см.

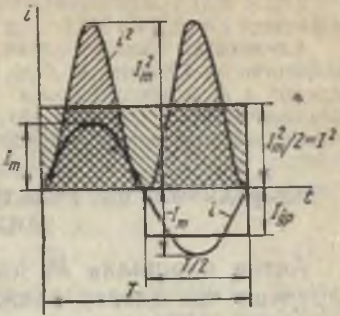
Векторнинг йўналиши горизонтал ўқнинг мусбат йўналиши (бошлангич йўналиш) билан бошланғич фазага тенг бурчак ҳосил қилади ($\varphi_1 = 0$; $\varphi_2 < 0$; $\varphi_3 > 0$), бунда мусбат бурчаклар бошланғич ўқдан (ўнг томондаги горизонтал ўқ) соат стрелкасига тескари, манфий бурчаклар — соат стрелкасининг йўналиши бўйича ҳисобланади.

Берилган шароитларда векторнинг вертикал ўққа ўша масштабдаги проекцияси э. ю. к. нинг вақтнинг бошланғич моментидаги қийматини ифодалайди:

$$e_{1.0} = E_{m1}\sin\varphi_1 = 0;\ e_{2.0} = E_{m2}\sin\varphi_2 < 0;\ e_{3.0} = E_{m3}\sin\varphi_3 > 0.$$

Агар вектор соат стрелкасига тескари йўналишда ω бурчак тезлик билан айланади, деб фараз қилинса, у ҳолда унинг вақтнинг исталган моментидаги ҳолати бурчак ωt билан аниқланади, вақтнинг шу моментида э. ю. к. қиймати эса вектор-

нинг ўша вертикал ўққа проекциясига тенг: $e=E_m\sin(\omega t\pm\varphi)$. Шундай қилиб, айланаётган векторнинг проекцияси дастлабки берилган э. ю. к. каби худди ўша (4.4) тенглама ва ўша график (4.4- расм, *б*) га мувофиқ ўзгаради. Бу билан синусоидал ўзгарадиган қийматларни (э. ю. к., ток ва ҳ.) чизмага бошланғич ҳолатида чизилган айланувчан вектор орқали тасвирлаш мумкинлиги исботланади.



4.6- расм.

Синусоидал катталикнинг таъсир этувчи қиймати билан амплитудаси орасидаги нисбат ўзгармас [(4.8) формулага қ.] эканлигини эътиборга олиб, вектор диаграммада амплитудалар ўрнига таъсир этувчи қийматлар қўйилади.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Бирор электр занжирида э. ю. к ва ток ушбу тенгламалар билан ифодаланган: $e=E_m\sin\omega t$; $i=I_m\sin(\omega t+\pi/2)$. Ток $i=0$ бўлганда э. ю. к. қандай қийматга эга бўлади? ЭЮК $e=E_m$ бўлганда токнинг қиймати қандай бўлади? Қайси катталик фаза бўйича бошқасидан орқада қолади?

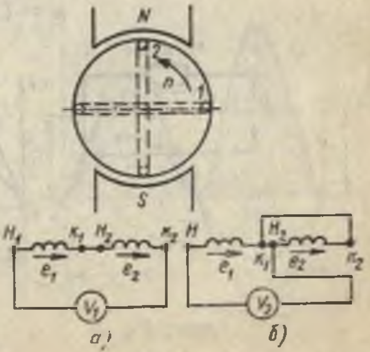
2. Электр станцияларда секин ишлайдиган гидротурбиналардан (гидрогенераторлар) ва тез ишлайдиган буғ турбиналаридан (турбогенераторлар) қувват оладиган юритмали электрогенераторлар ишлатилади. Агар буларнинг иккала турида ҳам э. ю. к. нинг бурчак частотаси бир хил бўлса, қайси турдаги генераторнинг роторида қутб жуфтлари кўп бўлади?

3. Токлар ушбу тенгламалар билан ифодаланган $i_1=6\sin(314t-180°)$; $i_2=10\sin(628t+180°)$; $i_3=8\sin 314t$. Улардан қайсиларини вектор диаграмма ёрдамида қўшиш мумкин? Улардан қайсилари тескари фазада ўзгаради?

4. Тенгламалари 3- саволга ёзилган i_1 ва i_3 токлар фаза жиҳатдан қандай бурчакка силжиган?

5. Агар ток: икки токнинг йиғиндиси $i_4=i_1+i_3$ ва икки токнинг айирмаси $i_5=i_3-i_1$ бўлса (i_1 ва i_3 лар 3- саволда берилган) унинг амплитудаси нимага тенг?

4.1- масала. Тўғри бурчакли координаталар системасида $t=0$ дан



4.7- расм.

$t = 0{,}02$ с вақт оралиғидаги э. ю. к. графигини $e = f(\omega t)$ ясанг; э. ю. к. тенгламаси $e = 100 \sin 314\, t$.

4.2- масала. Иккита чулғам икки қутбли генераторнинг роторида жойлашган ва 4.7- расм, *а*, *б* да кўрсатилгани каби уланган. Чулғамларнинг э. ю. к. амплитудалари $E_{1m} = 60$ В, $E_{2m} = 80$ В. Роторнинг айланиш частотаси $n = 3000$ айл/мин. Чулғамлар мувофиқ ва муқобил улангандаги вольтметрнинг кўрсатишини аниқланг.

4.2- §. АКТИВ ВА РЕАКТИВ ҚАРШИЛИКЛИ ЭЛЕКТР ЗАНЖИРЛАР

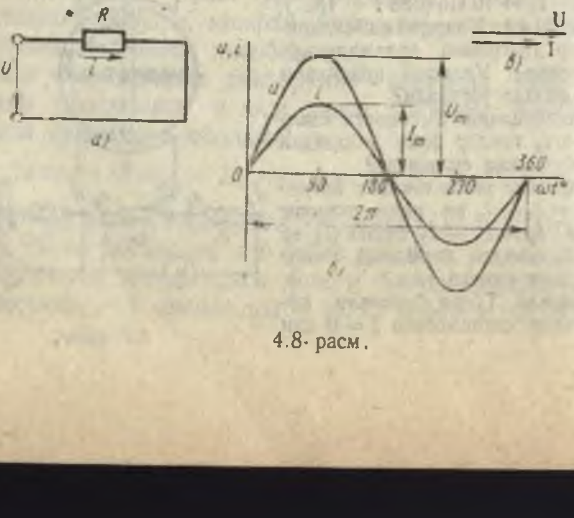
Актив қаршилик *R*, индуктивлик *L* ва сиғим *С* ўзгарувчан ток электр занжирларининг параметрлари ҳисобланади. Электр занжирларнинг реал элементларида айтиб ўтилган барча параметрлар бўлади. Лекин баъзан улардан занжирдаги ток қийматига сезиларли таъсир этмайдиганлари ҳисоблаш схемаларидан чиқариб ташланади. Масалан, чўғланиш электр лампалари, қаршилик электр печлари, резисторлар ҳисоблаш схемаларида фақат қаршилик *R* билан, салт ишлаётган трансформатор — индуктивлик *L*, нагрузкасиз кабель — сиғим *С* билан кўрсатилади.

Шундай қилиб, ўзгарувчан ток электр занжирининг схемаси параметрлардан (*R*, *L*, *С*) бири ёки элементлар уланишининг турли усулларида параметрлар комбинацияси билан кўрсатилади.

Дастлаб идеаллаштирилган занжирларни кўриб чиқамиз, уларнинг параметрлари алоҳида актив қаршилик *R*, индуктивлик *L* ёки сиғим *С* ҳисобланади.

Актив қаршиликли занжир. Бундай занжирнинг схемаси (4.8- расм, *а*) учун қаршилик *R* ва қуйидаги тенглама бўйича ўзгарадиган кучланиш берилган:

$$u = U_m \sin \omega t \tag{4.10}$$



4.8- расм.

занжирдаги ток ва қувватни аниқлаш талаб этилади.

Кучланиш ва токнинг оний қийматлари учун Ом қонунига мувофиқ [(2.7) формулага қ.]

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t. \qquad (4.11)$$

бу ерда $I_m = U_m/R$ — ток амплитудаси.

Бу тенгликни $\sqrt{2}$ га бўламиз ва (4.8) ифодани эътиборга олиб, токнинг таъсир этувчи қийматини аниқлаш формуласини ҳосил қиламиз:

$$I = U/R; \quad I = UG. \qquad (4.12)$$

Юқорида айтилган мулоҳазалар ва олинган формулалар актив қаршиликли занжирда кучланиш билан ток фаза жиҳатдан мос келишини кўрсатади (бу 4.8-расм. *б, в* лардаги графикларда ва вектор диаграммада кўрсатилган); таъсир этувчи ток таъсир этувчи кучланишнинг қаршиликка нисбати билан аниқланади.

Кучланиш билан ток тўхтовсиз ўзгарганида қувват қуйидаги тенгламага биноан ўзгаради:

$$p = ui = U_m \sin \omega t \, I_m \sin \omega t = U_m I_m \sin^2 \omega t$$

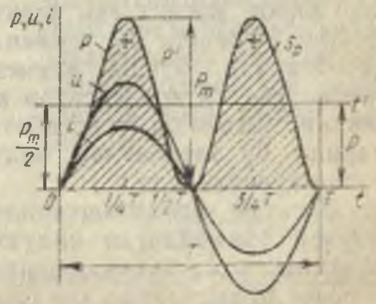
Тригонометриядан маълумки, $\sin^2 \omega t = (1 - \cos 2\omega t)/2;$

$$\cos 2\omega t = \sin (2\omega t - \pi/2).$$

Бу ифодаларни ва $U_m I_m/2 = UI$ эканлигини эътиборга олиб, оний қувватнинг қуйидаги кўринишдаги тенгламасини оламиз:

$$p = UI + UI \sin (2\omega t - \pi/2).$$

4.9-расмдаги график қувватнинг ўзгариш характери ҳақида яққол тасаввур беради, бу график кучланиш ва ток эгри чизиқларининг қатор қийматларига тўғри келадиган ординаталарини умумий аргумент — вақт t га кўпайтириб ясалган.



4.9- расм.

Оний қувват графигини таҳлил қилиб, кучланиш ва ток ўз ишорасини ўзгартиришига қарамай, қувват T давр мобайнида мусбатлигича қолишини осон сезиш мумкин. Бу шундан далолат берадики, давр мобайнида энергия оқимининг йўналиши бир хилда қола-

ди, ушбу ҳолда энергия оқими тармоқдан (энергия манбаидан) R қаршиликли истеъмолчига томон йўналади ва истеъмолчида электр энергияси энергиянинг бошқа турига айланади. Бу ҳолда электр энергияси актив энергия дейилади.

Ўзгарувчан ток занжиридаги энергетик жараённинг характеристикаси сифатида даврга тўғри келадиган ўртача қувват аниқланади, бунинг учун оний қувват графигидан $p(t)$ (4.9-расмга қ.) фойдаланилади.

Қабул қилинган масштабда асоси Т бўлган тўғри тўртбурчакнинг баландлиги ўртача қувватни ифодалайди, тўртбурчакнинг юзи эгри чизиқ ва абсциссалар ўқи билан чегараланган юзага тенг (расмда бу юза штрихланган).

Агар тўғри тўртбурчакнинг баландлиги P оний қувват энг катта қийматининг ярмини ташкил этса $P=P_m/2$, бу юзалар тенг бўлади. Бу ҳолда штрихланган юзанинг тўғри тўртбурчакликдан юқоридаги қисми унинг штрихланмаган қисмига аниқ мос келади.

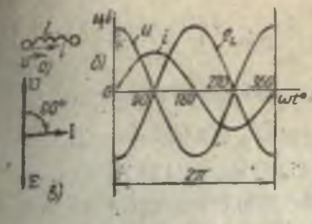
Шу сабабли $P = P_m/2 = U_m I_m/2$, бундан (4.8) ва (4.12) ифодаларни ҳисобга олсак, бир даврга тўғри келадиган ва актив қувват дейиладиган ўртача қувватни аниқлаш формуласи келиб чиқади:

$$P = UI; \quad P = I^2R. \qquad (4.13)$$

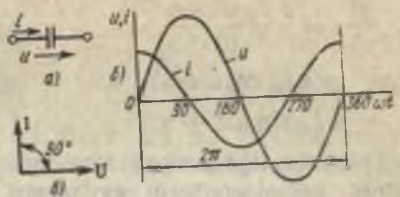
Актив қаршиликли ўзгарувчан ток занжиридаги актив қувват кучланиш ва ток таъсир этувчи қийматларининг кўпайтмасига тенг. Актив қаршилик R занжирнинг параметри сифатида актив қувватнинг шу занжирдаги токнинг таъсир этувчи қиймати квадратига нисбати билан аниқланади; $R = P/I^2$.

Реактив қаршиликли занжирлар. Ўзгарувчан ток занжиридаги реактив қаршиликларда шундай элементлар борки, магнит ёки электр майдонда энергия запасининг ўзгариши бу элементларнинг алоҳида хусусияти ҳисобланади. Бундай элементларга, жумладан индуктив ғалтак ва конденсатор киради. Майдонларда энергиянинг ўзгариши муносабати билан ўрин олиш схемаларида бу элементлар индуктивлик L ёки сиғим С билан кўрсатилади.

Дастлаб идеаллаштирилган занжирларни: энергия исрофи бўлмайдиган индуктив ғалтакли занжир (индуктивлиги L, актив қаршилиги $R=0$) билан энергия исрофи бўлмайдиган конденсаторли занжирни (сиғими C, актив ўтказувчанлиги $G=0$) кўриб чиқамиз.



4.10- расм.



4.11- расм.

Иккала занжирни таҳлил қилиш кўп жиҳатдан бир-бирига ўхшайди, шу сабабли, уларни бир вақтда, параллел таҳлил қиламиз, бунда бу занжирларининг ўхшашлигигагина эмас, балки улар орасидаги фарққа ҳам эътибор берамиз.

Индуктив ғалтакли занжир (4- 10- расм, *а*)

Берилган: индуктивлик, ушбу қонун бўйича ўзгарадиган ток

$$i = I_m \sin \omega t.$$

Ғалтак қисмаларидаги кучланиш U, занжирдаги қувват Q_L ни аниқлаш талаб этилади. Ғалтакдаги ток ўзгарганида ўзиндукция э.ю.к. вужудга келади

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

(3.32) формулага қ.

Агар $R = 0$, кучланишнинг пасайиши $iR = 0$ бўлса, ғалтакка қўйилган кучланиш фақат ўзиндукция э. ю. к. билан мувозанатлашади, шу сабабли

$$u = L\frac{di}{dt}. \qquad (4.14)$$

Конденсаторли занжир (4.11- расм, *а*)

Берилган: сиғим C, ушбу қонун бўйича ўзгарадиган кучланиш

$$u = U_m \sin \omega t.$$

Конденсатордаги ток I ва занжирнинг қуввати Q_c ни аниқлаш талаб этилади. Кучланиш ўзгарганида конденсатор қопламалари орасида силжиш токи ҳосил бўлади:

$$i = \frac{dQ}{dt}; \quad dQ = CdU$$

[(2.1), (1.8) формулаларга қ.]

Агар $G = 0$ бўлса, у ҳолда ўтказувчанлик токи $uG = 0$, конденсатордаги ток фақат силжиш токи бўлади, шу сабабли

$$i = C\frac{du}{dt}. \qquad (4.15)$$

Ғалтакдаги кучланиш ва конденсатордаги ток тенгламаларини топиш учун ҳосила тарзида ифодалаш керак:

$$\frac{di}{dt} = \frac{d(I_m \sin \omega t)}{dt} = \omega I_m \cos \omega t = \omega I_m \sin(\omega t + \pi/2)$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{d(U_m \sin \omega t)}{dt} = \omega U_m \cos \omega t = \omega U_m \sin(\omega t + \pi/2)$$

Олинган ифодаларни тегишлича (4.14) ва (4.15) га қўйиб, ғалтак қисмаларидаги кучланиш ва конденсатордаги ток тенгламаларини оламиз, улар кейинчалик ғалтакдаги ток ва конденсатордаги кучланишга оид бошланғич тенгламалар билан ёнма-ён ёзилган:

$$u = U_m \sin(\omega t + \pi/2) \quad (4.16)$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \pi/2) \quad (4.17)$$

$$i = I_m \sin \omega t \quad (4.18)$$

$$u = U_m \sin \omega t \quad (4.19)$$

$$U_m = \omega L I_m \quad (4.20)$$

$$I_m = \omega C U_m \quad (4.21)$$

U_m — ғалтак қисмаларидаги кучланиш амплитудаси.

I_m — конденсатордаги ток амплитудаси.

Ток ва кучланишлар тенгламаларини таққослаб, қуйидаги хулосаларни чиқариш мумкин: *идеал ғалтакда ток фаза жиҳатдан кучланишдан чорак давр орқада қолади; идеал конденсаторда кучланиш фаза жиҳатдан токдан чорак давр орқада қолади.*

Бу хулосалар исрофлар бўлмайдиган индуктив ғалтакли ва конденсаторли занжирлар учун ясалган вектор диаграммалар ва графикларни (4.10- расм, *б*, *в* ҳамда 4.11- расм, *б*, *в*) яққол тасдиқлайди. (4.20) ва (4.21) ифодаларни $\sqrt{2}$ га бўлиб, қуйидагиларни оламиз:

$U_m/\sqrt{2} = \omega L I \sqrt{2}$ ёки $U = \omega L I$ ωL катталик X_L билан белгиланади ва индуктив қаршилик дейилади, тескари катталик $I/\omega L$ эса B_L билан белгиланади ва индуктив ўтказувчанлик дейилади:

$$X_L = \omega L \quad (4.22)$$

$$B_L = 1/\omega L \quad (4.24)$$

Қабул қилинган белгиланишларни эътиборга олиб, ғалтакдаги кучланиш ва токни ифодалаймиз:

$I_m/\sqrt{2} = \omega C U_m / \sqrt{2}$

ёки $I = \omega C U$

катталик B_c билан белгиланади ва сиғим ўтказувчанлиги дейилади, тескари катталик $I/\omega C$ эса X_c билан белгиланади ва сиғим қаршилиги дейилади:

$$B_c = \omega C \quad (4.23)$$

$$X_c = 1/\omega C \quad (4.25)$$

Қабул қилинган белгиланишларни эътиборга олиб, конденсатордаги ток ва кучланишни ифодалаймиз:

$U = IX_L = I/B_L$ (4.26) $\qquad I = UB_c = U/X_c$. (4.27)

$I = U/X_L = UB_L$ (4.28) $\qquad U = I/B_c = IX_c$. (4.29)

Ғалтакдаги [(4.26), (4.28) га қ.] ва конденсатордаги [4.27), (4.29) га қ.] кучланиш ва токларнинг олинган ифодалари шакли жиҳатдан Ом қонунига мос келади [(2.7), (2.5) формулаларга қ.], лекин актив қаршилик (ёки ўтказувчанлик) ўрнида реактив қаршилик (ёки ўтказувчанлик) бўлади, у ғалтакка тааллуқли бўлганда индуктив қаршилик, конденсаторга тааллуқли бўлганда сиғим қаршилиги дейилади.

Оний қувват тенгламаси ғалтак учун ҳам [бошланғич тенгламалар (4.16) ва (4.18)] конденсатор учун ҳам [бошлангич тенгламалар (4.17) ва (4.19)] бир хил бўлади:

$$P = ui = U_m I_m \sin \omega t \sin(\omega t + \pi/2) = \frac{U_m I_m}{2} \sin 2\omega t.$$

Қувватнинг ўзгариш графиги (4.12-расм, *а*) амплитудали қўш частотанинг синусоидасидан иборат: $Q = \frac{U_m I_m}{2} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ ёки

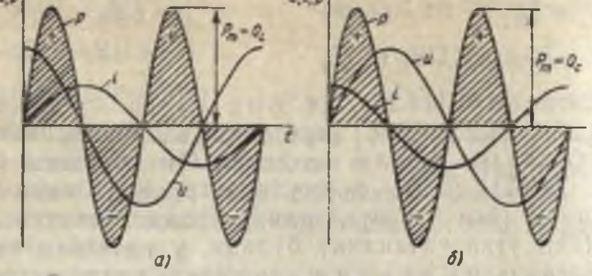
$$Q = UI = I^2X, \qquad (4.30)$$

бунда Q — оний қувватнинг энг катта қиймати ёки реактив қувват.

Исрофлар бўлмайдиган ғалтак ва конденсатордаги энергетик жараёнларнинг ўзига хос хусусиятлари шу графикда кўриниб турибди.

Оний қувват давр мобайнида ишорасини тўрт марта ўзгартиради ($T/4$; $T/2$; $3T/4$; T вақт моментларида). Бу энергия оқими ўз йўналишини ўзгартиришини кўрсатади. Даврнинг биринчи чорагида ($0—T/4$) ғалтакдаги ток ёки конденсатордаги кучланиш кўпайганида ғалтакнинг магнит майдонида ёки конденсаторнинг электр майдонида энергия тўпланади; бу вақтда ғалтак ва конденсатор энергия истеъмолчилари бўлади. Даврнинг иккинчи чорагида ($T/4—T/2$) ғалтакдаги ток ва конденсатордаги кучланиш камаяди, энергия эса ўша миқдорда тармоққа (манбага) қайтади; бунда ғалтак ва конденсатор энергия манбаи ролини ўйнайди. Даврнинг кейинги ярмида жараён такрорланади.

Магнит ёки электр майдон энергиясининг тўпланиш ва камайиш тезлиги гармоник қонунга биноан ўзгаради. Оний қувватнинг реактив қувват дейилади-



4.12- расм.

ган энг катта қиймати (амплитудаси) шу энергетик жараённинг характеристикаси ҳисобланади.

Исрофлар бўлмайдиган ғалтакнинг реактив қуввати (индуктив қувват Q_L) ва исрофлар бўлмайдиган конденсаторнинг реактив қуввати (сиғим қуввати Q_c) кучланиш ва токнинг таъсир этувчи қийматларининг кўпайтмаси билан ифодаланади.

Актив қувватдан фарқ қилиб, реактив қувватнинг ўлчов бирлиги реактив вольт-ампер (вар) дейилади.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Исрофлар бўлмайдиган индуктив ғалтакдаги кучланиш ва ток (4.28) формула билан, исрофлар бўлмайдиган конденсаторники эса (4.29) формула билан боғлиқ. Бу формулалардаги ўхшашлик ва фарқ нимадан иборат?

2. Реактив қаршилик ва ўтказувчанликларнинг частотага боғлиқлигини график тарзда тасвирлаш мумкин. Исрофлар бўлмайдиган индуктив ғалтак ва конденсатор учун бу графикларнинг ўхшашлиги ва бир-биридан фарқи нимадан иборат?

3. Индуктивлик ғалтаги билан конденсаторнинг (иккала элементда ҳам исрофлар бўлмайди) реактив қаршиликлари тенг ва ўзгарувчан ток занжирига кетма-кет уланган. Ана шу қисмдаги актив қувват ва реактив қувват қанчага тенг?

4.4.12- расм. *а* даги графикка мувофиқ даврнинг учинчи чорагида ($T/2$—$3T/4$) индуктив ғалтакдаги ток ва конденсатордаги кучланиш манфий бўлади. Нима учун ана шу вақт оралиғида ғалтакла ва конденсаторда энергия тўпланади?

5. 4.12- расм, *а, б* даги графикка мувофиқ даврнинг тўртинчи чорагида ($3T/4$—T) ғалтак қисмаларидаги кучланиш ва конденсатордаги ток кўпаяди. Нима учун ана шу вақт оралиғида ғалтак ва конденсаторда илгари тўпланган энергия йўқолади?

4.3- масала. Умумий қуввати $P=1200$ Вт бўлган чўғланиш электр лампалари гуруҳи кучланиши $U=120$ В, частотаси $f=50$ Гц бўлган ўзгарувчан ток тармоғига уланган. Токнинг таъсир этувчи қийматини ва барча занжирнинг актив қаршилигини аниқланг; токнинг бош-

лангич фазасини $\varphi_1 = 60°$ деб қабул қилиб, ток ва кучланиш тенгламаларини ёзинг; ҳисоблаш бошидан $t_1 = 0{,}01$ с вақт моментидаги оний қувватни топинг.

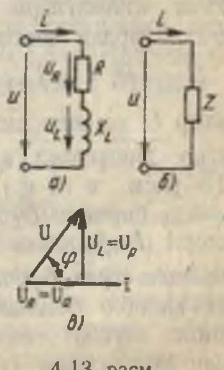
4.4- масала. Ғалтакнинг индуктивлиги $L = 15{,}9$ мГн, актив қаршилиги $R=0$. Конденсаторнинг сиғими $C=637$ мкФ, актив ўтказувчанлиги $G = 0$. Агар ғалтак билан конденсаторнинг ҳар бирида $f = 50$ Гц частотада кучланиш $U = 100$ В бўлса, занжирнинг шу элементларининг қувватини аниқланг.

4.3- §. АКТИВ ВА РЕАКТИВ ЭЛЕМЕНТЛИ ЗАНЖИРЛАР

Реал ясалган индуктив ғалтак билан конденсатор идеал ғалтак ва конденсатордан шу билан фарқ қиладики, уларда ўзгарувчан токда майдон энергияси ўзгариши билан бирга электр энергиясининг бир қисми энергиянинг бошқа турига айланади. Жумладан, ғалтак симларида электр энергияси Жоуль-Ленц қонунига мувофиқ иссиқликка айланади (ферромагнит ўзакли ғалтакда энергия исрофлари ҳақида 3.3-§ га қ.). Конденсаторда силжиш токидан ташқари озроқ ўтказувчанлик (ҳажм ва юза) токлари ҳам бўлади, улар қутбланишни ўзгартириш билан бирга энергия исрофларига ва иссиқлик чиқишига сабаб бўлади.

Энергиянинг бир турдан иккинчи турга айланиш жараёни актив қувват билан тавсифланади, схемаларда унга мос келадиган параметрлар эса ғалтакнинг актив қаршилиги R ва конденсаторнинг актив ўтказувчанлиги G бўлади.

Шундан кейин актив ва реактив элементлари бор занжирларни кўриб чиқишда шуни назарда тутиш керакки, бу ерда индуктив ғалтак ўзгарувчан ток қурилмаларининг катта гуруҳининг (трансформаторлар, электр двигателлар, турли мақсадларга мўлжалланган электромагнитларнинг) вакили ҳисобланади; бу қурилмалар учун одатда элементлар: актив қаршилик $R = P/I^2$ ва индуктив қаршилик $X_L = \omega L = Q_L/I^2$ кетма-кет уланган схемалар қўлланилади (4.13-расм, *а*).



4.13- расм.

Энергия исрофлари бўладиган конденсатор ва ўзгарувчан ток занжирларининг баъзи бошқа қурилмалари (масалан, электр кабель) учун схема элементлари параллел уланган: актив

ўтказувчанликли $G = P/U^2$ ва сиғим ўтказувчанликли $B_c = \omega C = Q_c/U^2$ схемалар (4.14- расм, *а*) анча қулайдир.

Вектор диаграммалар

Ғалтакка қўйилган кучланиш u ни иккита қўшилувчидан иборат, деб тасаввур қилиш мумкин; улардан бири u_R актив элементда кучланиш пасайишига тенг, иккинчиси эса u_L ўзиндукция э. ю. к. ни мувозанатлайди:

$$u_L = \frac{di}{dt}.$$

Кирхгофнинг иккинчи қонунига биноан оний кучланишлар учун ушбу тенгликни ёзиш мумкин:

$$u = u_R + u_L \quad (4.31)$$

таъсир этувчи қийматлар учун эса векторлар тенглиги

$$\underline{U} = \underline{U}_R - \underline{U}_L \quad (4.33)$$

Ғалтакда кучланишни ташкил этувчиларнинг таъсир этувчи қийматлари ушбу формулалардан аниқланади:

$$U = IR;\ U = IX_L \quad (4.35)$$

Вектор $\underline{U}$ ни аниқлаш учун вектор диаграмма қурамиз (4.13- расм, *в* га қ.) Диаграммада биринчи бўлиб ток вектори $\underline{I}$ қўйилган. Унинг йўналиши фаза бурчакларининг ҳисоби бошланадиган ўқнинг мусбат йўналиши билан мос келади (токнинг

Конденсатордаги ток i ни иккита қўшилувчидан иборат, деб ҳисоблаш мумкин; улардан бири i_G—актив элементдаги ток, иккинчиси i_c эса силжиш токига тенг:

$$i_c = C\frac{du}{dt}$$

Кирхгофнинг биринчи қонунига биноан оний токлар учун ушбу тенгликни ёзиш мумкин:

$$i = i_G + i_c \quad (4.32)$$

таъсир этувчи қийматлар учун эса векторлар тенглиги:

$$\underline{I} = \underline{I}_G + \underline{I}_c \quad (4.34)$$

Конденсаторда токни ташкил этувчиларнинг таъсир этувчи қийматлари ушбу формулалардан аниқланади:

$$I_G = UG;\ I_c = UB_c \quad (4.36)$$

Вектор $\underline{I}$ ни аниқлаш учун вектор диаграмма қурамиз (4.13- расм, *в* га қ.). Диаграммада биринчи бўлиб кучланиш вектори $\underline{U}$ қўйилган. Унинг йўналиши фаза бурчакларининг ҳисоби бошланадиган ўқнинг мусбат йўналиши билан мос кела-

бошланғич фазаси $\varphi_1 = 0$). Вектор $\bar{U}_R$ йўналиши жиҳатдан ток вектори $\bar{I}$ билан мос келади, вектор $\bar{U}_L$ эса ундан 90° ўзиб кетади.

ди (кучланишнинг бошланғич фазаси $\varphi_u = 0$). Вектор $\bar{I}_G$ йўналиши жиҳатдан кучланиш вектори $\bar{U}$ билан мос келади, вектор $\bar{I}_c$ эса ундан 90° ўзиб кетади.

Кучланиш ва токлар учбурчаклари

Вектор диаграммадан (4.13-расм, *в*) кўриниб турибдики, индуктив ғалтакда кучланиш вектори фаза жиҳатдан ток векторидан φ бурчакка ўзиб кетади, яъни:

$$[0] < [\varphi] < [90^\circ]$$

Токнинг берилган тенгламасида

$$i = I_m \sin \omega t \quad (4.37)$$

кучланиш тенгламасини вектор диаграмма асосида ёзиш мумкин:

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (4.39)$$

Тўғри бурчакли учбурчакнинг гипотенузаси кучланиш қийматини ифодалайди, унинг катетлари схеманинг актив ва индуктив элементларида кучланишнинг пасайиш векторлари бўлади

$$U = \sqrt{U_R^2 = U_L^2} \quad (4.41)$$

Агар (4.35) дан U_R ва U_L нинг қийматларини (4.41) формулага қўйсак, у ҳолда олинган ифода индуктив галтакдаги ток билан кучланишнинг таъсир этувчи қийматларини боғлайди:

4.14-расм, *в* даги вектор диаграммадан кўриниб турибдики, конденсаторда ток вектори кучланиш векторидан бурчакка ўзиб кетади, яъни

$$[0] < [\varphi] < [90^\circ]$$

Кучланишнинг берилган тенгламасида

$$u = U_m \sin \omega t \quad (4.38)$$

ток тенгламасини вектор диаграмма асосида ёзиш мумкин:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (4.40)$$

Тўғри бурчакли учбурчакнинг гипотенузаси ток қийматини ифодалайди, унинг катетлари схеманинг актив ва сиғим элементларида токлар векторлари бўлади:

$$I = \sqrt{I_G^2 + I_C^2} \quad (4.42)$$

Агар (4.36) дан I_G ва I_c нинг қийматларини (4.42) формулага қўйсак, у ҳолда олинган ифода конденсаторлардаги кучланиш билан токнинг таъсир этувчи қийматларини боғлайди:

$$U = I\sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (4.43)$$

$$U = IZ; \; I = U/Z \quad (4.45)$$

катталик индуктив ғалтакнинг тўлиқ қаршилиги дейғлади (4.13- расм, *б*)

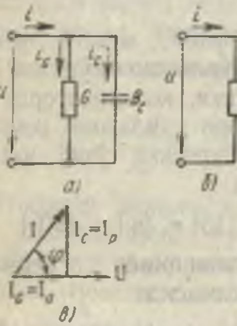
$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}. \quad (4.47),$$

$$I = U\sqrt{G^2 + B_C^2} \quad (4.44)$$

$$I = UY; \; U = I/Y \quad (4.46)$$

катталик конденсаторнинг тўлиқ ўтказувчанлиги дейилади (4.14- расм, *б*):

$$Y = \sqrt{G^2 + B_C^2}. \quad (4.48)$$



4.14- расм

Индуктив ғалтак ва конденсаторнинг вектор диаграммаларига (4.13- расм, *в*; 4.14- расм, *в*) қайтиб, шуни таъкидлаб ўтамизки, кучланиш векторининг ток вектори йўналишига проекцияси кучланиш вектори U_a нинг актив ташкил этувчиси дейилади, унинг токка перпендикуляр йўналишига проекцияси эса—кучланиш вектори U_p нинг реактив ташкил этувчиси дейилади: $U_a = U\cos\varphi$; $U_p = U\sin\varphi$ (ғалтак учун $U_a = U_R$; $U_p = U_z$)

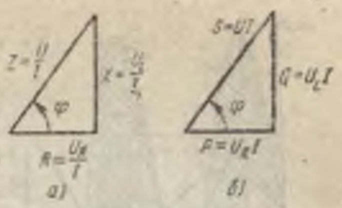
Ток векторининг кучланиш вектори йўналишига проекцияси ток вектори I_a нинг актив ташкил этувчиси, кучланишга перпендикуляр йўналишга проекцияси эса—ток векторининг реактив ташкил этувчиси I_p дейилади: $I_a = \cos\varphi$; $I_p = I\sin\varphi$ (конденсатор учун $I_a = I_G$; $I_p = I_c$).

Қаршиликлар ва ўтказувчанликлар учбурчаклари

Кучланишлар учбурчагининг томонларини (кучланишлар бирликларида ифодаланган) ток I га бўламиз. Бунда шунга ўхшаш қаршиликлар учбурчагини (4.15- расм, *а*) ҳосил қиламиз, унинг катетлари актив қаршилик $R = U_R/I$ ва реактив (индуктив) қаршилик $X_L = U_L/I$, гипотенузаси эса—

Токлар учбурчагининг томонларини (ток бирликларида ифодаланган) кучланиш U га бўламиз. Бунда шунга ўхшаш ўтказувчанликлар учбурчаги олинади (4.16- расм, *а*), унинг катетлари актив ўтказувчанлик $G = I_G/U$ ва реактив (сиғим) ўтказувчанлик $B_c = I_c/U$, гипотенузаси $Z = U/I$

4.15- расм



4.16- расм

катталик — занжирнинг тўлиқ қаршилиги бўлади. Қаршиликлар учбурчагидан қуйидагилар келиб чиқади:

$$Z = U/I = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (4.49)$$

$$R = Z\cos\varphi \quad (4.51)$$

$$X_L = Z\sin\varphi \quad (4.53)$$

эса $Y = I/U$ катталик—занжирнинг тўлиқ ўтказувчанлиги бўлади. Ўтказувчанликлар учбурчагидан қуйидагилар келиб чиқади:

$$Y = I/U = \sqrt{G^2 + B_C^2} \quad (4.50)$$

$$G = Y\cos\varphi \quad (4.52)$$

$$B_c = Y\sin\varphi \quad (4.54)$$

Қувватлар учбурчаги. Кучланишлар учбурчагининг томонларини (кучланишлар бирликларида ифодаланган) ток I га, токлар учбурчагининг томонларини (токлар бирликларида ифодаланган) эса кучланиш U га кўпайтирамиз.

Иккала ҳолда ҳам қувватлар учбурчаги олинади, унинг битта катети актив қувватни $P = U_R I$ ёки $P = I_G U$, бошқа катети—реактив қувватни $Q_L = U_L I$ ёки $Q_C = I_c U$, гипотенузаси эса тўлиқ қувват дейиладиган $S = UI$ катталикни ифодалайди (4.15- расм, *б* ва 4.16- расм, *б* га қ.).

Қувватлар учбурчагидан қуйидагилар келиб чиқади:

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (4.55)$$

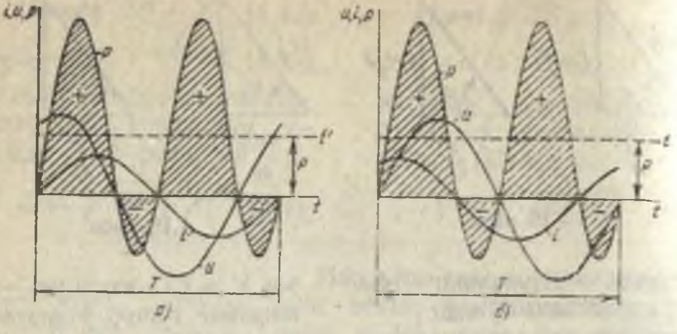
$$P = UI\cos\varphi; \quad (4.56)$$

$$Q = UI\sin\varphi; \quad (4.57)$$

$$\cos\varphi = P/S; \quad (4.58)$$

$$\sin\varphi = Q/S. \quad (4.59)$$

Оний қувват графиклари. Илгари кўриб ўтилганидек, оний қувват $p = ui$ кўпайтма билан ёки ушбу ҳолда $p = U_m I_m \sin\omega t\,(\omega t + \varphi)$ тенглама билан топилади.



4.17- расм.

4.17- расм, *а* да идеал элементлар билан қурилган тартибда исрофлар бўлган галтак ва конденсаторнинг оний қувватлар графиклари ясалган. Улардан кўриниб турибдики, ток даври мобайнида қувват ўз ишорасини тўрт марта ўзгартиради. Энергиянинг бир турдан иккинчи турга айланиш қайтмас жараёнининг тезлиги давр мобайнидаги ўртача қувват ёки актив қувват P билан, алмашинув жараёнининг тезлиги реактив қувват Q билан баҳоланади.

Шу муносабат билан ўзгарувчан ток занжирларида актив қувватнинг тўлиқ қувватга нисбати [(4.58) формулага қ.] энергия истеъмолчиларининг характеристикаларидан бири ҳисобланади ва қувват коэффициенти дейилади.

Хулоса қилиб шуни таъкидлаб ўтамизки, реал конденсаторларда энергия жуда оз исроф бўлади, яъни уларнинг актив ўтказувчанлиги жуда кичик. Шу сабабли жойлашиш схемаларида кўпчилик ҳолларда конденсаторлар фақат сиғим C ёки унга мос келадиган сиғим ўтказувчанлиги $B_c = \omega C$ ёки сиғим қаршилиги $X_c = 1/\omega C$ билан кўрсатилган.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Индуктив ғалтакдаги кучланишни унинг ташкил этувчилари йиғиндиси билан кўрсатиш мумкин [(4.31), (4.33) формулаларга қ.]. Нима учун оний кучланишни уни ташкил этувчиларининг алгебраик йиғиндиси билан аниқлаш мумкинку, таъсир этувчи қийматини аниқлаш учун эса вектор диаграммасини ясаш керак?

2. Индуктив ғалтакдаги токни (4.37) тенглама, конденсатордаги кучланишни эса — (4.38) тенглама ифодалайди. Индуктив ғалтакли занжир учун кучланишлар u_R, u_L, u тенгламаларини умумий ҳолда

4.18-расм.

қандай ёзиш керак? Конденсаторли занжир учун токлар i_G, i_C, i тенгламаларини- чи?

3. Индуктив ғалтакдаги ток ва кучланишнинг таъсир этувчи қийматлари бир-бири билан (4.45) ифодалар, конденсатордагиси эса (4.46) формулалар орқали боғланган. Уларни тегишлича (4.26) ва (4.27) формулалар, шунингдек, ўзгармас ток занжири учун Ом қонунининг (2.7) ва (2.5) ифодалари билан таққосланса, юқоридаги бир-бирига ўхшашлиги ва фарқи нимадан иборат бўлади?

4. Индуктив ғалтакнинг (4.17-расм, *а*) ва конденсаторнинг (4.17-расм, *б*) оний қувват графиклари ток (кучланиш) даври мобайнида манба билан истеъмолчи орасида энергия оқимининг йўналиши тўрт марта ўзгаришини кўрсатади. Энергия оқими қайси йўналишда кўп бўлади: индуктив ғалтакли занжирдами (4.17-расм, *а* га қ), конденсаторли занжирдами (4.17-расм, *б* га қ)?

5. Ўзгарувчан ток занжирида энергия истеъмолчилари қувват коэффициентининг қиймати 0 дан 1 гача чегарада бўлади. Оний қувват графиги 4.17-расм, *а* да тасвирланган занжирнинг қувват коэффициенти бу қийматлардан қайси бирига яқин бўлади? 4.17-расм, *б* да тасвирланган занжирники-чи?

4.5-масала. Индуктив ғалтакнинг параметрларини аниқлаш учун у аввал ўзгармас ток манбаига (4.18-расм, *а*), сўнгра ўзгарувчан ток тармоғига уланди (4.18-расм, *б*). Ўзгармас токда ўлчов асбобларининг кўрсатишлари $I = 4$ А, $U = 12$ В; ўзгарувчан токда $I_2 = 5$А; $U_2 = 25$ В. Ғалтакнинг актив қаршилигини ва индуктивлигини; ўзгарувчан ток занжирида ғалтакнинг актив, реактив ва тўлиқ қувватини аниқланг.

4.6-масала. Ўзгарувчан ток занжирида (4.18-расм, *в*) асбоблар қуйидагиларни кўрсатди: амперметр 6 А, вольтметр 180 В, ваттметр 360 Вт. Асбобларнинг кўрсатишига мос келадиган актив ва реактив қаршиликларни, тўлиқ ва реактив қувватни аниқланг; электр истеъмолчининг параметрлари қуйидагича: а) R, L; б) R, C.

4.4-§. ЎЗГАРУВЧАН ТОКНИНГ ТАРМОҚЛАНМАГАН ЗАНЖИРИ

Тармоқланмаган занжирда барча элементлар кетма-кет уланган бўлади. 4.19-расм, *а* да таркибига учта элемент: резистор R_1, конденсатор C_2, индуктив ғалтак R_3, L_3 кирадиган занжирнинг схемаси кўрсатилган. Ана шу мисолда тармоқланмаган занжирларнинг ўзига хос хусусиятларини кўриб чиқамиз ва уларни ҳисоблаш формулаларини топамиз.

Вектор диаграмма. Занжирдаги ток $i = I_m \sin \omega t$ тенглама билан ифодаланади, деб фараз қилайлик.

Умумий кучланишнинг оний қиймати Кирхгофнинг иккинчи қонунига мувофиқ схема элементларидаги оний кучланишлар йиғиндисига тенг: $u = u_{1a} + u_{2p} + u_{3p} + u_{3a}$ (индекс рақамлари элементнинг номерини, ҳарфлар элементнинг характерини кўрсатади: a — актив, p — реактив).

Тенгликнинг ўнг томонидаги қўшилувчилар фаза жиҳатдан мос келмаслигини эътиборга олиб, умумий кучланишнинг таъсир этувчи қийматини вектор йиғинди сифатида ифодалаймиз:

$$U = U_{1a} + U_{2p} + U_{3p} + U_{3a}.$$

Вектор диаграммани ясаш учун қуйидаги катталикларни топамиз:

$$U_{1a} = IR_1;\ U_{2p} = IX_2;\ U_{3p} = IX_3;\ U_{3a} = IR_3$$

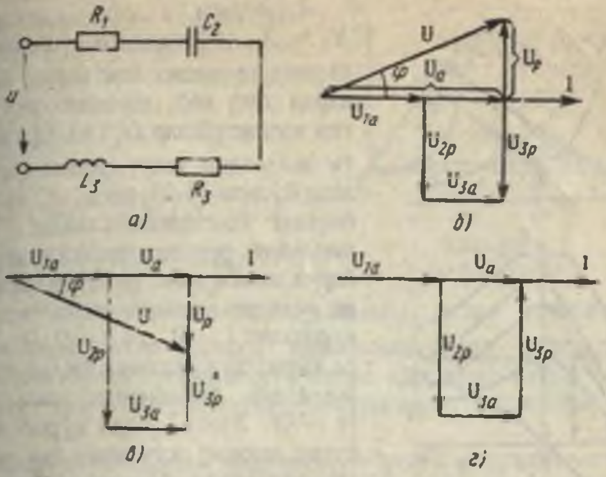
бунда $x_3 = \omega L_3$; $x_2 = 1/\omega C_2$.

4.19-расм, *б* даги вектор диаграмма шу тенгламага мос келади. Уни ясашда дастлаб ток вектори қўйилган, сўнгра схеманинг ҳар қайси қисмида кучланишнинг пасайиш векторлари ўтказилган. Уларнинг ток векторига нисбатан йўналиши қаршилик характерига қараб аниқланган: актив кучланишлар U_{1a} ва U_{3a} фаза жиҳатдан ток билан мос тушади, индуктив кучланиш $U_{2c} = U_{2p}$ токдан 90° ўзиб кетади, сиғим кучланиш $U_{2c} = U_{2p}$ токдан худди шундай бурчакка кейинда қолади.

Вектор диаграммада актив кучланишлар U_{1a} ва U_{3a} бир хил ток вектори бўйлаб йўналганлиги кўриниб турибди; шу сабабли уларнинг векторларини қўшиш ўрнига арифметик қўшиш ва бутун занжир кучланганлиги векторининг актив ташкил этувчисини топиш мумкин: $U_a = U_{1a} + U_{3a}$.

Реактив кучланишлар U_{2p} ва U_{3p} векторлари ток векторига перпендикуляр, бунда индуктив кучланиш бир томонга, сиғим кучланиши бошқа томонга йўналган. Шу сабабли уларнинг вектор йиғиндиси ўрнига алгебраик йиғиндисини олиш мумкин, бунда индуктив кучланиш мусбат, сиғим кучланиши — манфий деб қабул қилинади: $U_p = U_{3p} - U_{2p} = U_{3L} - U_{2c}$.

Ҳисоблаш формулалари. 4.19-расм, *б* даги диаграммада занжирнинг актив, реактив ва тўлиқ кучланишлари векторлари индуктив ғалтак учун 4.13-расм, *в* да тасвирлангани каби тўғри бурчакли учбурчак ҳосил қилади.



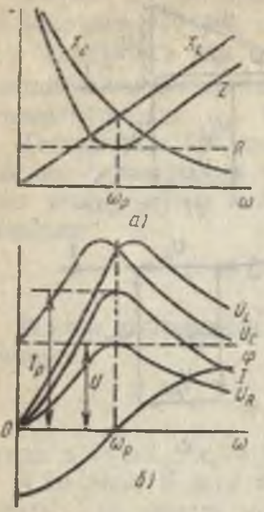
4.19- расм.

Таъминлаш манбаи битта ва резисторлар, индуктив ғалтаклар ва конденсаторлар сони ихтиёрий бўлган исталган тармоқланмаган занжир учун худди шунга ўхшаш ҳисоблаш формулаларини ёзиш мумкин. Бунинг учун 4.3- § да олинган формулаларда индуктив ғалтакка тегишли катталикларни (U_R; U_Z; R; X_L; P; Q_L) тармоқланмаган занжирга умуман тегишли бўлган бир ишорали катталиклар (тегишлича: $U_a = \sum U_p$; $U_p = \sum U_L - \sum U_C$; $R = \sum R_a$; $X = \sum X_L - X_C$; $P = \sum P_п$; $Q = \sum Q_L - \sum Q_C$) билан алмаштириш лозим.

Индуктив ва сиғим қаршиликларнинг нисбатига қараб, 4.19- расм, *а* даги схема учун уч хил ҳол бўлиши мумкин. Биринчи ҳолда $X_L > X_C$; вектор диаграмма 4.19- расм, *б* да илгари кўриб чиқилганди. Ушбу ҳолда $U_L > U_C$, шу сабабли умумий кучланиш фаза жиҳатдан токдан $\varphi > 0$ бурчакка ўзиб кетади (фаза бурчаклари ток векторидан ҳисобланади).

$X_L < X_C$ бўлганда $U_L < U_C$, шу сабабли умумий кучланиш токдан $\varphi < 0$ бурчакка орқада қолади (вектор диаграммани 4.19- расм, *в* дан қ.).

Кучланишлар резонанси. Индуктивлиги ва сиғими бор қисмлари бўлган ўзгарувчан ток электр занжирларида муайян шароитларда р е з о н а н с ҳодисаси кузатилади.



4.20- расм.

4.19- расм, *а* даги занжир учун $X_L = X_C$ бўлгандаги учинчи ҳолни кўриб чиқамиз. Ток барча элементларда бир хил, шунинг учун реактив кучланишлар U_L ва U_C катталиги жиҳатдан тенг, қарама-қарши фазада бўлади (4.19- расм, *г*), яъни бир-бирини компенсациялайди. Кучланишнинг реактив ташкил этувчиси, барча занжирнинг реактив қаршилиги ва реактив қуввати нолга тенг, тўла қаршилик $L = R$, ток $I = U/R$; занжирга киришда кучланиш билан ток фаза жиҳатдан бир-бирига мос келади ($\varphi = 0$). Ушбу ҳолда кўриб чиқилаётган занжир кучланишлар резонанси режимида бўлади. Электр занжирнинг кетма-кет уланган индуктив ва сиғим элементлари бор қисмидаги резонанс ҳодисаси **к у ч л а н и ш л а р р е з о н а н с и** дейилади.

Резонанс манбанинг муайян частотасида вужудга келади, бу частота **р е з о н а н с ч а с т о т а с и** ω_p дейилади.

Кучланишлар резонанси шартидан $X_L = X_C$ ёки $\omega_p L = 1/\omega_p C$ резонанс частотасининг ифодаси келиб чиқади:

$$\omega_p = 1/\sqrt{LC}; \quad f_p = 1/2\pi\sqrt{LC} \qquad (4.60)$$

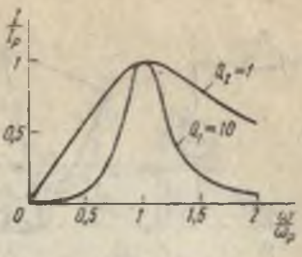
Манба частотаси ω ўзгармас бўлганда L ва C параметрларни ўзгартириш ёки L ва C параметрлар ўзгармас бўлганда энергия манбаининг частотасини ўзгартириш йўли билан кучланишлар резонанси режимини қарор топтириш мумкин. Частота кўпайганида $X_L = \omega L$ частотага мутаносиб равишда ортади, $x_c = 1/\omega C$ — тескари мутаносиблик қонуни бўйича камаяди (4.20- расм, *а*).

Занжирнинг тўла қаршилиги $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ резонанс частотасида энг кичик қийматда $Z_p = R$ бўлади, чунки $X_L = X_C$ частота резонанс частотасидан бирор томонга оғганда эса шу оғиш кўпайиши билан занжир қаршилиги ҳам ортади. Ток ва бошқа катталикларнинг частотага боғлиқлиги 4.20- расм, *б* да кўрсатилган.

Кучланишлар резонансида реактив қаршилик (индуктив ёки сиғим) тебранувчи системанинг характеристикаларидан бири ҳисобланади. У **тўлқин қаршилиги** $Z_В$ дейилади:

$$\omega_р L = 1/\omega_р C = \sqrt{L/C} = Z_В$$

$$U_L = U_C = IZ_В = UZ_В/R.$$



4.21 - расм.

$Z_В > R$ бўлганда реактив кучланиш актив кучланишдан катта бўлади. Агар реактив қаршилик актив қаршиликдан анча катта бўлса, реактив кучланиш ҳам анча катта бўлади ва ғалтак ёки конденсаторнинг изоляцияси тешилиши мумкин.

Амалда агар кабель линиясининг учига индуктивлиги бор электр истеъмолчи уланса, бундай ҳол содир бўлиши мумкин.

Резонанс ҳодисаларидан радиотехникада кенг кўламда фойдаланилади. **Контурнинг асллиги** дейиладиган $Q = Z_в/R$ нисбат қанча катта бўлса, кетма-кет уланган резонанс контурининг сифати шунча юқори бўлади. Контурда энергия исрофлари қуввати қанча катта бўлса (R нинг кичик қийматлари шунга мувофиқ келади), асллик шунча юқори, резонанс эгри чизиғи шунча ўткир бурчакли бўлади.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Тармоқланмаган занжир R, L, C да токнинг (ёки кучланишнинг) ярим даври мобайнида магнит майдон ва электр майдон энергияси тўпланади. $X_L > X_C$ бўлганда қандай энергия кўпроқ тўпланади? $X_L < X_C$ бўлганда-чи? $X_L = X_C$ бўлганда-чи?

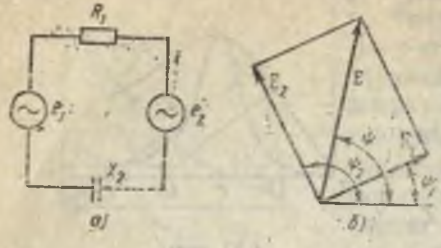
2. Ўзгарувчан ток тармоқланмаган занжирининг тўла қаршилигини аниқлашда $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ формуладан фойдаланилади, занжир реактив қаршилиги X нинг умумий қиймати эса айрим қисмлардаги индуктив ва сиғим қаршиликларини алгебраик қўшиш йўли билан топилади. Нима учун ушбу ҳолда X ва Z ларни аниқлашда қаршиликлар арифметик қўшилмайди?

3. Элементлари (резисторлар, индуктив ғалтаклар, конденсаторларнинг сони ихтиёрий бўлган тармоқланмаган занжир учун ҳисоблаш формулаларини индуктив ғалтак учун чиқарилган формулаларга ўхшатиб (4.3-§ га қ.) қандай ёзиш керак?

4. Параметрлари R, L, C бўлган тармоқланмаган занжирда токнинг манба частотасига қараб ўзгариш характери 4.20-расм, *б* да кўрсатил-

ган. Шу занжирда резонанс ҳолатини электр ўлчов асбобларидан фойдаланиб қандай аниқлаш мумкин?

5. 4.20- расмда кетма- кет уланган резонанс контурининг частота характеристикалари, шу жумладан кучланиш билан ток орасидаги фазалар силжиш бурчагининг частотага боғлиқлиги кўрсатилган. φ бурчакнинг частотага қараб ўзгариш характерини қандай изоҳлаш мумкин?



4.22- расм.

4.7- масала. $U = 220$ В кучланишли ва $f = 50$ Гц частотали ўзгарувчан ток тармоғига резистор $R_1 = 5$ Ом, индуктив ғалтак $R_2 = 3$ Ом, $L = 38$ мГн ва конденсатор $C_3 = 530$ мкФ кетма- кет уланган. Резистор, индуктив ғалтак, конденсаторнинг ва бутун занжирнинг актив, реактив ва тўла қувватини аниқланг.

4.8- масала. Схемаси 4.22- расм, *a* да тасвирланган занжирда токни аниқланг ва қувватлар балансини тузинг. Қуйидагилар берилган: $R_1 = 20$ Ом. $X_2 = 15$ Ом; $e_1 = 169 \sin(314\,t + 30°)$; $e_2 = 226 \sin(314\,t + 120°)$ 4.22- расмда занжирдаги умумий э. ю. к. E ни аниқлаш кўрсатилган.

4.5- §. ЎЗГАРУВЧАН ТОКНИНГ ТАРМОҚЛАНГАН ЗАНЖИРИ

Тармоқланган занжирда параллел уланган тармоқлар бўлади. Мисол тариқасида 4.23- расм, *a* да схемаси кўрсатилган занжирни кўриб чиқамиз, унда резистор R_1, индуктив ғалтак R_3, L_3, исрофлар бўлмаган конденсатор C_2 параллел уланган; шу элементлар 4.22- расм *a* даги схемада кетма- кет уланган эди.

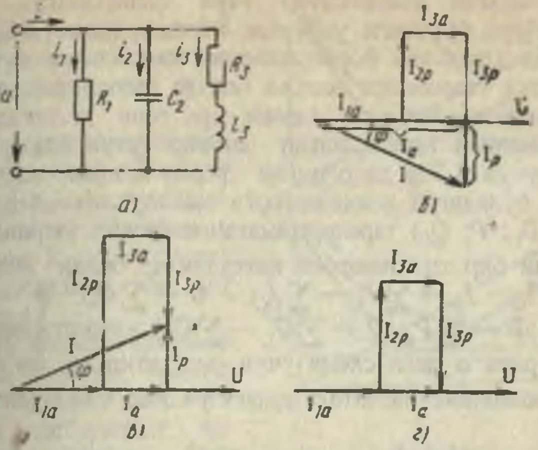
Вектор диаграмма. Занжирдаги кучланиш $u = U_m \sin t$ тенглама билан ифодаланади, деб фараз қилайлик.

Умумий токнинг оний қиймати (занжирнинг тармоқланмаган қисмида) тармоқлардаги токларнинг оний қийматлари йиғиндисига тенг (Кирхгофнинг биринчи қонунига биноан): $i = i_1 + i_2 + i_3 = i_{1a} + i_{2p} + i_{3a} + i_{3p}$. Таъсир этувчи қийматлар учун векторлар йиғиндисини ёзамиз: $I = I_{1a} + I_{2p} + I_{3a} + I_{3p}$. Вектор диаграммани ясаш учун токларнинг қийматларини топамиз:

$$I_{1a} = I_1 = U/R_1 = UG_1; \quad I_{3a} = I_3 \cos \varphi_3 = UB_3/Z_3^2 = UG_3;$$

$$I_{3p} = I_3 \sin \varphi_3 = UX_3/Z_3^2 = UB_3; \quad I_{2p} = I_2 = U/X_2 = UB_2$$

бу ерда $G_1 = 1/R_1$ — биринчи тармоқнинг актив ўтказувчанлиги; $B_2 = 1/X_2$ — иккинчи тармоқнинг реактив (сиғим) ўтказув-



4.23- расм

чанлиги; $G_3 = R_3/Z_3^2$ — учинчи тармоқнинг актив ўтказувчанлиги; $B_3 = X_3/Z_3^2$ — учинчи тармоқнинг реактив (индуктив) ўтказувчанлиги.

4.23- расм, *б* даги вектор диаграмма токларнинг олинган вектор тенгламасига мос келади. Уни ясашда биринчи бўлиб кучланиш вектори қўйилган, сўнгра актив ва реактив токларнинг векторлари ўтказилган, бунда уларнинг кучланишлар векторларига нисбатан йўналишлари ўтказувчанликлар характерига қараб аниқланган: актив токлар I_{1a}, I_{3a} фаза жиҳатдан кучланиш билан мос келади, индуктив ток $I_1 = I_{3p}$ кучланишдан орқада қолади, сиғим токи $I_{2c} = I_{2p}$ эса кучланишдан 90° ўзиб кетади.

Вектор диаграммадан кўриниб турибтики, актив токлар I_{1a}, I_{3a} бир хил, кучланиш вектори бўйлаб йўналган, шу сабабли уларнинг векторларини қўшиш ўрнига арифметик қўшиш ва умумий ток векторининг актив ташкил этувчисини топиш мумкин: $I_a = I_{1a} + I_{3a}$.

Реактив токларнинг векторлари I_{2p} ва I_{3p} кучланиш векторига перпендикуляр, лекин қарама-қарши томонларга йўналган. Шу сабабли уларнинг вектор йиғиндиси алгебраик йиғиндисига тенг, бунда индуктив ток мусбат, сиғим токи — — манфий, деб қабул қилинади: $I_p = I_{3p} - I_{2p} = I_{3z} - I_{2c}$.

Ҳисоблаш формулалари. Занжирнинг актив, реактив ва тўла токларининг векторлари 4.14- расм, *в* да энергия исроф-

лари бўладиган конденсатор учун тасвирланган векторга ўхшаш тўғри бурчакли учбурчак ҳосил қилади. Худди шунга ўхшаш ҳисоблаш формулаларини ҳам иккита тугун нуқтали, битта таъминлаш манбаи бор ва резисторли, индуктив ғалтак ва конденсаторли тармоқлари сони исталганча бўлган ҳар қандай тармоқланган занжир учун ёзиш мумкин. Бунинг учун 4.3-§ да олинган формулаларда энергия исрофлари бўладиган конденсаторга тааллуқли катталикларни (I_G; I_C; B_C; P; Q_C) тармоқланмаган занжирга умуман тегишли бўлган бир хил ишорали катталиклар билан (тегишлича: $I_a = \sum I_G$; $I_p = \sum I_L - \sum I_C$; $G = \sum G_n$; $B = \sum B_L - \sum B_C$; $P = \sum P_n$; $Q = \sum Q_L - \sum Q_C$) алмаштириш керак.

4.23-расм *а* даги схема учун индуктив ва сиғим ўтказувчанликларнинг нисбатига қараб уч хил ҳол бўлиши мумкин.

Уларнинг биринчисида $B_L > B_C$ вектор диаграмма 4.23-расм, *б* да кўриб чиқилган. Ушбу ҳолда $I_L > I_C$, шу сабабли умумий ток фаза жиҳатдан кучланишдан $\varphi > 0$ бурчакка орқада қолади (фаза бурчаклари ток векторидан ҳисобланади). $B_L < B_C$ бўлганда шу сабабли умумий ток кучланишдан $\varphi < 0$ бурчакка ўзиб кетади (4.23-расм, *в* даги вектор диаграммага қ.).

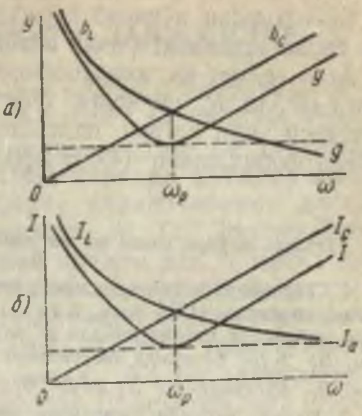
Токлар резонанси. Учинчи ҳолда $B_L = B_C$. Кучланиш барча тармоқларда бир хил, шунинг учун тармоқларнинг реактив токлари I_L ва I_C катталиги жиҳатидан тенг, лекин қарама-қарши фазада бўлади (4.23-расм, *г*). Реактив ток, барча занжирдаги ўтказувчанлик ва қаршилик нолга тенг; тўла ўтказувчанлик $Y = G$, кучланиш $U = I/G$; умумий кучланиш фаза жиҳатдан ток билан мос келади ($\varphi = 0$). Ушбу ҳолда кўриб чиқилаётган занжир токлар резонанси режимида бўлади.

Электр занжирнинг параллел уланган индуктив ва сиғим элементлари бор қисмидаги резонанс ҳодисаси т о к л а р р е з о н а н с и дейилади.

4.23-расм, *а* даги схемада учинчи тармоқдаги актив қаршилик $R_3 = 0$ деб фараз қилайлик, у ҳолда шу тармоқнинг реактив ўтказувчанлиги $B_3 = B_L = 1/\omega L$.

Токлар резонанси шартидан $B_L = B_C$ ёки $1/\omega_p L = \omega_p C$ резонанс частота ифодасини оламиз, у кучланишлар резонанси режими учун ёзилган ифодага ўхшайди [(4.60) формула-

га қ.]. 4.24-расмда шундай параллел контурнинг частота характеристикалари кўрсатилган.



4.24- расм

Токлар резонансида занжирнинг умумий ўтказувчанлиги энг кичик ва занжирнинг актив ўтказувчанлигига тенг $Y = G$, шунинг учун занжирдаги ток энг кам бўлади.

Токлар резонансида реактив ўтказувчанлик (индуктив ёки сиғим) катталиги тебранма системанинг характеристикаларидан бири ҳисобланади ва т ў л қ и н ў т к а з у в ч а н л и к дейилади:

$$Y_в = \omega_р C = 1/\omega_р L = \sqrt{C/L};$$
$$I_L = I_C = UY_в = Y_в/G.$$

Охирги формуладан $Y_в > G$ бўлганда схеманинг реактив тармоқларидаги токлар унинг тармоқланмаган қисмидаги токдан катта бўлади, деган хулоса келиб чиқади. Параллел контурнинг асллиги қанча катта бўлса, контурнинг сифати шунча юқори ҳисобланади, асллик тўлқин ўтказувчанликнинг актив ўтказувчанликка нисбати билан аниқланади: $Q = Y_в/G = R/\omega_р L = \omega_р CR$. Бу формуладан занжирда энергия исрофлари кам бўлганда (бунга қаршилик R нинг катта қийматлари мувофиқ келади) контурнинг асллиги юқори бўлади, деган хулоса келиб чиқади.

Агар реал ғалтак ва конденсаторларнинг параметрлари R, L, C уларнинг актив ва реактив элементлар кетма-кет уланган жойлашиш схемаларига татбиқан берилса, у ҳолда токлар резонансининг шарти — тармоқлардаги реактив ўтказувчанликларнинг тенглиги $B_2 = B_3$ — бу ҳолда ҳам сақланиб қолади.

$\dfrac{X_L}{R_3^2 + X_L^2} = \dfrac{X_c}{R_2^2 + X_c^2}$ тенглик резонанс частотани аниқлаш учун бошланғич манба бўлиб ҳисобланади, частота ушбу формула билан ифодаланади:

$$\omega_р = \sqrt{1/LC}\ \sqrt{\frac{L/C - R_3^2}{L/C - R_2^2}}.$$

Бу ифодадан кўриниб турибдики, резонанс частотаси ғалтак билан конденсаторнинг актив қаршиликларига боғлиқ.

Агар ғалтак ва конденсаторда энергия исрофлари кам бўлса (R_2 ва R_3 ни нолга тенг дейиш мумкин), резонанс частотаси учун илгари идеаллаштирилган занжир учун топилган формуланинг (4.60) ифодаси келиб чиқади.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Таркибида актив қаршилик, индуктивлик ва сиғим бор тармоқланган занжирда (4.23- расм, *а* га қ.) кучланиш (ёки токнинг) ярим даври мобайнида магнит майдон ва электр майдон энергиялари тўпланади. $B_L > B_C$ бўлганда энергиянинг қайси тури камроқ тўпланади? $B_L < B_C$ бўлганда- чи? $B_L = B_C$ бўлганда - чи?

2. Иккита тугунли ўзгарувчан ток тармоқланган занжирининг тўла ўтказувчанлигини аниқлашда $Y = \sqrt{G^2 + B^2}$ формуладан фойдаланилади, занжир реактив ўтказувчанлиги B нинг умумий қиймати эса тармоқларининг реактив ўтказувчанликларини алгебраик қўшиш йўли билан топилади. Нима учун ушбу ҳолда B ва Y ўтказувчанликларни оддий арифметик йиғинди билан аниқлаб бўлмайди?

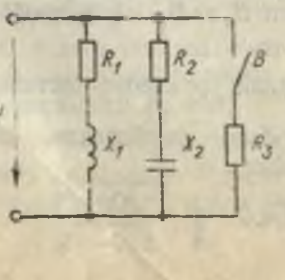
3. Параллел уланган элементлари (резисторлар, индуктив галтаклар конденсаторлар) сони ихтиёрий бўлган тармоқланган занжир учун ҳисоблаш формулаларини исрофлари бор конденсатор учун олинган формулаларга (4.3- § га қ.) ўхшатиб қандай ёзиш мумкин?

4. Параметрлари R, L, C бўлган тармоқланган занжирда токнинг манба частотасига боғлиқ ҳолда ўзгариш характери 4.24- расм, *б* да кўрсатилган. Ушбу занжирда резонанс. ҳолатини электр ўлчов асбоблари ёрдамида қандай аниқлаш мумкин?

5. Тебраниш контурларининг асллиги юқори бўлганда резонанс эгри чизиғи (4.21- расмга қ.) анча тор бўлади. Радиотехника нуқтаи назаридан тор эгри чизиқнинг кенг эгри чизиққа нисбатан қандай афзаллиги бор?

4.9- масала. Узгич B узиб қўйилганда 4.25- расмдаги занжирга киришдаги ток ва қувватларни аниқланг. Қуйидагилар берилган: $U = 100$ В; $R_1 = 4$ Ом. $X_1 = 3$ Ом, $R_2 = 6$ Ом, $X_2 = 8$ Ом.

4.10- масала. Узгич В уланганда 4.25- расм, *в* даги занжирга киришдаги ток, кучланиш ва қувватни аниқланг. Қуйидагилар берилган: $I_3 = 10$ А, $R_1 = 6$ Ом, $R_2 = 20$ Ом, $R_3 = 20$ Ом, $X_1 = 8$ Ом, $X_2 = 15$ Ом, $X_3 = 0$.



4.25- расм

5-БОБ

УЧ ФАЗАЛИ ЭЛЕКТР ЗАНЖИРЛАР

Ҳозирги электротехникада асосан ўзгарувчан электр токидан фойдаланилиши 4-бобда таъкидлаб ўтилган эди. Электр энергиясини олиш, узатиш ва тақсимлаш учун уч фазали электр системаларидан фойдаланилади. Уч фазали системанинг барча элементларини дастлаб машҳур рус инженер-ихтирочиси М. О. Доливо-Добровольский (1861—1919) ишлаб чиққан эди. У қисқа давр ичида уч фазали қурилмаларни: айланувчи магнит майдонли генератор (1888), роторининг чулғами қисқа туташадиган асинхрон двигатель (1889), трансформатор (1890) ва б. яратди. 1891 йилда Жаҳон электротехника кўргазмасида М. О. Доливо-Добровольский дунёда биринчи марта 175 км масофага электр узатишнинг уч фазали линиясини намойиш қилди.

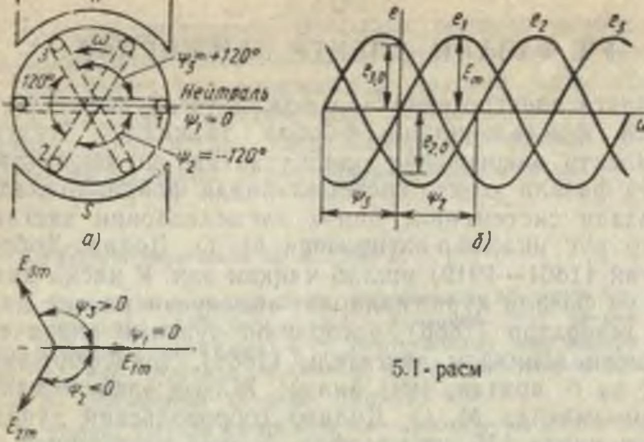
Электр занжирларнинг уч фазали системаси учта занжирнинг тўпламидан иборат бўлиб, уларда бир хил частотали, бир-бирига нисбатан фаза жиҳатдан силжиган ва умумий энергия манбаидан ҳосил бўладиган учта синусоидал э. ю. к. таъсир этади.

Электр занжирларнинг алоҳида фазалари электр жиҳатдан бир-бирига уланган уч фазали системаси **у ч ф а з а л и з а н ж и р** дейилади.

5.1-§. ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСИ УЧ ФАЗАЛИ МАНБАЛАРИНИНГ ЧУЛҒАМЛАРИНИ УЛАШ

Уч фазали занжирларда уч фазали генераторлар ёки трансформаторлар электр энергияси манбалари ҳисобланади. Уларнинг тузилиши, асосий характеристикалари 7, 8-бобларда баён қилинган. Бу ерда эса уч фазали системалар ҳақидаги умумий маълумотларни кўриб чиқамиз.

Э.ю.к. нинг уч фазали симметрик системаси. Уч фазали генераторнинг фазода бир-бирига нисбатан $2\pi/3$ ёки 120° га силжиган учта мустақил чулғами бўлади. Бу 5.1-расм, *а* да кўрсатилган. Агар чулғамларда ўрамлар сони бир хил бўлса, у ҳолда ротор айланганда уларда қиймати бир хил бўлган э.ю.к. вужудга келади. Э.ю.к. ларнинг бошланғич фазалари чулғамларнинг фазовий жойлашувига мувофиқ бир-биридан 120° силжиган.



5.1 - расм

Амплитудаси бир-бирига тенг, частотаси бир хил, фаза жиҳатдан бир-бирига нисбатан $2\pi/3$ бурчакка силжиган учта э.ю.к. дан иборат система э.ю.к.ларнинг симметрик уч фазали системаси дейилади.

5.1-расм, *а* да чулғамларнинг ҳолатини бошланғич ҳолат деб ҳисоблаймиз ва ротор соат стрелкасига тескари йўналишда айланади, деб қабул қилиб, э.ю.к. тенгламаларини ҳосил қиламиз.:

$$e_A = E_m \sin \omega t;$$

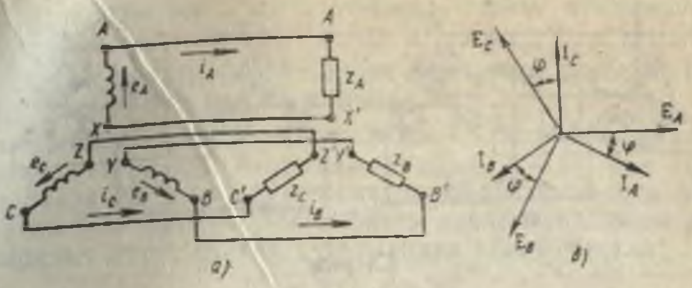
$$e_B = E_m \sin(\omega t - 120°);$$

$$e_c = E_m \sin(\omega t + 120°).$$

Бу тенгламаларга 5.1- расм, б, в даги э.ю.к. графиклари ва вектор диаграммаси мувофиқ келади.

Соат стрелкасига тескари йўналишда айланадиган э.ю.к. векторлари қўзғалмас ўқ ёнидан шундай тартибда ўтади: Кетма-кет келишнинг бундай тартиби фазаларнинг бевосита кетма-кетлиги дейилади (ротор тескари томонга айланганда олинадиган тескари кетма-кетликдан фарқ қилади).

Жойлашиш схемаларида уч фазали генераторнинг чулғамлари 5.2- расм, *а* да кўрсатилгани каби белгиланади ва э.ю.к. нинг *X*, *Y*, *Z* учлардан *A*, *B*, *C* бошланғич нуқталарга томон йўналиши шартли равишда мусбат деб қабул қилинади. Э.ю.к. ва токларнинг тегишли вектор диаграммаси 5.2-расм, *б* да кўрсатилган.



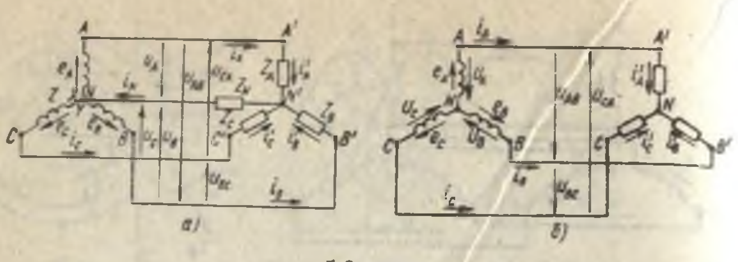
5.2- расм

Манбанинг ҳар қайси чулғамини алоҳида истеъмолчи билан улаш ва учта мустақил занжир ҳосил қилиш мумкин, улардан ҳар бирининг алоҳида токи i_A, i_B, i_C бўлади. Лекин бундай боғланмаган системада манба билан истеъмолчилар олтита сим билан уланади, бу эса иқтисодий жиҳатдан номақбулдир.

Боғланган системаларда туташтирувчи симлар сони кам бўлади, унда генератор чулғамлари истеъмолчининг фазалари каби юлдуз ёки учбурчак усулида уланади.

Манба чулғамларини юлдуз усулида улаш. Манбанинг чулғамлари боғланмаган системадан уларнинг юлдуз усулида уланишига осон ўтиш мумкин. Бунинг учун манба чулғамларининг *X*, *Y*, *Z* учларини О нуқтада (ноль нуқта, бошқача айтганда нейтраль) бирлаштириш, чулғамларнинг учларини истеъмолчи билан улайдиган учта симни битта сим билан алмаштириш (5.3-расм, *а*) ёки узиш (5.3- расм, *б*) керак. Чулғамларнинг бошини истеъмолчи билан улайдиган симлар (линия симлари) сақланиб қолади, натижада тўрт симли (ноль сими билан) ёки уч симли уч фазали занжир ҳосил бўлади.

Уч фазали занжирларда фаза кучланиши ва линия кучланиши фарқ қилинади. Фаза кучланиши — линия сими билан нейтраль орасидаги потенциаллар айирмасидир (5.3-расм, *а*, *б* даги U_A, U_B, U_C). Бу таърифга манбанинг фаза кучланиши ҳам мувофиқ келади, у манба ҳар қайси чулғамининг бошланиши ва учи орасидаги потенциаллар айирмасига тенг; у э. ю. к. дан чулғамдаги кучланиш пасайиши қиймати қадар фарқ қилади. Агар чулғамларнинг қаршиликларини эътиборга олмаслик ёки уч фазали манбани нагрузкасиз деб қа-

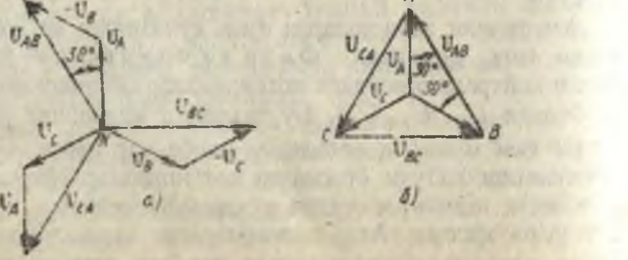


5.3- расм

раш (салт ишлаши) мумкин бўлса, у ҳолда манбанинг фаза кучланишлари тегишли э. ю. к. га тенг бўлади. Улар симметрик системада э. ю. к. каби, яъни катталиги жиҳатдан ўзаро тенг ва фаза жиҳатдан бир-биридан 120° га силжиган учта вектор $\mathbf{U}_A$, $\mathbf{U}_B$, $\mathbf{U}_C$ (5.4-расм, *а*, *б*) билан тасвирланади (умумий белгиланиши $\mathbf{U}_ф$).

Линия кучланиши — иккита линия симлари орасидаги потенциаллар фарқи (5.3-расм, *а*, *б* да U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}).

Агар манба нолинчи нуқтасининг потенциалини нолга тенг, деб қабул қилсак, у ҳолда манбанинг линия қисмларидаги (чулғамларнинг бошланишидаги) потенциаллар тегишлича фаза кучланишларига U_A, U_B, U_C тенг бўлади ва ҳар онда фаза силжиши бўлганлиги учун бир-биридан фарқ қилади. Демак, линия кучланишларининг оний қийматлари умумий ҳолда нолга тенг эмас ва ушбу айирмалар билан ифодаланади: $U_{AB} = U_A - U_B$; $U_{BC} = U_B - U_C$; $U_{CA} = U_C - U_A$, таъсир этувчи қийматлар эса — вектор шаклда ифодаланади: $\mathbf{U}_{AB} = \mathbf{U}_A$; $\mathbf{U}_{BC} = \mathbf{U}_B - \mathbf{U}_C$; $\mathbf{U}_{CA} = \mathbf{U}_C - \mathbf{U}_A$. Ана шу ифодаларга мувофиқ 5.4-расм, *а* да вектор диаграмма ясалган; бу диаграммадан кўриниб турибдики, фаза куч-



5.4- расм

ланишларнинг симметрик системасида линия кучланишлари системаси ҳам симметрик бўлади: U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} катталиги жиҳатдан тенг ва фаза жиҳатдан бир-бирига нисбатан 120° га силжиган (умумий белгиланиши U_A).

Линия кучланишларининг таъсир этувчи қийматларини вектор диаграммадан график усулда ёки (5.1) формуладан аниқлаш мумкин; бу формула иккита фаза кучланиши вектори билан битта линия кучланиши векторидан ҳосил бўлган учбурчакдан келиб чиқади:

$$U_A = 2\, U_Ф \cos 30°$$

ёки

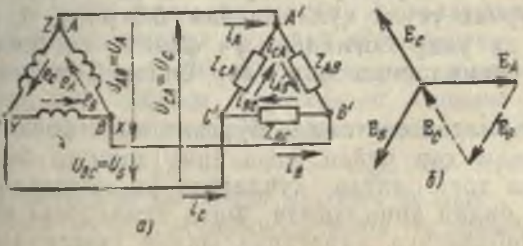
$$U_A = \sqrt{3}\; U_Ф. \qquad (5.1)$$

Вектор диаграммани топографик усулда ясаш қулай (5.4-расм, *б*), бунда занжирнинг ҳар қайси нуқтасига диаграммадаги муайян нуқта мос келади. Топографик диаграмманинг иккита нуқтаси орасида ўтказилган вектор катталиги ва фазаси жиҳатидан занжирнинг бир хил ишорали нуқталари орасидаги кучланишни ифодалайди.

Манба чулғамларини учбурчак усулида улаш. Учбурчак усулида улаганда манбанинг учта чулғамидан ёпиқ контур ҳосил бўлади, бунда бир чулғамнинг бошланиши иккинчи чулғамнинг охири билан уланади (5.5-расм, *а* да *X*, *B*; *Y*, *C*, *Z*, *A* нуқталар). Чулғамларни шундай улаш мумкин, чунки симметрик уч фазали системада контурдаги э. ю. к. нинг йиғиндиси нолга тенг (5.5-расм, *б*).

Линия симлари бир томондан манба чулғамларининг бошига, иккинчи томондан — истеъмолчига уланади ва шундай схемада фаза кучланишлари билан линия кучланишлари ўзаро тенг бўлади: $U_{AB} = U_A$; $U_{BC} = U_B$; $U_{CA} = U_C$.

$$U_A = U_Ф. \qquad (5.2)$$



5.5- расм

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Электр станцияларида ишлайдиган йирик генераторларда чулғамлар қўзғалмас (статорда жойлашган) бўлади, магнит қутблари эса айланади (ротордо жойлашган). Чулғам ва қутблар ҳаво тирқиши бўйлаб 5.1- расмдаги схемада кўрсатилгандек жойлашган, деб фараз қиламиз. Чулғамларда фазалари бевосита кетма-кет бўлган э. ю. к. ҳосил қилиш учун қутблар билан роторни қайси йўналишда айлантириш керак?

2. Уч фазали манбага уч фазали истеъмолчи уланган. Манба қисмаларида фазалар кетма-кетлигини ўзгартирмай туриб, истеъмолчида кучланишлар фазаларининг кетма-кетлигини қандай ўзгартириш мумкин?

3. Уч фазали генератор юкланган пайтда унинг чулғамларида ва уни электр истеъмолчи билан улайдиган линияда токлар бўлади. Қайси схемада (юлдуз ёки учбурчак) генераторнинг фазасидаги ток линия симидаги токка тенг бўлади?

4. Генератор чулғамларини юлдуз усулида улашда битта фазанинг учи тасодифан фазанинг боши деб фикр қилинди. Бу ҳолда генераторнинг линия кучланишларини (5.1) формула билан аниқлаб бўладими?

5. Генератор чулғамларини учбурчак усулида улашда бир фазанинг учи иккинчи фазанинг учига улаб қўйилди. Бундай генератор роторини айлантириш мумкинми?

5.1- масала. Уч фазали генераторнинг ҳар қайси фазасида $E_ф = 27$ В э. ю. к. вужудга келади. Схемани чизинг, вектор диаграммаларни ясанг ва салт ишлашдаги линия кучланишларини аниқланг. Чулғамларнинг қисмалари умумий нуқтага бирлаштирилган:

а) X, Y, Z; б) X, Y, C; в) X, B, Z; г) X, B, C; д) A, B, C.

5.2- масала. Уч фазали генераторнинг ҳар қайси фазасида $E_ф$ 400 В э. ю. к. вужудга келади. Чулғамларнинг қисмалари ўзаро қуйидагича уланган бўлса, схемани чизинг, вектор диаграммасини тузинг ва контурдаги умумий э. ю. к. ни аниқланг: а) $A-Z$, $B-X$, $C-Z$;

б) $A-C$, $B-X$, $Y-Z$; в) $A-Z$; $X-Y$, $B-C$; г) $X-Z$,

$A-B$, $C-Y$; д) $A-Y$, $B-Z$, $C-X$.

5.2- §. СИММЕТРИК УЧ ФАЗАЛИ ЗАНЖИРЛАР

Уч фазали занжирларда энергия истеъмолчилари учун бизга маълум бўлган уланиш схемалари — юлдуз ёки учбурчак усули қўлланилади. 5.3- расм, *а*, *б* ва 5.5- расм, *а* да улар боғланган уч фазали системаларнинг умумий схемаларида манбалар билан бирга кўрсатилган.

Боғланмаган системада бўлгани каби боғланган системада ҳам ҳар қайси фаза ёпиқ занжир бўлади. Бу занжирда ток, одатда, кучланиш ва қаршилик катталиклари билан аниқланади. Фаза кучланиши истеъмолчида манбадагига қараганда линия симларидаги кучланишнинг пасайиш қиймати қадар кам бўлади. Лекин

агар симларнинг қаршилигини ҳисобга олмаслик мумкин бўлса, у ҳолда истеъмолчидаги фаза кучланиши манбадаги каби, деб ҳисобланади.

Уч фазали занжирда фаза токи ва линия токи бўлади (таъсир этувчи қийматларининг умумий белгиланиши $I_ф$, $I_л$). Манба билан истеъмолчининг фазаларидаги токлар **фаза токлари**, дейилади. (5.5-расм, *а* да i_{AB}, i_{BC}, i_{CA}). Линия симларидаги токлар **линия токлари** дейилади (5.5-расм, *а* да i_A, i_B, i_C).

Уч фазали занжирда уни ташкил этувчи фазаларнинг актив ва реактив қаршиликлари бир хил бўлса, бундай занжир **симметрик занжир** дейилади. Симметрик уч фазали занжирда фаза кучланишлари системаси симметрик бўлса, токлар системаси ҳам симметрик бўлади: симметрик системанинг алоҳида токлари амплитудаси жиҳатдан ўзаро тенг ва фаза жиҳатдан бири-бирига нисбатан $2\pi/3$ бурчакка силжиган бўлади.

Электр энергиясининг симметрик истеъмолчиларига, масалан, уч фазали электр двигателлар киради, уларда юлдуз ёки учбурчак усулида уланган учта бир хил чулғамлар бўлади.

Истеъмолчини учбурчак усулида улаш. Истеъмолчи учбурчак усулида уланганда (5.5-расм, *а*) унинг учта фазаси ёпиқ контур ҳосил қилади. Истеъмолчи иккита фазасининг умумий нуқталари (битта фазанинг боши билан иккинчи фазанинг учи) манба фазаларининг боши билан линия симлари орқали боғланган. Шундай қилиб, манбанинг фазалари қандай схемада уланганлигидан қатъи назар, истеъмолчининг ҳар қайси фазаси линия кучланиши остида бўлади, бу кучланиш ушбу ҳолда истеъмолчининг фаза кучланиши ҳисобланади.

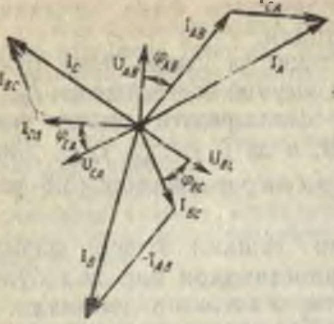
Истеъмолчида фаза кучланишлари таъсирида фаза токлари ҳосил бўлади, уларнинг мусбат йўналишлари 5.5-расм, *а* даги схемада манба фазаларидаги э.ю.к. нинг мусбат йўналишига мувофиқ кўрсатилган.

Истеъмолчининг A', B', C' нуқталари электр тугунлар ҳисобланади, шу сабабли Кирхгофнинг биринчи қонунига мувофиқ вектор тенгламаларни ёзиш мумкин: $I_A = I_{AB} - I_{CA}$; $I_B = I_{BC} - I_{AB}$; $I_C = I_{CA} - I_{BC}$. Бу тенгламаларга 5.6-расмдаги вектор диаграмма мувофиқ келади.

Симметрик уч фазали занжирда линия токларининг таъсир этувчи қийматларини истеъмолчи учбурчак усулида уланган-

да вектор диаграммадан график усулда ёки (5.3) формуладан аниқлаш мумкин; бу формула иккита фаза токи билан битта линия токининг векторларидан ҳосил бўлган учбурчакдан (5.1) формула каби олинган:

$$I_{\text{и}} = \sqrt{3}\ I_{\text{ф}}. \qquad (5.3)$$



5.6- расм

Истеъмолчини юлдуз усулида улаш. Истеъмолчининг фазаларини манба фазалари қандай схемада уланганлигидан қатъи назар, юлдуз усулида улаш мумкин (5.3- расм, *а*, *б*). Манба учбурчак усулида уланганда занжир уч симли, юлдуз усулида уланганда юлдуз занжири уч ва тўрт симли (ноль симли) бўлиши мумкин.

Истеъмолчи юлдуз усулида уланганда барча ҳолларда линиядан фазага ўтиш нуқталарида тармоқланиш бўлмайди, шу сабабли фаза ва линия токлари ҳар қайси фазада бир хил бўлади:

$$i_A = i'_A;\ i_B = i'_B;\ i_C = i'_C.$$

ёки умумий кўринишда:

$$I_{\text{л}} = I_{\text{ф}}. \qquad (5.4)$$

Тўрт симли занжирнинг нолинчи симидаги ток фазалардаги токларнинг вектор йиғиндисига тенг: $I_N = I_A + I_B + I_C$. Агар фаза токлари симметрик системани ташкил этса, у ҳолда уларнинг йиғиндиси нолга тенг ва нолинчи сим керак бўлмайди. Шу сабабли манба билан истеъмолчининг уланиш схемасидан қатъий назар симметрик уч фазали занжирлар уч симли қилинади.

Симметрик уч фазали занжирларни ҳисоблаш. Уч фазали занжирни ҳисоблаш масаласи истеъмолчи фазаларидаги, линия симларидаги токларни, шунингдек, агар линия кучланишлари, фазаларнинг қаршиликлари берилган бўлса, истеъмолчининг ҳар қайси фазасидаги ва умумий қувватни аниқлашдан иборат. Бунга тескари масала ҳам қўйилиши мумкин.

Симметрик занжирда истеъмолчи фазаларининг қаршиликлари бир хил бўлади ва унинг қисмаларида манба қандай схемада (юлдуз ёки учбурчак) уланганидан қатъи назар, линия кучланишларининг симметрик системаси таъсир этади. Шу сабабли ҳисоблаш схемасида манба (генератор ёки трансформатор) кўпинча кўрсатилмайди ва истеъмолчи уч фазали тармоққа уланган дейилади. Бундай занжир учун битта фазани ҳисоблашнинг ўзи етарлидир, чунки барча фазаларда токлар ва қувватларнинг қиймати бир хил бўлади.

Уч фазали занжирнинг ҳар қайси фазаси учун илгари бир фазали занжирлар учун олинган барча формулаларни, шу жумладан қуйидаги формулани ҳам татбиқ этиш мумкинлигини таъкидлаб ўтамиз:

$$Z_ф = \sqrt{R_ф^2 + X_ф^2}; \ \cos\varphi = R_ф \,|\, Z_ф; \ \sin\varphi = X_ф \,|\, Z_ф.$$

Тўғри масаланинг ечилиш тартиби 5.1-жадвалда ёзилган.

5.1- жадвал

Аниқланадиган катталиклар	Юлдуз усулида уланганда	Учбурчак усулида уланганда
Фаза кучланиши	$U_ф = U_л / \sqrt{3}$	$U_ф = U_л$
Фаза токи	$I_ф = U_ф / Z_ф$	$I_ф = U_ф / Z_ф$
Линия токи	$I_л = I_ф$	$I_л = \sqrt{3}\, U_ф$
Битта фазанинг қуввати:		
актив	$P = U_ф I_ф \cos\varphi$	
реактив	$Q = U_ф I_ф \sin\varphi$	
тўла	$S = U_ф I_ф$	
Уч фазали занжирнинг қуввати:		
актив	$P = 3U_ф I_ф \cos\varphi = \sqrt{3}\, U_л I_л \cos\varphi$ (5.5)	
реактив	$Q = 3U_ф I_ф \sin\varphi = \sqrt{3}\, U_л I_л \sin\varphi$ (5.6)	
тўла	$S = 3U_ф I_ф = \sqrt{3}\, U_л I_л$ (5.7)	

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Симметрик нагрузкада уч фазали занжирнинг барча фазаларидаги токлар қиймати жиҳатидан ўзаро тенг бўлиб, токларнинг симметрик системасини ҳосил қилади. Истеъмолчи учбурчак усулида уланганда уч фазали занжирда линия токлари юлдузи фаза токлари юлдузига нисбатан фаза жиҳатдан қандай бурчакка ва қайси томонга силжиган бўлади?

2. Тўрт симли симметрик занжирда нолинчи симдаги ток нолга тенглигини қандай исботлаш мумкин?

3. Юлдуз усулида уланганда нима учун истеъмолчининг фазаси-

даги токлар билан линиядаги токлар бир хил бўлади, учбурчак усулида уланганда эса улар қиймати ва фаза жиҳатдан бир-биридан фарқ қилади?

4. Истеъмолчи қандай схемада (юлдуз, учбурчак) уланганидан қатъи назар, симметрик уч фазали занжирнинг қуввати бир хил формулалар (5.1- жадвалга қ.) билан аниқланади. Истеъмолчилар юлдуз ва учбурчак усулида уланганда қувватларни аниқлаш формулалари нима учун бир хил бўлади?

5. Уч фазали электр двигателнинг чулғамларини юлдуз ёки учбурчак усулида улаш мумкин. Агар чулғамларни аввал юлдуз, кейин эса учбурчак усулида улаб, двигатель битта электр тармоққа уланса, унинг қуввати қандай ўзгаради?

5.3- масала. Бинонинг ёритиш қурилмасида номинал қуввати 60 Вт бўлган 150 та электр лампалар бор. Ҳар бирининг номинал кучланиши $U_{ном} = 220$ В. Лампалар линия кучланиши $U_л = 220$ В бўлган уч фазали тармоққа уланган ва симметрик нагрузкани ҳосил қилади. Фаза ва линия токларини, ҳар қайси фазадаги ва барча занжирдаги ёритиш нагрузкасининг қувватини аниқланг. $U_{ном} = 127$ В, тармоқлаги кучланиш эса $U_л = 220$ В деб ҳисоблаб, масалани ечинг.

5.4- масала. Уч фазали трансформаторга ҳар қайсисининг қуввати 40 Вт дан бўлган электр лампалар уланган; ҳар қайси фазада 100 тадан лампа бор ва электр двигателнинг номинал қуввати $P_{ном} = 10$ кВт, ф. и. к. $\eta = 85\%$, $\cos \varphi = 0{,}8$. Қуйидаги икки ҳолда линиядаги токларни аниқланг: а) электр истеъмолчилар юлдуз усулида уланган, трансформатор иккиламчи чулғамининг линия кучланиши $U_л = 380$ В; б) электр истеъмолчилар учбурчак усулида уланган, трансформаторнинг иккинчи чулғамидаги линия кучланиши $U_л = 220$ В.

5.3- §. УЧ ФАЗАЛИ НОСИММЕТРИК ЗАНЖИРЛАР

Уч фазали занжирларнинг носимметрияси, кўпинча, фазалардаги нагрузкаларнинг турлича эканлигидан келиб чиқади. Фазаларнинг қаршиликлари катталиги жиҳатдан ёки актив ва реактив элементларнинг таркиби жиҳатдан бир хил бўлмаслиги мумкин.

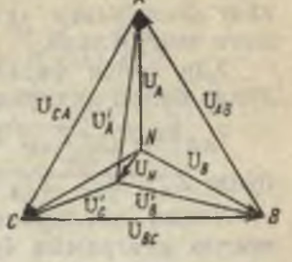
Бир фазали истемолчилар, масалан электр ёритиш лампалари носимметрияни вужудга келтиради. Агар лойиҳалаш вақтида ёритиш нагрузкаси фазалар бўйича тенг тақсимланса, у ҳолда ишлатилиш жараёнида нагрузка, одатда, лампалар бир вақтда уланмаслиги туфайли носимметрик бўлиб қолади.

Нормал режимда симметрик бўлган уч фазали занжир авария ҳолатларида (симлар узилганда, линияда ёки истеъмолчи фазаларида қисқа туташувлар бўлганда) носимметрик бўлиб қолади.

Манба билан истеъмолчини юлдуз усулида улаш. Дастлаб қаршилиги Z_N бўлган нолинчи сими бор тўрт симли схемани кўриб чиқамиз (5.3- расм, *a* га қ.).

Бунда баъзи соддалаштиришлар қиламиз: линия симларининг қаршиликларини нолга тенг деб ҳисоблай-

миз. Бундай соддалаштиришда манба ва истеъмолчининг линия қисмаларидаги (масалан, A, A' нуқталардаги) потенциалларни бир хил дейиш мумкин, бу топографик вектор диаграммада шу нуқталарнинг устма-уст тушишида кўринади (5.7-расм).



5.7- расм

Шу билан бирга манба билан истеъмолчининг нолинчи нуқталари устма-уст тушмайди, чунки нолинчи симда ток I_N ва кучланиш пасайиши $U_N = I_N Z_N$ бўлади, бу пасайиш **нейтралнинг силжиш кучланиши** дейилади.

Манба фаза кучланишларининг U_A, U_B, U_C симметриясига қарамай, нейтрал силжиганлиги учун истеъмолчи фазаларидаги кучланишлар U'_A, U'_B, U'_C бир хил бўлмайди.

Истеъмолчи фаза кучланишларининг системаси $U_N = 0$ да симметрик бўлади, бу эса икки хусусий ҳолда: $I_N = 0$ бўладиган симметрик нагрузкада (5.2-§ га қ.) ва нолинчи симнинг қаршилиги нолга тенг ($Z_N = 0$) бўлгандаги тўрт симли системада бўлиши мумкин.

Нолинчи сим манба ва истеъмолчининг нейтрал нуқталаридаги потенциалларни тенглаштиради, шу сабабли истеъмолчи фаза кучланишлари векторларининг юлдузи манба фаза кучланишлари векторларининг юлдузига мос келади.

Тўрт симли схема кучланиши 380/220 В бўлган, куч (электр двигателлар) ва ёритиш (электр лампалар) нагрузкасининг умумий манбаидан электр билан таъминланадиган электр тармоқларида қўлланилади.

Носимметрик нагрузкада нолинчи симнинг узилиши ($Z_N = \infty$) истеъмолчида токлар ва фаза кучланишларининг анча ўзгаришига олиб келади, бунга кўпчилик ҳолларда йўл қўйиб бўлмайди.

Истеъмолчини учбурчак усулида улаш. Истеъмолчини учбурчак усулида улашда манбанинг схемасидан қатъи назар, линия уч симли қилинади.

Линия кучланишлари системаси, одатда, симметрик бўлади ва истеъмолчининг ҳар қайси фазаси тегишли линия кучланиши (шунинг ўзи фаза кучланиши) остида бўлади; агар линия симларининг қаршилиги кичик ва

уни эътиборга олмаслик мумкин бўлса, истеъмолчининг фазасидаги кучланиш манбанинг линия кучланишига тенг бўлади.

Ҳар қайси фазадаги ток қуйидаги маълум формулалар билан аниқланади:

$$I_{AB} = U_{AB} / Z_{AB};\ I_{BC} = U_{BC} / Z_{BC};\ I_{CA} = U_{CA} / Z_{CA},$$

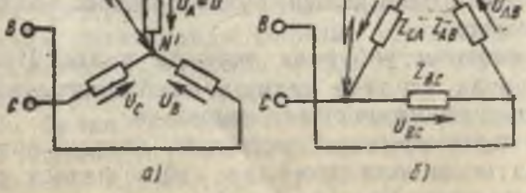
бунда Z_{AB}, Z_{BC}, Z_{CA} — фазаларнинг тўла қаршиликлари.

Линия токларини 5.6-расмда кўрсатилгани каби вектор диаграмма ёрдамида аниқлаш мумкин. Носимметрик нагрузкада фаза ва линия токлари системаси носимметрик бўлади. Лекин истеъмолчи фазаларида нагрузканинг ўзгариши кучланишлар симметриясини нолинчи симли юлдуз усулида улангандаги каби бузмайди.

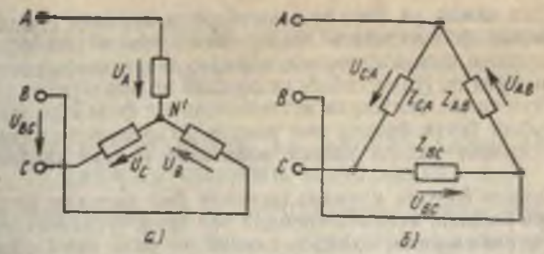
Уч фазали занжирларда авария режимлари. Симлар узилганда, линияда ёки истеъмолчи фазаларида қисқа туташувлар бўлганда уч фазали занжирда авария режими вужудга келади.

Электр тармоқларида бундай ҳолатлар нисбатан кам содир бўлишига ва ишончли муҳофаза борлигига қарамай, авария ҳолатлари ҳар ҳолда бўлиб туради. Улар аввало шунинг учун ҳам номақбулки, булар оқибатида электр таъминоти вақтинчалик тўхтаб қолади, муҳофазанинг таъсири эса, кўпинча, авария бўлган жойни узиб қўйишга қаратилган бўлади.

Уч симли схемада истеъмолчи юлдуз усулида уланганда битта фазада симнинг (линия сими ёки фаза симининг) узилиши шу фазада кучланиш ва токнинг мутлақо бўлмаслигига олиб келади. Истеъмолчининг бошқа иккита фазаси линия кучланишига кетма-кет уланган бўлиб қолади. Масалан, A фазада сим узилганда (5.8-расм, *а*) B ва C фазалар



5.8- расм



5.9- расм

кетма- кет уланган. Агар уларнинг қаршиликлари бир хил бўлса, у ҳолда кучланиш улар орасида тенг тақсимланади: $U_B = U_C = U_{BC}/2$. Нолинчи сим бўлганида битта фазадаги узилиш бошқа икки фазадаги режимни бузмайди.

Истеъмолчи учбурчак усулида уланганда A фазада (5.8- расм, *б*) линия симининг узилиши схемани шундай ўзгартиради, иккита Z_{AB}, Z_{CA} фазалар линия кучланиши U_{BC} га кетма- кет уланган бўлиб қолади. Шу билан бирга учинчи фаза Z_{BC} нормал кучланиш остида бўлади. Фазада битта симнинг узилиши оқибатида шу фазадаги истеъмолчида куч- ланиш ва ток бўлмайди; шу билан бир вақтда иккита бошқа фаза нормал кучланиш остида бўлади.

Истеъмолчи юлдуз усулида уланганда (5.9- расм, *а*) фазадаги қисқа туташув шу фазадаги кучланишнинг нолга қадар камайишига ва бошқа икки фазада линия кучланишига қадар кўпайишига олиб келади. Масалан, қисқа туташувли фаза A да фаза кучланиши $U_A = 0$, бошқа фазаларда эса $U_B = U_{AB}$; $U_C = U_{CA}$. Истеъмолчи учбурчак усулда уланганда ва фазада қисқа туташув бўлганида (5.9- расм, *б*) шу фазанинг кучланиши нолга қадар камаяди; иккита бошқа фазалар параллел уланган бўлиб қолади, лекин линия кучланиши остида бўлади.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Кўпчилик саноат корхоналарида аралаш нагрузкали (куч ва ёритиш) электр таъминоти учун мўлжалланган электр тармоқлари 380/220 В кучланишда тўрт симли (нолинчи сими бор) қилиб бажарилади. Бу ҳолни қандай изоҳлаш мумкин?

2. Паст кучланишли тармоқларда қисқа туташувлардан ва нагрузка анча ортиб кетишидан муҳофаза қилиш учун ҳимоя қурилмалари (масалан, суюқланувчан сақлагичлар) ишлатилади. Ҳимоя қурилмалари нима учун нолинчи симга ўрнатилмайди?

3. Тўрт симли уч фазали тармоқларда нолинчи симдаги ток истеъмолчининг фазаларидаги токлар йиғиндисига тенг бўлишига қарамай, нолинчи симнинг кесими, одатда, линия симларининг кесимидан кичик бўлади. Нима сабабдан шундай қилиш мумкин?

4. Тўрт симли занжирда истеъмолчининг фазалари юлдуз усулида уланганда битта фазада сим узилди. Агар вольтметр қисмаларига узилган симнинг учлари уланса, вольтметр қандай кучланишни кўрсатади?

5. Баъзан ёритиш қурилмаларининг бир қисмида электр ёритиш лампалари нормал, иккинчи қисмида эса ярим чўғланиш билан ёнади. Ёритиш қурилмасининг схемаси қандай ва унда нима содир бўлган?

5.5- масала. Линия кучланиши 380 В бўлган уч фазали тўрт симли тармоққа олтита бир хил электр лампа ($P_{ном} = 100$ Вт, $U_{ном} = 220$ В, фазада иккитадан) уланган. Лампаларнинг ҳаммаси уланганда (нагрузка симметрик), шунингдек, қуйидаги икки ҳолда носимметрик нагрузкада симлардаги (линия симлари ва нолинчи симдаги) токларни аниқланг: а) ҳар қайси фазадан навбатма-навбат иккитадан лампа ўчирилади; б) ҳар қайси фазадан биттадан лампа ўчирилади.

5.6- масала. Лампалар ($P_{ном} = 100$ Вт, $U_{ном} = 220$ В) линия кучланиши 220 В бўлган ҳар қайси фазада иккитадан уч фазали уч симли тармоққа уланади. Лампалар бир вақтда улангандаги (симметрик нагрузка), шунингдек, икки ҳолда носимметрик нагрузкадаги фаза токлари билан линия токларини аниқланг: а) ҳар қайси фазадан биттадан лампа узилади; б) ҳар қайси фазадан иккитадан лампа узилади?

6- БОБ

ЭЛЕКТР ЎЛЧАШЛАР

Электр қурилмаларни узлуксиз назорат қилмай туриб уларнинг нормал ишлашини таъминлаб бўлмайди. Лекин ташқи томонидан қараб чиқиш асосида фақат баъзи ҳоллардагина уларнинг ишлаш сифати, белгиланган режимдан четга чиққанлиги ҳақида фикр юритиш мумкин. Кўпчилик ҳолларда бутун қурилманинг ёки унинг элементларининг ҳолати ва иш режимини кўрсатадиган катталикларни вақт-вақти билан ёки узлуксиз ўлчаб туриш зарур бўлади.

Бунинг учун турли хил электр ўлчов асбоблари қўлланилади, улар ёрдамида ток, кучланиш, қувват, энергия сарфи, электр қаршилиги ва бошқа катталиклар ўлчанади.

Кўпчилик ноэлектрик катталикларни: босим, температура, суюқлик ва газлар сарфи, қаттиқ жисмларнинг деформацияси ва ҳ. Катталикларни ўлчаш учун ҳам электр ўлчов асбоблари ва усуллари қўлланилади. Электр ўлчашлар хизмат қилаётган кишиларга ўлчов ахбороти манбаи бўлиш билан бирга бошқа муҳим аҳамияти ҳам бор. Улар автоматикада ҳам муҳим аҳамиятга эга, чунки бирор объектнинг ҳолати ёки режи-

ми ўзгарганлиги ҳақидаги сигналлар автоматик ростлаш ва бошқариш қурилмаларига юборилиши мумкин.

6.1-§. ЭЛЕКТР ЎЛЧАШЛАР ВА ЭЛЕКТР АСБОБЛАРИ ҲАҚИДА УМУМИЙ МАЪЛУМОТ

Электр ўлчашлар метрологиянинг — ўлчашлар, уларнинг бирлигини таъминлаш усуллари ва воситалари ҳамда талаб қилинадиган аниқликка эришиш усуллари ҳақидаги фаннинг бир қисмидир. Шунинг учун электр ўлчашларни ўрганишни ўлчашларнинг барча турларига тааллуқли баъзи масалаларни кўриб чиқишдан бошлаймиз.

Ўлчашлар ҳақида маълумотлар. Ўлчашларнинг барча ҳолларида тажриба йўли билан бирор физик катталик аниқланади. Физик катталик — бу кўпчилик физик объектларга ёки физик системаларга, уларнинг ҳолатига ёки уларда содир бўладиган жараёнларга сифат жиҳатдан умумий тегишли бўлган хоссадир. Электр токи, магнит индукцияси, масса, вақт, куч, юза ва бошқалар физик катталикларга мисол бўла олади.

Миқдор жиҳатдан физик катталиклар, одатда, турли объектлар учун бир хил бўлмайди, битта объект учун турли вақтда турлича бўлиши мумкин. Шу сабабли улар умумтомондан қабул қилинган бирликларни татбиқ этиб ўлчаб турилади. Мамлакатимизда 1963 йил 1 январдан бошлаб бирликларнинг Халқаро системаси (СИ) жорий қилинган.

Ўлчанаётган физик катталикни бирлик учун қабул қилинган худди шу турдаги катталик билан таққослаш иши ўлчаш дейилади. Ўлчашни тегишли техник воситаларсиз бажариб бўлмайди. Ўлчаш воситаларига жумладан ўлчовлар, ўлчов асбоблари, ўлчов ўзгартгичлари киради.

Ўлчовлар — берилган ўлчамдаги физик катталикни тасвирлаш учун мўлжалланган ўлчаш воситаларидир. Ўлчовлар бир маъноли, кўп маъноли, ўлчовлар тўплами, вазифасига кўра эса — иш ўлчовлари ва намунавий ўлчовлар бўлади. *Бир маъноли* ўлчов битта ўлчамдаги физик катталикни (қадоқтош, нормал элемент — э.ю.к. ўлчови, ўзгармас сиғимли конденсатор ва б.) кўрсатади. *Кўп маъноли* ўлчов турли ўлчамдаги бир хил катталикларни (бўлинмалари бор чизғич, ўзгарувчан сиғимли конденсатор ва б.) кўрсатади.

Ўлчовлар тўплами — алоҳида-алоҳида ёки турли хилда аралаштириб ишлатиладиган, махсус танланган ўлчовлар комплекти (қадоқтошлар тўплами, қаршиликлар магазини ва б.).

Иш ўлчовлари кундалик амалиётда иш ўлчашларини бажариш учун қўлланилади: *намунавий* ўлчовлар иш ўлчовларини ва ўлчов асбобларини текшириш учун қўлланилади.

Ўлчов асбоблари — ўлчов ахбороти сигналини кузатувчи бевосита қабул қила оладиган шаклда бериш учун ишлатиладиган ўлчов воситаларидир.

Амалиётда бевосита баҳолайдиган ўлчов асбоблари билан таққослаш асбоблари ишлатилади. Бевосита баҳолаш асбобларида ўлчанадиган катталик бирликларида олдиндан даражаланган шкала бўлади (соат, амперметр, вольтметр ва б.). Таққослаш асбоблари ўлчанадиган катталикни ўлчов билан таққослаш учун мўлжалланган (шайинли тарози, ўлчаш кўприги, потенциометр ва б.).

Бевосита ва билвосита ўлчашлар фарқ қилинади. Бевосита ўлчашлар бевосита тажрибанинг ўзидан натижа (ўлчанадиган катталик) беради. Мисол тариқасида тарозида массани ўлчаш, термометр билан температурани, омметр билан электр қаршиликни ўлчашни айтиш мумкин.

Билвосита ўлчашлар бевосита ўлчанадиган катталикни бермайди. Бу катталик ҳисоблаш йўли билан топилади, бунда изланаётган катталик билан маълум боғланиш орқали боғланган ёрдамчи катталикларни бевосита ўлчаш натижаларидан фойдаланилади. Масалан, ўзгармас ток электр занжиридаги қувватни амперметр билан вольтметрнинг кўрсатишлари бўйича топиш мумкин ($P=UI$).

Ўлчаш хатоликлари. Кўп сабабларга кўра ўлчаш натижалари доимо ўлчанадиган катталикдан маълум даражада фарқ қилади. Шу сабабли ўлчанадиган катталик A ни аниқ топиш учун ўлчаш натижаси $A_ў$ га т у з а т м а дейиладиган катталик δA ни қўшиш керак: $A = A_ў + \delta A$.

Ўлчаш натижаси билан ўлчанадиган катталикнинг ўзи орасидаги фарқ а б с о л ю т (мутлоқ) х а т о л и к дейилади $\Delta A = A_ў - A$.

Тузатма билан абсолют хатолик катталиги жиҳатдан тенг, лекин ишораси жиҳатдан қарама-қарши бўлади. Ўлчаш аниқ-

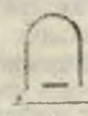
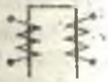
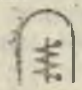
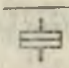
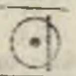
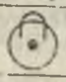
лигини баҳолаш учун нисбий хатолик — абсолют хатоликнинг ўлчанадиган катталикка нисбати аниқланади: $\nu\% = 100\Delta A/A$.

Стрелкали электр ўлчов асбобларининг шкаласида бошдан- оёқ ўртача абсолют хатоликка яқин катталик ΔA бўлади, шу сабабли нисбий хатолик шкаланинг бошланишида охиридагига қараганда анча катта бўлади. Асбобларнинг аниқлигини баҳолаш учун нисбий келтирилган хатолик — абсолют хатоликнинг асбобнинг шкаласи бўйлаб ўлчашнинг энг юқори чегарасига нисбати аниқланади: $\nu_{r}\% = 100\Delta A/A$

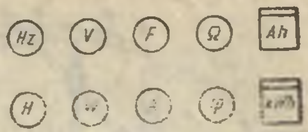
6.1- жадвал

Классификациялаш белгиси	Асбобларнинг типи
Ўлчанадиган катталикни ҳисоблаш усулига қараб	Асбоблар: бевосита баҳолайдиган, таққослаш асбоблари
Ўлчанадиган катталикнинг турига қараб	Асбоблар: амперметр, вольтметр, ваттметр, киловатт- соат счётчиги; ампер- соатлар счётчиги; фазометр; частотомер; омметр; генриметр; фарадометр
Токнинг турига қараб	Асбоблар: ўзгармас ток абоблари; ўзгарувчан ток асбоблари; ўзгармас ва ўзгарувчан ток асбоблари
Ишлаш принципига қараб	Асбоблар системасини 6.2- жадвалдан қ.
Аниқлик даражасига қараб	Аниқлик синфлари (бевосита баҳолаш асбоблари учун): 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4
Ташқи майдонлардан муҳофазаланганлигига қараб	Категориялар: I; II
Ишлатилиш шароитига қараб	Турли шароитларда ишлатиладиган асбоблар гуруҳлари А — иситиладиган қуруқ биноларда; Б — иситилмайдиган берк биноларда; В — дала ва денгиз шароитида; Г — тропик иқлим шароитида
Механик таъсирларга чидамлилигига қараб	Асбоблар: одатдаги; силкитишга бардошли; титрашга чидамли; зарбга чидамли; силкитишга барқарор; титратишга барқарор
Ишлатилиш хусусиятига қараб	Асбоблар: стационар, кўчма
Ғилофлар билан муҳофазаланганлигига қараб	Ғилофлар: чанг ўтказмайдиган, сув сингмайдиган, герметик
Габарит ўлчамларига қараб	Асбоблар: ихчам (50 мм гача), кичик габаритли (50 дан 100 мм гача); ўртача (100 дан 200 мм гача); катта (200 мм дан катта)

6.2- жадвал

Асбоблар системалари		Шартли белгилари: асосий механизм	Шартли белгилари: логометр
Магнитоэлектрик	Сурилувчи рамкали		
	Сурилувчи магнитли		
Электромагнитли	Қутбланмаган		
	Қутбланган		
Электродинамик	Электродинамик		
	Ферродинамик		
Индукцион	Индукцион		
	Магнитоиндукцион		
Иссиқликда ишлайдиган	Қиздириладиган симли		
	Биметалл		
Электростатик			
Тебранма			

Ана шу катталикка қараб асбобларнинг аниқлик синфи (6.1- жадвал) белгиланади, у рухсат этиладиган энг катта келтирилган хатоликни билдиради ва асбобнинг шкаласида кўрсатилган бўлади.



6.1- расм

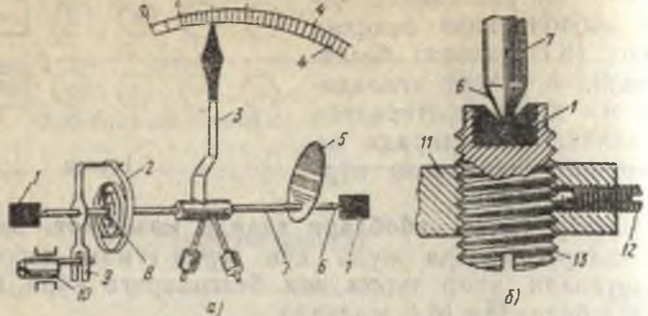
Электр ўлчов асбоблари ҳақида маълумот. Электр ўлчашлар амалида жуда кўп турли-туман асбоблар ишлатилади, улар турли хил белгиларига кўра классларга бўлинади (6.1- жадвал).

Электр схемаларда электр ўлчов асбобларини тасвирлаш учун шартли белгилашлар қўлланилади, улар ўлчанадиган катталикнинг турига (6.1- расм) ва асбобнинг ишлаш принципига қараб (6.2-жадвал) асбобларни бир-биридан фарқ қилишга имкон беради. Бу белгилар асбобларнинг ўзида шу асбобни тавсифлайдиган бошқа маълумотлар билан бирга жойлаштирилади. Бундай тавсифлар жумласига қуйидагилар киради: ўлчанадиган катталик бирлиги, аниқлик синфи, ток тури, изоляциянинг синов кучланиши, асбобнинг иш ҳолати (горизонтал, вертикал, бурчак остида), асбобни тайёрловчи корхонанинг товар белгиси, тартиб номери ва б.

Электр ўлчов асбобларининг умумий узел ва деталлари. Классификациялаш белгилари (6.1- жадвалга қ.) электр ўлчов асбоблари конструкциясининг ниҳоятда турли-туман эканлигидан далолат беради. Шу билан бирга вазифаси ва тузилиши жиҳатидан ўхшаш бўлган узел ва деталлар ҳам бор. Уларга қуйидагилар киради: қўзғалувчан қисмларни ўрнатиш деталлари (таянчлар, пружиналар, тортиб туртгичлар, илмоқлар ва б.) ҳисоблаш мосламалари, тинчлантиргичлар, тузатгичлар.

Мисол тариқасида 6.2- расм, *а* да магнитоэлектрик асбобнинг қўзғалувчан қисми кўрсатилган (6.2- § га қ.). Асбобга ўлчанадиган катталик берилганда вужудга келадиган айлантирувчи момент $M_{айл}$ таъсирида қўзғалувчан қисм бурилади ва стрелка нолинчи нуқтадан силжийди.

Агар бурилишга қарши таъсир бўлмаса $M_{айл}$ нинг ҳар қандай қийматида стрелка *3* шкала *4* нинг чегарасидан чиқиб кетади. Пружина *2* (одатда улар иккита бўлади) қарши



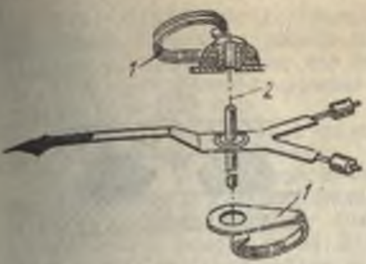
6.2- расм

таъсир этувчи момент $M_{қар}$ ҳосил қилади, пружинанинг бир учи *8* асбобнинг ўқига, иккинчи учи эса қўзғалмас қисмига маҳкамланган бўлади. Стрелка кўрсатишлар катталашадиган томонга оғганида пружиналар буралади. $M_{қар}$ оғиш бурчаги α га мутаносиб равишда ортади: $M_{қар} = k_{қар}\ \alpha$, бунда $k_{қар}$— мутаносиблик коэффициенти. Магнитоэлектрик система асбобидаги каби (6.2- § га қ.) айлантирувчи момент ўлчанадиган токка (ғалтакдаги ток $I_{ғ}$ га) мутаносиб, деб фараз қиламиз: $M_{айл} = k_{айл}\ I_{ғ}$. Асбобнинг қўзғалувчан қисми тўхтайди ва стрелка моментлар тенг $M_{айл} = M_{қар}$, яъни $k_{айл}\ I_{ғ} = k_{қар}\ \alpha$ бўлгандаги ўлчанаётган катталикни кўрсатади. Бундан стрелканинг оғиш бурчаги ўлчанадиган катталикка боғлиқ (ушбу ҳолда мутаносиб), деган хулоса келиб чиқади:

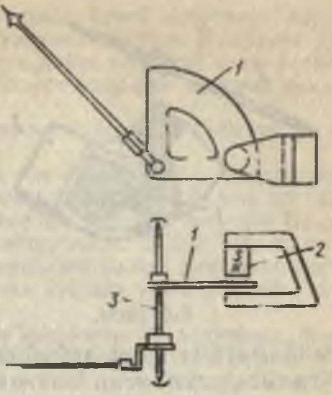
$$\alpha = \frac{k_{айл}}{k_{қар}} I_k = SI_k. \qquad (6.1)$$

S катталик асбобнинг **сезгирлиги**, унга тескари катталик C эса асбоб **доимийси** дейилади: $C = 1/S$; $I = C\alpha$. Пружина *2* нинг бошланғич буралишини коррек- тор (винт *10* ва тизгин *9*) ёрдамида бир оз ўзгартириш мумкин. Бу ҳол стрелканинг ҳолатини тўғрилаш, яъни асбобнинг ўлчов занжири очиқлигида стрелка бирор сабабга кўра нолдан силжиган бўлса, уни нолинчи нуқтага ўрнатиш учун назарда тутилган. Агар ўлчов занжирига асбобнинг қўзғалувчан қисмига жойлашган элемент кирадиган бўлса, у ҳолда пружина *2* унга электр токи келтириш учун фойдаланилади.

Таянч (6.2- расм, *а*, *б*) ушбу ҳолда ўқ *7* ва подшипник *1* дан таркиб топган. Ўқ — енгил алюминий найча



6.3- расм.



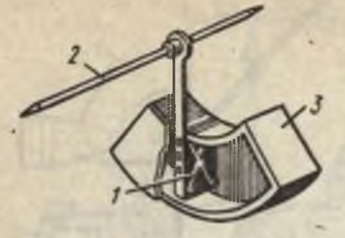
6.4- расм.

бўлиб, учларида пўлат учликлари *6* бор, найчага алюминий пластина *5* ўрнатилган. Учликлар қаттиқ материалдан (агат, корунд, пўлат ва б.) ясалган подшипниклар *1* га таянади. Таянч бошқа деталларининг (тиргак *11*, подшипник винти *13*, маҳкамлаш винти *12*) вазифасини тушунтириб ўтиришнинг ҳожати йўқ.

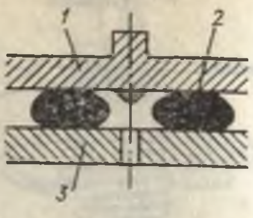
Таянчлардаги ишқаланиш асбобнинг сезгирлигини камайтиради ва ўлчаш хатоликларини келтириб чиқаради. Шу сабабли ҳозирги асбобларда қўзғалувчан қисми, кўпинча тортқиларга ўрнатилади (6.3- расм); тортқилар эластик металл лента ёки симлар *2* дан иборат бўлиб, бир учи қўзғалувчан қисмга, иккинчи учи таранглик ҳосил қилувчи пружиналар *1* га маҳкамланади. Тортқилар пружина *2* бажарадиган функцияни бажаради (6.2-расм, *а* га қ.). Тортқиларга ўрнатилганда ишқаланиш амалда бўлмайди ва шу билан бирга силкиниш ва тебранишга барқарорлиги ортади.

Айниқса сезгир ва аниқ асбобларда (масалан, кўзгули гальванометрларда) қўзғалувчан қисмни бир учи маҳкамланган ингичка эластик симга эркин осилтириб қўйиш усули қўлланилади. Бундай асбоблар қатъий вертикал ҳолда (ватерпас ёрдамида) ўрнатилади, уларда стрелка ўрнига ёруғлик кўрсаткич бўлади. Қўзғалувчан қисмга айлантирувчи ва қарши таъсир этувчи моментлар таъсир этганда стрелка керакли белгида дарҳол тўхтамайди, балки унинг атрофида тебраниб туриб, ўлчашни қийинлаштиради. Ҳисоблаш вақтини қисқартириш мақсадида тинчлантиргичлардан фойдаланилади.

Магнитоиндукцион тинчлантиргичга (6.4- расм) до-



6.5- расм.



6.6- расм.

имий магнит *2* ва асбобнинг қўзғалувчан қисмидаги ўқ *3* га маҳкамланган алюминий пластинка *1* киради (6.2-расм, *a* га қ.). Пластинка доимий магнит майдонда бўлади, шу сабабли ҳаракатланганда унда уюрма токлар индукцияланади. Ленц қоидасига кўра ўша магнит майдоннинг уюрма токлар билан ўзаро таъсир этиши натижасида ҳаракатланишга қарши таъсир этувчи кучлар вужудга келади.

Ҳаволи тинчлантиргичнинг (6.5- расм) ишлаши учун қўзғалувчан қисмдаги ўқ *2* га ёпиқ камера *3* да ҳаракатланадиган енгил алюминий паррак *1* маҳкамланган. Паррак четкалари билан камера деворлари орасидаги тирқиш жуда кичкина, шу сабабли паррак ҳаракатланганда камеранинг бир қисмида ҳавонинг босими ортади, бошқа қисмида эса камаяди ва шу йўл билан тормозлаш кучи вужудга келади.

Суюқликли тинчлантиргичлардан бирининг ишлаши 6.6- расмда тушунтирилган, бунда иккита металл диск кўрсатилган, дисклар орасидаги 0,1 мм атрофидаги тирқишда қовушоқ суюқлик *2* бўлади, у ҳар қандай ҳолатда ҳам тўкилмайди. Диск *1* асбобнинг қўзғалувчан қисмига, диск *3* эса қўзғалмас қисмига маҳкамланади. Дискларнинг бир-бирига қараб ҳаракатланишига суюқликнинг дисклар билан илашиш кучлари қаршилик қилади.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Бирликларнинг Халқаро системаси (СИ) да асосий ва ҳосила ўлчов бирликлари бўлади. Қандай бирликлар асосий ҳисобланади? Улар ҳосила бирликлардан нимаси билан фарқ қилади?
2. Дўконларда маҳсулотларни тортишда шкалали (1 кг гача) ва тошлар қўйиладиган токчали (9 кг гача) тарозилар ишлатилади. Бундай тарозиларни ўлчов асбобларининг қайси турига (бевосита баҳолайдиган ёки таққослайдиган) киритиш керак?

3. 6.1- жадвалнинг 2- пунктида электр ўлчов асбоблари бирма-бир айтиб ўтилган, 6.1- расмда эса уларнинг шартли белгилари кўрсатилган. Бу асбобларнинг ҳар бирига қайси белгилар тааллуқли?

4. Тузатма билан ўлчашнинг абсолют хатолиги орасида қандай ўхшашлик ва фарқ бор?

5. Электр ўлчов асбоби шкаласининг бўлинмаси қиймати деганда нима тушунилади?

6.1- масала. Амперметрда номинал ток $I_{ном} = 10$ А, аниқлик синфи 2,5. Қиймати 5 А бўлган токни ўлчашдаги мумкин бўлган энг катта нисбий хатоликни аниқланг. Шкаласининг юқориги чегараси $U_{ном} = 100$ В бўлиб, намуна асбоб 20 В кўрсатганда 21,2 В кўрсатадиган вольтметрнинг аниқлик синфини ва ўлчашдаги нисбий хатоликни аниқланг. Вольтметр текширилганда берилган нуқтада унинг абсолют хатолиги энг катта бўлиши аниқланган.

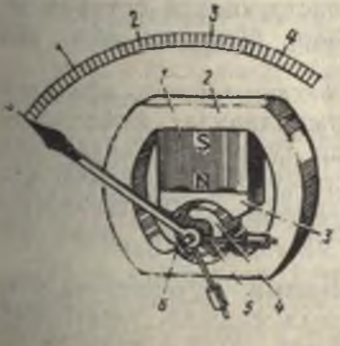
6.2- масала. $P = 1200$ Вт қувватни амперметр ва вольтметр билан ўлчашда асбоблар $I = 12$ А, $U = 102$ В ни кўрсатди, резисторнинг $R = 120$ Ом қаршилигини ўлчашда эса $I = 0{,}5$ А, $U = 61$ В кўрсатди. Иккала ҳолда ҳам ўлчашнинг абсолют ва нисбий хатолигини аниқланг.

6.2- §. ТОК ВА КУЧЛАНИШНИ ЎЛЧАШ

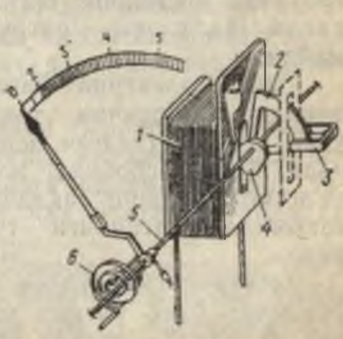
Кундалик амалиётда электр токи ва кучланишларни техник ўлчаш учун кўпинча магнитоэлектрик ва электромагнит системаларнинг стрелкали асбоблари ишлатилади.

Магнитоэлектрик ўлчов механизми. Магнитоэлектрик ўлчов механизмининг ишлаши доимий магнит майдон билан электр токининг ўзаро таъсирига асосланган (3.5- § га қ.). Конструктив схемалардан бири 6.7- расмда кўрсатилган.

Асбобнинг магнит занжири кучли доимий магнит *1*, ярмо *2*, қутбли учликлар *3*, ўзак *4* дан ташкил топган. Қутбли учлик билан ўзак орасидаги ҳаво тирқишлари-



6.7- расм.



6.8- расм.

да бир меъёрдаги радиал магнит майдон вужудга келади. Бунга қутбли учликларни тегишли равишда ўрнатиш ва яхшилаб ишлов бериш орқали эришилади. Ўқ 6 билан ўзак теварагида 90° бурчак атрофида ғалтак 5, яъни рамка кўринишидаги енгил алюминий каркасга ўралган изоляцияланган мис симдан иборат чулғам бурилиши мумкин.

Агар ғалтакда ток $I_г$ бўлса, у ҳолда унинг узунлиги l бўлган ҳар қайси ўтказгичига магнит майдон томонидан электромагнит куч $F_м = BI_гl$ таъсир этади [(3.24) формулага қ.].

Рамканинг ўқига нисбатан айлантирувчи момент $M_{айл} = NSBI_г$ вужудга келади, бунда N — чулғамдаги ўрамлар сони; S — рамканинг юзаси; B — магнит индукцияси — булар шу асбоб учун ўзгармас катталиклардир. Шу сабабли $M_{айл} = K_{айл} \cdot I_г$. Пружиналар қарши таъсир этувчи момент $M_{қар} = K_{қар}\alpha$ ҳосил қилади (6.1- § га қ.).

Магнитоэлектрик системадаги асбобларнинг сезгирлиги юқори, улар кам энергия истеъмол қилади, кўрсатишлари ташқи магнит майдонга кам боғлиқ бўлади. Бундай афзалликлари бўлишига сабаб шуки, доимий магнит кучли магнит майдон вужудга келтиради, магнит ўтказгич эса бир вақтнинг ўзида магнит экрани ҳисобланади; механизмнинг қўзғалувчан қисми жуда енгил.

Шу билан бирга айлантирувчи моментнинг йўналиши ғалтакдаги токнинг йўналишига боғлиқ, бу деган сўз, магнитоэлектрик асбоблардан фақат ўзгармас ток занжирларидагина фойдаланиш мумкин, демакдир. Қўзғалувчан қисмининг енгил конструкцияси ортиқча механик ва электр нагрузкалар бўлишига йўл қўймайди.

Магнитоэлектрик ўлчаш механизмининг афзалликларидан ўзгарувчан ток занжирларида фойдаланиш учун у яримўтказгич вентилли тўғрилагич билан уланади. Бунда асбобнинг жуда сезгирлиги, энергияни кам истеъмол қилиши сақланиб қолади, лекин тўғрилагич такомиллашмаганлиги туфайли аниқлиги анча камаяди.

Электромагнит ўлчов механизми. Қўзғалувчан ферромагнит ўзак магнит майдонда силжиб, электромагнит қурилмада магнит оқими энг катта бўладиган ҳолатга ўтади.

Электромагнит ўлчов механизмининг ишлаши ана шунга асосланган, бу механизмнинг конструктив схемаларидан бири 6.8- расмда кўрсатилган.

Қўзғалмас ғалтак *1* даги ток $I_г$ магнит майдон ҳосил қилади, магнит-юмшоқ ферромагнетикдан гулбарг шаклида ясалган, ўқ *5* га эксцентрик ўрнатилган қўзғалувчан ўзак *4* шу магнит майдон таъсирида ғалтак ичидаги тор тирқишга тортилади. Ўқ бурилади ва ўзига маҳкамланган стрелкани ҳам буради.

Масала янада батафсил кўриб чиқилса, ушбу ҳолда айлантирувчи момент ғалтакдаги токнинг квадратига мутаносиб $M_{айл} = k_{2айл} I_г^2$ пружина *6* нинг қарши таъсир этувчи моменти эса $M_{қар} = K_{2қар}\alpha$ эканлигини (6.1- § га қ.) исботлаш мумкин.

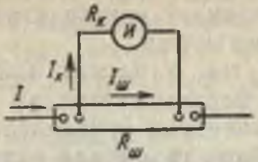
Электромагнит система асбобларида айлантирувчи моментнинг йўналиши токнинг йўналишига боғлиқ бўлмайди, чунки токнинг ишораси қандай бўлганда ҳам момент мусбат бўлади. Бундан электромагнит асбобларни ўзгармас ва ўзгарувчан ток занжирларида ўлчаш учун тайёрлаш мумкин, деган хулоса келиб чиқади.

Лекин ўзгарувчан ток занжирида ўлчанадиган катталик бир хил бўлгани ҳолда элетромагнит асбоб ҳар хил кўрсатиши (2% гача фарқи билан) мумкин, бу магнит гистерезисининг таъсири билан боғлиқ.

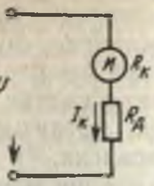
Ўзгарувчан токда электромагнит асбобларнинг аниқлигига гистерезисдан ва ўзаклардаги уюрма токлардан бўладиган исрофлар салбий таъсир кўрсатади. Электромагнит системанинг камчиликлари қаторига асбобларнинг кўрсатишига ташқи магнит майдонларнинг анчагина таъсир этишини, энергияни нисбатан кўп истеъмол қилишини, шкаланинг бир меъёрда эмаслигини киритиш мумкин.

Айтиб ўтилган камчиликлари борлигига қарамай, электромагнит асбоблар тузилиши жиҳатдан оддий, арзон, нагрузкалар ортиб кетишига чидамли бўлиб, ўзгарувчан ток занжирларида техник шчитли асбобларда кенг кўламда ишлатилади.

Ток ва кучланишни ўлчаш. Ўлчанадиган катталик ток I деб фараз қилайлик. Бу ток ёки унинг бирор қисми ўлчаш механизмининг галтагига йўналади (ток $I_г$). Магнитоэлектрик асбоб стрелкаси оғиш бурчагининг ғалтакдаги ток қийматига боғлиқлиги илгари кўрилган эди [(6.1) формулага қ.]. Катта



6.9- расм.



6.10- расм.

токларни ўлчашда ўлчанадиган ток занжирига шунт — кичик, лекин ўзгармас қаршилик $R_ш$ ли резистор уланади, унга параллел равишда ўлчаш механизмининг ғалтаги уланган бўлади (6.9- расм).

Бу ҳолда ўлчаш механизмининг қўзғалувчан қисми ғалтакдаги ток қиймати $I_ғ$ га мувофиқ равишда оғади, лекин асбобнинг ўлчанадиган токка даражаланган шкаласида стрелка ўлчанаётган ток қийматини кўрсатади, у ғалтакдаги токка мутаносибдир: $I = I_t\ (1 + R_ғ/R_ш)$, бунда $R_ғ$ — ғалтак занжирининг қаршилиги, шунтнинг қаршилиги.

Бу ердан ток $I_ғ$ ифодасини топамиз ва уни (6.1) формулага қўйиб, асбоб қўзғалувчан қисми бурилиш бурчагининг ўлчанаётган токка боғлиқлигини бевосита аниқловчи тенгламани оламиз

$$\alpha = S_{1т} I, \qquad (6.2)$$

бу ерда $S_{1т} = \frac{k_{айл} R_ш}{k_{қар} (R_ш + R_ғ)}$ — асбобнинг токка сезгирлиги (ўзгармас катталик).

Шкаласи (6.2) тенглама бўйича даражаланган электр ўлчов асбоби токнинг қийматини ўлчайди, яъни амперметр ҳисобланади.

Электромагнит ўлчов механизми учун $\alpha = f\ (I_ғ)$ боғлиқлик худди шунга ўхшаш $M_{айл} = M_{қар}$ ёки $k_{2айл} I_ғ^2 = k_{2қар}\alpha$ тенгликдан олинади

$$\alpha = I_ғ^2 k_{2айл}/k_{2қар} = S I_ғ^2.$$

Электромагнит амперметрлар одатда шунтларсиз ишлатилади, яъни катта токлар (200 А гача) бевосита ўлчов механизмининг ғалтагидан ўтказилади. Шундай қилиш мумкинлигига сабаб шуки, ғалтак қўзғалмас ва токнинг ўзгариш чегарасига ҳамда асбоб қўзғалувчан қисмининг конструкциясига қараб турлича йўғонликдаги симлардан тайёрланиши

мумкин. Масалан, 100 А номинал токка мўлжалланган ғалтакнинг йўғон мис шинадан иборат фақат битта ўрами бўлади. $I_t = I$ бўлганда электромагнит амперметр учун $\alpha = f(I_г)$ боғланиш қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\alpha = S_{2\tau} I^2. \qquad (6.3)$$

Амперметр ўлчанадиган ток занжирига кетма-кет уланади. Амперметрлар ўлчанадиган ток қийматига иложи борича кам таъсир этсин учун улар хусусий қаршилиги кам (одатда омнинг улушлари қадар) қилиб тайёрланади.

Магнитоэлектрик ва электромагнит ўлчов механизмларидан электр кучланишини ўлчашда фойдаланиш мумкин. Шу мақсадда ўлчаш механизмининг ғалтаги (қаршилиги $R_г$) билан кетма-кет нисбатан катта ва ўзгармас қаршиликка $R_к$ эга бўлган қўшимча резистор уланади (6.10-расм).

Бундай ўлчов занжири занжирнинг кучланиши U ни ўлчаш мўлжалланган қисмига параллел уланади. Бу ҳолда ўлчагичнинг ғалтагидаги ток $I_г = U/(R_г + R_к)$.

Бу ифодани (6.2) ва (6.3) га қўйиб, ўлчагичнинг қўзғалувчан қисми бурилиш бурчагининг унинг қисмаларидаги кучланишга боғлиқлигини ифодаловчи тенгламаларни оламиз: магнитоэлектрик асбоб учун $\alpha = S_{1н}U$, электромагнит асбоб учун $\alpha = S_{2н}U^2$, бунда $S_{1н}$ ва $S_{2н}$ — ўзгармас катталиклар (S — асбобнинг кучланишни сезувчанлиги).

Бу тенгламаларнинг бири бўйича даражаланган электр ўлчов асбоби электр кучланиш қийматини ўлчайди, яъни вольтметр бўлади.

Вольтметрлар хусусий қаршилиги катта (одатда ўн ва юзлаб ом) қилиб тайёрланади. Вольтметрнинг қаршилиги қанча катта бўлса, у ўзи параллел уланган занжир қисмининг умумий қаршилигини шунча кам ўзгартиради, яъни ўлчанадиган кучланиш қийматини шунча кам ўзгартиради. Ўлчаш чегарасини катталаштириш учун вольтметрларга ташқи қўшимча резисторлар ва магнитоэлектрик амперметрларга шунтлар ҳам ишлатилади.

Ўзгарувчан ток электр занжирларида катта ток ва кучланишларни ўлчаш учун ток ва кучланишларнинг ўлчов трансформаторлари ишлатилади. Юқори кучланишли тармоқларда ўлчашда улар ўлчаш чегараларини катталаштиришдан ташқари, электр ўлчов асбобларига хизмат қилиш хавфсизлигини ҳам таъминлайди (7.3-§ га қ.).

1. Ўзгарувчан ток занжирида электромагнит амперметр 10 А ни кўрсатади. Агар электромагнит амперметр ўрнида магнитоэлектрик амперметр уланса у қандай қийматни кўрсатади?

2. 6.7 ва 6.8- расмларда магнитоэлектрик ва электромагнит асбобларнинг шкалалари тасвирланган. Бу икки шкала бир-биридан нимаси билан фарқ қилади ва бу фарқни қандай тушунтириш мумкин?

3. Амперметрлар нима учун хусусий қаршилиги кичик, вольтметрлар эса қаршилиги катта қилиб тайёрланади?

4. 6.8- расмда магнитоиндукцион тинчлантиргич деталлари: доимий магнит *3* ва алюминийли сектор *2* (6.1- § га ва 6.4- расмга қ.) кўрсатилган. Магнитоэлектрик система асбобларида тинчлантиргич ўрнатиладими? Агар ўрнатиладиган бўлса, у ҳолда нима учун у 6.7- расмда кўрсатилмаган?

5. 6.18- расм, *б* даги схемада вольтметрнинг битта қисмаси занжирнинг амперметрдан кейинги (манбадан келаётганда) нуқтасига бириктирилган. Агар вольтметрнинг худди шу қисмаси амперметрдан олдинги нуқтага бириктирилса, асбобларнинг кўрсатишлари қайси томонга ўзгаради?

6.3- масала. Магнитоэлектрик амперметрнинг номинал токи $I_{ном} = 10$ А. $I = I_{ном}$ токни ўлчашда ўлчаш ғалтагидаги ток $I_р = 5 \cdot 10^{-3}$ А, амперметр қисмаларидаги кучланиш эса $U_а = 75$ мВ бўлди. Шунтнинг қаршилигини аниқланг. Токни ўлчашнинг энг юқори чегарасини, амперметр қисмаларидаги кучланишни ва шунтлаш коэффициенти $P_ш = 1000$, $P_ш = 4000$ бўлганда асосий шунт ўрнига ўрганиладиган шунтнинг қаршилигини топинг.

6.4- масала. Кўп чегарали вольтметрнинг тўрт хил ўлчаш чегараси бор, бунинг учун тўртта резистор ўлчагич билан кетма-кет уланган, уларнинг бирлашиш нуқталари эса олд панелга чиқарилган. Кучланиш учинчи чегарада ўлчанганда $U = U_{3ном} = 75$ В, ўлчаш механизмида кучланишнинг пасайиши $U_к = 0,3$ В, ток $I_к = 30$ мА. Қўшимча резисторларнинг учинчи ўлчаш чегарасига мувофиқ келадиган умумий қаршилигини аниқланг.

Ҳар қайси чегара учун қўшимча қаршилик коэффициентлари маълум: $P_{1қ} = 10$- $P_{2қ} = 50$; $P_{3қ} = 250$; $P_{4қ} = 500$ бўлганда барча ўзгариш чегараларида номинал кучланишни ва тўртала резистордан ҳар бирининг қаршилигини аниқланг.

6.3- §. ҚУВВАТ ВА ЭНЕРГИЯНИ ЎЛЧАШ

Электр занжирларда қувват ва энергияни ўлчаш учун электродинамик ва индукцион ўлчов механизмларининг ишлаш пирнципидан фойдаланиш мумкин. Амалда одатда электродинамик ваттметрлар ҳамда электр энергиясининг индукцион счётчиклари ишлатилади.

Электродинамик **ўлчаш механизми**. Электродинамик механизм ишлаш принципининг асосини токли симларнинг ўзаро таъсири ташкил этади (3.5- § га қ.).

Бу принцип конструктив жиҳатдан икки ғалтакнинг: ток I_1 ли қўзғалмас *1* ва ток I_2 ли қўзғалувчан *2* ғал-

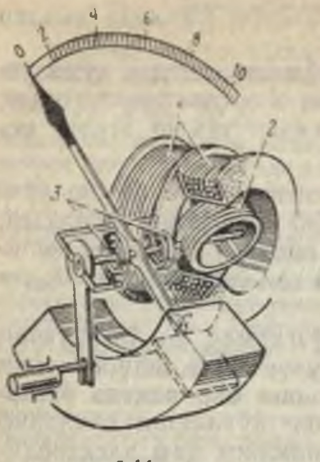
такларнинг (6.11-расм) ўзаро таъсири шаклида амалга ошади.

Магнитоэлектрик меахнизмда бўлгани сингари қўзғалувчан ғалтак иккита спираль пружина *3* орқали энергия олади, бу пружиналар шу билан бирга қарши таъсир этувчи момент $M_{қар}$ ҳам ҳосил қилади.

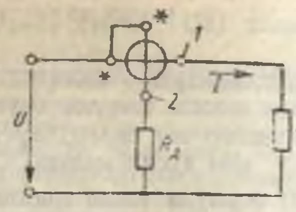
(3.28) формула токли иккита симнинг ўзаро таъсир кучи токларнинг кўпайтмасига мутаносиб эканлигини кўрсатади. Ана шундай ифодани қўзғалувчан ғалтакни ҳаракатга келтирадиган айлантирувчи момент учун ҳам ёзиш мумкин. $M_{айл} = K_{зайл} I_1 I_2$.

Электродинамик механизм ўзгармас ва ўзгарувчан токлар занжирларида ўлчаш учун яроқлидир, чунки иккала ғалтакда токнинг йўналиши бир вақтда ўзгарганида айлантирувчи моментнинг йўналиши сақланиб қолади. Аниқлиги нисбатан юқорилиги ҳам электродинамик асбобларнинг афзалликларидан ҳисобланади. Улар ўзгарувчан ток занжирларидаги ўлчашларда бошқа системалардаги асбобларга қараганда энг аниқ деб ҳисобланади.

Электродинамик механизмнинг хусусий магнит майдони кучсиз, шу сабабли ташқи магнит майдонлар таъсиридан муҳофаза қилиш учун магнит сингдирувчанлиги жуда юқори ферромагнит материалдан (масалан, пермаллойдан) тайёрланган қўш экранлар ишлатилади. Уларнинг камчиликларидан яна бири энергияни кўп истеъмол қилиши, электр ва механик нагрузкаларнинг ортиб кетишига ниҳоятда сезгирлиги, нисбатан мураккаблиги ва анча қимматлигидир. Агар иккала ғалтак ичига ферромагнит ўзаклар жойлаштирилса, бу камчиликлардан бир қисмини йўқотиш мумкин. Ўзаклар жойлаштирилган ўлчаш механизми ферродинамик механизм дейилади. Конструктив жиҳатдан у магнитоэлектрик механизмга ўхшайди, лекин доимий магнит ўрнида электромагнит — ферромагнит ўзакли қўзғалмас ғалтак бўлади, унда кучли магнит майдон вужудга келади. Бу ҳол энергияни хусусий истеъмол қилишини камайтиришга ва магнит экранлардан воз кечишга имкон беради. Лекин йўқотилган камчиликлари ўрнига янги камчиликлари пайдо бўлади; масалан, асбобнинг аниқлиги жуда пасайиб кетади, чунки магнитўтказгич қўшимча хатоликларни келтириб чиқаради (бу ҳақда электромагнит механизмни кўриб чиқиш пайтида айтилган эди).



6.11- расм



6.12- расм

Ўзаксиз электродинамик ўлчаш механизмлари лабораторияларда қўлланиладиган аниқлиги жуда юқори кўчма асбобларда ишлатилади, ферродинамик механизмлар кўпинча шчитга қўйиладиган қилиб тайёрланади ва ўзгарувчан ток занжирларида ишлатилади. Катта айлантирувчи момент ҳосил қилиш мумкинлиги ферродинамик механизмлардан ўзиёзар асбобларда фойдаланишга имкон беради.

Қувватни ўлчаш. Айлантирувчи моментнинг ғалтаклардаги токларга боғлиқлиги электродинамик механизмдан қувватни ўлчаш учун, яъни ваттметр сифатида фойдаланишга имкон беради (6.12- расм). Шу мақсадда қўзғалмас ғалтак *1* занжирнинг қуввати ўлчаниши керак бўлган элементи билан кетма-кет уланади (амперметр сингари); қўзғалувчан ғалтак *2* шу элементга параллел уланади (вольтметр каби). Бунда ваттметрнинг юлдузча билан белгиланган иккита қисмаси (ҳар қайси чулғамдан биттадан) занжирга таъминлаш манбаи (тармоқ) томонидан уланади. Қўзғалмас ғалтакдаги ток иш занжиридаги токка тенг, қўзғалувчан ғалтакдаги ток эса кучланишга мутаносиб бўлади:

$I_1 = I$; $I_2 = U/R_а$, бу ерда $R_а$— асбоб параллел занжирининг (қўзғалувчан ғалтак билан қўшимча резистор $R_қ$ нинг) қаршилиги. Ўлчаш механизми ана шундай схемада уланганда ўзгармас ток занжирида айлантирувчи момент

$$M_{айл} = \frac{k_{айл} IU}{R_а} = k_{4айл} P.$$

Бундан электродинамик асбобнинг айлантирувчи моменти

ўзгармас ток занжирининг қувватига мутаносиб эканлиги кўриниб турибди.

Электродинамик механизм ўзгарувчан ток занжирига ана шундай схемада уланганда айлантирувчи момент актив қувват P га мутаносиб бўлади: $M_{айл} = k_{1айл} UI \cos\varphi = k_{1айл} P$.

$M_{айл} = M_{қар}$ тенглик асбоб стрелкаси бурилиш бурчагининг ўлчанаётган қувват қийматига боғлиқлигини кўрсатувчи формулани олишга имкон беради:

$$\alpha = S_қ P. \tag{6.4}$$

бунда $S_қ$ — ваттметрнинг қувват бўйича сезгирлиги, бўл/Вт.

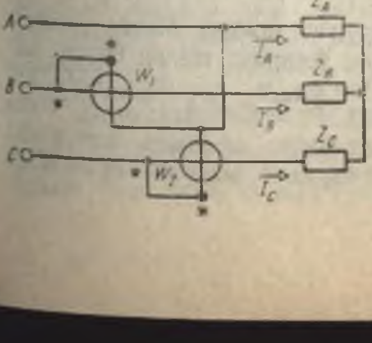
Уч фазали занжирда бир меъёрдаги нагрузкада қувват битта фазада битта ваттметр билан ўлчанади. Баъзи ҳолларда нотекис нагрузкада ҳам битта ваттметр билан ўлчаш етарлидир, бунда у ҳар қайси фазага навбатма-навбат уланади. Тўрт симли уч фазали занжирда бир вақтнинг ўзида учта ваттметр ишлатиш мумкин. Умумий қувват $P = P_1 + P_2 + P_3$. Бир элементли учта ваттметр ўрнига битта уч элементли ваттметр ишлатилади, унда учта ўлчаш элементи бирлаштирилган, лекин уларнинг қўзғалувчан қисмлари умумий ўқда бўлади. Шундай қилиб, барча элементларнинг айлантирувчи моментлари қўшилади, шу сабабли шкалада стрелка уч фазали занжирнинг умумий қувватини кўрсатади.

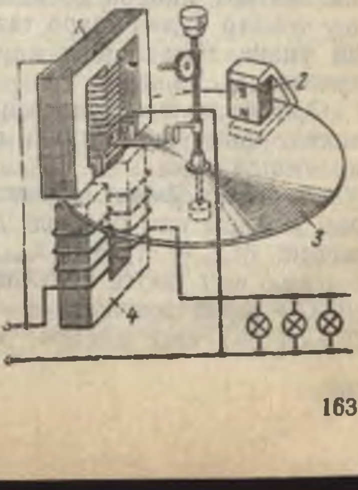
Уч симли уч фазали занжирда иккита бир элементли ёки битта икки элементли ваттметр бор схема қўлланилади (6.13-расм).

Уч фазали занжирнинг умумий қуввати шу схема бўйича уланган иккита ваттметр кўрсатишларининг йиғиндисига тенг бўлиши исботланган: $P = P_1 + P_2$.

6.14-расм

6.13-расм





Индукцион ўлчаш механизми. Индукцион ўлчаш механизмининг иши ўзгарувчан магнит майдоннинг шу майдон индукцияланган токларга таъсирига асосланган. Бундан шундай ўлчагични фақат ўзгарувчан ток занжирларидагина ишлатиш мумкин, деган хулоса келиб чиқади.

Унинг конструктив схемасига қуйидагилар киради (6.14- расм): иккита электромагнит *1,4;* алюминий диск *3*; доимий магнит *2*.

Электромагнитларнинг чулғамлари электр занжирига ваттметр ғалтаклари каби уланади. Биринчи электромагнитнинг чулғамида ўрамлар сони нисбатан кўп бўлади, занжирга вольтметр каби уланади; иккинчи электромагнитнинг чулғамида ўрамлар сони кам бўлади, занжирга амперметр каби уланади.

Иккала электромагнитнинг чулғамларидаги ўзгарувчан токлар ўзгарувчан магнит оқимларини ҳосил қилади, улар дискнинг чеккаларидан тешиб ўтиб, унда уюрма токларни индукциялайди. Айлантирувчи момент биринчи электромагнит ўзгарувчан магнит оқимининг иккинчи электромагнитнинг магнит майдони индукцияланган токка таъсири натижасида ва аксинча вужудга келади.

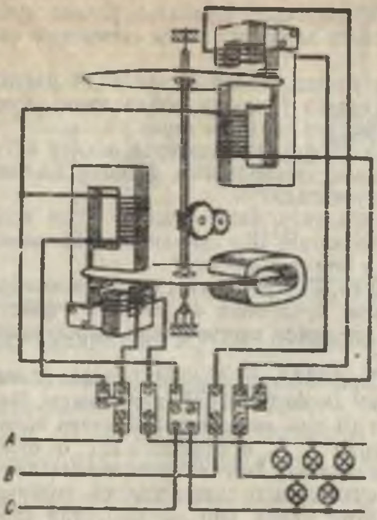
Бу масалани анча мукаммал қараб чиқиш шуни кўрсатадики, айлантирувчи момент занжирнинг актив қувватига мутаносибдир:

$$M_{айл} = kUI\cos\varphi = k_{5айл}P.$$

Шу момент таъсирида диск айланади. Алюминий дискнинг чеккаси ўзгармас магнит *2* нинг ҳаво тирқишига киради. Агар диск айланаётган бўлса, у ҳолда ўзгармас магнит майдон дискда токларни индукциялайди ва шу токлар билан ўзаро таъсирлашади. Натижада дискка унинг айланишига қарши йўналган электромагнит кучлар таъсир этади.

Ҳисоблашлар шуни кўрсатадики, тормозлаш моментининг қиймати дискнинг айланиш частотасига пропорционал бўлади:

Энергияни ўлчаш. Айлантирувчи момент билан тормозлаш моменти тенг бўлганда диск ўзгармас тезлик билан айланади: $M_{айл} = M_т$ ёки $k_{5айл}P = k_{6айл}n$. $k_{6айл}/k_{5айл} = C$ деб белгилаб ва t вақтга кўпайтириб, $Pt = Cnt$ ни оламиз, бунда C — асбоб доимийси; n — дискнинг айланиш частотаси; $Pt = W$ — t вақт ичидаги занжирдаги энергия; $nt = N$ —



6.16- расм.

дискнинг шу вақт ичидаги айланишлар сони. Буларни ўрнига қўйиб, охирги тенгламани оламиз:

$$W = CN. \quad (6.5)$$

Бундан электр энергиясининг сарфини ўлчаш учун дискнинг айланишлар сонини ҳисоблаш керак, деган хулоса келиб чиқади. Ҳисоблаш учун дискнинг ўқи билан механик узатма (червякли узатма ва тишли ғилдиракчалар системаси) орқали боғланган махсус ҳисоблаш механизми ишлатилади. Механик узатманинг узатмалар сони рақамли кўрсаткичда электр энергиясининг сарфини киловатт-соатларда ўқиш мумкин бўладиган қилиб танланади.

Стрелка ва шкала ўрнига ҳисоблаш механизми билан таъминланган индукцион ўлчаш механизми электр энергиясининг счётчиги дейилади.

Уч фазали электр қурилмаларда энергияни ўлчаш учун уч фазали икки элементли счётчиклар ишлатилади. Бундай счётчикни улаш схемаси 6.15- расмда кўрсатилган.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Қувватни ўлчаш учун занжирга электродинамик ваттметр уланди. Занжирга улангандан кейин асбобнинг стрелкаси шкала бўйлаб эмас, балки тескари томонга оғаётганлиги маълум бўлди.

Нима учун шундай бўлган? Қувватни ўлчаш мумкин бўлсин учун ваттметрни шу электр занжирга улаш схемасини қандай ўзгартириш керак?

2. Индукцион ўлчаш механизмидан (6.14- расмга қ.) ўзгарувчан ток занжирида қувватни ўлчашда фойдаланиш учун унинг конструкциясига қандай ўзгариш киритиш керак?

3. 6.13- расмда уч фазали занжирда иккита ваттметр билан қувватни ўлчаш схемаси тасвирланган. Иккала ваттметрдан ҳар бири қандай қувватни кўрсатади?

4. 6.15- расмда электр энергиясининг икки элементли счётчигининг схемаси кўрсатилган. Шу схеманинг 6.13- расмдаги схемага ўхшашлиги ва фарқи нимадан иборат?

6.5- масала. Агар 6.13- расмдаги схемада занжирдаги нагрузка бир меъёрда актив, фаза кучланиши $U_ф = 127$ В, фаза қаршилиги $Z_ф =$ $= 12,7$ Ом бўлса, ҳар қайси ваттметрнинг кўрсатишларини ва умумий қувватни аниқланг.

6.6- масала. Сарф бўлган ҳар бир киловатт-соат энергияга бир фазали счётчикнинг диски 2500 марта айланади. Маълум нагрузкада счётчикнинг диски 10 мин давомида 125 марта айланди. Агар электр истеъмолчининг токи 3 А, кучланиши 127 В бўлса, унинг қувват коэффициентини аниқланг. Агар истеъмолчи масаланинг шартига кўра бир режимда суткасига 8 соат ишлаган, қолган вақтда нагрузка икки марта камайган бўлса, бир ой давомида сарф бўлган электр энергиясининг нархини аниқланг. 1 кВт.с электр энергиясининг нархи 40 тийин.

6.4- §. ҚАРШИЛИКЛАРНИ ЎЛЧАШ

Электротехника ва радиотехника тузилма ҳамда қурилмаларини тайёрлаш, ўрнатиш ва ишлатишда электр қаршилигини ўлчаш зарур.

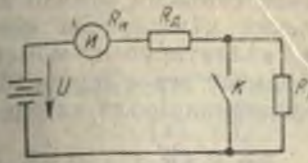
Амалда қаршиликларни ўлчаш учун объектларнинг хусусияти ва ўлчаш шароитларига (масалан, қаттиқ ва суюқ ўтказгичлар, ерлантиргичлар, электр изоляцияси). Ўлчаш аниқлиги ва тезлигига қўйилган талабларда, ўлчанадиган қаршиликларнинг катталигига қараб турли хил усуллар қўлланилади.

Кичик қаршиликларни ўлчаш усуллари катта қаршиликларни ўлчаш усулларидан тубдан фарқ қилади, чунки кичик қаршиликларда ўлчаш натижаларига туташтирувчи симларнинг, ўтиш контактларининг қаршиликлари таъсир этишининг олдини олиш чораларини кўриш керак бўлади.

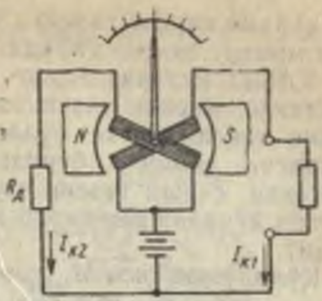
Бундан кейин биз амалда энг кўп қўлланиладиган усулларнигина кўриб чиқамиз.

Омметрларнинг ўлчаш механизмлари. Қаршиликларни бевосита ўлчаш учун битта ва иккита рамали магнитоэлектрик ўлчаш механизмлари ишлатилади.

6.2- §. да кўриб чиқилган битта рамали механизмдан қаршиликларни ўлчаш учун фойдаланиш мумкин. Шу мақсадда



6.16- расм.



6.17- расм.

асбобга ўзгармас қаршилик $R_к$ ли қўшимча резистор киритилади ва у электр манба (масалан, қуруқ элементлар батареяси) билан таъминланади. Ўлчанадиган қаршилик R_x ўлчагичга кетма-кет (6.16- расм) ёки параллел уланади.

Параллел уланганда ўлчагичдаги ток $I = U/(R_ў + R_g + R_x)$, бў ерда $R_ў$ — ўлчагичнинг қаршилиги, U — таъминлаш манбаининг кучланиши.

(6.2) формулани эътиборга олиб, асбоб стрелкасининг $U = \text{const}$ бўлгандаги оғиш бурчаги фақат ўлчанадиган қаршилик R_x қийматига боғлиқ эканлигини топамиз:

$$\alpha = \frac{US_{I\tau}}{R_ў + R_к + R_x}.$$

Агар шкала ана шу ифодага кўра қаршилик бирликларида даражаланса, у ҳолда асбоб омметр бўлади. Қуруқ элементларнинг кучланиши вақт ўтиши билан камаяди, шу сабабли ўлчашда хатолик бўлади; ҳақиқий кучланиш шкала даражаланган пайтдаги кучланишдан қанча кўп фарқ қилса, хатолик ҳам шунча катта бўлади.

Агар ўлчаш механизмида умумий ўққа бир-бирига нисбатан маълум бурчак остида жойлаштирилган иккита чулғам бўлса (6.17- расм), у ҳолда таъминлаш манбаининг кучланиши ўзгаришидан хатолик бўлмайди.

Логометр дейиладиган икки рамали ўлчаш механизмида қарши таъсир этувчи пружиналар бўлмайди, айлантирувчи ва қарши таъсир этувчи моментларни электромагнит кучлар вужудга келтиради. Шу сабабли чулғамларда ток бўлмаганида асбобнинг мувозанатланган қўзғалувчан қисми бефарқ мувозанат ҳолатида бўлади (стрелка шкаланинг исталган бўлинмасида тўхтайди). Ғалтакларда ток борлигида қўзғалувчан қисм-

га қарама-қарши томонга йўналган иккита электромагнит момент таъсир қилади.

Ўлчаш механизмининг магнит занжири шундай тузилганки, магнит индукцияси ҳаво тирқиши бўйлаб нотекис тақсимланган бўлади, лекин қўзғалувчан қисм исталган томонга бурилганда айлантирувчи момент камаяди, қарши таъсир этувчи момент эса кўпаяди (бурилиш йўналишига қараб моментларнинг роли алмашинади).

Қўзғалувчан қисм $M_{1айл} = M_{2айл}$ ёки $N_1SB_1 I_{1г} = N_2SB_{2г}I_{2г}$ бўлганда тўхтайди (6.2-§ га қ.). Бундан стрелканинг шкаладаги ҳолати чулғамлардаги токларнинг нисбатига боғлиқ, яъни $\alpha = f(I_{1г}/I_{2t})$, лекин таъминловчи манбанинг кучланишига боғлиқ эмас, деган хулоса келиб чиқади.

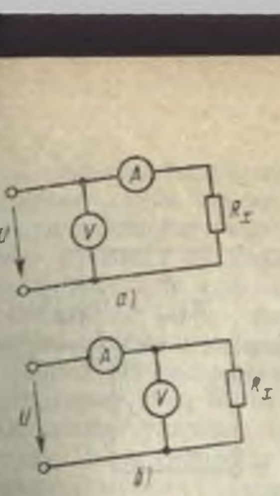
6.17-расмдаги схемадан кўриниб турибдики, ўлчанадиган қаршилик R_x логометр ғалтакларидан бирининг занжирига киради, шу сабабли ундаги ток, шунингдек, асбоб стрелкасининг оғиши фақат R_x нинг қийматига боғлиқ.

Бу боғлиқликдан фойдаланиб, шкала қаршилик бирликларида даражаланади ва шунда асбоб омметр ҳисобланади. Изоляция қаршилигини ўлчаш учун мўлжалланган омметрларда кучланиши 1000 В гача бўлган таъминлаш манбаи бўлади, бундан мақсад ўлчашни қурилманинг иш кучланишига тахминан тенг кучланишда ўтказишдир. Омметрга бириктирилган дастаки юритмали магнитоэлектрик генератор ёки ўзгарувчан ток тармоғига уланган тўғрилагичли трансформатор ана шундай манба бўла олади.

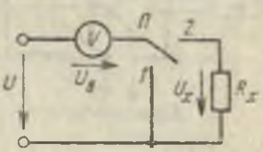
Катта қаршиликларни (1 Мом дан катта) ўлчашга мўлжалланган омметрлар м е г а о м м е т р л а р дейилади.

Қаршиликларни ўлчашнинг билвосита усуллари. Резисторнинг ёки электр занжир бошқа элементининг қаршилигини Ом қонунини татбиқ этиб туриб, вольтметр амперметрнинг кўрсатишлари бўйича (ўзгармас токда) аниқлаш мумкин: $R_x = U/I$ (6.18-расм, *а, б* даги схемалар). 6.19-расмдаги схема бўйича битта вольтметрнинг кўрсатишларидан қаршилик R_x аниқланади. Узиб-улагич *П* нинг *1* ҳолатида вольтметр тармоқдаги кучланиш U ни, *2* ҳолатида эса—вольтметр қисмаларидаги кучланиш $U_в$ ни ўлчайди. Қисмалардаги кучланишни ўлчашда $U_в/P_в = U_x/R_x$. Бундан

$$R_x = \frac{U_x}{U_в} R_в = \frac{U - U_в}{U_в} R_в.$$



6.18- расм.



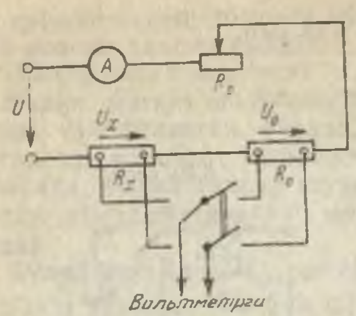
6.19- расм.

Билвосита усуллар ўртача қаршиликни ўлчаш учун қўлланилади, битта вольтметр билан эса катта қаршиликлар ҳам ўлчанади. Бу усулларнинг аниқлиги ўлчанадиган қаршилик R_x ва амперметрнинг ички қаршилиги ($R_а$) ҳамда вольтметрнинг ички қаршилиги ($R_в$) қийматларининг нисбатига анчагина боғлиқ. Агар қуйидаги шартлар бажарилса, ўлчашлар натижаларини аниқлиги жиҳатдан қониқарли деб ҳисоблаш мумкин: $R_x \geqslant 100\ R_а$ (6.18- расм, *а* даги схемага қ.); $R_x \leqslant \leqslant R_в$ (6.18- расм, *б* даги схемага қ.); $R_x \leqslant R_в$ (6.19- расмдаги схемага қ.).

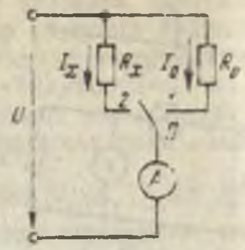
Таққослаш усуллари ва асбоблари. Кичик ва ўртача қаршиликларни ўлчаш учун ўлчанадиган қаршилик R_x ни намунавий қаршилик R_0 билан таққослаш усули қўлланилади. Бу иккала қаршилик 6.20- расмдаги схемада кетма- кет уланган, шу сабабли улардаги ток бир хил бўлади. Токнинг катталиги резистор $R_р$ ёрдамида ростлаб турилади, бунда у R_x ҳамда $R_0U_x/R_x = U_0/R_0$ қаршиликлар учун рухсат этиладиган токдан ортиб кетмаслиги керак. Бундан $R_x = R_0U_x/U_0$ U_x ва U_0 кучланишларнинг номаълум пасайиши вольтметр ёки потенциометр билан ўлчанади. Агар R_x ва R_0 қаршиликлар бир хил даражада, вольтметрнинг қаршилиги эса унинг уланиши асосий занжир режимига таъсир этмайдиган даражада бўлса, бу ҳолда ўлчаш натижалари анча аниқ олинади.

Бу усул билан кичик қаршиликларни ўлчашда вольтметр потенциал қисмалар ёрдамида уланади, улар асосий занжир контактларининг қаршилиги ўлчаш натижаларига таъсир этмаслигига имкон беради.

Ўртача ва катта қаршиликларни ўрин алмаштириш усули билан ўлчаш мумкин (6.21- расм). Амперметр *А* билан ток ўлчанади, бунда узиб- улагич *П* аввал *1* ҳолатга, кейин *2*



6.20-расм.



6.21-расм.

ҳолатга ўрнатилади. Схеманинг кириш қисмаларида кучланиш бир хил, шу сабабли $U = I_xR_x = I_0R_0$. Бу ерда $R_x = R_0I_0/I_x$.

Катта қаршиликларни ўлчашда амперметр шунтли гальванометр билан алмаштирилади, бу билан ўлчаш аниқлиги анча оширилади.

Қаршиликларни ўлчашда кўприк схемалар энг аниқ натижалар беради, улар амалда ўлчанадиган қаршиликларнинг қийматида ва талаб қилинадиган ўлчаш аниқлигига қараб турли вариантларда қўлланилади.

Кўп ҳолларда 6.22-расмдаги схема бўйича қурилган асбобни учратиш мумкин, у амалиётда «бирламчи кўприк» дейилади. Ушбу ҳолда кўприк схемага R_1; R_2; R; R_x қаршиликлар киритилади, улар тўртта тармоқдан иборат (бу тармоқлар «кўприк елкалари» дейилади) ёпиқ контур *А*, *Б*, *В*, *Г* ҳосил қилади.

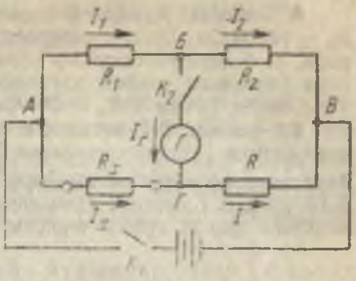
Схеманинг битта диагоналига ўзгармас ток манбаи, иккинчисига икки томонлама шкалали (ноль шкаланинг ўртасида) гальванометр уланган.

Бирор қаршилик R_x да бошқа қаршиликлар шундай танланганки, ўлчаш диагоналида ток $I_1 = 0$, яъни K_1 ва K_2 узиб-улагичлар уланган ҳолатида $V_Б$ ва $V_Г$ потенциаллар бир хил бўлади, деб фараз қилайлик. Бу ҳолда $I_1 = I_2$; $I_x = I$; $I_1R_1 = I_xR_x$; $I_2R_2 = IR$.

Бу тенгликлардан фойдаланиб, ўлчанадиган қаршилик ифодасини топиш қийин эмас: $R_x = RR_1/R_2$. Агар R_1 ва R_2 қаршиликлар катталиги жиҳатидан бир хил бўлса, у ҳолда $R_x = R$. Саноатда тайёрланган асбобда R — бу декада принципи бўйича тузилган резисторлар тўплами (қаршиликлар магазини)дир. Юқориги қопқоғида узиб-улагичлар жойлаш-

ган, улар ёрдамида маълум чегарада қаршиликнинг исталган қийматини ҳосил қилиш мумкин, бу қийматнинг аниқлиги қаршилик ўзгаришининг энг кичик босқичи билан аниқланади.

Ўлчаш чегараларини катталаштириш учун R_1 ва R_2 катталиклар уларнинг нисбатини ўнлик системада ўзгартириш мумкин бўладиган қилиб танланади (Масалан, $R/R_2 = 100$; 10; 1; 0,1; 0,01; 0,001; 0,0001).



6.22- расм.

Бирламчи кўприклар асосан ўртача қаршиликларни ўлчаш учун ишлатилади. Кичик қаршиликларни ўлчашда ўлчанадиган элемент махсус схема бўйича уланади ёки шу мақсадга мўлжалланган махсус кўприклар ишлатилади.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Стрелкали асбобларнинг (амперметрлар, вольтметрлар ва ҳ.) кўпчилигида ўлчанадиган катталик қанча катта бўлса, стрелка бошланғич ҳолатидан шунча кўп оғади. Нима учун омметрларнинг баъзи турларида ўлчанадиган қаршилик қанча катта бўлса, стрелка шунча кам оғади?

2. Бир рамали омметрларда таъминлаш манбаидаги кучланишнинг ўзгариши билан боғлиқ бўлган ўлчаш хатоликларини йўқотиш учун махсус мослама: қаршилиги ўзгариб турадиган электр шунт (ўлчаш ғалтагига параллел уланади) ёки ҳаво тирқишида магнит индукциясини ўзгартирадиган магнит шунт бўлиши назарда тутилади.

Агар манба кучланиши камайса, магнит индукциясини магнит шунт ёрдамида қайси томонга ўзгартириш керак? Агар манбанинг кучланиши кўпайса, электр шунтнинг қаршилигини қандай ўзгартириш керак?

3. Изоляция қаршилигини дастаки юритмали мегаомметр билан ўлчашда қўлда айлантириш частотасини бир хилда сақлаб бўлмайди, шу сабабли асбобга ўрнатилган магнитоэлектрик генераторнинг кучланиши ўзгариб туради. Бу ҳолда манба кучланишининг ўзгарувчанлиги ўлчаш натижаларига нима учун таъсир этмайди?

4. 6.18- расм, *а*, *б* лардан қайси бири ва нима учун: катта қаршиликларни ўлчашда қўлланилади? кичик қаршиликларни ўлчашда қўлланилади?

5. Бирор қаршилик R_x ни ўлчаш учун бирламчи кўприк ишлатилади. Бунда оператор қайси тартибда ишлайди? Агар таъминлаш манбанинг (қуруқ элементнинг) кучланиши ўзгарса ўлчаш аниқлиги ўзгарадими?

6.7- масала. Қаршиликларни ўлчаш учун қаршиликлари $R_a = 0,5$ Ом, $R_в = 10000$ Ом бўлган амперметр ва вольтметрдан фойдаланилди. 6.18-расм, *а*, *б* лардаги схемалар бўйича чўғланма лампаларнинг қаршилигини ўлчашдаги нисбий хатоликни аниқланг. Қаршиликни анча аниқ усул билан ўлчаш у $R_л = 200$ Ом эканлигини кўрсатди.

6.8- масала. 6.7- масаланинг шартига ўзгартиш киритилди: ғалтакнинг (лампа ўрнига) қаршилиги ўлчанади $R_г = 1$ Ом. 6.7 ва 6.8- масалаларнинг ечимлари натижаларига қараб қаршиликларни ўлчаш учун 6.18- расм, *а*, *б* лардаги схемалардан фойдаланиш мумкинми ёки мумкин эмаслиги ҳақида хулоса чиқаринг.

7- БОБ.

ТРАНСФОРМАТОРЛАР

Кўпчилик ўзгарувчан ток электр тузилма ва қурилмалари таркибига трансформатор — электр кучланиш қийматини ўзгартирадиган статик электромагнит аппарат киради.

Трансформаторлар электр тармоқларида электр энергиясини узатиш ва тақсимлашда, қиздириш, пайвандлаш, тўғрилаш электр қурилмаларида, радиоаппаратда, автоматика, алоқа қурилмаларида, электр ўлчов техникасида ва ҳ. ишлатилади.

Трансформаторлардан техникада фойдаланишга машҳур рус электротехниклари асос солдилар: П. Н. Яблочков узилган ўзакли бир фазали трансформатор ишлаб чиқди ва уни биринчи марта 1876 йилда электр шамли ёритиш қурилмасида қўллади, М. О. Доливо-Добровольский биринчи уч фазали трансформаторни яратди.

Трансформаторларнинг кўпчилик турларида чулғамлар ферромагнит ўзакка жойлаштирилган бўлади, бу ўзак магнит майдонини тўплаш ва чулғамлар орасидаги магнит алоқани кучайтириш учун хизмат қилади. Лекин юқори частоталарда, кўпинча радиоаппаратда ўзаксиз (ҳаволи) трансформаторлар ишлатилади.

Трансформаторлар фазаларининг сони (бир фазали, уч фазали), чулғамларининг сони (икки чулғамли, кўп чулғамли), совитилиш усули (мой билан ва қуруқ совитиладиган) билан ҳам бир-биридан фарқ қилади. Уларнинг асосий, энг катта гуруҳини электр тармоқларида ва турли мақсадларга мўлжалланган электр қурилмаларда кучланишни ошириш ёки пасайтиришга мўлжалланган куч трансформаторлари ташкил этади.

7.1-§. ТРАНСФОРМАТОРНИНГ ИШЛАШ ПРИНЦИПИ ВА ТУЗИЛИШИ

Трансформаторларнинг ишлаши электромагнит индукцияси ҳодисасига асосланган эканлиги 3.6-§ да айтиб ўтилган эди. Ишлаш принципи бир хил бўлгани ҳолда вазифасига, номинал қувват ва кучланиш қийматига, совитилиш усулига кўра турли хил трансформаторлар бўлади.

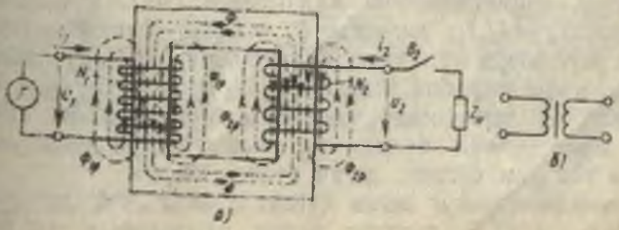
Яна шуни ҳам таъкидлаб ўтамизки, бир фазали трансформаторнинг иш жараёни амалда уч фазали трансформатор битта фазасининг иш жараёнидан фарқ қилмайди. Шу сабабли принципиал схемасини ва сўнгра режимини икки чулғамли бир фазали куч трансформатори мисолида кўриб чиқамиз.

Трансформаторнинг ишлаш принципи. Бир фазали икки чулғамли трансформаторнинг тузилиш схемаси ва унинг электр схемаси 7.1-расм, *а, б* да кўрсатилган. Схемада фақат асосий қисмлари кўрсатилган: ферромагнит ўзак (магнитўтказгич), ўтказгичда иккита чулғам. Битта чулғам ўзгарувчан кучланишли тармоққа уланади. Бу чулғам ва унга тегишли катталиклар — ўрамлар сони N_1, кучланиш u_1 ва ток i_1 бирламчи дейилади.

Иккиламчи дейиладиган бошқа чулғамга (N_2, u_2, i_2 электр энергия истеъмолчиси $Z_п$ уланади.

Бирламчи чулғамнинг магнитловчи кучи i_1N_1 магнит ўтказгичда ўзгарувчан магнит оқими Φ ни вужудга келтиради, бу оқим иккала чулғам билан илашган ва уларда э.ю.к. индукциялайди: $e_1 = -N_1 d\Phi/dt$; $e_2 = -N_2 d\Phi/dt$.

Магнит оқими синусоидал ўзгарганда $\Phi = \Phi \sin \omega t$, э.ю.к. катталиги $e = N \omega \Phi_m \cos \omega t = E_m \sin (\omega t - \pi/2)$; $E_m = N \omega \Phi_m$, бунда Φ — магнит оқимининг амплитудаси.



7.1-расм.

Э. ю. к. нинг таъсир этувчи қиймати $E = E_m/\sqrt{2} = N \omega \Phi_m \sqrt{2}$.

Бундан э.ю.к. нинг умумий ифодасини оламиз:

$$E = 4{,}44\, fN\Phi_m. \quad (7.1)$$

шунингдек, агар умумий ўрамлар сони N ўрнига тегишли чулғамлардаги ўрамлар сони N_1 ёки N_2 ни қўйсак, бирламчи ва иккиламчи чулғамлардаги э.ю.к. ифодаси олинади.

Келтирилган формулалардан шундай хулосалар келиб чиқади: э. ю. к. магнит оқимидан чорак даврга орқада қолади; трансформатор чулғамларида э. ю. к. нисбати ўрамлар сонининг нисбатига тенг: $E_1/E_2 = N_1/N_2$.

Агар узиб-улагич B_2 узилган бўлса, у ҳолда трансформатор салт ишлаш режимида бўлади. Бу ҳолда $i_2 = 0$, $U_2 = E_2$ ток кичик ва бирламчи чулғамда кучланиш кам пасаяди, шу сабабли $U_1 \approx E_1$ ва э. ю. к. нисбатини кучланишлар нисбати билан алмаштириш мумкин:

$$U_1/U_2 \approx N_1/N_2 = E_1/E_2 = K. \quad (7.2)$$

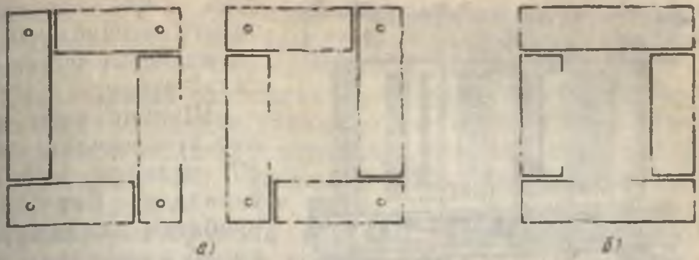
Бундан чулғамлардаги ўрамлар сонининг нисбатига қараб иккиламчи кучланиш бирламчи кучланишдан кам ёки кўп бўлиши мумкинлиги кўриниб турибди. Трансформатор салт ишлаганда бирламчи чулғам кучланишининг иккиламчи чулғам кучланишига нисбати **трансформация коэффициенти** дейилади.

Узиб-улагич B_2 уланганида э. ю. к. e_2 таъсирида иккиламчи занжирда ток i_2 пайдо бўлади. Шу вақтдан бошлаб истеъмолчи $Z_н$ га трансформатордан электр энергияси келади, трансформатор эса энергияни тармоқдан олади.

Трансформаторнинг ўзида энергия бирламчи ва иккиламчи чулғамларни бошлайдиган магнит оқими воситасида узатилади.

Барча электр занжирларда бўлгани сингари бир фазали трансформаторнинг тўла қуввати кучланиш ва токнинг таъсир этувчи қийматларининг кўпайтмаси билан аниқланади. Киришда $S_1 = U_1 I_1$; чиқишда $S_2 = U_2 I_2$. Трансформаторда энергия исрофлари кўп эмас (кўпи билан 4%), шу сабабли $S_1 \approx S_2$, яъни тақрибий тенглик $U_1/U_2 \approx I_2/I_1$ бу ерда тўғри келади; бу тенгликдан трансформаторда ток кам кучланишли томонда кўп бўлади ва, аксинча, кўп кучланишли томонда ток кам бўлади, деган хулоса чиқади.

Трансформаторнинг актив қувват бўйича анча аниқ энергетик баланси (7.3) тенглик билан ифодаланади; бу тенгликка кўра чиқишдаги қувват P_2 (истеъмолнинг қуввати) ки-



7.3- расм.

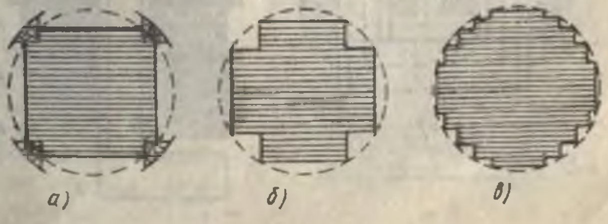
Магнитўтказгичнинг конструкциясига ва чулғамларнинг жойлашувига кўра трансформаторларнинг икки тури бўлади: стерженли (7.2- расм, *a*, 7.5- расмга қ.) ва зирхли (7.2- расм, *б* га қ.), улардан стерженлиси кўпроқ ишлатилади.

Чулғамлар. Чулғамларнинг конструкцияси, уларнинг изоляцияси, стерженларда маҳкамлаш усуллари трансформаторнинг қуввати ва кучланишга боғлиқ.

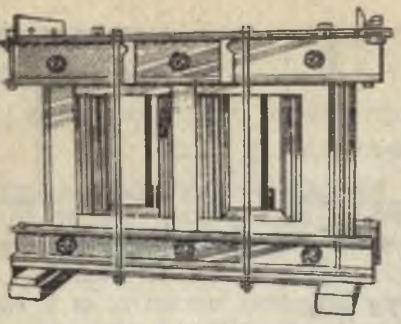
Чулғамлар механик мустаҳкамлиги етарли даражада катта, электр изоляцияси яхши бўлиши, яхши совитиладиган бўлиши лозим; улар оддий ва қулай тайёрланган ҳамда арзон, энергия исрофлари кам бўлиши керак.

Трансформаторларнинг чулғамларини тайёрлаш учун доиравий ёки тўғри тўртбурчак кесимли мис симлар ишлатилиб, улар устидан оддий ипдан тўқима ёки кабель қоғози билан изоляцияланган бўлади.

Ҳар бир трансформаторда юқори кучланишли (*ВН*) чулғам билан паст кучланишли чулғам (*НН*) бўлади. Чулғамларни бундай ажратишнинг амалий аҳамияти шундаки, анча юқори кучланиш чулғамнинг, унинг ки-



7.4- расм.

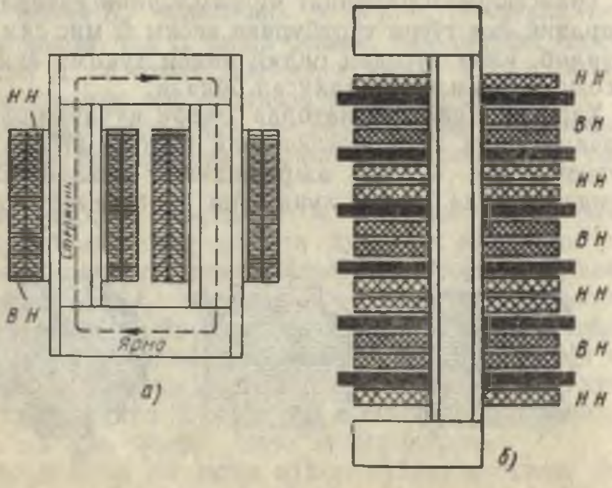


7.5- расм.

риш қисмаларининг электр изоляцияси анча ишончли бўлишини талаб этади.

Шунинг учун магнит ўтказгичдан кейин *ВН* чулғами жойлаштирилади. Бир-бирига нисбатан жойлашувига қараб концентрик чулғамлар ва навбатлашиб келадиган дискли чулғамлар бўлади (7.6-расм, *а, б* га қ.), улардан концентрик чулғамлар кўп тарқалган.

Концентрик чулғамлар цилиндр шаклида бўлади. Конструкцияси жиҳатдан улар бир қатламли, тўғри тўртбурчак кесимли симдан қилинган икки қатламли, доиравий кесимли симдан қилинган кўп қатламли, ғалтакли кўп қатламли ва б. бўлади. Трансформаторнинг қуввати катта бўлмаганда ва паст кучланишларда цилиндрсимон чулғамлар бевосита магнитўтказгич стерженига кийдирилади (стерженни сиқиб турувчи ёғоч пона ва планкалар бир вақтнинг ўзида изоляция ва-



7.6- расм.

зифасини ҳам бажаради). Бошқа ҳолларда чулғам электрокартондан ёки бакелит локи шимдирилган ўров қоғозидан тайёрланган цилиндрга жойлаштирилади.

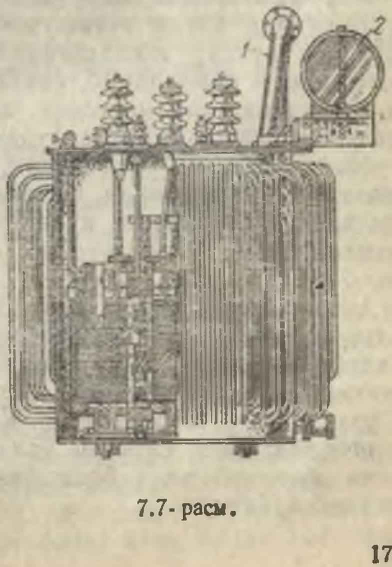
Навбатлашиб келадиган *дискли чулғамлар* дисклар шаклида тайёрланади (ўрамлар битта текисликда ўралган). Магнитўтказгич стерженида алоҳида *НН* ғалтаклар (дисклар) *ВН* ғалтаклар билан навбатлашиб келади (7.6-расм, *б*).

Трансформаторларни совитиш. Трансформаторнинг ўзаги ва чулғамларида энергиянинг исроф бўлиши иссиқлик чиқишига сабаб бўлади, унинг бир қисми трансформаторни иситади, бошқа қисми эса теварак-атрофдаги муҳитга тарқалади. Трансформатор қизиган сари иссиқлик бериш кўпайиб боради ва маълум температурада иссиқлик мувозанати қарор топади: трансформаторда ажралган барча иссиқлик теварак-атроф-муҳитга тарқалади.

Қарор топган температура рухсат этиладиган даражада ортиб кетмаслиги керак, акс ҳолда электр-изоляция материалларининг электр ва механик хоссалари кескин ёмонлашганлиги туфайли трансформаторнинг ишончлилиги ва ишлаш муддати анча камаяди.

Кам қувватли трансформаторларнинг иссиқлик бериши кўпчилик ҳолларда температура рухсат этилгандан ортиб кетмайдиган даражада бўлади ва бу ҳолда улар «қуруқ», яъни ҳаво билан табиий совитиладиган қилиб ишлаб чиқарилади.

Трансформаторларнинг кўпчилиги (барча тармоқ трансформаторлари ва баъзи махсус трансформаторлар) мой билан совитиладиган бўлади, бунинг учун магнитўтказгич ва чулғамлар трансформатор мойи солинган бакка жойлаштирилади (7.7-расм); мой чулғамлар-



7.7-расм.

нинг магнит ўтказгичдан изоляциясини кучайтиради ва бир вақтнинг ўзида уларни совитиш учун хизмат қилади.

Мой магнитўказгич билан чулғамлардан иссиқликни олади, уни бак деворларига узатади, бак деворларидан эса иссиқлик теварак-атрофдаги ҳавога тарқалади. Иссиқлик манбаига тегиб турган мой қатламлари бошқаларидан кўра кўпроқ исийди, шу сабабли бакда мой ҳаракатга келади, бу эса магнит ўтказгич ва чулғамларнинг яхши совишига имкон беради.

Силлиқ деворли бак қуввати 20—30 кВА гача трансформаторларда етарли даражада совитади, трансформаторнинг қуввати бундан юқори бўлганда эса гофрланган (қат-қат бурма), трубали, радиаторли баклар ишлатишга тўғри келади. Янада қувватли трансформаторларда мажбурий циркуляция амалга ошириладиган ва мой совитиладиган бўлади.

Мой исиганда кенгаяди, шу сабабли қўшимча ҳажм назарда тутилади. Қуввати 50 кВ·А дан катта ва кучланиш 6 кВ дан юқори бўлганда трансформаторларга кенгайтиргич *2* ўрнатилади; у бак қопоқғига ўрнатилган ва бак ҳамда атмосфера билан туташган цилиндр шаклидаги идишдан иборат.

Кам қувватли трансформаторларда кенгайтиргич бўлмайди, лекин мой қопқоғига қадар қуйилмайди. Трансформаторнинг нагрузкаси анча ортиб кетганда ёки чулғамларда қисқа туташув бўлганда мойнинг температураси рухсат этиладиган чегарадан кўтарилиб кетади ва мой парчаланиб, газлар ажралиб чиқади. Бунда бак шикастланишининг олдини олиш мақсадида қуввати 1000 кВ·А бўлган трансформаторларда тортиш трубаси (мўри) *1* ўрнатилади, унинг ташқаридаги учи шиша мембрана билан бекитилган бўлади. Бакда босим хавфли даражада кўпайиб кетганда газлар мембранани босим билан итариб, отиб юборади ва бакдан чиқиб кетади.

Авария ҳолатларида газлар жуда кўп ажралиб чиқади; шундай ҳолатлар учун ўртача ва катта қувватли трансформаторларда муҳофаза бўлади, унинг сезгир органи бакни кенгайтиргич билан туташтирувчи трубага ўрнатилган газ релесидир. Газ релеси ишга тушганида огоҳлантириш сигнали чалинади, газ айниқса шиддатли ажралиб чиқа бошлаган ҳолларда трансформатор узиб қўйилади.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Трансформация коэффициенти қуйидаги қийматларга эга бўлиши мумкин: $K>1$; $K<1$; $K=1$. Бу қийматлардан қайси бири кучайтирувчи ва қайси бири пасайтирувчи трансформаторга тегишли?

2. Битта трансформаторнинг ўзидан кучланишни оширувчи ва кучланишни пасайтирувчи трансформатор сифатида фойдаланиб бўладими?

3. Трансформатор ўзагини устма-уст усулда йигишнинг афзалликларидан бири шундан иборатки, бунда стерженлар ва ярмо орасидаги ҳаво тирқишларнинг камайишига эришилади. Нима учун бу тирқишлар магнит ўтказгичнинг ўлчамларига нисбатан жуда кичик бўлса ҳам уларни янада кичрайтириш чоралари кўрилади?

4. Трансформаторларда НН чулғамлар магнит ўтказгичга яқин, ВН чулғам эса узоқроқ жойлаштирилади. Бундай жойлаштиришнинг чулғамларнинг электр изоляцияси нуқтаи назаридан қандай афзаллиги бор? Концентрик чулғамлар қилиш учун мис сарфи нуқтаи назариданчи?

5. Маълумки, қуввати ортган сари трансформаторларнинг ўлчамлари катталашади ва уларнинг ф. и. к. кўпаяди. Нима учун қуввати катта трансформаторлар анча шиддатли совитишни талаб этади?

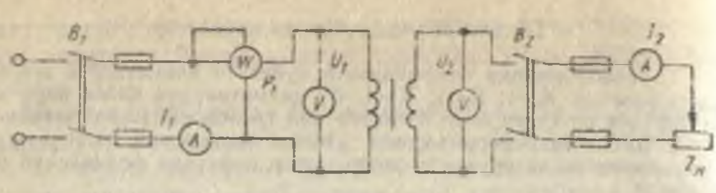
7.1-масала. Номинал қуввати 25 кВ·А бўлган бир фазали трансформатор 200 В кучланишда аралаш нагрузкани таъминлайди. Нагрузканинг қаршилиги: актив 2 Ом, индуктив 1,5 Ом. Қувват коэффициенти сақланиш шарти билан трансформаторга улаш мумкин бўлган қўшимча нагрузканинг қаршилигини (актив ва индуктив) топинг. Ушбу трансформаторга улаш мумкин бўлган қўшимча ёритиш нагрузкасининг кувватини аниқланг.

7.2-масала. Уч фазали трансформаторга умумий қуввати 60 кВт бўлган ёритиш нагрузкаси уланган. Шу нагрузкада трансформаторнинг линия кучланиши $U_2=220$ В, $U_1=6000$ В. Агар трансформатор чулғамлари юлдуз усулида уланган, ушбу нагрузкада унинг ф. и. к. эса $\eta=0,9$ бўлса, чулғамлардаги токларни топинг. Худди шунга ўхшаш ҳисоблашларни трансформатор нагрузкасининг актив қуввати $P_2=48$ кВт, $\cos\alpha=0,8$ бўлган ҳол учун бажаринг.

7.2-§. ТРАНСФОРМАТОРНИНГ РЕЖИМЛАРИ

Трансформаторнинг ишлашини таҳлил қилишда унинг ишлаш, салт ишлаш ва қисқа туташув режимлари кўриб чиқилади.

Трансформатор нормал ишлатилаётган вақтда у нагрузкали бўлади (профилактик кўздан кечириш ва ремонт даврлари бундан мустасно), агар трансформатор номинал кучланишларда номиналга яқин нагрузка билан узоқ вақт ишласа, иш режимининг техник-иқтисодий кўрсаткичлари энг яхши бўлади. Салт ишлаш ва қисқа туташувдаги синов режимларига нисбатан шуни айтиш лозимки, уларни кўриб чиқиш иш жараёнларини ва ишлатилиш шароитларини яхши тушуниб олишдан ташқари тажриба ёки ҳисоблаш йўли билан трансфор-



7.8- расм.

маторнинг қатор муҳим характеристикаларини ҳам аниқлашга имкон беради.

Салт ишлаш режими. Трансформаторнинг салт ишлаш режимида (7.8- расм) бирламчи чулғами тармоққа номинал кучланиш $U_{1ном}$ остида уланган (узгич B_1 ёпиқ), иккинчи чулғами эса узгич B_2 билан узилган ($I_2 = 0$) бўлади.

Иккиламчи чулғам қисмаларида кучланиш номинал кучланишга тенг $U_{2x} = U_{2ном}$. Чулғамлардаги кучланишларни ўлчаб, трансформация коэффициентини топиш мумкин [(7.2) формулага қ.]

Ўзакдаги асосий магнит оқими Ф ни бирламчи чулғамнинг магнитловчи кучи $I_c N_1$ вужудга келтиради, бунда шу чулғамдаги ток салт ишлаш токи дейилади ($I_1 = I_c$).

Бирламчи чулғам занжирига уланган ваттметр трансформаторнинг салт ишлашдаги актив қувватини (P_c), яъни номинал кучланишда магнит ўтказгичдаги исрофлар қувватини кўрсатади. (7.3) тенгликка қайтиб шуни таъкидлаб ўтамизки, $P_1 = P_c$; $P_2 = 0$, чунки нагрузка узиб қўйилган; чулғамлардаги исрофлар қуввати (2.14) формула билан ифодаланади, лекин ток $I_2 = 0$, $I_1 = I_c$ эса номинал токка нисбатан жуда кичик (ўртача 5,5%) шу сабабли электр исрофларини эътиборга олмаслик ва салт ишлаш режимида $P_1 = P_c = P_м$ деб ҳисоблаш мумкин.

Шу билан бирга салт ишлашда магнит исрофлар катталиги амалда иш режимидаги каби бўлади. Ҳақиқатан ҳам, магнит ўтказгичдаги исрофлар ўта магнитланиш ва уюрма токлар туфайли вужудга келади, лекин уларнинг иккаласи ҳам магнит оқими катталигига боғлиқ. Шу билан бирга магнит оқими нагрузкага деярли боғлиқ эмас, яъни унинг қиймати салт ишлашда ҳам, тўлиқ нагрузкада ҳам бир хил бўлади, чунки бирламчи кучланиш U_1 катталиги билан аниқланади, бу кучланиш эса иккала режимда ҳам бир хилдир.

магнит индукцияси чизиқлари эса ҳавода ёки бошқа ноферромагнит қисмларда қисман ёки тўлиқ туташади.

Шу сабабли иш оқими ўзакнинг магнитланиш эгри чизиғига мувофиқ токка боғлиқ бўлади, сочилиш оқимлари эса токларга мутаносибдир.

Муҳитлар бир-биридан фарқ қилганлиги сабабли сочилиш оқимлари иш оқимидан мустақил равишда кўриб чиқилади ва улар вужудга келтирадиган э.ю.к. алоҳида-алоҳида эътиборга олинади: э.ю.к. E_1 ва E_2 лар тенгламаларга ҳамда вектор диаграммаларга бевосита киритилади, сочилиш оқимлари билан боғлиқ бўлган э.ю.к. ўрнига эса индуктив қаршиликлар X_1 ва X_2 да кучланишнинг пасайиши киритилади, яъни трансформаторнинг сочилиш оқимлари қисмидаги чулғамлари одатдаги индуктив ғалтаклар сифатида қаралади (4.2- § га қ.).

Трансформаторнинг бирламчи ва иккиламчи занжирларидаги кучланишларнинг вектор шаклида ёзилган тенгламалари 7.10- расмдаги вектор диаграммани ясаш учун асос бўлади:

$$U_1 = E_1 + I_1R_1 + I_1X_1 = -E_1 + I_1Z_1, \tag{7.7}$$

$$U_2 = E_2 - I_2R_2 - I_2X_2 = E_2 - I_2Z_2. \tag{7.8}$$

Вектор диаграммада ток $\underline{I}_2$ салт ишлаш токи билан $\underline{I}_c$ бирламчи чулғамга келтирилган иккиламчи токнинг векторлар йиғиндиси сифатида кўрсатилган.

Трансформаторнинг бирламчи ва иккиламчи томонларида кучланиш билан токнинг қийматлари тахминан K марта (K — трансформация коэффициенти) фарқ қилади, бу эса ҳисоблашларни ва вектор диаграмма ясашни қийинлаштиради. Иккиламчи токни ва бошқа катталикларни ўрамларнинг бирламчи сонига келтириш билан бу қийинчиликлар бартараф этилади.

Келтирилган иккиламчи ток I_2' магнитловчи кучларнинг тенглик шартидан аниқланади: $I_2 N_2 = I_2' N_1$; $I_2/I_2' = N_2/N_1$ (7.7) тенгламада бирламчи кучланиш U_1 иккита қўшилувчининг йиғиндиси сифатида кўрсатилган, улардан бири э. ю. к. E_1 ни мувозанатлайди, иккинчиси эса бирламчи чулғамдаги кучланишнинг пасайиши I_1Z_1 га тенг. Иккиламчи томонда трансформатор энергия манбаи бўлади ва унинг кучланиши $U_2 < E_2$ дан иккиламчи чулғамда кучланишнинг пасайиши қиймати I_2Z_2 қадар кичик бўлади.

Кучланиш $U_2 = I_2 Z_2$ бевосита электр истеъмолчининг қисмаларига уланган,* шу сабабли нагрузка салт ишлаш қийматидан номинал қийматга қадар ўзгарганида трансформаторнинг чиқишидаги кучланишнинг ўзгариши (ΔU%) алоҳида аҳамиятга эга:

$$\Delta U\% = \frac{U_{\text{ном}} - U_2}{U_{2\,\text{ном}}} 100. \qquad (7.9)$$

Кучланишнинг ўзгариш қийматини (7.9) ифода озгина хатолик билан $\Delta U\% = U_{\text{ка}} \cos\varphi \pm U_{\text{қр}} \sin\varphi$ формуладан ҳам топиш мумкин, бунда $U_{\text{ка}}$ва $U_{\text{қр}}$ қисқа туташиш кучланишининг актив ва реактив ташкил этувчилари процент ҳисобида, плюс ишора индуктив, минус-сиғим нагрузкаларга тааллуқлидир.

Қисқа туташув режими. Трансформаторнинг қисқа туташув режимида бирламчи чулғам маълум кучланиш U_1 га уланган, иккиламчи чулғами эса ўзига туташтирилган ($U_2 = 0$) бўлади.

Бу режимда (7.8- расмга қ.) узиб-улагич B_2 уланган, нагрузка элементининг сурилгичи (движок) эса чапки чекка ҳолатда бўлади ($Z_{\text{н}} = 0$).

Трансформатор ишлатилаётган вақтда қисқа туташув содир бўлиши мумкин, бу ҳолда бирламчи кучланиш номиналга тенг ёки унга яқин бўлади. Бу ҳолда иккала чулғамда токлар бирданига номиналдагига нисбатан 10—20 марта ва ундан кўп ортиб кетади, чунки чулғамларнинг қаршиликлари катта эмас. Бундай режим трансформатор учун жуда хавфли, чунки чулғамларнинг температураси ҳаддан ташқари кўтарилиб кетиши ва ток ўтказувчи элементлар орасида катта механик зўриқишлар пайдо бўлиши мумкин. Шу сабабли трансформаторни яратишда етарли даражада механик ва термик мустаҳкамлиги таъминланади, унинг схемасида эса бир секунддан кам вақт ичида трансформаторни тармоқдан уза оладиган аварияга қарши муҳофаза назарда тутилади.

Авария қисқа туташувдан фарқ қилиб, трансформаторнинг синов қисқа туташуви олдиндан мўлжаллиб ўтказилади, бирламчи кучланиш $U_1 = U_{\text{к}}$ қийматга қадар пасайтирилади, бунда иккала чулғамда ушбу трансформаторнинг номинал токларига тенг токлар бўлади.

Қисқа туташув тажрибасини ўтказишда трансформаторнинг қатор характеристикалари, шу жумладан қисқа туташув кучланиши аниқланади:

$$U_{к}\% = 100\, U_{к}/U_{1ном} \qquad (7.10)$$

қисқа туташувдаги исрофлар қуввати $P_{к}$, яъни чулғамлардаги исрофлар қуввати ҳам топилади:

$$P_{к} = P_{э} = I^2_{1ном} R_1 + I^2_{2ном} R_2. \qquad (7.11)$$

Ушбу режимда энергия истеъмолчига узатилмайди, яъни магнит—ўтказгичда исрофлар қуввати кичик бўлади, чунки бирламчи чулғамда кучланиш номинал кучланишнинг борйўғи 5—10% ни ташкил этади ва ўзакда магнит оқими кам бўлади. $P_{м} = 0$ деб тахмин қилиб, (7.3) тенглик асосида шундай хулоса чиқариш мумкин: қисқа туташувнинг синов режимида трансформаторнинг бирламчи томонидаги ваттметр чулғамларда номинал токларда бўладиган исрофлар қувватини кўрсатади.

Трансформаторнинг фойдали иш коэффициенти. Трансформаторда энергия исрофлари умуман нисбатан кўп эмас. Трансформаторнинг қувватига қараб ф. и. к. нинг қиймати $\eta=0,96$ дан ($S_{ном}= 5$ кВ.А да) 0,995 гача ($S_{ном}$—ўн минглаб к$B \cdot A$) бўлади.

Шу сабабли киришдаги P_1 ва чиқишдаги P_2 қувватни бевосита ўлчашда (7.4) формула аниқ натижа бермаслиги мумкин. Бунда ф. и. к. ни аниқлашнинг анча ишончли билвосита усули—салт ишлаш ва қисқа туташувдаги исрофлар қуввати ўлчангандан кейин (7.12) ёки (7.13) формуладан аниқлаш усули қўлланилади:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1 + P_э + P_м}. \qquad (7.12)$$

Худди шу формула ёйилган ҳолда:

$$\eta = \frac{m\, U_2\, I_2 \cos\varphi_2}{mU_2 I_2 \cos\varphi_2 + m\, I_2^2\, R_к + P_м}. \qquad (7.13)$$

бу ерда m—фазалар сони.

Трансформаторнинг ф.и.к. қиймати унинг нагрузкасига боғлиқ. Бундан ташқари, истеъмолчининг қувват коэффициенти $\cos\varphi_2$ қанча катта бўлса, трансформаторнинг ф.и.к. ҳам шунча катта бўлади. Нагрузка номинал

нагрузканинг 50—70% ни ташкил этганда трансформаторнинг ф.и.к. энг катта бўлади, бу трансформаторнинг ўртача эксплуатацион нагрузкасига мувофиқ келади.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Трансформаторнинг иш режимида қайси чулғамда (бирламчи ёки иккиламчи) ток кўп бўлади: трансформация коэффициенти $K>1$ бўлганда? $K<1$ бўлганда?

2. Трансформаторнинг бирламчи ва иккиламчи чулғамлари тайёрланган чулғам симларининг кўндаланг кесим юзаси одатда бирбиридан фарқ қилади. Бу фарқни нима билан тушунтириш мумкин?

3. Куч трансформаторлари учун салт ишлашдан номинал нагрузкага ўтилганда иккиламчи кучланишнинг ўзгариши $\Delta U\%$ аниқланади. Трансформатор бу характеристикасининг унга уланган истеъмолчилар учун қандай амалий аҳамияти бор?

4. Номинал нагрузкага мувофиқ келадиган трансформатор ф. и. к. нима учун салт ишлаш ва қисқа туташув тажрибаларининг натижаларига қараб аниқланади?

5. Трансформатор ўзагидаги энергия исрофлари нима учун салт ишлаш исрофлари, чулғамлардаги исрофлар эса — қисқа туташув исрофлари дейилади?

7.3- масала. Салт ишлаш режимида синаш ва қисқа туташув тажрибаси ўтказиш натижасида бир фазали трансформатор учун қуйидагилар маълум бўлди: $U_{1c} = 3300$ В; $U_{2c} = 220$ В; $I_{1c} = 0{,}182$ А; $P_c = 70$ Вт; $U_к = 188$ В; $I_{1к} = 3{,}04$ А; $I_{2к} = 45{,}5$ А; $P_к = 250$ Вт. Қуйидагиларни: номинал қувват $S_{ном}$ қисқа туташув исрофлари қуввати $P_к$ ва қисқа туташув кучланиши чулғамлар орасида тенг тақсимланади, деб ҳисоблаб чулғамларнинг актив (R_1. R_2) ва реактив (X_2, X_1) қаршиликларини, трансформаторнинг тўлиқ нагрузкадаги ф. и. к. ни ва $\cos\varphi = 0{,}8$ ни аниқланг. Бошқа трансформатор учун қуйидагилар маълум бўлганда худди шундай ҳисоблаш ўтказинг: $U_{1c} = 6600$ В; $U_{2c} = 220$ В; $I_{1x} = 0{,}3$ А; $P_c = 300$ Вт; $U_к = 363$В; $I_{1к} = 3{,}04$ А; $I_{2к} = 91$А; $P = 600$ Вт

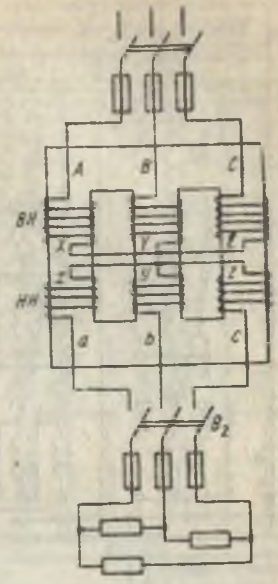
7.4- масала. Номинал қуввати 100 кВ·А бўлган уч фазали трансформаторнинг салт ишлаш исрофлари қуввати $P_c = 600$ Вт, қисқа туташув исрофлари қуввати $P_к = 2400$ Вт, қисқа туташув кучланиши $U_к = 5{,}5\%$. Қуйидагиларни: иккиламчи занжирнинг қувват коэффициенти $\cos\varphi_2 = 0{,}8$ (индуктив нагрузка) деб ҳисоблаб, тўлиқ нагрузкадаги кучланишнинг фоиз ҳисобидаги ўзгаришини, худди шу $\cos\varphi_2$ да ва нагрузка $S_{ном}/2$ бўлганда трансформаторнинг ф. и. к. ни аниқланг. Ушбу трансформаторнинг тўлиқ нагрузкадаги ва иккиламчи занжирда қувват коэффициентлари $\cos\varphi_2 = 1$ ҳамда $\cos\varphi_2 = 0{,}6$ бўлгандаги (сиғим нагрузка) кучланишнинг ўзгаришини (% да) топинг.

7.3- §. ТРАНСФОРМАТОРЛАРНИНГ ТУРЛАРИ ВА УЛАРНИНГ ИШЛАТИЛИШИ

Трансформаторларнинг турлари ва конструкцияларининг ниҳоятда хилма-хиллиги уларнинг вазифаси, шунингдек қуввати ва кучланиши турлича эканлиги сабаблидир.

Улардан амалда энг катта аҳамиятга эга бўлган баъзиларини кўриб чиқамиз.

Уч фазали трансформатор. Уч фазали трансформаторнинг тузилиш схемаси 7.11- расмда кўрсатилган. Учта ўзак стерженларининг ҳар бирида битта фазанинг иккита чулгами (ВН ва НН) жойлашган. Бундан олдинги иккита параграфда кўриб чиқилган масалалар бир фазали трансформаторга ҳам, уч фазали трансформаторга ҳам (битта фазасига татбиқ этилганда) тааллуқлидир.



7.11- расм.

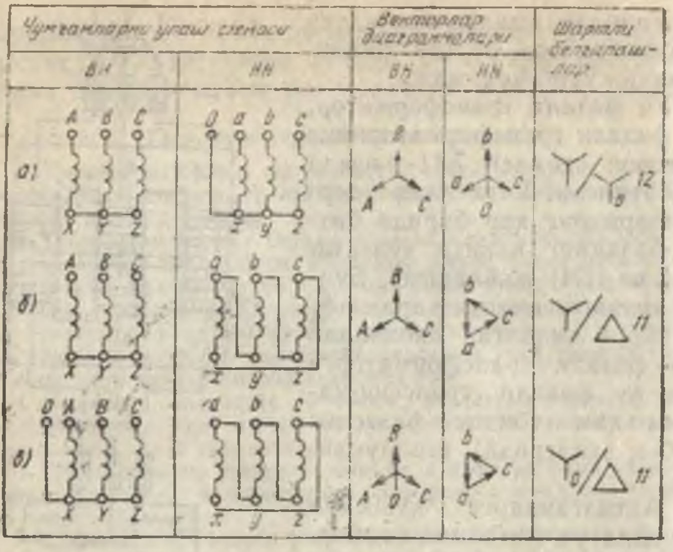
Айтилганларга қўшимча равишда уч фазали трансформаторларнинг чулғамлари юлдуз (Y) ёки учбурчак (Δ) усулида уланишини таъкидлаб ўтамиз.

Мумкин бўлган барча вариантлардан ГОСТ 401—41 да фақат учта схема (7.12- расм, *а, б, в*) ҳамда иккита бирикиш группаси *11* ва *12* назарда тутилган. Трансформаторларни уланиш группалари бўйича ажратишга линия кучланишлари — бирламчи ва иккиламчи кучланишлар орасидаги фазаларнинг силжиш бурчаги α асос қилиб олинган. Бурчак α нинг қиймати уланиш усулига, чулғамларнинг ўралиш йўналишига ва чулғам қисмаларининг белгиланишига боғлиқ.

Охирги икки омилнинг таъсирини 7.13- расмдан бир фазали трансформатор мисолида кўрсатиш мумкин, расмда *ВН* ва *НН* қисмалар тегишлича *А*, *Х* ҳамда *a*, *x* ҳолида белгиланган.

Ўрамлар йўналиши ва қисмаларнинг белгиланиши 7.13- расм, *а* даги каби бир хил бўлса, иккала чулгамнинг э.ю.к. бир хил ишорали қисмаларга нисбатан бир хил йўналган (масалан, охиридан учига томон) бўлади. Демак, иккала чулғам қисмаларидаги кучланишлар ва фаза жиҳатдан бир-бирига мос келади, бу вектор диаграммада кўрсатилган.

Уланиш группаларини шу кучланишлар векторлари-

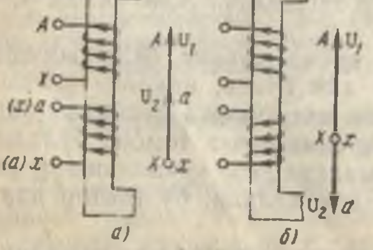


7.12- расм.

нинг нисбий ҳолатини соат циферблатидаги стрелкаларининг ҳолати билан таққослаб белгилаш қабул қилинган.

Бирламчи кучланиш вектори U_1 соатнинг 12 рақамга йўналган минут стрелкаси билан устма-уст туширилади, иккиламчи кучланиш вектори U_2 эса соат стрелкаси сифатида қабул қилинади. Кўриб чиқилаётган мисолда иккала вектор U_1 ва U_2) 12 рақамига йўналган (соат вақт 12 бўлганлигини кўрсатмоқда) ва трансформаторнинг уланиш группаси иш рақам билан белгиланади.

Агар иккиламчи чулғам қисмаларининг белгиланиши (7.13- расм, *а* да қавслар ичидаги ҳарфлар) ёки



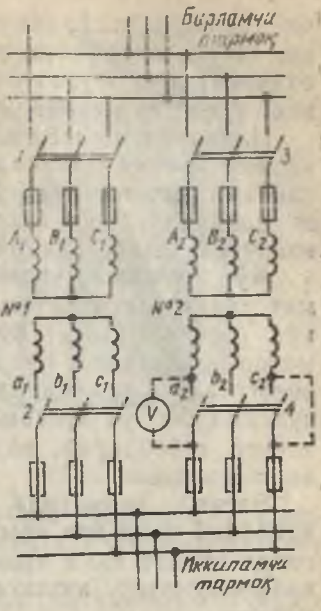
7.13- расм.

ўралиш йўналиши (7.13- расм, *б*) ўзгартирилса, у ҳолда иккиламчи кучланиш вектори U_2 диаграммада U_1 га нисбатан қарама-қарши томонға йўналади ва группа 6 рақами билан белгиланади.

Уч фазали трансформаторда чулғамлар 7.12-

расм, а даги схема бўйича уланганда (Y/Y—12) бирламчи ва иккиламчи линия кучланишлари фаза жиҳатдан мос келади (7.13- расм, *а*), шу сабабли векторларнинг соат циферблатига нисбатан баён қилинган тартибда жойлашуви уланиш группаси *12* эканлигини кўрсатади.

Берилган схемада иккиламчи томонда фазаларнинг бошланиши билан бирга нолинчи нуқта ҳам чиқарилган, бу шартли белгиланишда махражда кўрсатилган. 7.12- расм, *б* даги схема бўйича уланишлар группага ҳам худди шунга ўхшаш аниқланади, у Y/Δ —11 билан белгиланади (ўша ердаги вектор диаграммага қ.).



7.14 - расм

Уланишлар группаси ҳақидаги тушунча трансформаторларни параллел ишлайдиган қилиб улашда катта аҳамиятга эга, бунда бирламчи чулғамлар умумий манбадан энергия олади, иккиламчилари эса умумий истеъмолчини энергия билан таъминлайди (7.14- расм). Қуйидаги шартлар бажарилганда трансформаторларни параллел ишлайдиган қилиб улаш мумкин: 1) уланишлар группаси бир хил; 2) бирламчи ва иккиламчи номинал кучланишлар бир хил (трансформация коэффициентлари орасидаги фарқ 0,5% дан кўп бўлмаслиги керак); 3) қисқа туташув кучланишлари бир хил (±10% фарқ қилишига рухсат этилади).

Биринчи ва иккинчи талабнинг бажарилмаслиги салт ишлашда трансформаторларнинг чулғамларида катта тенглаштирувчи токлар пайдо бўлишига олиб келади, бу эса чулғамларнинг қаршиликлари кичик бўлганда амалда қисқа туташув бўлган ҳол билан бир хилдир.

Авария бўлишига йўл қўймаслик учун трансформаторлар муайян тартибда (махсус инструкцияга мувофиқ) уланади, бунда масалан, вольтметр *V* (иккилам-

чи занжирдаги) ёрдамида назорат текшируви ўтказилиши шарт. Қисмаларига вольтметр уланган узиб-улагич охирида, лекин узиб-улагич қисмалари орасида кучланиш йўқлигида уланади.

Параллел ишлаётган трансформаторларнинг нагрузкаси уларнинг номинал қувватига мутаносиб равишда тақсимланиши лозим. Бунинг учун учинчи шарт бажарилиши шарт. Акс ҳолда трансформаторлардан бирида нагрузка ошиб, иккинчисида камайиб кетади.

Кўп чулғамли трансформаторлар. Агар трансформаторнинг ўзаги битта, чулғамлар сони эса иккитадан кўп (битта фазага) бўлса, у кўп чулғамли трансформатор дейилади. Бундай турдаги трансформаторлар энергетик қурилмаларда (асосан, иккита иккиламчи чулғами бор уч чулғамли трансформаторлар) маиший электр асбобларда, радиоаппаратура ва автоматикада ишлатилади.

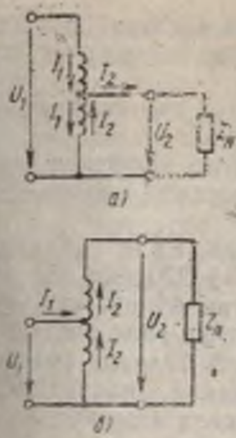
Электр тармоғида трансформаторнинг иккиламчи томонида икки хил номинал кучланиш олиш зарур бўлганда иккита икки чулғамли ўрнига битта уч чулғамли трансформатор ишлатиш иқтисодий жиҳатдан афзал бўлади.

Маиший электроаппаратура ва радиоаппаратура учун кўп чулғамли трансформаторлар турли хил асбоблар занжирини (масалан, радиаппаратураларда — анод, чўғланиш сигнал ва ҳ. занжирларни) таъминлаш учун бир неча иккиламчи чулғамли қилиб тайёрланади, бунда бирламчи чулғамда турли хил кучланишга (масалан, 220 ва 127 В) узиб-улаш имконияти назарда тутилади.

Автотрансформаторлар. Пасайтирувчи автотрансформаторнинг принципиал схемаси 7.15- расм, *а* да, кучайтирувчиники —7.15- расм, *б* да кўрсатилган. Расмдан кўриниб туриптики, автотрансформатор чулғамининг бир қисми бирламчи ва иккиламчи занжирларга таааллуқлидир.

Бирламчи кучланиш U_1 N_1 миқдордаги ўрамлар орасида бир текис тақсимланган ва уларнинг биттасига U_1/N_1 кучланиш тўғри келади. Иккиламчи кучланиш иккиламчи занжирга тааллуқли ўрамлар сони N_2 га мутаносиб $U_2 = U_1N_2/N_1$. Бундан, бирламчи ва иккиламчи кучланишлар орасидаги нисбат $U_1/U_2 = N_1/N_2$ бир фазали трансформатордаги каби бўлади, деган хулоса келиб чиқади.

Автотрансформаторлар кучланишнинг нисбатан ки-



7.15- расм.

7.16- расм.

чик ўзгаришлари учун ишлатилади (юқори кучланишларда трансформация коэффициенти $K=1{,}5 \div 2$ ва паст кучланишларда $K=3$).

Трансформация коэффициенти катталашиши билан автотрансформаторларни электр тармоқларида ишлатишнинг иқтисодий жиҳатдан, мақсадга мувофиқлиги камаяди; бундан ташқари, юқори ва паст кучланиш занжирларининг электр жиҳатдан боғлиқлиги ҳам чекланишга сабаб бўлади. Масалан, номинал кучланиши 220 В бўлган истеъмолчиларни 6000 В кучланишли тармоқдан автотрансформатор орқали таъминлаб бўлмайди, чунки бу паст вольтли ускунага хизмат кўрсатаётган ходим учун хавфлидир; тақсимлаш тармоғи эса 600 В га мўлжалланган изоляцияга эга бўлиши керак, бу эса паст 220 В кучланишдагига нисбатан анча қимматга тушади. Автотрансформаторнинг иккиламчи томонидаги ўрамлар сонини ўзгартириш билан иккиламчи кучланишни ростлаш мумкин, лаборатория қурилмалари учун кам қувватли авотрансформаторлар ўрнатишда ана шундан фойдаланилади.

7.16- расмда чулғам *3* билан қўзғалувчан чўтка *2* орасида сирпанувчи контактли лаборатория автотрансформатори кўрсатилган, контактни даста *1* билан суриш ва кучланишни нагрузкага мувофиқ ростлаш мумкин.

Кучланишни босқичли ўзгартириш учун иккиламчи томонда чулғамдан бир неча шохобча чиқарилади ва

узиб-улагич ўрнатилади. Уч фазали автотрансформаторнинг чулғамлари нолинчи нуқтаси чиқарилган юлдуз усулида уланади.

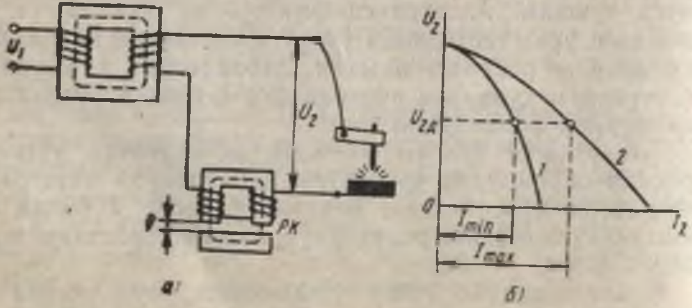
Тегишли конструкциядаги автотрансформаторлар ўзгарувчан ток электр двигателларини ишга тушириш, кучланишлари турлича бўлган иккита электр системани боғлаш учун, шунингдек, тақсимлаш тармоқларида ишлатилади.

Пайвандлаш трансформаторлари. Ёйли пайвандлаш учун трансформатор (7.17- расм, *а*) 220 ёки 380 В ли тармоққа улаш учун мўлжалланган бўлиб, иккиламчи томонда электр ёйи ҳосил қилиш учун салт ишлаш кучланиши етарли даражада 60—70 В бўлади; ташқи характеристикаси (7.17- расм, *б*) кескин пасаядиган ва шу билан боғлиқ ҳолда нагрузка салт ишлашдан қисқа туташувга қадар кескин ва тез-тез ўзгарганида токи қисман ўзгаради; пайвандлаш занжирида индуктивлик юқори ($\cos\varphi = 0,4 \div 0,5$) бўлади.

Бу хоссалар электр ёйнинг узлуксиз барқарор ёнишини ва номинал токнинг икки баравар қийматида қисқа туташув токи чекланган бўлишини таъминлайди.

Индуктивликни ошириш учун трансформаторнинг магнит сочилиши сунъий равишда оширилади ёки иккиламчи занжирга реактив ғалтак (PF) кетма-кет уланади. Қўшимча ғалтакнинг магнит қаршилигига ҳаво тирқишини ўзгартириш йўли билан таъсир этиш мумкин. Бу индуктив қаршилик билан пайвандлаш токининг ўзгаришига олиб келади.

Ўлчаш трансформаторлари. Юқори кучланишли электр қурилмаларда кучланиш ва токни ўлчайдиган



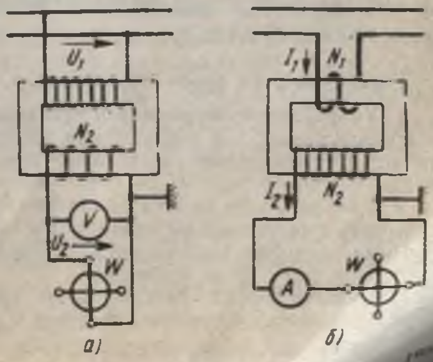
7.17- расм

трансформаторлар ишлатилади, улар ёрдамида бир вақтнинг ўзида иккита масала ҳал қилинади: 1) ўлчов асбоблари занжири юқори кучланиш тармоғидан ажратилади, бу билан уларга хизмат кўрсатиш хавфсизлиги таъминланади ва уларнинг электр изоляцияси соддалаштирилади; 2) асбобларнинг ўлчаш чегаралари кенгайтирилади, бу катта кучланиш ва токларни ўлчаш учун стандарт асбоблардан (100 В гача бўлган вольтметрлар ва 5 А гача бўлган амперметрлар) фойдаланишга имкон беради.

Кучланишни ўлчаш трансформатори (7.18- расм, *а*) нинг бирламчи чулғами юқори вольтли тармоққа ўлчанадиган кучланишга уланади (параллел). Номинал бирламчи кучланишда иккиламчи кучланиш 100 В бўлади. Кучланиш трансформаторларининг иккиламчи занжирларига вольтметрлар, ваттметр ва бошқа асбобларнинг кучланиш чулғамлари, кучланиш релеси уланади.

Бу асбобларнинг қаршилиги нисбатан катта (юз ва минглар ом) бўлади ва улар иккиламчи чулғамга нисбатан параллел уланишига қарамай, нагрузканинг умумий қаршилиги кучланиш трансформатори салт ишлашга яқин режимда ишлайдиган даражада бўлади. Шу сабабли чулғамларда кучланиш пасайиши кам, бинобарин, ўлчанадиган кучланиш U_1 иккиламчи занжирдаги вольтметрнинг кўрсатишларига U_2 мутаносиб, деб амалиёт учун етарли даражада аниқлик билан айтиш мумкин: $U_1 = K_u U_\alpha$, бунда K_v — кучланиш трансформаторининг трансформация коэффициенти ($K_v = N_1/N_2 \gg 1$).

Кучланишни ўлчаш трансформатори учун қисқа туташув режими куч трансформатори учун бўлгани каби хавфлидир. Бирламчи чулғамли токни ўлчаш тран-



7.18- расм.

сформатори (7.18- расм, *б*) битта ёки бир неча ўрамли бўлиб, ўлчанадиган ток занжирига (кетма-кет) уланади. Номинал бирламчи токда иккиламчи ток 5 ёки 10 А ни ташкил этади. Ток трансформаторларининг иккиламчи занжирларига амперметрлар, ваттметр ва бошқа асбобларнинг ток чулғамлари, ток релеси уланади. Бу асбобларнинг қаршилиги кичик (омнинг улушлари қадар) бўлади ва улар иккиламчи чулғамга нисбатан кетма-кет уланишига қарамай, нагрузканинг умумий қаршилиги 1 Ом дан кам бўлади, шу сабабли ток трансформатори қисқа туташув режимига яқин режимда ишлайди.

Ток трансформатори магнитловчи кучи $I_x N_1$ нинг қиймати [(7.5) тенгламага қ.] кичик (кўпайтмада иккала кўпайтувчи ҳам кичик), шу сабабли ўлчанадиган ток I_1 иккиламчи занжирдаги амперметрнинг кўрсатишлари I_2 га мутаносиб, деб амалиёт учун етарли аниқлик билан айтиш мумкин: $I_1 = K_1 I_2$, бунда K_1 — ток трансформаторининг трансформация коэффициенти ($K_1 = N_2/N_1 \gg 1$).

Салт ишлаш режимида $I_2 = 0$ бўлади, ток I_1 эса камаймайди, шу сабабли магнитловчи куч $I_1 N_1$ ўзакда катта магнит оқимини ҳосил қилади. Натижада ўзакдаги магнит исрофлар кескин кўпаяди, шу туфайли ўзак қизиб кетади; иккиламчи чулғамдаги э. ю. к. ҳам анча кўпаяди ва хизмат кўрсатувчи ходимлар учун хавфли қийматга етади. Шу сабабли ток трансформаторининг салт ишлаш режимига ўтишига йўл қўйиб бўлмайди, шунинг учун иккиламчи занжирда асбоб узилганда иккиламчи чулғам қисқа туташтирилади.

Ўлчаш трансформатори (кучланиш ва ток трансформатори) чиқиш симларининг бири ва ғилофи асбобларга хизмат кўрсатиш хавфсизлигини таъминлаш мақсадида ерлантирилади.

Текшириш учун савол ва масалалар

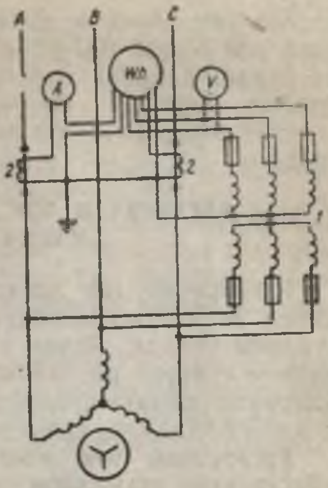
1. Уч фазали трансформатор чулғамларини улашнинг 7.12- расмда кўрсатилганлардан ташқари яна қандай схемалари бор? Сиз тавсия этган схемаларнинг ҳар бири уланишларнинг қайси гуруҳига киради?

2. 7.14- расмдаги схемада назорат вольтметри узиб қўйилган узиб-улагичнинг қисмлари орасидаги кучланишни бир фазада ўлчайди. Нима учун ўша узиб-улагичнинг бошқа фазадаги қисмалари бирбири билан сим орқали уланган?

3. Қуввати бир хил бўлган иккита трансформаторнинг қисқа туташув кучланишлари турлича, аниқроғи $U_{қ1} > U_{қ2}$. Параллел ишлаганда бу трансформаторларнинг қайси бирида нагрузка кам бўлади?

4. Кучланиш ва ток ўлчаш трансформаторларининг иш режимида иккиламчи чулғамнинг чиқиш симларидан бири ва ғилофи асбобларга хизмат кўрсатиш хавфсизлигини таъминлаш мақсадида ерлантирилган (7.18- расм, *а, б* га қ.) Бундай ерлантириш бўлмаганида хавф нимадан иборат бўлади?

5. Пайвандлаш токининг қийматини ростлаш учун реактив ғалтак ўзагидаги ҳаво тирқиши ўзгартирилади (7.17- расмга қ.). Агар ҳаво тирқиши катталаштирилса, пайвандлаш токи қайси томонга ўзгаради?



7.19- расм.

7.5.- масала. Уч фазали трансформаторнинг битта фазасида бирламчи чулғам $N_1 = 2080$ ўрамли, иккиламчи чулғам $N_2 = 80$ ўрамли. Трансформаторнинг бирламчи линия кучланиши $U_{1ном} = 3300$ В. Иккиламчи линия кучланишларини, чулғамлар Y/V; Y/Δ; Δ/Y; Δ/Δ схемаларда уланганда фаза ва линия кучланишларининг трансформация коэффициентларини аниқланг.

7.6- масала. 7.19- расмда уч фазали занжирда электр ўлчов асбобларини ток *2* ва кучланиш *1* ўлчаш трансформаторлари орқали улаш схемаси кўрсатилган. Шунга ўхшаш схема тузинг, унда кўрсатилган электр ўлчов асбобларидан ташқари муҳофаза аппаратлари: иккита ток релеси ва битта кучланиш релеси ҳам уланган бўлсин. Бир фазали занжирда ток, кучланиш ва қувватни ток ҳамда кучланишни ўлчаш трансформаторлари орқали ўлчаш схемасини тузинг.

8- БОБ

ЎЗГАРУВЧАН ТОК ЭЛЕКТР МАШИНАЛАРИ

Барча турдаги электр машиналар ишлашининг физик асосини электромагнит ҳодисалари: магнит майдоннинг куч таъсири ва электромагнит индукцияси ташкил этади. 3.6- § да механик энергия билан электр энергиясини бир-бирига айлантиришнинг принципиал имкониятлари кўрсатилган эди. Бу имкониятлар саноат миқёсида электр машиналари воситасида амалга оширилади.

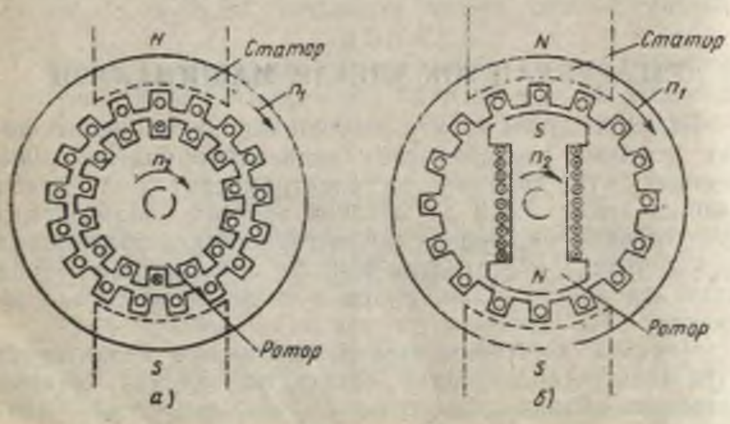
Механик энергияни электр энергиясига айлантириш учун электрогенераторлар, электр энергиясини механик энергияга айлантириш учун эса электр двигателлар хизмат қилади.

Ҳозирги вақтда ўзгарувчан токнинг синхрон ва асинхрон электр машиналари энг кўп ишлатилади. Иккала турдаги машиналар генератор ва двигатель режимларида ишлаши мумкин, Лекин амалда синхрон генераторлар ва асинхрон двигателлар энг кўп ишлатилади.

8.1-§. ЎЗГАРУВЧАН ТОК ЭЛЕКТР МАШИНАЛАРИНИНГ МАГНИТ МАЙДОНИ

Ўзгарувчан ток электр машиналарининг конструкцияси ва иш жараёнлари уларнинг вазифасига қараб турлича бўлади. Лекин уларнинг ҳаммасида қўзғалмас қисм — статор ва айланувчан қисм — ротор бўлади, уларнинг ишлаш принципи ва айланувчан магнит майдондан фойдаланишга асосланган.

Ўзгарувчан ток машиналари асосий турларининг конструктив схемалари. 8.1-расм, *а* да асинхрон машинанинг конструктив схемаси кўрсатилган, у статорнинг ўзаги ва чулғами, роторнинг ўзаги ва чулғамидан ташкил топган. Бу схемада статор билан роторнинг ферромагнит ўзаклари цилиндр шаклида бўлиб, статор ичи кавак ўзагининг ичига роторнинг ўзаги кириб туради. Улар ҳаво тирқиши билан бир-биридан ажратилган ва биргаликда машинанинг магнит ўтказгичини ташкил этади. Статор ўзагининг ички юзасида ва ротор ўзагининг ташқи юзасида ариқчалар бўлиб, уларга чулғамларнинг симлари жойлаштирилган.



8.1-расм

Синхрон машинанинг схемасида (8.1-расм, *б*) статорнинг ўзаги ва чулғами биринчи схемадаги кабидир, лекин ротори магнит қутблари аниқ кўриниб турадиган қилиб кўрсатилган (қутблари аниқ кўриниб турмайдиган синхрон машиналар ҳам ишлатилади).

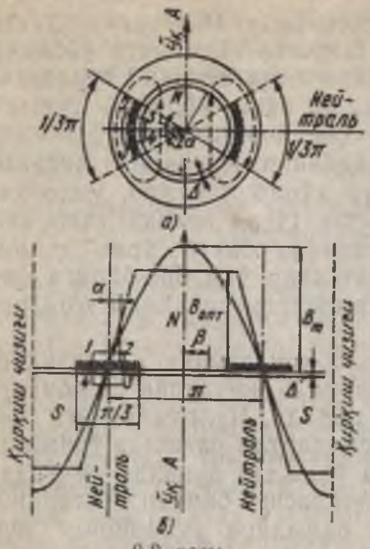
Машинанинг магнит майдонини статорнинг чулғами уч фазали бўлган ҳол учун кўриб чиқамиз, унда ҳар қайси фазага биттадан ғалтак тўғри келади (ҳар қайси ғалтак 8.4-расмдаги схемада битта ўрам ҳолида кўрсатилган). Статорда ғалтаклар ўқи бир-бирига нисбатан 120° бурчак остида кесишадиган қилиб жойлаштирилган.

Ғалтаклардаги синусоидал токларнинг амплитудаси ва частотаси бир хил, лекин фаза жиҳатдан бир-бирига нисбатан 120° га силжиган бўлади. Чулғамлардаги токларнинг мусбат йўналишлари шартли равишда ўрамларнинг бошида крестчалар ва ўрамлар охирида нуқталар билан белгиланган. Парма қоидасига биноан токларнинг бу йўналишларига магнит оқимлари ўқларининг мусбат йўналишлари мувофиқ келади, улар бир хил ишорали ғалтакларнинг ўқлари билан мос келади. Бундай токли чулғамлар системасининг магнит майдони алоҳида фазалар майдонларининг қўшилишидан ҳосил бўлади.

Битта фаза чулғамининг магнит майдони. Уч фазали чулғамнинг битта фазаси 8.2-расм, *а* да кўрсатилган, бунда унинг ўтказгичлари статор ички юзасининг 1/3 қисмига бир текис тақсимланган. Иккита бошқа фаза статор юзасининг худди шунча алоҳида-алоҳида қисмларини эгаллайди; шундай қилиб, уч фазали чулғам умуман статорнинг бутун айланаси бўйлаб ҳаво тирқиши бўйича бир текис тақсимланган ўтказгичлар системасидан иборат. Магнит оқимининг ўқига перпендикуляр, статор билан роторни икки қисмга ажратадиган текислик н е й т р а л дейилади. Бу қисмлардан бирида шимолий магнит қутб, иккинчисида жанубий қутб бўлади (8.2-расмда роторнинг қутблари кўрсатилган).

Яққол тасаввур қилиш учун 8,2-расм *б* даги статорнинг ёйилган ҳолатини ҳам кўриб чиқамиз (статорнинг цилиндрсимон сирти ҳосил этувчиси бўйлаб қирқилган ва текисликда ёйилган).

Ғалтак ўтказгичларининг бир қисми атрофида (марказий бурчак доирасида) ёпиқ контур 1—2—3—4 ўтказилган. Бу


8.2- расм.

контур учун тўлиқ ток қонунига биноан $IN_\alpha = \sum NI$, бунда N_α — танланган контур билан илашган токли ўтказгичлар сони, I — ўтказгичлардаги ток.

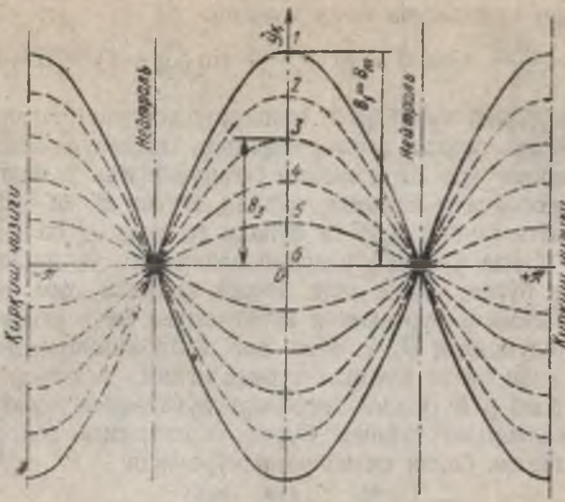
Магнит ўтказгичнинг танланган контур бўйлаб магнит қаршилиги пўлат қисмнинг (статор ва роторда) ва иккита ҳаво тирқишининг қаршиликлари йиғиндисидан таркиб топади. Лекин $\mu_{an} \gg \mu_0$, шу сабабли магнит майдон кучланганлиги бир хил бўладиган ҳаво тирқишларининг магнит қаршиликларинигина ҳисобга олиш мумкин. Демак, $H_0 2\Delta = I N_1 2\alpha$; $H_0 = \frac{I N_1 \alpha}{\Delta}$, бу ерда $N_1 = N_\alpha/2\alpha$ — марказий бурчак бирлигига тўғри келадиган ўтказгичлар сони.

Бундан қуйидагича хулоса келиб чиқади: статор айланасининг чулғам ўтказгичлари жойлашган қисмидаги ҳаво тирқишидаги магнит индукцияси α бурчакка мутаносиб, яъни ҳаво тирқиши бўйлаб чизиқли қонунга мувофиқ тақсимланган (8.2- расм, б) $B_0 = \mu_0 H_0 = \mu_0 I N_1 \alpha/\Delta$. Магнит индукциясининг энг катта қиймати марказий бурчак чегараларида, яъни $2\alpha = \pi/3$ $B_{0m} = \mu_0 IN\, \pi/6\Delta$ да бўлади ва статор айланасининг ўтказгичлар бўлмаган қисми бўйлаб ҳам худди шундай қолади.

Шундай қилиб, токли битта ғалтаги бўлган бир фазали чулғам бир жуфт магнит қутбларини (N ва S) ҳосил қилади, магнит индукциясининг тақсимланиш графиги B (α) эса тенг ёнли трапециядан иборат бўлади.

Бундай график шакли жиҳатдан синусоидага яқин бўлади, шу сабабли масалани кейин кўриб чиқиш осон бўлиши учун ҳақиқий графикни амплитудаси B_m бўлган синусоида билан алмаштирамиз, унинг қутблар ўқига (А ўққа) нисбатан тенгламаси ушбу формула билан ифодаланган:

$$B = B_m \cos \beta. \quad (8.1)$$



8.3- расм.

Ўзгармас токда магнит индукциясининг ҳаво тирқиши бўйлаб бундай тақсимланиши чулғамда ток бўлган вақтда сақланиб қолади.

Чулғамдаги ток ўзгарувчан бўлганда $i = I_m \sin \omega t$ исталган вақтда магнит индукциясининг фазовий тақсимланиши 8.3-расмда кўрсатилгани каби синусоидал бўлиб қолади, расмда магнит индукцияси эгри чизиқлари ток даврининг турли моментларида тасвирланган (эгри чизиқлар *1*, *2* ва ҳ. рақамлар билан белгиланган). Улардан исталган бирининг тенгламаси (8.1) га мувофиқ $B = B_m k \cos\beta$, бунда индекс «k» эгри чизиқнинг номерини билдиради. Ҳаво тирқишининг ҳар бир нуқтасида магнит индукциясининг қиймати ток ўзгарадиган қонун бўйича ўзгаради, шу сабабли унинг амплитудаси $B_{mk} = B_m \sin \omega t$ тенгламага мувофиқ ўзгаради. Бундан магнит индукциясининг тенгламаси келиб чиқади:

$$B = B_m \sin \omega t \cos \beta \qquad (8.2)$$

Бу ҳолда магнит майдон «пульсацияланади», шу сабабли у пульсацияланадиган магнит майдон дейилади.

Пульсацияланадиган магнит майдонни иккита айланувчи майдонга ажратиш. Тригонометриядан маълумки, $\sin \omega t \cos\beta = \frac{1}{2}\left[\sin(\omega t + \beta) + \sin(\omega t + \beta)\right]$ Бу ифодага мувофиқ (8.2)

тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$B = \frac{B_m}{2} \sin(\omega t - \beta) + \frac{B_m}{2} \sin(\omega t + \beta) = B' + B''.$$

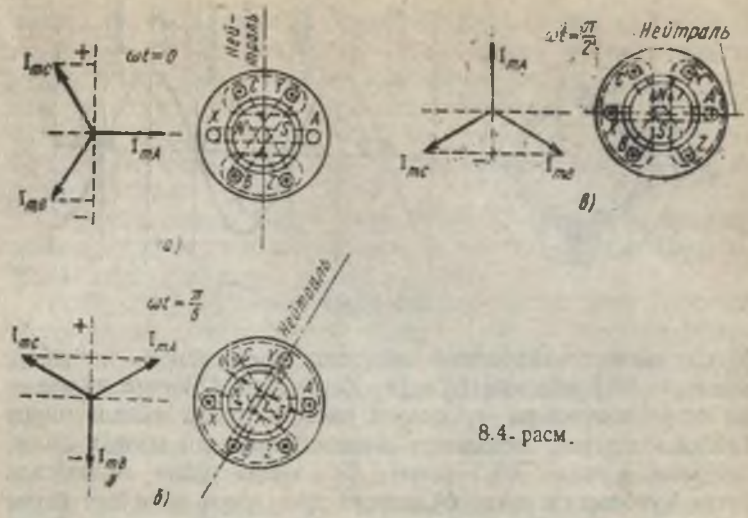
Бундан кўриниб турибдики, пульсацияланувчи магнит майдонни иккита ташкил этувчи сифатида тасаввур этиш мумкин, уларнинг ҳар бири иккита ўзгарувчи t ва β нинг функцияси ҳисобланади. Биринчи ташкил этувчи B' $\omega t - B = \pi/2$ да энг катта қиймат $B_m/2$ га бўлади ва агар ωt билан β бир вақтнинг ўзида ўзгариб, уларнинг айирмаси ўзгармас бўлиб қоладиган бўлса, $B_m/2$ нинг юқори қиймати ҳам сақланиб қолади. Лекин β бурчакнинг катталашуви вақт ўтиши билан магнит индукцияси $B_m/2$ нинг энг катта қиймати ўзгармас токдаги каби битта нуқтада турмаслигини, балки ҳаво тирқиши бўйлаб β бурчакни ҳисоблаш йўналишида (соат стрелкаси йўналишида) токнинг бурчак частотасига тенг бўлган бурчак тезлик билан силжишини кўрсатади:

$$\Omega = \frac{d\beta}{dt} = \frac{d(\omega t - \pi/2)}{dt} = \omega.$$

Иккинчи ташкил этувчи ҳақида ҳам ана шундай мулоҳазалар юритиш пульсацияланувчи магнит майдонни қарама-қарши томонга айланадиган иккита майдонга ажратиш мумкин, деган хулосага олиб келади.

Уч фазали чулғамнинг айланувчи магнит майдони. Уч фазали чулғамнинг умумий магнит майдони алоҳида фазалар майдонларининг қўшилишидан ҳосил бўлади. 8.4- расм, *а*, *б*, *в* лар бу ҳақда яққол тасаввур беради, расмда фазалар магнит майдонларининг йўналиши ва фазаларда токларнинг ўзгариши муносабати билан натижавий майдоннинг йўналиши аниқланган.

Оний токларнинг қиймати ва йўналишини вектор диаграммалар кўрсатади, бу диаграммалар симметрик токлар системасининг тенгламаларига мувофиқ келади; $i_A = I_m \sin\omega t$; $i_B = I_m \sin(\omega t - 120°)$; $i_C = I_m \sin(\omega t + 120°)$ $\omega t = 0$ да (8.4- расм, *а*) $i_A = 0$, i_B — манфий, i_C — мусбат токлар. Токларнинг йўналиши белгилангандан кейин барча ўтказгичлар системаси икки қисмга бўлиниши кўринади: улардан бирида токнинг йўналиши крестча билан, иккинчисида эса нуқта билан белгиланган. Парма қоидасига биноан ҳар қайси ғалтак майдонининг ва натижавий майдоннинг магнит индукциясининг йўналиши аниқланган, у иккита ёпиқ (штрихли) чизиқлар билан тасвирланган.



8.4- расм.

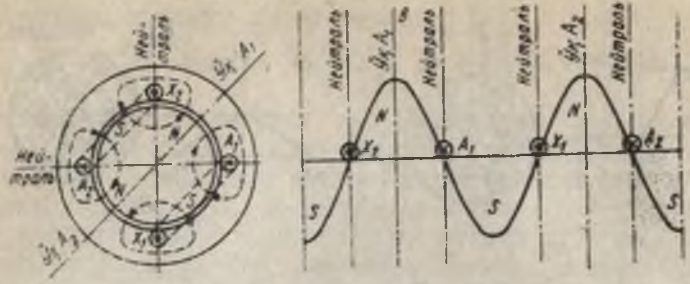
Бу чизиқларнинг йўналиши қутбларнинг ҳолатини белгилайди: нейтралдан чап томонда роторнинг шимолий қутби ва статорнинг жанубий қутби жойлашган (магнит индукцияси чизиқлари ротор сиртидан ҳаво тирқишига чиқади ва статор сиртига киради); нейтралдан ўнг томонда роторнинг жанубий қутби ва статорнинг шимолий қутби жойлашган.

$\omega t = \pi/2$ фаза бурчагига тўғри келадиган вақт моменти учун шундай ясашлар 8.4- расм, *в* да кўрсатилган, бунда $i_А$ — мусбат, $i_Б$, $i_С$ — манфий токлар эканлиги эътиборга олинган. Аввалги ҳолдаги каби ўтказгичлар системаси ҳар бирида токнинг йўналиши бир хил бўлган иккита тенг қисмга бўлинади. Натижавий магнит майдон чизма бўйлаб юқорига йўналган.

Фаза бурчаги $\pi/2$ га мувофиқ келадиган вақт ичида қутблар ўқи бурилганлигини, яъни шимолий ва жанубий магнит қутблари қўзғалмас чулғамларга нисбатан худди шундай $\pi/2$ бурчакка силжиганлигини сезиш қийин эмас.

Кейинги вақт моментлари учун ҳам (масалан, $\omega t = \pi$; $3\pi/2$, 2π да) худди шундай ясашлар қилиб, магнит қутбларнинг ўқи ўзгарувчан токнинг бир даври давомида бир айланишга бурилишига ишонч ҳосил қилиш мумкин.

Демак, агар уч фазали чулғамнинг ҳар қайси фазасига биттадан ғалтаги бўлса, яъни қутблар жуфтининг сони $p = 1$



8.5- расм.

бўлса, магнит майдоннинг айланиш частотаси $n_1 = f$ айл/с ёки $n_1 = 60\,f$ айл/мин бўлади. Ҳар қайси фазанинг чулғамини актив томонлари орасидаги масофа статор айланасининг 1/4 қисмига тенг келадиган иккита ғалтакдан иборат қилиб тайёрлаш мумкин (8.5- расм). Бу ҳолда тўлиқ айланасида битта қутблар жуфти бўладиган ҳол учун айтилган барча мулоҳазаларни статор айланаси узунлигининг ярмига битта қутблар жуфти тўғри келадиган ҳолга ҳам тааллуқли дейиш мумкин, яъни $p=2$ магнит майдоннинг айланиш частотаси $n_1 = 60\,f/2$ айл/мин умумий ҳолда эса қутб жуфтлари сони исталганча бўлганда

$$n_1 = 60\,f/p. \qquad (8.3)$$

Яна шуни ҳам таъкидлаб ўтамизки, фазада ток. I_m амплитудага етгач, натижавий магнит майдон қутбларининг ўқи шу фаза қутбларининг ўқи билан устма-уст тушади (8.3-расмда натижавий майдон A фазанинг майдони каби йўналган, бунда ток $i_A = I_m$). Ана шунинг асосида магнит майдоннинг айланиш йўналиши аниқланади. Тўғри кетма-кетликда фазаларда токларнинг максимумлари $A \to B \to C$ тартибда келади. Агар статорда фазаларнинг чулғамлари уларни кўрсатилган тартибда айланиб ўтиш соат стрелкасининг йўналишига тўғри келадиган қилиб жойлаштирилган бўлса, майдон ҳам ўша томонга айланади.

2 **Синхрон ва асинхрон электр двигателларнинг ишлаш принципи**. 8.1- расмда статорнинг уч фазали чулғамида токлар ҳосил қиладиган айланувчан магнит майдон шартли равишда магнит қутблари жуфти N ва билан кўрсатилган, уларнинг айланиш частотаси n_1 соат стрелкасининг ҳаракати бўйлаб йўналган.

Айланувчан магнит майдон ротор чулғамларининг ўтказгичларини кесиб ўтиб (8.1- расм, a га қ.), уларда

э.ю.к. индукциялайди, унинг йўналиши ўнг қўл қоидаси билан аниқланади ва битта ўрамда крестча ҳамда нуқта билан белгиланган. Роторнинг қисқа туташтирилган чулғамида худди э.ю.к. сингари йўналган ток пайдо бўлади. Магнит майдон токли ўтказгичларга чап қўл қоидасига кўра йўналган электромагнит куч $F_м$ билан таъсир этади.

Кучлар ротор ўқига нисбатан айлантирувчи момент ҳосил қилади, унинг таъсирида ротор магнит майдон айланадиган томонга қараб айланади.

Роторнинг айланиш частотаси n_2 майдоннинг айланиш частотасидан доимо кичик бўлади ($n < n_1$, ротор майдонга нисбатан «сирпанади»): $n_2 = n_1$ бўлганда (сирпаниш йўқ) двигатель ишлай олмайди. Сирпаниш туфайли ротор чулғамининг ўтказгичларида э. ю. к. вужудга келади, ток ва электромагнит кучлар ҳосил бўлади. Шу принцип асосида ишлайдиган электр двигателлар асинхрон двигателлар дейилади.

Агар айланувчан магнит майдонга қисқа туташган ўрам ўрнига чулғамида ўзгармас ток бўлган электромагнит (8.1-расм, *б* га қ.) ёки доимий магнит жойлаштирилса, унинг доимий магнит майдони статорнинг айланувчи майдони билан ўзаро таъсирлашади. Бундай ротор унинг қутбларининг ўқи (электромагнит ичида жанубий қутбдан шимолийга қараб йўналган) статор магнит майдонининг йўналишига мос келадиган ҳолатни эгаллашга ҳаракат қилади.

Саторнинг айланувчан магнит майдони роторни «илаштириб кетади», ротор ҳам майдон айланадиган томонга ва ўша тезликда айланади, яъни $n_1 = n_2$. Шундай принцип асосида ишлайдиган электр двигателлар синхрон двигателлар дейилади.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Статор чулғамининг фазаларидаги токлар $A \Rightarrow B \Rightarrow C$ тартибда I_m амплитудага етади, ротор эса соат стрелкасининг ҳаракат йўналиши бўйлаб айланади. Агар токлар кетма-кетлиги $C \Rightarrow A \Rightarrow B$, $A \Rightarrow C \rightarrow B$, $B \Rightarrow A \rightarrow C$, $B \Rightarrow C \Rightarrow A$ қилиб ўзгартирилса, ротор қайси томонга қараб айланади?

2. Асинхрон двигателни ишга тушириш жараёнида роторнинг сирпаниши қандай ўзгаради?

3. Синхрон машина роторининг магнит қутблари (8.1-расм, *б* га қ.) шундай тайёрланганки, ўзгармас токда унинг чулғамида вақт бўйича ўзгармайдиган магнит майдон ҳаво тирқиши бўйлаб синусоидал қонунга мувофиқ тақсимланади, қутб ўртасининг рўпарасида магнит индукцияси $B = B$ ва нейтралда $B = 0$ бўлади. Агар ротор ай-

лантирилса, машинанинг ҳаво тирқишидаги магнит майдонни айланувчан, деб ҳисоблаш мумкинми?

4. Статор чулғами узиб қўйилганда синхрон двигателнинг ротори тинч ҳолатда бўлади. Агар ротор доимий электромагнит бўлса (8.1- расм, *б* га қ.), статор чулғами тармоққа улангандан кейин ротор айлана бошлайдими? Ротор доимий магнит бўлганда-чи?

5. 8.1- расм, *б* да синхрон двигателнинг ротори статор қутбларининг ўқига нисбатан иш ҳолатида тасвирланган. Агар ротор чулғамидаги токнинг йўналиши ўзгартирилса, статор майдони таъсири остида ротор айланиши мумкинми?

8.1- масала. Уч фазали чулғамда битта фаза пульсацияланувчи майдонининг энг юқори магнит индукцияси B_m га тенг бўлса, чулғам айланувчи магнит майдонининг магнит индукциясини аниқланг. Уч фазали чулғам магнит индукциясининг $\omega t = \pi$, $\omega t = 3\pi/2$ фаза бурчакларига мувофиқ келадиган вақт моментларидаги қийматини ва магнит индукцияси векторининг йўналишини топинг.

8.2- масала. Ҳар бир фазасига иккитадан ғалтак тўғри келадиган уч фазали чулғам (8.5- расмга қ.) магнит майдонининг ўзгарувчан токнинг $f = 50$ Гц частотасидаги айланиш частотасини аниқланг. Чулғам қутб жуфтлари сони $p = 1$ дан $p = 6$ гача бўлганда магнит майдон айланишлар частоталарини топинг.

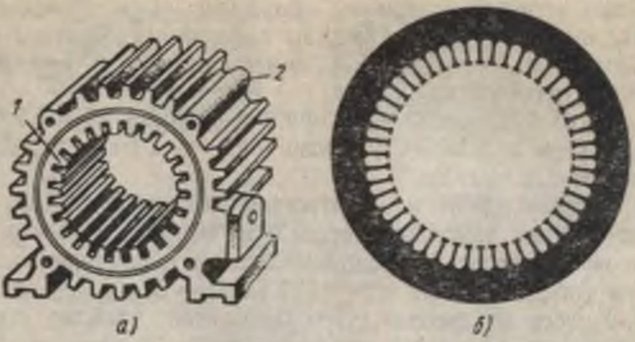
8.2- §. АСИНХРОН ЭЛЕКТР ДВИГАТЕЛЛАРНИНГ ТУЗИЛИШИ ВА ИШ ЖАРАЁНИ

Асинхрон электр двигателнинг ишлаш принципини тушунтириш учун 8.1- расм, *а* да келтирилган схемада машинанинг хоссалари ва иш характеристикаларини аниқлаш учун зарур бўладиган кўпчилик деталлар ва унинг тузилиши ҳақидаги маълумотлар келтирилмаган.

Юқорида айтилганлар айниқса роторга ва унинг чулғамига тааллуқлидир, уларнинг тузилишига қараб қисқа туташув роторли двигателлар ва фаза роторли двигателлар (ёки контакт ҳалқали двигателлар) бўлади.

Статор ва унинг чулғами. Статорга машинанинг барча қўзғалмас деталлари киради, уларнинг асосийлари — корпус, ўзак, чулғам.

Корпус. Корпус двигателнинг барча қисмларини ягона конструкция ҳолида бириктириш ва уни асосга маҳкамлаш учун хизмат қилади (8.6- расм, *а*). Кичик ва ўртача қувватли двигателларда корпус алюминий ёки чўяндан қуйилган бўлади, катта қувватли двигателларда корпус пўлатдан пайвандлаб тайёрланади. Корпус *2* га статорнинг ўзаги *1* пресслаб киритилган, ўзак электротехника пўлати листларидан йиғилади (8.6- расм, *б*). Қалинлиги 0,35 ёки 0,5 мм бўлган листлар



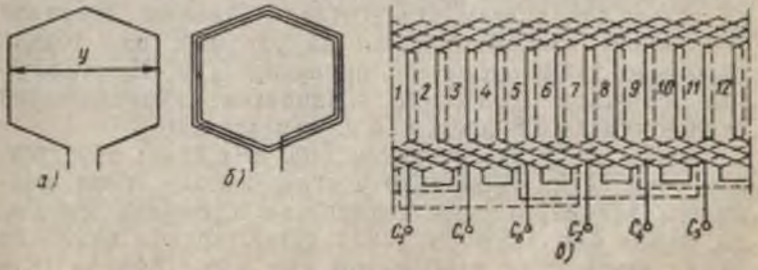
8.6- расм.

иккала томонидан лок суртиб изоляцияланган бўлади

Статор ўзагининг ички юзасида бўйлама ўйиқлар бўлиб, уларга чулғам ўтказгичлари жойлаштирилади. Статор чулғами чулғамбоп мис симдан тайёрланади. Унинг асосий элементи секция бўлиб, секциянинг битта (8.7- расм, *а*) ёки бир нечта (8.7 расм, *б*) ўрамлари бўлиши мумкин.

Ўзак ўйиқларига жойлаштирилган секциянинг актив томонлари ток борлигида иш магнит оқими ҳосил қилади. Уларни туташтирувчи олд қисмлари ва секциялар орасидаги бирикмалар ён томонларида бўлиб, сочилиш магнит оқимининг энг катта қисмини вужудга келтиради.

Секцияларнинг актив томонларини ўйиқларга биттадан жойлаштириш мумкин, лекин кўпинча чулғам икки қатламли қилиб ясалади. Бундай чулғам ёйилган ҳолатда 8.7- расм, *в* да кўрсатилган. У қуйидаги маълу-



8.7- расм.

мотлар асосида ясалган: фазалар сони $m=3$, қутб жуфтлари сони $p=1$, ўйиқлар сони $z=12$, чулғам икки қатламли, одими — қутб бўлинмасининг 1/6 қисми қадар қисқартирилган.

1. Қутб бўлмаси τ — статорнинг айланаси бўйлаб битта қутбга тўғри келадиган, ўйиқлар (паз) сони билан ифодаланган масофа: $\tau = z/2p$.

2. Чулғам одими y — статорнинг айланаси бўйлаб секциянинг актив томонлари орасидаги масофа, ўйиқлар сони билан ифодаланади. Масаланинг шартига кўра чулғам одими $\tau/6$ га қисқартирилган: $y = \tau(1 = 1/6) = 5$.

3. Қутбга ва фазага тўғри келадиган ўйиқлар сони q. Ҳар бир қутб бўлмасида учала фазанинг ўйиқлари жойлашган. Битта фазага $q = \tau/m = z/(2pm) = 12/(2\cdot 3) = 2$ тўғри келади.

4. Қўшни ўйиқлар орасидаги бурчак α

$$\alpha = 360p/z = 360\cdot 1/12 = 30^\circ \text{ (эл град.)}$$

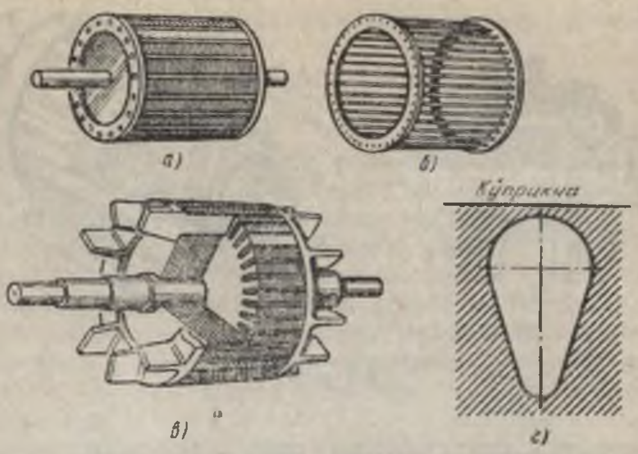
5. Фазалар чулғамлари орасидаги силжиш (λ), ўйиқларда

$$\lambda = 120/\alpha = 120/30 = 4.$$

Секциялар бир-бири билан бирикиб, ғалтакларни ҳосил қилади, ҳар қайси фазанинг чулғамлари эса ғалтаклардан таркиб топган. Фазаларнинг чулғамлари юлдуз ёки учбурчак усулида уланади. Агар бундай уланишлар ички томондан қилинган бўлса, у ҳолда учала фазанинг бошланиши двигателнинг шчитига чиқарилган бўлади, лекин баъзан чулғамларнинг боши ва учлари шчитга чиқарилади ва бунда чулғамлар шчитда уланади.

Роторнинг ўзаги ва чулғами. Роторнинг цилиндр шаклидаги ўзаги электротехника пўлати листларидан йиғилган (8.8-расм) ҳамда валга маҳкамланган. Қисқа туташувли чулғам ўтказгичлари ўзакнинг доиравий ўйиқларига жойлаштирилган ва уларнинг олд томонлари мис ҳалқалар билан бириктирилган. Цилиндрсимон панжара («олмахон ғилдираги») кўринишидаги бундан чулғам 8.8- расм, *а*, *б* да кўрсатилган.

Кичик ва ўртача қувватли (100 кВт гача) двигателлар учун қисқа туташувли чулғам ясашда суйри шаклидаги ўйиқларга суюқлантирилган алюминий қуйилади, бунда бир вақтнинг ўзида туташтирувчи ҳалқалар ҳамда вентиляция парраклари ҳам ҳосил бўлади (8.8-расм, *в*, *г*).



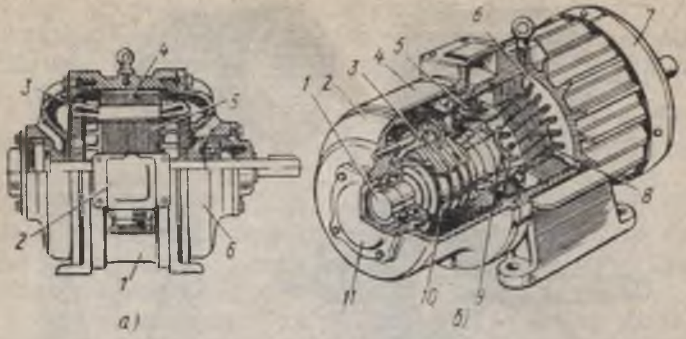
8.8- расм.

Фазали ротор қисқа туташувли ротордан чулғами статор чулғами типида ясалганлиги, одатда юлдуз усулида уланганлиги билан фарқ қилади, чулғам боши ташқарига чиқарилган ва контакт ҳалқалар билан бириктирилган бўлади (8.9- расм, *б*).

Учта ҳалқа ротор валига маҳкамланган, бир-бириданҳамда валдан изоляцияланган бўлади. Ҳалқаларга контакт чўткалар ўрнатилган бўлиб, улар орқали ротор чулғамини реостатга улаш мумкин, шунда двигателни ишга тушириш ёки айланиш частотасини ростлаш шароитлари яхшиланади.

Асинхрон двигателларнинг умумий кўриниши. Қисқа туташувли роторли двигателнинг йиғилган ҳолдаги кўриниши 8.9- расм, *а* да, фаза роторли двигателники эса —8.9- расм, *б* да кўрсатилган. Роторнинг чулғамли ўзаги статор ўзагининг ичида туради ва уларни тор ҳаво тирқиши ажратиб туради.

Ротор валининг учлари ён шитларга маҳкамланган подшипникларга таянади, шитлар эса статор корпусига болт ёки шпилькалар билан бириктирилган бўлади. Катта қувватли двигателларда подшипниклар алоҳида тиргакларга маҳкамланади. Фаза роторли двигателнинг статорида одатда ҳар қайси ҳалқага иккитадан чўтка тутқичлар ўрнатилган бўлади. Ўртача ва катта қувватли двигателларда кўпинча махсус мослама бўлиб, унинг ёрдамида чўткаларни кўтариш, ҳалқаларни эса



8.9- расм.

қисқа туташтириш мумкин. Бу иш двигатель ишга туширилгандан кейин энергия исрофларини камайтириш, чўтка ва ҳалқларнинг хизмат муддатини узайтириш мақсадида қилинади.

Баъзи двигателларда уларни совитиш масалалари ҳал қилинганлиги сабабли конструктив фарқлар бўлади. Бу ерда двигателнинг қуввати ва двигатель ишлатишга мўлжалланган атроф-муҳит шароити ҳал қилувчи омиллар ҳисобланади. Совитиш мақсадида баъзи двигателларда юқорида айтиб ўтилган вентиляция парраклари, бошқаларида эса — ротор валида махсус вентилятор бўлади; ёпиқ двигателларда вентилятор статорнинг қобирғали сиртига ҳаво пуфлаб, уни совитади.

Статор корпусида двигателнинг ташқи қисмаларини бекитиб турадиган қутича ўрматилган. Бу қисмаларга маълум тартибда чулғамларнинг учлари ва тармоқдан учта сим уланади. Корпусга маҳкамланган шитда двигателнинг номинал катталиклари: қуввати, кучланиш, ток, қувват коэффициенти, айланиш частотаси, ф.и.к., шунингдек, двигателнинг тури, ишлаб чиқарилган йили, тайёрлаган заводнинг номи кўрсатилган бўлади.

Электр двигателнинг номинал қуввати — бу унинг валидаги механик қувватдир. Чулғамларини ташқи қисмаларда юлдуз ёки учбурчак усулида улаш мумкин бўлган двигатель учун икки хил номинал кучланиш (масалан, 220/380 В) кўрсатилади.

Номинал токни шитдан ўқиб олиш мумкин, лекин зарур бўлганда уни (8.4) формуладан аниқласа ҳам

бўлади, бу формула уч фазали двигатель учун ёзилган:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\,U\eta\cos\varphi}. \qquad (8.4)$$

Бу формуладан фақат номинал режимда эмас, балки бошқа исталган режимда ҳам фойдаланиш мумкин; бунинг учун унга шу режимга тўғри келадиган катталикларни: P — механик қувват (валдаги), U — линия кучланиши, η — ф. и. к., $\cos\varphi$ — двигателнинг қувват коэффициентини қўйиш керак.

Асинхрон двигателнинг иш жараёни. Роторнинг айланиш частотаси статор магнит майдонининг айланиш частотасидан фарқ қилиши асинхрон двигатель ишлашининг зарурий шарти эканлиги илгари таъкидлаб ўтилган эди.

Двигателнинг иш характеристикалари сирпаниш s қийматига боғлиқ, у магнит майдон айланиш частотаси n_1 билан роторнинг айланиш частотаси n_2 айирмасининг магнит майдоннинг айланиш частотасига нисбати билан ифодаланади:

$$s = (n_1 - n_2) / n_1. \qquad (8.5)$$

Кўпинча сирпаниш процентларда ифодаланади.

Номинал режимда сирпаниш (турли двигателларда) 1 — — 6% га тенг, бунда двигателнинг валида айлантирувчи электромагнит момент M_g вужудга келади.

Двигателнинг нагрузкаси ўзгарганида сирпаниш ўзгаради. Жумладан, салт ишлашда (двигатель валида ташқи механик нагрузка йўқ) сирпаниш процентнинг кичик улушларини ташкил этади, қўзғалмас роторда эса ($n_2 = 0$) сирпаниш энг катта бўлади ($s = 1$ ёки 100%).

Маълумки, электр двигателлардан иш машиналарини ҳаракатга келтириш учун фойдаланилади; иш машинасининг (масалан, металл қирқиш станоги, вентилятор ва ҳ.к) қаршилик моменти конкрет двигателнинг фойдали нагрузкаси ҳисобланади.

Механик узатмадаги (редуктор, тасмали узатма ва ҳ.) ҳамда двигателнинг ўзидаги ишқаланиш кучлари қўшимча механик нагрузка пайдо қилади. Умумий механик нагрузка двигатель валидаги қаршилик моменти $M_к$ билан ифодаланади.

Агар двигателнинг моменти қаршилик моментига тенг $M_д = M_к$ бўлса, айланиш частотаси ва сирпаниш ўзгармас-

лигича қолади. Моментлар тенг бўлмаганида айланиш частотаси ва сирпаниш ўзгаради.

Ротор чулғамига тааллуқли катталиклар: ток частотаси f, э. ю. к. E_2, индуктив қаршилик X_2 сирпанишга бевосита боғлиқ бўлади.

Ротор чулғамидаги ток частотаси магнит майдон айланиш частотасининг роторнинг айланиш частотасига нисбатан қиймати, яъни $n_1 - n_2$ айирма билан аниқланади. (8.3) формулага кўра,

$$f_2 = \frac{P(n_1 - n_2)}{60} = \frac{pn_1 s}{60} = f_1 s. \tag{8.6}$$

Ротор қўзғалмас бўлганда, яъни $s = 1$ бўлганда $f_2 = f_1$, шу сабабли э. ю. к. ва ротор чулғамининг индуктив қаршилиги қўзғалмас ротордаги ана шу катталикларга нисбатан аниқланади. Натижада (7.1) ва (4.22) ифодалардан фойдаланилганда қуйидаги формулаларни олиш мумкин:

$$E_{2s} = E_2 s, \tag{8.7}$$

$$X_{2s} = X_2 s, \tag{8.8}$$

бу ерда E_2, X_2 катталиклар қўзғалмас роторнинг чулғамига, E_{2s}, X_{2s} катталиклар эса айланаётган роторнинг чулғамига тааллуқлидир.

Ротор чулғамидаги ток ҳам сирпанишга боғлиқ, бунга ишонч ҳосил қилиш учун уни э. ю. к. нинг чулғамнинг тўлиқ қаршилигига нисбати билан ифодалаш керак; $I_{2s} = E_{2s} / \sqrt{R_2^2 + X_{2s}^2}$, бу ерда R_2 — ротор чулғамининг актив қаршилиги.

Бу ерда (8.7) ва (8.8) формулалардан E_{2s} ва X_{2s} қийматларни қўйсак, шу боғлиқликнинг яққол ифодасини оламиз:

$$I_{2s} = \frac{E_2}{\sqrt{(R_2/S)^2 + X_2^2}}. \tag{8.9}$$

Ротор чулғамидаги ток ҳам магнит майдон ҳосил қилади (агар статор чулғамининг майдони бирламчи дейилса, бу майдон иккиламчи бўлади) у роторга нисбатан $n_м = 60f_2/p = 60fs/p = n_1 s$ частота билан айланади. Лекин роторнинг ўзи статорга нисбатан айланади, шу сабабли иккиламчи майдоннинг статорга нисбатан айланиш частотаси $n_р + n_2 = n_1 s + n_2 = n_1$ ни ташкил этади.

Бундан бирламчи ва иккиламчи магнит майдонлар бир томонга бир хил частота билан айланади, яъни улар бир-бирига нисбатан қўзғалмасдир, деган хулоса келиб чиқади.

Шу сабабли статор ва ротор чулғамлари орасидаги магнит боғланиш трансформаторнинг бирламчи ва иккиламчи чулғамлари орасидаги боғланиш каби таъсир этади. Асинхрон двигателнинг айланадиган иккиламчи чулғамли трансформатор деб аталиши бежиз эмас.

Ана шу ўхшатиш асосида трансформатор учун 7.2- § да қилинган барча хулосаларни асинхрон двигателга ҳам тегишли дейиш мумкин. Жумладан, статор билан ротор чулғамларини боглайдиган магнит оқими нагрузка ўзгарганида ўзгармайди (чунки $U = \text{const}$). Ротор чулғамида токнинг ўзгариши статор чулғамида токнинг мутаносиб равишда ўзгаришига сабаб бўлади.

Масалан, двигатель валида механик нагрузка кўпайганида сирпаниш кўпаяди, шу сабабли ротор билан статор чулғамларида токлар кўпаяди, магнит оқими эса ўзгармайди.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. 8.1- § да статорнинг айланувчи магнит майдонининг магнит индукцияси ўзгармас эканлиги исботланган эди. Нима учун статор билан роторнинг ўзаклари иккала томони изоляцияланган электротехника пўлати листларидан йиғилади?

2. Асинхрон двигатель статор билан роторининг ўзаклари орасидаги ҳаво тирқиши миллиметрнинг улушларини ташкил этади. Қандай амалий мулоҳазалар ҳаво тирқишини катталаштириш ёки кичрайтиришни чеклайди?

3. Двигатель валини ҳаракатлантирувчи момент билан қаршилик моменти тенглигида роторнинг айланиш частотаси билан сирпаниш ўзгармас бўлади. Моментлар тенг бўлмаганида бу катталиклар ўзгаради. $M_д > M_с$ бўлганда роторнинг айланиш частотаси билан сирпаниш қайси томонга ўзгаради? $M_д < M_с$ бўлганда- чи?

4. (8.9) формула ротор чулгамидаги токнинг сирпанишга боғлиқлигини ифодалайди. Ротор чулгамидаги токнинг қиймати: ишга тушириш пайтида роторга шиғов бериш жараёнида, двигатель валига механик нагрузка оширилганда қандай ўзгаради?

5. 8.9- расмда электр двигателларнинг қандай турлари тасвирланган? Бу расмларда электр двигателларнинг қандай узел ва деталлари рақамлар билан белгиланган?

8.3- масала. Қуйидаги маълумотлар асосида асинхрон двигатель статори чулғамининг ёйилган схемасини ясанг: фазалар сони $m = 3$; қутб жуфтлари сони $p = 1$; ўйиқлар сони $z = 12$, чулғам икки қатламли, одими тўлиқ ($y = \tau$).

8.4- масала. Фаза роторли (ҳалқали) асинхрон двигателнинг техник характеристикалари қуйидагича: $P_{ном} = 11$ кВт: $U_{ном} = 220/380$ В;

$n_{2ном} = 953$ айл/мин; $\eta = 82,5\%$; $\cos\varphi = 0,71$; $f = 50$ Гц. Электр двигатель унинг шитида кўрсатилган бирор кучланишли электр тармоғига уланганда унинг ташқи қисмаларининг уланиш схемасини тузинг. Иккала ҳолда ҳам номинал токни, сирпанишни, ротор чулғамидаги ток частотасини, двигатель валидаги номинал моментни аниқланг.

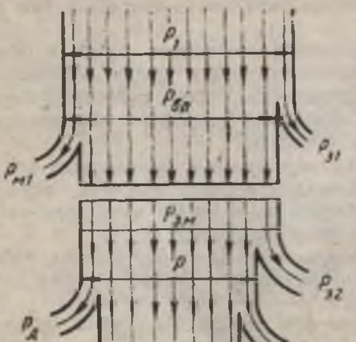
8.3-§. АСИНХРОН ЭЛЕКТР ДВИГАТЕЛНИНГ ЭЛЕКТРОМАГНИТ МОМЕНТИ

Электр двигатель ёрдамида электр энергиясини механик энергияга айлантириш шунинг учун ҳам мумкинки, магнит майдон таъсири остида электромагнит кучлар пайдо бўлади. Электромагнит кучлар ротор чулғамининг ўтказгичларига қўйилган бўлади. Бу кучлар ротор ўқига нисбатан айлантирувчи электромагнит момент ҳосил қилади.

Бу моментнинг қиймати ҳаракат тенгламаси $M_д = M_с$ га киради ва шу сабабли электр двигателнинг ишга тушириш ҳамда ишлаш хоссаларини белгилайди. Бу хоссаларга баҳо бериш учун электромагнит моментнинг сирпанишга, яъни электр двигатель валидаги нагрузкага боғлиқлиги катта аҳамиятга эга.

Энергетик диаграмма. 8.10- расмдаги энергетик диаграмма асинхрон двигателда электр энергияни ўзгартириш жараёни ҳақида тасаввур беради.

Вақт бирлиги ичида электр двигатель тармоқдан P_1 энергия олади. Унинг бир қисми статор чулғамида иссиқликка айланади (исрофлар қуввати $P_{э1}$, энергиянинг катта қисми эса (қувват $P_{вп}$) айланувчан магнит майдонда тўпланади, бу



8.10- расм

майдон ўзгарганда статор ўзагида энергия исрофлари вужудга келади (исрофлар қуввати $P_{к1}$). Бу исрофлар чиқариб ташлангандан қолган электромагнит энергия (қуввати $P_{эм}$) ҳаво тирқиши орқали роторга узатилади.

Роторда узатилган энергиянинг бир қисми ротор чулғамида исроф бўлади (иссиқлик исрофлари қуввати $P_{э2}$), қолган қисми (қуввати P) эса механик энергияга айланади (ротордаги магнит

исрофлар ҳисобга олинмайди, чунки роторнинг қайта магнитланиш частотаси жуда кичик).

Қувват P нинг қиймати двигателнинг электромагнит моменти M ни белгилайди. Лекин фойдали механик қувват P_2 тўлиқ электромагнит қувват P дан кичик бўлади, чунки роторда механик исрофлар $P_{мх}$ (подшипниклардаги ишқаланишлардан, аэродинамик қаршиликдан вужудга келади) ва қўшимча исрофлар (статорнинг тишсимонлиги, магнит индукциясининг тўлиқ синусоидал тақсимланмаслиги туфайли) бўлади.

Валдаги фойдали механик қувватнинг статор чулғамининг қисмаларидаги электр қувватга нисбати фойдали иш коэффициенти қийматига тенг.

Электромагнит момент. Роторнинг айланиш частотаси n_2 (айл/с) бўлганда фойдали механик қувват P_2 га техник механика курсидан маълум бўлган формула билан аниқланадиган айлантирувчи момент M_2 мувофиқ келади:

$$M_2 = P_2 / 2\pi n_2. \qquad (8.10)$$

Фойдали тормозлаш моментига механик исрофлар туфайли бўладиган тормозлаш моменти M_x ни қўшиши керак: $M_x = P_{мх} / 2\pi n_2$. Усалт ишлаш моменти дейилади, чунки двигатель салт ишлаётганда, яъни унинг валида фойдали нагрузка бўлмаганида роторнинг айланишига қарши таъсир этади.

Электр двигателнинг иш режимида бу моментларнинг умумий таъсири электромагнит момент M нинг таъсири билан мувозанатлашган бўлади, бу моментни иккита қўшилувчидан таркиб топган дейиш мумкин: $M = M_x + M_2$.

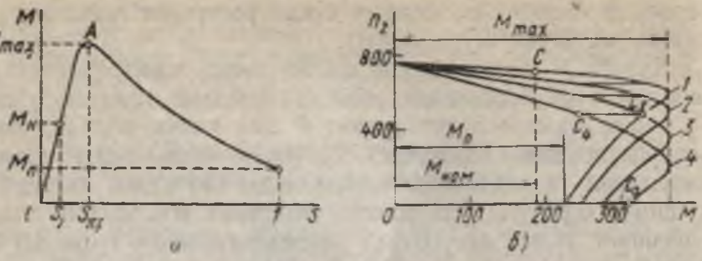
Шу билан бирга электромагнит момент тўлиқ электромеханик қувват P га мувофиқ келади, яъни $M = P / 2\pi n_2$ формула билан ифодаланади.

Электромагнит момент айланувчан магнит майдон билан ротор чулғамидаги токнинг ўзаро таъсир этишидан ҳосил бўлади. Бу ўзаро таъсирнинг натижаси қуйидаги формула билан ифодаланади:

$$M = k_м \Phi I_{2s} \cos \varphi_{2s}. \qquad (8.11)$$

бунда $k_м$ — мутаносиблик коэффициенти.

Бу формуладан кўриниб турибдики, электромагнит момент айланувчан магнит майдоннинг интенсивлигига (у миқдорий жиҳатдан битта қутбнинг магнит оқими Φ билан берилган), I_{2s} қийматига ва айланаётган ротор чулғамидаги токнинг фазаси $\cos \varphi_{2s}$ га боғлиқ.



8.11-расм.

Асинхрон двигателнинг трансформаторга ўхшашлигига асосланиб, двигателда $U_{1ф} = E_1$, статор билан роторнинг чулғамларидаги э. ю. к. эса магнит оқимига мутаносиб, деб ҳисоблаш мумкин [(7.1) формулага қ.]

$$E_1 = k_1 Ф, \; E_2 = k_2 Ф,$$

бу ерда k_1 ва k_2 — мутаносиблик коэффициентлари.
Демак,

$$Ф = U_{1ф} / k_1 = U_1 / \sqrt{3} k_1; \; E_2 U_1 / k_1 \sqrt{3}.$$

Ротордаги ток э. ю. к. E_2 га боғлиқлигини эътиборга олиб [(8.9) формулага қ.], электромагнит моментни ифодалаш формуласини олиш мумкин, бу формулада барча ўзгармас катталиклар умумий коэффициент k га келтирилган:

$$M = \frac{k U_1^2 \, s \cos \varphi_{2s}}{Z_{2s}}. \tag{8.12}$$

Механик характеристикаси. Электромагнит моментнинг сирпанишга (бинобарин, нагрузкага ҳам) боғлиқлиги (8.12) формуладан комбинацияланган кўпайтувчи $s \cos \varphi_{2s} / Z_{2s}$ билан аниқланади ва 8.11-расм, *а* да график тарзда кўрсатилган. Сирпаниш 0 дан 1 гача ўзгарганида момент дастлаб кескин ортади, сирпанишнинг к р и т и к с и р п а н и ш дейиладиган бирор $S_{кр}$ қийматида A нуқтада энг катта M_{max} қийматга етади, сўнгра камаяди.

Электр двигателнинг иш жараёнини таҳлил қилиш учун $n_2 = f(M)$ боғлиқлик — ротор айланиш частотасининг унинг валидаги моментга боғлиқлиги (8.11-расм, *б*) анча яққол тасаввур беради, бу боғлиқлик м е х а н и к х а р а к т е р и с т и к а дейилади.

Электр двигатель номинал режимда ($n_{ном}$ ва $M_{ном}$) ишлайди, сўнгра валдаги нагрузка оширилди ($M = M_c$ тенглик бузилди), деб фараз қилайлик. Роторнинг айланиш частотаси камаяди, лекин бунда айлантирувчи момент катталашади (бу механик характеристикадан кўриниб турибди).

Моментлар тенглиги тикланиши билан янги режимга ўтиш жараёни тугайди ва двигатель катта нагрузкада ҳамда бир оз камроқ айланиш частотасида барқарор ишлай бошлайди. Нагрузка янада оширилганда двигатель унинг моменти M_{max} қийматга етгунча барқарор ишлаши мумкин. Агар шундан кейин нагрузка озгина оширилса, двигатель тезда тўхтайди, чунки иш нуқтаси механик характеристика бўйича беқарор соҳага ўтади, бунда айланиш частотаси камайиши билан момент ортмайди, балки аксинча камаяди.

Шу муносабат билан энг катта момент M_{max} «барбод қилувчи» момент дейилади. Асинхрон двигателнинг энг муҳим эксплуатацион характеристикаларидан бири максимал моментнинг номинал моментга нисбатидир: $k_{max} = M_{max} / M_{ном}$, у ў т а ю к л а н и ш х у с у с и я т и дейилади. Умумий мақсадларда ишлатиладиган асинхрон двигателларнинг ўта юкланиш хусусияти 1,7 — 2,5 атрофида бўлади.

(8.12) формула асинхрон двигателнинг қисмаларидаги кучланиш тебранишларига жуда сезгир эканлигини кўрсатади (момент кучланиш квадратига мутаносиб).

Кучланишнинг нисбатан озроқ пасайиши моментнинг анча ортишига сабаб бўлади. Оддий ҳисоблашлар шуни кўрсатадики, ўта юкланиш хусусияти 1,7 бўлган двигатель кучланиш номинал қиймат $U_{ном}$ дан тахминан 23% пасайгачдаёқ номинал нагрузкани кўтара олмайди.

Асинхрон двигатель $s = 1$ да, яъни $n_2 = 0$ да ҳосил қиладиган момент и ш г а т у ш и р и ш м о м е н т и ($M_{и.т}$) дейилади, чунки ишга туширишнинг бошланғич моментида двигателнинг ротори қўзғалмас бўлади.

(8.12) формулани янада чуқурроқ таҳлил қилиш шуни кўрсатадики, механик характеристика ротор занжирининг актив қаршилиги қийматига боғлиқ бўлади, бунда R_2 кўпайиши билан сурат $\cos \varphi_{2s}$ ва махраж Z_{2s} катталашади. Лекин моментнинг ротор занжирининг қаршилигига боғлиқлиги анча мураккабдир. Қаршилик R_2 маълум қийматга қадар ортганида максимал момент M_{max} ўзгармайди, лекин двигатель роторнинг камроқ айланиш частотасида бу моментни ҳосил қилади; ишга тушириш моменти катталашади, R_2 янада оширилганда эса — камаяди.

Моментларнинг бундай ўзгариш характери 8.11-расм, *б* да механик характеристикалар тўплами (1 — 4) билан кўрсатилган, улар ротор занжири қаршилигининг турли қийматларига мувофиқ келади: $R_4 > R_3 > R_2 > R_1$.

Электр двигателларнинг механик характеристикалари бикрлик даражаси, яъни валидаги нагрузка ўзгарганида ротор айланиш частотасининг ўзгариш қиймати жиҳатдан бир-биридан фарқ қилади. Агар валдаги нагрузка ўзгарганида айланиш частотаси кам ўзгарса, бунда характеристика анча бикр ҳисобланади.

Табиий механик характеристика (8.11-расм, *б* даги *1* эгри чизиқ) ротор занжирида қўшимча қаршилик R_2 бўлмаган ҳолга мувофиқ келади. Бу бикр характеристикалар турига киради. Ротор занжирида қаршилик ортиши билан механик характеристикаларнинг бикрлиги камаяди (*2*, *3*, *4* эгри чизиқлар).

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Асинхрон двигателнинг энергетик балансини кўриб чиқишда (8.10-расмга қ.) одатда ротор ўзагидаги магнит исрофлар ҳисобга олинмайди. Нима учун статор ўзагидаги магнит исрофлар ҳисобга олинади-ю, ротор ўзагидаги ҳисобга олинмайди?

2. Турли хил двигателларнинг номинал режимдаги сирпаниш қиймати 1—6 % атрофида бўлишини эътиборга олиб, қўзғалмас ротор чулғамидаги э. ю. к. айланаётган ротор чулғамидагидан 16—100 марта катта эканлигини аниқлаш мумкин. Шу билан бирга бу режимларда токлар бир-биридан 4—7 марта фарқ қилади. Э. ю. к. ва ток ўзгаришидаги бундай катта фарқни қандай тушунтириш мумкин?

3. Маълумки, электр двигатель валида механик нагрузканинг узоқ вақт давомида ўзгариши унинг қисмларининг температураси ўзгаришига олиб келади. Агар двигатель валидаги механик нагрузка оширилса, унинг қисмларининг температураси қайси томонга ва нима учун ўзгаради?

4. Қисқа туташувли асинхрон двигатель механик нагрузка ортиб кетиши натижасида тўхтаб қолди, лекин тармоқдан узиб қўйилмади. Бу режимнинг двигателнинг ўзи учун ва унга хизмат қилаётган ходимлар учун қандай хавфи бор?

Номинал момент билан юкланган қисқа туташувли роторли асинхрон двигатель доимо унинг қисмаларида пасайтирилган кучланиш бўлгани ҳолда узоқ вақт ишлайди. Бу ҳол двигателнинг хизмат муддатига қандай таъсир қилади?

8.5-масала. Қисқа туташув роторли уч фазали асинхрон двигателнинг техник кўрсаткичлари қуйидагича: $U_{ном} = 220/380$ В; $P_{ном} = 10$ кВт; $n_{ном} = 1450$ айл/мин; $\eta_{ном} = 87\%$; $\cos\varphi_{ном} = 0{,}88$; $k_{max} = M_{max}/M_{ном} = 2$; $k_{и.м} = M_{и.т}/M_{ном} = 1{,}2$; $k_{и.т.т} = I_{и.т}/I_{ном} = 5$. Қутб жуфт-

лари сони p ни, сирпаниш S ни, моментларни: номинал $M_{ном}$, максимал M_{max} ва ишга тушириш моменти $M_{и.т}$ ни; токларни: номинал $I_{ном}$, статор чулғами юлдуз ва учбурчак усулида улангандаги ишга тушириш токи $I_{и.т}$ ни аниқланг.

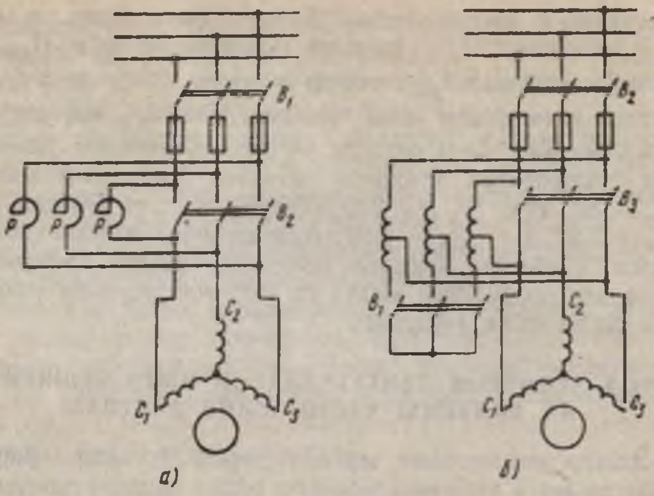
8.6-масала. Фаза роторли уч фазали асинхрон двигателнинг паспортидан қуйидаги номинал қийматлар маълум: $P_{ном} = 80$ кВт, $U_{ном} = 220/380$ В, $n_{2ном} = 730$ айл/мин, $\eta_{ном} = 0{,}87$, $\cos\varphi_{ном} = 0{,}91$. Двигателнинг кириш қисмаларидаги қувватни, номинал моментни, статор чулғамидаги токни, статор чулғами юлдуз ва учбурчак усулида улангандаги сирпанишни аниқланг.

8.4-§. АСИНХРОН ДВИГАТЕЛЛАРНИ ИШГА ТУШИРИШ ВА АЙЛАНИШ ЧАСТОТАСИНИ РОСТЛАШ

Электр двигателнинг ишга тушириш хоссалари биринчи навбатда ишга тушириш моменти билан ишга тушириш токининг қийматларига қараб баҳоланади. Двигателлар учун каталогларда ишга тушириш катталикларининг номинал катталикларга нисбатлари — ишга тушириш моментининг карралилиги ($k_{и.т.м} = M_{и.т}/M_{ном}$) ва ишга тушириш токининг карралилиги ($k_{и.т.т} = I_{и.т}/I_{ном}$) кўрсатилади. Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, ишга тушириш шарт-шароитлари фақат электр двигателнинг хоссаларигагина эмас, балки у ҳаракатга келтирадиган иш машинаси талабларига ҳам боғлиқ. Масалан, равшанки, агар ишга тушириш бошланишида двигателнинг ишга тушириш моменти валидаги қаршилик моментидан катта бўлса, электр двигатель айланиши мумкин.

Иш машиналарининг баъзилари (масалан, вентиляторлар) ишга туширишнинг бошланишида жуда кичик қаршилик моментини ҳосил қилади, шиғов берилиши билан бу момент ортиб боради; бошқа машиналар (шар тегирмонлар, майдалагичлар, компрессорлар ва ҳ.) ишга тушириш моменти номинал моментга тенг, баъзан эса ундан ҳам катта бўлишини талаб этади. Шунинг учун берилган шароитларга мос келадиган электр двигателни танлашда бир вақтнинг ўзида ишга тушириш усулини ҳам танлаш, унинг давомийлиги ва бир меъёрда бўлишини, мураккаблиги ва тежамлилигини ҳам ҳисобга олиш лозим бўлади.

Қисқа туташувли роторли двигателларни ишга тушириш. Электр двигателни ишга туширишнинг энг оддий ва тез бажариладиган усули — оддий рубильник



8.12- расм.

(кам қувватли двигателларни) ёки магнитли ишга туширгич билан тўла кучланишли тармоққа бевосита улашдир (11.15- расмга қ.). Юқори вольтли двгателлар мойли узиб-улагич билан уланади.

Қисқа туташув роторли асинхрон электр двигателларни ишга тушириш учун бу усул энг кўп қўлланилади, лекин двигателнинг қуввати билан уни улашга мўлжалланган тақсимлаш тармоғининг қуввати орасидаги нисбат эътиборга олинади. Мумкин бўлган чекланишлар шу билан боғлиқки, қисқа туташувли двигателни бевосита ишга туширишда ток нолдан номинал токдан бир неча баравар ортиқ қийматига қадар бирдан кўтарилади ($k_{\text{н.т.т}} = I_{\text{н.т.т}} / I_{\text{ном}} = 4 \div 7$). Токнинг қисқа вақтдаги кучли таъсири, одатда, двигатель учун хавфли бўлмайди, лекин тармоқда кучланиш пасайишини кўпайтириб юбориши мумкин, бу худди шу тармоққа уланган бошқа истеъмолчиларнинг ишлашига салбий таъсир этиши мумкин.

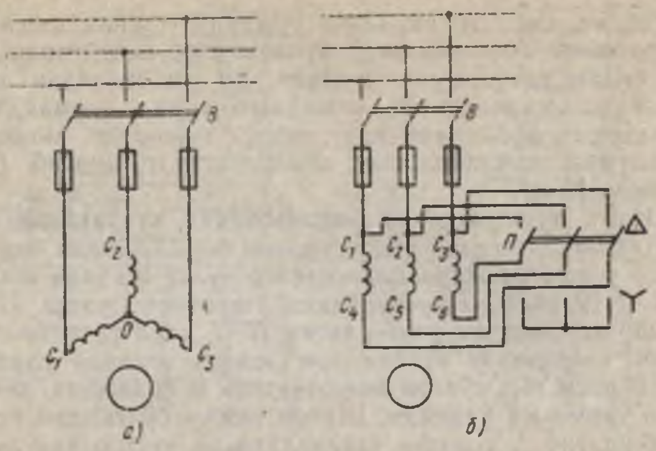
Катта қувватли тармоққа катта қувватли двигателларни бевосита улашга рухсат этилади, лекин кўпчилик ҳолларда двигателнинг қуввати 15—20 кВт дан ортиб кетмаслиги керак. Асинхрон электр двигателнинг ишга тушириш токи унинг қисмаларидаги кучланишга, бу (8.9) формуладан ва трансформаторга ўхшашлигидан

келиб чиқади. Демак, ишга тушириш токини ишга туширишнинг бошланишида кучланишни пасайтириш йўли билан камайтириш мумкин. Бу имкониятдан ишга тушириш моментининг камайиши халал бермайдиган ҳолларда фойдаланилади; ишга тушириш моменти, маълумки, кучланишнинг квадратига мутаносиб (8.12 формулага қ).

Ишга туширишнинг бошланишида кучланишни пасайтиришнинг турли хил усуллари бор. Улардан бири — ишга тушириш жараёнида статор чулғамларини юлдуздан (8.12- расм, *а*) учбурчакка ўзгартириб улаш. Ишга тушириш олдидан узиб-улагич *П* Y ҳолатга қўйилади, яъни статорнинг чулғамлари юлдуз усулида уланади (8.12- расм, *б*), сўнгра виключатель *В* ёрдамида двигатель тармоққа уланади. Шиғов тамом бўлгандан кейин узиб-улагич Δ ҳолатга ўтказилади ва статор чулғамлари учбурчак усулида уланганда иш режимида ишга туширишнинг охирига қадар ва кейин ҳам шундай қолдирилади.

Бу усул ишга туширишнинг бошланғич даврида фаза кучланишини $\sqrt{3}$ марта, ишга тушириш линия токини эса 3 марта камайтиришга имкон беради. Лекин шу билан бирга ишга тушириш моменти 3 марта камаяди. Шунинг учун бундай ишга тушириш нисбатан кичик, тахминан 20 кВт гача қувватли двигателлар учун қўлланади. Катта қувватли асинхрон двигателларни ишга туширишда кучланишни пасайтириш учун реактив қаршиликлар ёки автотрансформатор орқали улаш усули қўлланилади. Реактив қаршиликдан фойдаланилганда (8.13- расм, *а*) дастлаб виключатель B_1 туташтирилади ва реактив қаршиликлар статорнинг $I_1 X_п$ қийматга пасайтирилган кучланиш тўғри келадиган чулғамлари билан кетма-кет уланади. Роторнинг шиғов олиши тугагандан кейин статор чулғамига тармоқнинг тўла кучланиши берилади, бунда виключатель B_2 туташтириб қўйилади (8.13- расм, *а* га қ.).

Автотрансформатордан фойдаланиб ишга тушириш (8.13-расм, *б*) қуйидаги тартибда бажарилади: дастлаб виключатель B_1 туташтирилади ва автотрансформатор чулғамлари юлдуз усулида уланади; сўнгра B_2 туташтирилади ва электр двигатель статорининг чулғамига $K_а$ марта пасайтирилган кучланиш берилади ($K_а$ — автотрансформаторнинг трансформация коэффициенти); ротор маълум даражада шиғов олгандан кейин B_1 узиб қўйилади ва автотрансформатордан реак-



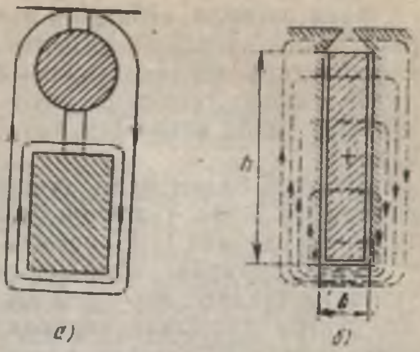
8.13- расм.

тив ғалтак сифатида фойдаланилади, бунда статор чулғамларидаги кучланиш ортади; кейин B_3 туташтирилади ва двигатель қисмаларига тўлиқ кучланиш берилади.

Охирги усул уч босқичда, яъни анча равон ишга туширишга имкон беради, лекин бунда ишга тушириш қурилмаси қимматлашади. Кучланишни пасайтириш йўли билан ишга туширишнинг кўриб чиқилган усуллари одатдагича тайёрланган қисқа туташув роторли асинхрон электр двигателларга тааллуқлидир. Уларнинг асосий камчилиги ишга тушириш токи камайиши билан бир вақтда ишга тушириш моментининг камайишидир.

Ишға тушириш характеристикаларини яхшилаш. Ишга тушириш хоссалари яхшиланган асинхрон электр двигателнинг конструкциясини М. О. Доливо-Добровольский таклиф этган эди. Бундай электр двигателнинг роторида иккита қисқа туташган чулғам бўлиб, улар бири иккинчисининг тепасида жойлашган (8.14-расм, *а*). Юқориги (ишга тушириш) чулғам солиштирма қаршилиги катта бўлган материалдан (одатда марганецли латундан) тайёрланган, пастки (иш) чулғамнинг стерженлари эса мисдан тайёрланган бўлиб, кўндаланг кесими катта бўлади. Шу муносабат билан ишга тушириш чулғамининг актив қаршилиги иш чулғаминикидан 4—5 марта катта бўлади. Шу билан бирга

иш чулғамининг индуктивлиги ишга тушириш чулғаминикидан анча катта, чунки иш чулгами катта сочилиш магнит оқими билан илашган бўлади.



8.14- расм.

Бундай двигателнинг ишга тушириш характеристикал а р и асосан ишга тушириш чулгами билан аниқланади, чунки худди шу чулғамдагина ишга тушириш токи тўпланган. Ишга тушириш вақтида иш чулгамида ток кам бўлади, чунки $f_2 = f_1$ бўлганда унинг индуктив қаршилиги катта. Демак, қўш чулғамли двигателда ишга тушириш токини камайтириш ва ишга тушириш моментини оширишга эришилади.

Роторда ток частотаси кичик (1 — 2 Гц) бўладиган иш режимида иккала чулғамнинг индуктив қаршиликлари жуда кам, актив қаршиликларнинг нисбатига кўра эса иш чулғамидаги ток ишга тушириш токидан анча катта бўлади.

Чуқур ўйиқли двигателда (8.14- расм, *б*) худди шунга ўхшаш самарага эришилади. Бунда ротор чулғами ўзагининг баландлиги h катта, эни $в$ кичик бўлади. Ўзак кесимининг пастки қисми унинг юқориги қисмига қараганда каттароқ сочилиш оқими билан илашган бўлади (қўш панжарали ротордагига ўхшаш).

Ток шундай тақсимланганида ўзак кесимининг пастки қисмидан фойдаланилмайди, бу кесимнинг камайишига ва актив қаршиликнинг кўпайишига эквивалентдир. Шу билан бирга ишга тушириш вақтида индуктив қаршиликнинг катта бўлши ишга тушириш токини камайтиришни таъминлайди.

Иш режимида индуктив қаршилик кам, ток кесим бўйича деярли бир меъёрда тақсимланган бўлиб, двигатель одатдаги қисқа туташувли двигатель каби ишлайди.

Чуқур ўйиқли электр двигателнинг ишга тушириш хоссалари ротори қўш чулғамли двигателникига қараганда ёмонроқ бўлади, лекин бундай двигатель анча содда тузилган ва арзон бўлади.

Фаза роторли асинхрон двигателларни ишга тушириш. Ишга тушириш моментининг ротор занжирининг қаршилигига боғлиқлигидан фаза роторли двигателларни ишга тушириш учун фойдаланилади — ротор чулғами билан кетма-кет ишга тушириш реостати уланади.

Шу йўл билан ишга тушириш токи анча камайтирилади ва ишга тушириш моменти оширилади. Ишга тушириш схемаси 11.17- расмда кўрсатилган.

Ишга тушириш олдидан ротор занжирига реостат унинг қаршилиги энг катта бўладиган қилиб ўрнатилади, сўнгра двигатель тармоққа уланади. Ротор шиғов олган сари реостатнинг қаршилиги камайтириб (одатда босқичма-босқич) борилади ва ишга тушириш тугагандан кейин ротор чулғами қисқа туташтирилади.

8.11- расм, *б* ишга тушириш жараёни ҳақида яққол тасаввур беради, расмдан кўриниб турибдики, ишга туширишнинг бошланишида иш нуқтаси механик характеристика *4* да бўлади, у (C_0 нуқта) ротор занжирининг энг катта қаршилигига мувофиқ келади. Айланиш частотаси катталашиши билан иш нуқтаси дастлаб шу эгри чизиқ бўйлаб C_4 нуқтага силжийди. Худди шу пайтда ишга тушириш реостатининг биринчи босқичи тугайди ва иш нуқтаси кейинги *3* характеристикага C_3 нуқтага ўтади ва реостат батамом ишдан тўхтагунча шу тариқа давом этади; шундан кейин иш нуқтаси табиий характеристикага ўтиб, C нуқтага қадар боради, бу нуқта нагрузка моменти ва айланиш частотасининг номинал қийматларига мувофиқ келади.

Ишга тушириш реостатини ишлатиш ишга тушириш токини зарур даражада чеклашга, ишга тушириш моментини оширишга, двигателни бир меъёрда ишга туширишга имкон беради, лекин электр қурилмани мураккаблаштиради ва қимматлаштиради, уни ишлатиш қийинлашади. Бу ҳол қўшимча электр аппарат ишлатиш ва ишга тушириш реостатидаги исрофлар билан боғлиқ, лекин ҳалқали двигателнинг ўзи ҳам чулғамлари қисқа туташувли двигателга нисбатан мураккаброқ тузилган, унинг ф.и.к. ва cosφ камроқ бўлади.

Айланиш частотасини ростлаш. Ротор занжиридаги реостатдан фаза роторли двигателнинг айланиш частотасини ростлаш учун ҳам фойдаланиш мумкин. Электр двигателнинг иш режимида иш нуқтаси табиий механик характеристикада бўлади (8.11- расм, *б* даги

С нуқта), деб фараз қилайлик. Агар ротор занжирига реостатнинг биринчи босқичи киритилса, у ҳолда электр қаршилик ортиши муносабати билан ток ва двигателнинг айлантирувчи моменти камаяди. Иш нуқтаси камроқ моментда ва ўша айланиш частотасида қўшни характеристикага ўтади (механик инерция). Двигатель валидаги қаршилик моменти ўзгармаганда роторнинг айланиш частотаси аста-секин камаяди, айлантирувчи момент эса катталашади. Ростлаш операцияси натижасида двигатель ўша моментнинг қийматида ишлайди, лекин айланиш частотаси камроқ бўлади. Масалан, ротор занжирида қаршиликни ўзгартириш билан унинг айланиш частотасини ўзгартириш мумкин. Бу ерда шуни таъкидлаб ўтиш керакки, ишга тушириш реостатидан фарқ қилиб, ростлаш реостати узоқ вақт таъсир этадиган нагрузкага ҳисобланиши керак (умуман ростлаш реостатидан ишга тушириш учун фойдаланса ҳам бўлади).

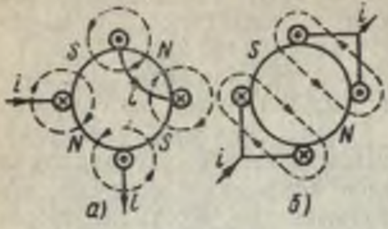
Бу усул айланиш частотасини кенг чегарада ўзгартиришга имкон беради, лекин тежамли эмас, чунки двигатель истеъмол қиладиган энергиянинг анчагина қисми реостатда иссиқликка айланади. Бундан ташқари, ротор занжирига актив қаршилик киритиш билан механик характеристика анча бўш бўлиб қолади ва бу двигателнинг барқарор ишлашини камайтиради (валда нагрузканинг озгина ўзгариши айланиш частотасининг анча ўзгаришига олиб келади).

Қисқа туташув роторли асинхрон двигателнинг айланиш частотасини унинг киришдаги кучланишини ўзгартириш йўли билан тор чегарада бир меъёрда ростлаш мумкин. Лекин айланиш частотасини нисбатан оз даражада камайтириш учун кучланишни анча пасайтириш талаб этилади, бу эса двигателнинг ўта нагрузкада ишлаш хусусиятини кескин камайтиради.

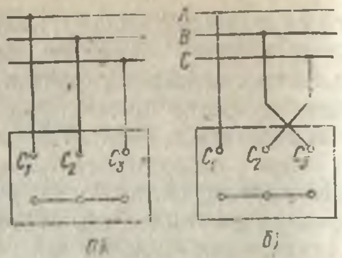
Магнит майдоннинг, бинобарин асинхрон двигатель роторининг айланиш частотасини қандай ўзгартириш мумкинлигини (8.3) формула кўрсатади.

Биринчи йўл — статор чулғамидаги ток частотасини ўзгартириш — айланиш частотасини бир меъёрда ва кенг чегарада ростлашга имкон беради. Лекин ҳар қайси двигатель учун частота ўзгартиргич ўрнатишга тўғри келади, бу эса жуда мураккаб ва қиммат туради.

Иккинчи йўл — статор чулғамининг қутб жуфтлари



8.15- расм.



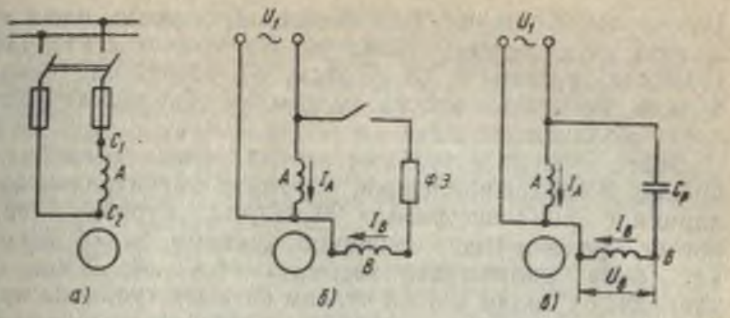
8.16- расм.

сонини ўзгартириш. Шу мақсадда қисқа туташув роторли кўп тезликли асинхрон двигателлар қурилади. Бундай двигателнинг статорида турли хил қутблар жуфтини ҳосил қиладиган иккита чулғам ёки ғалтакларини турли сондаги қутбларга қайта улашга имкон берадиган битта чулгам бўлади. Статор чулғамининг қутб жуфтлари сонини ўзгартириш принципини 8.15-расм тушунтиради, унда битта фазанинг иккита ғалтаги кўрсатилган бўлиб, унинг секцияларининг одими статор айланасининг 1/4 қисмига тенг бўлади. Ғалтаклар кетма-кет уланганида (8.15- расм, *а*) тўртта қутб, параллел уланганида эса фақат иккита қутб ҳосил бўлади (8.15- расм, *б*).

Қутб жуфтлари сонини алмашлаб улаш йўли билан айланиш частотасини фақат катта босқичларда, масалан 3000, 1500, 1000, 500 айл/мин қилиб ўзгартириш мумкин. Битта двигателнинг ўзида қутб жуфтлари сонини ўзгартириш учун унинг тузилишини мураккаблаштириш, ўлчамларини катталаштириш лозим бўлиб, бу нархининг анча ошишига сабаб бўлади. Шу сабабли кўп тезликли двигателлар кўпи билан тўртта тезликка мўлжаллаб қурилади.

Уч фазали асинхрон двигатель роторининг айланиш йўналишини ўзгартириш учун (реверслаш) магнит майдонининг айланиш йўналиши ўзгартирилади (8.1- § га қ.). Амалда бунинг учун двигателни электр тармоғига улайдиган исталган иккита симнинг бирикиш жойини ўзаро алмаштиришнинг ўзи кифоя (8.16- расм, *а*, *б*).

Бир ва икки фазали асинхрон двигателлар. Бир фазали электр двигателларнинг ишлаш принципи (8.17- расм, *а*) ҳам айланувчан магнит майдондан фойдаланишга асосланган. Бу магнит майдонни статор чулғами *А* нинг синосоидал токи вужудга келтиради. Ста-



8.17- расм.

тор ўзаги ўйигининг одатда 2/3 қисмини эгаллайдиган бир фазали чулғам пульсацияланувчи магнит майдон ҳосил қилади. У роторнинг қисқа туташувли чулғамининг ўтказгичларида токни индукциялайди, электромагнит кучлар ҳосил қилади. Лекин агар ротор айланса, электромагнит момент бўлади ва ротор қўзғалмас бўлганда момент бўлмайди.

Буни тушунтириш учун пульсацияланувчи магнит майдонни қарама-қарши томонларга айланадиган (8.1-§ га қ.) ташкил этувчиларга (Ф′ ва Ф″ оқимларга) ажратиш лозим. Ротор қўзғалмас бўлганда иккала ташкил этувчининг таъсири билан қарама-қарши томонларга йўналган иккита бир-бирига тенг айлантирувчи момент вужудга келади, шу сабабли натижавий ишга тушириш моменти $M_{и.т.} = 0$ ва двигателни махсус қурилмасиз ишга тушириб бўлмайди.

Оқим Ф′ қайси томонга айланса, ротор ҳам худди шу томонга айланади, деб фараз қилайлик. Тўғри оқим Ф′ га нисбатан роторнинг сирпаниши $s' = (n_1 - n_2) / n_1 \approx 0$, тескари оқимга нисбатан сирпаниши эса $s'' = n(n_1 + n_2) / n_1 \approx 2$, шу сабабли тўғри оқимдан э. ю. к. частотаси $f' = 0$, тескари оқимдан эса $f' = 2f_1$. Ротор чулғамининг иккала частотадаги токлар учун индуктив қаршиликлар ҳам худди шундай нисбатда бўлади ($X_2'' \gg X_2'$), шу сабабли ротордаги тескари оқим ҳосил қилган ток э. ю. к. дан 90° га яқин бурчакка орқада қолади, яъни актив ташкил этувчиси жуда кичик бўлади ва Ф″ оқим билан ўзаро таъсирлашганда жуда кичик айлантирувчи момент ($M'' = 0$) ҳосил қилади.

Бундан бир фазали электр двигателнинг иш режимидаги айлантирувчи моменти $M = M' - M'' \approx M'$ деган

хулоса келиб чиқади. Бир фазали двигателни ишга тушириш учун зарурий айлантирувчи момент статордаги қўшимча чулғам *B* (8.17-расм, *б*) воситасида ҳосил бўлади, бу чулғам асосий чулғамдан бўш қолган ўйиқларга жойлаштирилади.

Ишга тушириш чулғами асосий чулғамга нисбатан шундай жойлаштирилганки, уларнинг магнитловчи кучларининг йўналиши фазода 90 эл.град. бурчакка силжиган бўлади. Ишга тушириш чулғами билан кетма-кет фаза силжитувчи элемент (ф.э — *R*, *Z* ёки *C*) уланади, бу билан асосий чулғам ва ишга тушириш чулғами токларининг фаза бўйича силжиши таъминланади. Конденсатор уланганида фазаларни силжитишда энг яхши самарага эришилади. Иккита чулғам магнит қутблари ўқларининг фазода 90° га силжиши ва уларда токларни фаза бўйича силжиши айланувчан магнит майдон ҳосил бўлиши учун (фаза 90° га силжиганда майдон уч фазали двигателдаги каби айланма бўлади) шароит яратади. Шундай қилиб, ишга туширишдаги айлантирувчи момент айланувчан магнит майдонда ҳосил бўлади. Ротор шигов олгандан кейин ишга тушириш чулғами узиб қўйилади ва двигатель асосий чулғамнинг пульсацияланувчи магнит майдонида ишлайверади. Бири статорнинг барча ўйиқларининг ярмини, иккинчиси — қолган ярмини эгаллайдиган, фазода 90° га силжиган иккита чулғамли икки фазали двигателлар ҳам ишлаб чиқарилади. Чулғамлардан бири (асосийси) тармоққа бевосита, иккинчиси (ёрдамчи) конденсатор орқали уланади (8.17-расм, в). Ёрдамчи чулғам ишга тушириш чулгамидан фарқ қилиб, иш режимида ҳам конденсатор билан бирга тармоққа уланганча қолади, шу сабабли двигатель к о н д е н с а т о р л и двигатель дейилади.

Бир ва икки фазали асинхрон двигателларнинг бошқача модификациялари ҳам мавжуд. Улар ўзининг техник характеристикалари билан қисман фарқ қилади, бу характеристикалар уч фазали электр двигателларникига қараганда пастроқ бўлади. Бир ва икки фазали асинхрон двигателларнинг қуввати катта эмас (кўпинча 0,5 кВт дан кам бўлади). Улар автоматикада, турмушда ишлатиладиган асбоблар ва бошқаларда ишлатилади.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Асинхрон двигателнинг ишга тушириш токи унинг кириш қисмаларидаги кучланишга мутаносиб, буни (8.9) формула асосида исботлаш мумкин. Бу ҳолатни исботлаш учун яна қандай формула ва боғланишлардан фойдаланиш лозим?

2. Асинхрон электр двигателни статор чулғамларини юлдуздан учбурчакка қайта улаш орқали ишга туширишда бошланишида фаза кучланиши 3 марта камайган. Нима учун ишга тушириш токи ва ишга тушириш моменти 3 марта камаяди?

3. Асинхрон электр двигателларни ишга туширишнинг кучланишни пасайтиришга асосланган усулларининг камчилиги бор, у ишга тушириш моментининг анча камайишидан иборат. Электр двигателни ишга тушириш моменти камайганда қандай хавф вужудга келади?

4. Ротор занжиридаги ростлаш реостати ёрдамида ҳалқали двигателнинг айланиш частотасини ўзгартириш мумкин. Ана шу йўл билан айланиш частотасини номиналдан кўпроқ ошириш мумкинми?

5. Статор чулғамининг фазасида иккита ғалтак бўлганида ғалтаклар кетма-кет уланганида тўртта қутбли ва параллел уланганида иккита қутбли магнит майдон ҳосил қилиш мумкинлиги 8.15- расмда кўрсатилган. Худди шу ғалтаклар кетма-кет уланганда иккита, параллел уланганда тўртта қутб ҳосил бўладиган қилиб улаш мумкинми?

8.7- масала. Қисқа туташган асинхрон двигателнинг техник характеристикалари 8.5- масаланинг шартида келтирилган. Статор чулғамлари юлдуз усулида уланганда двигатель қисмаларидаги линия кучланиши 360, 340 В га қадар пасайган бўлса, ишга тушириш токи ва моментини аниқланг. Агар двигатель номинал нагрузкада ишга тушириладиган бўлса, кучланишни номиналдан қанчагача пасайтириш мумкинлигини фоиз ҳисобида аниқланг.

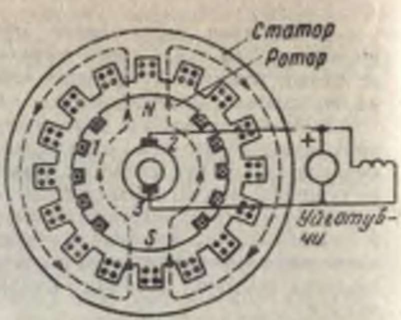
8.8- масала. Роторида фаза чулғами бор ва унинг актив қаршилиги $R_2 = 0.02$ Ом бўлган асинхрон двигателда номинал нагрузкада ва тармоқдаги кучланиш частотаси $f = 50$ Гц бўлганда роторнинг айланиш частотаси $n_{ном} = 1485$ айл / мин бўлади. Ўша нагрузкада ва тармоқдаги кучланиш частотасида роторнинг айланиш частотаси $n_2 = 1440$ айл / /мин. бўлиши учун ротор занжирига улаш лозим бўлган қўшимча қаршилик $R_қ$ нинг қийматини аниқланг. Ротор айланиш частотасининг 1500 айл/ мин. дан 900 айл/ мин. гача ўзгариш доирасида қўшимча қаршилик $R_д$ нинг қийматига боғлиқлик графигини ясанг.

Кўрсатма. Асинхрон двигателнинг ишлашини батафсил таҳлил қилиш шуни кўрсатадики, двигатель валида ўзгармас номинал нагрузкада унинг сирпанишини ротор занжиридаги актив қаршиликка мутаносиб, яъни $s_{ном}/s = R_2 \,/\, (R_2 + R_қ)$ деб қабул қилиш мумкин.

8.5- §. СИНХРОН МАШИНАЛАР

Синхрон машиналар электр станцияларда электр энергиясининг генераторлари сифатида кўп ишлатилади. Синхрон генераторнинг роторини бирламчи двигатель айлантиради, бу двигатель ушбу ҳолда механик энергиянинг манбаи ҳисобланади. Кўпинча буғ ва гидравлик турбиналар бирламчи двигателлар ҳисоблана-

8.18- расм.



8.19- расм.

ди, лекин нисбатан кам қувватли электр станцияларда ички ёнув двигателлари, шамол двигателлар ва б. ишлатилади. Синхрон двигателлар айланиш частотаси ўзгармас бўлиши зарур бўлган ёки уни ростлаш талаб қилинмайдиган ҳолларда ишлатилади.

Электр тармоқлар ишининг иқтисодий кўрсаткичларини яхшилаш (энергия исрофини камайтириш, қувват коэффициентини ошириш) учун синхрон компенсаторлардан фойдаланилади.

Синхрон машинанинг тузилиши. Синхрон машинанинг статори асинхрон двигателнинг статорига ўхшайди, яъни статор ўзагининг ўйиқларига уч фазали чулғам жойлаштирилган, чулғам фазалари фазода бир-бирига нисбатан 120 эл. град. силжиган. Бу турдаги машиналарнинг асосий фарқи роторининг тузилишидадир.

Синхрон машинанинг роторида магнит қутблар бўлиб, роторнинг айланиш частотасига қараб, улар аён қутбли ва аёнмас қутбли қилиб тайёрланади.

Аён қутбли роторнинг (8.18- расм) цилиндрсимон пўлат ўзаги бўлиб, унга уйғотиш (қўзғатиш) чулғамининг ғалтаклари *1* билан магнит қутблар *3* маҳкамланган.

Аёнмас қутбли ротор (8.19- расм) цилиндр шаклидаги яхлит пўлат ғўлачадан тайёрланади. Сиртига ишлов берилгандан кейин бу цилиндрнинг танасида бўйлама ўйиқлар йўнилади ва бу ўйиқларга уйғотиш чулғами *1* жойланади.

Қутб бўлмасининг тахминан 1/3 қисмида ўйиқлар бўлмайди ва ротор танасининг ана шу қисми (катта тиш) қутб ўзаги *3* ҳисобланади.

Секин ишлайдиган машиналарда, масалан гидрогенераторларда (гидротурбинадан ҳаракатга келади) аён қутбли ротор бўлади, аёнмас қутбли ротор катта айланиш частотасига, масалан турбогенераторларга (буғ турбинасидан ҳаракатга келади) мўлжаллаб тайёрланади. Уйғотиш чулғами энергияни махсус манбадан сирпанувчи контактлар (ротор валидаги иккита ҳалқа ва қўзғалмас чўткалар *2*) орқали олади. Бундай манба сифатида кўпинча кам қувватли ўзгармас ток генератори (қўзғатувчи) ишлатилади, у синхрон машинанинг бир қисми ҳисобланади, чунки бу генератор синхрон машинанинг валига ёки корпусига маҳкамланган бўлади.

Кичик ва ўртача қувватли машиналар учун ҳам ўз-ўзидан қўзғатиш қўлланилади, яъни қўзғатиш чулғами трансформатор ва тўғрилагич орқали статорнинг иш чулғамидан энергия олади.

Синхрон машинанинг магнит занжири ротор ўзаги ва қутбларидан, статор ўзагидан ва улар орасидаги ҳаво тирқишидан таркиб топган. Қўзғатиш (уйғотиш) чулғамида ва қўзғалмас роторда ток ўзгармас бўлганида машинанинг магнит майдони вақт бўйича ўзгармайди, бунда магнит индукция ҳаво тирқиши бўйлаб синусоидал қонунга яқин қонун бўйича тақсимланади. Ана шу мақсадда аён қутблар учлари шундай шаклда қилинадики, бунда ҳаво тирқиши ҳар қайси қутбнинг ўртасидан четкаларига томон салгина катталашиб боради; аёнмас қутбли машиналарда қўзғатиш чулғамининг ўтказгичларини тегишлича жойлаштириш йўли билан маълум мақсадга эришилади.

Синхрон генераторнинг ишлаш жараёни. Генераторнинг ротори номинал айланиш частотали бирламчи двигатель билан айлантирилади, шундан кейин уйғотиш чулғамига ўзгармас ток уланади.

Ротор чулғамининг (уйғотиш чулғамининг) магнитловчи кучи $I_у N_у$ магнит оқими $Ф_у$ ни ҳосил қилади, у вақт бўйича ўзгармайдиган ва қутбларга нисбатан қўзғалмас бўлиб, улар билан бирга статорнинг қўзғалмас чулғамига нисбатан айланади. Магнит оқими ҳаво тирқиши бўйлаб синусоидал тақсимланганни туфайли статор айланасининг ҳар қайси нуқтасида ўзгарувчан бўлади ва шу сабабли уч фазали чулғам-

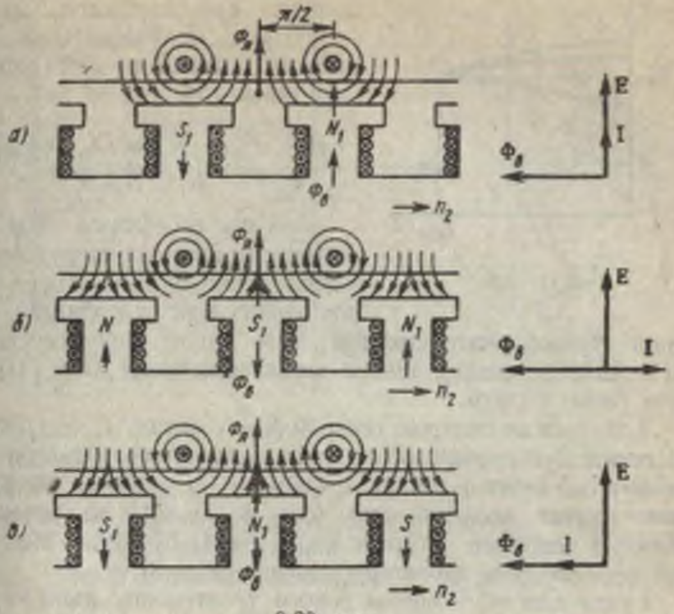
да уч фазали э. ю. к. системасини индукциялайди; бу э. ю. к. нинг таъсир этувчи қиймати (7.1) формулага кўра $E_x = 4{,}44\,\Phi f_1 N_1 k$, бу ерда k — чулғамнинг ўзига хос хусусиятлари эътиборга олинадиган коэффициент. Салт ишлаш вақтидаги фаза кучланиши U_x нинг қиймати ҳам худди шундай бўлади. Э. ю. к. частотаси роторнинг айланиш частотасига мутаносиб ва (8.3) формуладан аниқланади $f_1 = pN_1/60$.

Истеъмолчи уланиши билан статор чулғамида электр токи пайдо бўлади, у иккиламчи (статордан кейин) магнит майдон ҳосил қилади. Симметрик нагрузкада иккиламчи майдон доиравий бўлиб, роторнинг бирламчи майдони билан бирга айланади ва битта магнит занжирнинг ўзида туташади. Шундай қилиб, нагрузка бўлганда уйғотиш чулғамининг магнитловчи кучига статор чулғамининг магнитловчи кучи қўшилади. Шунинг учун нагрузка режимидаги магнит оқими салт ишлаш оқимидан (бирламчи оқимдан) тубдан фарқ қилади. Статор чулғами магнитловчи кучининг машинанинг магнит оқимига таъсири **якорь реакцияси** дейилади.

Якорь реакцияси нагрузка токининг қийматигагина эмас, балки нагрузка характерига ҳам боғлиқ. Уч фазали чулғам магнитловчи кучининг (м.к.) ўқи шу моментда ток ўзининг амплитудасига етадиган фазанинг ўқи билан мос келиши илгари (8.1-§ га қ.) айтиб ўтилган эди.

Машинанинг шу моментдаги магнит майдонини кўриб чиқишда якорь чулғамининг магнит оқими $\Phi_я$ йўналишини қайд қилиб ўтамиз, у 8.20-расмда битта ғалтак билан кўрсатилган. Актив нагрузкада ($\cos\varphi_н = 1$) якорь чулғамида э. ю. к. билан ток фаза жиҳатдан мос тушади, шу сабабли $i = I_м$ да э. ю. к. ҳам максимал бўлади $e = E_m$, бу эса қутбларнинг 8.20-расм, *а* да тасвирланган ҳолатига мувофиқ келади. Бу ҳолда якорь магнит оқими $\Phi_к$ билан қутблар магнит оқимлари $\Phi_в$ нинг ўқларига силжиган бўлади, якорь реакцияси қутблар ўқига кўндаланг таъсир этиб, қутбнинг бир чеккаси остидаги магнит индукциясини оширади, иккинчи чеккасидагини камайтиради; умуман магнит оқими қисман камаяди ва натижавий оқимнинг ўқи роторнинг айланишига тескари йўналишда силжийди.

Агар нагрузка соф реактив бўлса, у ҳолда ток э.ю.к.га нисбатан фаза бўйича $\pi/2$ га силжиган бўлади.



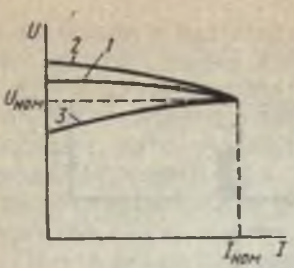
8.20- расм.

Демак, магнит оқимининг ўқи 8.20-расмда кўрсатилган ҳолатни эгаллайди; индуктив нагрузкада ротор $\pi/2$ бурчакка илгарилаб кетади, сиғим нагрузкада эса актив нагрузкада эгаллаган ҳолатига қараганда $\pi/2$ бурчакка орқада қолади.

8.20-расм, *б* дан (индуктив нагрузка) ва 8.20-расм *в* дан (сиғим нагрузка) кўриниб турибдики, якорь реакцияси қутб ўқи бўйлаб таъсир этади, секин индуктив нагрузкада якорнинг магнит оқими $\Phi_я$ муқобил, сиғим нагрузкада эса — бирламчи оқимга мувофиқ йўналади, яъни биринчи ҳолда машинанинг магнит майдонини сусайтиради, иккинчи ҳолда эса кучайтиради.

Одатда нагрузка токининг актив ва индуктив ташкил этувчилари бўлади (ток фаза жиҳатдан кучланишдан орқада қолади), шу сабабли якорь реакциясининг кўндаланг ва бўйлама ташкил этувчилари бўлади ва улар умуман машинанинг магнит оқимини камайтиради. Шу сабабли нагрузкали генераторнинг э.ю.к. салт ишлагандагидан кам бўлади.

Статор чулғамининг актив ва индуктив қаршиликлари бўлади, шу сабабли иш режимида машинанинг



8.21- расм

ташқи қисмларидаги кучланиш яна чулғамдаги кучланишнинг пасайиш қиймати қадар камаяди.

$$(I\sqrt{R_1^2 + X_1^2} \approx IX_1, \text{ чунки } R_1 \ll X_1).$$

Ана шу сабабларга кўра салт ишлашдан номинал нагрузкага ўтганида синхрон генератор кучланишининг фоиз ҳисобидаги ўзгариши трансформаторникидан анча катта (индуктив токда 20 — 40% га етади), ташқи характеристикаси $U = f(I)$ эса анча равон бўлади.

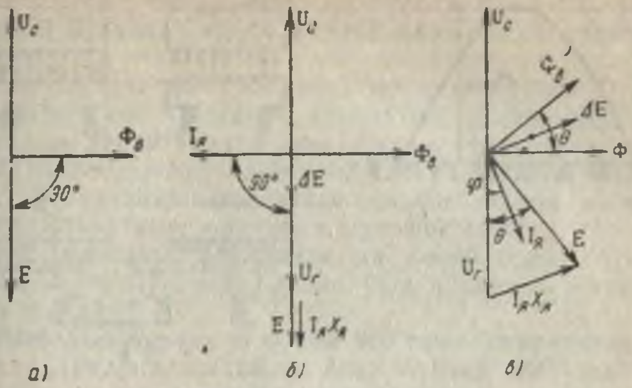
8.21- расмда синхрон генераторнинг актив *1*, индуктив *2* ва сиғим *3* нагрузкалардаги ташқи характеристикалари кўрсатилган. Уйғотиш токининг қиймати ($I_у = \text{const}$), нагрузканинг қувват коэффициенти ($\cos\varphi = \text{const}$) ва роторнинг айланиш частотаси ўзгармас ($n_2 = \text{const}$) бўлганда ана шундай кўринишдаги характеристикалар олинади.

Бунда дастлаб номинал режим ўрнатилади, яъни генераторга номинал кучланиш $U_{ном}$ да номинал ток $I_{ном}$ берилади, сўнгра эса нагрузка олинади.

Синхрон машинанинг электр тармоғи билан параллел ишлаши. Айрим синхрон генераторларгина фақат кам қувватли мустақил электр станцияларда ишлайди. Кўпинча синхрон машина бошқа синхрон генераторлар ҳам ишлаб турган электр тармоғига уланади. Бундай ҳолларда синхрон машинанинг тармоқ билан параллел ишлаши ҳақида сўз юритилади.

Синхрон генераторни дастлабки тайёргарликдан кейингина тармоққа улаш мумкин; бу тайёргарлик шундан иборатки, ротор синхронга яқин айланиш частотаси билан ҳаракатга келтирилади; генератор уйғотилади ва унинг қисмаларидаги кучланиш тармоқдаги кучланишга тенг бўладиган қилиб ростланади; генератор тармоқ билан синхронлаштирилади. Синхронлаш натижасида қуйидаги шартлар бажарилиши керак: генератор қисмаларидаги кучланиш билан тармоқдаги кучланиш қиймати жиҳатдан тенг ва фазаси жиҳатдан қарама-қарши, генератор билан тармоқдаги кучланишлар фазаларининг навбатлашиб келиш тартиби ҳамда частотаси бир хил бўлиши лозим.

Тармоққа бевосита улангандан кейин синхрон генератор



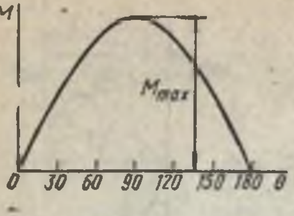
8.22- расм

салт ишлайди. Бу режимга 8.22- расм, *а* даги вектор диаграмма мос келади, унда қиймати жиҳатдан тенг ва йўналиши жиҳатдан қарама-қарши бўлган тармоқдаги кучланиш вектори $U_т$ билан генераторнинг э. ю. к. вектори E кўрсатилган. Вектор E магнит оқимидан 90° бурчакка орқада қолади.

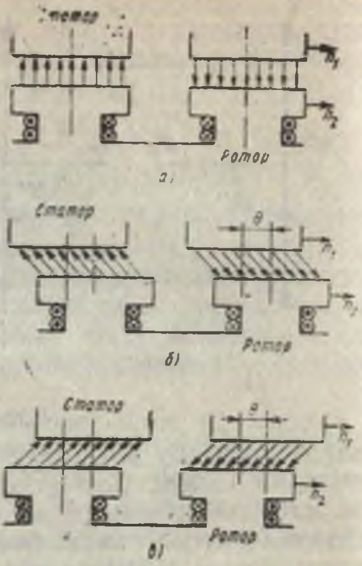
Агар уйғотиш чулғамидаги ток кўпайтирилса, у ҳолда генератор э. ю. к. ΔE га кўпаяди ва статор чулғамида ΔE дан 90° орқада қоладиган ток $I_я$ пайдо бўлади (8.22- расм, *б*), чунки статор чулғамининг актив қаршилиги индуктив қаршиликдан анча кичикдир ($R_я \ll X_я$). Ток $I_я$ э. ю. к. дан чорак давр орқада қолади, шу сабабли генераторнинг актив қуввати $P_2 = U_2 I \cos 90° = 0$, яъни уйғотиш токини ошириш билан генераторни актив қувватга ўтказиб бўлмайди.

Генераторга актив қувват бериш учун бирламчи двигателнинг айлантирувчи моментини ошириш (буғ турбинасида буғ сарфини, гидротурбинада сув сарфини кўпайтириш) керак. Бирламчи двигателнинг моменти катталашиши билан генераторнинг ротори маълум бурчак θ га олдинга силжийди, натижада магнит оқими $Ф_у$ нинг фазаси билан э. ю. к. E ҳам худди шундай бурчакка ўзгаради. Бу ҳол 8.22- расм, *в* даги вектор диаграммада вектор $Ф_у$ билан E нинг айланиши бўйлаб θ бурчакка бурилиши орқали кўрсатилган.

Бунинг натижасида статор чулғамида кучланишлар айирмаси $\Delta E = E - U_2$ пайдо бўлади ва унинг таъсирида нагрузка токи $I_я$ вужудга келади. Лекин ушбу ҳолда генератор кучланиши $U_г$ га нисбатан токнинг актив ва реактив ташкил этувчилари бўлади. Шу сабабли генераторнинг актив



8.23- расм.



8.24- расм.

қуввати $P = U_г I \cos\varphi$ бўлади, унга генератор валидаги электромагнит момент мувофиқ келади, бу момент бирламчи двигателнинг айлантирувчи моментига қарши таъсир этади.

8.22- расм, *в* даги вектор диаграмма асосида электромагнит момент ифодасини олиш мумкин, ҳисоблашлар кўрсатишича, у бурчак θ синусига мутаносиб бўлади: $M = M_{max} \sin\theta$, бунда M_{max} — бурчак θ 90° бўлганда синхрон машина ҳосил қиладиган моментнинг энг катта қиймати.

Электромагнит моментнинг бурчак θ га боғлиқлигининг график тарзда ифодалангани **синхрон машинанинг бурчак характеристикаси** (8.23- расм) дейилади.

Вектор диаграммадан кўриниб турибдики, бурчак θ роторнинг магнит оқим вектори $\Phi_в$ билан машинанинг натижавий магнит оқим вектори Φ орасида жойлашган.

Бу ҳолдан синхрон машинанинг турли хил режимларида ротор билан статор орасидаги куч таъсирини яққол кўрсатиш учун фойдаланилади. $\theta = 0$, $\Phi = \Phi_у$ бўлганда салт ишлашда роторнинг шимолий қутби рўпарасида статорнинг жанубий қутби бўлади, иккала қутбнинг ўқлари эса фазода устма- уст тушади (8.24- расм, *а*).

Генератор режимида (8.24- расм, *б*) ротор билан статор қутбларининг ўқлари фазода Θ бурчакка сил-

жиган бўлади, бунда айланиш йўналиши бўйича ротор олдинда бўлади, чунки у етакловчи звено ҳисобланади.

Машинанинг электромагнит моменти бурчак Θ нинг катталашишига қаршилик кўрсатади. Лекин бирламчи двигатель айлантирувчи моментининг маълум даражада катталашуви бурчак Θ нинг катталашувига олиб келади, бу катталашиш қарши таъсир этувчи электромагнит моментнинг ортишига мувофиқ келади. Моментларнинг тенглиги тикланади ва генератор Θ бурчак қисман катта бўлганда, лекин ўша айланиш частотаси билан ишлайди.

Генератор бурчак Θ 0 дан 90° гача ўзгарадиган чегарада барқарор ишлайди. Агар бурчак Θ90° дан ортиб кетса, у ҳолда электромагнит момент камаяди, бу эса бурчакнинг янада катталашувини ва электромагнит момент камайишини келтириб чиқаради. Бу ҳолда генераторнинг тармоқ билан синхрон ишлаши бузилади ва уни автоматик муҳофаза асбоблари тармоқдан узиб қўяди.

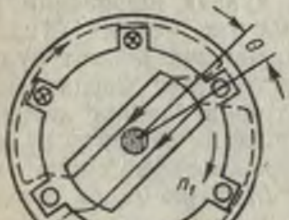
Синхрон машина двигатель режимида. Тармоқ билан параллел ишлаётган синхрон машинани двигатель режимига ўтказиш мумкин. Бирламчи двигателнинг айлантирувчи моментини аста-секин камайтириш натижасида бурчак Θ кичрайиб боради ва $\Theta=0$ да генератор билан двигатель орасида оралиқ режим вужудга келади, бунда синхрон машина генератор каби тармоққа энергия бермайди ва двигатель каби тармоқдан энергия истеъмол қилмайди. Агар шундан кейин машина валига тормозлаш моменти бериб, бирламчи двигатель эса узиб қўйилса, у ҳолда ротор айланувчан магнит майдондан Θ бурчакка орқада қолади ва бурчак манфий ($\Theta<0$) бўлади. Актив қувват ишорасини ўзгартиради, бинобарин, электромагнит момент йўналишини ўзгартиради ва энди айлантирувчи момент бўлиб қолади. Двигатель режимида статорнинг магнит майдони етакчи звено бўлади ва роторни ўзининг кетидан эргаштиради (8.24- расм, *в*). Қаршилик моменти кўпайганида бурчак Θ катталашади, роторнинг айланиш частотаси эса ўзгармасдан қолади (8.23- расмдаги бурчак характеристикасининг барқарор қисми доирасида).

Синхрон машинани двигатель режимига ўтказишнинг бундай усули яққол тасвирлаш учун кўриб чиқилди, лекин у амалда ишлатилмайди. Лекин роторга ол-

диндан синхронга яқин айланиш частотасига қадар шиғов бермасликнинг иложи йўқ, чунки қўзғалмас ротор механик инерция туфайли айланувчан майдон изидан кетмайди ва статор билан ротор орасида магнит боғланиш амалга ошмайди. Бошқача айтганда, синхрон двигателнинг ишга тушириш моменти, агар унда махсус мосламалар бўлмаса, нолга тенг бўлади. Бундай мослама ишга тушириш чулғами бўлиб, у қутб учликларида ўйиқларга жойлаштирилган ва асинхрон двигателнинг қисқа туташувли чулғами каби тузилган бўлади.

Бу ҳолда синхрон двигателни ишга тушириш икки босқичда амалга оширилади: *биринчи босқич* — роторга синхронга яқин айланиш частотасига қадар асинхрон шиғов бериш, *иккинчи босқич* — уйғотиш чулғамига ўзгармас токни улаш. Шундан кейин роторнинг айланиш частотаси синхронга етади (двигатель синхронизмга тортилади дейилади). Агар зарур ва мумкин бўлса, катта қувватли синхрон двигателларни асинхрон ишга тушириш пасайтирилган кучланишда, масалан 8.13- расм, *б* даги схема бўйича амалга оширилади.

Реактив синхрон электр двигатель. Уч ва бир фазали кам қувватли (бирдан бир неча юзлаб ваттгача) синхрон реактив двигателлар автоматикада ва телемеханикада, сигнализация, синхрон алоқа схемаларида, киноаппаратларда, маиший электр ва радио асбобларда ишлатилади. Бундай двигателларнинг асосий афзаллиги шундан иборатки, улар тузилиши жиҳатдан содда, одатдаги куч тармоғи ёки ёритиш тармоғига уланади, тармоқда частота ўзгармас бўлганда айланиш частотаси ўзгармас бўлади; асосий камчилиги — қувват коэффициенти кичик ($\cos\varphi \approx 0{,}6$). Реактив двигателларнинг асосий ўзига хос хусусияти аён қутбли роторида уйғотиш чулғамининг бўлмаслигидир (8.25- расм).



8.25- расм

Роторнинг ферромагнит ўзаги статор чулғамининг айланувчан магнит майдони таъсирида магнитланади; роторнинг қутблари айланувчан майдонга нисбатан магнит оқим энг катта бўладиган ҳолатни эгаллашга интилади.

Ушбу ҳолда электромагнит системаларининг бу универсал хоссаси айлантирувчи момент ҳосил бўлишида намоён бўлади, бу момент таъсирида ротор майдоннинг айланиш частотасига тенг частота билан айланади. Ишга тушириш учун реактив двигателларнинг роторида ишга тушириш чулғами бўлади (асинхрон ишга тушириш).

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Нима учун турбогенераторнинг ротори аёнмас қутбли қилинади, гидрогенераторда эса роторида аён қутблар кўп бўлади?

2. Синхрон генератор статорининг чулғамида э. ю. к. $E = 4{,}44\, \Phi f_1 Nk$. Агар: уйғотиш чулғамида ток кўпайтирилса; роторнинг айланиш частотаси n_2 камайтирилса э. ю. к. нинг қиймати қандай ўзгаради?

3. Тахминан бир хил қувватли трансформатор ва синхрон генераторнинг ташқи характеристикалари нисбий бирликларда $U / U_{ном} = f(I_1 / I_{ном})$ координаталарнинг умумий ўқларида тасвирланган. Бу характеристикалар чизмада бир-бирига нисбатан қандай ҳолатни эгаллайди?

4. Агар бирламчи двигателнинг айлантирувчи моменти Θ бурчак $90°$ дан катта бўладиган қилиб оширилса, генераторнинг тармоқ билан синхрон ишлаши бузилади. Бундай ҳолда синхрон генератор синхронизмдан тушиб қолди, дейилади. Синхрон двигатель роторида ишга тушириш чулғами бўлмаса ёки роторида қисқа туташувли ишга тушириш чулғами бўлса, ортиқча нагрузка берилганлиги сабабли синхронизмдан тушиб қолиши мумкинми?

5. Ишга туширилгандан кейин синхрон двигатель синхронизмга кирди. Синхрон двигателнинг иш режимида ишлашига ротордаги қисқа туташувли ишга тушириш чулғами қандай таъсир этади?

8.9-масала. Синхрон генераторнинг техник характеристикалари: $S_{ном} = 30$ кВ·А; $n_{ном} = 1900$ айл. / мин.; валидаги қувват $P_{мх} = 35$ кВт ($\cos\varphi = 1$ да); $P_{мх} = 28{,}5$ ($\cos\varphi = 0.8$ да); $U_{ном} = 400$ В; $f = 50$ Гц. Қуйидагиларни: қутб жуфтлари сони p ни; номинал ток $I_{ном}$ ни; генераторнинг ф. и. к. η ни; $\cos\varphi = 1$ ва $\cos_{\varphi} = 0.8$ бўлганда валдаги айлантирувчи момент M ни аниқланг. Техник характеристикалари қуйидагича бўлган генератор учун ушбу масала шартига кўра хисоблашларни бажаринг: $S_{ном} = 60$ кВ·А; $n = 1000$ айл/мин; $U_{ном} = 400$ В; $P_{мх} = 64{,}9$ кВт ($\cos\varphi = 1$ да), $P_{мх} = 53{,}5$ кВт ($\cos\varphi = 0{,}8$ да).

8.10-масала. Синхрон электр двигатель учун қуйидагиларни аниқланг: қутб жуфтлари сони p; қисмаларидаги актив қувват $P_э$; ток ва моментнинг номинал қийматлари $I_{ном}$, $M_{ном}$; ишга тушириш характеристикалари: ток $I_{нт}$, момент (асинхрон ишга туширишда) $M_{нт}$; максимал момент M_{max}; номинал нагрузкадаги исрофлар қуввати ΔP; реактив қувват Q. Қуйидаги техник характеристикалар берилган: $P_{ном} = 600$ кВт; $U_{ном} = 300$ В; $n_{ном} = 600$ айл/ мин; $\eta_{ном} = 92{,}2\%$; $\cos\varphi = 0{,}66$ (илгарилаб кетувчи токда); $k_{и.т} = I_{и.т} / I_{ном} = 5{,}4$; $k_{и.т} = M_{и.т} / M_{ном} = 1{,}7$; $k_{max} = M_{max} / M_{ном} = 2.8$. Техник характеристикалари қуйидагича бўлган асинхрон электр двигатель учун худди шунга ўхшаш хисоблашларни бажаринг: $P_{ном} = 575$ кВт; $U_{ном} = 6000$ В; $n_{ном} = 1000$ айл / мин; $\eta_{ном} = 93\%$; $\cos\varphi = 0{,}8$; $k_{и.т} = I_{и.т} / I_{ном} = 5$; $k_{и.т.м.} = M_{и.т.} / M_{ном} = 1{,}4$; $k_{max} = M_{max} / M_{ном} = 2{,}3$.

9-БОБ.

УЗГАРМАС ТОҚ ЭЛЕКТР МАШИНАЛАРИ

Электр машиналарнинг такомиллашуви ўзгармас токдан фойдаланиш билан бошланди. Узгармас ток машиналарининг такомиллашуви узоқ вақт давом этганига қарамай, улар ишлатилиш кўлами жиҳатидан анча оддий, ишончли ва арзон ўзгармас ток машиналаридан кейинда туради.

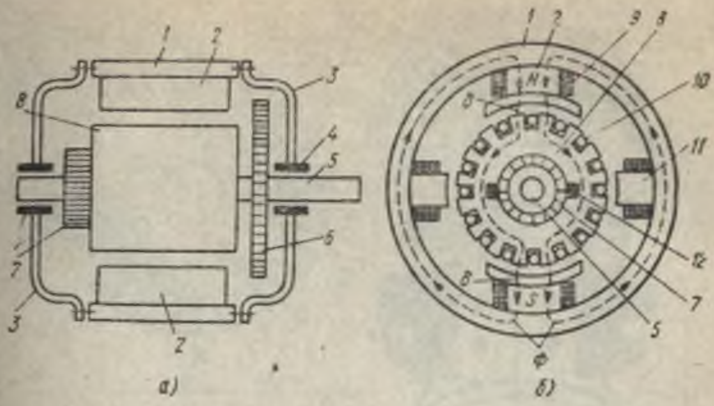
Лекин техника ва технологиянинг кўпгина соҳаларида ўзгармас ток машиналари сўзсиз афзалликларга эга, баъзи ҳолларда эса тенги йўқдир.

Ўзгармас ток электр двигателлари катта ишга тушириш моментини ҳосил қилиши мумкин, айланиш частотасини кенг кўламда равон ростлашга имкон беради. Шу сабабли улар электр транспортнинг барча турларида, кўтариш қурилмаларида тортувчи двигателлар сифатида ишлатилади; улар мураккаб агрегатларнинг (прокат станлари ва б.) автоматлаштирилган электр юритмаларида ҳам ишлатилади. Автоматикада ўзгармас ток машиналари ижрочи қурилмалар сигнал ўзгартиргичлар, тезлик ўлчагичлар ва ҳ. сифатида ишлатилади. Узгармас ток электр двигателларидан фойдаланиладиган жойларда уларга мос келадиган электр энергия манбалари бўлиши зарур. Ўзгармас ток генераторлари электролиз қурилмаларини энергия билан таъминлашда, аккумуляторларни зарядлашда ва бошқа ҳолларда ишлатилади.

9.1-§. УЗГАРМАС ТОҚ ЭЛЕКТР МАШИНАСИНИНГ ТУЗИЛИШИ ВА ИШЛАШ ПРИНЦИПИ

Узгармас ток машинасинг конструктив схемаси (9.1-расм, *а*) асосан бошқа электр машиналарники кабидир: қўзғалмас қисмининг — статорнинг (станина *1*, магнит қутблар *2*, подшипник шчитлари *3*, подшипниклар *4*) ичида ротор (якорнинг ўзаги *8*, коллектор *7*, ротор вали *5*, вентилятор *6*) бўлади, унга ён шчитларга маҳкамланган подшипниклар таянч вазифасини ўтайди.

Лекин бу қисмларнинг тузилишида муҳим ўзига хос хусусиятлар бор. Узгарувчан ток машинасининг ротори валига контакт ҳалқалар ўрнатилган жойда ўз-

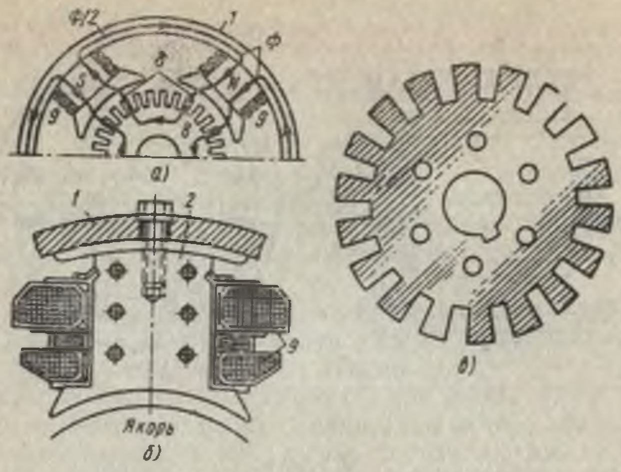


9.1-расм.

гармас ток машинасида унинг ўзига хос қисми — коллектор бўлади. Коллекторнинг жойлашуви бошқа ўзига хос хусусиятини ҳам келтириб чиқаради — магнит қутблар *2* билан уйғотиш чулғами *9* қўзғалмас (статорда бўлади), асосий чулғам *10* (якорь чулғами) эса магнит майдонда айланади (роторда жойлашган).

Магнит занжири. Машинанинг асосий магнит оқими Ф ни уйғотиш чулғами *9* нинг магнитловчи кучи вужудга келтиради (икки қутбли машина учун 9.1-расм, *б* ни, тўрт қутбли машина учун 9.2-расм, *а* ни қаранг), унинг йўлида қуйидагилар бўлади: қутбларнинг ўзаклари (шимолий *N* ва жанубий *S*), якорь ўзаги *8*, иккита ҳаво тирқиши δ, ярмо *1* (станинанинг бир қисми).

Магнит ўтказгичнинг бир қисми ҳисобланган станина барча конструкциянинг таянчи бўлиб ҳам хизмат қилади, шу сабабли у пўлатдан — магнит ва механик хоссалари яхши бўлган материалдан тайёрланади. Асосий қутбда (9, 2-расм, *б*) пўлат ўзак *2* (алоҳида листлардан йиғилган), қутб учлиги (унинг шакли магнит индукциянинг ҳаво тирқишида тегишлича тақсимланишини таъминлайди), уйғотиш чулғами *9* нинг ғалтаги (қутб ўзагига кийдирилган). Бу ғалтак электр изоляцияли каркасга мис сим билан ўралган. Асосий қутбдан ташқари қўшимча қутблар (яхлит ўзак *11* ва унга ўралган чулғам) ҳам бўлади (9.1-расм, *б* га қ.), улар машинанинг иш хоссаларини яхшилаш учун хизмат қилади (9.2-§ га қ.).



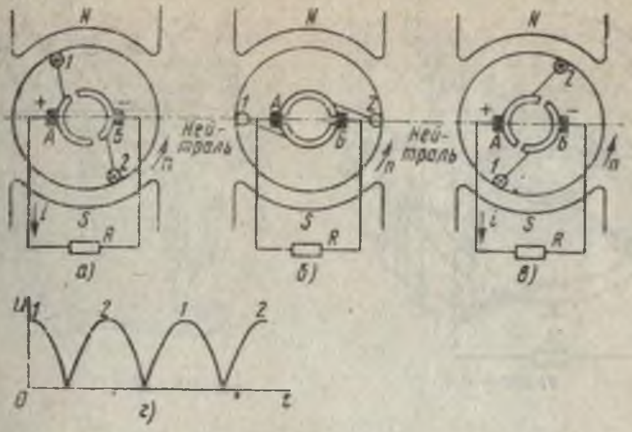
9.2- расм

Магнит қутблар станинага қўшимча қутблар асосий қутбларнинг ўртасида турадиган қилиб шпилькалар ёрдамида маҳкамланади.

Якорь ўзак *8* билан иш чулғами *10* дан таркиб топган бўлиб, чулғам ўзакнинг ўйиқларига жойлаштирилган. Якорнинг ўзаги цилиндрсимон шаклда бўлиб, электротехника пўлати листларидан йиғилган (9.2-расм, *в*).

Коллектор. Роторнинг айланиш жараёнида якорь чулғамининг ўтказгичлари магнит майдонда ҳаракатланади ва навбатма-навбат гоҳ шимолий, гоҳ жанубий қутб остида бўлади. Шу сабабли ўтказгичларда ҳосил бўладиган э.ю.к.нинг йўналиши даврий равишда тескарисига ўзгариб туради. Э.ю.к. катталиги ҳам ўзгаради, чунки битта қутб бўлмаси доирасида магнит индукцияси ҳаво тирқиши бўйлаб бир хил бўлмайди. Генераторнинг ташқи қисмаларида ўзгармас кучланиш ҳосил қилиш учун тўғриловчи қурилма зарур. Иш сиртига чўткалар қўйилган коллектор (9.1- расм, *б* даги *12*) ана шундай қурилма ҳисобланади.

Коллекторнинг ишлаш принципини дастлаб икки қутбли генераторнинг энг оддий моделида (9.3- расм) кўриб чиқамиз, бу генератор якорининг чулғами битта секция (битта ўрам) дан иборат. Секциянинг актив томонлари энг оддий коллекторнинг ярим ҳалқалари би-



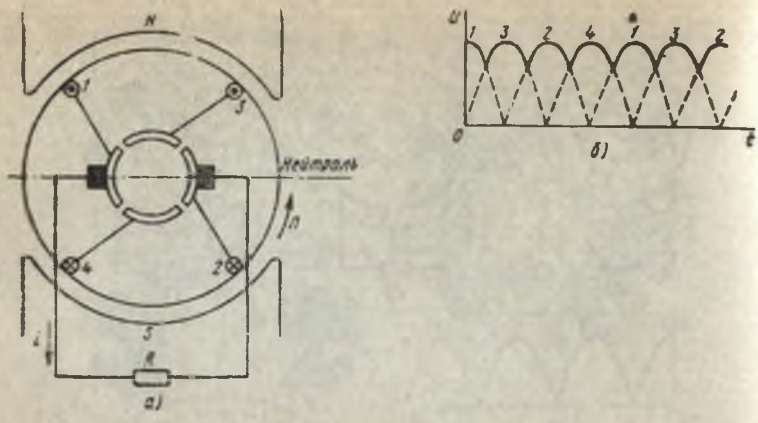
9.3- расм.

лан туташтирилган бўлиб, уларга иккита чўтка *А*, *Б* қўйилган бўлади.

Қутб остида магнит индукцияси синусоидал қонунга кўра тақсимланган $B = B_m \sin\beta$ (41- § га қ.), деб фараз қиламиз; у ҳолда секцияда э. ю. к. ҳам вақт ўтиши билан шу қонунга мувофиқ ўзгаради. Агар чўткалар машина нейтралида жойлашган бўлса, у ҳолда *А* чўтка билан секциянинг шимолий қутб остидаги томони *1*, *Б* чўтка билан эса — секциянинг жанубий қутб остидаги томони *2* уланган бўлади (9.3- расм, *а*). Ўнг қўл қоидасини татбиқ этиб, чўткаларнинг қутбланганлигини аниқлаш осон. Ротор соат стрелкасининг ҳаракатига тескари йўналишда айланганда *А* чўтканинг қутблилиги мусбат (+), *Б* чўтканики эса манфий (—) бўлади.

Чўткаларнинг бундай қутбланганлиги ўзгармасдан сақланади, ротор айланганида секциянинг ўтказгичлари қутблар остида жойини алмаштирганда бир вақтнинг ўзида чўткалар остидаги коллектор пластиналари ҳам алмашинади (9.3- расм, *а*, *в* га қ.). Секция ўтказгичларининг нейтрал орқали ўтиш моменти ва чўткалар остидаги пластиналарнинг алмашиниши 9.3- расм, *б* да кўрсатилган. Шу моментда секцияда э.ю.к. $e = 0$, пластиналар ўртасидаги оралиқни чўткалар бекитган ва секция қисқа туташган бўлади.

9.3- расм, *г* даги график чўткалар орасидаги кучланиш йўналиши жиҳатидан ўзгармас, лекин қиймати жи-



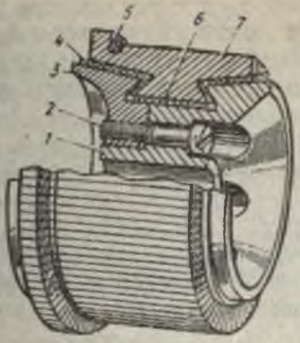
9.4- расм

ҳатидан ўзгарувчан (пульсацияланувчи кучланиш) эканлигини кўрсатади.

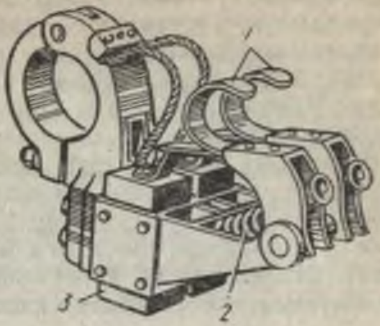
Агар якорда чулғамнинг бир неча секциялари жойлаштирилса ва коллектор пластиналари сони тегишлича кўпайтирилса (9.4- расм, *а*), у ҳолда пластиналар остида чўткалар тез-тез алмашланиб уланади, кучланишнинг пульсацияланиши эса анча камаяди. Буни 9.4- расм, *б* тасдиқлайди, унда генераторнинг чўткалари орасидаги кучланиш графиги кўрсатилган; генераторнинг якорь бўйлаб 90° га силжиган иккита секцияси (*1-2* ва *3-4*) ҳамда коллекторда тўртта пластинаси бўлади. Кучланишнинг пульсацияланиши якорь чулғамида 16 секция бўлгандаёқ сезилмай қолади.

Реал машина коллекторининг иш юзаси (9.5- расм) совуқлайин ёйилган мис пластиналар *7* қирраларидан ҳосил бўлади. Мисдан ишланган коллектор пластиналари бир-биридан электр изоляцияли миканит қистирмалар *4*, *6* билан ажратилган, шунингдек, деталлардан (сиқиш ҳалқаси *3*, тортиш болти *2*) дан изоляциялапган бўлади; шу деталлар пластиналар ва изоляция қистирмаларини корпус *1* да ягона конструкция сифатида тутиб туради ва коллектор яхлитлигича ротор валига маҳкамланади.

Коллектор пластиналарида якорь томонида бўртиқ-



9.5- расм

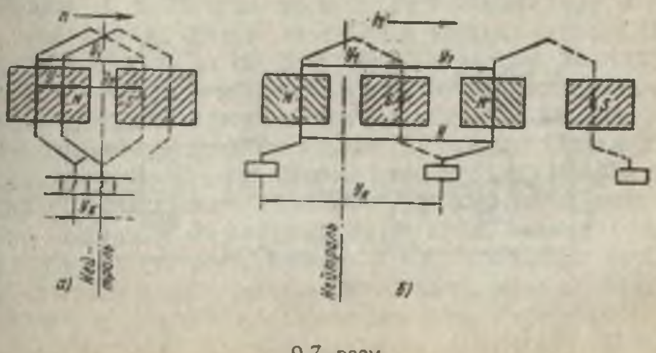


9.6 расм

лар *5* (тожи) бўлади. Бу бўртиқларга уларни якорь чулғамининг секциялари билан туташтирадиган ўтказгичлар кавшарланади.

Коллекторнинг иш юзасига чўткатутқичларда тутиб туриладиган кўмир-графитли ёки металл-кўмирли чўткалар тегиб туради (9.6- расм). Чўткалар *3* пружиналар *2* воситасида оралиқ қайтарма деталлар *1* (тепкилар) орқали коллекторга сиқиб турилади.

Чўткатутқичлар машина корпусидан яхшилаб изоляцияланган, чўтка траверсасига ўтқазилган бўлади; траверса подшипник шчитига ёки станинага маҳкамланган, лекин чўткаларни коллектор айланаси бўйлаб силжитишга имкон беради. Қутблилиги бир хил бўлган барча чўткалар электр жиҳатдан бир-бирига ва машина шчитидаги ташқи қисмага туташтирилган.



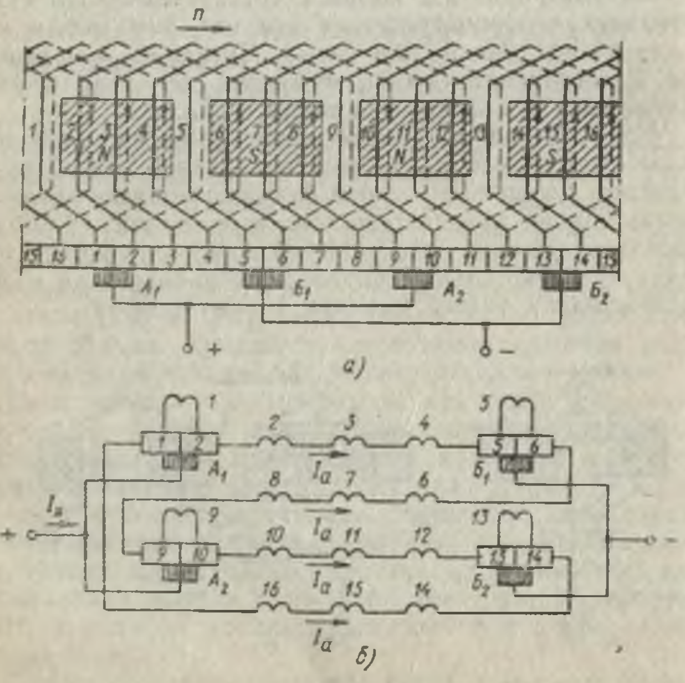
9.7- расм

Якорь чулғами. Ўзгармас ток машинасининг якорь чулғами кўп жиҳатдан синхрон машина статорининг чулғамига ўхшайди, лекин ундан ўзига туташтирилганлиги билан фарқ қилади. Секцияларнинг бир-бири билан уланиш тартибига қараб сиртмоқсимон ва тўлқинсимон чулғамлар фарқ қилинади. Агар чулғам схемаси (9.7- расм) бўйича бир секциядан иккинчи секцияга ўтилса, уларни осон фарқлаш мумкин. Уйиқлар сони билан ифодаланган биринчи одим, яъни битта секциянинг томонлари орасидаги масофа иккала чулғам учун бир хил қилинади, у тахминан қутб бўлмаси π га тенг ва қуйидаги формуладан ҳисоблаб топилади:

$$y_1 = z/2p + \varepsilon,$$

бу ерда z — якорь ўзагидаги уйиқлар сони; p — қутб жуфтлари сони; ε — каср қиймат $z/2p$ ни яхлит сонгача тўлдирадиган каср сон ($\varepsilon < 1$ ёки $\varepsilon = 0$).

Иккинчи одим y_2 (шу секциянинг учи билан кейинги



9.8- расм

секциянинг боши орасидаги масофа) биринчи одим йўналишига нисбатан турлича: тўлқинсимон чулғамда — ўша йўналишда, сиртмоқсимон чулғамда — тескари йўналишда қилинади. Шу сабабли сиртмоқсимон чулғамда натижавий одим y (икки қўшни секцияларнинг боши орасидаги масофа) алоҳида одимларнинг айирмасига ($y = y_1 - y_2$), тўлқинсимон чулғамда эса — йиғиндисига ($y = y_1 + y_2$) тенг бўлади.

Ҳар қайси секциянинг боши олдинги секциянинг охири ва коллекторнинг тегишли пластинаси билан уланган бўлади. Демак, якорь бўйлаб бир секциядан бошқасига ўтилганда бир вақтнинг ўзида коллектор бўйлаб ҳам одимланган ($y_к$) бўлади.

Ротор айланганида якорь чулғамининг ўтказгичларида э.ю.к. индукцияланади, унинг йўналиши ушбу ўтказгич нейтрал орқали ўтганида тескарисига ўзгаради, чунки унинг учун қутбнинг қутблилиги ўзгаради. Чулғам секцияларини (9.7- расм, *а*, *б*) кўздан кечириб ва ўнг қўл қоидасини татбиқ этиб, битта секциянинг ўтказгичларидаги э.ю.к. бир-бирига қўшилишини аниқлаш мумкин. Иккита қўшни секцияда ҳам э.ю.к. чулғам йўналишига нисбатан бир хил йўналган ва агар уларнинг тегишли томонлари қутблилиги бир хил бўлган қутб остида бўлса, бу э.ю.к. ҳам бир-бирига қўшилади. Бу қоидалар чулғамларнинг ёйиқ схемаларида ҳам акс эттирилган: оддий ҳалқасимон (9.8- расм, *а*, *б*) ва оддий тўлқинсимон (9.9- расм, *а*, *б*) чулғамларнинг схемалари 9.1 ва 9.2- масалаларнинг ечим натижаларига кўра чизилган.

Чулғам схемаси бўйича ўтилганда э.ю.к. бир хил йўналган секцияларнинг гуруҳлари учрайди (масалан, 9.8- расм, *а*, *б* даги схемада *2*, *3*, *4* секциялар). Бу гуруҳ чулғамнинг битта тармоғини ташкил этади. Шундан кейин э.ю.к. нолга тенг бўлган секция келади (бу секциянинг ўтказгичлари ушбу моментда нейтралда бўлади), сўнгра иккинчи тармоқ келади, унда э.ю.к. биринчи тармоққа қарама-қарши йўналган. Оддий сиртмоқсимон чулғамда тармоқлар сони қутблар сонига тенг; оддий тўлқинсимон чулғамда қутб жуфтлари сони ҳар қанча бўлганда ҳам тармоқлар сони иккита бўлади. Чулғамда барча секцияларда э.ю.к. йўналиши бир хил бўлган тармоқларни ажратиш чўткаларнинг жойлашуви ҳақидаги масалани ҳал қилишга имкон беради.

Коллекторда чўткаларни улар орасидаги потенци-

аллар айирмаси энг катта бўладиган қилиб жойлаштириш керак. Бу ҳолда битта тармоқнинг э.ю.к. га тенг бўлган чулғам э.ю.к. дан тўлиқ фойдаланилади. Демак, иккита чўткадан бири тармоқнинг бошланиши билан, иккинчиси эса охири билан уланган бўлиши керак. Якорь бўйлаб тармоқнинг боши билан охири орасидаги масофа қутб бўлмаси τ га, коллектор бўйлаб олинганда эса бу масофа коллектор бўлмасининг $k/2p$ қисмига мувофиқ келади, бунда k — коллектордаги пластиналар сони. Бу ерда шуни ҳам таъкидлаб ўтиш кераки, чўтканинг эни коллектор пластинасининг энидан катта бўлади, шу сабабли чўтка бир неча пластинани ёпиб туради ва уларга уланган чулғам секцияларини қисқа туташтиради. Тўғри ўрнатилганда чўтка актив томонлари нейтрал зонада қутблар орасида бўладиган секцияни қисқа туташтиради (9.8-расм, *б* даги чулғамнинг электр схемасига қ.).

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Ўзгармас ток машинаси якорининг чулғамида бир неча тармоқ бўлади ва уларнинг ҳар бирида э. ю. к. вужудга келади. Нима учун якорь чулғамининг э. ю. к. битта тармоқнинг э. ю. к. га тенг?

2. Ўзгармас ток генератори якорнинг айланиш частотаси ўзгармас ва уйғотиш чулғамидаги ток ўзгармас бўлганда ишлайди. Генераторнинг нагрузкаси кўпайганида унинг қисмаларидаги кучланиш қандай ўзгаради?

3. Ўзгармас ток двигателининг валида қаршилик моменти кўпайтирилди, унинг қисмаларидаги кучланиш эса ўзгармади. Электр двигатель якорининг чулғамидаги ток қандай ўзгаради?

4. Ўзгармас ток машинасида: генератор режимида, двигатель режимида физик нейтрал якорнинг айланиш йўналишига нисбатан қайси томонга силжийди?

5. Ўзгармас ток машиналарида нима учун компенсацион чулғам ва қўшимча қутблар чулғами якорь чулғами билан кетма-кет уланади?

9.1-масала. Қуйидаги маълумотлар асосида оддий икки қатламли сиртмоқсимон чулғамнинг ёйиқ схемасини тузинг: қутб жуфтлари сони $p=2$; якорь ўзагидаги ўйиқлар сони $z=16$.

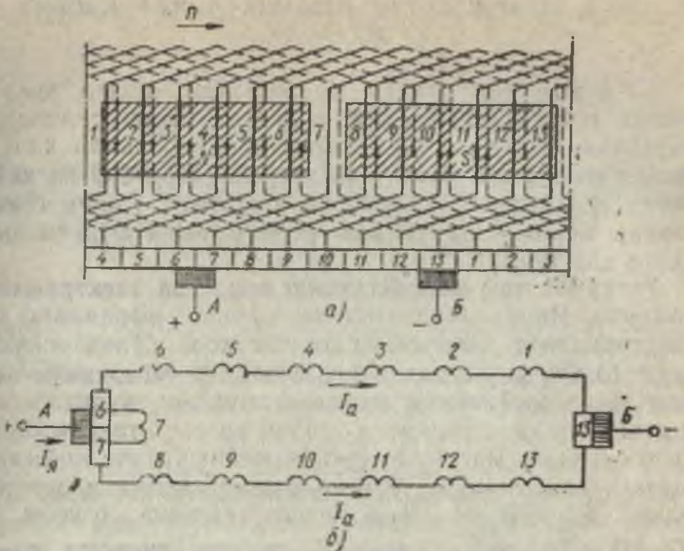
Ечиш. Чулғамнинг якорь бўйлаб одимлари: биринчи одим

$$y_1 = z/2p \pm \varepsilon = 16/4 \pm 0 = 4 \qquad (\varepsilon = 0).$$

Иккинчи одим $y_2 = y_1 - y = 4 - 1 = 3$, чунки оддий сиртмоқсимон чулғамнинг натижавий одими $y = 1$.

Оддий икки қатламли сиртмоқсимон чулғам учун $k = s = z = 16$ (s — секциялар сони, k — коллектор пластиналари сони). Кейин схема қуйидаги тартибда тузилади:

1) секциянинг томонлари чизилади (юқориги қатлам — узлуксиз чизиқ, пастки қатлам — пунктир чизиқ) ва секциядаги ўйиқлар номерланади;



9.9- расм

2) қутбларнинг контурлари белгиланади ва уларнинг белгилари $N - S - N - S$ қуйилади. бунда қутбнинг кенглиги тахминан 0,8 т га тенг деб қабул қилинади;

3) коллектор пластиналари тасвирланади ва номланади (1-померли пластина 1-номерли секциянинг бошига уланади);

4) секцияларнинг олд қисмлари, секциялар орасидаги туташувлар ва коллектор пластиналарининг секциялар билан уланишлари тасвирланади;

5) чўткалар қўйилади. Чўткалар орасида масофа $k/2p = 16/4 = 4$ коллектор бўлмасига тенг;

6) чўткаларнинг қутблилиги аниқланади (ўнг қўл қоидасига кўра); бир хил қутбли чўткалар ўзаро туташтирилади; чўткаларнинг ташқи қисмлар билан уланишлари чизилади.

9.2- масала. Қуйидагилар маълум бўлганда оддий икки қатламли тўлқинсимон чулғамнинг ёйиқ схемасини чизинг: $p = 1$; $z = 13$.

Ечиш. Секциялар сони $S = Z = 13$, коллектор пластиналари сони $k = s = 13$. Чулғамнинг якорь бўйлаб натижавий одими коллектор бўйлаб одимига тенг: $y_k = y = \frac{k \pm 1}{p} = \frac{13 - 1}{1} = 12.$

$$y_1 = z/2p \pm \varepsilon = 13/2 - 1/2 = 6;\ y_2 = y - y_1 = 12 - 6 = 6.$$

9.9- расм, *а, б* да чулғамнинг ёйиқ ва электр схемалари кўрсатилган.

9.2-§. ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАСИНИНГ ИШЛАШ ЖАРАЁНИ

Ўзгармас ток электр машиналари электр энергиясининг генераторлари сифатида ва электр двигателлар сифатида ишлатиш учун тайёрланади. Иккала хил машиналарнинг ҳам ўзига хос хусусиятлари бор ва кейинчалик алоҳида-алоҳида кўриб чиқилади. Лекин генераторлар билан двигателлар учун умумий бўлган масалалар ҳам бор.

Ўзгармас ток машинасининг э.ю.к. ва электромагнит моменти. Якорь чулғамининг э.ю.к. ифодалаш учун электромагнит индукция қонуни асос бўлиб ҳисобланади. (3.35) формуладан ўтказгичдаги ўзгарувчан э.ю.к. нинг оний қийматини аниқлаш мумкин, чунки магнит индукцияси ҳаво тирқиши бўйлаб нотекис тақсимланган. Қутб остидаги магнит индукциясининг ўртача қийматига битта ўтказгичнинг ўртача э.ю.к. қиймати мувофиқ келади $E_{ўр} = B_{ўр}vl$. Ўтказгичнинг айланма тезлиги $v = \pi Dn/60 = 2pn\tau/60$, бунда: D — якорнинг диаметри, n — айланиш частотаси, айл/мин; p — қутб жуфтлари сони; τ — қутб бўлмаси, у ҳолда $E_{ўр} = B_{ўр}l\tau 2\pi n/60$. Лекин $l\tau = S$ — битта қутб бўлмасининг юзаси, $B_{ўр}S > \Phi$ — битта қутбнинг магнит оқими, шунинг учун $E_{ўр} = 2\pi n\Phi/60$.

Якорь чулғамининг э. ю. к. битта параллел тармоқнинг э. ю. к. га тенг, шунинг учун

$$E = E_{ўр}N/2a = \frac{PN}{60a}\Phi n,$$

бу ерда N — якорнинг барча чулғамлари ўтказгичларининг сони; a — параллел тармоқлар жуфтларининг сони.

Формулага кирадиган катталиклардан фақат Φ ва n ни ўзгартириш мумкин, тузилган машинада бошқа катталиклар ўзгармасдан қолади. Доимий коэффициентни $PN/60a = C_E$ орқали белгилаб, қуйидаги формулани оламиз:

$$E = C_E\Phi n. \tag{9.1}$$

Нагрузкали машинанинг чулғамида электр токи бўлади, шу сабабли чулғам ўтказгичларига магнит майдон томонидан электромагнит кучлар таъсир этади [(3.24) формулага қ.]. Бу кучлар ротор валига нисбатан электромагнит момент ҳо-

сил қилади $M_{эм} = B_{ўр} I_а lND/2$, бу ерда $I_а$ — якорь чулғамининг ўтказгичидаги ток.

Илгари ифодалаганимиздек, $\pi D = 2p\tau$, $B_{ўр} l\tau = \Phi$ деб ифодалаб, $\frac{PN}{\pi}\Phi I_а$ формулани оламиз.

Ўтказгичдаги ток $I_а$ — бу якорь чулғамининг битта тармоғидаги ток. У машинанинг умумий токи $I_я = I_а 2a$ нинг бир қисми ҳисобланади, шунинг учун

$$M_{эм} = PN\Phi I_я/(2\pi a).$$

$PN/(2\pi a) = C_м$ катталик ушбу машина учун ўзгармас катталикдир, бинобарин, электромагнит момент якорь чулғамидаги токка ва магнит оқимига мутаносиб боғлиқ бўлади:

$$M_{эм} = C_м \Phi I_я. \tag{9.2}$$

Ўзгармас ток машинасининг қайтарлиги. Электр машиналарининг маълум қайтарлик принципи ўзгармас ток машиналарига ҳам тааллуқлидир. Генератор режимида (9.4-расм, *а* га қ.) роторни бирламчи двигатель айлантиради, бу двигатель ҳаракатлантирувчи механик момент $M_{мх}$ ҳосил қилади.

Генератор қисмаларида электр энергиясининг истеъмолчиси уланган. Якорь чулғамининг э. ю. к. таъсирида чулғам — электр истеъмолчи электр занжирида ўзгармас электр токи $I = E/(R + R_я)$ ҳосил бўлади, бунда R — электр истеъмолчининг қаршилиги; $R_я$ — якорь занжирининг ички қаршилиги. $IR = U$ эканлигини эътиборга олиб, генераторнинг э. ю. к. унинг қисмларидаги кучланишдан якорь занжиридаги кучланишнинг пасайиш қиймати қадар катта эканлигини топамиз:

$$E_1 = U - I_я R_я. \tag{9.3}$$

Электромагнит моментига айланишга қарши таъсир этади, лекин $M_{мх} = M_{эм}$ бўлганда генератор роторининг айланиш частотаси ўзгармас бўлиб сақланиб туради. Унинг валидаги механик моментга механик қувват мувофиқ келади: $P_{мх} = M_{мх}\omega$, бунда $\omega - 2\pi n/60$ ротор айланишининг бурчак частотаси.

Моментларнинг тенглигини эътиборга олиб, механик ва электромагнит моментларнинг тенглигини ҳосил қиламиз:

$$P_{мх} = M_{эм} 2\pi n/60 = \frac{PN}{2\pi a}\Phi_я I \frac{2\pi n}{60} = \frac{PN}{60a}\Phi_п I_я = E_т I_я = \\ = P_{эм}.$$

Бу тенглик генераторга бирламчи двигателдан берилган механик энергия электр энергиясига тўлиқ айланишини кўрсатади.

Генератордан фарқ қилиб, электр двигателнинг қисмаларида электр истеъмолчи ўрнига электр энергиясининг манбаи уланади, унинг вали эса иш машинаси — механик энергияни истеъмол қилгичга механик узатма воситасида туташтирилади (бирламчи двигатель ўрнида — генератор учун механик энергия манбаи бўлади).

Электр двигатель қисмаларига кучланиш U берилади, унинг таъсирида якорь чулғамида ток вужудга келади. Машинанинг магнит майдони чулғам ўтказгичларидаги токка таъсир қилади, бундан электромагнит момент вужудга келади. Агар двигатель режимига ўтказилган машина қисмаларидаги кучланишнинг қутблилиги генератор режимидаги каби сақланса, у ҳолда чулғамдаги токнинг йўналиши ўзгаради. Демак, электромагнит момент ҳам ўз йўналишини ўзгартиради ва роторнинг айланиш томонига йўналади, яъни ҳаракатлантирувчи момент бўлиб қолади. Якорнинг ва магнит оқимининг айланиш йўналишлари сақланиб қолади, шу сабабли чулғамдаги э.ю.к. йўналиши ҳам сақланиб қолади ва энди у токка қарама-қарши йўналади (у қарши э.ю.к. дейилади).

Электр двигатель қисмаларидаги кучланиш э.ю.к. дан якорь занжирида кучланишнинг пасайиш қиймати қадар катта бўлади:

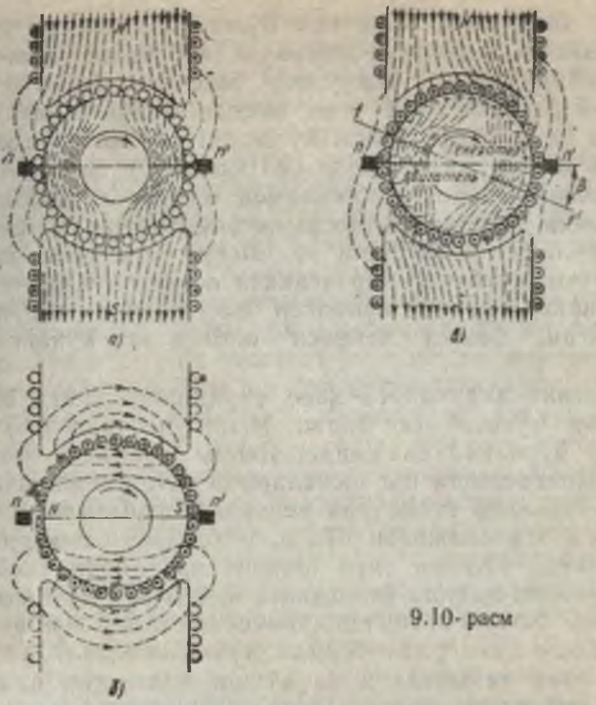
$$U = E_э I_я R_я. \tag{9.4}$$

Моментлар $M_{эм} = M_к$ тенглиги шарти (бу ерда $M_к$—двигатель валидаги қаршилик моменти) бажарилганда роторнинг айланиш частотаси ўзгармас бўлади. Қаршилик моментининг асосий қисмини электр двигатель ҳаракатга келтирадиган иш машинасининг моменти ташкил этади.

(9.4) тенгликдан уни ток $I_я$ га кўпайтириб, қувватлар балансини ҳосил қилиш осон: $UI_я = E_д I_я + I^2_я R_я$.

Баланснинг чап қисмида двигателга киришдаги (ташқи қисмаларидаги) электр қувват бўлади, ўнг қисми эса иккита қўшилувчидан таркиб топган: биринчиси электромагнит қувватни $P_{эм} = E_д I_я$, иккинчиси эса — якорь занжиридаги исрофлар қуввати $\Delta P_я = I^2_я R_я$ ни ифодалайди.

Электромагнит қувват $P_{эм} = E_д I_я = \frac{Pn}{60\,a} \cdot \Phi n I_я$. $n =$



9.10-расм

$= 60\,\omega/2\pi$ эканлигини эътиборга олсак, қуйидаги ифодани оламиз:

$$P_{эм} = \frac{PN}{60\,a}\,\frac{60}{2\,\pi}\Phi I_{я}\omega = M_{эм}\omega = M_{мх}\omega = P_{мх}$$

Шундай қилиб, электр двигатель якорининг чулғамига келадиган электр энергия қисман иссиқликка айланади, асосий қисми эса механик энергияга айланади ва электр двигатель ҳаракатга келтирадиган иш машинасига узатилади.

Якорь реакцияси. Илгари синхрон машинада кўриб чиқилган якорь реакцияси ҳодисаси ўзгармас ток машинасида ҳам бўлади: қутбларнинг асосий магнит майдони якорь чулғамининг магнитловчи кучи таъсирида ўзгаради.

Салт ишлашда машинанинг магнит майдони қутбларга нисбатан симметрик бўлади, физик нейтрал (якорь сиртининг

магнит индукцияси нолга тенг бўлган нуқтасидан ўтказилган текислик) геометрик нейтрал $n - n'$ билан устма-уст тушади (9.10- расм, *а*). Нагрузкали машинада ($I_я \neq 0$) якорь чулғами магнитловчи кучнинг иккинчи манбаи бўлиб ҳисобланади ва қутблар ўқига кўндаланг йўналган иккиламчи магнит майдон ҳосил қилади (9.10- расм, *б*).

Асосий майдонга иккиламчи майдон қўшилиши натижасида натижавий носимметрик магнит майдон ҳосил бўлади (9.10- расм, *в*). Носимметриклик шундан иборатки, қутбнинг бир чеккаси остида иккала майдон бир-бирига қараб йўналган ва магнит индукцияси камайган, бошқа чеккаси остида эса кўпайган бўлади.

Магнит индукцияси ҳаво тирқишида қайта тақсимланиши муносабати билан физик нейтрал $f - f'$ маълум β бурчакка силжийди. Якорь реакцияси ўзгармас ток машинасининг иш хоссаларини анча ёмонлаштиради. Агар чўткалар геометрик нейтралга ўрнатилган, физик нейтрал эса силжиган бўлса, у ҳолда коллекторда учқун пайдо бўлиши учун шароит яратилади (кейинроқ коммутация ҳақида ёзилганига қ.). Бунга қутбнинг бир чеккаси остида магнит индукциясининг бир жойнинг ўзида ортиши ҳам ёрдам беради, чунки секцияларда э.ю.к. нинг оний қийматлари ва қўшни коллектор пластиналари орасидаги кучланиш ҳам кўпаяди; бу ҳол пластиналар орасида ёй разряд ва ҳатто коллекторда айланма олов пайдо бўлишига олиб келиши мумкин. Буни янада мукаммал таҳлил қилиш магнит системаси тўйинган машинада якорь реакцияси қутб остидаги ўртача магнит индукциянинг камайишига олиб келиши мумкинлигини кўрсатади. Чўткалар геометрик нейтралдан силжиганида магнитсизловчи таъсир кучаяди, чунки у билан бирга якорь чулғами магнитловчи кучининг йўналиши ҳам силжийди ва унинг таркибида қутбларнинг асосий магнит оқимига рўпара йўналган бўйлама ташкил этувчи пайдо бўлади.

Машинанинг магнитсизланиши натижасида генераторнинг э.ю.к. ва двигателнинг айлантирувчи моменти камаяди. Якорь реакциясининг зарарли таъсирини йўқотиш учун катта қувватли (150 кВт дан юқори) ўзгармас ток машиналари компенсацион чулғам билан таъминланади, у қутб учликларининг ўйиқларига жойлаштирилади ва якорь чулғами билан кетма-кет уланади.

Коммутация. Роторнинг айланиш жараёнида чўткалар остидаги коллектор пластиналари тўхтовсиз алмашиниб туради ва шу билан бир вақтда якорь чулғамининг секциялари навбатма-навбат битта параллел тармоқдан иккинчисига ўтиб туради.

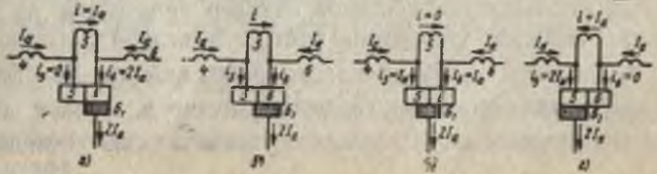
Якорь чулғамининг ёйиқ ёки электр схемасининг бир қисмини кўздан кечириб (9.8- расм, *а, б,* га қ.), бундай ўтишни кузатиш ва бир тармоқдан иккинчисига ўтаётган секцияда ток ўз йўналишини ўзгартиришини аниқлаш мумкин (9.11- расмга ҳам қ.).

Якорь чулғами секцияларини коллектор воситасида бир тармоқдан иккинчисига қайта улаш **коммутация** дейилади. Битта секциянинг қайта уланиши учун кетган вақт коммутация даври дейилади. Ана шу даврдаги вақтда қайта уланадиган секция чўтка билан қисқа туташади ва унда ток J_a дан $-I_a$ гача ўзгаради, бунда I_a — битта параллел тармоқдаги ток. Қуйидаги шароитларда идеаллаштирилган коммутация жараёнини кўриб чиқамиз: чўткалар геометрик нейтралда жойлашган, чўтканинг эни коллектор бўлмасининг энига тенг, қайта уланадиган секцияда э. ю. к. ҳосил бўлмайди.

Коммутация бошланишидан олдинги вақт моментида чўтка $Б_1$ остида пластина *6*, қайта уланадиган секция *5* чулғамнинг чап тармоғида ва ундаги ток $i = I_a$ (9.11- расм, *а*) бўлади. Чўтка пластина *5* га тегиши билан секция қисқа туташади ва электр контур ҳосил бўлади, бу контурга шу секциядан ташқари пластиналар ва чўткалар орасидаги контакт қаршиликлар ҳам киради (9.11- расм, *б*). Бу ҳолда озроқ мулоҳаза юритиб ва хулоса чиқариб, коммутацияланаётган секцияда токнинг вақтга боғлиқлик формуласини олиш мумкин: $i = I_a (1 - 2t) T$.

Коммутация даврининг ўртасида, яъни $t = T/2$ бўлганда ток $i = 0$ (9.11- расм, *в*); унинг охирида $i = T_1$, $t = -I_a$ (9.11- расм, *г*).

Қайта уланадиган секциядаги токнинг шу тенгламага мувофиқ келадиган графиги 9.12- расмда кўрсатилган (*1* тўғри чизиқ). Бундай график асосидаги коммутация **тўғри чизиқли** коммутация дейилади.



9.11- расм

9.12- расм

Ҳақиқатда эса коммутация жараёнини қисқа туташувли секцияда қуйидагича электр юритувчи кучлар вужудга келишини мураккаблаштиради: e_L — ушбу секцияда токнинг ўзгариши туфайли пайдо бўладиган ўзиндукция э. ю. к. [(3.32) формулага қ.]; $e_м$ — берилган секция жойлаштирилган ўйиқларга жойлашган бошқа секцияларда токларнинг ўзгариши билан боғлиқ бўлган [(3.33) формулага қ.] ўзиндукция э. ю. к.; e_a — айланиш э. ю. к. (якорь реакцияси туфайли геометрик нейтралдаги магнит индукцияси нолга тенг бўлмаслигидан ҳосил бўлади [(3.35) формулага қ].

Бу э.ю.к. ток i йўналишида таъсир этади, яъни унинг камайишини тўхтатади; буни қайта уланадиган секцияда қўшимча коммутация токи вужудга келиши сифатида тасаввур қилиш мумкин. Шу сабабли коммутациянинг иккинчи ярим даврида ноль орқали ўтади (9.12- расмда *2* эгри чизиқ). Бу ҳолда коммутация с е к и н л а ш т и р и л г а н дейилади.

Лекин бу ерда реактив э.ю.к. асосий роль ўйнайди, у коммутациянинг кичик даврида (якорнинг айланиш частотаси катта бўлганда) анча катта қийматга эришади. Шу сабабли секциянинг узилиш моментида чўтка билан пластина орасида учқун пайдо бўлади, унинг пайдо бўлишига магнит майдоннинг қўшимча коммутация токига мувофиқ келадиган энергияси сарф бўлади $i_к = i_р/R_ш$. Ток $i_к$ ни чўтка контактининг қаршилиги $R_г$ ни кўпайтириш орқали камайтириш мумкин (бунинг учун қаттиқ — графит, металл- кўмирли чўткалар ишлатилади). Лекин коммутацияни яхшилашнинг энг таъсирчан усули қисқа туташган секцияларда реактив э. ю. к. ни йўқотишдан иборат.

Ана шу мақсадда қўшимча қутблар ўрнатилади ва коммутация зонасида (геометрик нейтрал зонасида) қўшимча магнит индукцияси ҳосил қилинади; унинг қиймати ва йўналиши қайта уланадиган секцияларга реактив э. ю. к. $e_р$ га рўпара йўналган э. ю. к. ҳосил бўлишига олиб келиши лозим.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Нима учун синхрон машинадан фарқли равишда ўзгармас ток машинаси якорининг чулғами роторда, магнит қутблари эса — статорда жойлаштирилади?

2. Электромагнит индукция қонунига мувофиқ магнит майдонда ҳаракатланаётган ўтказгичдаги э. ю. к. (3.36) формула билан ифодаланади. Шу шароитда э. ю. к. ўзгармас бўлади. Коллекторни ишлатмай туриб ҳам ўзгармас э. ю. к. ҳосил қилиш мумкинми?

3. 9.3- расмда чўткалар орасидаги кучланиш графиги кўрсатилган. Чўткалар орасидаги кучланиш нолга тенг бўлганда ва у энг юқори бўлганда секция ўтказгичларининг қутбларга нисбатан кучланиши қандай бўлади?

4. Агар якорь чулғами секциясининг эни қўш кутб бўлмасига тенг (одими $y_1 = z/p$) ва агар $y_1 = 1$ бўлса, секциянинг э. ю. к. қиймати қанчага тенг бўлади?

5. Тўрт қутбли ўзгармас ток генераторининг қисмаларига салт ишлашда уланган вольтметр U_c кучланишни кўрсатади. Барча секцияларнинг э. ю. к. йиғиндиси қанчага тенг. Якорь чулғами битта тармоғининг э. ю. к. - чи? иккита қўшни тармоқларники-чи? барча чулғамники- чи?

9.3- масала. Икки қутбли ўзгармас ток генератори якорининг оддий сиртмоқсимон чулғамида ҳар бирида иккитадан ўрами ($n = 2$) бўлган $S = 164$ секция бор. Қутбнинг магнит оқими $\Phi = 1.2 \cdot 10^{-2}$Вт якорнинг айланиш частотаси $n = 1000$ айл/мин. Генератор қисмаларидаги кучланишни ва якорь занжиридаги қаршилик $R_я = 0{,}15$ Ом, якорь токи эса $I_я = 75$А бўлгандаги электромагнит моментни аниқланг. Худди шу масалани якорнинг чулғами секциялари сони $S = 167$ бўлган оддий тўлқинсимон, якорь занжиридаги қаршилик эса $R_я = 0{,}35$ Ом деб ҳисоблаб ечинг.

9.4- масала. Тўрт қутбли ўзгармас ток двигателининг якори оддий тўлқинсимон чулғамли бўлиб, актив ўтказгичлар сони $N = 620$, қутбнинг магнит оқими $\Phi = 0{,}036$ Вб, якорь чулғамининг қаршилиги $R_я =$ $= 0{,}35$ Ом.

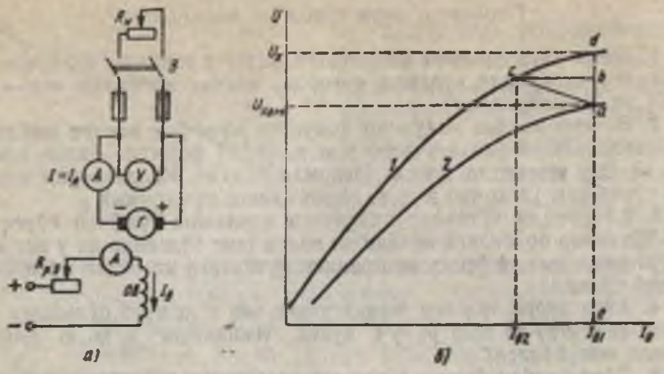
Агар двигателнинг қисмаларидаги кучланиш $U = 550$В, якордаги ток эса $I_я = 105$ А бўлса, электромагнит айлантирувчи моментни ва якорнинг айланиш частотасини аниқланг.

Масалани ўша шарт бўйича ечинг, бунда якорнинг чулғами оддий тўлқинсимон бўлиб, икки ўрамли секциялари сони $S = 156$, двигателнинг қисмаларидаги кучланиш $U = 220$В, якордаги ток $I_я = 55$ А, қутбнинг магнит оқими $\Phi = 1{,}98$ Вб деб ҳисобланг.

9.3- §. ЎЗГАРМАС ТОК ГЕНЕРАТОРЛАРИ

Ўзгармас ток генераторларининг хоссалари ва иш характеристикалари уйғотиш схемасига, яъни иш магнит оқими ҳосил қилиш усулига қараб турлича бўлади.

Уйғотишнинг икки тури (усули) бор; мустақил уйғотиш (уйғотиш чулғами, ўзгармас магнити бор схемалар); ўз-ўзини уйғотиш (параллел, кетма-кет, аралаш схемалар).



9.13- расм

Генераторларнинг ишлаш хоссаларини қатор функционал боғланишлар ёрдамида энг тўлиқ ва яққол кўриб чиқиш мумкин; бу боғланишлар графикларда ифодаланади ва **г е н е р а т о р н и н г   х а р а к т е р и с т и к а л а р и** дейилади. Улардан энг асосийлари қуйидагилардир: салт ишлаш характеристикаси $I = 0$, $n = \text{const}$ бўлганда $U_c = f(I_y)$; нагрузка характеристикаси $I \neq 0$, $n = \text{const}$ да $U = f(I_y)$; ташқи характеристикаси $R_y = \text{const}$, $n = \text{const}$ да $U = f(I)$; ростлаш характеристикаси $U = \text{const}$, $n = \text{const}$ да $U = f()I$; ростлаш характеристикаси $U = \text{const}$, $n = \text{const}$ да $J_y = f(I)$.

Бу ерда қуйидагича белгилашлар қабул қилинган: $U_{с.\,и}$ — — салт ишлаш кучланиши; I_y — уйғотиш токи; I_a — нагрузка токи; U — нагрузка вақтида генераторнинг ташқи қисмаларидаги кучланиш; n — якорнинг айланиш частотаси; R_y — — уйғотиш занжирининг қаршилиги.

Мустақил уйғотишли генератор. Агар уйғотиш чулғами бегона манбага уланган, ушбу генераторнинг якорь чулғами билан боғланмаган бўлса, бундай уйғотиш мустақил уйғотиш дейилади. Мустақил уйғотишнинг схемаси 9.13- расм, *а* да кўрсатилган, бу ерда энг оддий бошқариш ва муҳофаза қилиш аппаратлари, ўлчов асбоблари ҳам кўрсатилган; ростлаш реостати $R_{р.\,р.}$ уйғотиш токини ўлчаш учун хизмат қилади, якорь занжирида эса нагрузка реостати $R_н$ бўлади. Ана шу схема бўйича тажрибалар ўтказилади, улар натижасида генераторнинг характеристикасини тузиш мумкин.

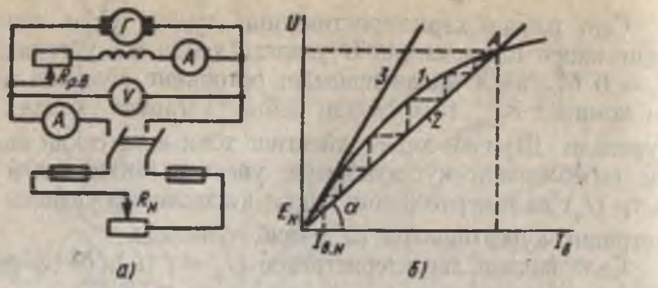
Салт ишлаш характеристикасини тузиш учун генераторнинг якори виключатель B узилган ҳолда ва уйғотиш токи $I_у = 0$ бўлганда айлантирилади; роторнинг айланиш частотаси номинал $n_{ном}$ га етгандан кейин ўзгармас ҳолда сақлаб турилади. Шундан кейин уйғотиш токи аста-секин оширилади, асбобларнинг кўрсатишлари: уйғотиш занжиридаги амперметр ($I_у$) ва генераторнинг ташқи қисмаларига уланган вольтметрнинг кўрсатишлари ($U_х$) ёзиб қўйилади.

Салт ишлаш характеристикаси $U_х = f(I_у)$ (9.13-расм, *б* даги *1* эгри чизиқ) шакли жиҳатдан генератор магнит занжирининг магнитланиш характеристикаси $\Phi = f(F_м)$ га ўхшайди. Ўз навбатида, магнит занжирининг магнитланиш характеристикаси шу занжир ясалган материалнинг — электротехника пўлатининг магнитланиш характеристикасига (3.11-расмга қ.) ўхшайди. Ушбу ҳолда 3.3-§ да келтирилган мулоҳазалар, салт ишлаш эгри чизиғининг хусусиятини тўлиқ тушунтириб беради.

Салт ишлашда $U_х = E$, генераторнинг э. ю. к. магнит оқими Φ нинг катталигига мутаносиб бўлади [(9.1) формулага қ. Демак, ординаталар ўқига мутаносиб катталиклар қўйилади. Абсциссалар ўқига нисбатан ҳам худди шу гапларни айтиш мумкин, чунки магнитловчи куч $F_м$ уйғотиш кучига мутаносиб [(3.7) формулага қ.].

Худди ўша 9.13-расм, *б* да нагрузка характеристикаси ҳам бор (*2* эгри чизиқ). У салт ишлаш характеристикасидан пастда жойлашган, чунки нагрузкали генераторнинг қисмаларидаги кучланиш салт ишлаш кучланишидан кичик бўлади. Бунинг сабабларидан бири (9.3) формуладан кўриниб турибди, бунда $R_я$ — якорь занжири барча қисмаларининг қаршилиги; якорь чулғамининг қаршилиги ($R_а$), қўшимча қутблар чулғамининг қаршилиги ($R_қ$), компенсация чулғамининг қаршилиги ($R_к$), чўтка билан коллектор орасидаги контакт қаршилиги ($R_ч$) дан иборат: $R_1 = R_а + R_қ + R_к + R_ч$. Кесма $abI_яR_я$ катталикни ифодалайди.

Бошқа сабаби якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсиридан иборат. Генераторнинг номинал нагрузкасида унинг қисмаларида номинал кучланиш $U_{ном}$ ҳосил қилиш учун керак бўладиган уйғотиш токи $I_{у1}$ бўлганда *ab* кесма нагрузкали машина э. ю. к. нинг салт ишлаш режимидагига нисбатан камайиш қийматини ифодалайди. Салт ишлаш характеристикасидаги *c* нуқта худди шу шароитларда, лекин якорь



9.14- расм

реакцияси бўлмаганида талаб қилинадиган уйғотиш токи $I_у$, ни билдиради. Учбурчак *abc* реактив учбурчак дейилади.

Ташқи характеристикани тузиш учун зарурий катталиклар қуйидаги тажриба натижасида олинади: генератор номинал частота $n_{ном}$ билан айлантирилади, номинал кучланиш $U_{ном}$ да номинал ток $I_{ном}$ берилади.

Шундан кейин уйғотиш чулғамининг занжиридаги қаршиликни ўзгартирмаган ҳолда ($R_{р.у} = \text{const}$) ва якорнинг айланиш частотасини бир хиллигича сақлаб ($n = \text{const}$) генераторнинг нагрузкаси аста-секин нолга қадар камайтирилади (салт ишлашда $I = 0$); якорь занжиридаги амперметр билан вольтметрнинг кўрсатишлари ёзиб қўйилади.

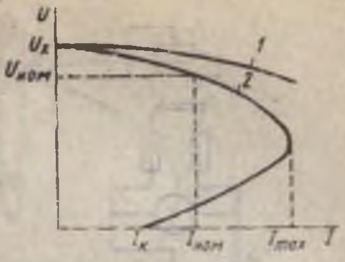
Ташқи характеристика (9.15-расмдаги *1* эгри чизиққа қ.) нагрузка токи *I* кўпайиши билан генератор қисмаларидаги кучланиш *U* илгари айтиб ўтилган сабабларга кўра камайишини кўрсатади.

Нагрузка токи нолдан номинал қийматга қадар кўпайганида генератордаги кучланишнинг нисбий ўзгариши фоиз ҳисобида ифодаланади: $\Delta U\ \% = (U_{с.и.}/U_{ном} - 1)\,100$. Мустақил уйғотишли генераторлар учун бу муносабат 5 — 10% ни ташкил этади.

Параллел уйғотишли генератор. Ўзгармас ток генераторларининг ўз-ўзини уйғотиши ферромагнит материалларнинг қолдиқ магнитланганлик хусусиятини сақлаб қолишига (3.3-§. га қ.) асосланган; ушбу генераторда уйғотиш чулғами якорь чулғами билан уланганида генератор ўз-ўзидан уйғониши мумкин.

9.14-расм, *а* да шу чулғамлар параллел уланган схема кўрсатилган, 9.14-расм, *б* даги графикда эса салт ишлаш ха-

рактеристикаси (*1* эгри чизиқ) ва уйғотиш занжирида кучланиш пасайишининг уйғотиш токига боғлиқлиги $U_{с.н.} = I_у R_у$ (*2* эгри чизиқ) ифодаланган. Бу характеристикаларни умумий ўқларда тасвирлаш ўз-ўзини уйғотиш жараёнини яққол кузатишга имкон беради.



9.15- расм

Агар якорь айланаётган бўлса (масалан, айланиш частотаси $n_{ном}$), у ҳолда унинг чулғамида қолдиқ магнит оқими Φ_0 бошланғич э. ю. к. $E_б$ ни ҳосил қилади, у уйғотиш чулғамида кичик бошланғич уйғотиш токи $I_{у.б.}$ ни вужудга келтиради.

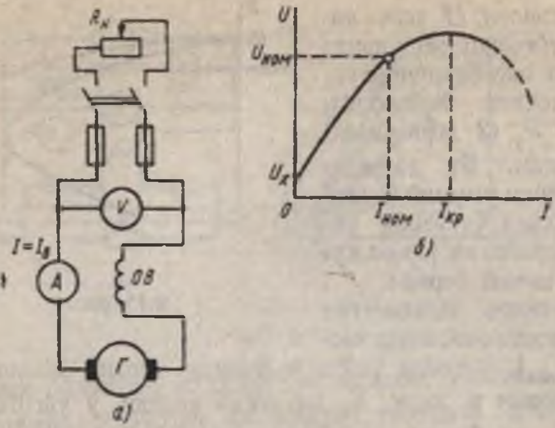
Бу ток уйғотиш чулғамининг магнитловчи кучини $I_{у.б.} N_у$ ҳосил қилади. Агар бу куч оқим Φ_0 га мувофиқ йўналган бўлса, у ҳолда қутбларнинг магнит оқими кўпаяди, бу эса ўз навбатида э. ю. к. нинг кўпайишига ва кейин уйғотиш токининг ошишига олиб келади ва ҳ.

Уйғотиш жараёнининг тугашига *А* нуқта мувофиқ келади, бу нуқтада *1* ва *2* характеристикалар кесишади, чунки худди шу нуқтада $U_{с.н.} = I_у R_у$ тенглик барқарор бўлади.

Эгри чизиқ *2* нинг координата ўқларига нисбатан ҳолати уйғотиш занжири қаршилигининг катталигига боғлиқ. Жумладан, $R_у$ катталашиши билан унинг абсциссалар ўқига оғиш бурчаги α катталашади. Уйғотиш чулғами қаршилигининг қиймати маълум даражада бўлганда $U_{с.н.} = I_у R_у$ тўғри чизиқ салт ишлаш характеристикасига уринма бўлиб қолади (3 эгри чизиқ). Бу ҳолда генератор ўз- ўзидан уйғониши мумкин эмас ва тегишли қаршилик қиймати к р и т и к қиймат дейилади.

Параллел уйғотишли генераторнинг ташқи характеристикасининг (9.15- расмдаги *2* эгри чизиқ) бикрлиги мустақил уйғотишли генераторникидан (*1* эгри чизиқ) камроқ бўлади, чунки нагрузка токи катталашганда уйғотиш токи камайиши муносабати билан кучланиш янада (қўшимча) камаяди ($\Delta U_у = 10 \div 30\%$).

Худди шу сабабга кўра нагрузка қаршилиги $R_н$ камайиши билан нагрузка токи I маълум I_{max} қийматга қадар ор-



9.16- расм.

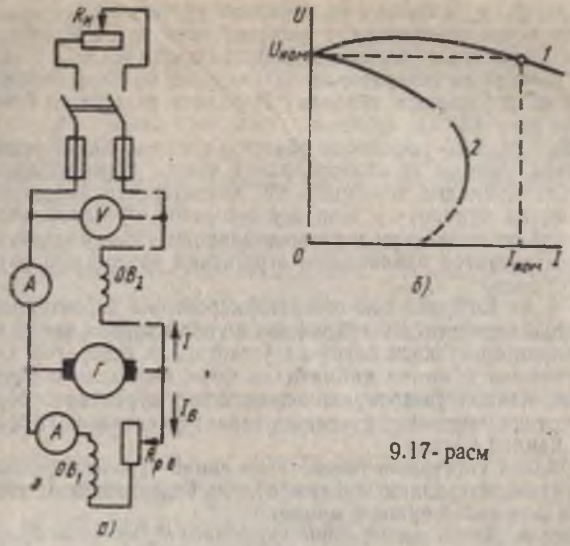
тади, сўнгра қисқа туташув токи ҳам камаяди $I_{қ.т} < I_{max}$. Шунга қарамай, тасодифий қисқа туташув параллел уйғотишли генератор учун ҳам хавфли, чунки магнит занжири магнитсизланишига улгурмайди ва якордаги ток машина учун хавфли қийматга етади

Кетма-кет уйғотишли генератор. Уйғотиш чулғами якорь чулғами билан кетма-кет уланганда (9.16-расм, *а*) уйғотиш токи нагрузка токига тенг бўлади ($I_у = I$). Шунинг учун кичик нагрузкада салт ишлаш кучланиши катта бўлмайди. Нагрузка кўпайиши билан уйғотиш токи ҳам кўпаяди, бинобарин, э. ю. к. ва генераторнинг ташқи қисмларидаги кучланиш ҳам ортади (9.16-расм, *б* даги ташқи характеристикага қ.).

Нагрузка токи $I = I_{кр}$ бўлганда кучланишнинг кўпайиши тўхтайди, нагрузка янада кўпайганда эса кучланиш камаяди. Ташқи характеристиканинг бундай хусусиятига сабаб шуки, машина магнитга тўйинганида асосий магнит оқимининг ортиши тўхтайди, лекин якорь занжирида кучланишнинг пасайиши ва якорь реакциясининг таъсири тўхтамайди, балки кўпаяди.

Кетма-кет уйғотишли генераторлар амалда камдан-кам ишлатилади, чунки нагрузканинг кучланишга жуда боғлиқлиги эътиборга олинади.

Аралаш уйғотишли генератор. Аралаш уйғотишда генераторнинг иш магнит оқимини иккита чулғам ҳосил



9.17- расм

қилади, улардан бири OB_2 якорь чулғами билан параллел, иккинчиси OB_2 эса кетма-кет уланган (9.17- расм, *а*) бўлади.

Параллел чулгам иш магнит оқимининг асосий қисмини ҳосил қилади, кетма-кет чулғам эса, агар параллелга мувофиқ уланган бўлса, машинани магнитлайди. Ушбу ҳолда кетма-кет уланган чулғамнинг таъсири якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсирини ва якорь занжирида кучланишнинг пасайишини компенсациялайди, шу сабабли нагрузка ўзгарганида генератор қисмаларидаги кучланиш кам ўзгаради (9.17- расм, *б* даги ташқи характеристика *1* бикр бўлади).

Уйғотиш чулғамлари муқобил қилиб уланганида уларнинг магнитловчи кучлари қарама-қарши йўналади, шу сабабли генератор қисмаларидаги кучланиш нагрузка токи ортиши билан кескин камаяди (ташқи характеристика *2*).

Текшириш учун савол ва масалалар

1. 9.13- расмда ўзгармас ток генераторининг салт ишлаш характеристикаси (1- эгри чизиқ) тасвирланган. Шу эгри чизиқнинг ўзи машина магнит занжирининг магнитланиш характеристикасини ифодалаши учун катталиклар масштабини иккала координата ўқлари бўйича қандай ўзгартириш керак?

2. Мустақил қўзғатишли ва параллел қўзғатишли генераторларнинг ташқи характеристикалари нагрузка токи ортиши билан машина қисмаларида кучланишнинг пасайишини кўрсатади. Нима учун мустақил уйғотишли генераторларда нагрузка ортиши билан кучланишнинг нисбий ўзгариши кўпаяди? Параллел уйғотишли генераторларда-чи?

3. 9.15, 9.16, 9.17- расмларда уйғотиш схемаси билан фарқ қиладиган тўртта типдаги генераторларнинг ташқи характеристикалари кўрсатилган. Қуйидаги ҳолларда бу характеристикалардан қайси бири энг афзал бўлади; а) агар шу генератор кучланиш ўзгармаслигини талаб этадиган куч истеъмолчиларини таъминлайдиган бўлса, б) агар генератор пайвандлаш агрегатини таъминлаш учун мўлжалланган бўлса?

4. 9.1- § да ўзгармас ток генератори ростлаш характеристикасининг таърифи берилган. Бу таърифдан шундай хулоса келиб чиқади: ростлаш характеристикаси нагрузка ўзгарганида генератор қисмаларидаги кучланиш номинал қийматидан фарқ қилмаслиги учун уйғотиш токини қандай ўзгартириш лозимлигини кўрсатади. Мустақил уйғотишли генераторнинг ростлаш характеристикаси графигининг кўриниши қандай бўлади?

5. Параллел уйғотишли генераторни синаб кўришга ҳаракат қилганда у уйғонмаётганлиги маълум бўлди. Генераторнинг уйғонмаслигига нималар сабаб бўлиши мумкин?

9.5- масала. Якорь занжирининг қаршилиги $R_я = 0{,}4$Ом бўлган мустақил уйғотишли генераторнинг салт ишлашида ва роторнинг айланиш частотаси $n_х = 740$ айл/мин бўлганда кучланиш $U_х = 230$В бўлади. Ток $I_1 = 60$А бўлганда нагрузка уланганида роторнинг айланиш частотаси $n_1 = 725$ айл/мин га қадар камайди. Магнит оқимининг ўзгаришини эътиборга олмай туриб, генератор қисмаларидаги кучланишнинг янги қийматини топинг.

Агар нагрузка ўзгарганида якорнинг айланиш частотаси ўзгармас бўлиб, n_1 га тенглигича қоладиган бўлса, генераторнинг қувватини ва $I_1 = 60$А ҳамда $I_2 = 40$ А нагрузкалардаги ф. и. к. ни аниқланг. Магнит оқимининг ўзгаришини эътиборга олманг.

9.6- масала. Параллел уйғотишли генератор қисмларидаги кучланиш $U = 220$В, нагрузка қаршилиги $R_4 = 40$ Ом. Агар якорь занжирининг қаршилиги $R_я = 0{,}25$ Ом, уйғотиш занжирининг қаршилиги $R_у = 44$ Ом бўлса, э. ю. к. ва якорь токини аниқланг. Нагрузка ўзгарганида э. ю. к. ўзгармасдан қолади, деб ҳисоблаб $I_н = 60$ А ва $I_н = 40$А нагрузкаларда нагрузка қувватини ва генераторнинг ф. и. к. ни аниқланг.

9.4- §. ЎЗГАРМАС ТОК ЭЛЕКТР ДВИГАТЕЛЛАРИ

Генераторлар каби ўзгармас ток электр двигателлари ҳам уйғотиш схемасига кўра бир-биридан фарқ қилади. Генераторлар билан двигателларнинг бир-бирига бундай ўхшашлиги электр машиналарнинг қайтарилувчанлиги туфайлидир.

Электр двиателларнинг иш характеристикалари ва ишлатилиш хусусиятлари бир-биридан тубдан фарқ қилади, шу сабабли улар кейинроқ ҳар қайси тур дви-

гатель учун алоҳида-алоҳида кўриб чиқилади, лекин ҳозир ўзгармас ток электр двигателларининг барча турларига тааллуқли бўлган умумий маълумотларни кўриб чиқамиз.

Умумий маълумотлар. Электр двигатель иш режимида тармоқдан оладиган энергия асосан якорь занжирига келади ва унинг жуда оз қисмигина уйғотиш занжирига боради.

Бу ҳол 9.18-расмда ўзгармас ток двигателининг энергетик диаграммасида акс эттирилган, бунда $P = UI$ — двигателга киришдаги электр қувват, $P_у$ $I_у^2R_у = UI_у$ — уйғотиш занжиридаги қувват, $P_я = P_1 - P_у$ — якорь занжиридаги қувват.

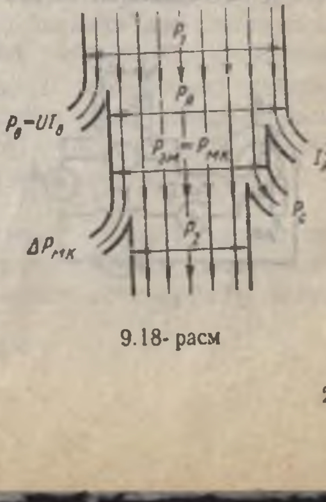
Унинг маълум қисмини якорь занжиридаги исрофлар қуввати $\Delta P_я = I_я^2R_я$ ташкил этади, катта қисми эса электромагнит қувват бўлиб, у электр энергиясининг механик энергияга айланиш тезлигини ифодалайди: $P_{эм} = P_{мх} = EI_я$, бу 9.2-§ да батафсил кўриб чиқилган.

Валдаги фойдали механик қувват P_2 нинг қиймати $P_{мх}$ дан якорь ўзагидаги исрофлар қуввати $P_с$ билан механик исрофлар қуввати (подшипниклардаги ишқаланишдан, чўтканинг коллекторга ишқаланишидан, айланаётган қисмларнинг ҳавога ишқаланишидан бўладиган исрофлар) айирилганда келиб чиқади.

Фойдали механик қувват P_2 нинг қисмалардаги электр қуввати P_1 га нисбати двигателнинг фойдали иш коэффициентини ифодалайди:

$$\eta = P_2/P_1. \quad (9.5)$$

Ўзгармас ток электр двигателининг айлантирувчи моментини (9.2) формула ифодалайди, у моментнинг катталиги ва йўналиши қутблар магнит оқимларининг катталиги билан йўналишига ва якорь чулғамидаги токка боғлиқ эканлигини кўрсатади: $M_{эм} = C_м\Phi I_я$. Бу катталиклардан бирининг йўналишини ўзгартириш йўли билан моментнинг ишорасини ва, бинобарин, электр двигатель роторининг айланиш йўналиши-



9.18-расм

ни ўзгартириш мумкин. (9.1), (9.2) формулалардан айлантирувчи момент учун қуйидаги ифодани оламиз:

$$M_{эм} = \frac{C_м E I_я}{C_E n} = \frac{30 E I_я}{\pi n} = 9{,}55 P_{эм}. \qquad (9.6)$$

(9.1) ва (9.3) формулалар асосида роторнинг айланиш частотаси ифодасини олиш осон:

$$n = E/C_E \Phi = (U - I_я R_я)/C_E \Phi. \qquad (9.7)$$

Бу формулага (9.4) формуладан ток қийматини қўйиб, айланиш частотаси билан двигателнинг электромагнит моментини боғлайдиган ифодани оламиз:

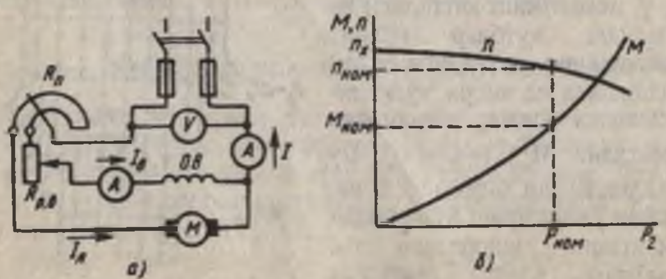
$$n = U/C_E \Phi = M_{эм} I_я/(C_E C_м \Phi^2). \qquad (9.8)$$

Электродвигателнинг қисмаларидаги кучланиш ва якорь занжиридаги қаршилик ўзгармайди, деб фараз қиламиз: бу ҳолда якордаги ток роторнинг айланиш частотасига мутаносиб бўлган қарши э. ю. к. қийматига боғлиқ бўлади. (9.7) формуладан қуйидаги ифода келиб чиқади:

$$I_я = (U - C_E \Phi n) R_к. \qquad (9.9)$$

Параллел уйғотишли двигатель. Двигатель бу турининг бошқалардан фарқ қиладиган ўзига хос хусусияти шундан иборатки, унда уйғотиш чулғами якорь чулғами билан параллел уланган бўлади (9.19- расм, *а*).

Двигателнинг ишлатилиш хусусиятларига баҳо бериш учун унинг иш характеристикалари: $U = \text{const}$ ва $I_у = \text{const}$ бўлганда айланиш частотаси ва айлантириш моментининг двигатель валидаги қувватга боғлиқлиги $n = f(P_2)$ ва $M = f(P_2)$ катта ахамиятга эга (9.19- расм, *б*).



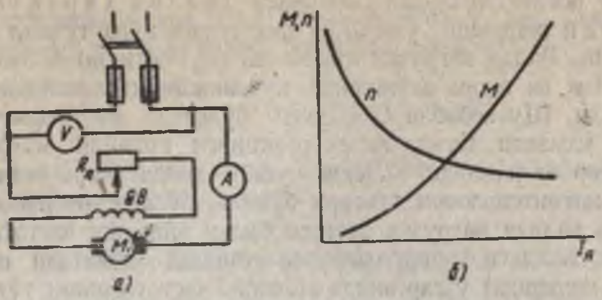
9.19- расм

Бу боғлиқликлардан биринчиси тезлик характеристикаси дейилади, уни (9.7) формулага кўра таҳлил қилиш мумкин. Валда нагрузка кўпайиши (P_2 ортиши) билан якордаги ток ва якорь занжирида кучланишнинг пасайиши $I_я R_я$ кўпаяди. Шу сабабли $U = \text{const}$ бўлганда бу формуладаги сурат камаяди. Бунда якорь реакцияси туфайли махраж Φ ҳам бир оз камаяди. Лекин ушбу ҳолда якорь реакциясининг магнитсизловчи таъсири бўшроқ бўлади, натижада двигатель валида нагрузка ортиши билан айланиш частотаси камаяди. Валдаги ташқи нагрузка номинал қийматдан нолгача (салт ишлашда) ўзгарганида айланиш частотасининг тўлиқ ўзгариши фоизларда ифодаланган нисбий қиймат билан баҳоланади: Δn % $(n_х/n_{ном} - 1) \cdot 100$.

Параллел уйғотишли двигателлар учун айланиш частотасининг номинал ўзгариши 2 — 8% ни ташкил этади. Айлантирувчи момент валдаги қувват билан (9.6) формула орқали боғланган, бу формула $n = \text{const}$ бўлганда график тарзда тўғри чизиқ билан ифодаланади. Лекин илгари кўрсатилганидек, нагрузка ортиши билан айланиш частотаси камаяди, шу сабабли $M = f(P_2)$ боғлиқлик тўғри чизиқдан оғади. (9.8) формула айланиш частотаси n ни айлантирувчи момент M билан боғлайди ва двигатель механик характеристикасининг математик ифодаси $n = f(M)$ ҳисобланади.

Агар уйғотиш токи ўзгармаслигича ($I_у = \text{const}$) сақлаб турилса ва якорь реакциясининг таъсири эътиборга олинмаса, у ҳолда магнит оқими Φ ни доимий ($\Phi = \text{const}$) деб ҳисоблаш мумкин. Шу шароитларда параллел уйғотишли двигателнинг механик характеристикаси тўғри чизиқли бўлади (9.21-расмдаги *1*, *2*-тўғри чизиққа қ.), бунда момент катталашиши билан айланиш частотаси камаяди. Механик характеристиканинг абсциссалар ўқига нисбатан оғиши якорь занжирининг қаршилик қийматига боғлиқ бўлади, бу ҳам (9.8) формуладан келиб чиқади. Якорь занжирида қўшимча қаршилик $R_к$ бўлмаганида двигателнинг механик характеристикаси табиий характеристика (*1* эгри чизиқ) дейилади. Якорь занжирига қўшимча қаршилик қўшилганида якорь занжирининг умумий қаршилиги ($R_я + R_к$) кўпаяди ва механик характеристиканинг оғиши (энди сунъий) кўпаяди (*2* эгри чизиқ).

Параллел уйғотишли двигателнинг табиий характеристикалари бикр характеристикалар турига киради. Якорь занжирида қаршилик ортиши билан характеристикаларнинг бикрлиги камаяди.



9.20- расм

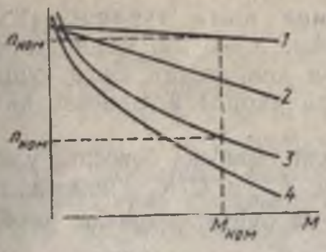
Кетма- кет ва аралаш уйғотишли двигателлар. Уйғотиш чулғами якорь чулғами билан кетма-кет уланганидаги электр двигатель схемаси 9.20- расм, *а* да кўрсатилган. Бу ҳолда уйғотиш токи якорь токига тенг ($I_у = I_я$), шу сабабли қутблар магнит оқимларининг қиймати бевосита нагрузка токи I билан боғланган.

Агар машинанинг магнит системаси тўйинмаган бўлса, у ҳолда қутблар магнит оқимининг қиймати нагрузка токига мутаносиб бўлади $\Phi = kI_я$, бунда k — машина магнит занжири магнитланиш характеристикасининг тўғри чизиқли қисмига мувофиқ келадиган мутаносиблик коэффициенти.

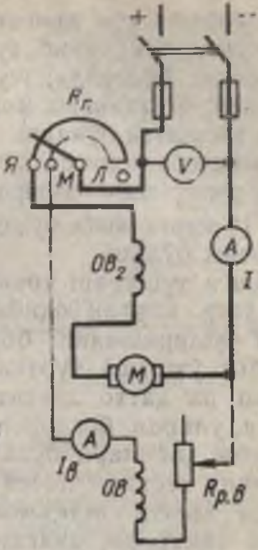
Демак, кичик нагрузкаларда ($I_я$ — кичик) электромагнит момент нагрузка токининг квадратига мутаносиб [(9.2) формулага қ.]: $M = C_м \Phi I_я = C_м k I_я^2 = C'_м I_я^2$, (9.7) формула эса айланиш частотаси нагрузка токига тескари мутаносиб эканлигини кўрсатади:

$$n = \frac{U - I_я R_я}{C_E k I_я} = \frac{1}{C'_E}\left(\frac{U}{I_я} - R_я\right).$$

9.20- расм, *б* да кетма- кет уйғотишли двигателнинг иш характеристикалари $M = f(I_я)$ ва $n = f(I_я)$, 9.21- расмда эса механик характеристикалари тасвирланган. (3,4- эгри чизиқлар). Уларни кўздан кечириб, кетма-кет уйғотишли двигателларнинг қуйидаги ўзига хос хусусиятларини таъкидлаш мумкин. Роторнинг айланиш частотаси нагрузкага жуда боғлиқ бўлади, айниқса кичик нагрузкаларда ток камайганида айланиш частотаси кескин кўпаяди. Ишга тушириш вақтида якорда ток катта бўлади, шу сабабли двигателда катта ишга тушириш моменти пайдо бўлади. Катта нагрузкаларда маг-



9.21- расм



9.22- расм

нит системаси тўйинган бўлади, яъни магнит оқими якордаги токка кам боғлиқ бўлади, шу сабабли бу соҳада иш характеристикалар ва механик характеристикалар деярли тўғри чизиқли бўлади. Нагрузка кўпайганида двигателга киришдаги қувват унинг айлантирувчи моментига қараганда секинроқ кўпаяди, чунки момент ортиши билан бир вақтда айланиш частотаси анчагина камаяди.

Аралаш уйғотишли электр двигателнинг магнит оқимини иккита чулғам ҳосил қилади: улардан бири OB_1 якорь чулғами билан параллел (9.22- расм), иккинчиси OB — кетма-кет уланган.

Бу чулғамлар магнит жиҳатдан одатда бир-бирига мувофиқлаштириб уланади, шу сабабли аралаш уйғотишда электр двигателнинг иш хоссалари параллел ва кетма-кет уйғотишли двигателларникига нисбатан оралиқ ҳолатни эгаллайди.

Бундай двигателларда механик характеристикалари, жумладан параллел уйғотишли двигателларникидан анча равон ва кетма-кет уйғотишли двигателлардагига қараганда анча бикр бўлади. Салт ишлашда айланиш частотаси $n_{с.и}$ чекланган ва параллел уйғотиш чулғами ҳосил қилган магнит оқимига мос келади.

Ўзгармас ток двигателларини ишга тушиши. (9.9) формуладан кўриниб турибдики, $n=0$ да, яъни ротор кўзғалмас бўлганда, жумладан двигателни ишга туширишнинг бошланғич моментида якордаги токнинг қиймати энг катта бўлади.

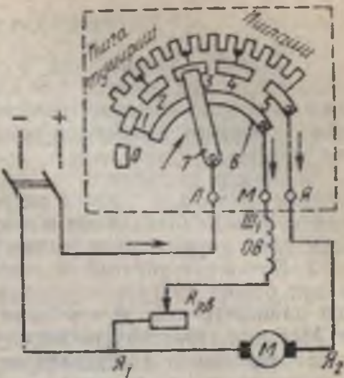
Двигатель номинал кучланишли тармоққа бевосита уланганда унинг ишга тушириш токи $I_{н.т} = U/R_я$ номиналдан 10 — 15 марта катта бўлади, чунки бунда қаршилик нисбатан кичик бўлади.

Ишга тушириш токининг бу қадар катта бўлиши қуйидаги хавфли оқибатларга олиб келиши мумкин: ишга туширишнинг бошланишида юритмада кескин (зарбга ўхшаш) туртки бўлиб, унда механик шикастланиш ва ҳатто двигателнинг ўзида, иш машинасида ҳамда уларни боғловчи механик узатманинг ҳаракатланувчи қисмлари бузилиши мумкин: тармоқда кучланишнинг кескин пасайиши бу шу тармоққа уланган бошқа электр истеъмолчиларнинг нормал ишлашини издан чиқаради, двигателни ишга туширишда коллекторда айланма олов пайдо бўлиши мумкин. Ана шу сабабларга кўра фақат кам қувватли (0,5 кВт гача) двигателларнигина бевосита тармоққа улашга рухсат этилади: катта қувватли двигателларни ишга тушириш учун ишга тушириш реостатлари (9.19- расм, а, 9.20- расм, *а,* 9.22- расмдаги $R_{и.т}$) ишлатилади, улар якорь занжирига кетма-кет уланади, бу билан ишга тушириш токининг қиймати рухсат этиладиган чегараларда бўлишига эришилади.

Ишга тушириш реостатининг (амалда ишлатиладиган бир неча турларидан бирининг) схемаси 9.23- расмда кўрсатилган, унда тўлиқ қаршилик тўртта секциядан таркиб топган. Реостатнинг контакт системаси қуйидагилардан тузилган: салт ишлаш контакти *0,* иш контакти *5,* тўртта оралиқ контактлар (*1, 2, 3, 4*), ричаг 7; ричаг мис ёй *6* билан ва унинг ҳолатига қараб контактлардан бири билан электр жиҳатдан туташган бўлади.

Тармоқ рубильнигини улашдан олдин уйғотиш занжиридаги ростлаш реостати $R_{р.у}$ нинг ва якорь занжиридаги ишга тушириш реостати $R_{н.т.}$ нинг ҳолатини текшириб кўриш зарур. Ростлаш реостатини қаршилиги энг кичик ($R_{р.у} = 0$) бўладиган ҳолатига ўрнатиш лозим. Ишга тушириш реостатининг ричаги *6* салт ишлаш контакти *0* га ўрнатилади ва

фақат шундан кейингина тармоқ рубильнигини улаш мумкин. Рубильник улангандан кейин ишга тушириш реостатининг ричаги *6* биринчи оралиқ контакт *1* га ўтказилади. Бунинг натижасида уйғотиш занжирида тўла кучланиш берилади, якорь занжирига эса ишга тушириш реостатининг тўла қаршилиги $R_{\text{и.т.max}}$ уланади; қаршилик ишга тушириш токи якорь токидан катта, лекин кўпи билан 2—3 марта катта бўладиган қилиб танланади.



9.23- расм

Айланиш частотаси кўпайиши билан якорь чулғамидаги қарши э.ю.к. ортади, ток эса камаяди. Ток бирор олдиндан белгиланган қийматга қадар камайгандан кейин *двигателни* ишга туриш жараёнини чўзиб юбормаслик учун ричаг *6* ни оралиқ контакт *2* га суриш йўли билан ишга тушириш реостатининг қаршилигини камайтириш лозим. Кейин худди шу тартибда ричаг *6* кейинги оралиқ контактларга ўтказилади ва ишга туширишнинг охирида иш контакти *5* га ўрнатилади.

Тезликни ростлаш. (9.7) ифода ўзгармас ток двигателлари роторининг айланиш частотасининг ростлаш имкониятларини кўрсатиб беради.

Бунинг учун двигателнинг кириш қисмаларидаги кучланишни ёки қутбларнинг магнит оқимини ўзгартириш мумкин. Параллел ва аралаш уйғотишли двигателларда магнит оқимини уйғотиш токини ўзгартириш йўли билан ростлаш осон; бунинг учун параллел уйғотиш чулғами занжирига ростлаш реостати $R_{\text{р.у}}$ кетма-кет уланади.

Кетма-кет уйғотишли двигателларда бу мақсад учун уйғотиш чулғамини секцияларга бўлиш ёки унга параллел равишда ростлаш реостати $R_{\text{р.у}}$ ни улаш усули қўлланилади.

Уйғотиш токи камайганида роторнинг айланиш частотаси кўпаяди ва агар уйғотиш токи ҳамда магнит оқими нолга қадар камайтирилса ($I_{\text{у}} = 0$ ёки $\Phi = 0$) айланиш частотаси чексиз ортади. Бунда, айниқса уйғотиш занжири узилганда двигатель механик шикастланиши (двигатель сочилиб кетиши) мумкин.

1. Тармоқ рубильнигида рубильникни ўзгармас ток двигатели билан улайдиган иккита сим қисмаларининг ўрни алмаштирилди. Агар двигатель параллел уйғотишли бўлса, бундай қайта улашдан кейин роторнинг айланиш йўналиши ўзгарадими? Двигатель мустақил уйғотишли бўлганда-чи?

2. Электр двигателни иш машинаси билан улаш учун турли хил механик узатмалар (тишли редуктор, тасмали узатма ва ҳ.) ишлатилади. Нима сабабдан иш машинасини кетма-кет уйғотишли двигателга улаш учун тасмали узатма ишлатилмайди?

3. Кетма-кет уйғотишли двигателларнинг механик характеристикалари бошқа двигателларннкига қараганда транспорт ва юк кўтариш машиналарининг юритмалари талабларини яхши қаноатлантиради. Механик характеристиканинг қандай ўзига хос хусусиятлари кетма-кет уйғотишли двигателларни тортувчи двигателлар сифатида ишлатиш учун асос бўлади?

4. Параллел уйғотишли двигателни ишга туширишдан олдин нима учун уйготиш занжиридаги ростлаш реостати қаршилиги нолга тенг бўладиган ҳолатга ўрнатилади?

5. Агар уйғотиш занжиридаги ростлаш реостатининг ҳолати қуйидагича ўзгартирилса: сургич 9.19- расм, *а* даги схема бўйича пастга сурилса; сургич 9.23- расмдаги схема бўйича ўнгга сурилса двигатель роторининг айланиш частотаси қандай ўзгаради?

9.7- масала. Параллел уйғотишли электр двигателнинг киришида $U = 110$ В, ток $I = 55{,}5$ А. Якорнинг оддий сиртмоқсимон чулғамида ўтказгичлар сони $N = 300$, иш режимидаги қаршилик $R_я = 0{,}1$ Ом. Қутб жуфтлари сони $p = 1$, қутбнинг магнит оқими $\Phi = 2 \cdot 10^{-2}$ Вб, уйғотиш токи $I_у = 5{,}5$А, двигателнинг ф. и. к. $\eta = 0.82$.

Якорь реакциясини эътиборга олмай туриб двигатель якорининг айланиш частотасини ва унинг айлантирувчи моментини аниқланг. Якорда ток $I_я = 100$ А бўлганда ва якорь занжиридаги ишга тушириш реостатининг қаршилиги $R_я = 0{,}9$Ом бўлганда (реостат тўлиқ чиқарилмаган) якорнинг айланиш частотасини ва ишга тушириш реостати бўлмаганида двигателнинг ишга тушириш токини аниқланг.

9.8- масала. Кетма- кет уйғотишли двигателнинг киришида кучланиш $U = 110$В, ток $I = 10$ А. Якорнинг айланиш частотаси $n = 1700$ айл/мин. валдаги момент $M = 4.1$Н·м. Двигателнинг ички қаршилиги (кириш қисмаларидаги) $R_{кир} = 2$ Ом. Э. ю. к., якорнинг электромагнит қуввати, двигателнинг ф. и. к. ни аниқланг. Агар валдаги момент ўшанча бўлганда қисмалардаги кучланиш $U = 100$ В га қадар пасайтирилган бўлса, якорнинг айланиш частотасини, валдаги қувватни ва ф. и. к. ни аниқланг.

10- БОБ.

АВТОМАТИКАНИНГ ЭЛЕКТРОМАГНИТ ЭЛЕМЕНТЛАРИ

Механизациялаш ва автоматлаштириш воситаларидан халқ хўжалигининг барча соҳаларида кенг фойдаланилади.

Турли ишлаб чиқаришларнинг техника ва технологияси ускуналарни, машиналарни, программали бошқариш асбобларини, шу жумладан саноат роботларидан фойдаланган ҳолда ишлаб чиқариш жараёнларини комплекс механизациялаш ва автоматлаштиришни жорий этиш мақсадида жадал қайта жиҳозланиш; микропроцессор ва микроЭҲМ ёрдамида автоматлаштирилган осон қайта жиҳозланувчи технологик комплексларни яратиш ва татбиқ этиш йўли орқали янада ривожлантирилади.

Ишлаб чиқариш жараёнларини автоматлаштириш одамларнинг иш шароитларини енгиллаштиради, меҳнат унумдорлигини, ишлаб чиқаришдаги машина ва механизмларнинг ишлаш ишончлилигини оширади, маҳсулотнинг сифатини яхшилайди, материал ва энергия сарфини камайтиради.

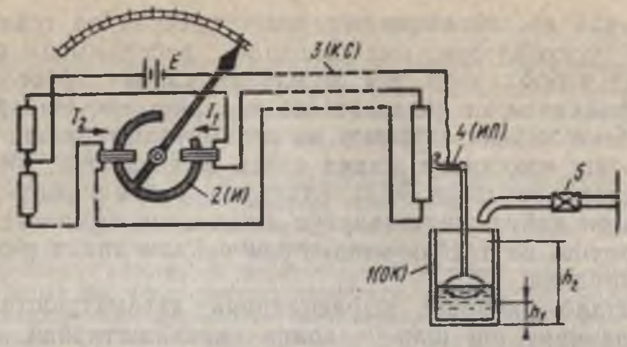
Автоматиканинг қуйидаги системалари фарқ қилинади: автоматик назорат (ўлчаш), автоматик бошқариш, автоматик ростлаш. Автоматика системаларини муфассал ўрганиб чиқиш мазкур курснинг вазифасига кирмайди, шу боис қуйидаги улар ҳақида айрим маълумотларгина келтирилди. Автоматиканинг электр ва магнит элементлари, яъни ишлаш принципи электр ва магнит ҳодисаларидан фойдаланишга асосланган элементлар эса анча муфассал ёритилди.

10.1-§. АВТОМАТИКА ЭЛЕМЕНТЛАРИ ВА СИСТЕМАЛАРИ ҲАҚИДА УМУМИЙ МАЪЛУМОТЛАР

Автоматиканинг барча элементлари орасида электр ва магнит элементлари энг кўпдир, бироқ улардан ташқари электронли, оптик, механик, гидравлик, пневматик ва бошқа элементлар ҳам қўлланилади.

Автоматика элементларининг вазифасини тушуниб олиш мақсадида энг оддий автоматик тузилмалардан мисоллар кўриб чиқамиз.

Автоматик назорат. 10.1-расмда резервуар *1* ичидаги суюқлик сатҳини масофадан туриб автоматик назорат қилиш схемаси кўрсатилган. Суюқлик ҳажмининг ўзгариши билан қалқовичнинг ва реостат *4* нинг мазкур қалқович билан боғланган қўзғалмас контактининг ҳолати ўзгаради. Шунингдек, электромагнит логометр *2* ғалтакларининг занжирларидаги қаршилик ва токларнинг нисбати ҳам ўзгаради. Логометр стрелкасининг



10.1-расм

шкаладаги ҳолати токларнинг нисбатига (6.4-§ га қаранг), токларнинг нисбати эса резервуардаги суюқлик сатҳига боғлиқ. Бинобарин, ўлчагичнинг шкаласини бевосита суюқликнинг сатҳи ёки ҳажми бирликларида бўлакларга бўлиб чиқиш ҳамда алоқа линияси 3 мавжуд бўлганида мазкур катталикларни назорат объектидан маълум бир масофада назорат қилиш мумкин.

Ўлчаш ўзгартиргичи (бизнинг мисолда — қалқович ва қўзғалувчан контактли реостат) ўлчанадиган катталикни қабул қилади ва унинг ўзгаришини логометр галтакларининг занжирларидаги қаршилик ва токнинг ўзгаришига айлантириб беради. Бажарадиган вазифаларига кўра ўлчаш ўзгартиргичлари сезгир элементлар ёки датчиклар, деб ҳам аталади.

Ўлчанадиган катталик сезгир элементдан ўлчагичга алоқа канали орқали узатилади. Берилган ҳолда мазкур канал системанинг оралиқ элементи ҳисобланади. Бу ҳолда бошқа бирор-бир оралиқ элементлар йўқ, аммо бошқа ҳолларда кучайтирувчи элементлар, шифраторлар, дешифраторлар ва ҳоказолар зарур бўлиб қолиши мумкин.

Берилган мисолда ўлчанадиган катталик ўлчагичга бевосита эмас, балки логометр ғалтакларидаги токларнинг нисбати кўринишида шифрланган тарзда узатилади. Бунда ўлчагич дешифратор вазифасини ўтайди, чунки ўлчанадиган катталикнинг токлар нисбатига аввалдан маълум бўлган боғлиқлиги шкалани ўлчанадиган катталик бирликларида бўлиб чиқишга имкон беради.

Ўлчагич ўлчанадиган катталикни узлуксиз кўрсатиб туради, яъни бутун тузилманинг охирги функциясини бажаради ва шу маънода, берилган автоматик системанинг ижрочи элементи ҳисобланади.

Қурилган мисолда назорат қилувчи катталикни стрелкали кўрсаткич акс эттиради, бироқ унинг ўрнига ёки у билан биргаликда бошқа акс эттирувчи тузилмани қўллаш мумкин. Бунда мазкур тузилма назорат қилинувчи катталикни ёзиб олади ёки унинг жоиз қийматлар оралиғидан чиққанлиги ҳақида сигнал беради.

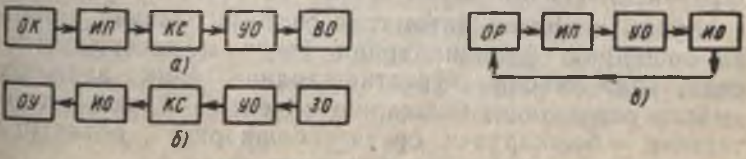
Мазкур ҳолларда бошқариш функцияси мавжуд эмас. Бироқ айрим автоматик назорат тузилмаларида охирги (чиқиш) орган саноат маҳсулотларини маркаларга ёки навларга ажратади.

Автоматик назорат системасини умумий ҳолда структура схемаси кўринишида тасвирлаш мумкин (10.2-расм, *а*), бунда қуйидаги белгилашлар киритилган: *НО* (ОК) — назорат объекти; *ЎЎ* (ИП) — ўлчаш ўзгартиргичи; *АҚ* (КС) — алоқа канали: *БО* (УО) — бошқарувчи орган; *АО* (ВО) — акс эттирувчи орган.

Охирги элементлар бўлмиш *АО* ёки *ВО* лар назорат объектига ҳеч қандай акс таъсир кўрсатмайди, яъни автоматик назорат системаси очиқдир.

Автоматик бошқариш ва ростлаш. Очиқ бошқариш системасида (10.2-расм, *б*) назорат функцияси йўқ. Бошқарувчи орган *БО* га оператор ёки топширувчи орган *ТО* орқали бошқа автоматик системадан келувчи сигнал таъсир кўрсатади. Операторнинг топшириғи илгаридан тайёрлаб қўйилган дастурга мувофиқ киритилиши мумкин, масалан электр двигателни ишга тушириш ёки тўхтатиш, сув қувури ёки газ қувуридаги сурилма клапанни очиш ёки беркитиш ва ҳоказо.

Бошқарувчи сигнал бошқариш объекти *БО* га таъсир кўрсатувчи ижрочи орган *ИО* га алоқа канали орқали келади (агар бунда сигнални олдиндан расшифровка қилиш ва кучайтириш талаб қилинмаса).



10.2- расм

Агар бошқариш у ёки бу параметрнинг катталигига боғлиқ ҳолда амалга ошириладиган бўлса, мазкур параметрни ўлчаш лозим.

Мисол тариқасида бошқариш объекти сифатида суюқликли резервуарни кўриб чиқамиз. Бунда шу шартга асосланамизки, резервуардаги суюқликнинг сатҳи юқориги ва пастки белгилар чегарасидан ташқарига чиқмаслик шартига асосланамиз. Оператор сатҳи ўлчагичнинг кўрсаткичларини кузатиб туриши ва сатҳнинг шартлашиб олинган қийматларига жўмрак *5* ни ёпиш ёки очишга буйруқ юбориши лозим (10.1- расмга қаранг).

Операторнинг сатҳни кузатиш ва ростлашдан иборат толиқтирувчи вазифасини структура схемаси 10.2- расм, *в* да кўрсатилган автоматик тузилма зиммасига юклаш мумкин. Ўлчаш ўзгартиргичи *ЎЎ* ростланадиган катталикни (ушбу ҳолда резервуардаги сув сатҳини) ўлчайди ва уни бошқарувчи орган *БО* га таъсир этиш учун қулайроқ бўлган бошқа турдаги катталикка айлантириб беради.

Бошқарувчи орган ушбу таъсирни қабул қилади ва ростланадиган катталикнинг берилган қийматларидан бирига эришилганда ишга тушади, яъни ижрочи орган *ИО* нинг ишлашига буйруқ беради. *ИО* эса, ўз навбатида, ростлаш органи *РО* га тегишли тарзда таъсир кўрсатади.

Мазкур автоматик бошқариш системасининг кўринишларидан бири автоматик ҳимоя бўлиб, унинг вазифаси у ёки бу чегаравий режим юзага келганда жараённи узиб қўйишдан иборат.

Агар ростланадиган катталикнинг юқориги ва пастки чегаралари орасидаги фарқ (суюқлик сатҳини ростлагич мисолида $\Delta h = h_2 - h_1$) камайтирилса, у ҳолда ростланадиган катталикнинг берилган битта қийматини (суюқлик сатҳини, валнинг айланиш тезлигини ёки бошқа катталикларни) маълум аниқлик билан тутиб турувчи системани ҳосил қилиш мумкин.

Кўриб чиқилган автоматик система назорат қилиш ва бошқариш функцияларини ўзида мужассамлаштиради, унда таъсир кўрсатишларнинг ёпиқ занжири амалга оширилади: бошқариш объекти — ўлчаш ўзгартиргичи — бошқарувчи орган — бошқариш объектига янгитдан таъсир кўрсатувчи ижрочи орган.

Автоматик бошқаришнинг мазкур ёпиқ системаси **автоматик ростлаш системаси** дейилади.

Автоматик бошқариш системаси таркибига қуйидагилар ҳам киради: бошқаришнинг барча операциялари олдиндан тайёрлаб қуйилган программа буйича бажариладиган программали бошқариш системаси; олдиндан номаълум булган қонун буйича узгарувчи киришдаги топширувчи таъсирни чиқишда маълум аниқлик билан акс эттирувчи тақлидий система.

Автоматик системалардан келтирилган мисоллар билан қисқача танишиб чиқиш ушбу системалар ўзаро боғлиқ алоҳида элементлардан ташкил топганлигини таъкидлашга имкон беради. Мазкур элементларни вазифасига кура учта: сезгир элементлар, ижрочи элементлар ва оралиқ элементлар гуруҳига булиш мумкин.

Текшириш учун саволлар

1. Золдирли подшипникларни ишлаб чиқариш буйича технологик кетма-кетликда золдирларни саралаш учун автоматик тузилма ўрнатилган. Мазкур тузилма учта автоматик системанинг қайси бирига тегишли?

2. Нима учун 10.2- расм, *а* даги структура схемасида ижрочи орган *ИО* акс эттирилмаган? Ушбу схеманинг қайси элементи ўзининг вазифалари жиҳатидан унга айнан ўхшайди?

3. Нима учун 10.- расм, *б* даги структура схемасида ўлчаш ўзгартиргичи йўқ? Ушбу схеманинг қайси элементи ўзининг вазифалари жиҳатидан унга айнан ўхшайди?

4. Автоматик ростлаш системаси назорат қилиш ва бошқариш вазифаларини бажаради. Бу 10.2- расм, *в* даги структура схемасида қандай акс эттирилган?

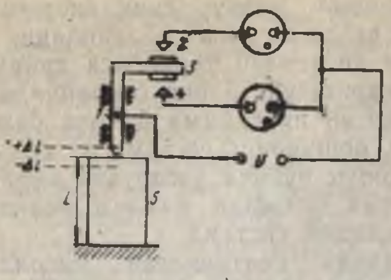
5. Тақлидий система билан программали бошқариш системасининг ўхшашлик ва фарқ қилувчи томонлари нимадан иборат?

10.2- §. ПАРАМЕТРЛИ УЛЧАШ УЗГАРТИРГИЧЛАРИ

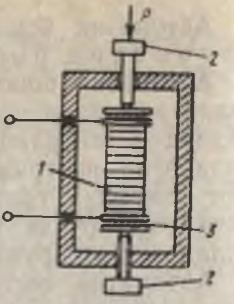
Ўлчаш ўзгартиргичининг асосий характеристикаси чиқиш катталиги унинг назорат қилувчи ёки ростланувчи катталик x га боғлиқлиги, яъни $y=f(x)$ дан иборат.

Аксарият ҳолларда ўлчаш ўзгартиргичларининг ростланадиган кириш катталиклари ноэлектрик (механик, иссиқлик, оптик ва б.) булади.

Ўлчаш ўзгартиргичларининг ишлаш принципи ва тузилиши жуда хилма-хил, аммо кириш катталигининг характерига кура улар фақат иккита: параметрли ва генераторли турларга булинади.



а)



б)

10.3- расм

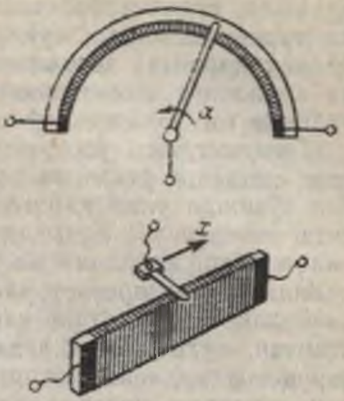
Агар ўлчаш ўзгартиргичи электр занжирининг назорат қилинадиган параметри бўлмиш ноэлектр катталикнинг ўзгаришига, яъни қаршилик *R*, индуктивлик *L* ёки сиғим *C* ўзгаришни электр катталикнинг ўзгаришига айлантириб берса, уни параметрли ўлчаш ўзгартиргичи дейилади. Бинобарин, ўлчаш ўзгартиргичларнинг мос равишда резистив, индуктив ёки сиғим хиллари бўлади.

Резистив ўзгартиргичлар. Улчаш ўзгартиргичларининг мазкур турига контактли, реостатли ва тензометрик ўзгартиргичлар, шунингдек терморезисторлар киради.

Оддийгина қилиб ишланган *контактли* ўзгартиргич 10.3- расм, *а* да кўрсатилган. У қўзғалмас ўлчаш штифти *1* ҳамда контактлар *2, 3, 4* дан ташкил топган. Уларнинг бири (*3*) штифтга маҳкамланган бўлиб, у билан биргаликда ҳаракатланади.

Ушбу ҳолда штокнинг механик ҳаракати контактларнинг туташ ёки узилган ҳолатларига боғлиқ бўлган электр сигналига айлантирилади. Бунда ўзгартиргичнинг чиқиш катталиги — контактлар орасидаги қаршилик чексизликдан деярли нолгача бўлган оралиқда ўзгаради. Бундай ўзгартиргичлар деталларнинг ўлчамларини текширишда, саралаш автоматларида қўлланилиши мумкин. 10.3- расм, *а* да деталларни ўлчамлари бўйича саралаш учун фойдаланилиши мумкин бўлган схемалардан бири кўрсатилган. Агар деталь *5* нинг ўлчами жоиз четга чиқишлар оралиғида бўлса, у ҳолда иккала контакт узилган, неонли лампалар ўчиқ бўлади, бу деталнинг яроқли эканлигини билдиради.

Агар штифт остига ўлчами жоиз ўлчам чегарасидан у ёки бу томонга чиққан (четга чиқиш $\geqslant \mp \Delta l$) деталь тўғри келса, бунга қўзғалувчан ва қўзғалмас контактлар орасидаги масофа мос келади, у ҳолда лампаларнинг бири ёнади ва деталнинг яроқсизлиги ҳақида сигнал беради. 10.3-расм, *б* бошқа турдаги ўзгартиргич — слюдали қистирмалар *3* билан винтлардан изоляция қилинган жез дисклар орасига винтлар *2* билан қисилган кўмир шайбалардан тайёрланган устунча *1* кўрсатилган. Дисклардан ўлчаш занжирига симлар чиқарилган.



10.4-расм

Устунчанинг электр қаршилиги, асосан, шайбалар орасидаги қаршиликлардан иборат, шунинг учун мазкур қаршилик сиқиш даражасига боғлиқ бўлади. Кўмир шайбалардан тайёрланган устунча электр қаршилигининг ўзгаришига қараб механик куч F ва босим P аниқланади.

Реостатли ўзгартиргич (10.4-расм) ишлаш принципига кўра сурилгичли оддий реостатга ўхшайди, лекин ўлчамларининг кичиклиги, пухта ва аниқ ишлангани билан ажралиб туради. Унинг ўлчамлари у боғлиқ бўлган объектнинг ўлчамлари қанчалик кичик бўлса, шунчалик кичик бўлади.

Ўзгартиргичнинг сезгир органи изоляцион материал (пластмасса, сопол ва *б.*) дан тайёрланган каркасга бир текис ўралган, юқори қаршиликли қотишмалар (манганин, константан ва ҳоказо) лардан ясалган ингичка симдир. Сурилгич (чўтка) фосфорланган бронзадан, зарур ҳолларда эса платина билан иридий ёки платина билан бериллий қотишмаларидан тайёрланади.

Кириш катталиги — бурчак α ёки чизиқли x кўчиш — сурилгичга узатилади, сурилгич ҳолатининг ўзгаришига қараб чиқиш катталиги — реостатнинг қаршилиги ўзгаради.

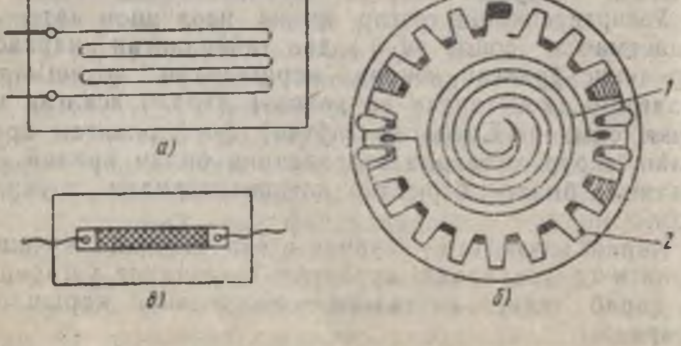
Реостатли ўзгартиргичлар бурилиш бурчакларини

ўлчашда, турли асбобларнинг кўрсатишларини масофада туриб узатишда, суюқлик сатҳини ўлчашда (10.1-расмга қаранг); деталларнинг силжишини, куч, босим ва силжишга айлантириш мумкин бўлган бошқа катталикларни ўлчашда қўлланади.

Тензометрик ўзгартиргичлар (тензорезисторлар) нинг ишлаши ўтказгич ва ярим ўтказгичларни сиқиш ёки чўзишда улар қаршиликларининг ўзгариш ҳодисасига асосланган. Улардан деформация, босим, қисқа силжишлар, вибрация ва ҳоказоларни ўлчашда фойдаланилади. Тензорезисторларнинг сезгир элементларини тайёрлаш учун юқори қаршиликли қотишмалар (константан, нихром ва б.) дан ясалган ингичка сим ёки зар қоғоздан, тензосезгир плёнкалардан, ярим ўтказувчан кристалл материаллардан фойдаланилади.

10.5- расм, *а—в* да симдан, зар қоғоздан ва ярим ўтказгич тасмадан тайёрланган тензорезисторлар кўрсатилган. Текшириш жараёнида чўзувчи ёки сиқувчи кучлар таъсирида бўладиган деталнинг деформациясини ўлчаш учун унинг сиртига тензорезистор ёпиштирилади. Бунда деталь ўлчамининг ўзгаришига қараб сим зар қоғознинг узунлиги ва кўндаланг кесими ўзгаради. Шунга мос равишда ўлчаш схемаси, масалан, кўприк схемасига уланган тензорезисторнинг электр қаршилиги (чиқиш катталиги) ўзгаради.

Зар қоғоздан тайёрланган тензорезисторлар симли тензорезисторларга қараганда деформацияни яхшироқ қабул қилади, бу эса ўлчаш аниқлиги янада юқори бўлишини таъминлайди. 10.5- расм, *б* да тасвирланган



10.5- расм

тензорезисторнинг чўзувчи кучларни сезувчи ўрамлари *2* ҳамда сиқувчи кучларни қабул қилувчи ўрамлари *1* бор. Ушбу тензорезистор мемоpанага ёпиштирилади ва босимни ўлчаш учун хизмат қилади.

Ярим ўтказувчи элементнинг сезгирлиги ярим ўтказувчи бўлмаган элементникига қараганда анча юқори бўлиб, унинг қаршилиги, асосан, солиштирма қаршиликнинг ўзгариши ҳисобига ўзгаради.

Терморезисторлар — электр қаршилиги температурага боғлиқ бўлган сезгир элементлардир. Улар иш температуралари доираси (мис учун—50 дан 150°С гача, платина учун —200 дан 600°С гача) да деярли ўзгармас бўлган қаршиликнинг температура коэффициенти α нисбатан катта металлардан, ярим ўтказувчи материаллар. (марганец, мис, кобальт, титан ва б. ларнинг оксидлари) дан тайёрланади. Мазкур турдаги ўлчаш ўзгартиргичларининг хоссаларини солиштириб кўриш металл терморезисторларнинг афзаллигини кўрсатади: иш температуралари доирасида қаршиликнинг температурага чизиқли боғлиқлиги [(2.8) формулага қаранг]; ярим ўтказувчи терморезисторларникига қараганда кенгроқ бўлган бир хил ва стабил параметрларга эга бўлган терморезисторларнинг алоҳида нусхаларини тайёрлаш мумкинлиги (бу билан уларнинг ўзаро алмашинувчанлиги таъминланади).

Ярим ўтказувчи терморезисторлар металл терморезисторларга нисбатан қуйидаги афзалликларга эга: бир неча марта ортиқ сезгирлик, иссиқлик энерционлигининг анча кичиклиги, ички қаршиликнинг юқорилиги, бу эса ишлатиш жараёнида бирлаштирувчи симларнинг қаршилигини ҳисобга олмасликка имкон беради.

Терморезисторлар температурани, газ оқимининг тезлигини, босимни ва чуқур вакуумни ҳамда муҳит иссиқлик ўтказувчанлигининг ўзгаришига боғлиқ бўлган бошқа катталикларни ўлчаш учун қўлланилади. Температурани ўлчашда қаршилик термометрларидан фойдаланилади. Улардаги сезгир элементлар металл (симли) терморезисторлар (ҳимояланган кожухдаги пластмасса ёки слюдадан тайёрланган каркасга ўралган ингичка сим) ҳисобланади. Ўлчаш ўзгартиргичи $R_т$ мувозанатланмаган кўприк схема таркибига битта елка сифатида киради (10.6- расм), қолган учта елка ўзгармас қаршиликли резисторлар R_1, R_2, R_3 дан тузилган. Битта диагоналга таъ-

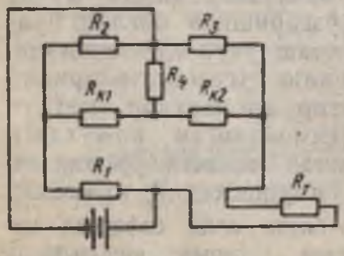
минлаш манбаи киритилган, иккинчисига эса умумий нуқтаси манбанинг мусбат қутби билан резистор R_4 орқали уланган логометр R_{z1} ва R_{z2} нинг ғалтаклари киритилган.

Назорат қилинадиган объектнинг температураси ўзгариши билан терморезисторнинг қаршилиги $R_т$ ўзгаради, шу сабабли логометр ғалтакларидаги токлар ҳам ўзгаради. Бу эса шкаласи температура бирликларида бўлиб чиқилган ўлчагич стрелкасининг тегишли тарзда оғишига олиб келади. Терморезисторларнинг вольт-ампер характеристикалари чизиқли эмас. Уларни кучланиш стабилизаторлари ва индикаторларининг, иссиқлик контактсиз релеларининг схемаларида қўллаш ана шунга асосланган.

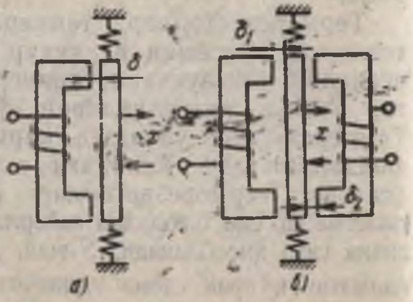
Индуктив ўзгартиргичлар. Узгарувчан токда ишлайдиган индуктив ўзгартиргичларни яратишда электромагнит элементлар индуктивлигининг мазкур элементлар магнит занжирининг шаклига, геометрик ўлчамларига ва магнит ҳолатига, чулғамларнинг ўзаро жойлашишига ва улаш схемасига боғлиқлигидан фойдаланилади. Қуйида индуктив ўзгартиргичларнинг айрим схемалари мисол тариқасида кўриб чиқилган.

10.7-расм, *а* даги схемада тасвирланган ўзгартиргичда ўзак билан қўзғалувчан якорь орасидаги ҳаволи тирқишнинг узунлиги ўзгарганда магнит ўтказгичнинг магнит қаршилиги ўзгаради, бинобарин, чулғамнинг индуктивлиги ва индуктив қаршилиги ўзгаради. Шунинг учун, электр занжирига киритилган чулғамдаги ток тирқиш δ нинг қийматига боғлиқ бўлади.

Агар ноэлектр катталик (куч, босим, силжиш ва б.) нинг бевосита ёки билвосита таъсири остида тирқиш δ нинг ёки қутблар юзасининг қиймати ўзгарса, ток маз-



10.6-расм



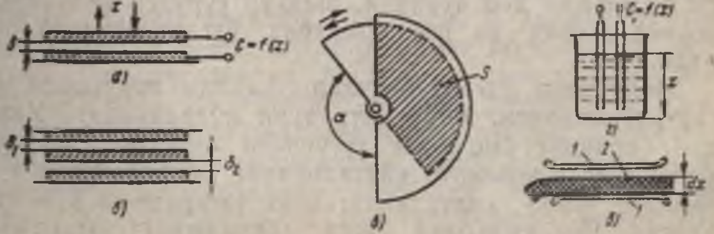
10.7-расм

кур ноэлектр катталикка функционал боғланган бўлади. Дифференциал ўзгартиргич (10.7- расм) анча юқори сезгирликка эга, чунки берилган ҳолда битта чулғамининг индуктивлиги ортади, иккинчисиники эса камаяди. Дифференциал ўзгартиргичнинг чулғамлари кўприк схемага, одатда, шундай уланадики, бунда улар чиқиш токининг ўзгаришига ўзаро мувофиқлашган тарзда кўрсатади.

Маълумки, ғалтакнинг индуктивлиги ўзак материалининг магнит сингдирувчанлигига боғлиқ [(3.10) формулага қаранг]. Қайишқоқ деформация таъсирида айрим ферромагнит материалларнинг магнит сингдирувчанлиги ўзгаради. Катта кучларни ўлчашда қўлланиладиган магнит қайишқоқ индуктив ўзгартиргичларнинг ишлаши ана шу ҳодисага асосланган.

Сиғимли ўзгартиргичлар. Конденсатор электр сиғимининг унинг ўлчамларига, қопламаларининг ўзаро жойлашишига ва диэлектрикнинг диэлектрик сингдирувчанлигига [(1.9) формулага қаранг)] боғлиқлиги сиғимли ўлчаш ўзгартиргичларининг ишлаш асосини ташкил қилади. Чизиқли силжишларни, бурилиш бурчакларини, шунингдек, таъсирини пластиналар орасидаги масофани ёки пластиналарнинг актив юзасини ўзгартиришга йўналтириш мумкин бўлган катталиклар (куч, босим, момент ва ҳ.к.) ни ўлчаш учун оддий ва дифференциал турдаги сиғимли ўзгартиргичлар қўлланилади (10.8- расм, *а, б*).

10.8- расм, *в* да кўрсатилган, пластинасининг юзаси S ўзгарувчан бўлган сиғимли ўзгартиргич ҳаволи конденсатордан иборатдир. Мазкур конденсатордаги пластиналарнинг бир қисми қўзгалмас, иккинчи қисмини эса қандайдир бурчак α га буриш мумкин. Бунда сиғим бурилиш бурчагига пропорционал равишда ўз-



10.8- расм

гаради, бурилиш бурчаги эса ўлчанадиган бирор катталик таъсирида ўзгаради.

Суюқликларнинг сатҳини, моддаларнинг намлигини, диэлектриклардан ясалган буюмларнинг қалинлиги ва ҳоказоларни ўлчаш учун сиғимнинг диэлектрик сингдирувчанликка боғлиқлигидан фойдаланилган сиғимли ўзгартиргичлар қўлланилади. 10.8- расм, *г* да сатҳ ўлчагичнинг ишлаш принципи тушунтириб берилган: текшириладиган идишга электродлар туширилган бўлиб, улар орасидаги сиғим идишдаги суюқлик сатҳи x га боғлиқдир, чунки суюқлик сатҳи ўзгарганда электродлар орасидаги муҳитнинг диэлектрик сингдирувчанлиги ўзгаради. Диэлектрикдан тайёрланган тасманинг қалинлигини ўлчайдиган ўзгартиргич 10.8- расм, *g* да кўрсатилган. Тасма *2* нинг қалинлиги dx ўзгарганда конденсаторнинг пластиналари *1* орасидаги ҳаволи тирқиш ва сиғим ўзгаради.

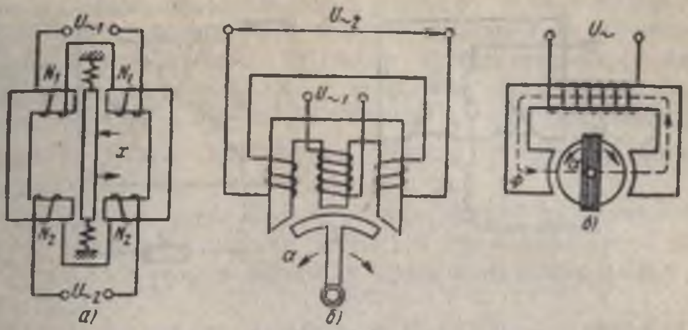
Текшириш учун саволлар

1. 10.3- расм, *а* даги қайси лампа деталнинг ўлчами жоиз қийматдан катта ёки кичиклиги ҳақида сигнал беради?
2. Ўлчаш ўзгартиргичининг иш сифатини баҳолашда унинг сезгирлиги қандай аҳамиятга эга?
3. Нима учун индуктив ўлчаш ўзгартиргичлари ўзгармас токда ишлатиш учун фойдаланилмайди?
4. Ҳаволи тирқиш катталашганда магнит ўтказгичнинг магнит қаршилиги ва ўлчаш ўзгартиргичи чулғамининг индуктив қаршилиги қандай ўзгаради (10.7- расм, *а* га қаранг)?
5. Текшириладиган тасманинг қалинлиги катталашганда ва кичиклашганда ўлчаш ўзғартиргичининг (10.7- расм, *д* га қаранг) сиғими қайси томонга ўзгаради?

10.3- §. ГЕНЕРАТОР ЎЗГАРТИРГИЧЛАР

Агар ўлчаш ўзгартиргичининг чиқиш катталиги э.ю.к. ёки электр заряди бўлса, у г е н е р а т о р ў з г а р т и р г и ч деб аталади. Мазкур гуруҳга индукцион, термоэлектрик ва пьезоэлектрик ўзгартиргичлар киради.

Индукцион ўзгартиргичлар. Амалда индукцион ўзгартиргичларнинг бир нечта тури қўлланилади. Улардан бирининг ўзига хос хусусияти шундаки, назорат қилинадиган ноэлектр катталикнинг таъсири икки чулғамнинг ўзаро индуктивлигининг ўзгаришига йўналтирилган. Чулғамлардан бири (бирламчи) ўзгарувчан кучланиш манбаига уланган, иккиламчи (чиқиш.) чул-

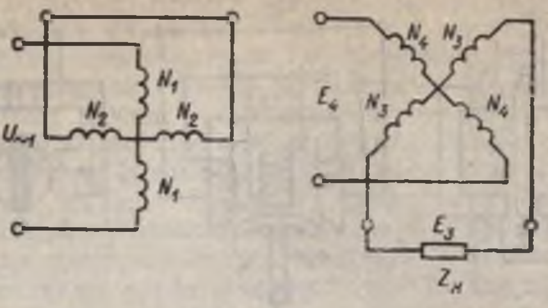


10.9- расм

ғамида э.ю.к. ҳосил бўлади. Ушбу э.ю.к. нинг қиймати ўзаро индуктивлик ўзгарганида, яъни иккиламчи чулғамнинг оқим илашиши ўзгарганида ўзгаради. Ўзаро индуктивликнинг ўзгариши ҳаволи тирқишнинг, қутблар юзасининг, ўзакнинг магнит-қайишқоқлик хоссаларининг ёки иккиламчи чулғам (агар у қўзғалувчан бўлса)нинг ўзгаришига боғлиқдир.

10.9- расм, *а* да ҳаволи тирқиши ўзгарувчан бўлган дифференциал индукцион ўзгартиргичнинг схемаси кўрсатилган. Унинг ўзига хос хусусияти шундаки, бирламчи чулғам N_1 нинг бир хилдаги бўлинмалари тўғри, иккиламчи чулғамники эса тескари қилиб уланади. Қўзғалувчан якорь электромагнитларга нисбатан симметрик жойлашганда ҳамда ўзгарувчан кучланиш U_1 да бирламчи чулғамнинг қисмаларидаги иккиламчи кучланиш нолга тенг бўлади ($U_2=0$, сигнал мавжуд эмас). Агар якорь маълум масофага силжиса, ўзгартиргичнинг чиқишида сигнал юзага келади.

Қутбларининг юзаси ўзгарувчан бўлган индукцион ўзгартиргичнинг схемаси 10.9- расм, *б* да бурилувчан ғалтакли индукцион ўзгартиргичнинг схемаси эса 10.9- расм, *в* да кўрсатилган. Мазкур турдаги ўзгартиргичлар, индуктив ўзгартиргичлар каби, кўпинча, мувозанатлашган ва мувозанатлашмаган кўприк схемалар, шунингдек компенсацион схема билан биргаликда қўлланилади. Компенсацион схемадан силжишлар ва бошқа ноэлектр катталиклар (куч, момент, босим, бурилиш бурчаги ва ҳ.к.) ни ўлчашда фойдаланилади. Ноэлектр катталиклар таъсирида ҳаволи тирқишнинг



10.10- расм

узунлигини ва иккиламчи чулғам якорининг бурилиш ҳолатини ўзгартириш мумкин.

Айланиш трансформаторлари. Айланиш трансформатори (АТ) тузилишига кўра фаза роторли асинхрон машинага ўхшайди. Статорда тақсимланган иккита бирламчи чулғам жойлашган бўлиб, улар фазода ўзаро 90° га силжитилган (10.10- расм). Чулғамлардан бири (уйғотиш чулғами деб аталадигани) ўзгарувчан ток тармогига уланади; иккинчи чулғамнинг уланиш схемаси АТ нинг вазифасига боғлиқ. Иккиламчи иккита чулғам ҳам фазода ўзаро 90° га силжитилган бўлиб, роторнинг пазларига жойлаштирилган. Агар трансформатор роторнинг бурилиши чекланган ҳолда ишлашга мўлжалланган бўлса (бурилиш трансформатори), чулғамлар юқорида айтилганидек жойлаштирилади. Бу ҳолда роторнинг чулғамлари билан электр контактни амалга ошириш, одатда, спираль пружиналар ёрдамида бажарилади ва роторнинг энг катта бурилиш бурчаги мазкур пружиналарни чегаравий буриш бурчаги билан аниқланади.

Узлуксиз айланиш режимида ишлаш учун мўлжалланган трансформаторнинг роторида бирламчи чулғамлар жойлашган, уйғотиш чулгами билан электр жиҳатдан боғланиш учун эса контакт ҳалқалар ҳамда чўткалар хизмат қилади.

Айланиш трансформаторларининг ишлаш принципи роторнинг бурилиш бурчаги ўзгариши туфайли статор ва ротор чулғамлари орасида ўзаро индуктивликнинг ўзгаришига асосланган. Ўзгарувчан кучланишга уланган бирламчи чулғам N_1 пульсланувчи магнит оқими Φ_1 ни юзага келтиради. Φ_1

ротор чулғамларида амплитудаси ротор ва статор чулғамларининг ўзаро жойлашишига боғлиқ бўлган э. ю. к. ни индукциялайди. Агар ротор ва статор чулғамларининг ўқлари ўзаро перпендикуляр бўлса, э. ю. к. нинг амплитудаси нолга тенг бўлади, α бурчак ўзгарганида $e_3 = E_m \sin\alpha$ синусоидал қонун бўйича катталашади. Бунда роторнинг бошқа чулғамидаги э. ю. к. $e_4 = E_m \cos\alpha$.

Чиқишидан фаза бўйича чорак даврга силжитилган иккита кучланиш олувчи айланиш трансформатори **синус-косинусли** айланиш трансформатори (СКАТ) деб аталади.

Юкланган трансформаторда иккиламчи чулғамларнинг токлари АТ нинг магнит майдонини ўзгартирувчи иккиламчи магнит оқимларини юзага келтиради. Шу туфайли э.ю.к. нинг бурилиш бурчагига боғлиқлиги бузилади. Бундай бузилишни бартараф этиш учун статорнинг компенсацион чулғам деб аталувчи иккинчи чулғами N_2 дан фойдаланилади. Мазкур чулғамни улаш схемалари АТ нинг режимига боғлиқ ҳолда турлича бўлади. Чунончи, АТ синусли режимда ишлатилганда роторнинг фақат битта чулғами юкланади, компенсацион чулғам эса қисқа туташган бўлади (10.10.- расм).

Айланиш ва бурилиш трансформаторлари иккиламчи чулғамнинг қисмаларида (чиқишда) қиймати роторнинг бурилиш бурчагига муайян функционал боғланишда бўлган кучланишни ҳосил қилиш учун хизмат қилади.

Синус-косинусли трансформатордан ташқари, чизиқли айланиш трансформатори (ЧАТ) ҳам қўлланилади. Ушбу трансформатор чиқишда бурилиш бурчагига пропорционал бўлган э.ю.к. ҳосил қилади. Айланиш трансформаторлари автоматикада бурчак катталикларни, шунингдек, аналогли ҳисоблаш-ечиш тузилмаларининг функционал элементларини ўзгартиргич сифатида қўлланилади.

Тахогенераторлар. Механик айланма ҳаракатни электр сигналга айлантириш учун тихогенераторлар — ўзгармас ва ўзгарувчан токларда ишловчи кичик электр машиналари қўлланилади.

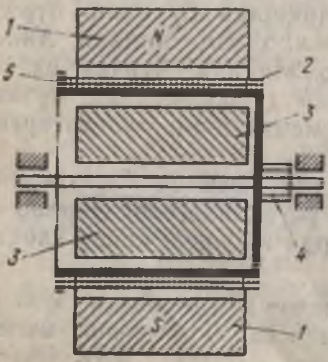
Ўзгармас ток машинаси якорининг чулғамидаги э. ю. к. нинг якорнинг айланиш частотасига ва қутбларнинг магнит оқимига боғлиқлиги (9.1) формула орқали ифодаланади: $E = C_E \Phi n$.

Салт ишлаш режимида оқим ўзгармас бўлганда тахогенераторнинг ташқи қисмларидаги электр кучланиши (киришдаги электр сигнал) якорнинг айланиш частотаси (чиқишдаги ноэлектр катталик)га пропорционалдир. Бинобарин, тахогенератор ёрдамида айланиш частотасини аниқлаш ва автоматик системага айланиш частотасига пропорционал бўлган электр сигнали киритиш мумкин.

Агар магнит оқими ўзгармас магнит ёки уйғотиш токи ўзгармас бўлган электромагнит ёрдамида ҳосил қилинса, мазкур магнит оқимининг ўзгармас бўлишини таъминлаш мумкин.

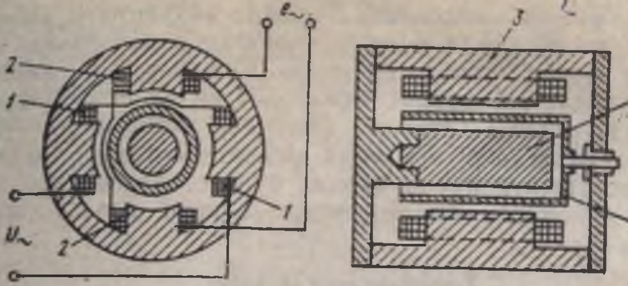
Магнит оқими уйғотиш токи ўзгармас бўлган электромагнит ёрдамида ҳосил қилинганда, ўлчаш аниқлиги талабларини ҳисобга олиб, мустақил уйғотиш схемаси қўлланилади. Ўзгармас магнитли тахогенератор муҳим афзалликка эга — унга қўшимча ўзгармас ток манбаининг ҳожати йўқ. Бироқ, электромагнитли уйғотишда уйғотиш токини алмаштириш мумкин бўлиб, бунда э.ю.к. айланиш частотасигагина эмас, балки уйғотиш токига ҳам боғлиқ бўлади. Бу ҳолда чиқишдаги электр сигнали киришдаги иккита катталикка тўғри боғланган бўлади.

Бу билан тахогенераторни ҳисоблаш-ечиш техникасининг элементи сифатида қўллаш, масалан бири уйғотиш токини, иккинчиси эса тахогенератор валининг айланиш частотасини ўзгартирадиган иккита катталикни кўпайтириш имконияти очилади.



10.11- расм

Ўзгармас магнитлардан қўзғатиладиган ўзгармас ток тахогенераторининг конструктив схемаси 10.11-расмда кўрсатилган, бунда 1 — статорда жойлашган ўзгармас магнитлар; 2—роторнинг чулғами; 3— магнит ўтказгичнинг магнит қаршилигини камайтиришга хизмат қилувчи цилиндрсимон ферромагнит ўзак; 4— коллектор; 5— изоляцион материалдан тайёрланган юпқа деворли стаканча кўринишидаги якорь.



10-12-расм

Ўзгарувчан ток тахогенераторлари ишлаш принципига кўра синхрон ва асинхрон турларга бўлинади. Уларнинг чиқишдаги э.ю.к. айрим схемалар учун зарур бўлмиш синусоидал кўринишга эга.

Синхрон тахогенераторлар кам ишлатилади, чунки чиқиш кучланишининг частотаси айланиш частотаси ўзгарганда ўзгаради, тахогенератор айланиш йўналишининг ўзгаришига сезгир эмас. Конструктив схемаси 10.12-расмда келтирилган асинхрон тахогенераторлар анча кенг тарқалган. Схемада қуйидагиларни кўриш мумкин: қутблари бўлган ташқи қисм *3* ҳамда ички цилиндр *4* дан иборат магнит ўтказгич; чулғамлар қутбларнинг ўзакларига шундай жойлаштирилганки, бунда уларнинг магнит ўқлари ўзаро перпендикулярдир.

Бўйлама чулғам деб аталувчи чулғам *1* ўзгарувчан кучланиш $u = U_m \sin\omega t$ га уланади ва уйғотиш чулғами бўлиб ҳисобланади, чунки уйғотишнинг пульсацияланувчи магнит оқими $\Phi_1 = \Phi_{ym} \sin\omega t$ ни юзага келтиради. Чулғам *2* чиқиш ёки сигнал чулғами ҳисобланади, чунки унда амплитудаси роторнинг айланиш частотасига пропорционал ва частотаси уйғотиш чулғамидаги токнинг частотасига тенг булган э. ю. к. ҳосил қилинади. Юпқа деворли металл стакан кўринишида тайёрланган ротор *5* ўққа маҳкамланган, унинг деворлари эса қутблар ва магнит ўтказгичнинг ички цилиндри орасидаги ҳаволи тирқишда бўлади. Агар ротор қўзғалмас бўлса, у ҳолда чиқиш чулғамида э. ю. к. ҳосил бўлмайди, чунки уйғотиш магнит оқими у билан боғланмаган.

Ротор айланганда унда трансформация э.ю.к. дан ташқари, айланиш э.ю.к. ҳам индукцияланади, чунки

ротор уйғотиш майдонининг магнит индукцияси чизиқларини кесиб ўтади. Индукцияланган э.ю.к. қисқа туташган роторда ток ҳосил қилади. ушбу ток, ўз навбатида, иккиламчи магнит оқими Φ_2 ни юзага келтиради. Мазкур оқим сигнал (чиқиш) чулғамининг ўқи бўйлаб йўналган бўлиб, унда қиймати роторнинг айланиш частотасига пропорционал бўлган, фазаси эса айланиш йўналиши билан аниқланадиган э.ю.к. ҳосил қилади.

Текшириш учун саволлар

1. 10-расм, *а* ва 10.9-расм, *а* ларда ўлчаш ўзгартиргичларининг схемалари кўрсатилган бўлиб, уларда чиқиш катталигининг ўзгариши якорь ва ўзак орасидаги ҳаволи тирқишнинг ўзгаришига боғлиқ. Мазкур иккита схема орасидаги принципиал фарқ нимадан иборат? Уларнинг қайси бири дроселли, қайсиниси трансформаторли схема деб аталади?

2. Айланиш трансформатори тузилишига кўра асинхрон машинага ўхшайди. Шундай бўлса-да нима учун у трансформатор деб аталади?

3. Ўзгармас ток тахогенератори мустақил уйғотиш схемаси бўйича айланиш частотасини ўлчашда ўз-ўзини уйғотиш тахогенераторига қараганда анча аниқ натижа беради. Бу қандай тушунтирилади?

4. Асинхрон тахометрнинг юпқа деворли ротори айланганида (10. 12-расмга қаранг) унда трансформация э. ю. к. ҳамда айланиш э. ю. к. индукцияланади. Мазкур э. ю. к. ларнинг ўхшаш ва фарқ қилувчи томонлари нимадан иборат?

5. Тахогенераторларда магнит майдонининг манбаи сифатида электромагнитлар ёки ўзгармас манитлар қўлланилади. Иккала ҳол учун қандай ферромагнит материаллардан фойдаланилади?

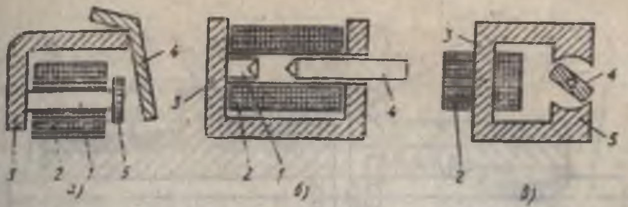
10.4-§. ИЖРОЧИ ТУЗИЛМАЛАР

Автоматик системада бошқариш ёки ростлаш объектига ижрочи орган бевосита таъсир кўрсатади.

Купинча, ушбу таъсир электр занжирларини улаш ёки узиш; клапан, золотник, вентиль ва қопқоқларни очиш ёки ёпиш; валларни қўшиш ёки ажратиш; механизмларнинг турли қисмларини силжитиш ёки буриш мақсадида механик ҳаракатни амалга оширишдан иборат бўлади.

Автоматик системаларнинг ижрочи элементлари қаторида электромеханик тузилмалар — турли конструкциядаги электромагнитлар ва электр двигателлар кенг қўлланилади.

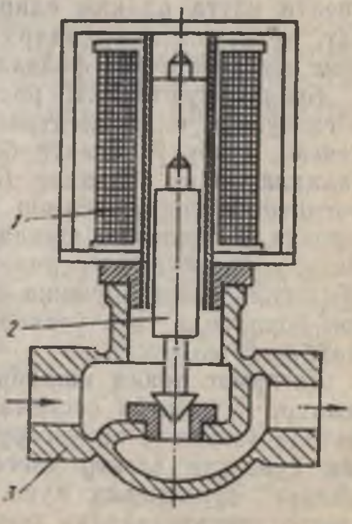
Электромагнитлар. Ишлаш принципи бир хил бўлган ижрочи электромагнитлар конструкцияси жиҳатидан хилма-хилдир. 10.13-расм, *а—в* да клапанли (*а*),



10.13- расм

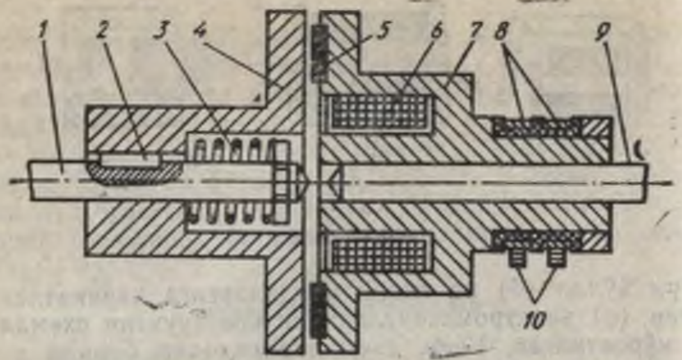
тўғри йўлли (*б*) ва якори кўндалангига ҳаракатланадиган (*а*) электромагнитларнинг конструктив схемалари кўрсатилган. Ушбу схемаларнинг ҳар бирида магнит ўтказгич бўлиб: у ўзак *1*, якорь *4*, қутбли учлик *5*, якорь *3* дан ташкил топган. Электромагнит *2* нинг чулғами ўзакда жойлашган. Электромагнит электр занжирига уланганда чулғамда электр токи ҳосил бўлади, натижада қўзғалувчан якорь ўзакка тортилади. Электромагнит якорининг бошқариш ёки ростлаш объектига механик боғлиқлиги автоматик системада ижрочи элементнинг керакли ҳаракатини таъминлайди. Электромагнитларнинг ижрочи тузилмаларда амалий қўлланилишига мисол тариқасида электромагнитли вентиль ва электромагнитли муфтани кўрсатиш мумкин.

Электромагнитли вентилда (10.14-расм) электромагнитнинг қўзғалувчан якори *2* икки ҳолатли вентилнинг ҳам қисмидир. Биринчи (ёпиқ) ҳолат ғалтак *1* да ток йўқлигига мос келади. Вентилни очишга сигнал берилганда ғалтакдан ток ўтиб, ўзак ғалтакнинг ичига тортилади ва вентиль суюқлик ёки газнинг ўтиши учун очилади.



10.14 - расм

Муфта ҳаракатни етакчи валдан етакланувчи валга узатиш учун хизмат қилади. Электромагнитли



10.15- расм

муфта электр сигнал билан бошқарилади. Мазкур сигнал берилганда валлар ўзаро қўшилади, бунда кириш сигналининг қуввати етакланувчи валдаги қувватдан анча кичикдир. Ушбу ҳол учун электромагнитли муфта бир вақтнинг ўзида қувв'ат кучайтиргичи бўлиб ҳам ҳисобланади. Механизмларни автоматик бошқариш учун амалда электромагнитли муфталарнинг бир неча тури қўлланилади. Уларнинг бирида электромагнитли бошқаришда ҳаракатни узатиш учун ишқаланиш коэффициенти катта ва кам едириладиган материаллар (пўлат, чўян, пластмассалар) дан тайёрланган юзаларининг ишқаланишида фойдаланилади.

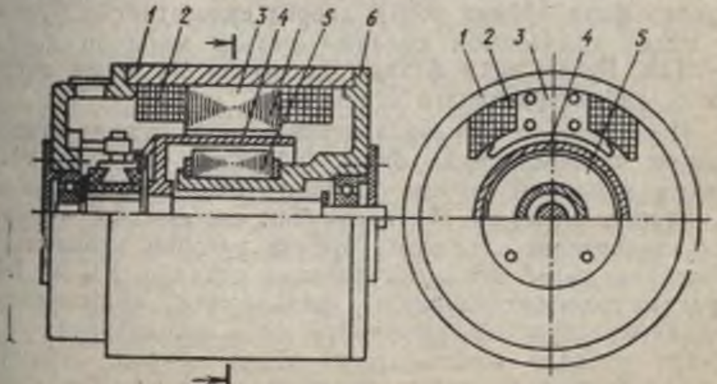
Бундай муфта 10.15- расмда кўрсатилган. Етакчи ўқ *9* га чулғам *6* ли электромагнитнинг ўзаги *7* маҳкамланган. Ушбу ўқ электр бошқарув занжирига контакт ҳалқалар *8* ва чўткалар *10* орқали уланади. Электромагнитнинг ликопчасимон якори *4* етакланувчи ўққа шпонка *2* ёрдамида шундай маҳкамланганки, бунда у мазкур ўқ бўйича сурилиши мумкин. Чулғамда ток йўқлигида якорь пружина *3* таъсирида чапга силжийди, ток борлигида эса ўзакка тортилади ва ишқаланиш шайбаси *5* га сиқилади.

Ўзгармас токда ишлайдиган ижрочи электр двигателлар. Автоматик системаларда ижрочи органлар сифатида ўзгармас ва ўзгарувчан токда ишлайдиган кичик қувватли электр двигателлар қўлланилади. Улар ишлаш принципига кўра, умумий қўлланиладиган электр двигателлардан фарқ қилмайди. Мазкур двигателларнинг ўзига хос хусусиятлари конструкцияда

мужассамлашган бўлиб, у эса двигателнинг вазифаси ва ишлаш шароитлари, булардан тез-тез ишга туширишлар ва тўхташлар ҳамда айланиш йўналишининг ўзгариб туришини алоҳида таъкидлаб ўтиш билан белгиланади. Бундай шароитларда двигателлардан барча режимларда барқарор ишлаш, буйруқларни юқори аниқлик билан бежариш, айланиш частотасини кенг оралиқда ростлаш, кичик инерционлик, катта ишга тушириш моменти, бошқаришда қувват кам сарфланиши, ўлчамлари ва вазнининг кичик бўлиши талаб қилинади.

Автоматик бошқариш қурилмаларининг тақлидий системаларида ўзгармас ток ижрочи механизмларнинг СЛ серияси қўлланилади. Мазкур сериядаги двигателларнинг тузилиши умумий қўлланиладиган ўзгармас ток двигателларига ўхшаш (асосан, ўлчамлари билан фарқ қилади); улар мустақил уйғотиш схемаси бўйича ёки ўзгармас магнитлар билан биргаликда тайёрланади. Электр двигателнинг инерционлигини камайтириш, яъни тезкорлигини ошириш учун роторнинг ўлчамлари ва массасини камайтириш лозим. Шу мақсадда автоматика схемаларида якори ковакли ва якорь чулғами босма усулда тайёрланган ўзгармас ток электр двигателларидан фойдаланилади.

10.16- расмда ковак роторли двигателнинг тузилиши кўрсатилган бўлиб, бунда: *1* — станина; *2* — уйғотиш чулғами; *3* — магнитли қутб; *4* — якорнинг чулғами; *5* — статорнинг ички қисми; *6* — подшипник ўрнатиладиган



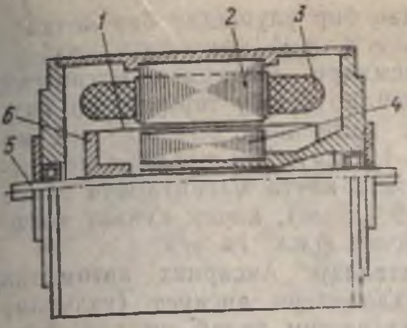
10.16- расм

қобиқ. Якорнинг ўзаги чулғамдан ажратилган ва подшипник ўрнатиладиган қобиқлардан бирининг чиқиқ жойига маҳкамлангани учун қўзғалмайди. Бу ҳолда якорнинг чулғами цилиндрсимон каркасга жойлаштирилиб, устидан пластмасса қуйилади. Шундай қилиб, кичик инерционли двигателнинг якори пластмасса билан бирлаштирилган чулғам симларидан ташкил топган ковак стакандан иборатдир. Стакан коллектор билан битта ўққа маҳкамланган, унинг девори эса қутблар билан қўзғалмас ўзак орасидаги ҳаволи тирқишда жойлашади. Якорнинг босма чулғами электр изоляцион материалдан тайёрлаб қуйилган ковак цилиндрнинг ташқи ва ички қисмларига электр-кимёвий усулда ўралиши билан ажралиб туради.

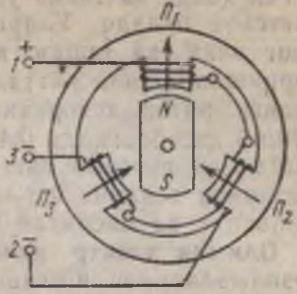
Ковак роторли двигателларнинг афзалликларига, инерционлигининг кичиклигидан ташқари, роторнинг соддароқ тузилганлиги, якорь чулғами индуктивлигининг кичиклиги туфайли коммутация шароитларининг енгилроқлиги (коллекторда учқунланишнинг бўлмаслиги) ҳам киради.

Ўзгарувчан токда ишлайдиган ижрочи электр двигателлар. Автоматикада қисқа туташган роторли ва ковак роторли, икки фазали асинхрон электр двигателлар энг кўп қўлланилади. Мазкур турдаги ижрочи электр двигателлар ҳақидаги айрим маълумотлар 8.4-§ да берилган. Чунончи, унда двигателнинг статорида фазода ўзаро 90° га силжитилган иккита чулғам жойлашганлиги кўрсатиб ўтилган. Агар чулғамлардаги токлар фаза бўйича чорак даврга силжитилган бўлса, у ҳолда ҳалқасимон айланма магнит майдони ҳосил бўлади. Бунда икки фазали двигатель энг яхши энергетик характеристикага эга бўлади.

Икки фазали ижрочи двигатель ишлаётганда статорининг чулғамларидан бири (уйғотиш чулғами УЧ) доимо кучланиш остида бўлади, иккинчи чулғам — бошқариш чулғами БЧ автоматик системадаги тегишли элементнинг сигнали бўйича роторни ҳаракатга келтириш талаб қилинган лаҳзада уланади. УЧ ва БЧ чулғамлардаги токларнинг фазаларини силжитишга бошқариш чулғами занжирига фаза силжитувчи элемент, масалан конденсаторни улаш, бироқ, кўпинча махсус бошқариш схемаларини, фаза айлантиргичларни қўллаш орқали эришилади.



10.17- расм



10.18- расм

Икки фазали асинхрон ижрочи электр двигателнинг айланиш частотаси бошқарувчи кучланишни амплитуда бўйича, фаза бўйича ўзгартириш орқали ёки амплитуда ва фазани бир вақтда ўзгартириб ростланади. Айланиш йўналиши бошқарувчи кучланиш фазасини 180° га ўзгартиши орқали ўзгартирилади (қарама-қарши фазада улаш).

Инерционликни камайтириш, тезкорликни ва ишлаш аниқлигини ошириш учун ижрочи асинхрон двигателлар магнитсиз ковак роторли қилиб тайёрланади (10.17- расм). Қисқа туташган чулғамли двигателдан фарқли ўлароқ мазкур турдаги ротор чулғамга эга бўлмай, юпқа деворли стакан *1* кўринишида алюминий ёки унинг қотишмасидан тайёрланган. Стакан *1* втулка *6* ёрдамида вал *5* га маҳкамланган.

Қўзғалмас магнит ўтказгич электротехник пўлат листлардан йиғилади, бироқ берилган конструкцияда у икки қисмдан: ички *4* ва ташқи *2* (чулғам *3* ли) қисмлардан иборат. Улар орасидаги ҳаволи тирқишга ковак роторнинг деворлари кириб туради.

Статор чулғамларидаги токлар ҳосил қиладиган айланма магнит майдони ковак роторда уюрма токларни индукциялайди. Статор айланма магнит майдоннинг роторда индукцияланган токларга куч билан таъсир этиши натижасида айлантирувчи момент юзага келиб, роторни статор майдонининг айланиш йўналишида айлантиради. Бундай турдаги ижрочи электр двигателларнинг қуввати саноат частотаси 50 Гц ва оширилган 400 дан 1000 гача частоталарни ҳисобга

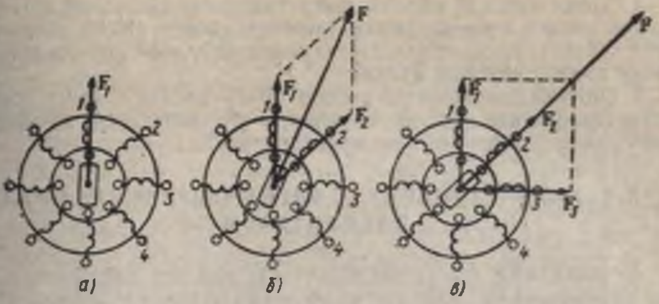
олган ҳолда ваттнинг ўндан бир улушидан бир неча юз ваттгача бўлади. Уларнинг асосий камчилиги статорнинг ички ва ташқи қисмлари орасидаги магнитсиз тирқишнинг анча катталигидир (ушбу тирқишнинг катталиги ротор деворининг қалинлиги 0,1—0,25 мм ни қўшиб ҳисоблаганда 0,4—1,5 мм). Шу туфайли магнитсиз ковак роторли двигатель катта магнитловчи токка (номинал токнинг 0,8—0,9 қисми), кичик қувват коэффициенти ва нисбатан кичик ф.и.к. га эга.

Одимли электр двигателлар. Аксарият автоматик тузилмаларнинг ишлаш характери дискрет (узлукли) ҳаракат юритмасини қўлланишни талаб қилади. Бундай ҳолларда одимли электр двигателлардан фойдаланилади. Уларнинг ротори бошқарувчи импульс таъсири остида белгиланган бурчакка бурилади (битта одим ташлайди). Импульслар мажмуига жавобан ротор бошқарувчи импульслар сонига баробар бўлган одимлар мажмуини бажаради. Одимли двигателларнинг шу йўсинда ишлаши уларни сонли программа бўйича бошқариладиган тузилмаларда (масалан, саноат роботлари, металлга ишлов бериш дастгоҳлари) да, шунингдек, импульслар ҳисоблагичи, тасма чўзиш дастгоҳлари ва шу каби механизмларда қўллашга имкон беради.

Ҳозирги вақтда одимли электр двигателларнинг бир қанча конструктив вариантлари мавжуд. Уларнинг айримларини мисол тариқасида кўриб чиқамиз.

10.18- расмда статорида учта аниқ намоён қутби бўлган одимли двигателнинг схемаси кўрсатилган. Унинг чулғамлари юлдуз шаклида уланган бўлиб, уч симли линиядан таъминланади. Симлардан бирининг қутблилиги қолган иккита симнинг қутблилигига қарама-қаршидир.

Ротор статорнинг магнит қутблари билан таъсирлашадиган ўзгармас магнит бўлиб, 60° бурчакка бурилиши мумкин. Ҳар бир одимдан кейин барқарор ҳолатда тўхтаб ўтади. 10.18- расмдаги роторнинг ҳолати мазкур расмда белгиланган сим ва қутбларнинг қутблилигига мос келади. Ротор соат милининг йўналиши бўйича навбатдаги одимни қўйиши (бурилиши) учун $П_2$ қутбнинг қублилигини ўзгариртириш, яъни сим *2* даги токнинг йўналишини ўзгартириш керак, бундан кейинги одимни қўйиш учун сим *1* даги, кейин эса сим *3* даги токларнинг йўналишини ўзгартириш керак ва ҳ.к. Бу



10.19- расм

коммутотор деб номланган махсус тузилма ёрдамида амалга оширилади.

Ротори уйғотилмаган одимли кўп фазали электр двигателнинг ишлаш принципи 10.19- расм, *а* да кўрсатилган. Бошқарувчи импульсни чулғамларга одатдаги тартибда (*1, 2, 3, ... , m*) узатиш мумкин, ротор ҳам худди шундай тартибда одим ташлайди. Унинг барқарор ҳолатлари чулғамларнинг ўқлари билан мос тушади, шунинг учун бундай ҳолатлар сони *m* та.

Бошқарувчи кучланишни бир нечта чулгамларга бир вақтда узатиш ва шу билан роторнинг магнитловчи кучи ҳамда синхронлаш моментини ошириш мумкин. Бундай ҳолларда роторнинг барқарор ҳолатлари бир вақтда таъминланадиган чулғамлар сонига боғлиқ: уларнинг сони жуфт бўлганда роторнинг ҳолати ўртадаги иккита чулғам-ўқларининг орасида бўлади, тоқ бўлганда эса ўртадаги чулғамнинг ўқи билан мос тушади (10.19- расм, *б, в*).

Текшириш учун саволлар

1. Электромагнит системалар учун ушбу умумий қонуният мавжуд: электромагнит кучлар магнит оқими ортиб борадиган йўналишда таъсир этади. Мазкур қонуният 10.13- расмда кўрсатилган электромагнитларда қандай намоён бўлади?

2. Ковак роторли ўзгармас ток ижрочи двигателларининг афзалликлари қаторига якорь чулғами индуктивлигининг кичиклиги туфайли коллекторда учқунланиш бўлмаслиги ҳам киради. Нима учун якорь чулғамининг индуктивлиги коммутация шарт-шароитларига таъсир кўрсатади?

3. Ковак роторли ижрочи асинхрон двигателнинг асосий камчилиги унинг магнит занжиридаги магнитсиз тирқишнинг катталиги билан боғлиқ. Нима сабабдан магнитсиз тирқиш катталашганда магнитлаш токи катталашади ва двигателнинг ф. и. к. камаяди?

4. Ковак роторли ижрочи двигателларнинг қўзғалмас магнит ўтказгичи икки — ички ва ташқи қисмдан иборат (10.16, 10.17-расмларга қаранг). Ижрочи двигателларнинг ушбу конструктив хусусиятларини қандай изоҳлаш мумкин?

5. Одимли двигателнинг ротори (10.18-расмга қаранг) соат милининг ҳаракатига тескари йўналишда айланиши учун қутбларнинг ўрнини қандай тартибда алмаштириш керак?

10.5-§. АВТОМАТИКАНИНГ ЭЛЕКТРОМЕХАНИК ОРАЛИҚ ЭЛЕМЕНТЛАРИ

Автоматика системасининг структура схемасида оралиқ элементлар сезгир элементлар билан ижрочи элементлар орасидаги ўринни эгаллайди. Уларнинг вазифаси жуда хилма-хил бўлганлиги сабабли улар энг кўп сонли элементлар гуруҳини ташкил қилади.

Оралиқ элементларга қуйидагилар киради: кучланиш ва ток стабилизаторлари, релелар, тақсимлагичлар, кучайтиргичлар, бошқарувчи (программали) тузилмалар, импульслар генератори, алоқа каналлари ва бошқалар.

Ушбу параграфда ишлаш принципи магнит майдони кучининг таъсирига асосланган оралиқ элементларни кўриб чиқамиз.

Реле. Автоматикада реле каби ишлайдиган, яъни кириш катталиги x нинг муайян қийматларида чиқиш катталиги y сакраб ўзгарадиган (10.20-расм, *а* даги график) бир қанча элементлар ишлатилади. $x=x_2$ бўлганда чиқиш катталигининг I_1 дан I_2 гача ўзгариши реленинг ишлаб кетиши, $x=x_1$ бўлганида I_2 дан I_1 гача

10.20-расм

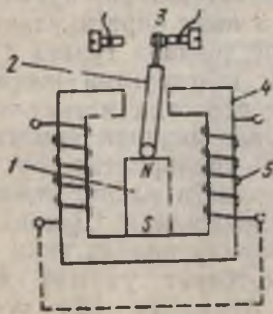
ўзгариши эса реленинг қўйиб юбориши деб аталади. Реленинг конструкцияси ва ишлаш принципи кириш катталигининг турига боғлиқ. Шунга кўра релелар электрик, иссиқлик, фотореле ва бошқа хилларга бўлинади. Электромеханик релелар гуруҳи энг кўп тарқалган. Уларда электр катталик (ток, кучланиш, қувват) нинг ўзгариши қўзғалувчи элементнинг механик силжишига олиб келади, бунинг натижасида электрик контактлар узиб-уланади. Электромеханик релелар гуруҳига электромагнитли, магнитоэлектрик, электродинамик, индукцион ва бошқа релелар киради. Булардан электромагнит релелар кўпроқ ишлатилади. 10.20-расм, *б* да клапанли турдаги электромагнит реленинг конструктив схемаси кўрсатилган бўлиб, унда пўлат магнит ўтказгичнинг қуйидаги қисмлари белгиланган (*1* — ўзак, *2*— электромагнит ғалтаги, *3*— ярмо, *4*— изоляцияли асос, *5*— контактлар, *6*— қўзғалувчан якорь).

Чулғамда ток бўлмаганда якорь пружина (ушбу реледа унинг вазифасини пружиналанувчан контакт пластиналар бажаради) ёки ўз оғирлиги таъсирида ўзакдан энг узоқ масофада бўлади. Чулғамга ток берилганда якорь ўзакка тортилиб, контактларнинг узиб-уланиши содир бўлади: уларнинг бири (нормал уланган) узилади, бошқаси (нормал узилгани) эса уланади. Бундай реле нейтрал реле дейилади, чунки унинг ишлаши ғалтакдаги токнинг йўналишига боғлиқ. Нейтрал реледан ташқари, магнит ўтказгичига ўзгармас магнит *1* киритилган қутбланган релелар ҳам ишлатилади (10.21-расм). Чулғам *5* га ток уланганда қўзғалувчан якорь *2* ўзак *4* нинг у ёки бу томонига тортилади ва қўзғалувчан контакт токнинг йўналишига қараб қўзғалмас контактлар *3* нинг бирига уланади.

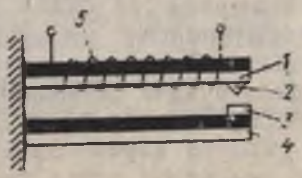
Электромагнит релеларнинг токнинг турига (ўзгармас, ўзгарувчан) кўра айрим конструктив жиҳатлари бор. Чунончи, ўзгарувчан ток релесида магнитли қутб иккига ажратилган бўлиб, унинг биринчи ярмига қисқа туташтирилган мис ўрам кийдирилган. Бу билан қутбнинг иккита ярим қисмларидаги магнит оқимларининг фаза бўйича силжишига эришилади. Шунинг учун, чулғамдаги ток бир давр давомида нолдан икки маротаба ўтишига қарамасдан, қутбнинг умумий магнит оқими ҳеч қачон нолга тенг бўлмайди. Шу туфайли якорнинг тебранишини бартараф этишга ва реленинг ишончли ишлашига эришилади.

Реленинг киришдаги қуввати катта бўлмаса-да, унинг контактлари электр занжиридаги анча катта қувватли узиб-улашларни бажара олиши мумкин. Шу нуқтаи назардан реле қувват кучайтиргичи вазифасини бажаради.

Айрим ҳолларда электр занжиридаги узиб-улашлар автоматик тузилманинг якунловчи вазифаси бўлиб ҳисобланади ва бундай ҳолларда реле ижрочи элемент вазифасини бажариши мумкин. Бунга мисол тариқасида ишлаш принципига кўра электромагнит реледан фарқ қилмайдиган электромагнит контакторнинг ишлашини кўрсатиш мумкин (10.20- расм, *в* да контакторнинг деталлари худди реледагидек тарзда белгиланган). Уларнинг фарқи шундаки, контактор нисбатан катта қувватли электр занжиридаги узиб-улашларни бажариш учун (масалан, электр двигателни улаш ва узиб қўйиш учун) мўлжалланган. Шу туфайли унинг ўлчамлари анчагина катталашган ва у бошқа айрим конструктив хусусиятларга ҳам эга. Чунончи, катта токларга мўлжалланган асосий контактлар ёй сўндирувчи камераларга жойлаштирилади. Ишончли бўлиши учун ҳар галги улашда мазкур контактлар ишқаб тозаланади ва бир-бирига зич қилиб сиқилади. Бунга якорнинг ўзакка катта куч билан тортилишигина эмас, балки қўзғалтувчан контактдаги пружина 7 таъсири билан ҳам эришилади. Бошқариш мақсадларида фойдаланиладиган ёрдамчи контактлар *8* (блок-контактлар) куч контактлари билан бир вақтда ишлайди 10.20- расм *в* га қаранг).



10.21- расм



10.22- расм

Электротермик релелар. Электротермик (иссиқлик) релелар гуруҳига кирувчи релелар орасида биметалл релелар кўпроқ ишлатилади. Уларнинг ишлаш принципи 10.22- расмда кўрсатилган.

Биметалл пластинка *1* иссиқликдан кенгайиш коэффициенти бир-биридан кескин фарқ қилувчи металлар, масалан жез ва инвар (темирнинг никель билан қотишмаси) дан тайёрланган ва пайвандлаш ёки кавшарлаш йўли билан ўзаро мустаҳкам қилиб ёпиштирилган иккита металл тасмадан иборатдир. Бундай пластинка қизиганда эгилиб, контактлар *2* ва *3* уланади, совиганда яна тўғриланади ва контактлар узилади. Иситкич (чулғам *5*) даги электр токи қанча катта бўлса, биметалл пластинка шунча кўп ва тез қизийди.

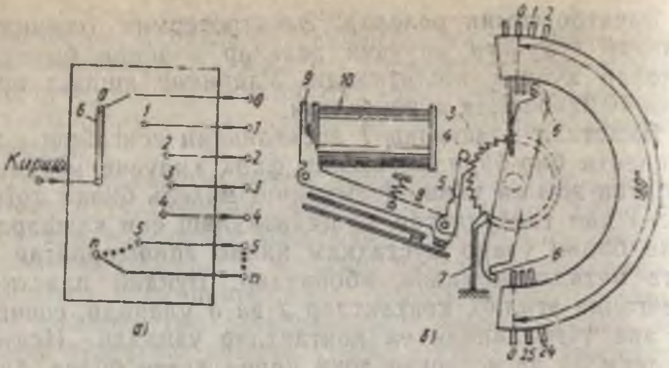
Атроф-муҳит ҳароратининг таъсирини бартараф этиш мақсадида контакт *3* ҳам биметалл пластинка *4* га маҳкамланади.

Мазкур турдаги реле катта иссиқлик инерциясига эгалиги туфайли контактлар секин ҳаракатланади ва уларнинг ишлаши мураккаблашади. Контактларнинг ишлашини енгиллаштириш учун махсус мосламалардан фойдаланилади. Улар контактларнинг ҳолатини маълум температурага эришилганда кескин ўзгартиради ёки контактлари бор биметалл пластинани вакуумга олиб киради, бу эса релени анча мураккаблаштириб юборади.

Бироқ, электр двигателларни ўта юкланишлардан ҳимоя қилиш учун биметалл релелар қўлланилганда иссиқлик инерцияси фойдали бўлиб чиқди. Бундай реле электр двигателни ишга туширишда (бунда ток қисқа вақт ичида ортади) ишлаб кетишга улгурмайди, лекин узоқ муддатли ўта юкланишлардан яхши ҳимоя қилади, двигателни узиб қуйишга сигнал беради.

Одимли тақсимлагичлар. Автоматика, ҳисоблаш техникаси ва телефонияда тақсимлагичлардан фойдаланади. Улар ёрдамида ижрочи ва ўлчаш занжирларида кетма-кет узиб-улаш амалга оширилади.

Бундай вазифани қандай ҳал қилиш мумкинлиги 10.23- расм, *а* даги схемада тушунтирилган. Қўзғалувчан чўтка *6* кириш қисмасини чиқиш қисмаларидан бири билан навбатма-навбат (*0,1,2, ...*) улайди ва шу йўсинда бошқарувчи сигналларни тақсимлайди. Битта қабул қилгичга навбатма-навбат уланадиган назорат



10.23- расм

қилинувчи объектларнинг сигналлари тескари йўналишда келиши ҳам мумкин.

Одимли электромеханик тақсимлагичнинг конструктив схемаси 10.23- расм, *б* да кўрсатилган бўлиб, унда контактлар системаси (қўзғалмас контакт ламеллар *0, 1, 2, . . . , 24, 25* тўплами, қўзғалувчан чўткалар *6*) ва электромагнитли юритма (электромагнит ва тўсқичли) храповикли (механизм) кўрсатилган. Контакт ламеллар (пластиналар) айлана ёйи бўйича (120° ёки 180°) бир нечта (тўртдан саккизтагача) қатор қилиб жойлаштирилган бўлиб, ҳар қайси қатор ўзининг чўткасига эга. Мазкур чўтка контакт ишончли бўлиши учун икки томони билан ламелга тегиб турувчи пружинасимон иккита пластинадан ташкил топган. Чўткалар контактли майдон бўйлаб одимлаб силжийди, бунда ҳар бир одим бевосита пружина *8* таъсирида ҳаракатланувчи собачка *5* воситасида амалга оширилади. Собачка тирак *4* га тақалади ва чўткалар билан битта ўққа маҳкамланган храповикли ғилдирак *3* ни бир одимга буради.

Электромагнит чулғами *10* га навбатдаги бошқарувчи импульс берилганда якорь *9* ўзакка тортилиб, пружинани чўзади ва ҳаракатланувчи собачкани битта тиш орқага силжитади, бунда стопор собачкаси *7* храповикли ғилдирак ва чўткаларни белгиланган ҳолатда ушлаб туради. Бошқарувчи импульс тугаши билан тақсимлагичнинг қўзғалувчан системаси навбатдаги одимни амалга оширади. Охирги одимда чўтка охирги

ламелдан чиқади, бироқ худди шу вақтда чўтканинг қарама-қарши учи биринчи иш ламели билан уланади. Бу билан тақсимлагич қўзғалувчан қисмининг салт ишлаши бартараф этилади.

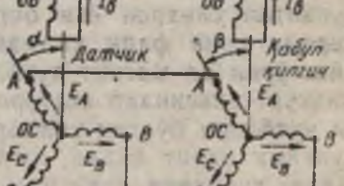
Сельсинлар. Турли хилдаги техник тузилмаларда бурчак силжишларни масофадан туриб узатиш қўлланилади, бунда механик тарзда ўзаро боғланмаган ўқлар синхрон тарзда бурилади.

Бундай узатишлар кўпчилик ҳолларда бир фазали с е л ь с и н л а р — кичик индукцион электр машиналар ёрдамида амалга оширилади. Узатиш жараёнида алоқа линияси орқали ўзаро боғланган иккита бир хил сельсин (датчик ва қабул қилгич) дан фойдаланилади.

Бир фазали сельсинлардаги синхрон алоқа схемаси 10.24- расмда кўрсатилган. Ушбу ҳолда сельсиннинг статорида бир фазали чулғам (уйғотиш чулғами УЧ ва роторида уч фазали чулғам (синхронлаш чулғами СЧ) бўлади. Иккала сельсиннинг ҳам уйғотиш чулғамлари умумий ўзгарувчан ток тармоғига уланган, синхронлаш чулғамлари эса уч симли алоқа линияси орқали ўзаро уланган.

Уйғотиш чулғамининг токидан ҳосил бўлган ўзгарувчан магнит оқими ротор чулғамининг фазаларида қиймати мазкур фазаларнинг фазовий жойлашишига боғлиқ бўлган э.ю.к. ни индукциялайди.

Агар иккала сельсин ротор чулғамларининг фазалари ўзларининг уйғотиш чулғамларига нисбатан бир хилда жойлашган бўлса, линия сими орқали уланган ва сельсин-датчик ва сельсин-қабул қилгичнинг тегишли фазаларида қиймат жиҳатдан бир-бирига тенг ва рўпара йўналган э.ю.к. лар индукцияланади. Бу ҳолда синхронлаш чулғамларида ток бўлмайди ва датчик ҳамда қабул қилгич роторларининг ҳолати мувофиқлашган ҳолат деб аталади.



10.24- расм

Сельсин-датчикнинг ротори бирор бурчак α га бурилганда датчик ва қабул қилгичнинг бир

номли фазаларидаги э.ю.к. ларнинг мувозанати бузилади. Шу вақтда алоқа линиясининг чулғамлари ва симларида мувозанатловчи токлар юзага келади. Ротор чулғамларидаги токларга статорнинг магнит майдони таъсир қилади, бунинг натижасида айлнтирувчи (синхронловчи) момент ҳосил бўлади ва у сельсин-қабул қилгичнинг роторини β бурчакка, яъни сельсин-датчикнинг ротори билан мувофиқлашган ҳолатига буради. Синхронловчи моментнинг қиймати датчик ва қабул қилгич роторларининг ҳолатлари орасидаги $\theta = \alpha - \beta$ бурчакка боғлиқ ($M = M_{max} \sin \theta$). Агар сельсин-қабул қилгичнинг валида механик юкланиш бўлмаса (масалан, валга бурилишни кўрсатувчи асбобнинг стрелкасигина маҳкамланган), бундай режим индикатор режими деб аталади.

Механик юкланиш мавжудлигида узатманинг ишлаш аниқлиги анча камаяди, шу боис трансформаторли схемадан фойдаланилади. Бундай схемада тармоққа сельсин-датчикнинг уйғотиш чулғамигина уланади, сельсин қабул қилгичнинг уйғотиш чулғами эса чиқиш чулғами бўлиб ҳисобланади. Кучланиш ушбу чулғамнинг қисмаларидан кучайтиргичга, ундан эса вали сельсин-қабул қилгичнинг вали билан механик тарзда боғланган ижрочи двигателнинг бошқариш чулғамига узатилади. Ижрочи двигатель сельсинларнинг мувофиқлашган ҳолатига қадар сельсин-қабул қилгичнинг роторини β га буради ва агар система чекланган бурилиш режимида ишлаётган бўлса, $\alpha = \beta$ да тўхтайди.

Қўзғалмас линия симлари бўлган сельсинлар айланувчи чулғамларининг электр жиҳатдан боғланиши сирпанувчи контактлар (ҳалқа ва чўткалар) орқали амалга оширилади, шунинг учун бундай сельсинлар контактли сельсинлар деб аталади.

Контактли сельсинларнинг конструкцияси кичик қувватли синхрон ёки бир фазали асинхрон машиналардан унча фарқ қилмайди. чулғамларининг жойланиш ўрни ва магнит қутбларининг шаклига қараб эса мазкур сельсинлар статорида ёки роторида аниқ намоён қутблари бўлган хилларга бўлинади, бунда уйғотиш чулғами яхлит бўлиб, қутбларнинг ўзакларида жойлашади; қутблари аниқ намоён бўлмаган сельсинларнинг уйғотиш чулғами тақсимланган бўлиб, пазларга жойлаштирилади. Синхронловчи чулғамлар доимо тақсимланган бўлади ва уларнинг фазалари юлдуз тарзида уланади.

Сирпанувчи контактларнинг мавжудлиги сельсинларнинг техник хусусиятларини ёмонлаштиради, шунинг учун контактсиз сельсинлар кенг қўлланила бошлади. Бундай сельсинларнинг ўзига хос хусусияти уйғотиш ва синхронлаш чулғамларининг статорда жойлашганлиги ҳамда аниқ намоён қутблари бўлган роторда эса чулғам бўлмаслигидадир. Бироқ, роторнинг қутблари уйғотиш чулғамининг токидан ҳосил бўлган магнит оқими туташадиган магнит занжири таркибига киради ва ўз вазифасини худди контактли сельсиндагидек бажаради, чунки магнит оқимининг синхронлаш чулғамлари билан илашиш катталиги роторнинг ҳолатига боғлиқ бўлади.

Текшириш учун саволлар

1. Электромагнит реленинг ишлаб кетиш токи ва қўйиб юбориш токи деганда нима тушунилади?

2. Ишлаб кетиш токини камайтириш учун электромагнитдаги қайтарувчи пружинанинг таранглигини қандай ўзгартириш (ошириш ёки камайтириш) керак? Бунда қўйиб юбориш токи қайси томонга ўзгаради?

3. Атроф-муҳит температурасининг таъсирини бартараф этиш мақсадида иссиқлик релеси, асосий пластинкадан ташқари, баъзан компенсацион биметалл пластинкага ҳам эга бўлади (10.22- расм, 5- позицияга қаранг). Компенсацион пластинканинг таъсири қандай тушунтирилади?

4. 10.23- расм, *б* да тескари юритмаси бўлган оддимли тақсимлагичнинг схемаси кўрсатилган. Тўғри юритмали тақсимлагич мазкур тақсимлагичдан нимаси билан фарқ қилади?

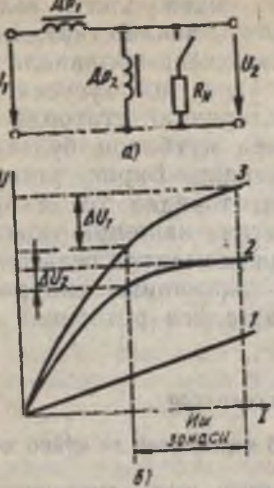
5. Самолётлардаги қанот орти тузилмасининг вазияти ҳақидаги ахборотни пилот кабинасига узатиш учун сельсинли узатмалар қўлланилади. Бундай узатма учун қайси режим (индикаторли ёки трансформаторли) дан фойдаланиш керак?

10.6. АВТОМАТИКАНИНГ ФЕРРОМАГНИТ ЭЛЕМЕНТЛАРИ

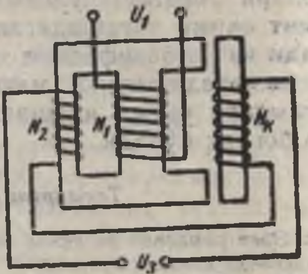
Ферромагнит элементларнинг ишлаш принципи ферромагнит материалларнинг магнит тўйиниш ҳодисаси ҳамда бунга боғлиқ бўлган ферромагнит ўзаклардаги магнит индукциясининг майдон кучланганлигига чизиқли бўлмаган боғлиқлиги $B=f(H)$ га асосланади (3.8- § га қаранг).

Шу асосда кучланиш стабилизаторлари, магнит кучайтиргичлар, контактсиз релелар, магнитли мантиқий ва хотира элементлари ишлайди.

Мазкур тузилмалар автоматик системаларнинг структура схемаларида, бундан олдинги параграфда



10.25-расм,



10.26-расм.

кўриб чиқилган электромеханик элементлар каби, оралиқ ҳолатни эгаллайди. Бироқ, ферромагнит элементларнинг муҳим афзалликларини ҳам таъкидлаб ўтиш лозимдир. Бу афзалликлар қўзғалувчан қисмларнинг мавжуд эмаслиги (шу туфайли уларнинг хизмат муддати деярли чекланмайди), доимий қаровни талаб қилмаслиги ва ишончлилигининг юқорилигидан иборатдир.

Ферромагнит кучланиш стабилизаторлари. Кучланиш стабилизатори кириш кучланиши U_1 маълум оралиқда ўзгарганида чиқиш кучланиши U_2 нинг ўзгармас бўлишини таъминлайди. Ферромагнит стабилизаторлар ўзгарувчан токда ишлайди.

Энг оддий тузилган ферромагнит кучланиш стабилизаторида кетма-кет уланган иккита дроссель $Др_1$ ва $Др_2$ бор (10.25-расм, *а*). $Др_2$ дросселнинг қисмаларига нагрузка, кўпинча, актив қаршилик $R_н$ уланади. 10.25-расм, *б* да дросселларнинг вольт-ампер характеристикалари кўрсатилган, бунда *1* — тўйинмаган дроссель $Др_1$ ники — $U_{др1} = f(I)$; *2* — тўйинган дроссель $Др$ ники — $U_{др2} = f(I)$; *3* — бутун занжирники $U_1 = f(I)$.

Бутун занжирнинг вольт-ампер характеристикаси $U_1 = U_{др1} + U_{др2}$ тенгликка мувофиқ, яъни дросселлар характеристикаларининг ординаталарини ўзаро қўшиш орқали қурилган.

Кириш кучланиш ΔU_1 ни чиқишдаги кучланиш ΔU_2 билан таққослаш $\Delta U_2 \ll \Delta U_1$ эканлигини, яъни тармоқдаги кучланиш номинал қийматдан четга чиққанида нагрузкадаги кучланиш жуда кам ўзгаришини кўрсатади.

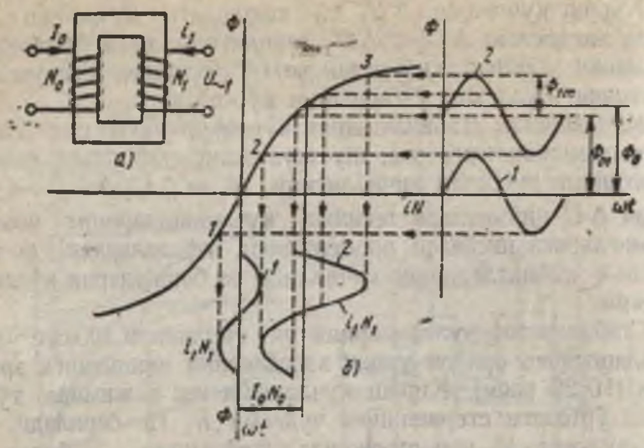
Кучланишни стабиллашнинг кўриб чиқилган схемаси бир қатор камчиликларга эга, шу жумладан стабиллаш коэффициентининг нисбатан кичиклигини ($k_c = \Delta U_1/\Delta U_2 = 4 \div 5$, бунда ΔU қийматлари тегишли кучланишларнинг номинал қийматларига нисбатан процентларда ифодаланади), ф. и. к. ва $\cos\varphi$ қийматларининг кичиклиги ва бошқаларни кўрсатиш мумкин.

Стабилизатор чулғамларини уч стерженли махсус ўзакка жойлаштириш орқали унинг хоссаларини яхшилашга эришилади (10.26-расм). Кириш кучланиши иш режимида тўйинмаган ўртадаги стерженнинг чулғами N_1 га берилади. Чиқиш чулғами N_2 чап стерженда жойлашган. У билан кетма-кет қилиб ўнг стерженда жойлашган компенсацион чулғам $N_к$ уланади (ушбу чулғам ҳам ҳаволи тирқиш мавжудлигида тўйинмаган бўлади). Бу стерженни силжитиш ва ундаги магнит оқимининг қийматини ўзгартириш мумкин.

Берилган ҳолда стабилизатор трансформатор схемага эга. Бирламчи чулғам N_1 кучланиши U_1 стабилизаторнинг кириш кучланиши бўлган электр тармоғига уланади. Чиқиш кучланиши U_2 иккиламчи чулғамлардаги кучланишлар фарқи $U_1 = U_2 - U_к$ дан иборат, чунки компенсацион чулғам асосий чулғам N га тескари уланган. Тармоқдаги кучланиш ўзгарганида N_2 чулғамнинг э. ю. к. кам ўзгаради, чунки мазкур чулғам жойлашган стерженнинг кўндаланг кесими кичик бўлиб, кучли магнит тўйиниш режимида ишлайди. Компенсацион чулғамнинг ишлаши кириш кучланиши ўзгарганида стабилизатордаги чиқиш кучланишининг ўзгаришларини камайтиришга қаратилган. Ферромагнит стабилизаторлар схемасининг бошқа вариантлари ҳам қўлланилади, булардан автотрансформаторли ва феррорезонанс схемаларни таъкидлаш жоиздир.

Феррорезонанс стабилизатор схемасида тўйинган стреженда жойлашган чулғамга кетма-кет ёки параллел уланган конденсатор бор. Конденсаторнинг мавжудлиги реактив токни камайтиради, техник-иқтисодий хусусиятларни яхшилайди, кучланишни стабиллаш оралиғини кенгайтиради ва аниқлигини оширади.

Магнит кучайтиргичлар. Автоматиканинг барча ферромагнит элементлари ичида магнит кучайтиргичлар



10.27- расм.

турли кўринишларда энг кўп қўлланилади. Улар қувватлар оралиғи катта қилиб тайёрланади ва қуввати ваттнинг бир неча улушидан иборат бўлган аниқ ўлчов тузилмаларида, шунингдек йирик қурилма ва машиналарни автоматик бошқариш схемаларида қўлланилади. Юқорида келтирилган барча ферромагнит элементларга таалуқли бўлган афзалликларга, магнит кучайтиргичларга нисбатан, ўзгармас токдаги жуда кучсиз (10^{-19} Вт гача) сигналларни кучайтириш имкониятини, қувват бўйича кучайтириш коэффициентининг катталигини (битта каскадда 10^3—10^6), электрон ва электрон ион кучайтиргичларга қараганда ф.и.к. нинг юқорироқлигини ва бошқаларни қўшимча қилиш мумкин.

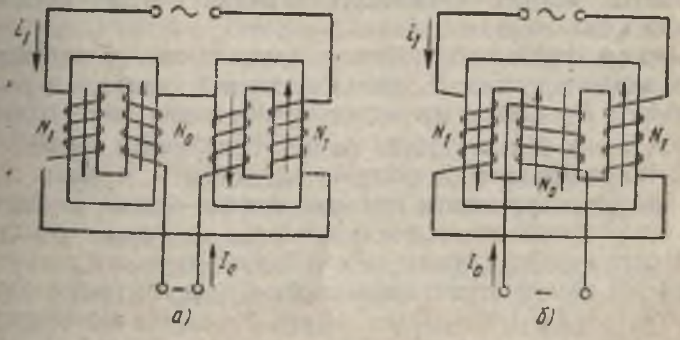
Ферромагнит материалларнинг магнит тўйиниш ҳодисасидан кучайтиргичлар яратиш учун фойдаланилишини ўзгармас ток билан магнитланувчи энг оддий дроссель мисолида кўриш мумкин (10.27- расм, *а, б*). Ушбу ҳолда ферромагнит ёпиқ ўзакда иккита чулғам бор: N_1— ўзгарувчан ток тармоғига уланувчи асосий чулғам; N_0— ўзгармас ток тармоғига уланувчи қўшимча чулғам.

(3.30) ва (7.1) формулалардан ферромагнит ўзакдаги магнит оқими қиймат ва шакли бўйича мазкур ўзакда жойлашган чулғамдаги кучланиш билан аниқланиши келиб чиқади. Агар кучланиш синусоидал қонун бўйи-

ча ўзгарса, у ҳолда магнит оқими ҳам синусоидал шаклга эга бўлади, чунки чулғамнинг актив қаршилиги индуктив қаршиликка нисбатан жуда кичик ($R \ll X_1$) бўлиб, кучланишни ўзиндукция э. ю. к. га тенг деб ҳисоблаш мумкин $U \approx E = 4{,}44\, fN_1 \Phi_m$; $\Phi_m = U/4{,}44\, fN_1$. Қўшимча чулғамда ўзгармас ток мавжуд эмаслигида магнит оқими $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$ тенгламага мувофиқ ўзгаради (*1*- эгри чизиқ), асосий чулғамдаги ток эса, агар ўзакнинг магнитланиш характеристикасидаги иш нуқтаси тўғри чизиқли *1 — 2* қисм чегарасидан чиқмаса, синусоидал шаклга эга бўлади.

Ўзакни ўзгармас ток билан магнитлашда ўзакдаги магнит оқими иккита қўшилувчининг йиғиндиси кўринишида ифодаланади $\Phi = \Phi_{01} + \Phi_{1m} \sin \omega t$, бунда Φ_{01} — магнит оқимининг қўшимча чулғамнинг магнитловчи кучи $i_0 N_0$ билан белгиланувчи ўзгармас қисми. Бу ҳолда иш нуқтаси магнит тўйиниш соҳаси (*2 — 3* қисм) га силжийди, ўзак материалининг магнит сингдирувчанлиги анча камаяди ва шунга мос равишда асосий чулғамнинг индуктив қаршилиги ҳам камаяди. Берилган кучланишнинг ўзгармас қийматида асосий чулғамдаги ток сезиларли даражада ортади (*2*- ва *1*- эгри чизиқларни таққосланг). Бундан магнитлаш чулғамидаги (бошқарувчи занжирдаги) ўзгармас токнинг қийматини ўзгартириш орқали асосий чулғамдаги, яъни бошқарилувчи занжирдаги ўзгарувчан токнинг қийматини ўзгартириш мумкинлиги келиб чиқади.

Тўйиниш дросселининг кўриб чиқилган схемасида муҳим камчилик бор — ўзгарувчан магнит оқими N_0 чулғамда ўзгарувчан э.ю.к. индукциялайди, шунинг



10.28- расм

учун бошқарувчи занжирда жараённи бузувчи токнинг ўзгарувчан ташкил этувчиси юзага келади. Бу камчиликни, агар чулғамларнинг ҳар бири (N_1 ва N_0) иккита бир хил қисмдан ясалса ва иккита ўзакка жойлаштирилса, бартараф этиш мумкин (10.28- расм, *а*). Ҳар қайси чулғамнинг иккала қисми ўзаро кетма-кет уланади, бироқ ўзгарувчан ток чулғами (N_1) нинг қисмлари тўғри уланади, ўзгармас ток чулғамининг қисмлари эса тескари уланади. Қисмлар бундай уланганда бошқарувчи чулғамда рўпара йўналган иккита ўзаро тааллуқли бўлган афзалликларга, магнит кучайтиргич-якуний э.ю.к. эса нолга тенг бўлади ва токнинг ўзгарувчан ташкил этувчиси юзага келмайди.

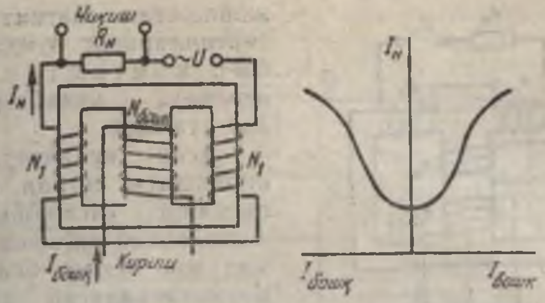
Агар бошқарувчи чулғам N_0 ўртадаги стерженда жойлашган, ўзгарувчан ток чулғами эса четки стерженларда жойлашган ва ўзаро кетма-кет тарзда тўғри уланган иккита бир хил қисмга ажратилган бўлса, уч стержендан иборат ўзакли дросселда юқоридагидек натижага эришилади. Қисмлар тўғри уланганда ўртадаги стержендаги магнит оқимининг ўзгарувчан ташкил этувчилари ўзаро қарама-қарши йўналади, шунинг учун ундаги якуний ўзгарувчан магнит оқими нолга тенг бўлиб, бошқарувчи чулғамда ўзгарувчан э.ю.к. индукцияланмайди.

Тўйиниш дросселлари қуввати бошқарувчи занжирнинг қувватидан бир неча марта катта бўлган ўзгарувчан ток электр занжиридаги ток ёки кучланишни ростлаш имконини беради.

Шу туфайли тўйиниш дросселлари қувват, ток ва кучланиш магнит кучайтиргичларининг турли схемаларида қўлланилади.

Агар уч стерженли тўйиниш дросселининг ўзгарувчан ток занжирига чулғам N_1 билан кетма-кет қилиб нагрузка қаршилиги $R_н$ уланса, магнит кучайтиргичнинг энг оддий схемаси ҳосил бўлади (10.29- расм). Бошқарувчи чулғамга сигнал берилганда бошқарилувчи занжирдаги чулғам N_1 нинг индуктив қаршилиги камаяди, ток эса ортади, шунинг учун кучайтиргичнинг чиқишида кучланиш ва қувват ортади.

Магнит кучайтиргичнинг асосий характеристикаси нагрузкадаги ток таъсир этувчи қийматининг бошқариш токига боғлиқлиги $I_н = f(I_б)$ дан иборат бўлиб, бошқариш характеристикаси деб аталади (10.29- расм, *б*). Қувват кучайтиргичларининг кучайтириш коэффициенти ушбу ифода бўйича аниқ-



10.29- расм.

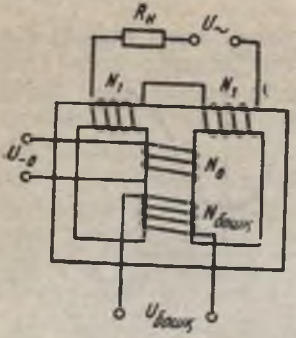
ланади $k_р = \Delta P_н / \Delta P_б = I_н^2 R_н / I_б^2 R_б$, бу ерда $R_б$ — бошқарувчи чулғамнинг қаршилиги.

Магнит кучайтиргичларнинг схемаларида ишлатиш учун мўлжалланган туйиниш дросселлари, агар чиқиш қувватининг нисбатан катта ҳамда кучайтириш коэффициенти 10—1000 оралиқда бўлиши талаб қилинса, трансформатор пўлатидан ўзакларга йиғиб тайёрланади.

Автоматика схемаларида, кўпинча, кучсиз сигналларни кўп марта кучайтириш талаб қилинади. Бундай ҳолларда темир-никель қотишмаси (пермаллой) дан тайёрланган ўзаклар ишлатилади. Улар кучсиз магнит майдонида катта магнит сингдирувчанликка эга бўлиб, магнит майдони кучланганлиги бироз ортганда ҳам тўйинади (3.12- расм, *б* даги $B = f(H)$ эгри чизиққа қаранг.

Ўзгармас ток билан магнитлаш мавжуд эмаслигида (салт ишлашда) магнит сингдирувчанликнинг қиймати катталиги туфайли кучайтиргичнинг асосий чулғамидаги ток ва ундаги энергия исрофи кичикдир. Кучсиз сигнал берилганда ўзакнинг магнит тўйиниш ҳолатига ўтиши қувват бўйича кучайтириш коэффициентининг катта бўлишига имкон беради (k_r = 1000 — 10000 ва бундан ҳам ортиқ), кучланиш бўйича кучайтириш коэффициенти $k)_u$) эса ўн минг ва ҳатто юз мингга етиши мумкин.

10.29- расм, *а* да кўрсатилган магнит кучайтиргичи бошқариш чулғамидаги токнинг йўналишидан қатъи назар бир йўсинда ишлайди. чунки магнитланиш эгри чизиғи координаталар бошига нисбатан симметрик



10.30- расм

жойлашган. Магнит кучайтиргичларнинг бундай тури бир контактли (нореверсив) кучайтиргичлар деб аталади.

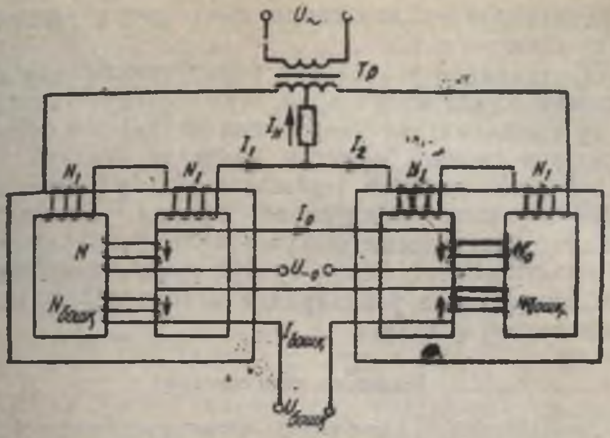
Агар кучайтиргичнинг киришдаги сигнал қутблилигининг ўзгаришини сезиши талаб қилинса, ўзгармас ток билан бошланғич магнитланадиган дроссель ишлатилади (10.30-расм).

Бунинг учун дросселнинг пермаллой стерженида, бошқарувчи чулғамдан ташқари, бошланғич магнитланиш чулғами N_0 жойлаштирилади. Бу чулғамдаги ўзгармас токнинг йўналиши ўзгармайди. Бошқарувчи сигналнинг маълум бир қутблилигида мазкур чулғамларнинг магнитловчи кучлари ўзаро қўшилади, бошқа қутблилигида эса айирилади, бу билан бошқарилувчи занжирдаги токларнинг бир-биридан фарқ қилиши таъминланади.

Автоматика тузилмаларида кириш сигнали мавжуд эмаслигида чиқишдаги кучланишнинг нолга тенг бўлиши, бошқарувчи сигналнинг қутблилиги ўзгарганда эса чиқиш кучланишининг фазаси 180° га ўзгариши ҳам талаб қилинади.

Бу талабларга 10.30- расмдаги схема бўйича йиғилган иккита бир хил дроссели бор дифференциал схема (10.31- расм) жавоб беради.

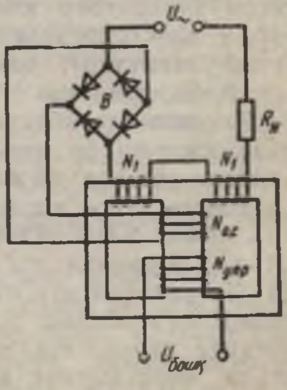
Ўзгарувчан ток чулғамлари N_1 умумий нагрузка қаршилиги $R_н$ орқали таъминловчи трансформатор $T_р$ нинг иккита бир хил секцияларига уланган. Бошланғич магнитланиш чулғамлари N_0 ўзаро кетма- кет уланган ҳолда ўзгармас кучланиш U_0 манбаига уланган. Бошқарувчи чулғамлар $N_б$ ҳам кетма- кет уланган, улар шундай ўралганки, сигнал берилганда уларнинг магнитловчи кучи бир дросселда (10.31- расмда чапдаги дроссель) бошланғич магнитланиш чулғамининг магнитловчи кучи билан қўшилади, иккинчисида эса айирилади. Бошқарувчи сигнал мавжуд эмаслигида нагрузкадаги ток $I_н = 0$, чунки унинг ташкил этувчилари бўлмиш иккита ток берилган симметрик схемада қиймат жиҳатдан ўзаро тенг, аммо қарама- қарши йўналган.



10.31- расм

Сигнал берилганда чулғам N_1 даги ўзгарувчан ток чап томонда кўпаяди, ўнг томонда эса камаяди, шу туфайли нагрузка ток юзага келади. Бошқарувчи сигналнинг қутблилиги ўзгарганда ҳам схема худди юқоридагидек тарзда ишлайди, лекин бунда ўнг дроссельнинг токи устунлик қилади, умумий нагрузка токининг фазаси эса 180° га ўзгаради.

Магнит кучайтиргичларнинг кўприк ва трансформатор схемаларида ҳам юқоридагидек натижага эришилади, кучайтириш коэффициентини ошириш мақсадида магнит кучайтиргичларнинг схемаларига тескари алоқа, масалан дроссели магнит кучайтиргичга нисбатан 10.32-расмда кўрсатилгандек тарзда, киритилади. Ўзгарувчан ток занжирига кўприк схема бўйича тўғрилагич Т уланган. Тўғриланган ток тескари алоқа чулғамига йўналтирилади ва шу йўсинда қўшимча магнитланиш юзага келтирилади. Натижада кучайтиргичнинг кириш сигналларига сезгирлиги анча ортади. Демак, чиқиш токини бошқариш бошқарувчи токнинг тескари ало-



10.32- расм

қа бўлмагандагига қараганда анча кичик ўзгаришларида мумкин экан.

Индуктивликка эга бўлган барча тузилмалар сингари магнит кучайтиргичларда ҳам магнит инерцияси бор. Бу ҳолда магнит инерциясининг намоён бўлишига бошқарувчи сигнал берилган лаҳзадан бошлаб то чиқиш катталикларининг тегишлича ўзгаргунига қадар маълум бир вақт ўтиши сабаб бўлади. Таъминловчи манбанинг частотасини ошириш йўли билан инерционлик камайтирилади, бироқ бу йўл қурилмаларнинг мураккаблашувига ва ўзаклардаги магнит исрофларининг ортишига олиб келади.

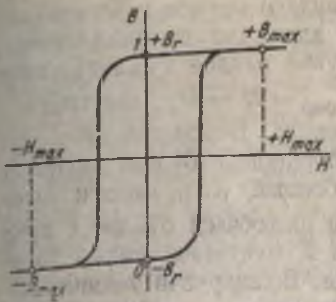
Текшириш учун саволлар

1. Дросселларнинг вольт-ампер характеристикалари *1* (10.25-расмга қаранг) билан уларнинг ўзаклари тайёрланган материалларнинг магнитланиш характеристикалари орасида қандай боғлиқлик бор?
2. Нима учун ферромагнит кучланиш стабилизаторлари ўзгарувчан ток занжирларидагина ишлатилади?
3. Магнит кучайтиргичнинг ишида унинг ўзагини ўзгармас ток билан магнитлаш ҳодисаси қандай роль ўйнайди?
4. Нима учун катта қувватли магнит кучайтиргичлар трансформатор пўлатидан ферромагнит ўзакларга йиғиб тайёрланади, кучсиз сигналларни кучайтириш учун эса темир-никель қотишмаси (пермаллой) дан фойдаланилади?
5. Магнит кучайтиргичда тескари алоқанинг вазифаси нимадан иборат?

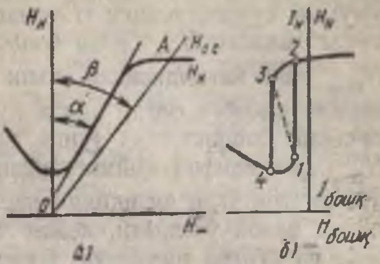
10.7. ИМПУЛЬСЛИ ФЕРРОМАГНИТ ЭЛЕМЕНТЛАР

Автоматика тузилмаларида дискрет тарзда ишлайдиган элементлар кенг ишлатилади. Бундай элементларда электромеханик релс, одимли тақсимлагичлар (узиб-улагичлар), одимли электр двигателлар аввал кўриб чиқилган эди.

Рақамли ҳисоблаш ва бошқариш машиналарининг ривожланиши ва амалиётга кенг татбиқ этилиши билан дискрет тарзда ишлайдиган элементлар (ишлатишда ишончлилиги юқори, тузилиши оддий, кичик ўлчамли, арзон элементлар) га эҳтиёж сезила бошлади. Бундай элементларнинг сони кўплиги (битта машинада ўн мингдан юз мингтагача) билан боғлиқ мазкур талабларга ишлаш принципига кўра турлича бўлган дискрет тарзда ишловчи контактсиз элементлар (электрон, ферромагнит ва аралаш) жавоб беради. Хусусан, ферромагнит элементлар (контактсиз релелар, им-



10.33- расм.



10.34- расм.

пульсларни ҳосил қилувчи ва узатувчи тузилмалар, мантиқий элементлар, хотира тузилмаси ва б.) кенг ишлатилади.

Рақамли ҳисоблаш ва бошқариш машиналарининг ферромагнит элементлари магнит гистерезис сиртмоғи тўғри тўртбурчакдан иборат ферромагнит материаллардан (10.33- расм) фойдаланган ҳолда яратилади. Кўпинча, феррит ўзаклар қўлланилади. Улар темир, магний, марганец оксидлари (Fe_2O, MgO, MnO)дан, баъзида бошқа оксидлар қўшилган ҳолда кукунлар металлургияси усуллари асосида тайёрланади.

Контактсиз ферромагнит релелар. Тескари алоқали магнит кучайтиргични, агар мазкур алоқа етарлича кучайтирилса, реле режимига ўтказиш мумкин.

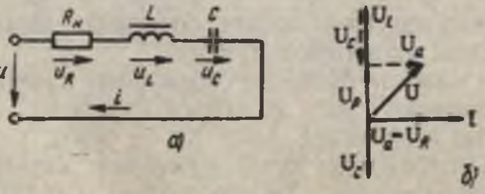
Бошқариш чулғамида ток мавжуд эмаслигида тескари алоқа чулғамидаги магнит майдони кучланганлигининг ўзгарувчан майдонининг тегишли кучланганлигига нисбати тескари алоқа коэффициенти деб аталади $k_{т.а} = H_{т.а}/H_{н}$ Бу коэффициент мазкур кучайтиргич учун ўзгармасдир, шунинг учун $H_н = f(H_{т.а})$ боғлиқлик OA тўғри чизиқ билан ифодаланади (10.34- расм, *а*). Ушбу тўғри чизиқнинг ординаталар ўқига нисбатан қиялиги (β бурчак) $k_{т.а}$ катталикка боғлиқ. Уни ўзгартириш орқали бошқариш характеристикасининг йўлини ўзгартириш мумкин.

Тескари алоқаси бўлмаган бошқариш кучайтиргичи характеристикасининг ўнг шохобчаси ҳолати ва эгрилиги α бурчак билан аниқланади. Агар $\beta > \alpha$ бўлса, у ҳолда тескари алоқали бошқариш кучайтиргичининг характеристикаси реле характеристикасига ўхшаш бўлади (10.34- расм, *б* ва 10.20- расм, *а* ларни ўзаро таққосланг). Ушбу ҳолда бошқа-

риш характеристикаси магнитланишдаги магнит майдонининг умумий кучланганлиги H тескари алоқа магнит майдонининг кучланганлиги $H_{т.а}$ билан бошқарувчи майдон кучланганлиги $H_{бош}$ нинг йиғиндисидан, яъни $H_{бош} = H - H_{т.а}$ дан иборатлигини ҳисобга олган ҳолда қурилади. Бошқарувчи ток аста-секин оширилганда (унга пропорционал бўлган катталик $H_{бош}$ ҳам манфий қийматлардан бошлаб) нагрузкадаги ўзгарувчан ток эгри чизиқнинг пастки шохобчаси бўйлаб *1* нуқтагача равон ўзгаради, кейин эса *2* нуқтагача сакраб ўзгаради ва сўнгра яна равон ўзгаради. Бошқарувчи токнинг камайиши нагрузка токининг *3* нуқтагача равон ўзгаришини, кейин эса *4* нуқтага сакраб ўзгаришини ва сўнгра пастки шохобча бўйлаб равон ўзгаришини келтириб чиқаради. Бундай характеристика бир томонламали, қутбланган реленинг характеристикасини эслатади. Агар қутблилиги мусбат ток билан доимий магнитланадиган қўшимча чулғам қўлланилса, бошқариш характеристикасини тўлалигича ўнгга силжитиш ва икки позицияли контактсиз реле (устунлиги бўлмаган) ёки тескари томонга устунлиги бўлган релени ҳосил қилиш мумкин.

Феррорезонанс реле. Контактсиз релеларни яратиш учун феррорезонанс ҳодисасидан ҳам фойдаланилади. Феррорезонанс релеларнинг схемаларида тескари алоқа чулғамлари ва тўғрилагичлар йўқ, шунинг учун улар, айниқса юқори частоталар (бир неча мегагерц)да ишончлироқдир, уларнинг тезкорлиги эса секундига юз минглаб узиб-улашларни амалга ошириш имконини беради. Феррорезонанс контурдаги индуктив ғалтак (ферромагнит ўзакда жойлашган ўзгарувчан ток чулғами) га конденсатор кетма-кет қилиб (кучланишлар резонанси) ёки параллел тарзда (токлар резонанси) уланади.

Кучланишлар резонанси ҳодисасини 10.35- расм, *а* даги схема ёрдамида кўриб чиқамиз, бунда ферромагнит ўзак L



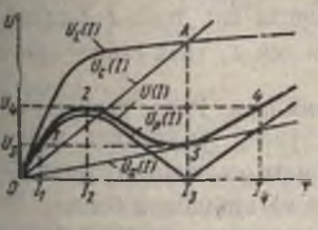
10.35- расм.

га эга бўлган индуктивлик ғалтаги, конденсатор C ва резистор $R_н$ ўзаро кетма-кет уланган. Бундай улашда занжирдаги ток i ғалтакдаги кучланиш u_L дан 90° га кечикади ва конденсатордаги кучланиш u_C дан 90° га илгарилаб келади (энергиянинг ғалтак ва конденсаторда исроф бўлиши нолга тенг, занжирдаги ток эса синусоидал деб қабул қилинган). Бинобарин, кучланиш векторлари U_L ва U_c қарама-қарши фазада жойлашади (10.35-расм, *б*). Занжир қисмаларидаги кириш кучланиши U актив $U_а — U_г$ ва реактив $U_г = U_L — U_C$ кучланиш пасаювлари йиғиндиси билан мувозанатлашади: $U = U_а + U_г$.

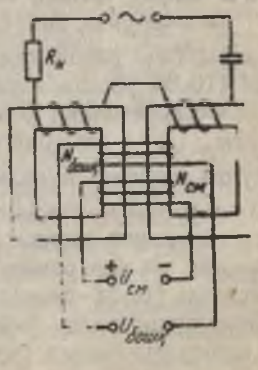
Ғалтакнинг вольт-ампер характеристикаси $U_L(I)$ шакли жиҳатдан магнитланиш характеристикасига ўхшайди (10.36-расм); конденсаторнинг характеристикаси $U_C(I)$ координаталар бошидан ўтувчи тўғри чизиқ ($U_C = IX_C$) дан иборат.

Сиғимнинг қийматини шундай танлаб олиш мумкинки, бунда $U_C(I)$ тўғри чизиқ $U_L(I)$ эгри чизиқни резонанс нуқтаси бўлмиш бирор A нуқтада кесиб ўтсин. Бу нуқтада U_L ва U_C катталиклар ўзаро тенг, уларнинг фарқи $U_г$ эса нолга тенг ($U_г(I)$ эгри чизиқ ордината ўқи бўйича нуқта бўлиб қолади). 10.36-расмда резисторнинг вольт-ампер характеристикаси $U_R(I)$ ва занжирнинг умумий характеристикаси $U(I)$ кучланишнинг актив пасаюви ($U = \sqrt{U_а^2 + U_г^2}$ ни ҳисобга олган ҳолда чизилган.

График $U(I)$ шуни кўрсатадики, кучланиш ортиши билан занжирдаги ток дастлаб 0 дан I_2 гача равон ортади (0 — 2



10.36-расм



10.37-расм

қисм), кейин I_1 гача сакраб ортади (2 — 4 қисм) ва сўнгра яна равон ортади. Кучланиш камайганда ток I_3 гача равон камаяди (4 — 3 қисм), кейин I_1 гача сакраб камаяди (3 — 1) қисм ва сўнгра яна равон камаяди.

Берилган ҳол учун токнинг ўзгариш характери илгари кўриб чиқилган тескари алоқали ферромагнит реледагига ўхшашдир.

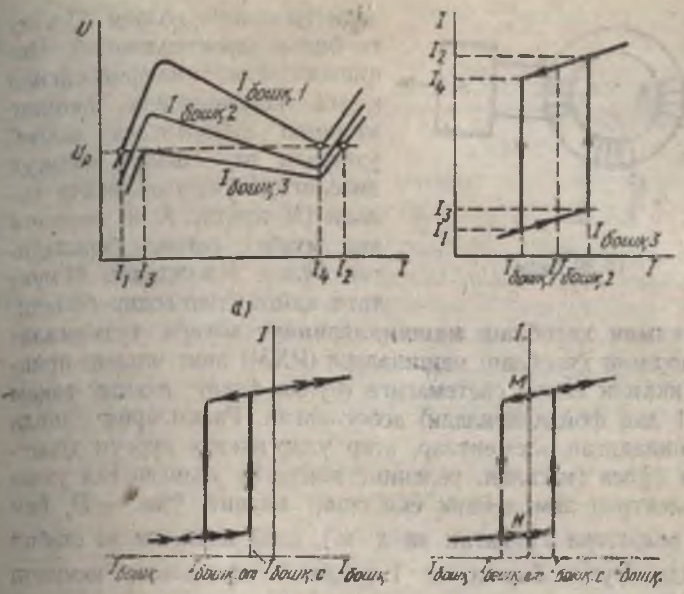
Феррорезонанс реле турларидан бирининг схемаси 10.37-расмда келтирилган. Ўзгарувчан ток ўтувчи асосий чулғамдан ташқари, ўзакда ўзгармас ток ўтувчи иккита чулғам бор: бошқариш чулғами $N_{бош}$ ва силжиш чулғами $N_{сил}$. Ўзгармас токнинг магнит майдони билан магнитлашда ўзак материалининг магнит сингдирувчанлиги μ камаяди, шу боис асосий чулғамнинг индуктив қаршилиги ва ундаги кучланиш пасаюви камаяди.

Бинобарин, бошқариш чулғамидаги токнинг ўзгариши контурнинг вольт-ампер характеристикасига таъсир кўрсатади. Бу 10.38-расм, *а* да кўрсатилган бўлиб, унда ток $I_{бош}$ нинг турли қийматларига ($I_{бош1} > I_{бош2} > I_{бош3}$) мос келувчи характеристикалар $U(I)$ тасвирланган. Ушбу характеристикалар ёрдамида иш занжиридаги синусоидал кучланиш U нинг амплитудаси ўзгармас бўлганда мазкур схеманинг реле тарзда ишлашини кўриш мумкин.

Агар бошқариш чулғамидаги ток $I_{бош} < I_{бош1}$ бўлса, у ҳолда иш занжиридаги ток I нинг қиймати I_1 дан катта бўлмайди ($I \leqslant I_1$). Бошқарувчи ток $I_{бош}$ равон оширилганда иш токи I ҳам I_3 га қадар равон ортади (иш нуқтаси бир характеристикадан иккинчисига ўтади, ток I_3 да эса мазкур нуқта $I_{бош3}$ нинг характеристикасида жойлашади), кейин I_2 гача сакраб ортади, сўнгра яна равон ортади.

Бошқарувчи ток $I_{бош}$ камайганида иш токи I дастлаб I_4 қийматгача равон камаяди, кейин эса I_1 гача сакраб камаяди (10.38-расмга қаранг).

Феррорезонанс реленинг режимлари. Реле характеристикаси $I(I_{бош})$ ни абциссалар ўқи бўйлаб силжитиш мумкин, бунда силжиш йўналиши ва қиймати силжиш чулғами $N_{сил}$ даги ўзгармас токнинг йўналиши ва қийматига боғлиқ. Реле сиртмоғининг ординаталар ўқига нисбатан ҳолатига кўра реленинг уч хил режими бўлади: такрорлагич, инвертор ва триггер (10.38-расм). Такрорлагич режимига реле сиртмоғининг ординаталар ўқидан ўнгдаги ҳолати мос келади. Бунда киришдаги сигнал (бошқариш чулғамидаги I ток) бўйича чи-

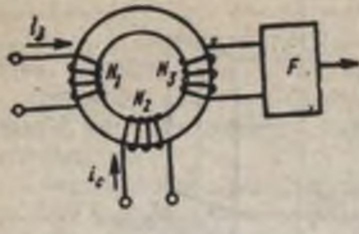


10.38- расм

қиш катталиги (иш чулмиғадаги $I_{бош}$ ток) ўзининг минимал қийматидан максимал қийматигача сакраб ўзгаради (10.38-расм, *б*).

Инвертор режимида (10.38- расм, *в*) реле сиртмоғи ординаталар ўқидан чапдаги ҳолатга силжиган бўлиб, чиқиш катталиги киришдаги тегишли сигналга кўра ўзининг максимал қийматидан минимал қийматигача сакраб ўзгаради (агар такрорлагич режимида бошқариш чулғамидаги сигнал токи $I_{бош}$ нинг ишораси мусбат деб ҳисобланса, у ҳолда инвертор режимида сигнал токи қарама-қарши йўналишга эга, яъни манфий бўлади).

Реле сиртмоғининг триггер режимидаги ҳолати 10.38-расм, *г* да кўрсатилган бўлиб, ундан кириш сигнали мавжуд эмаслигида чиқиш катталиги максимал қийматга, шунингдек минимал қийматга ҳам эга бўлиши (бу реленинг бундан олдинги ҳолатига боғлиқ) мумкинлиги келиб чиқади. Фараз қилайлик, киришдаги охирги сигнал берилган лаҳзагача мусбат ($+I_{бош}$) бўлган. Чиқиш катталиги максимал қийматга эга бўлиб, сигнал олингандан кейин ҳам ўшандайлигича қо-



10.39- расм

лади (реленинг ҳолати M нуқта билан характерланади). Чиқиш катталиги манфий сигнал юзага келгандагина ўзининг минимал қийматигача сакраб ўзгаради ва сигнал мавжуд эмаслигида ўшандайлигича қолади (N нуқта). Агар киришга яна мусбат сигнал бериладиган бўлса, N нуқтадан M нуқтага қайта ўтиш содир бўлади.

Рақамли ҳисоблаш машиналарининг хотира тузилмалари. Рақамли ҳисоблаш машиналари (РҲМ) нинг ишлаш принципи иккили саноқ системасига (бунда фақат иккита рақам 0 ва 1 дан фойдаланилади) асоосланган. Рақамларни ёзишда қўлланиладиган элементлар, агар улар иккита турғун ҳолатга эга бўлса (масалан, реленинг контакти уланган ёки узилган, электрон лампа ёпиқ ёки очиқ, магнит ўзак $+B_r$ ёки $-B_r$ ҳолатгача тўйинган ва ҳ. к.), анча ишончли ва стабил ишлайди. Бунда бир ҳолат 1 рақамни ифодаласа, иккинчи ҳолат 0 ни ифодалайди.

Ферромагнит ўзакнинг қолдиқ магнетизм ҳолатни керагича узоқ вақт сақлаш хоссаси ҳамда $+B_r$ дан $-B_r$ гача қайта магнитлай олиши ахборотни қолдиқ магнит индукцияси кўринишида эслаб қолиш ва уни электр импульслари кўринишида бошқа элементларга узатиш имконини беради.

Рақамли ҳисоблаш машиналарининг хотира тузилмалари (ХТ) оператив (ОХТ) ва ташқи (ТХТ) хилларга бўлинади. Оператив хотира тузилмаларида, кўпинча, диаметри 0,4 — — 1 мм ли феррит ўзаклар ишлатилади. Бундай ўзак ва ундаги учта чулғам хотира ячейкасини ташкил қилади (10.39- расм). Мазкур ячейка ахборотни ёзиб олиш, сақлаш ва ҳисоблаш имконини беради. Фараз қилайлик, ўзак қолдиқ магнитланганлик ҳолатида $-B_r$ магнит индукциясига эга, яъни 0 рақамни ифодалайди.

1 ни ёзиш учун ёзиб олиш чулғами N_1 га қиймати ва қутблилиги магнит майдон кучланганлиги $+H_{max}$ га мос келувчи ток i_e нинг импульси берилади. Натижада ўзакдаги магнит индукцияси $-B_r$ дан $+B_{max}$ гача ўзгаради, шу боис чиқиш чулғами N_3 да E_1 амплитудали, қутблилиги манфий э. ю. к. индукцияланади. Ёзиб олиш импульси тугаётганда токнинг камайиши билан магнит индукцияси қолдиқ

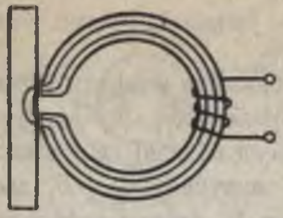
қиймат $+B_r$ гача камаяди, яъни ўзакка 1 рақами ёзилади.

1 ни ҳисоблаш (солиштириш) кутблилиги манфий бўлган ток i_{x_1} нинг импульсини ҳисоблаш чулғами N_2 (бу чулғамда майдон кучланганлиги $-H_{max}$ ҳссил бўлади) га узатишда амалга оширилади. Бунда магнит индукцияси $+B_r$ дан $-B_{max}$ гача ўзгаради, чиқиш чулғами N_3 да эса кутблилиги мусбат бўлган э. ю. к. E_1 нинг импульси ҳосил қилинади ва у ҳисоблаш фактини ифодалайди. Ток камайганида ҳисоблаш импульсининг охирида магнит индукцияси $-B_{max}$ дан $-B_r$ гача ўзгаради ва чулғам N_3 да қутблилиги манфий бўлган э. ю. к. E_1 ҳосил бўлади. Сўнгра ўзак $-B_r$ индукция билан қолдиқ магнитланганлик ҳолатида қолади, бу эса 0 ёзувига мос келади.

Чулғам N_2 га ток i_x нинг импульси 0 ни ҳисоблашда узатилади. Бунда магнит индукцияси $-B_r$ дан $-B$ гача камаяди, импульснинг таъсири тугаши билан эса у яна $-B_r$ дан $-B_{max}$ гача ўзгаради; чиқиш чулғамида э. ю. к. E_2 нинг импульси ҳосил бўлади, ўзак эса қолдиқ магнит индукцияси B_r билан аввалги ҳолатида қолади. E_1 ва E_2 э. ю. к. ларнинг чиқиш чулғами N_3 да ҳосил қилинувчи импульсларини сигналларни шакллантиргич F қабул қилиб, 1 га мос келувчи сигнални кучайтиради ва 0 ни ифодаловчи импульсни сўндиради.

Феррит ўзаклар ёрдамида ахборотни ёзиб олиш ва ҳисоблаш шу тарзда бажарилади. Импульсларни шакллантириш ва узатиш феррит ўзаклари бўлган турли қайта уловчи тузилмаларда ҳам содир бўлади. Бундай тузилмалар қаторига мантиқий элементлар, сурилма регисторлар, дешифраторлар ва триггерли схемаларни киритиш мумкин.

Ташқи хотира тузилмаларини қуришда, асосан, магнит ёрдамида ёзиб оладиган элементлар (магнит тасмалари, барабанлари, дисклари) ишлатилади. Уларда ахборот юпқа (10—30 мкм) ферромагнит қатламига ёзиб олинади ва сақланади. Бундай юпқа қатлам хотира тузилмаларининг юзасига таркибида ферромагнит кукунининг жуда майда зарралари бўлган лок ёрдамида суртилади ёки гальваник усулда қопланади. Ушбу ҳолда ахборотни ёзиб олиш ва ҳисоблаш овозни магнитофон билан ёзиб олиш ва қайта эшиттиришдаги



10.40- расм

каби, махсус электромагнитлар — магнит каллаклар ёрдамида амалга ошади.

Магнит каллак ҳаволи тирқиши бўлган ўзак ва чулғамдан иборат (10.40- расм). Ахборотни ёзиб олиш учун каллак чулғамига ток импульслари берилади, бунинг натижасида магнит оқимининг импульслари ҳосил бўлади. Ўзакда ҳаволи тирқиш мавжудлигида магнит оқими ферромагнит материал қатлами (ушбу қатламда маҳаллий магнитланиш содир бўлади) орқали уланади.

Ёзиб олиш жараёнида ферромагнит қатламли юза магнит каллакка нисбатан текис ҳаракатланади (улар орасидаги тирқиш бор-йўғи бир неча ўн микрон), шунинг учун ҳар бир импульс мазкур қатламда ўзининг изи (элементар магнитланган жой)ни қолдиради, бунда магнитланганлик характери ток импульсининг қутблилигига боғлиқ бўлади. Ахборотни иккита ёки учта даража бўйича ёзиб олиш мумкин. Биринчи ҳолда 1 бир қутубли импульс билан ёзиб олинади. 0 эса импульс йўқлигида ёзиб олинади. Бу ҳолда 0 рақами ва ахборотнинг мавжуд эмаслиги бир хилда тасвирланиши туфайли хотира тузилмасининг ишончлилиги камайган.

Ахборотни учта даража бўйича ёзиб олиш анча ишончлидир, бунда 1 ва 0 қутблилиги турлича бўлган ток импульслари билан ёзиб олинади, импульснинг мавжуд эмаслиги эса ахборотнинг мавжуд эмаслигини билдиради.

Ахборотни ҳисоблаш учун хотира тузилмасининг юзаси магнит каллагидан ўтказилади ва унинг ёнидан магнитланган жой (қисм) ўтаётган лаҳзада ўзакда магнит оқимининг импульси ҳосил бўлади ва у ўзакда жойлашган чулғамда ҳисоблаш э.ю.к. инининг импульсини юзага келтиради.

Э.ю.к. импульслари 1 ва 0 ни ҳисоблашда юзага келади, бироқ уларинг қутблилиги бир-биридан фарқ қилади, бу эса илгари ёзиб олинган ахборотни расшифровка қилиш имконини беради. Бунда ҳисоблаш жараёнида мазкур ахборот сақлаб турилади (ўчирилмайди). Уни ўчириш учун (зарур бўлганда) махсус магнит

каллак ишлатилади. Бундай каллакнинг чулғамида амплитудаси доимо камайиб борувчи ўзгарувчан ток ҳосил бўлади ва бу билан ферромагнит юзанинг тўлиқ магнитсизланишига эришилади.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Нима учун ферромагнит ўзакли ғалтакнинг вольт-ампер характеристикаси $U_L(I)$ ўзак материалининг магнитланиш характеристикаси $B(H)$ га шаклан ўхшайди?

2. Феррорезонанс реле такрорлагич ва инвертор режимларида бўлиши мумкин. Мазкур режимларнинг асосий фарқи нимадан иборат?

3. Триггер ишлашининг асосий хусусияти нимадан иборат?

4. Нима учун РХМ нинг ферромагнит хотира элементларини тайёрлашда магнит гистерезис сиртмоғи тўғри бурчакли бўлган магнит материаллар ишлатилади?

5. Нима учун ғалтак ферромагнит ўзагининг тўлиқ магнитсизланишига чулғамда амплитудаси равон камаювчи ўзгарувчан ток мавжудлигидағина эришилади?

11-БОБ

ЭЛЕКТР ЮРИТМА АСОСЛАРИ

Халқ хўжалигининг барча соҳаларида технологик ва бошқа ишлаб чиқариш операцияларини бажаришда талайгина машиналар — меҳнат қуроллари ёки турли вазифаларни бажарувчи иш машиналари ва механизмлари (металл кесиш дастгоҳлари, прокат станлари, кўтарма-транспорт механизмлари, насослар, вентиляторлар, янчиш машиналари, дон тозалаш, ун тортиш, тикув, пойабзал машиналари ва ҳ.к.) дан фойдаланилади.

Иш машинаси машина-двигатель билан узатиш механизми (муфта, тишли редуктор, тасмали узатма ва б.) воситасида ҳаракатга келтирилади. Машина-двигатель ва узатиш механизми биргаликда ю р и т м а деб аталади.

Ҳозирги пайтда аксарият иш машиналари электр двигателлари воситасида ишга туширилади ва бундай юритма электр юритма деб аталади. Ҳозирги замон ишлаб чиқариши электр юритмаларни у ёки бу даражада автоматлаштиришни, масофадан ишга тушириш ва тўхтатишдек нисбатан оддий операциялардан тортиб то турли ишлаб чиқариш механизмларининг ўзаро боғлиқ мураккаб комплексларини ростлаш ва бошқа-

риш вазифаларини бажаришгача, талаб қилади. Автоматлаштирилган ишлаб чиқаришнинг асоси бўлмиш электр юритмаларни автоматик бошқариш халқ хўжалигида катта аҳамиятга эга.

11.1-§. ЭЛЕКТР ДВИГАТЕЛНИ МЕХАНИК ХАРАКТЕРИСТИКАЛАР БЎЙИЧА ТАНЛАШ

Электр юритманинг бошқа турдаги (ички ёнув двигателлари, буғ ва гидравлик турбиналар қўлланилган) юритмаларга нисбатан афзалликлари электр двигателларнинг ижобий хусусиятлари билан боғлиқ: электр двигателлар мўлжалланган қувватлар оралиғи анча кенг — бир неча ваттдан бир неча ўн минг киловаттгача; электр двигателларнинг айланиш частотасини кенг оралиқларда (1:100 нисбатда ва ундан ҳам ортиқ) ростлаш мумкин; электр двигателларнинг механик характеристикалари иш машиналарининг барча талабларини қондиради; электр двигателларни бошқариш анча оддий бўлиб, оператордан катта жисмоний куч талаб қилинмайди; электр двигателлар ишлаб чиқариш жараёнларини юқори даражада автоматлаштириш имконини беради.

Бироқ, бундан электр юритманинг барча масалалари осонликча ҳал қилинади деган хулоса чиқмайди, чунки иш машиналарининг вазифалари, уларнинг конструкциялари, ишлаш шароитлари, бинобарин, юритмага қўйиладиган талаблар ҳам жуда хилма-хилдир.

Электр юритмаларнинг механик характеристикалари. Электр машиналарни ўрганиб чиқишда электр двигателнинг ҳар қайси тури учун унинг механик характеристикаси $n=f(M)$ — айланиш частотасининг айланиш моментига боғлиқлиги кўриб чиқилган эди (8.11- ва 9.21- расмларга қаранг).

Иш машиналари ҳам шунга ўхшаш боғлиқлик $n=f(M_к)$ билан характерланади, бунда фақат абсциссалар ўқи бўйича двигателнинг валига келтирилган қаршилик моментининг қийматлари қўйиб чиқилади.

Ишлаб чиқариш механизмлари жуда хилма-хил бўлганлиги туфайли уларнинг механик характеристикалари ҳам турличадир, лекин шунга қарамай уларни асосий тўртта гуруҳга бирлаштириш мумкин (11.1-расм).

1. *Қаршилик моменти тезликка боғлиқ эмас* (тўғри чизиқ *1*). Бундай турдаги механик характеристика кўтарма кранлар, чиғирлар, металл кесиш дастоҳларининг узатиш механизмлари, силжитадиган буюмининг массаси ўзгармас бўлган конвейерлар ва ҳоказолар учун хосдир. Ушбу гуруҳга қаршилик моменти асосан ишқаланиш кучлари (бу кучлар иш жараёнида тезликнинг ўзгариш доирасида деярли ўзгармайди) билан ҳосил қилинадиган барча механизмларни киритиш мумкин.

2. *Қаршилик моменти тезлик ортиши билан чизиқли қонун бўйича ортади* (тўғри чизиқ *2*). Бундай боғлиқликка мустақил уйғотишли ўзгармас ток генераторининг механик характеристикаси, агар мазкур генераторга нагрузка сифатида ўзгармас қаршиликли электр энергия қабул қилгичи уланса, мисол бўла олади.

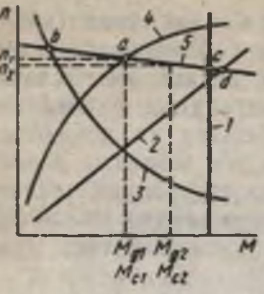
3. *Қаршилик моменти тезликка тескари мутаносиб равишда ўзгаради* (эгри чизиқ *3*). Бундай механик характеристика айрим металл кесиш дастгоҳлари (токарлик, фрезерлик ва б.) металлургия саноатидаги чархлар ва б. лар учун хосдир.

4. *Қаршилик моменти тезлик ортиши билан чизиқли бўлмаган (параболасимон) қонун бўйича ортади* (эгри чизиқ *4*). Бундай механик характеристика вентиляторлар, марказдан қочма насослар, эшкак винтлар ва ҳоказолар учун хосдир.

Электр двигателни механик характеристикалар бўйича танлаш. Берилган иш машинаси учун электр двигатель турини танлашда энг аввало юритманинг барқарор ишлашини таъминловчи иш машинаси ва двигателнинг механик характеристикалари ўзаро мослигини текшириш лозим.

11.1-расмда иш машиналарининг намунавий механик характеристикалари ҳамда параллел уйғотишли ўзгармас ток двигателининг механик характеристикаси (тўғри чизиқ *5*) кўрсатилган. Мазкур тўғри чизиқ эгри чизиқ *4* ни моментлар тенг ($M_{д1} = M_{к1}$) бўлганида юритманинг n_1 частота билан барқарор ишлашига мос келувчи *а* нуқтада кесиб ўтади.

Двигатель валидаги юкланиш ўзгарганида моментлар тенглиги ўзгаради, бу эса айланиш частотасининг аста-секин ўзгаришини келтириб чиқаради. Масалан, юкланиш $M_{к2}$ гача ортганида ($M_{д2} < M_{к2}$) айланиш частотаси камаяди двигателнинг моменти эса ортади ва ушбу ўтиш жараёни



11.1-расм

n_2 ($n_2 < n_1$) айланиш частотасида моментлар тенглиги ($M_{д2} = M_{к2}$) тикланганида тугайди, сўнгра юритма яна барқарор ишлайди.

Электр двигателнинг турини танлашда ишлаб чиқариш механизмининг юритма тезлигини ростлашга оид талаблар муҳим аҳамиятга эгадир. Тезлиги деярли ўзгармайдиган бир қанча иш машиналари (кўтарма кранинг силжитиш механизми, вентилятор ва б.) ни таъкидлаб ўтиш мумкин. Бундай иш машиналарининг юритмаси учун қаттиқ механик характеристикали электр двигатель мос келади.

Бошқа ҳолларда, масалан, электр двигателнинг юмшоқ механик характеристикаси қўл келади.

Баъзи ишлаб чиқариш механизмлари учун айрим қисмларининг аниқ синхрон айланиши ёки двигатель айланиш частотасининг автоматик ўзгариши талаб этилади.

Электр двигателнинг конструктив турини танлаш. Электр двигателлар қуйидагиларни ҳисобга олган ҳолда тайёрланади: электр двигателларнинг иш машиналари билан бирикиш усули (валнинг вертикал ёки горизонтал ҳолда жойлашиши, фланецли бирикма, очиқ ёки тусиғи бор подшипниклари бўлган ва ҳ.к.); атроф-муҳит таъсиридан ҳимоя қилиш усули: совитиш (шамоллатиш) усули.

Электр двигателларининг конструкцияси улар ўрнатилиши мумкин бўлган атроф-муҳит шароитларига тўлароқ мос келиши учун хоналар қуйидаги турларга бўлинган: иситиладиган қуруқ; иситилмайдиган қуруқ; очиқ ҳавода; нам; чангланганлик даражаси турлича бўлган; нам ва чанг; заҳарли буғ ва газлари бўлган; ёнғин хавфи бўлган; портлаш хавфи бўлган.

Хоналарнинг ушбу таснифига мувофиқ ҳамда электр двигателлар ва атроф-муҳитнинг ўзаро номақбул ёки ҳатто зарарли таъсирининг олдини олиш мақсадида электр двигателлар конструкцияларининг қуйидаги турлари тайёрланади: *очиқ* (айланадиган ҳамда ток ўтган қисмларини беркитиб турадиган махсус мосламалари йўқ): *ҳимояланган* (электр двигатель ичига

майда буюмлар тушиб кетишидан ҳимояловчи мосламалари бор); *намдан ҳимояланган* (электр двигатель ичига суюқлик томчилари, ифлос киришининг олдини олувчи мосламалари бор): *ёпиқ* (корпусининг ташқи юзаси орқали табиий совитиладиган): *ёпиқ сиртдан шамоллатиладиган* (электр двигатель валига ўрнатилган вентилятор билан корпус сиртини шамоллатиш воситасида совитиладиган); *ёпиқ, ичидан шамоллатиладиган* (ҳавони электр двигатель ичида алоҳида вентилятор билан пуфлаш воситасида совитиладиган; *портлашга хавфсиз* (электр двигателнинг ичида юзага келиши мумкин бўлган портлашнинг атрофга тарқалмаслигини таъминловчи корпусининг мустаҳкамлиги оширилган); *герметик* (электр двигателнинг ички қисми атроф-муҳитдан тўлиқ изоляцияланган).

Юқорида қайд қилинганлардан ташқари, намга ва кислотага қарши изоляцияси бўлган электр двигателлар: тропик иқлимга мослашган электр двигателлар (атроф-муҳит температураси 50°C ва ҳавонинг нисбий намлиги 95% бўлган иссиқ нам иқлим шароитида ишлатиш учун) ҳам тайёрланади.

Электр двигателни танлашда унинг иқтисодий кўрсаткичлари (ф.и.к., cosφ, нархи, ташқи ўлчамлари ва массаси, ишлатишдаги ишончлилиги ва б.) ни ҳам эътиборга олиш лозим.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Электр двигателнинг механик характеристикаси (11.1- расм. тўғри чизиқ *5* га қаранг) ишлаб чиқариш механизмларининг характеристикаларини *a, b, c, d* нуқталарда кесиб ўтади. Мазкур электр двигатель тасвирланган механизмларнинг ҳар бири билан бирикканида ҳосил бўлган электр юритма барқарор ишлайдими?

2. Ўзгармас ток электр двигателлари уйғотиш схемаси (параллел, кетма-кет ва аралаш уйғотишли) бўйича бир-биридан фарқ қилади. Электр двигателларнинг мазкур турларидан қайси бири механик характеристикасига кўра кўтарма механизмнинг юритмаси учун энг мос келади?

3. Электр двигателнинг ишлашини бошқариш ва назорат қилиш учун турли аппаратлар (рубильниклар, контакторлар, электр ўлчов асбоблари ва б.) ишлатилади. Мазкур аппарат ва асбоблар электр юритма таркибига кирадими?

4. Ишлаш шароитларига кўра ҳимояланган электр двигатель ўрнатса ҳам бўладиган қуруқ, иситиладиган хонага мазкур турдаги двигатель йўқлиги сабабли ёпиқ қилиб ишланган двигатель ўрнатилди. Бундай алмаштириш электр юритма ишида қандай камчиликларга сабаб бўлади?

5. Электр двигателни танлашда бошқа кўрсаткичлар қаторида унинг ташқи ўлчамлари ва оғирлигини ҳисобга олиш керак. Нима

учун ташқи ўлчамлар ва оғирлик электр двигателнинг иқтисодий кўрсаткичлари таркибига киритилган?

11.1-масала. Параллел уйғотишли ўзгармас ток двигатели ушбу номинал катталикларга эга: $U_{ном} = 220$ В, $I_{ном} = 153$ А, $\eta = 0{,}89$, $n_{ном} = 100$ айл/мин ва якорь занжирининг қаршилиги $R_я = 0{,}11$ Ом. Якорь реакцияси ва салт ишлаш токини ҳисобга олмаган ҳолда двигателнинг табиий ва якорь занжирида қўшимча қаршилик $R_к = 0{,}39$ Ом бўлгандаги механик характеристикаларини қуринг.

11.2-масала. Уч фазали асинхрон двигателнинг механик характеристикасини қуринг, бунинг учун қуйидагилар маълум: $P_{ном} = 35$ кВт: $n_{ном} = 730$ айл/мин: ротор фазасининг актив қаршилиги $R_2 = 0{,}01$ Ом, қўзғалмас ротор фазасининг индуктив қаршилиги $X_{2н} = 0{,}082$ Ом. Изоҳ: уч фазали асинхрон двигателнинг механик характеристикаси $n = f(M)$ ни тўртта нуқта бўйича қуриш мумкин, бунда қуйидаги режимлар кўриб чиқилади: 1) салт ишлаш; 2) номинал; 3) критик (M_{max}, s_{max}); 4) ишга туширишнинг бошланғич лаҳзаси. Двигателнинг айланиш частотаси ва моментини аниқлаш учун илгари келтирилган формулалардан ташқари, ушбу ифодалардан ҳам фойдаланиш мумкин: $s_{max} = R_2/X_{2н}$; $M = \dfrac{2\,M_{max}}{s/s_{max} + s_{max}/s}$, бу ерда M_{max} ва s_{max} — критик режимдаги момент ва ишқаланиш.

11.2. ЭЛЕКТР ДВИГАТЕЛЛАРНИ ҚУВВАТ БЎЙИЧА ТАНЛАШ

Электр двигателнинг қувватини тўғри ҳисоблаш катта аҳамиятга эга, чунки электр юритма ишининг техник ва иқтисодий кўрсаткичлари кўп жиҳатдан шунга боғлиқдир.

Қуввати ортиқ электр двигатель ўрнатилганда капитал харажатлар ортади, двигателнинг ф.и.к. қувват коэффициенти (ўзгарувчан ток қурилмаларида) пасаяди, электр тармоғининг нагрузкаси (ишлаб чиқаришга боғлиқ бўлмаган) ортади.

Электр двигатель қувватининг керагидан кам бўлиши машина иш унумининг пасайишига олиб келади, электр двигателни мунтазам равишда меъёридан ортиқ юклаш эса унинг муддатидан илгари ишдан чиқишига ва ҳатто авария ҳолатига олиб келади.

Электр двигателларнинг қизиши ва совиши. Ишлаш жараёнида электр двигатель ўзидаги энергия исрофи

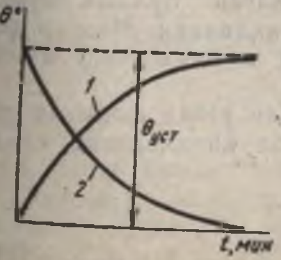
ҳисобига қизийди. Фараз қилайлик, электр двигателнинг нагрузкаси ва исроф бўлаётган қувват ўзгармас, яъни вақт бирлиги ичида двигателдан ажралиб чиқаётган иссиқлик миқдори ўзгармайди ($Q_1 = \text{const}$).

Бу иссиқликнинг бир қисми бўлмиш Q_2, агар двигателнинг температураси ташқи муҳит температурасидан ортиқ бўлса, атроф-муҳитга узатилади. Иссиқлик ажралиб чиқиши двигатель ва муҳит температуралари фарқига пропорционал деб ҳисоблаб, двигателнинг қизиш жараёнини қуйидагича тасвирлаш мумкин: унинг температураси θ бирор барқарор қиймат ($\theta_{бар}$) гача ортади, бунда атроф-муҳитга бериладиган иссиқлик миқдори двигателдан энергия исрофи ҳисобига ажралиб чиққан иссиқлик миқдорига тенг бўлади ($\theta = \theta_{бар}$ бўлганда $Q_1 = Q_2$). Қизиш жараёнида двигатель температурасининг ўзгариш графиги 11.2- расмда кўрсатилган (эгри чизиқ *1*).

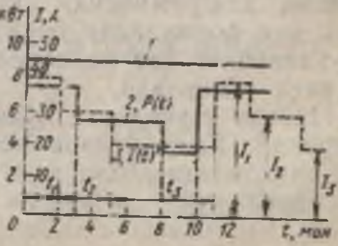
Агар ишлаш даврида қизиган электр двигатель тармоқдан узиб қўйилса, у аста-секин совийди (11.2- расмдаги график *2*), чунки ундан иссиқлик ажралиб чиқмайди ($Q_1 = 0$), атроф-муҳитга эса узатилади ($Q_2 \neq 0$). Бу шароитда двигателнинг температураси атроф-муҳит температураси билан тенглашмагунча камаяди.

Электр двигатель жоиз температураси ($\theta_ж$) нинг қиймати унинг конструкциясида қўлланилган изоляцион материалларнинг хоссаларига боғлиқ.

Қизишга бардошлиги бўйича электр изоляция материаллари бир нечта синф (А, Е, В, Г, Н, С) га бўлинади. А синфга таллуқли изоляция (ип газлама, йигирилган ип, қоғоз ва б.) нинг жоиз температураси 105°С, С синфга таалуқли изоляция (слюда, шиша, сопол ва б.) ники эса 180°С. Қолган синфлар қизишга бардошлилиги бўйича оралиқ ҳолатларни эгаллайди.



11.2- расм.



11.3- расм.

Буни берилган ишлатиш шароитлари учун электр двигателлар танлашда ҳисобга олиш керак.

Электр двигателларни қуввати бўйича танлаш. Электр двигателни қуввати бўйича танлаш учун иш машинаси талаб қиладиган (ҳисобий) қувват $P_{ҳ}$ ни электр двигателнинг номинал қуввати $P_{ном}$ билан таққослаб кўриш лозим. Электр двигатель каталог бўйича танланади. Бунда двигателнинг номинал қуввати иш машинаси талаб қиладиган қувватга тенг ёки ундан бироз катта бўлиши лозим:

$$P_{ном} \geqslant P_{ҳ} \qquad (11.1)$$

Электр двигателларнинг иш режимлари ишлаб чиқариш механизмларининг ишлаш шароитлари билан белгиланади ва қабул қилинган таснифга кўра саккизта гуруҳга бўлинади. Шулардан учта режимни кўриб чиқамиз.

1. *Узоқ давом этадиган режим.* Ушбу режимда иш давомийлиги шундайки, бунда электр двигателнинг барча қисмлари барқарор температура (11.2-расмдаги $\theta_{бар}$) гача қизийди. Узоқ давом этадиган режимда юкланиш ўзгармас ёки ўзгарувчан бўлиши мумкинлиги 11.3-расмдан кўриниб турибди, унда узоқ давом этадиган режимнинг юкланиш диаграммаларидан намуналар кўрсатилган: график *1* — юкланиши ўзгармас: графиклар *2*, *3* — юкланиши ўзгарувчан. Юкланиш диаграммаларида вақтга боғлиқ ҳолда қувват $P = f(t)$ (график 2), ток $I = f(t)$ (график 3) ёки момент $M = f(t)$ лар тасвирланади.

Марказдан қочирма насослар ва вентиляторларнинг, айрим турдаги конвейерлар ва трансформаторларнинг ҳамда баъзи бошқа машиналарнинг электр юритмалари узоқ муддатли ўзгармас юкланиш билан ишлайди.

Бу ҳолда истеъмол қилинадиган қувват бевосита юкланиш диаграммасида кўрсатилган бўлиши мумкин ёки уни формулалар бўйича аниқланади. Мазкур формулаларнинг ҳар қайсиниси иш машинасининг муайян турига мос келади.

Мисол тариқасида қуйида бир нечта формула келтирилди. Улар бўйича истеъмол қилинадиган қувват $P_{ҳ}$ аниқланади:

насос учун

$$P_{ҳ.н} = \frac{v \gamma H g}{\eta_{н} \eta_{у}} \qquad (11.2)$$

ҳамда вентилятор учун

$$P_{ҳ.в} = \frac{vP}{\eta_в \eta_у}. \qquad (11.3)$$

Ушбу формулаларда: v — насос ёки вентиляторнинг иш унуми, м³/с; γ — ҳайдаладиган суюқликнинг зичлиги, кг/м³; H — суюқликнинг ҳисобий кўтарилиш баландлиги, м; $g = 9{,}8$ м/с² — эркин тушиш тезланиши; P — вентиляторнинг чиқишидаги босим Па; $\eta_н$, $\eta_в$ — насос ёки вентиляторнинг ф. и. к.; $\eta_у$ = механик узатманинг ф. и. к.

Бўйламасига йўниш дастгоҳлари, эскалаторлар ва шу кабилар юритмасининг электр двигателлари узоқ давом этувчи ўзгарувчан юкланиш режимида ишлайди. Юкланиш диаграммасига мувофиқ двигателнинг юкланиши узлуксиз равишда ўзгаради, шу боис двигателнинг температураси ҳам ўзгаради. Бироқ двигателнинг қизиш ва совиш жараёнлари катта инерцияга эга, шунинг учун ҳақиқий графикни ўртачалаштирилган график билан алмаштиришга йўл қўйилади.

Двигателни қувват бўйича танлаш учун зарур бўлган ҳисоб-китоблар кўпинча эквивалент катталиклар (ток, момент, қувват) усули билан бажарилади. Шунингдек, янада аниқроқ, аммо кўпроқ меҳнат талаб ,қиладиган усул — ўртача исрофлар усули ҳам қўлланилади [7].

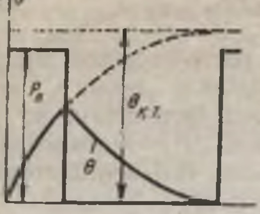
Эквивалент ток $I_{эк}$ — токнинг ўзгармас қиймати бўлиб, бунда двигателда исроф бўлган қувват миқдор жиҳатдан нагрузканинг аслида ўзгариб турувчи токидаги исроф қийматига тенгдир.

Эквивалент ток $I_{эк}$ нинг қиймати қуйидаги тартибда аниқланади: юкланиш диаграммаси n та бўлакка бўлиб чиқилади (n қанча кўп бўлса, ҳисоб-китоб шунча аниқ бўлади); ҳар бир бўлакнинг $t_п$ давомийлиги доирасида токнинг қиймати бирор ўртача қиймат $I_п$ га тенг ва ўзгармас деб қабул қилинади.

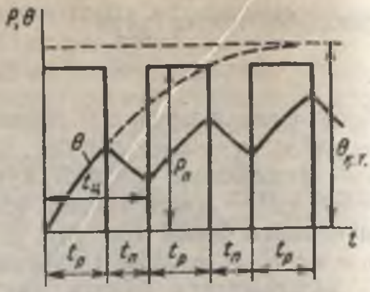
Эквивалент ток қуйидаги формула бўйича аниқланади

$$I_{эк} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \ldots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \ldots t_n}} \qquad (11.4)$$

Двигатель каталог бўйича, (11.1) ифодадан бевосита келиб чиқувчи $I_{ном} \geqslant I_{эк}$ шартга асосланган ҳолда, танланади. Эквивалент қувват $P_{эк}$ ёки эквивалент момент ҳам худди юқоридагидек тартибда ва ўша формулалар бўйича аниқланади, бунда $I_п$ ток ўрнига қувват $P_п$ ёки момент $M_п$ нинг



11.4- расм



11.5- расм

ҳар бир бўлакдаги ўртачалаштирилган қийматлари киритилади.

2. *Қисқа вақтли режим.* Бу режимда ўзгармас юкланиш билан ишлаш даврлари (11.4- расм) электр двигателни узиб қўйиш даврлари билан алмашиниб туради, бунда ишлаш даврларида двигателнинг температураси барқарор қийматга эришмайди, тўхташ даврларининг давомийлиги эса шундайки, бунда двигатель атроф-муҳит температурасигача совишга улгуради. Ушбу режимда кўтариладиган кўприкларнинг, шлюзларнинг электр юритмалари ишлайди.

Қисқа вақтли режимда ишлаш учун заводларда ишлаш давомийлиги меъёрлаштирилган (10, 30, 60, 90 мин.) махсус электр двигателлар ишлаб чиқарилади. Қисқа вақтли ўзгармас юкланишда ҳам электр двигатель (11.1) шартга асосан ҳақиқий иш давомийлигини ҳисобга олган ҳолда танланади.

Агар ҳақиқий иш вақти меъёрлаштирилган иш вақтидан фарқ қилса ёки махсус двигатель ўрнига узоқ давом этадиган режимда ишлаш учун мўлжалланган двигателдан фойдаланиладиган бўлса, у ҳолда электр двигателнинг қизишидан тўлиқ фойдаланиладиган ҳисобий юкланиш аниқланади [7]. Агар двигателнинг момент ва қуввати токка пропорционал, юкланиш диаграммаси эса $M = f(t)$ ёки $P = f(t)$ боғланиш шаклида берилган бўлса, у ҳолда эквивалент момент ёки эквивалент қувват аниқланади.

3. *Такрорланадиган қисқа вақтли режим.* Бу режимда ўзгармас юкланиш $P_{ў}$ да ишлаш даврлари (11.5- расм) узиб қўйиш даврлари (паузалар) билан алмашиниб туради. Бироқ паузаларнинг давомийлиги катта эмас, шу боис двигатель иш даври ($t_и$) давомида барқарор температурагача қизишга ва пауза ($t_п$) давомида атроф- муҳит температурасигача совиш-

га улгурмайди. Цикл вақти ($t_ц = t_и + t_п$ 10 минутдан ошмайди. Такрорланадиган қисқа вақтли режим истеъмол қилинадиган қувват $P_и$ ва нисбий улаш давомийлиги (УД $= t_и/t_п$ ёки УД % $= 10\ t_и/t_ц$) билан характерланади.

Бундай режимда кранлар, лифтлар ва бошқа кўтарма механизмларнинг, токарлик, пармалаш ва бошқа металлга ишлов бериш дастгоҳларининг электр юритмалари ишлайди.

Такрорланадиган қисқа вақтли режим учун маълум номинал қувват ҳамда стандартлаштирилган нисбий улаш давомийлиги (УД = 15, 25, 40 ва 60 %) га мўлжалланган махсус электр двигателлар тайёрланади.

Ишлаш даври вақтида юкланиш ўзгармас бўлганда электр двигатель ўша (11.1) шарт бўйича танланади, аммо бунда нисбий улаш давомийлиги ҳақиқий қиймати ($УД_х$) нинг стандарт қиймат ($УД_{ст}$) дан фарқ қилиши ҳисобга олинади.

Бу ҳолда истеъмол қилинадиган ҳисобий қувват аниқланади $P_{и.х} = P_и \sqrt{УД_х/УД_{ст}}$, бу ерда $P_и$ ва $УД_х$ — юкланиш диаграммасидан олинган катталиклар, $УД_{ст}$ эса миқдор жиҳатдан $УД_х$ га яқин бўлган номинал катталиклардан бири.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Ип газлама изоляциядан фойдаланиб ясалган электр двигатель бирор қувват $P_{ном}$ ҳамда маълум ўлчам ва оғирликка эга. Агар ип газлама изоляция шиша иплардан иборат изоляция билан алмаштирилса, электр двигателнинг қуввати ўшандайлигича қолганда унинг ўлчамлари ва массаси қандай ўзгаради?

2. Агар қуввати ортиқ двигатель танланса, электр юритманинг нархи қимматлашади. Бу ҳолда электр юритмани ўрнатишда ва уни ишлатиш жараёнида қандай қўшимча харажатлар юзага келади?

3. Қисқа вақтли режимдаги иш даврининг ҳақиқий давомийлиги 10 билан 30 минут оралиғида бўлади. Иш даврининг меъёрий давомийлиги 10, 30 минутдан иборат электр двигателни танлаш лозим бўлган истеъмол қилинувчи қувватнинг ҳисобий қиймати қандай ўзгаради?

4. Нима учун электр двигатель мунтазам равишда меъёридан ортиқ юкланганида муддатидан илгари ишдан чиқади?

5. Нима учун такрорланадиган қисқа вақтли ҳамда қисқа вақтли режимлар учун махсус электр двигателлар тайёрланади?

11.3-масала. $G = 1{,}5$ т юки бўлган лифтни $v = 0{,}25$ м/с тезлик билан юқорига кўтариш учун зарур бўлган двигателнинг қувватини аниқланг. Бунда лифт кабинасининг массаси $G_0 = 1{,}5$ т, посангининг массаси $G_2 = 2$ т, кўтарма механизмнинг ф.и.к. $\eta = 0{,}5$. Агар лифт посангига эга бўлмаса, қанча қувват талаб қилинади?

11.4-масала. 11.3-расмда токнинг вақтга боғлиқлиги (график *3*) ҳамда қувватнинг вақтга боғлиқлиги (график *2*) кўринишларида тасвирланган юкланиш диаграммаси бўйича электр двигатель танланг.

Ечиш. Юкланиш диаграммаси учта қисмдан иборат: 1) $I_1 = 40$ А

$t_1 = 2$ м; 2) $I_2 = 30$ А, $t_2 = 3$ м; 3) $I_3 = 20$ А, $t_3 = 6$ м; бундан кейин қисмлар худди шу тартибда такрорланади. (11.4) формулага мувофиқ, эквивалент ток

$$I_{эк} = \sqrt{\frac{40^2 \cdot 2 + 30^2 \cdot 3 + 20^2 \cdot 6}{2 + 3 + 6}} = 28 \text{ А}.$$

Двигатель $I_{ном} \geqslant I_{эк}$ шартга асосан каталог бўйича танланади. Ушбу шарт (11.1) ифодадан бевосита келиб чиқади. Ротори қисқа туташтирилган уч фазали асинхрон двигатель танланади. Мазкур двигателнинг характеристикалари: $P_{ном} = 15{,}2$ кВт; $U_{ном} = 380$ В; $n_{ном} = 975$ айл/мин; $\eta_{ном} = 0{,}869$; $\cos\varphi_{ном} = 0{,}83$; $k_{max} = M_{max}/M_{ном} = 1{,}9$; $I_{ном} = 31{,}9$ А. Танланган двигателнинг ортиқча юкланишга чидамлилигини текшириш лозим:

$$M_{ном} = 60P_{ном}\ (2\pi n_{ном}) = 60 \cdot 15200/(1\ \pi\ 975) = 150 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{maxдв} = M_{ном}\, k_{ном} = 150 \cdot 1{,}9 = 285 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Нагрузканинг энг катта токи $I_{max} = 40$ А

$$P_{max} = \sqrt{3}\ U_{ном} I_{max}\, \eta \cos\varphi;$$

$$P_{max} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 40 \cdot 0{,}869 \cdot 0{,}83 = 18800 \text{ Вт} = 18{,}8 \text{ кВт}.$$

η, $\cos\varphi$ ҳамда n нагрузка ўзгарганида кам ўзгаради, деб ҳисобласак,

$$M_{maxнг} = 60P_{max}/(2\pi n_{ном}) = 69 \cdot 18800/(2\pi\, 975) = 187{,}5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таққослаш $M_{maxдв} > M_{maxнг}$ эканлигини кўрсатди. Топшириқнинг иккинчи қисмини график *2* бўйича мустақил ечинг.

11.3. ЭЛЕКТР ЮРИТМАЛАРНИ БОШҚАРАДИГАН АППАРАТЛАР

Электр юритмаларни бошқариш вазифаларига қуйидагилар киради: ишга тушириш; ҳаракат тезлигини ростлаш; айланиш йўналишини ўзгартириш (реверслаш); муайян иш режимини ушлаб туриш ёки берилган дастурга кўра режимиларни ўзгартириш (масалан, технологик жараён талабларига мувофиқ); секинлатиш; тўхтатиш ва узиб қўйиш.

Электр юритмаларни бошқарнш схемаларида зарур бўлганида ҳимоялаш, блокировка, сигнализация вазифаларини бажариш имконияти ҳам назарда тутилади. Қуйидагилар киритилиши мумкин: қисқа туташувлардан ҳамда электр двигатель ва электр таъминотининг ўта юкланишларидан, кучланишнинг номинал қийматдан ҳаддан ташқари четга чиқишидан, электр двигателнинг ўз-ўзидан ишга тушиши ва ўчиб қолишидан ҳимоялаш; операторнинг бошқариш схемасининг программалаштирилган иш тартибини таъминловчи ҳара-

катларининг мазмун жиҳатдан нотўғри ва берилган кетма-кетликка мос келмаслигининг олдини олувчи блокировка.

Операторнинг электр юритмани бошқариш жараёнида иштирок этиш даражаси ва характерига қараб электр юритмани бошқариш ноавтоматик (қўлда бажариладиган), автоматлаштирилган, автоматик турларга бўлинади. Бошқариш схемаларидаги аппаратларнинг турлари ҳам шунга кўра аниқланади.

Қўл билан бошқариладиган аппаратлар. Қўл билан бошқариш автоматлаштирилмаган ишлаб чиқаришнинг энг оддий ҳолларида ва операторнинг ишлаши учун нормал шароитлар (электр юритмани бошқаришда электр токи билан шикастланиш хавфи юзага келмайдиган, катта жисмоний куч, тезкорлик ва операциялар сонининг кўп бўлиши талаб қилинмайдиган) яратилган хоналарда ўрнатилган юритмалар учунгина қўлланилади.

Қўл билан бошқариладиган аппаратлар бевосита операторнинг қўл кучидан ҳаракатга келади. Бундай аппаратларга рубильниклар, пакетли узгичлар, реостатлар ва контроллерлар киради.

Рубильниклар электр занжирларининг элементларини қўлда улаш ва узиш учун мўлжалланган аппаратлардир. Улар кучланиш 500 В гача ва ток 1000 А гача бўлганида қўлланилади. Нагрузкаси бўлмаган занжирларни узиш учун ёй сўндирувчи мосламаси бўлмаган оддий рубильниклар, нагрузкали занжирларни узиш учун эса ёй сўндирувчи мосламаси бўлган рубильниклар ишлатилади. Буларнинг энг оддийси асосий контактга маҳкамланадиган ёй сўндирувчи махсус контактдир. Асосий контакт ажралганида чўзиладиган пружина таъсирида занжирнинг тез узилиши туфайли ёйнинг сўнишига эришилади. Кучланиши 380 ва 500 В бўлган ўзгарувчан ток занжирларида ҳамда кучланиши 200 В ва ундан ортиқ бўлган ўзгармас ток занжирларида ёй сўндирувчи камерали рубильниклардан фойдаланилади.

Пакетли узгичлар ўзгармас ва ўзгарувчан ток электр занжирларини қўлда улаш учун мўлжалланган кичик ўлчамли аппаратлардир (11,6- расм, *а—в*). Улар кучланиш 220 ва 380 В ҳамда ток 10 дан 400 А гача бўлганда қўлланилади.

11.6- расм

Пакетли узгичнинг контакт системасиға контакт гуруҳлар тўплами киради. Ҳар бир гуруҳ қўзғалмас изоляцион шайбалар *2* га маҳкамланган иккита қўзғалмас контакт *3* ҳамда дастаси *5* бўлган тўрт қиррали валга кийдирилган қўзғалувчан контакт *4* дан ташкил топган.

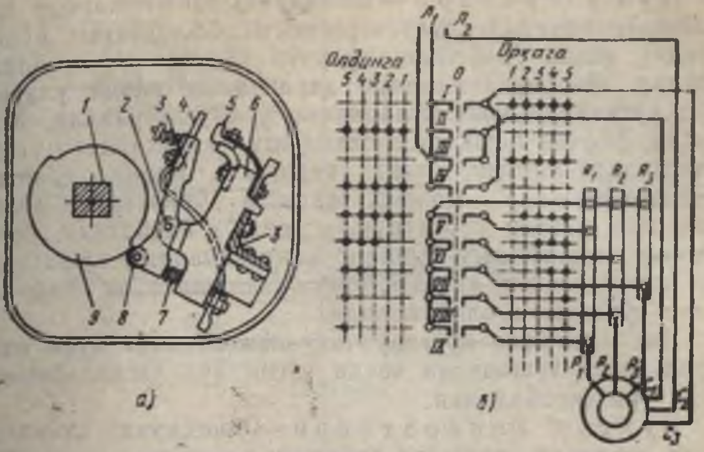
Қўзғалмас контактларнинг қисмалари бўлиб, уларга электр занжирининг симлари уланади. Дастанинг маълум бир вазиятида қўзғалувчан контакт битта диаметрда жойлашган иккита қўзғалмас контактни ўзаро бирлаштиради, яъни электр занжирининг иккита сими берилган схемага мувофиқ уланади. Даста 90° га бурилганда қўзғалувчан контакт ҳам бурилади ва мазкур занжир узилади. Узиш жараёнини тезлаштириш мақсадида қопқоқ *1* нинг остида пружинали механизм назарда тутилган. Даста бурилганда пружина ишга тушиб, қўзғалувчан контактни буради.

Занжир узилганда контактлар орасида ҳосил бўлувчи электр учқуни узиш жараёнини тезлаштириш йўли билан сўндирилади, шу билан бирга фибрадан ажралиб чиқувчи газлар ҳам учқун сўндирилишиға кўмаклашади. Фибрадан қистирмалар *6* тайёрланган бўлиб, улар қўзғалувчан контакт билан атайин битта текисликда жойлаштирилган.

К о н т р о л л е р л а р — куч занжирлари ва бошқариш занжирларида улаш ҳамда узиб-улаш учун мўлжалланган кўп позицияли аппаратлар.

Улар, одатда, ишга туширишда резисторларини узиб-улашда, айланиш частотасини ростлаш ва электр двигателларни реверслашда қўлланилади.

Контроллернинг тузилиши, рубильникдан фарқли равишда, электр занжирларини бир вақтда эмас, бал-



11.7- расм

ки аввалдан белгиланган маълум кетма-кетликда улашга имкон беради. Кулачокли турдаги контроллер битта бўғинининг ишлаш схемаси 11.7- расм, *а* да кўрсатилган.

Иш контактлари *5* ва *4* изоляцияли асослар (қўзғалувчан 3 ва қузғалмас асос *6*) га маҳакамланган. Ўқ *2* атрофида айлана оладиган қўзғалувчан асосга ролик *8* маҳкамланган. Вал *1* га кулачокли шайба *9* маҳкамланган. Агар ушбу шайба ролик билан кичик радиусли юзаси орқали туташса, контактлар пружина *7* таъсирида туташ ҳолатда бўлади. Вал *1* ҳамда кулачокли шайбани буриб, контактларни ажратиш мумкин. Бундай кулачокли элементлар бошқариладиган электр занжирининг схемаси учун қанча талаб қилинса, вал *1* бўйлаб шунча миқдорда ўрнатилади.

Электр юритмани автоматик бошқариш схемалари учун аппаратлар. Автоматик ва автоматлаштирилган бошқариш схемаларида вазифаси, ишлаш принципи ва тузилишига кўра турлича бўлган аппаратлардан фойдаланилади. Уларнинг айримлари (релелар, контакторлар, магнит кучайтиргичлар) 10- бобда автоматиканинг бошқа элементлари билан биргаликда қисқача кўриб чиқилган. Уларга қўшимча қилиб мисол тариқасида йўл узгичлари, буйруқ аппаратлари, резисторлар ва тиристорли ўзгартиргичларни келтириш мумкин.

Йўл узгичлари — бошқариш занжирларида иш машинасининг қўзғалувчан элементи босиб ўтган йўлга боғлиқ ҳолда узиб-улашлар учун мўлжалланган аппаратлар. Иш механизмлари ҳаракатланаётганда уларни йўл узгичлари контактларининг ўзи узиб-улайди. Масалан, лифтни бошқариш схемасига қаватлардаги узиб-улагичлар киради. Лифт кабинаси муайян қаватга яқинлашар экан, мазкур қаватга ўрнатилган узиб-улагичга таъсир кўрсатади, у эса, ўз навбатида, бошқариш занжиридаги ўзининг контактларини ажратади, бу ҳолат электр двигателнинг узилишига ва кабинанинг тўхташига олиб келади.

Иш машинаси қўзғалувчан элементининг йўли охирида ишга тушадиган четка узгич йўл узгичларининг бир тури ҳисобланади.

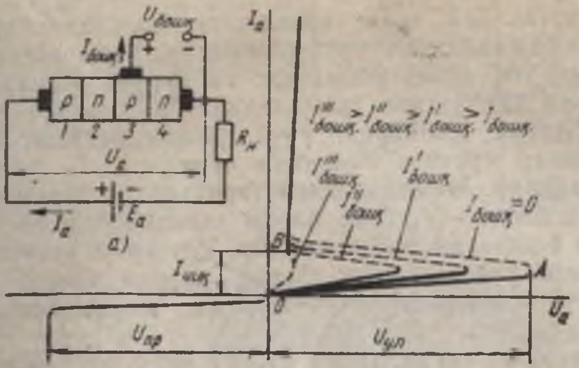
Буйруқ аппаратлари — бошқариш схемаларига оператор ёрдамида буйруқлар киритиш учун мўлжалланган. Уларга буйруқ контроллерлари, универсал узиб-улагичлар, бошқариш кнопкалари (кнопкали станциялар) киради.

Резисторлар — электр занжирларидаги ток ва кучланишни уларнинг электр қаршилигини ўзгартириш йўли билан ростлаш учун мўлжалланган аппаратлар.

Резисторларнинг электр қаршиликка эга элементлари солиштирма ўтказувчанлиги кичик бўлган металл қотишмаларидан тайёрланади. Қаршилиги ўзгарадиган резисторлар (реостатлар) қўл билан ва автоматик бошқариладиган электр юритмаларнинг схемаларида ишга тушириш, ростлаш ва тормоз аппаратлари сифатида ишлатилади.

Тиристорлар. Автоматлаштирилган ва автоматик электр юритма системаларида ҳозирги вақтда бошқариладиган вентиллар асосида ишлайдиган ўзгартиргичлардан кенг фойдаланилмоқда. Тиристорлар — ярим ўтказгичли бошқариладиган вентиллар энг кўп тарқалган.

Тиристор тузилишининг схемаси (11.8- расм, *a*) дан кўринадики, мазкур ярим ўтказгичли асбоб *p-n-p-n* турдаги тўрт қатламли структурага эга бўлиб, унда электрон ва ковак ўтказувчанлик қатламлари мавжуддир. Қатламлар орасида тўғри йўналишда қаршилиги омнинг улушига тенг, тескари йўналишда эса бир неча юз минг омга эга бўлган *p-n* ўтишлар ҳосил бўлади.



11.8- расм

Қатлам *1* — анод, унга таъминлаш манбаининг мусбат қутби уланади: қатлам *4* — катод, у манфий қутб билан нагрузка элементи $R_н$ орқали уланган. Катод ва аноддан ташқари, p^3 турдаги ўрта қатламига уланган бошқарувчи электрод ҳам бор, у билан катод орасида эса бошқарувчи кучланиш таъсир кўрсатади. Тиристорнинг вольт-ампер характеристикаси — анод токи $I_а$ нинг анод билан катод орасидаги кучланиш $U_а$ га боғлиқлиги 11.8- расм, *б* да кўрсатилган.

ОА қисмда тиристор токининг қиймати кичик, яъни, агар мусбат анод кучланишининг қиймати улаш кучланиши $U_{ул}$. дан кичик бўлса, тиристор ёпиқ бўлади. *ВС* қисмда тиристор очиқ бўлади (ток $I_а$ кескин ортади, кучланиш $U_а$ эса камаяди).

Бошқариш занжирида сигнал мавжуд эмаслигида ($I_б=0$), агар $U_а \leqslant U_{ул}$. бўлса, тиристор ёпиқ ҳолатда қолади ва $U_а \geqslant U_{ул}$. бўлганида очилади.

Агар бошқарувчи электрод катодга нисбатан мусбат потенциал олса, тиристорни кичикроқ анод кучланишида ҳам улаш мумкин, бунда уланиш лаҳзаси бошқарувчи ток $I_б$ нинг қийматига боғлиқ бўлади. Тиристор очилганидан сўнг бошқарувчи электрод ўзининг бошқариш хусусиятларини йўқотади, очиқ ҳолатдан ёпиқ ҳолатга қайта ўтиш эса анод кучланишининг ишораси ўзгарганидагина (анодда манфий ишора), шунингдек анод токи бирор қиймат $I_{уз}$. гача камайганида содир бўлади.

Тиристорларнинг қайд қилинган хоссалари улар асосида ўзгарувчан ток ўзгартиргичларини ўзгармас ток ўзгартиргичи (тўғрилагич)га айлантириш, қувват

кучайтиргичлари, реле тарзида, шу жумладан триггер тарзида ишлайдиган узиб-улагичлар, ўзгармас ва ўзгарувчан ток кучайтиргичлари ва қувват ростлагичлари ҳамда автоматика схемаларида ва, айниқса, электр юритмаларни бошқариш учун қўлланиладиган бошқа тузилмалар яратиш имконини беради.

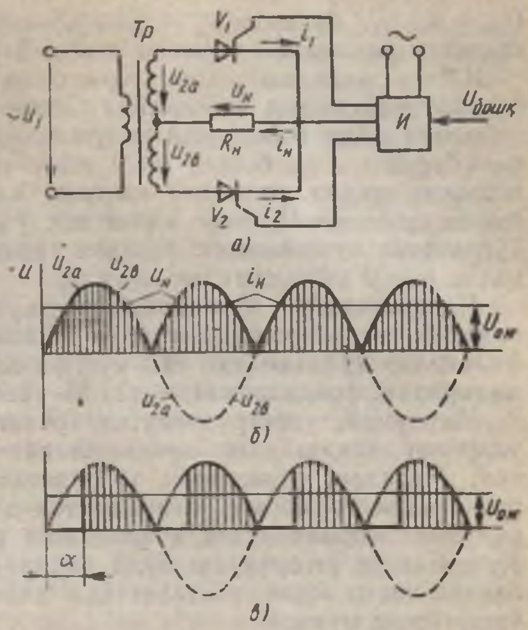
Бошқариш схемаларидаги тиристорлар. Ярим ўтказгичли асбоблар дастлаб алоқа техникасида кенг қўлланила бошланди, кейинроқ эса, куч ярим ўтказгичлар техникаси ривожланиши билан, уларни электр юритмаларни бошқариш учун қўллаш имконияти юзага келди.

Бошқариш схемаларида статик ярим ўтказгичли ўзгартиргичлар — тиристорлардаги тўғрилагич ва инверторлардан фойдаланилади. Тўғрилагичлар ўзгарувчан кучланишни ўзгармас кучланишга айлантириб бериш учун хизмат қилади, инверторлар эса ўзгармас кучланишни ўзгарувчан кучланишга айлантириб беради. Бунда тиристорларнинг очилиш ва ёпилиш лаҳзаларини бошқариш мумкинлиги кучланиш ва токнинг чиқиш қийматларини ростлаш имконини беради.

Тиристорли тўғрилагичнинг чиқишидаги кучланишни ростлаш принципини икки ярим даврли тўғрилагичнинг схемасида кўриб чиқамиз (119-расм. *а*). Ушбу ҳолда иккиламчи чулғамининг учта чиқиш жойи (боши, охири, ўрта нуқтаси) бўлган бир фазали трансформатор Тр ўзгарувчан кучланиш манбаи бўлиб ҳисобланади.

Тўғрилагич схемасига иккита тиристорли вентиль шундай киритилганки, бунда улардан бири (V_1) нинг аноди чулғамнинг бош учи билан, иккинчи вентиль (V_2) нинг аноди эса чулғамнинг охири билан туташтирилади. Вентилларнинг катодлари ўзаро уланган, уларнинг уланиш нуқтаси билан чулғамнинг ўрта нуқтаси орасига резистор киритилган. Тиристорларнинг катодлари ва бошқарувчи электродлари бошқарувчи импульслар манбаи (И) билан уланган.

Бошқарилмайдиган вентиллардан (масалан, ярим ўтказувчи диодлардан) тузилган тўғрилаш схемасининг ишлашини кўриб чиқамиз. Бундай вентиллар схемага бошқарувчи импульслар берилмаганда (импульслар манбаи узиб қўйилган) мусбат кучланиш (анодда +, катодда —) нинг исталган қийматида очилади. Мазкур ҳол учун 11.9-расм, *б* да трансформатор иккиламчи чулғамининг қисмаларидаги кучланишлар



11.9- расм.

(U_{2a} ва $U_{2в}$) нинг графиклари тасвирланган. Ушбу кучланишлар қиймат жиҳатидан ўзаро тенг ва фаза бўйича ўзаро мос тушганлиги учун битта эгри чизиқ билан тасвирланган.

Саноқ бошланишидан эътиборан биринчи ярим даврда вентиль V_1 очиқ (анодда +), вентиль V_2 эса ёпиқ (анодда —) бўлади; иккиламчи чулғамнинг бир қисми (*а*) —вентиль V_1 — нагрузка резистори $R_н$ дан иборат контурда ток бўлади.

Кучланишнинг иккинчи ярим даврида вентиль V_2 ёпиқ, вентиль V_1 эса очиқ бўлади, шунинг учун иккиламчи чулғамнинг бир қисми (*b*) — вентиль V_2 — нагрузка резистори $R_н$ дан иборат контурда ток бўлади. Иккала ярим даврда ҳам нагрузкадаги токнинг йўналиши бир хил бўлади. $R_н$ резистордаги ток $i_н$ ярим давр мобайнида трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги кучланиш билан фаза жиҳатдан мос тушди, кучланиш $u_н$ эса шакли жиҳатдан худди ток сингари ўзгаради (кириш кучланишининг бир даври иккита мусбат ярим тўлқиндан иборат). Бу 11.9- расм, *б* да кўрсатилган бўлиб, унда кучланиш ва ток графиклари бирлаштирилган (бунга масштабларни тегишлича танлаган ҳолда эришиш мумкин). Нагрузкадаги кучланиш ўзгармас ташкил этувчига эга

$U_{он} = 0,9\,U_2$, бу ерда U_2 — трансформатор иккиламчи чулғамининг қисмларидан бирининг таъсир этувчи кучланиши.

Илгари таъкидланганидек, тиристорнинг очилиш лаҳзаси бошқарувчи электрод занжиридаги бошқарувчи ток $I_б$ нинг қийматига ҳамда бошқарувчи импульс бериш лаҳзасига, яъни фаза бурчаги α га боғлиқ (11.9- расм, *в*). α бурчакни ўзгартириш орқали схеманинг нагрузка элементидаги тўғриланган кучланиш $U_н$ нинг қийматини ўзгартириш мумкин. Тўғриланган кучланишнинг ўзгармас ташкил этувчиси, ушбу ҳолда, $\alpha = 0$ бўлгандагидан кичикдир.

Нагрузкадаги кучланишнинг пульсацияланишини камайтириш мақсадида турли (масалан, индуктив) фильтрлар қўлланилади ёки кўп фазали тўғрилаш схемаларидан фойдаланилади (11.16- расмга қаранг).

Маълумки, электр двигателларнинг иш режимлари уларнинг чиқишидаги кучланишнинг қийматига боғлиқ. Масалан, тиристорли тўғрилагич ёрдамида ўзгарувчан ток тармоғига ўзгармас ток двигателини улаш ва унинг қисмларидаги кучланишни ростлаш мумкин. Кучланишни ўзгартириш йўли билан двигателнинг айланиш частотасини ростлаш ёки айланиш моментини ўзгартириш мумкин.

Текшириш учун саволлар

1. Нима учун нагрузка остидаги электр занжирларини узишда узгичнинг контактлари орасида учқун пайдо бўлади?
2. Узиладиган электр занжирининг нагрузкасидаги индуктивлик ва токнинг қиймати учқун ҳосил бўлиш жадаллигига қандай таъсир кўрсатади?
3. Нима учун резисторларни ясашда солиштирма қаршилиги юқори бўлган материаллар ишлатилади?
4. Йўл узгичларининг ўтувчан (ҳаракатланадиган) ва йўл чеккаларидаги (қўзғалмас) хиллари бор. Уларнинг ўхшашлик ва фарқи нимадан иборат?
5. Тиристорларнинг қайси хоссаси улардан контактсиз узиб-улагичларнинг схемаларида (релеларда) фойдаланиш имконини беради?

11.4. ЭЛЕКТР ЮРИТМАЛАРНИ РЕЛЕ-КОНТАКТЛИ БОШҚАРИШ

Тузилиши ва нима мақсадда яратилганлигига кўра турлича бўлган электр юритмаларни бошқариш вазифаларини бажариш учун элементларнинг таркиби ҳам-

да мураккаблик даражаси бўйича бир-биридан фарқ қилувчи тегишли бошқариш системалари талаб қилинади.

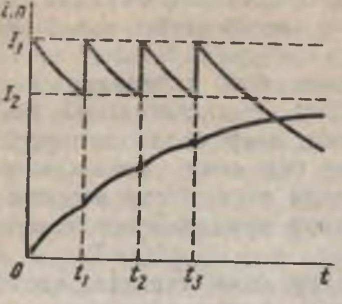
Ишга тушириш, юритмани бир тезликдан бошқа тезликка ўтказиш, реверслаш, секинлатиш ва бошқа нисбатан оддий вазифаларни, агар баъзи аппаратларнинг ишга тушишлари сони бир соат давомида унча катта бўлмаса, реле-контактли аппаратлар асосида қурилган бошқариш системалари муваффақият билан бажаради.

Реле-контактли системалар очиқ турдаги системаларга киради. Бундай системаларнинг ўзига хос хусусияти ростловчи таъсирнинг ростланадиган катталикка мутлақо боғлиқ эмаслигидир. Бошқача қилиб айтганда, очиқ системада бошқарувчи ахборот манбадан қабул қилгичга томон бир йўналишда кетади, тескари алоқа эса мавжуд эмас.

Бошқариш схемалари ҳақида умумий маълумотлар. Илгари (2.3-§ га қаранг) таъкидланганидек, электр қурилмалар қисмларининг ўзаро мувофиқ тарзда ишлаш принципини ўрганишда, асосан, электр қурилманинг барча элементлари ва улар орасидаги алоқалар киритилган принципиал схемаларидан фойдаланилади.

«Схеманинг элементлари» тушунчасига аппаратлар, машиналар, асбоблар яхлитлигича ёки уларнинг схемада муайян вазифаларни бажарувчи қисмлари (ғалтаклар, контактлар, сақлагичлар ва б.) киради. Айрим элементлар шартли график белгилашлар билан тасвирланади, бунда уларни элементларнинг қурилмадаги ҳақиқий жойлашишига эътибор бермаган ҳолда схемаларни чизиш ва ўқиш қулай бўлишигагина асосланиб жойлаштирилади. Масалан, контакторнинг электр двигателни тармоққа улайдиган куч контактлари куч занжири таркибига киради, мазкур контракторнинг ғалтаги эса бошқариш занжирида жойлашган (11.12-расмга қаранг).

Электр аппаратларда туташтирувчи (т) ва ажратувчи (а) контактлар бўлади. Агар аппарат узилган ҳолатда бўлса (электромагнит аппаратнинг ғалтагида ток йўқ, пружина билан қайтариладиган кнопка босилмаган), у ҳолда унинг туташтирувчи контактлари ажралган, ажратувчи контактлари эса туташган ҳолатда бўлади. Контактларнинг бундай ҳолати нормал ёки бошланғич ҳолат деб аталади; бундай ҳолатда улар



11.10- расм

принципиал схемаларда тасвирланади. Шартли график белгилашлардан ташқари, схемаларда ҳарфий ва рақамли белгилар ҳам қўлланилади. Ҳар бир аппарат ўзининг ҳарфий белгисига эга бўлиб, у схеманинг мазкур аппаратга конструктив жиҳатдан тегишли бўлган барча элементларига тааллуқлидир. Агар бундай аппаратлар бир нечта бўлса, ҳарфий белгидан кейин аппаратнинг тартиб номери қўйилади. Масалан РП2 белги КХЯС (конструкторлнк ҳужжатларининг ягона системаси) бўйича қуйидагича тушунилади: 2- номерли оралиқ реле.

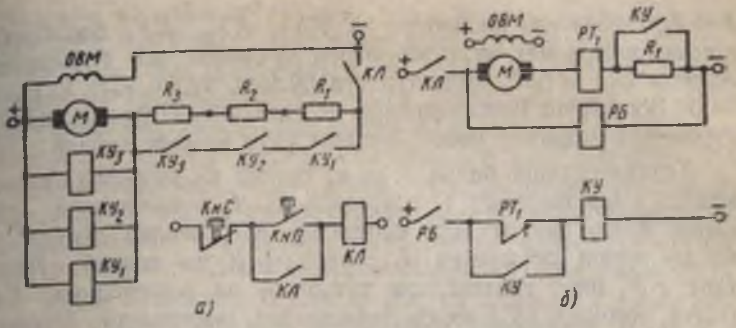
Схемаларнинг ўқилишини енгиллаштириш мақсадида уларда двигатель ва генераторларнинг куч занжирлари (ушбу занжирлар баъзида асосий занжирлар деб аталади) ва бошқариш занжирлари ажратиб кўрсатилади. Куч занжирлари йўғон чизиқларда, бошқариш занжирлари эса ингичка чизиқларда тасвирланади.

Ўзгармас ток электр двигателларини ишга туширишни бошқариш схемаларининг типавий узеллари. Электр двигателни ишга тушириш жараённда тезлик, ток, айлантирувчи момент ва режимнинг бошқа характеристикалари ўзгаради.

Параллел уйғотишли ўзгармас ток двигателининг ишга тушиш хоссалари ҳамда ишга тушириш жараёнини ишга тушириш реостати ёрдамида қўл билан бошқариш 9.4- § да қисқача кўриб чиқилган эди.

Ишга туширишни автоматлаштириш ишга тушириш жараёнини бошқаришни енгиллаштирибгина қолмай, балки оператор йўл қўйиши мумкин бўлган хатоларни бартараф қилиш имконини беради, механизмларнинг иш унумини оширади.

11.10- расмда ишга тушириш резисторининг қаршилиги уч поғонадап иборат ишга тушириш диаграммаси кўрсатилган. Поғоналар ток I_1 ва I_2 катталикларнинг жоиз қийматлари доирасида ўзгаришига мўлжалланган бўлиб, бунда тезлик ортиши туфайли ток I_1 дан I_2 гача равон камаяди, I_2 дан I_1



11.11- расм

ғача эса ишга тушириш реостатининг поғонаси узиб қўйилиши натижасида сакраб камаяди. Токнинг ўзгариш чегаралари икки шарт (нагрузка турткиларининг жоиз қиймати ҳамда ишга тушириш жараёнининг умумий вақтини иложи борича кўпроқ қисқартириш) га кўра танланади.

Ишга тушириш резисторининг поғоналарини, диаграммада кўрсатилганидек, роторнинг муайян айланиш частотаси (n_1, n_2, n_3), муайян ток (I_2) ва вақтнинг муайян лаҳзалари (t_1, t_2, t_3) да узиб қуйиш лозим. Бинобарин, ишга туширишни тезлик ёки унга пропорционал бўлган якорь чулғамининг э. ю. к. функциясида, ток функциясида, вақт функциясида бошқариш мумкин. Ишга тушириш жараёнини бошқариш учун мазкур катталиклардан бирини назорат қилиш ва назорат натижаларидан келиб чиққан ҳолда бошқариш схемасидаги тегишли аппаратга таъсир кўрсатиш лозим.

Мисол тариқасида баъзи бошқариш схемаларининг узелларини кўриб чиқамиз.

Э. ю. к. функциясида бошқариш (11.11- расм, *а* даги схема). Бошқариш контакторларининг чулғамлари KY_1, KY_2, KY_3 двигатель якорининг чулғамига параллел қилиб уланган, шу сабабли уларнинг қисмаларидаги кучланиш якорь чулғамининг э. ю. к. ига боғлиқ бўлади ва $U_к = IR_у + E$ тенглик билан ифодаланади.

Ишга тушириш жараёни $K_нП$ кнопкани босиш билан бошланади, бунинг натижасида чизиқли контактор $КЛ$ нинг чулғамида ток ҳосил бўлиб, у ишга тушади ва $КЛ$ нинг куч контактлари билан двигатель $М$ ни якорь занжиридаги қаршилик энг катта бўлганида тармоққа улайди (ишга тушириш резисторининг учала поғоналари бўлмиш R_1, R_2, R_3 лар якорь занжирига кетма-кет уланган). Шунинг учун ток

$I = I_1$, двигатель қисмалари ва $КУ_1$, $КУ_2$, $КУ_3$ бошқариш контакторларининг чулғамларидаги кучланиш эса бошланғич лаҳзада $U_{к0} = I_1 R_я$ қийматга эга бўлади, чунки э. ю. к. $E_0 = 0$. Бошқариш контакторлари шундай созланганки, мазкур кучланиш уларнинг ишлаб кетиши учун камлик қилади.

Тезлик ортиши билан э. ю. к. ортади ва якордаги ток камаяди. Улар вақтнинг t_1 лаҳзасида E_1, I_2 қийматларга эришади. Худди шу лаҳзада контактор $КУ_1$ ишлаб кетади (у ишлаб кетиш кучланиши $U_{к1} = I_2 R_б + E_1$ га созлаб қўйилган). $КУ_1$ нинг контактлари туташади ва резисторнинг биринчи поғонаси (R_1) якорь занжиридан чиқарилади. Бунинг натижасида ток I_1 қийматгача яна ортади, тезлик ва э. ю.к. эса ортишда давом этади ва вақтнинг t_2 лаҳзасида E_2, I_2 қийматларга эришади; якорь қисмаларидаги кучланиш $U_{к2} = I_2 R_я + E_2$ бўлганида контактор $КУ_3$ ишлаб кетади, якорь занжирида резисторнинг иккинчи поғонаси узилади. Сўнгра схема шу йўсинда ишлашда давом этади ва $КУ_3$ ишлаб кетганидан кейин ишга тушириш резисторининг учинчи (охирги) поғонаси узилади, двигатель эса табиий характеристика бўйича ишлайди.

Т о к ф у н к ц и я с и д а б о ш қ а р и ш. Ушбу ҳолда двигатель якорининг занжирига ишга тушириш резистори ва, бундан ташқари, унинг поғоналари сони неча бўлса, шунча ток релеси уланган.

11.11-расм, *б* даги схеманинг узели двигателни ишга туширишни бошқариш принципи тўғрисида тўлиқ тушунча беради. Ушбу расмда ишга тушириш резисторининг битта поғонаси R_1 ҳамда битта ток релеси $РТ_1$ кўрсатилган. Куч занжирида чизиқли контактор контакти *КЛ* нинг туташиши натижасида тармоқнинг иш кучланиши якорь занжирига ва блокировкаловчи реле *РБ* нинг чулғамига берилади.

Якорь занжиридаги ток I_1 қиймат билан чегараланган (11.10-расмга қаранг), чунки мазкур занжирга ишга тушириш резистори R_1 киритилган (контакт КУ ажратилган). Ток I_1 нинг қиймати ток релеси $РТ_1$ нинг ишлаб кетиши учун етарлидир. Ушбу реле бошқариш занжиридаги нормал туташган контактни худди шу занжирдаги реле *РБ* нинг туташишидан олдинроқ ажратади, чунки $РТ_1$ реленинг ишлаб кетиш вақти *РБ* реленикига қараганда кичикроқ қилиб олинади. Мазкур релеларнинг шу йўсинда ишлаши, якордаги ток $РТ_1$ реленинг қўйиб юбориш токига тенг бўлган I_2 қий-

матгача камайиши тўхтамагунга қадар, тезлатиш контактори ҚУ нинг уланишига имкон бермайди.

Якорь токи I_2 қийматга етганида бошқариш занжиридаги PT_1 реленинг контакти туташади ва контактор ҚУ нинг чулғамида ток ҳосил бўлади. Ушбу контактор ишга тушади ва якорь занжиридаги куч контакти ҚУ ни туташтирган ҳолда ишга тушириш резисторининг поғонасини қисқа туташтиради. Якорь токи сакраб ўзгаради, аммо контактор чулғамининг занжири мазкур контакторнинг блок-контакти билан туташлигича қолади (бу контактор контактор PT_1 га параллел уланган).

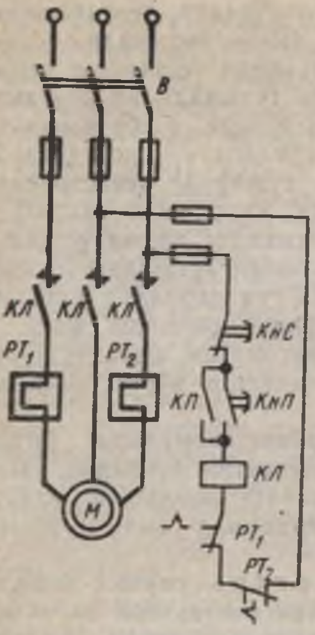
Вақт функциясида бошқариш принципи фаза роторли асинхрон двигателни автоматик ишга тушириш схемасининг ишини таҳлил қилишда кўриб чиқилади (11.14- расмга қаранг).

Магнит ишга туширгичларнинг схемалари. Ротори қисқа туташтирилган кичик қувватли асинхрон двигателларни ишга тушириш, тўхтатиш, реверслаш, одатда, магнит ишга туширгичлар ёрдамида амалга оширилади.

Магнит ишга туширгич — умумий кожухга жойлаштирилган ўзгарувчан ток контактори ва иккита иссиқлик релесидан ташкил топган аппарат. Реверсив магнит ишга туширгичнинг иккита контактори бўлиб, уларнинг бири двигателни «олдинга», иккинчиси эса «орқага» айлантириш учун улайди.

11.12- расмдаги схемада куч занжири ва бошқариш занжири ягона кучланиш манбаи — ўзгарувчан ток электр тармоғига уланган. Ушбу схема, анча оддий бўлишига қарамай, бошқаришнинг бир қанча муҳим вазифаларини бажаради. Чунончи, у двигателни масофадан ишга туширади ва тўхтатади, двигателни ўта юкланиш ва қисқа туташувлардан ҳимоя қилиш, тармоқдаги кучланиш анча камайганида ёки йўқ бўлиб қолганида двигателни автоматик узиб қўйиш имконини беради.

Двигателни улаш учун ишга тушириш кнопкаси ҚиП босилади, бунинг натижасида ҚЛ контакторнинг чулғамида ток ҳосил бўлади. Контактор ишга тушади ва куч занжиридаги ўзининг контактларини туташтирган ҳолда двигателни тармоққа улайди. Контактор ишлаб кетгандан кейин кнопка ҚиП ни қўйиб юбориш мумкин. Двигателни тўхтатиш учун кнопка ҚнС ни босиб, у тармоқдан узиб қўйилади. Контактор чулға-



11.12- расм

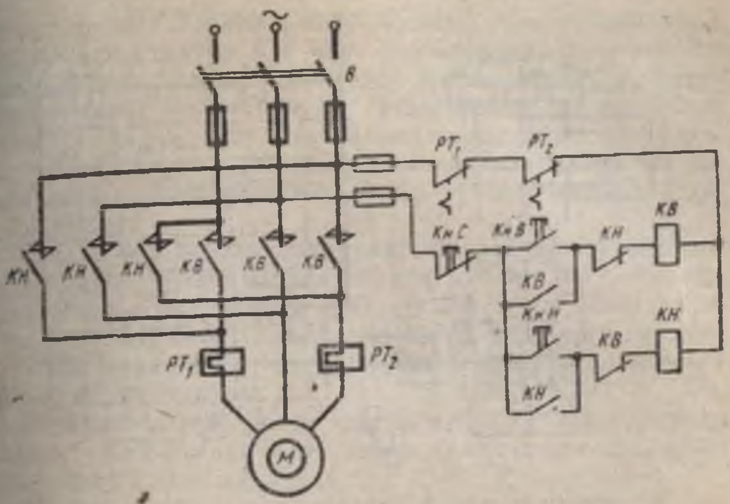
мида ток узилганда, контактор ва унинг контактлари бошланғич ҳолатга қайтади.

Двигатель тармоқдан кнопка КнС билангина эмас, балки двигателни ўта юкланишлардан ҳимоя қилувчи иссиқлик релелари $РТ_1$, $РТ_2$ дан бирортаси ишлаб кетганида ҳам узиб қўйилади. Иссиқлик релеларининг қизиш элементлари куч занжирида жойлашган бўлиб, двигатель узоқ вақт ўта юкланган ҳолларда реле ишга тушади ва бошқариш занжиридаги ўзининг контактини ажратади.

Қисқа туташув бўлганида электр двигателни тармоқдан тез узиб қўйиш мақсадида куч занжири ва бошқариш занжирига суюқланувчан сақлагичлар ўрнатилган. Контактор чулғамидаги ток қўйиб юбориш токининг қийматигача камайиши биланоқ тармоқдаги кучланиш анча камайганида ёки йўқ бўлиб қолганида ҳам двигатель тармоқдан узиб қўйилади.

11.13- расмда реверсив магнит ишга туширгич ёрдамида бошқариш схемаси кўрсатилган бўлиб, унда контакторлар КВ (олдинга) ва ҚН (орқага) ҳарфлари билан белгиланган.

Фаза роторли асинхрон двигателни бошқариш схемалари. Фаза роторли асинхрон двигателни ишга тушириш жараёнини кулачокли контроллер ёрдамида қўл билан бошқариш схемаларидан бири 11.7- расм, *б* да кўрсатилган. Ушбу ҳолда кулачокли контроллернинг тўққизта (*I—IX*) узгичи бор. Вал *1* ни даста билан буриб, уни бешта «олдинга» ва «орқага» холатларга ўрнатиш мумкин. Узгич контактларининг туташ ҳолатига схемадаги нуқта мос келади. *О* ҳолатда барча контактлар ажратилган, статорнинг C_2 қисмасига тармоқдан



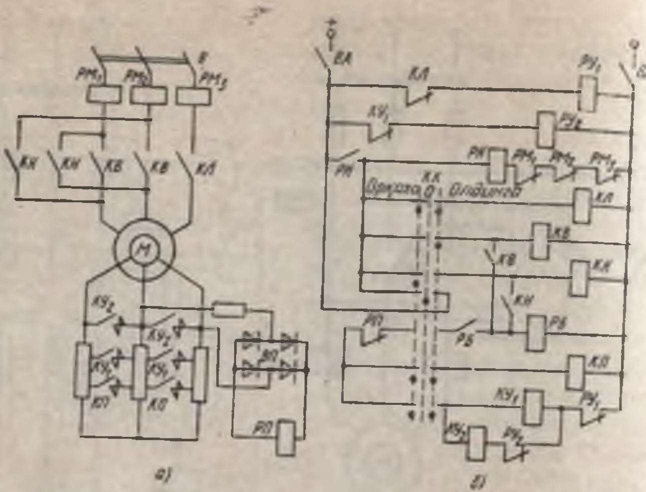
11.13-расм

битта сим тортилганлигига қарамай, двигатель узиб қўйилган; ишга тушириш резисторлари R_1, R_2, R_3 тўлиқ киритилган ва юлдуз тарзида уланган.

«Олдинга» улаш. Позиция *I* да —*II* ва *IV* узгичлар туташган, статор тармоқ билан уланган, ротор тўлиқ ишга тушириш қаршилигида айланади. Позиция *2* да *II*, *IV* узгичлар туташганлигича қолади ва қўшимча равишда *V* узгич туташади ҳамда резистор R_1 нинг бир қисми қисқа туташади; сўнгра айланиш частотасининг ортиб бориши (двигателнинг тезлашиши) билан даста позициялар *3, 4, 5* га кетма-кет бурилади ва ҳар бир буриш натижасида ротор занжиридаги резисторлардан бирининг муайян қисми чиқарилади. Позиция *5* да ишга тушириш резисторлари бутунлай узилади ва двигатель қисқа туташган ротор билан ишлайди.

11.14-расмда тасвирланган автоматик бошқариш схемасида ротор занжиридаги қаршилик керакли гартибда *КП*, $КУ_1$, $КУ_2$ контактлари воситасида ўзгартирилади.

Мазкур схема ишга туширишдан ташқари, айланиш йўналишини ўзгартириш, двигатель узиб қўйилгандан кейин роторни дарҳол тормозлаш, двигателни ўта юкланиш ва қисқа туташувлардан ҳимоя қилиш имконини беради.



11.14-расм

Схеманинг ўзига хос хусусиятларидан бири шундаки, бошқариш аппаратлари ўзгармас ток манбаидан таъминланади. Двигателни ишга тушириш олдидан буйруқ контроллери *КК* ни ноль ҳолатга қўйиш, сўнгра бошқариш занжирига (11.14-расм, *б*) ва куч занжирига (11.14-расм, *а*) кучланиш бериш (*ВА* ҳамда *В* узгичларни туташтириш) лозим.

Двигателни ишга тушириш учун мўлжалланган буйруқ «олдинга» ёки «орқага» деб номланган ишга тушириш ҳолатларидан бирида буйруқ контролернинг дастасини буриш йўли билан берилади. Шундан сўнг схема автоматик тарзда ишлайди.

Бошқариш занжиридаги ВА контактларининг туташиши натижасида тезлатиш релелари $РУ_1$ ва $РУ_2$ ҳамда буйруқ контролери орқали кучланиш релеси *РН* таъминланади. Тезлатиш релелари тезлатиш контакторлари $КУ_1$ ва $КУ_2$ чулғамларининг занжиридаги контактларини ажратади.

«Олдинга» ҳолатида контакторлар *КЛ, КВ* ҳамда реле *РБ* уланади. Контактор *КП* нинг занжиридаги *КВ* ва *ВБ* контактлар туташади. Ротор занжирида кириш қисмасига ротор занжирининг чизиқли кучланиши бериладиган тўғрилагич *ВП* орқали таъминланувчи реле *РП* бор. Роторнинг қўзғалмас ҳолатида мазкур куч-

ланиш реле *РП* нинг ишлаб кетиши учун етарли эмас, шу боис контактор *КП* нинг занжиридаги контакт *РП* туташлигича қолади. Контактор *КП* ишга тушиб, ротор занжиридаги контактларни туташтиради ва бу билан резисторларнинг бир поғонасини шунтлайди. Бу поғона ишга тушириш жараёнида иштирок этмайди ва ундан кейинги иккита поғона ишга туширувчи бўлиб ҳисобланади.

ҚЛ ва *КВ* контакторларнинг ишга тушиши натижасида статор чулғамларига тармоқ кучланиши берилади (двигатель занжиридаги *ҚЛ* ва *КВ* контактлар туташади) ва худди шу вақтда реле $РУ_1$ занжиридаги контакт *ҚЛ* туташади. Реле $РУ_1$ қўйиб юборишда маълум ушлаб туриш вақтига эга.

Шундай қилиб, ротор контактор $КУ_1$ занжиридаги контакт $КУ_1$ туташгунга қадар тўлиқ ишга тушириш қаршилиги билан айланади.

Ушлаб туриш вақти тугаши билан контакт $РУ_1$ туташади, контактор $КУ_1$ ишга тушади ва ротор занжиридаги $КУ_1$ контактларни туташтириб, резисторнинг битта ишга тушириш поғонасини узади.

Шу вақтда реле $РУ_2$ (ушбу реле ҳам бўшатишда ушлаб туриш вақтига эга) занжиридаги $КУ_1$ контакт ажралади. Ушлаб туриш вақти тугаши билан контактор $КУ_2$ занжиридаги $РУ_2$ контакт туташади, бунда мазкур контактор ишга тушади ва резисторнинг иккинчи ишга тушириш поғонасини узади. Шу лаҳзадан бошлаб двигатель табиий механик характеристика бўйича ишлайди.

Агар роторнинг айланиш йўналишини ўзгартириш талаб қилинса, буйруқ контроллерини «орқага» ҳолатига ўтказиш керак. Бунда бутун бошқариш системаси бошланғич ҳолатга қайтадиган ноль ҳолатни четлаб ўтиш мумкин эмас. «Орқага» ҳолатида *ҚЛ* ва *КН* контакторлари уланади ҳамда двигателнинг чиқиш қисмаларидаги фазалар кетма-кетлиги ўзгаради. Бироқ, двигателнинг ротори инерция бўйича олдинга айланишини давом эттиради, бинобарин, уланишга қарши режим юзага келади ва бунинг натижасида тез тормозлаш содир бўлади.

Тормозлаш бошланишида ротор занжиридаги кучланиш етарлича катта, реле *РП* ишга тушади ва контактор *КП* муддатидан олдин ишлаб кетмаслиги учун мазкур контактор занжиридаги ўзининг контактларини

ажратади. Шу боис роторнинг тормозланиш жараёнида унинг занжирига резисторнинг ишга тушириш поғонаригина эмас, балки уланишга қарши поғона ҳам уланади.

Тормозлаш жараёни тугаб, ротор бутунлай тўхтаганидагина *РП* реле ўзининг контактини туташтиради, шундан сўнг бошқариш схемаси двигателни «орқага» айлантиришни амалга оширади.

Блокировка релеси *РБ* ишлаб кетиш жараёнида реле *РП* контактор *КП* занжиридаги ўзининг контактини ажратишга улгуриши учун бирор ушлаб туриш вақтига эга.

Двигателни қисқа туташув ва ўта юкланишлардан ҳимоялаш учун схемада максимал ҳимоя (PM_1, PM_2, PM_3) ва кучланишнинг йўл қўйиб бўлмас даражада камайишидан ҳимоя кўзда тутилган.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Бошқариш схемаларини тасвирлаш ёки ўқишда қуйидагича номланган реле контактларидан фойдаланилади: туташадиган; нормал туташган; нормал ажратилган; ажраладиган. Ушбу номларнинг ҳар бири қайси контактга мос келади?

2. 11.12- расмдаги схемада ишга тушириш кнопкаси *КнП* контактор *КЛ* нинг туташувчи контактлари билан шунтланган. Берилган ҳол учун мазкур блокировка қандай вазифани бажаради?

3. Магнит ишга туширгичларнинг схемаларида двигателни ўта юкланишлардан ҳимоялашнинг иккита тури (иссиқлик релеси ҳамда суюқланувчан сақлагичлар билан) кўзда тутилган. Нима учун электр двигателни ҳимоялашнинг ушбу икки тури зарур?

4. Бошқариш схемаларида электр юритмани тармоқдаги кучланиш жуда камайиб кетганида ҳимоялаш (минимал ҳимоя) қўлланилади. Бундай ҳимоя нима учун зарур ва у магнит ишга туширгичларнинг схемаларида қандай амалга оширилади (11.12- ва 11.13-расмларга қаранг)?

5. Нима учун двигателни уланишга қарши режимда тормозлашда (11.14- расмдаги схема) ротор занжирига ишга туширишнинг дастлабки давридагига қараганда каттароқ қаршилик уланади?

11.5- масала. Қисқа туташган асинхрон двигателни реверсив магнит ишга туширгич (11.13- расмга қаранг) ёрдамида бошқариш схемасининг ишлашини тўлиқ тавсифлаб беринг.

11.6- масала. Бошқариш схемасининг (11.14- расмга қаранг) «олдинга» айланаётган двигателни «орқага» айлантириш учун узиб-улагандан кейинги ишлашини тавсифлаб беринг.

11.5. ЭЛЕКТР ЮРИТМАЛАРИНИ КОНТАКТСИЗ АППАРАТЛАРДАН ФОЙДАЛАНИБ БОШҚАРИШ

Дискрет (узлукли) тарзда ишлашига кўра контактсиз ва реле-контактли аппаратлар бир-бирига ўхшаш: чиқиш катталиги киришдаги сигнал бўйича сакраб ўз-

гаради. Шу нуқтаи назардан, электр юритмаларни бошқариш схемаларида у ёки бу турдаги аппаратлардан фойдаланиш бошқариш вазифаларининг бажарилишини таъминлайди.

Бироқ контаксиз аппаратларда, контактли аппаратлардан фарқли равишда, қўзғалувчан қисмлар ҳам, механик контактлар ҳам йўқ, шу туфайли улар муҳим афзалликлар (ишончлилигининг юқори, узоқ хизмат қилиши, тезкорлик, хизмат кўрсатишнинг осонлиги)га эга.

Контактсиз аппаратлар бошқариш схемаларида асосан мантиқий функцияларни бажариб, бошқариш режимларини технологик жараён талаблари ҳамда ишлаб чиқариш механизмлари ва машиналарининг иш режимлари билан анча аниқ боғлаш имконини беради.

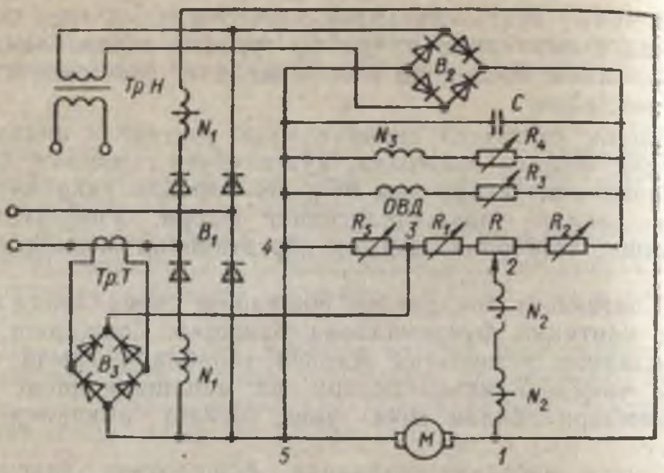
Бунга, аксарият ҳолларда, бошқарувчи таъсирни ростланадиган катталикнинг ўзгаришига боғлиқ ҳолда ўзгартиришни таъминловчи тескари алоқаларни қўллаш орқали эришилади.

Тескари алоқа мусбат ёки манфий бўлиши мумкин. Ростланадиган катталик ўзгарганида мусбат алоқа унга айнан ўша йўналишда (мос йўналишда) таъсир кўрсатади, манфий алоқа ростланадиган катталикнинг ўзгаришига тескари (қарама-қарши йўналишда) таъсир қилади. Тескари алоқалардан фойдаланилган бошқариш системалари ёпиқ системалар деб аталиши 10-бобда айтиб ўтилган эди.

Электр юритма схемасининг куч занжирларида узиб-улашларни амалга оширадиган тузилмалар сифатида (занжирни улаш ёки узиш талаб қилинганида), одатда, контактли аппаратлар қўлланилади.

Магнит кучайтиргичлари бўлган ўзгармас ток электр юритмасини бошқариш схемаси. Магнит кучайтиргичлар, контактсиз аппаратларнинг аввал таъкидлаб ўтилган афзалликларидан ташқари уларнинг нисбатан арзонлигини ҳисобга олган ҳолда, бошқариш схемаларида кенг қўлланилади.

11.15- расмда кичик қувватли электр юритма схемаларидан бири тасвирланган бўлиб, у двигателнинг тезлигини катта оралиқларда (1 : 10) ростлаш, берилган тезликни нагрузка токи $(0{,}25 \div 1)\ I_{ном}$ оралиқда ўзгарганида 5 дан 15 % гача аниқлик билан тутиб туриш имконини беради.



11.15- расм

Умуман, схема кучланиши 220 В бўлган ўзгарувчан ток тармоғидан таъминланади. Ўзгармас ток электр двигатели *М* мустақил уйғотиш схемаси бўйича уланган. Двигателнинг якорь чулғами иккита ярим даврли тўғрилашнинг кўприк схемаси бўйича йиғилган тўғрилагич B_1 орқали таъминланади.

Двигателнинг уйғотиш чулғами (ДУЧ) тўғрилагич B_2 нинг чиқиш қисмасига уланган. Тўғрилагич B_2 нинг кириш қисмасига трансформатор Тр.Н дан кучланиш берилади.

Магнит кучайтиргичларнинг куч (иш) чулғамлари N_1 тўғрилагич B_1 нинг елкаларига уланган, шунинг учун улардаги ток йўналишини ўзгартирмаган ҳолда пульсланади. Бундай ток бошқариш чулғамлари N_2 дан ташқари *МУ* ўзакларни ҳам магнитлайдиган ўзгармас ташкил этувчига эга. Шундай қилиб, мусбат тескари алоқа амалга оширилади — двигателнинг юкланиши ортиши билан нагрузка чулғамлари N_1 даги ток ортади, ўзакларнинг магнитланиши ортади, чулғамларнинг индуктив қаршилиги камаяди ва двигатель қисмаларидаги кучланиш ортади.

Двигателни керакли тезликка созлаш учун ўрнатувчи орган функциясини ростланадиган резистор *R* мослаб тўғриланадиган резисторлар R_1 ва R_2 билан биргаликда бажаради.

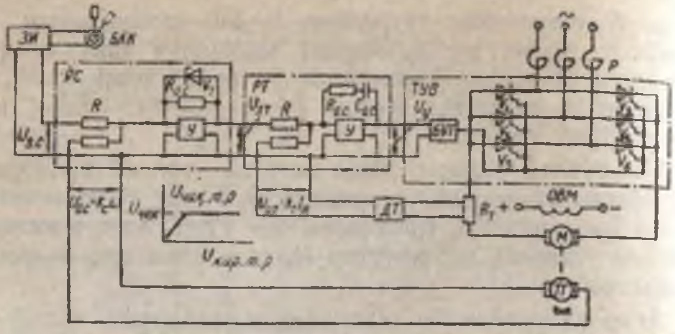
R_1 ва R_2 резисторлар тўғрилагич B_2 дан таъминланади. Задатчик ва тезлик ростлагичининг ишлашини аниқлаштириш мақсадида бошқариш чулғамлари N_2, резисторлар R, R_1, R_5 ва двигатель якоридан иборат $1-2-3-4-5-1$ контурни кўриб чиқамиз.

Ток бўйича тескари алоқа нагрузка токига пропорционал бўлган кучланишни тўғрилагич B_3 (ушбу тўғрилагичнинг кириш қисмасига ток трансформатори $Tp.T$ нинг иккиламчи чулғами уланган) дан резистор R_5 га узатиш орқали амалга оширилади.

Агар двигателнинг тезлигини камайтириш талаб қилинса, у ҳолда резистор R нинг югурдагини чапга суриш керак. Бунда киритилган кучланишнинг қиймати ҳамда бошқариш чулғамларидаги кучланиш ва ток камаяди. Магнитланишнинг камайиши нагрузка чулғамлари қаршилигининг ортишига ҳамда двигателнинг қисмаларидаги кучланишнинг камайишига ва бунинг оқибатида тезликнинг камайишига олиб келади. Резистор R нинг югурдаги чап чекка ҳолатда бўлганида энг кичик айланиш частотасига эришилади. Бунда резистор R_1 берилган қийматидан MY характеристикаларининг тарқоқлиги туфайли фарқ қилиши мумкин бўлган тезликни аниқ белгилаш учун хизмат қилади. Резистор R_2 ҳам худди шу вазифани, энг катта тезликни ўрнатиш учун бажаради.

Таскари алоқаларнинг мавжудлиги туфайли схема берилган тезликни нагрузка ўзгарганида тутиб туради, яъни қаттиқ механик характеристика олинишини таъминлайди. Двигателга қўйилган юкланиш камайди деб, фараз қилайлик, у ҳолда дастлабки лаҳзада N_1 чулғамлардаги нагрузка токининг камайиши туфайли двигателдаги кучланиш ортади, ток бўйича тескари алоқа сигналининг кучланиши $U_{о.т}$ эса камаяди. Иккала омил ҳам бир йўналишда таъсир кўрсатади—бошқариш чулғамларидаги кучланишни камайтиради, бу ўз навбатида двигателдаги кучланишнинг камайишига олиб келади. Бу билан двигателнинг тезлиги аввалги даражада ушлаб турилади.

Электр юритмани тиристорларни қўллаган ҳолда бошқариш схемаси. Электр двигателларнинг иш режимлари уларнинг чиқиш қисмаларидаги кучланишнинг қийматига боғлиқдир. Кучланишни ўзгартириш орқали двигателнинг айланиш частотасини ростлаш ёки айланиш моментини ўзгартириш мумкин.



11.16- расм.

Электр юритмани тиристорларни қўллаган ҳолда бошқариш системаларидан бирининг принципал схемаси 11.16- расмда кўрсатилган. Схемада штрихпунктир чизиқлар билан учта узел ажратиб кўрсатилган: *ТБТ* — тиристорларни бошқариш блоки (*ТББ*) бўлган тиристорли бошқариладиган тўғрилагич; *ТР* — ток ростлагичи; *ТР* — тезлик ростлагичи.

Тўғрилагич олтита тиристор V_1—V_6 дан уч фазали кўприк схема бўйича йиғилган. Бошқариладиган электр двигатель *М* нинг якорь чулғами тўғрилагич учун нагрузка бўлиб ҳисобланади. Электр двигателнинг керакли тезлигини оператор контактсиз буйруқ контроллери *КБК* воситасида киритади. *КБК* дан тезлик ростлагичи *ТР* нинг чиқишига интенсивлик (жадаллик) задатчиги *ИЗ* орқали киритиш сигнали $U_{к.с}$ берилади.

Жадаллик задатчигининг вазифаси киритиш сигналини шакллантириш ва уни тезлик ростлагичининг киришига узатишдан иборат.

ТР нинг киришига тахогенератор *ТГ* дан ҳам сигнал берилади. Тахогенератор ёрдамида тезлик бўйича манфий тескари алоқа амалга оширилади; тахогенератор электр двигателнинг валига маҳкамланган бўлиб, унинг сигнали бурчак тезлиги $U_{о.с} = k_с \omega$ га мутаносибдир, бу ерда $k_с$ — мутаносиблик коэффициенти.

Тезлик ростлагичининг чиқиш сигнали ток ростлагичи (*ТР*) учун киритиш сигнали бўлиб ҳисобланади, *ТР* нинг чиқишида эса тиристорни фазали бошқариш блоки (*ТББ*) га узатиладиган сигнал $U_у$ шаклланади. Киритиш сигналининг

жадаллигига ($U_{з.с}$ катталикка) боғлиқ равишда тиристорли бошқариш тўғрилагичи ($ТБТ$) нинг чиқишидаги, яъни электр двигателнинг қисмаларидаги ўзгармас кучланишнинг қиймати ўрнатилади. Мазкур кучланишнинг қийматига мувофиқ двигатель роторининг айланиш частотаси белгиланади [(9.7) формулага қаранг].

Якорь чулғами билан кетма-кет қилиб резистор $R_т$ уланган бўлиб, ундан нагрузка токига пропорционал бўлган кучланиш олинади ва ток датчиги ($ТД$) га узатилади. Ушбу датчикда ток бўйича манфий тескари алоқа сигнали $U_{о.т.} = k_т I_я$ шаклланади ($k_т$ — мутаносиблик коэффициенти) ва ток ростлагичи $ТР$ нинг кириш қисмасига киритилади.

Мазкур ҳолда иккала тескари алоқа ҳам манфий бўлиб, двигателнинг тезлигини берилган даражада ушлаб туриш учун хизмат қилади.

Электр двигателнинг валидаги юкланиш ўзгармас бўлганда унинг тезлиги ўзгарувчан ток тармоғидаги кучланишнинг ўзгариши туфайли ортди деб, фараз қилайлик. Бунда тахогенератор $ТГ$ нинг айланиш частотаси ва $U_{о.с}$ кучланишнинг қиймати ҳам ортади. $U_{о.с}$ сигнал киритиш сигнали $U_{к.с.}$ дан айириб ташланади, шу боис $ТР$ нинг чиқиш сигнали кичиклашади. Бу эса электр двигатель қисмаларидаги тўғриланган кучланишнинг камайишига ва тезликнинг берилган қийматгача камайишига олиб келади.

Агар двигатель якорининг чулғамидаги ток бирор сабабга кўра ўзгарса, ток бўйича тескари алоқа худди юқоридагидек таъсир кўрсатади. Бу ҳолда ток датчиги $ТД$ дан олинган сигнал $U_{о.т.}$ ток ростлагичи $ТР$ нинг кириш қисмасига киритилиб, тезлик ростлагичининг чиқиш сигналидан айириб ташланади, бу эса электр двигатель қисмаларидаги кучланишнинг тегишлича ўзгаришига олиб келади.

Кўриб чиқилаётган бошқариш схемасида ишга тушириш жараёнида якорь токини чеклаш кўзда тутилган. Шу мақсадда ўзгарувчан кучланиш тиристорли тўғрилагичнинг кириш қисмасига токни чекловчи реакторлар $Р$ (схемани ўзгарувчан ток тармоғига улашда қўлланиладиган аппарат, 11.16-расмда кўрсатилмаган) орқали узатилади.

Бундан ташқари, тезлик ростлагичи $ТР$ нинг занжирига стабилитрон V_7 ўрнатилган. Агар тескари алоқа сигнали тезлик бўйича кичик бўлса (масалан, ишга тушириш даврининг бошланишида), мазкур стабилитрон чиқиш сигналининг қийматини чеклайди ($U_{чиқ.р.с.} \leqslant U_{чек}$).

Текшириш учун саволлар

1. Нима сабабдан электр юритмаларни бошқариш учун мўлжалланган контактли аппаратларнинг камчиликлари (контактсиз аппаратларга нисбатан) уларда қўзғалувчан қисмлар ва механик контактлар мавжудлиги билан боғлиқ?

2. 11.15- расмда кўрсатилган электр юритмани бошқариш схемасидаги задатчик ва тезлик ростлагичининг вазифалари нимадан иборат?

3. Тўғрилагич нагрузкасидаги тўғриланган ток ўзгармас бўлмай, балки пульсланувчидир. 11.9- расм, а ҳамда 11.16- расмда тасвирланган тўғрилаш схемаларидан қайси бири камроқ пульсация беради ва нима учун?

4. 11.16- расмда тасвирланган схемадаги тезлик бўйича тескари алоқа сигнали электр двигатель роторининг бурчак тезлигига пропорционалдир. Бу фикрни нималарга асосланган ҳолда таъкидлаш мумкин?

5. 11.16- расмда тасвирланган схемадаги ток бўйича тескари алоқа манфийдир. Берилган ҳол учун тескари алоқа схемасини мазкур схема мусбат бўладиган қилиб ўзгартириш мумкинми?

12- БОБ

ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ

Электр энергиясини қабул қилувчи асбобларнинг ишлаши электр энергиянинг сифатига бевосита боғлиқдир. Бунга қуйидаги кўрсаткичлар киради: частота ва кучланишнинг номинал қийматлардан четга чиқиши; кучланишнинг носинусоидаллик ва носиметриклик (уч фазали системада) коэффициентлари.

Бу кўрсаткичлар электр энергиясини ишлаб чиқариш, узатиш ва тақсимлаш учун мўлжалланган тузилмалар мажмуидан иборат электр таъминоти бутун системасининг тузилиш сифати ва ундан фойдаланиш даражаси билан аниқланади. Бироқ, сифат кўрсаткичларига (частотанинг четга чиқиши бундан мустасно) электр қабул қилувчи баъзи асбоб-ускуналар (вентилли ўзгартиргичлар, катта қувватли электротермик қурилмалар, айниқса, ёй ёрдамида пўлат эритувчи печлар, ишга туширилаётган электр двигателлар ва б.) ҳам таъсир кўрсатади.

Электр таъминоти системаларини тузиш ва ундан фойдаланишда қуйидаги катталикларни оқилона танлаш билан боғлиқ бир қанча вазифалар ҳал қилинади: кучланишларнинг қийматлари; трансформациялаш сони; подстанцияларни жойлаштириш; трансформаторларнинг қуввати ва сони; сим ва кабелларнинг кўндаланг кесими; коммутациялаш, назорат-ўлчаш ва ҳимоя аппаратлари; реактив қувватни компенсациялаш воси-

талари ва усуллари. Шунингдек, электр таъминотининг ишончлилиги, электр асбоб-ускуналарига хизмат кўрсатиш хавфсизлиги, электр энергияни тежаш масалалари кўриб чиқилади.

Ушбу бобда юқорида қайд қилинган вазифа ва масалаларнинг электр таъминоти элементларини ишлатишда юзага келадиган хилларигина қисқача кўриб чиқилган.

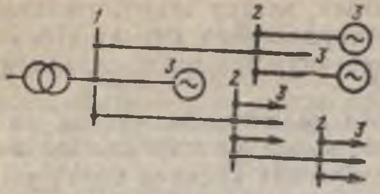
12.1. ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ СХЕМАЛАРИ

Электр таъминотининг умумий схемаси В.1-расмда тасвирланган бўлиб, китобнинг кириш қисмида кўриб чиқилган. Битта, нисбатан катта районда жойлашган йирик электр станциялар, одатда, юқори вольтли электр узатиш линиялари билан ўзаро бирлаштирилади ва подстанциялар, тақсимлаш линиялари ҳамда электр энергияси қабул қилувчилари билан биргаликда энергетик системани ташкил этади. Энергетик системанинг электр қисми электр системаси деб аталади.

Электр станцияларни энергосистемага бирлаштириш орқали муҳим техник-иқтисодий афзалликларга эришилади: истеъмолчиларни электр билан таъминлаш ишончлилиги анча ортади; нагрузка анча оқилона тақсимланади, электр станцияларидаги зарурий қувват резервлари камаяди; генератор ва электр станцияларининг ягона қувватини ошириш мумкин, бу эса электр энергиясининг таннархини камайтириш ҳамда гидроэлектр станциялардан тўлароқ фойдаланиш ва иссиқлик электр станцияларининг тежамлироқ ишлаши ҳисобига ёнилғи сарфини қисқартириш имконини беради.

Корхоналарни электр билан таъминлаш схемалари. Электр узатишнинг ҳаво ва кабель линиялари ҳамда муайян территорияда жойлаштирилган подстанциялар мажмуи электр тармоғи деб аталади.

Электр тармоқлари истеъмолчиларни электр станциялар билан боғлайди. Уларни бир қатор белгиларига кўра таснифлаш мумкин: конструктив тузилишига кўра — ҳаво ва кабель линиялари, ички ўтказгичлар; токнинг турига кўра — ўзгарувчан ва ўзгармас ток тармоқлари; истеъмолчиларнинг характерига кўра — шаҳар тармоқлари, саноат корхоналарининг тармоқлари, қишлоқ тармоқлари, электр системаларининг тармоқлари, ёки район тармоқлари.


12.1- расм

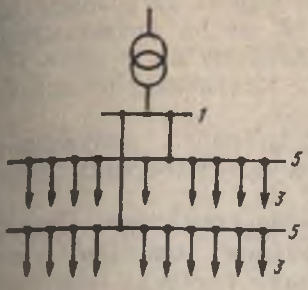
Электр қабул қилувчилар бевосита уланган электр тармоқлари тақсимлаш тармоқлари деб аталади. Бу ном уланган подстанциялари сони кўп бўлган район тармоқларига ҳам татбиқ этилади.

Саноат корхоналари ва бошқа истеъмолчиларни электр билан таъминлаш энергосистемалардан, улаш линияларидаги кучланиш линияларнинг узунлиги ва корхонадаги электр қабул қилувчиларнинг белгиланган қувватига боғлиқ равишда 110, 35, 10, 6 кВ бўлганида, амалга оширилади.

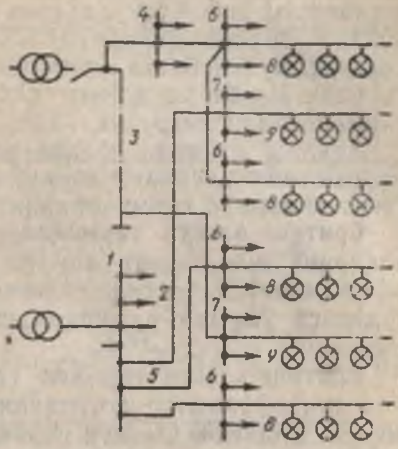
Юқори кучланишли (110—35 кВ) тақсимлаш линиясининг охирги учига иккиламчи кучланиши 6—10 кВ бўлган пасайтирувчи трансформатор ўрнатилади (12.1-расмга қаранг). Бундай подстанция ҳар бир йирик корхонага ўрнатилади ёки у нисбатан кичик қувватли бир нечта истеъмолчини таъминлаши мумкин. Подстанциядан ички тақсимлаш (одатда, кабель) линияси бошланади. Улар электр энергиясини кучланиш электр қабул қилувчиларнинг ишлаш кучланиши (220—380 В) гача пасайтириладиган ёки юқори вольтли (6—10 кВ) электр қабул қилувчиларга бевосита бериладиган цех подстанцияларига узатади.

Цех электр тармоқларининг схемалари. Ички тақсимлаш линиялари электроэнергияни цех подстанцияларига узатади (12.1- ва 12.2-расмларга қаранг). Электр қабул қилувчиларнинг бир қисми, агар бундай қабул қилувчилар (масалан, катта қувватли электр двигателлар) мавжуд бўлса, цех подстанцияларининг бирламчи кучланиш шиналаридан бевосита таъминланади. Бироқ аксарият электр қабул қилувчиларнинг номинал кучланиши 380 ёки 220 В бўлади, шу боис цех подстанциясида иккиламчи томонида куч (электр двигателлар), ёритиш (электр лампалар) ва бошқа электр нагрузкаларни улаш учун шундай кучланишларни ҳосил қиладиган пасайтирувчи трансформаторлар ўрнатилади.

Ички цех тармоқлари радиал, магистрал ва аралаш схема бўйича жойлаштирилади. Мазкур схемаларнинг у ёки бу хили цех подстанциясининг иккиламчи томони шиналаридан бошланади.



12.2- расм



12.3- расм

Радиал схема (12.1- расм) бўйича электр қабул қилувчилар *3* бевосита подстанция шиналари *1* га уланади ёки оралиқ тақсимлаш пунктларидан фойдаланилади. Радиал схемаларнинг энг муҳим афзалликлари улар ишончлилигининг юқорилиги (битта линиянинг ишдан чиқиши бошқаларининг ишлашига таъсир қилмайди) ҳамда автоматлаштиришнинг қулайлгидан иборат.

Радиал схемаларнинг бошқа схемаларга нисбатан камчиликларига электр тармоғининг нархи анча қимматлиги (катта миқдордаги ҳимоя ва коммутация аппаратлари сим ва трубаларнинг кўпроқ сарф бўлиши, тақсимлаш пунктларини жойлаштириш учун қўшимча майдонлар)ни; электр қабул қилувчиларни бир жойдан иккинчи жойга кўчириш (масалан, технологик жараённинг ўзгариши билан боғлиқ бўлган)да катта ҳажмдаги қўшимча монтаж ишлари зарурлигини киритиш мумкин.

Магистрал схема (12.2- расмга қаранг) бир нечта магистраллар *5* дан ташкил топган бўлиб, мазкур магистралларга исталган нуқтада электр қабул қилувчи *3* ни улаш мумкин. Одатда, магистрал схемалар цехда электр қабул қилувчилар бир текис тақсимланганида қўлланилади. Магистрал схемалар кабеллар, симлар ва шина ўтказгичлар тарзида тайёрланади.

Магистрал схема бўйича тузилган цех электр тармоғи радиал схемадагига қараганда арзонроқ бўлиб,

технологик асбоб-ускуналарни тармоқни ўзгартирмаган ҳолда кўчириш имконини беради, лекин ишончлилиги пастроқ, чунки битта магистралнинг ишдан чиқиши унга уланган барча электр қабул қилувчиларни электр таъминотидан маҳрум қилади.

Аралаш схемада баъзи электр қабул қилувчилар радиал линиялардан, айримлари эса магистрал шина ўтказгичлардан таъминланади.

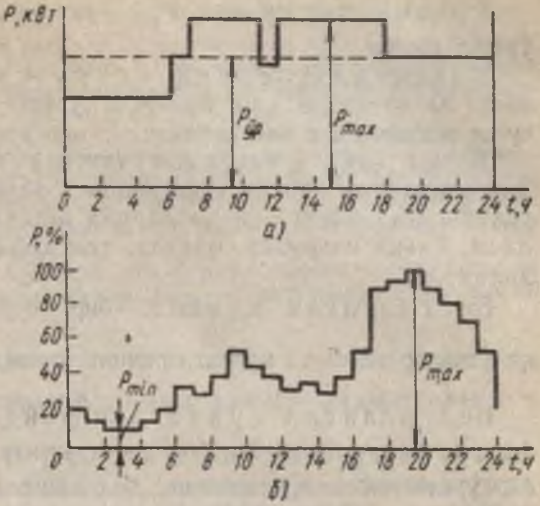
Ёритиш электр тармоқларининг схемалари. Ишлаб чиқариш хоналарида иш ва авария ҳолатлари учун мўлжалланган ёритиш системалари тузилади. Иш системасига умумий ва маҳаллий ёритиш чироқлари киради.

Ёритиш электр тармоғи (12.3- расм) бир қисми билан трансформатор подстанциясининг тақсимлаш шчити *1* га уланган. Мазкур подстанциядан ёритишнинг куч линиялари *2* ҳамда иш ҳолати *6* ва авария ҳолати *7* учун мўлжалланган ёритиш системаларининг гуруҳли шчитларига олиб борувчи таъминлаш линиялари *5* бошланади. Ёритиш электр тармоғининг қолган қисми трансформатордан тақсимлаш шчити *4* орқали таъминланади. Тармоқнинг гуруҳли шчитлардан чироқларгача бўлган қисмлари гуруҳли қисмлар деб аталади. Таъминлаш линиялари *3* уч ва тўрт симли қилиб тузилади. Гуруҳли линиялар *8* (иш ҳолатида ёритадиган) ва *9* (авария ҳолатида ёритадиган) уларнинг узунлиги ва нагрузканинг қийматига боғлиқ равишда икки, уч ёки тўрт симли бўлади.

Кўпинча, цех подстанцияларида битта трансформатор ўрнатилган бўлиб, ундан куч ва ёритиш нагрузкалари (иш ва авария ҳолатида) энергия олади.

Агар цехда бир нечта трансформатор ўрнатилган бўлса, у ҳолда иш ва авария ҳолатлари учун мўлжалланган ёритиш нагрузкалари турли трансформаторларга уланади. Ёритиш тармоқлари учун магистрал ёки магистрал-радиал схемалар ҳамда тузилишига кўра изоляторларга жойлаштирилган очиқ электр симлар, трубаларга жойлаштирилган ва трубасиз яширин симлар ишлатилади.

Электр нагрузкаларнинг графиклари. Корхона, унинг цехлари ва ишлаб чиқариш бўлинмаларининг электр нагрузкаси узлуксиз ўзгариб туради. Бу, энг аввало, айрим электр қабул қилувчиларнинг режимлари жуда хилма-хил бўлиши билан боғлиқдир. Уларнинг баъзи-



12.4- расм

лари узоқ вақт, айримлари қисқа вақт ишлайди, яна бошқа қисми эса такроланадиган қисқа вақтли режимда ишлайди. Истеъмол қилинадиган қувватнинг ўзгариши корхонанинг сутка давомида сменаларга бўлиниб ишлашига, иш ҳафтасининг режимига ва йил мавсумларининг алмашишига ҳам боғлиқдир.

График тарзда ифодаланган қувватнинг вақтга боғлиқлиги $P=f(t)$ электр нагрузка графиги деб аталади (12.4- расм).

Нагрузка графикларининг якка (алоҳида электр қабул қилувчиларники) ва гуруҳли хиллари бўлади.

Якка (алоҳида) графикларнинг ординаталарини қўшиш йўли билан гуруҳли графиклар қурилади, гуруҳли графиклар асосида эса цех ёки корхона электр нагрузкаларининг графиклари ҳосил қилинади. Амал қилиш даврига кўра суткалик ва йиллик графиклар қурилади, бунда йиллик график қиш ва ёз мавсумидаги суткалик графикларнинг ўзига хос хусусиятларидан фойдаланган ҳолда тузиб чиқилади. 12.4- расм, *а—б* да саноат корхонаси ва турар жой биноси нагрузкасининг суткалик графиклари мисол тариқасида кўрсатилган.

Ҳисоблашлар учун электр билан таъминлаш схемаларида нагрузка графиклари бўйича аниқланадиган бир қатор катталик ва коэффициентлар қўлланилади. Шулардан қуйидагиларни келтириб ўтамиз.

Ўртача нагрузка $P_{ўр}$ — энг юкланган сменадаги ўртача қувват.

Максимал (ҳисобий) нагрузка P_{max} — давомийлиги 30 минутдан кам бўлмаган ўртача нагрузкаларнинг сутка мобайнидаги энг каттаси.

Қисқа вақтли максимал (тиғиз) нагрузка электр двигателларни ишга туширишда, электр пайвандлаш ускунаси ва электр ёй печларини ишлатишда юзага келади. Тиғиз нагрузка, одатда, ток қиймати билан ифодаланади.

Белгиланган қувват — бир гуруҳ электр қабул қилувчилар номинал қувватларининг йиғиндиси $P_б = \sum_{1}^{n} P_{н}$.

Белгиланган қувватдан фойдаланиш коэффициенти — битта ёки бир нечта электр қабул қилувчилар ўртача актив қувватининг белгиланган актив қувватга нисбати $k_ф = \sum_{1}^{n} P_{ўр} / \sum_{1}^{n} P_{г}$.

Эҳтиёж коэффициенти — максимал (ҳисобий) қувватнинг белгиланган қувватга нисбати $k_э = P_{max}/P_б$.

Электр қабул қилувчини юклаш коэффициенти — ҳақиқий ўртача қувватнинг номинал қувватга нисбати $k_ю = P_{ўр}/P_{ном}$.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Иш машиналарини ҳаракатга келтириш учун механик энергия, жисм ва материалларни қиздириш учун иссиқлик энергияси, эритиш учун эса ёруғлик энергияси талаб қилинади. Кўриниб турибдики, бунда электр энергиясидан бевосита фойдаланилмайди. Электр энергиясининг асосий вазифаси нимадан иборат?

2. Электр энергиясини узоқ масофаларга узатиш учун ЛЭПнинг киришидаги кучланиш генератор кучланишига нисбатан бир неча марта оширилади. Бунинг учун электростанцияларга оширувчи трансформаторлар ўрнатилади. Кучланишни бундай ўзгартиришнинг моҳияти нимадан иборат?

3. Электр энергияси истеъмол қилинадиган жойларда кучланиш пировардида иш кучланиши 220, 380 В гача пасайтирилади (пасайтирувчи трансформаторлар ёрдамида). Кучланишни шу даражагача пасайтириш нима учун зарур?

4. Цехларга мўлжалланган куч тармоғининг радиал схемаси электр қабул қилувчилар цехда жамланган гуруҳлар ҳолида жойлаштирилганда, шунингдек чанг, ёнғин ва портлаш хавфи бўлган хоналарда қўлланилади. Бунинг негизида нима ётади — радиал схеманинг афзалликларими ёки камчиликларими?

5. 12.3- расмдаги схемада кўрсатилганидек, бир хонага тегишли чироқлар гуруҳларга бўлинган бўлиб, мазкур гуруҳларнинг айримлари бир трансформаторга, бошқалари эса бошқа трансформаторга уланган. Чироқларни бундай улашнинг моҳияти нимада?

12.1- масала. Қуйидагича кўрсаткичларга эга бўлган электр қабул қилувчилар гуруҳи учун белгиланган қувватдан фойдаланиш коэффициентини аниқланг: учта қабул қилувчи ҳар бири 10 кВт дан, $k_ф = 0,15$; тўртта қабул қилувчи ҳар бири 20 кВт дан, $k_ф = 0,2$; саккизта қабул қилувчи ҳар бири 30 кВт дан, $k_ф = 0,1$; ўнта қабул қилувчи ҳар бири 40 кВт дан, $k_ф = 0,14$.

12.2- масала. 12.4- расм, *б* даги нагрузка графиги бўйича суткалик ўртача қувватни аниқланг ва уни P_{max} га нисбатан фоизларда ифодаланг.

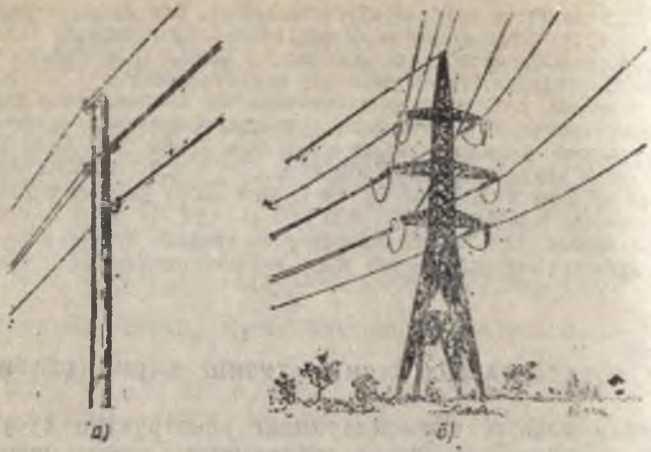
12.2. ЭЛЕКТР ТАРМОКЛАРИНИ ТУЗИШ ЭЛЕМЕНТЛАРИ

Турли электр тармоқларининг конструктив хусусиятлари уларнинг вазифаси, кучланиш ва электр нагрузкаларининг қийматлари, линияларнинг узунлиги, уларни ўтказиш жойи ва бошқа омиллар билан белгиланади. Турли электр тармоқларининг тузилишида катта фарқ борлигига қарамай, уларнинг барчаси вазифаси жиҳатидан бир-бирига ўхшаш бўлган элементларга эгадир.

Ток элтувчи элементлар сифатида металл симлар ва кабеллардан фойдаланилади; электр изоляцион материал ва конструкциялар ток элтувчи элементларни бир-биридан ҳамда ердан изоляциялаш учун хизмат қилади; барча тармоқларда коммутацияловчи аппаратлар, ҳимоя ва назорат тузилмалари ўрнатилган.

Ҳаво линиялари. Ҳаво линиялари учта асосий элементга эга: симлар, изоляторлар, таянчлар. Ҳаво линиялари учун асосан алюминий, пўлат, пўлат-алюминий симлар (бу симлар, кўпинча, бир қанча симлардан иборат бўлади) ишлатилади.

Симлар чинни изоляторларга маҳкамланади, улар эса, ўз навбатида, таянчларга ўрнатилади (12.5- расм, *а, б*). Линиядаги иш кучланишининг қийматига қараб турли конструкциядаги изоляторлардан (12.6- расм, *а, б*) фойдаланилади: маржон каби осилиб турадиган изоляторлар; штир ёки илмоққа маҳкамланган штирли изоляторлар. Таянчларнинг конструкцияси ҳам линиядаги кучланишнинг қийматига боғлиқ. Симлари штирли изоляторларга маҳкамланган ёғоч таянч 12.5- расм, *а*, да кўрсатилган. Юқори кучланишли линиялар учун темир-бетон ва металл таянчлар ҳам қўлланилади.



12.5- расм

Кабель линиялари. Электр тармоқларининг кабель линиялари тузишда куч кабеллари қўлланилади. Кабель линиялари ҳаво линияларига қараганда қимматроқ бўлгани учун улардан ҳаво линияларини у ёки бу сабабларга кўра (масалан, биноларнинг ичида ва саноат корхоналарининг ён-атрофида, шаҳар ва аҳоли зич яшайдиган жойларнинг кўчаларида) ўтказиш мумкин бўлмаганида фойдаланилади. Ички кабель симлари девор бўйлаб очиқ ҳолда (12.7- расм, *а*) ҳамда металл трубалари ичида, кабель қувурлари ва қутилари ичида, кабель каналлари ичида (12.7- расм, *б*) қурилиш конструкциялари юзаси бўйлаб ётқизилади. Кабеллар биноларнинг таркибий қисми бўлган махсус хоналар (кабелли қаватлар, қўш поллар, кабелли шахталар ва б.) га ҳам ётқизилади, шунингдек, тросларга осиб қўйилади.

12.6- расм

Кабеллар ташқи тарафдан бино ва иншоотларнинг деворлари ҳамда ёнмайдиган юзалари бўйлаб очиқ ҳолда ёки

12.7- расм

трубалар ичига жойлаштирилган ҳолда ётқизилади; кабеллар тросларга осиб қўйилади ёки тросли махсус кабеллардан фойдаланилади.

Корхоналарнинг, аҳоли пунктларининг территорияларида кабеллар зовурлар ичида бевосита ерга (12.7-расм, *в*) ёки трубалардан иборат махсус блокларга, кабель каналларига, туннелларга ётқизилади.

Электр симлар. Электр энергиясини бевосита электр қабул қилувчиларга етказиб бериш учун кабеллар, шунингдек резина ёки поливинилхлоридли электр изоляцияси бўлган бир ёки бир нечта томирли симлар қўлланилади. Электр симларнинг айрим турлари ип газлама ёки металлдан тайёрланган ҳимоя қобиғига эга.

Симнинг маркаси ва уни ётқизиш усули ишлаб чиқаришнинг характерини, хонанинг тури, атроф-муҳит шароитлари, симни ётқизиш ва ундан фойдаланишни, шунингдек симнинг вазифасини ҳисобга олган ҳолда танланади. Масалан, АППВ сими очиқ усулда ётқизиш учун қўлланилади. АППВС сими эса каналларда ёки сувоқ остидан ётқизиш учун қўлланилади. Цех электр тармоқларининг тақсимлаш элементлари сифатида, гуруҳли тақсимлаш пунктлари (ТП) ва тақсимлаш шчитлари (ТШ) дан ташқари, шина ўтказгичлар ҳам кенг қўлланилади. Улар цех ёки технологик линиялар бўйлаб ётқизилади. Паст кучланишли шина ўтказгичларда очиқ ёки изоляцион қобиқли, алюминийдан тайёрланган ясси шиналар қўлланилади. Шиналарни механик шикастланишлардан ҳимоялаш мақсадида улар, одатда, металл кожухларга жойлаштирилади. Магистрал шина ўтказгичлардан тарқаладиган тармоқлар махсус қўймалар ёрдамида уланади.

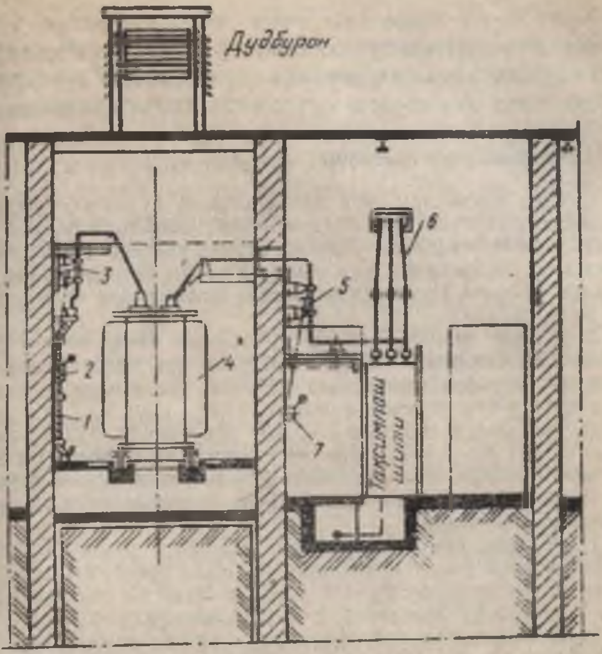
Трансформатор подстанциялари. Трансформатор подстанцияларининг электр энергияни узатиш ва тақсимлаш системаларидаги вазифаси ва аҳамияти аввал

таъкидлаб ўтилган эди. Энди улар тузилишининг айрим масалаларини саноат корхоналарининг, асосан, электр қабул қилувчиларга энг яқин жойлашган цехларнинг подстанцияларига татбиқан кўриб чиқамиз. Трансформатор подстанцияларида трансформаторлар (битта ёки бир нечта) ва тақсимлаш тузилмалари (ТТ) албатта бўлади. Заруратга қараб қўшимча тузилмалар ўрнатилади: аккумулятор батареялари ёки иккиламчи занжирни (бошқариш, назорат, ҳимоя занжирларини) таъминлаш учун мўлжалланган бошқа электр манбалари; реактив қувватни компенсациялаш учун мўлжалланган конденсаторли батареялар ва б.

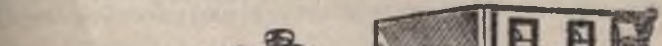
Саноат корхоналарида трансформатор подстанцияларининг жиҳозларини очиқ (ташқи) ёки ёпиқ (хоналарда) ўрнатиш усуллари қўлланилади. Ушбу ўрнатиш усулларининг ҳар бири ҳам ўзининг ютуқ ва камчиликларига эга бўлиб, у ёки бу усулни қўллаш масаласи техник-иқтисодий таққослаш йўли билан ҳал қилинади.

Подстанциялардаги тақсимлаш тузилмалари аввалдан тайёрлаб қўйилган айрим-айрим элементлардан йиғилади, бироқ аксарият ҳолларда, айниқса ёпиқ цех подстанциялари учун заводда тўлиқ йиғилган комплект *ТТ* лар афзал кўрилади. Подстанцияларда эса улар ўрнатилади ва линия ҳамда трансформаторларни улаш билан боғлиқ ишлар бажарилади.

Цех подстанцияларида паст кучланиш (ПК) нинг бир томонида кўпинча фақат битта *ТТ* ўрнатилади, иккинчи томонида эса юқори кучланиш (ЮК) қисмасигина ўрнатилади. 12.8-расмда цех трансформатор подстанцияси мисол тариқасида кўрсатилган бўлиб, унда бирламчи кучланиш (6 кВт) цех тармоғининг иш кучланиши (380/220) гача камайтирилади. Алоҳида камерага ўрнатилган трансформатор *4* га кабель *1* воситасида кучланиш ричаг юритма *2* ли ажраткич *3* орқали берилади. Иккиламчи кучланиш тақсимлаш шчитининг шиналарига берилади. Тақсимлаш шчити қўшни хонага жойлаштирилади, у ерда ричаг юритма *7* ли ажраткич *5* ҳамда шина ўтказгич *6* ҳам ўрнатилади. Мазкур шина ўтказгич ишлаб чиқариш хонасига чиқарилган бўлиб, у ердаги электр двигателларни таъминлайди. *ПК* ли шиналарга ёритиш нагрузкасига борувчи кабель линиялар ҳам қўшилади.



12.8 - расм.



12.9- расм.

Хоналарга ўрнатиш учун мўлжалланган трансформатор подстанцияси комплекти 12.9- расмда кўрсатилган, бунда: *1* — тақсимлаш тузилмаси; *2* — куч трансформатори; *3* — юқори кучланиш киритиладиган жой.

Текшириш учун саволлар

1. Ҳаво линиялари учун мўлжалланган пўлат-алюминий симларни тайёрлашда пўлат сим ўртада бўлиб, алюминий симлар унинг атрофига жойлаштирилади. Электр симининг бундай конструкциясида пўлат томир (сим) нинг ва алюминий қобиқ (симлар) нинг аҳамияти нимадан иборат? Нима учун симнинг алюминийли қисми ташқарида жойлаштирилади?

2. Узатиш линиясининг иш кучланиши қанча юқори бўлса, улчамлар (таянчларнинг баландлиги, улар орасидаги масофа, симлар орасидаги масофа) шунча катта бўлади. Линиянинг бундай тузилишини қандай тушунтириш мумкин?

3. Зовурларга кабель 0,7—0,8 м чуқурликда, йўлларнинг қатнов қисми остига эса 1 м чуқурликда ётқизилади. Кабель қум ёки майда тупроқдан тайёрланган дўнгликка ётқизилади ва унинг устидан ғишт ёки бетон плита ётқизилади. Кабель линиясини бундай ётқизишда нимага асосланилади?

4. Кўпинча, симларни металл трубалар ичига жойлаштирган ҳолда ётқизиш усули қўлланилади. Нима учун симларни қўшимча ҳимоялаб ётқизишнинг бундай усулини ёнғин ва портлаш хавфи бўлган хоналарда қўллаш мажбурий ҳисобланади?

5. Подстанцияда трансформатор махсус камерага ўрнатилади. Камеранинг пастки қисми ва ораёпмаларида камеранинг ички қисмини атмосфера билан боғловчи тешиклар қилинади. Трансформаторнинг остида эса шағал билан тўлатилган ўра бор. Нима учун трансформатор камерасининг конструкциясида мазкур элементлар кўзда тутилган?

12.3. СИМ ВА КАБЕЛЛАРНИ ТАНЛАШ

Электр тармоқлари бир қанча техник-иқтисодий талабларни қондириши лозим. Бундай талабларнинг асосийларини таъкидлаб ўтиш жоиздир: одамларнинг соғлиғи ва ҳаётига зарар келтирмаслик; электр таъминотининг ишончли, узлуксиз ва ёнғиндан хавфсиз бўлиши; электр энергиясининг сифати юқори бўлиши (энг аввало, тармоқдаги кучланишнинг электр қабул қилувчиларнинг номинал кучланишидан четга чиқиши жоиз оралиқда бўлиши лозим); юқори тежамкорлик (капитал ва эксплуатацион харажатларнинг мумкин қадар кам бўлиши).

Асбоб-ускуналар, материаллар, симлар ва кабелларни тўғри танлаш, қурилиш ва монтаж ишларини юқори сифатли қилиб ўтказиш ҳамда техник ишлатишнинг барча қоидаларига амал қилиш орқали юқорида қайд

этилган талабларнинг бажарилиши таъминланади. Сим ва кабелларни цех электр тармоғига татбиқан танлаш масалаларини кўриб чиқамиз.

Сим ва кабелларнинг кўндаланг кесимларини улар қизишининг жоиз қийматлари бўйича танлаш. Электр токи ўтадиган сим ва кабеллардан иссиқлик ажралиб чиқиши туфайли улар қизийди. Бу ерда симларнинг қизиш ва совиш жараёнлари кўриб чиқилмайди, чунки бундан олдинги бобда худди шундай жараёнлар электр двигателларга татбиқан ўрганиб чиқилган эди. Фақат шуни таъкидлаш жоизки, симдаги энергия исрофи қанча кўп ва иссиқликнинг атроф-муҳитга тарқалиш шароитлари қанча ёмон бўлса, симнинг барқарор температураси шунча юқори бўлади.

Агар сим ва кабелларнинг температураси токнинг таъсир этиш, давомийлигига ҳамда ток ўтказувчи сим ва электр изоляция материалларига боғлиқ бўлган жоиз қийматдан ортиб кетмаса, мазкур сим ва кабелларнинг узоқ муддат ишончли ишлашига кафолат бериш мумкин.

Жоиз температурага жоиз ток $I_ж$ мос келади. Жоиз токларнинг сим ва кабелларнинг турли маркалари ва кўндаланг кесимлари учун мос келувчи қийматлари тегишли жадвалларда кўрсатилади. Мазкур қийматлар сим ва кабелларни ётқизиш шароитларини ва атроф-муҳит температураси (ҳавоники 25°C ва тупроқники 15°C) ни ҳисобга олган ҳолда белгиланган.

Сим ёки кабелнинг кўндаланг кесимини узоқ муддатли режимдаги қизиш бўйича танлаш учун, энг аввало, нагрузка графигидан смена мобайнида давомийлиги 30 минут бўлган ўртача нагрузкаларнинг энг каттаси (ярим соатли максимум) ни танлаган ҳолда линиядаги токнинг ҳисобий қийматини аниқлаш керак.

Сўнгра жоиз токлар жадвалидан сим (кабель) нинг берилган (танланган) тури ва ётқизиш шароитлари учун жоиз токнинг қуйидаги шартни қаноатлантирувчи қиймати аниқланиши лозим:

$$I_ж \geq I_х \qquad (12.1)$$

Танланган қиймат $I_ж$ га мос келадиган ток ўтказувчи сим ёки кабелнинг кўндаланг кесими жадвалда кўрсатилган.

Агар жоиз токнинг қиймати ҳисобий ток $I_х$ нинг қийматига тенг бўлса, жадвалда тенг қиймат бўлмаганида эса энг яқин катта қиймат олинса, берилган ҳол учун симнинг кўндаланг кесими тўғри танланган бўлади.

Атроф-муҳит температураси ҳисобий қийматдан фарқ қилганида ёки бир нечта кабелларни ёнма-ён қилиб ётқизиш зарур бўлган ҳолларда совиш шароитлари ўзгаради, шу боис ток ўтказувчи симларнинг ўша кўндаланг кесимлари учун мўлжалланган токларга тузатиш коэффициентлари $k_т : I'_ж = k_т I_ж$ ёрдамида аниқлик киритилади.

Бироқ, бу билан сим ёки кабелнинг кўндаланг кесимини танлаш тугалланмайди, чунки узоқ муддат таъсир этадиган жоиз ток бўйича танланган кўндаланг кесимнинг қиймати тармоқдаги кучланиш исрофларига нисбатан тежамкорлик талабларига жавоб бермаслиги мумкин.

Сим ва кабелларнинг кўндаланг кесимларини ҳимоя аппаратларини ҳисобга олган ҳолда танлаш. Кучланиши 1000 В гача бўлган электр тармоқларида электр қабул қилувчиларни, шунингдек таъминлаш ва тақсимлаш линияларини қисқа туташув ва ўта юкланишлардан ҳимоялаш мақсадида суюқланувчан сақлагичлар ва автоматик узгичлар қўлланилади.

Суюқланувчан сақлагичларнинг тузилиши тармоқдаги иш кучланишига боғлиқ ҳолда турлича бўлади, аммо уларнинг барчаси тез суюқланадиган металлдан тайёрланган алмаштириладиган суюқланувчан қуйма маҳкамланадиган патронга эга. Макур сақлагичлар электр занжирларини қуйидагича ҳимоя қилади: ток маълум қийматдан ортиб кетганида суюқланувчан қўйма суюқланади (куяди) ва электр занжирни узиб қўяди.

Сақлагичлар учун қуйидаги техник маълумотлар кўрсатилади: патроннинг номинал кучланиши $U_{п.т}$; патроннинг номинал токи $I_{п.т}$; суюқланувчан қўйманинг номинал токи $I_{эк}$.

Сақлагичнинг суюқланувчан қўймаси иккита талабга жавоб бериши керак: нагрузканинг узоқ давом этадиган иш токи $I_н$ да куймаслиги [(12.2) формула] ҳамда ишга тушириш токларида куймаслиги лозим [(12.3) формула]

$$I_{э.қ} \geqslant I_н; \tag{12.2}$$

$$I_{э.қ} \geqslant I_{max}/\alpha. \tag{12.3}$$

Сақлагич танлашда якка ҳолдаги электр қабул қилувчининг иш токи $I_н$ унинг номинал токига тенг $I_н = I_{ном}$ қилиб, электр қабул қилувчилар гуруҳи учун $I_н = k_э I_ҷ$ қилиб танланади, бу ерда $I_ҷ$ — мазкур линияга уланадиган ўрнатилган электр қабул қилувчилар номинал токларининг йи-

ғиндиси; $k_э$ — электр қабул қилувчиларнинг тўлиқсиз нагрузка ва турли вақтларда ишлаши мумкинлигини ҳисобга олувчи эҳтиёж коэффициенти.

Суюқланувчан қўймани ишга тушириш шарти бўйича танлашда қуйидаги катталик аниқланади

$$I_{max} = I_{и.т} + I'_{и}. \qquad (12.4)$$

(12.3) ва (12.4) ифодаларни қўллаш, асосан, электр двигателларни ишга туширишдаги тиғиз нагрузкалар билан боғлиқ. Шунинг учун $I_{и.т}$ — берилган двигателлар гуруҳидаги ишга тушириш токи энг катта бўлган битта двигателнинг ишга тушириш токи; $I'_{и}$ — двигателлар гуруҳининг иш токи (ушбу гуруҳга ишга тушириш токи энг катта бўлган двигатель кирмайди).

α коэффициенти сақлагичнинг тури ва ишга тушириш шароитлари (енгил ва оғир ишга тушиш) га қараб 1,6 дан 3 гача қабул қилинади.

Автоматик узгичлар (автоматлар) электр занжирларини одатдагича улаш ва узиш учун (агар бундай узиб-улашлар кам содир бўлса) ишлатилади, аммо уларнинг асосий вазифаси занжирни узоқ муддатли ўта юкланишларда (иссиқликдан ҳимоя ишга тушади), қисқа туташувлар ва бошқа тиғиз ўта юкланишларда (элстромагнит максимал ҳимоя ишга тушади) автоматик узиб қўйишдан иборат; кучланиш пасайганида электромагнит минимал ҳимоя ишга тушади. Автоматларни танлаш ҳақидаги маълумотларни [7] дан олиш мумкин.

Симнинг кўндаланг кесимини ҳимоя аппаратини ҳисобга олган ҳолда танлаш (ёки қизиш бўйича танланган кўндаланг кесимни текшириб кўриш) қуйидаги шартга кўра амалга оширилади:

$$I_{ж} = k_{х} I_{н.х}, \qquad (12.5)$$

бу ерда $I_{ж}$ — симнинг танланган кўндаланг кесими учун жоиз ток; $I_{н.х}$ — суюқланувчан қўйманинг номинал токи ёки автоматнинг уставкаси;

$k_{х}$ — узоқ давом этадиган жоиз токнинг ҳимоя аппаратининг токига нисбатан карралиги.

Симнинг (кабелнинг) кўндаланг кесими сифатида (12.1) ва (12.5) шартлар бўйича аниқланган қийматларнинг энг каттаси қабул қилинади.

Электр тармоқларидаги ҳимоя танлаш (селектив) хусусиятига эга бўлиши, яъни занжирнинг қисқа туташув содир бўлган ёки узоқ вақт ўта юкланган қисминигина узиб қўйиш лозим.

Симларнинг кўндаланг кесимини кучланиш исрофларининг жоиз қиймати бўйича танлаш. Агар электр тармоғидаги кучланиш электр қабул қилувчиларнинг номинал кучланишига тенг бўлса, улар нормал ишлайди. Кучланиш четга чиқишининг жоиз қийматлари стандартлар билан белгилаб қўйилган.

Кучланишнинг номиналдан четга чиқиш сабаблари турлича, аммо уларнинг асосийси актив ва индуктив қаршиликларга эга бўлган симлардаги кучланиш исрофлари билан боғлиқ.

Кутланиш исрофи ΔU — таъминлаш манбаидаги кучланиш U_1 билан электр қабул қилувчининг уланиш жойидаги кучланиш U_2 орасидаги алгебраик фарқдан иборат. У номинал кучланишга нисбатан вольт ёки процентларда ифодаланади:

$$\Delta U = U_1 - U_2 \qquad (12.6)$$

$$\Delta U\,\% = 100\,\Delta U/U_{ном}. \qquad (12.7)$$

Кучланишнинг жоиз четга чиқишларидан келиб чиққан ҳолда электр тармоқларидаги (подстанциядан электр қабул қилувчигача бўлган қисмдаги) кучланишнинг жоиз қийматлари аниқланган.

Кучланиши 1000 В гача бўлган куч тармоқларида кучланиш исрофининг жоиз қиймати номинал кучланишга нисбатан 6—7% ни, ёритиш тармоқларида эса 2—3% ни ташкил қилади.

Узунлиги l бўлган ўзгармас ток линиясидаги кучланиш исрофи $\Delta U = IR = 1Il/(\gamma S)$. Ушбу ифодадан, агар кучланиш исрофининг жоиз қиймати берилган бўлса, линия симининг кўндаланг кесимини аниқлаш мумкин: $2Il/(\gamma\,\Delta U)$ ёки

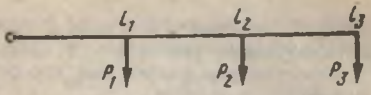
$$S = \frac{200Pl}{\gamma U^2_{ном}\,\Delta U\%}, \qquad (12.8)$$

бу ерда P — нагрузка қуввати; γ — сим материалининг солиштирма қаршилиги.

Агар нагрузка актив қувват орқали ифодаланса ва линиянинг индуктив қаршилиги ҳисобга олинмаса, (12.8) формуладан бир фазали ўзгарувчан ток линияси учун ҳам фойдаланиш мумкин.

Агар нагрузка линиянинг бир нечта нуқталарига унинг бошидан l_1, l_2, l_3 масофада уланган ва P_1, P_2, P_3 қувват

катталикларида берилган бўлса (12.10-расм), у ҳолда линиянинг барча қисмларида симларнинг кўндаланг кесимлари бир хил бўлганда (12.8) формуладан қуйидаги формулани ҳосил қилиш мумкин:



12.10-расм

$$S = \frac{200 \sum Pl}{\gamma U_{ном}^2 \Delta U\%}. \qquad (12.9)$$

Уч фазали линия учун (юқоридага шарт бажарилганда):

$$S = \frac{100Pl}{\gamma U_{ном}^2 \Delta U\%}; \quad s = \frac{100 \sum_1^n P_п l_п}{\gamma U_{ном}^2 \Delta U\%}. \qquad (12.10)$$

Текшириш учун савол ва масалалар

1. (12.1) формула учун тузатиш коэффициенти $k_т$ бирдан катта ёки кичик бўлиши мумкин. Агар: а) атроф-муҳит температураси 35 °С; б) тупроқ температураси 5 °С; в) учта кабель ўзаро параллел қилиб ёнма-ён ётқизилган бўлса, коэффициент $k_т$ бир қийматдан қайси томонга ўзгаради?

2. Асинхрон двигателни ҳимоялаш учун (12.3) шарт бўйича сақлагич танлашда $I_{max} = I_{и.т}$—двигателнинг ишга тушириш токи, $\alpha = 2{,}5$. Коэффициент α нинг қиймати нимани билдиради?

3. Цех электр тармоғининг цех подстанциясидан электр қабул қилувчигача бўлган қисмида иккита сақлагич ўрнатилган. Уларнинг бири магистралнинг бошланиш жойига (подстанциянинг паст кучланишли шчитига), иккинчиси эса электр двигателга тармоқланишнинг бошланиш жойига (гуруҳли шчитга) ўрнатилади. Мазкур сақлагичларда номинал токи бир хил бўлган суюқланувчан қўймалар бўлиши мумкинми? Агар мумкин бўлмаса, у ҳолда улар бир-биридан қандай фарқ қилиши керак?

4. Электр тармоғидаги кучланишнинг номинал қийматдан четга чиқиши кўпайиш ёки камайиш томонга бўлиши мумкин. Кучланишнинг у ёки бу томонга оғиши электр двигателларнинг, электр ёритиш лампаларининг ишига қандай таъсир кўрсатади?

5. Линия симларининг кўндаланг кесимини танлаш учун қизишнинг жоиз қиймати, ишга тушириш шароитлари ва кучланиш исрофининг жоиз қиймати бўйича ҳисоблаш ишлари ўтказилди. Бунда кўндаланг кесимлар турлича бўлиб чиқди. Етказиш учун қайси кўндаланг кесимли симни танлаш керак?

12.3-масала. Уч фазали асинхрон двигатель учун $P_{ном} = 15{,}2$ кВт $U_{ном} = 380$ В; $\eta_{ном} = 0{,}869$; $\cos \varphi_{ном} = 0{,}83$; $I_{н.т}/I_{ном} = 5$. Сақлагич-

нинг суюқланувчан қўймасидан ўтувчи токни ҳамда двигателга келадиган тармоқланган симларнинг кўндаланг кесимини аниқланг. Тармоқланган симлар резина изоляцияли мис симлардан тайёрланган бўлиб, труба ичига жойлаштирилган.

12.4- масала. $\cos\varphi = 0{,}8$ бўлганда умумий нагрузкаси $P = 60$ кВт бўлган тақсимлаш шчитига қараб цехда уч фазали линия тортилган. Шчит трансформатор подстанциясидан 100 м масофада жойлашган. Истеъмолчиларнинг линия кучланиши 380 В. Қуйидаги шартларга асосан линия симининг кўндаланг кесимини аниқланг: электр қабул қилувчилар гуруҳида қуввати 28 кВт бўлган битта электр двигатель бор; $\eta = 0{,}9$; ишга тушириш токининг карралилиги $I_{н.т}/I_{ном} = 5{,}5$; $\cos\varphi = 0{,}8$ электр қабул қилувчилар учун эҳтиёж коэффициенти $k_э = 0{,}7$; кучланиш исрофининг жоиз қиймати номинал кучланишга нисбатан 5 % ни ташкил қилади.

12.4. ЭЛЕКТР ҚУРИЛМАЛАРИДАН ФОЙДАЛАНИШНИНГ АЙРИМ МАСАЛАЛАРИ

Электр таъминотининг ишончлилиги ва тежамкорлиги электр тармоқларининг тузилишигагина эмас, балки уларни ишлатиш сифатига ҳам худди шу даражада боғлиқдир.

Электр қурилмаларини ишлатиш турли хилдаги бир қанча масалаларни ўз ичига олади. Улардан электр энергияни тежаш, электр қурилмаларга хизмат кўрсатиш хавфсизлиги ва электр изоляцияни назорат қилишга оид айрим масалаларни қисқача кўриб чиқамиз.

Реактив қувватни компенсациялаш. Электр энергияни тежаш мақсадида турли тадбирлар қўлланилади. Буларга технологик жараённи оқилона ташкил қилиш, электр асбоб-ускуналарини тўғри ишлатиш киради. Электр тармоқлари ва қурилмаларидаги реактив қувватни компенсациялаш катта аҳамиятга эга. Бутун мамлакат доирасида қувват коэффициентини 0,01 га оширганда тахминан 500 млн. кВт. соат электр энергияни қўшимча равишда ҳосил қилиш мумкинлиги ҳисоблаб чиқилган.

Ўзгарувчан ток занжирига уланган индуктивлик ғалтагидаги энергетик жараён актив $P = UI\cos\varphi$ ва реактив қувват $Q = UI\sin\varphi$ билан характерланади.

Шу жиҳатдан, ўзгарувчан токда ишлайдиган бир қанча тузилмалар (асинхрон двигателлар, индукцион иситиш қурилмалари, трансформаторлар, электр узатиш ҳаво линиялари ва б.) индуктивлик ғалтагига ўхшашдир.

Ушбу тузилмалар генератордан олган электр энергияни бошқа истеъмолчиларга узатиб беради ёки уни энергиянинг бошқа турлари (актив қувват P) га айлантириб беради. Шу билан бир вақтда электромагнит энергия электр манбалари (реактив қувват Q) билан алмашинади. Бу боғлиқлик (алмашинув) номақбулдир, аммо унинг содир бўлиши муқаррар, чунки қайд этиб ўтилган тузилмалар магнит майдони ва унда энергиянинг даврий равишда тўпланиши мавжуд эмаслигида ишлай олмайди. Агар тузилманинг реактив қуввати нолга тенг бўлмаса, у ҳолда унинг қувват коэффициенти $\cos\varphi < 1$.

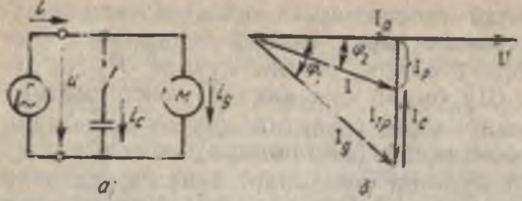
Ҳар бир корхонада электр двигателлар, трансформаторлар ва бошқа тузилмалар бир вақтда ишлайди. Бундай тузилмаларнинг сони қанча кўп ва қувват коэффициентлари қанча кичик бўлса, ишлаб чиқариш бўлинмаси, цех ва бутун корхона электр асбоб-ускуналарининг умумий реактив қуввати шунча катта бўлади.

Қурилманинг ёки корхонадаги электр асбоб-ускуналар умумий реактив қувватининг қиймати умуман олганда электр двгателларни, трансформаторларни тўғри танлаш ва юклаш даражасига, электр асбоб-ускуналарини ишлатиш қоидаларига риоя қилинишига ҳам боғлиқдир.

Электр қурилмаларнинг иқтисодий кўрсаткичларига реактив қувват қийматининг таъсирини аниқлаш мақсадида тармоқдаги кучланиш ўзгармас бўлганида ўзгармас актив қувват билан ишлайдиган электр қабул қилувчи (масалан, асинхрон двгатель) ни кўриб чиқамиз.

Электр қабул қилувчидаги, бинобарин, уни энергия манбаи билан улайдиган симлардаги ток бундай шарт-шароитларда реактив қувват қийматига боғлиқ бўлади $Q : I = S/U = \sqrt{P^2 + Q^2}/U$. Электр қабул қилувчининг реактив қуввати қанча катта бўлса, электр қабул қилувчининг ўзида, генераторда, уловчи симларда, трансформаторда ва электр билан таъминлаш тармоғининг бошқа элементларида ток шунча кўп бўлади. Иссиқлик исрофларининг қуввати токнинг квадратига ва симларнинг қаршилигига пропорционал $\Delta P = I^2P$. Бундан кўринадики, электр қабул қилувчининг токи қанча катта бўлса, электр занжирининг барча элементларидаги энергия исрофлари шунча кўп бўлади.

Исроф бўлган энергиянинг қиймати эксплуатацион харажатлар таркибига киритилади. Электр қабул қи-



12.11-расм

лувчиларнинг реактив қувватини камайтириш улардаги токнинг камайишига, энергия исрофининг ва ишлатиш харажатларининг қисқаришига олиб келади.

Келтирилган фикр-мулоҳазалардан реактив энергия истеъмол қиладиган қурилмаларнинг реактив қувватини иложи борича камайтириш лозим, деган хулоса келиб чиқади.

Амалда бунга асинхрон двигатель ва трансформаторларнинг қувватини тўғри танлаш, уларни кам юкламаган ёки салт ишлатмаган ҳолда оқилона ишлатиш, қувват коэффициентини ошириш учун технологик жараённи яхшилаш орқали эришилади.

Реактив қувватни камайтиришнинг электр асбоб-ускуналарни танлаш, ўрнатиш ва ишлатиш билан боғлиқ шу ва бошқа тадбирлар т а б и и й т а д б р л а р деб аталади.

Табиий тадбирлар қурилма реактив қувватининг оптимал қийматини таъминлай олмаган ҳолларда реактив қувватни компенсациялашнинг сунъий чора-тадбирлари қўлланилади. Бундай тадбирлардан бири индуктивликка эга бўлган ўзгарувчан ток электр қабул қилувчиларига конденсатор батареяларини параллел қилиб улаш ҳисобланади.

Реактив қувватни конденсаторлар ёрдамида компенсациялашнинг моҳиятини электр қабул қилувчи (масалан, асинхрон двигатель ёки двигателлар гуруҳи)нинг конденсатор батареялари билан параллел уланиш схемаси учун қурилган вектор диаграммадан кўриш мумкин (12.11-расм, *а*, *б*).

Конденсаторлар улангунга қадар ток келтириш симларидаги ток $I_{д}$ кучланишдан фаза бўйича φ_1 бурчакка кечикади. Конденсаторлар улангандан кейин двигатель токининг реактив ташкил этувчиси $I_{1р}$ сиғим токи I_C билан қисман компенсацияланади, шу туфайли ток келтириш симларидаги токнинг қиймати I гача, фазаларнинг силжиш бурчаги эса φ_2

гача камаяди (алмашинувчан энергетик жараёнда генератор билан электр қабул қилувчи ўртасида электромагнит энергиянинг камроқ миқдори қатнашади).

Симлардаги токнинг актив ташкил этувчиси ўзгармайди, яъни занжирнинг актив қувват бўйича режими аввалдагидек қолади: $I\cos\varphi_2 = I_1\cos\varphi_1$. Конденсаторлар батареясининг токи $I_c = I_1\sin\varphi_1 - I\sin\varphi_2$, $I_1 = P/U\cos\varphi_1$, $I = P/U\cos\varphi_2$ эканлигини хисобга олиб, конденсатор батареясининг ток ва қувватини аниқлаш формулаларини хосил қиламиз:

$$I_c = \frac{P}{U} (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2), \tag{12-11}$$

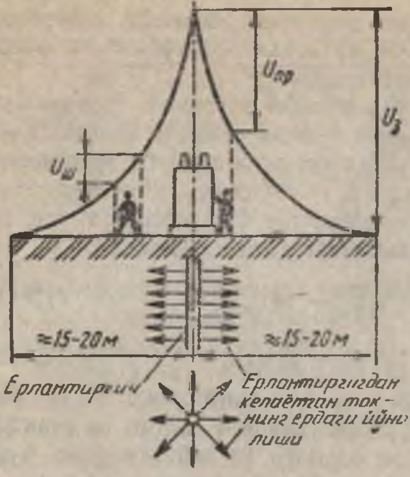
$$Q_c = P (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2), \tag{12.12}$$

бу ерда I, U — электр қабул қилувчининг токи ва кучланиши; P, Q — электр қабул қилувчининг актив ва реактив қувватни компенсациялашдан олдинги ва кейинги фаза бурчаклари.

Электр қурилмаларидаги химояли ерга улаш. Электр қурилмаларнинг металл қисмлари қуйидаги мақсадларни назарда тутган холда атайлаб ерга улаб қўйилади: электр асбоб-ускуналарига хавфсиз хизмат кўрсатиш; электр асбоб-ускуналарининг берилган режимларда нормал ишлашини таъминлаш; электр қурилмаларни атмосферанинг ўта кучланишларидан химоялаш.

Электр тармоқларини, саноат ва уй-рўзғор электр асбоб-ускуналарини ишлатишда электр токи билан шикастланиш хавфи туғилади. Шу боис электр қурилмаларни тузиш ва ишлатишда уларга хавфсиз хизмат кўрсатилишини кафолатловчи чора-тадбирлар кўзда тутилади. Шундай бўлса-да, электр асбоб-ускуналарини ишлатадиган, электр тузилмаларидан фойдаланадиган ёки электр қурилмалар жойлашган территориядагина ишлайдиган ҳар бир киши шахсий эҳтиёткорликка амал қилиши лозимлиги ҳақида эслатиб ўтиш жоиздир.

Одамнинг электр токи билан шикастланиш хавфи ток ўтказувчи қисмларга (мазкур қисмлар орасида потенциаллар фарқи мавжуд бўлади ёки улар ерга нисбатан кучланиш остида бўлади) тегиб кетилганда юзага келади. Бироқ, кучланиш остида бўлмаган электр асбоб-ускуналарининг металл қисмларига тегиб кетилган ҳолда ҳам электр токи билан шикастланиш мумкин. Электр машиналарининг, трансформаторларнинг, аппаратларнинг, электр чироқларнинг металл корпус-



12.12- расм

лари, тақсимлаш шчитлари, шкафлар ва бошқариш пультларининг каркаслари, электр узатиш линиялари, подстанциялар ва тақсимлаш тузилмаларининг металл конструкциялари, кабелларнинг девор ва металл қобиқлари, электр симларнинг пўлат трубалари, ўлчаш трансформаторининг иккиламчи чулғамлари—ушбу қисмларнинг ҳар бири электр изоляция шикастланган ҳолларда кучланиш остида бўлиши мумкин.

Электр токи билан шикастланиш хавфининг олдини олиш мақсадида электр асбоб-ускуналарининг юқорида қайд қилинган барча қисмлари ерга уланиши лозим. Бу мақсад учун табиий ерга улагичлар, бино ва иншоотларнинг ерга кириб турган металл қисмлари, трубалар (ёнувчи ва портловчи суюқликлар ҳамда газлар учун мўлжалланганларидан ташқари), кабелларнинг металл қобиқлари ва ҳоказолар хизмат қилиши мумкин.

Мос келадиган табиий ерга улагичлар мавжуд эмаслигида сунъий ерга улаш тузилмаси ясалади. Узунлиги 2,5—3 м бўлган бурчаклик, думалоқ ёки япалоқ пўлат электродлар ерга бўйича кўмилади (ёки қоқиб киргизилади), уларнинг юқориги учлари 0,7—0,8 м чуқурликда япалоқ ёки думалоқ пўлат билан ўзаро бирлаштирилади. Электр қурилманинг ерга уланадиган қисмлари ерга улагичга металл (одатда, пўлат) симлар билан уланади. Электр ускунасининг изоляцияси шикастланган ҳамда ерга уловчи электрод орқали ерга ўтувчи ток юзага келган ҳол учун потенциалнинг ер сиртида тақсимланиши 12.12- расмда кўрсатилган.

Электроддан узоқлашилган сари ток тарқаладиган тупроқ ҳажми тез ортиб боради, токнинг зичлиги эса мос равишда камаяди ва масофа 20 м га етганда потенциал деярли нолга тенг бўлади.

Ерга улаш тузилмасини ҳисоблаш ва тайёрлашда қуйидагилар ҳисобга олиниши лозим. Электр ускунасининг изоляцияси шикастланганда (яъни корпусга қисқа туташиб қолганда) одамнинг танасига корпус билан ер ўртасидаги потенциаллар фарқи (тегиб кетиш кучланиши $U_{т.к}$) ёки ер юзасининг ҳаракатланаётган ёки тинч турган одамнинг оёқлари таяниб турган қисмлари орасидаги потенциаллар фарқи (одим кучланиши U_0) таъсир қилиши мумкин.

Электр токи билан шикастланиш даражаси одам танасидаги токнинг қийматига, давомийлигига ва унинг танада қандай йўналганлигига боғлиқ.

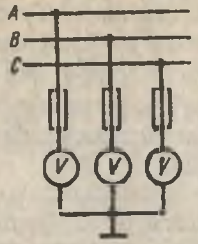
Мазкур токнинг қийматини $I_0R_0 = I_eR_e$ ифодадан аниқлаб, унинг қиймати одам танасининг қаршилиги R_0 қанча катта ҳамда ерга уловчи тузилманинг қаршилиги R_e ва ундан ўтувчи ток I_e қанча кичик бўлса, шунча кичик бўлади деб айтиш мумкин.

Статик электрдан ҳимоялаш. Қаттиқ жисмлар ёки суюқ диэлектрикларнинг ердан изоляцияланган металл сиртларга ишқаланиши содир бўладиган технологик жараёнларда статик электр зарядлари юзага келади. Бундай жараёнларга сочилувчан ёки суюқ моддаларни металл трубалар бўйлаб ҳайдаш, суюқликларни аралаштириш ва сачратиш, полимер материал ва буюмлар тайёрлаш ва ҳоказолар мисол бўла олади.

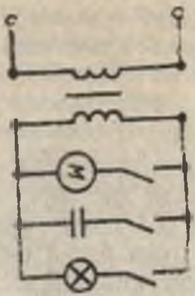
Зарядларнинг тўпланиши ерга нисбатан потенциаллар фарқини юзага келтиради, бу фарқ ўнлаб киловольтга етиши мумкин.

Агар зарядларнинг тўпланишидан ҳимоялаш чора-тадбирлари кўрилмаса, технологик қурилманинг қисмлари орасида ёки ерга ўтувчи учқунли разрядланиш содир бўлиши ва бунинг натижасида портлаш, ёнғин, жароҳатланишлар келиб чиқиши мумкин.

Технологик жараёнларни лойиҳалашда статик электрдан ҳимоялаш мақсадида зарядларнинг юзага келиш сабабларини бартараф этувчи чора-тадбирлар кўзда тутилади. Чунончи, ишлов бериладиган ёки ташиладиган материалларнинг электр ўтказувчанлиги оширилади, намлаш ёки ионлаштириш йўли билан ҳавонинг электр ўтказувчанлиги оширилади, технологик ускунанинг статик заряд юзага келиши мумкин бўлган қисмлари ерга уланади. Электр ускуналар учун мўлжалланган ерга улаш тузилмаси ёки момақалдироқдан ҳимоялаш воситаси мавжуд бўлганида уларни статик электрдан ҳимоялаш мақсадида ишлатиш мумкин, мазкур воси-



12.13- расм



12.14- расм

талар мавжуд эмаслигида эса махсус ерга улагич ясалади.

Электр изоляцияни назорат қилиш. Электр қурилмаларни ўрнатиш ва техник ишлатиш қоидаларига қатъий амал қилинадиган жойларда электр токи билан шикастланиш эҳтимоллиги деярли бўлмайди.

Электр изоляциянинг қониқарсиз ҳолатда бўлиши электр токи билан шикастланиш, ёнғин содир бўлиш ва электр таъминотининг бузилиш хавфини юзага келтиради. Шунинг учун электр қурилмаларда электр изоляциянинг ҳолати назорат қилиб турилади.

Назорат қилиш усулларидан бири ток ўтказувчи симлар билан ер орасидаги кучланишни ўлчашга асосланган. Масалан, кучланиши 1000 В гача бўлган уч фазали тармоққа учта вольтметр юлдуз тарзида 12.13- расмдаги схема бўйича уланади.

Агар изоляция нормал ҳолатда бўлса, вольтметрлар фаза кучланиши барча фазаларда бир хил эканлигини кўрсатади.

Битта фазадаги изоляция қаршилиги камайганида вольтметрнинг кўрсатиши камаяди, қолган иккита вольтметрники эса ортади. Бу хизмат кўрсатувчи ходимлар учун изоляция сифатининг меъёрдан четга чиқиши ҳақида сигнал бўлиб ҳисобланади.

Муайян схема бўйича уланган вольтметрнинг кўрсатишларига қараб иш кучланиши остида бўлмаган электр қурилмадаги изоляциянинг қаршилигини ўлчаш мумкин.

Изоляцияни назорат қилишнинг яна бир усули — изоляциянинг қаршилигини мегаомметр билан ўлчаш.

Бу усул электр қурилмада иш кучланиши мавжуд эмаслигида қўлланилади.

Линия симлари изоляциясининг қаршилигини ўлчаш учун электр қабул қилувчилар ва линия кучланиш манбаидан узиб қўйилади. Мегаомметрнинг қисмалари симларга уланади ва улар орасидаги изоляция қаршилиги ўлчанади: Л қисмасига ток ўтказувчи сим уланади; З қисмаси ерга ёки бошқа симга уланади. Сўнгра мегаомметр ишга туширилади ва унинг шкаласидан қаршиликнинг қиймати аниқланади. Бу қиймат 0,5 МОм дан кичик бўлмаслиги лозим. Электр машина ва аппаратлари изоляциясининг қаршилигини ўлчаш ҳам худди шу тарзда амалга оширилади.

Текшириш учун савол ва масалалар

1. Реактив қувватни компенсациялаш мақсадида конденсаторларни ҳар бир электр қабул қилувчи учун якка ҳолда, электр қабул қилувчилар гуруҳи учун гуруҳли шчитда ёки цех подстанциясига уланиши мумкин. Энергиянинг цех электр тармоғида исроф бўлишига нисбатан олганда қайси вариант афзал ҳисобланади?

2. Ўзгарувчан ток генератори $\cos\varphi < 1$ бўлганда номинал қувват билан ишлайди. Мазкур генераторнинг бирламчи двигатели тўлиқ юкланганми ёки йўқми?

3. Одам танасининг электр қаршилиги тегиш юзасига, тегиб кетилган жойдаги терининг ҳолатига боғлиқ. Қайси ҳолларда тананинг қаршилиги катта: тегиш юзаси катта бўлгандами ёки кичик бўлгандами? Тери тоза бўлгандами ёки ифлос бўлгандами? Тери нам бўлгандами ёки қуруқлигидами?

4. Нима учун ерга улаш тузилмаларининг барча бирикмалари пайвандланади?

5. Агар *A* фазада изоляциянинг шикастланиши туфайли ер билан қисқа туташув содир бўлса, 12.13- расмда тасвирланган схемадаги вольтметрлар қандай кучланишларни кўрсатади?

12.5- масала. Номинал қуввати $S_{ном} = 10$ кВ · А ва номинал кучланиши $U_{ном} = 220$ В бўлган трансформаторга умумий актив қуввати $P = 60$ кВт, частота $f = 50$ Гц лигида $\cos\varphi = 0,6$ бўлган электр двигателлар гуруҳи уланган (12.14- расм). Қурилманинг қувват коэффициентини $\cos\varphi_2 = 0,9$ гача ошириш учун двигателларга параллел қилиб уланадиган конденсаторлар батареясининг сиғими ва қувватини аниқланг.

12.6- масала. 12.5- масалада келтирилган трансформаторни номинал қувватгача юклаш учун мазкур трансформаторга конденсаторлар батареяси билан биргаликда уланиши мумкин бўлган ёритиш нагрузкасининг қувватини аниқланг. Қувват коэффициенти ушбу ҳолда қандай қийматга эга бўлади?

МАСАЛАЛАРНИНГ ЖАВОБЛАРИ

1.1. Q_1 заряддан 6 см масофада, Q_2 заряддан эса 8 см масофада жойлашган 3 нуқтада, $E_3 = 100$ В/М. **1.2.** Агар $r = d/2$ бўлганда $V = 0$ деб қабул қилинса, у ҳолда $V_1 = 50$ В, $V_2 = -50$ В. **1.3.** $U = 10$ кВ, $d = 0{,}5$ см (слюда учун флагопит қабул қилинган $E_м = 80$ кВ/мм, картон учун $E_м =$ кВ/мм. **1.4.** а) $K = 3{,}33$; б) $K = 3$; в) $K = 3{,}75$. **1.5.** а) $C = 8 \cdot 10^{-10}$ Ф, $E = 45{,}2$ кВ/см; б) $C = 10^{-9}$ Ф, $E = 45{,}2$ кВ/см. **1.6.** $U_1 = 40$ В, $Q = 16 \cdot 10^{-5}$ Кл; $U = 40$ В, $Q = 40 \cdot 10^{-5}$ Кл. **2.1.** $\Delta U = 5{,}6$ В; $S = 15{,}4$ мм^2. **2.2.** $R_2 = 1{,}15$ Ом; $t_3 = 74$°С. **2.3.** $P_1 = 50$ кВт, $E_1 = 100$ В; $P_2 = 100$ кВт, $E_2 = 100$ В. **2.4.** $U_1 = 126$ В, $U_{2п} = 120$ В. **2.5.** $I = 3$ А, $U = 21$ В, $P_п = 63$ Вт; $P_м = 72$ Вт, $\eta = 0{,}87$. **2.7.** $I_1 = 10$ А, $U_3 = 72$ В, $P_2 = 480$ Вт, $U = 155$ В. **2.8.** $I_1 = 5$ А, $U_5 = 10$ В, $E = 90$ В. $P_м = 450$ Вт. **2.9.** Узиб-улагич П 3 ҳолатда: $I_1 = 6$ А, $I_3 = -12$ А. **2.10.** Узиб-улагич П 4 ҳолатда: $I_1 = 4{,}5$ А, $I_2 = 3$ А, $I_4 = 7{,}5$ А. **3.1.** $B_B = 10^{-3}$ Тл. **3.2.** $\psi = 27 \cdot 10^{-4}$ Вб. **3.3.** $L = 0{,}3$ мГн. **3.4.** а) $L = 0{,}098$ гн. **3.5.** а) $L = 0{,}133$ Гн. **3.6.** а) $L = 8{,}64 \cdot 10^{-4}$ Гн, $I = 25$ А. **3.7.** $I = 4{,}5$ А. **3.8.** $I = 14{,}76$ А. **3.9.** $F_м = 19{,}2$ Н ($\alpha = 90°$ бўлганида). **3.10.** $F_{иА} = 249{,}1$ Н. **3.11.** $E = \pm 150$ В. **3.12.** $R = 2$ ОМ. **4.1.** $e_н = 0$; $E_m = 100$ В; $e_к = 0$. **4.2.** $E = 71$ В (мос улангандa). **4.3.** $I = 10$А; $R = 12$ Ом; $P_1 = 1780$ Вт. **4.4.** $Q_L = Q_c = 2000$ вар. **4.5.** $R = 3$ Ом, $L = 12{,}75$ мГн, $P = 75$ Вт, $Q = 100$ вар. **4.6.** б) $R = 10$ Ом; $C = 100$ мкф; $L = 0{,}09$ Гн. **4.7.** Занжирнинг барча қисми учун: $P = 3872$ Вт; $Q = 2904$ вар; $S = 4840$ В·А. **4.8.** $I = 8$ А; $P = 1280$ Вт; $Q = 960$ вар. **4.9.** $I = 22{,}4$ А; $P = 2200$ Вт; $Q = 400$ вар. **4.10.** $I = 35$ А; $S = 7000$ В·А; $P = 5600$ Вт. **5.1.** а) $U_1 = 220$ В; в) $U_{AB} = 220$ В; $U_{BC} = U_{CA} = 127$ В. **5.2.** а) $E = 0$; б) $E = 2E_ф$. **5.3.** $I_л = 23{,}5$ А; $P = 9000$ Вт; $I_ф = 13{,}6$ А, $P = 9000$ Вт. **5.4.** а) $I = 38{,}5$ А. **5.5.** а) Лампалар B, C фазаларга улан-

ган: $I_A = 0$, $I_B = I_C = 0{,}9$ А, $I_N = 0{,}9$ А; б) лампалар A фазага уланган: $I_A = 0{,}9$ А, $I_B = I_C = 0$, $I_N = 0{,}9$ А. **5.6**. а) Лампалар AB, BC фазаларга уланган: $I_B = 0$, $I_A = 0{,}9$ А, $I_c = 0{,}9$ А; б) лампалар AB фазага уланган: $I_c = 0$, $I_A = I_B = 0{,}9$ А. **6.1**. $\Delta I = 0{,}25$ А, $j = 5\%$. **6.2**. $\Delta P = 24$ Вт, $j = 2\%$. **6.3**. $R_ш = 0{,}0075$ Ом. **6.4**. $R_{зқ} = 2490$ Ом. **6.5**. $P_1 = P_2 = 1905$ Вт, $P = 3810$ Вт. **6.6**. $\cos\varphi = 0{,}79$, $H = 5$ с. 76 т. **6.7**. $j = 2\%$. **6.8**. $j = 5\%$. **7.1**. $P_к = 7200$ Вт, $Q_к = 5400$ вар. **7.2**. $I_1 = 6{,}4$ А, $I_2 = 160$ А. **7.3**. $R_1 = 13{,}5$ Ом, $X_2 = 0{,}125$ Ом, $\eta = 0{,}962$, $S = 10$ кВ·А. **7.4**. Индуктив нагрузкада $\Delta U = 4{,}89\%$, $\eta = 0{,}93$. **7.5**. Чулғамлар Y/Y схема бўйича уланганда: $U_2 = 127$ В, $K_л = K_ф = 26$. **9.1**. $B = 3B_m/2$. **8.2**. $P = 2n_1 = 1500$ айл/мин бўлганда. **8.4**. Двигателнинг чулғамларини учбурчак усулда улаганда $I_{ном} = 49{,}3$ А, $S = 4{,}7\%$, $f_2 = 2{,}35$ Гц, $M = 110$ Н·м. **8.5**. Чулғамларни юлдуз тарзида улаганда $I_{ном} = 19{,}8$ А, $M_{ном} = 66$ Н·м, $M_{max} = 132$ Н·м, $I_{и.т} = 99$ А, $S = 3\%$. **8.7**. $\beta = 8{,}7\%$ **8.8**. $R_y = 0{,}06$ Ом. **8.9**. $P = 2$, $I_{ном} = 43{,}35$ А, $M = 181{,}4$ Н·м ($\cos\varphi = 0{,}8$). **8.10**. $P_{ном} = 600$ кВт бўлганда: $I_{ном} = 190$ А, $M_{ном} = 190$ А, $M_{ном} = 1591$ Н·м, $Q = 571$ квар. **9.3**. $U = 120$ В, $M = 93{,}8$ Н·м. **9.4**. Оддий тўлқинли чулғамда: $M = 744$ Н·м, $n = 690$ айл/мин. **9.5**. $U_1 = 201{,}3$ В. **9.6**. $I_я = 60$ А, $E = 235$ В. **9.7**. $n = 1050$ айл/мин, $M = 45{,}5$ Н·м. **9.8**. $U = 110$ В бўлганда: $E = 90$ В, $P_{эм} = 900$ Вт, $\eta = 0{,}663$. **11.1**. Табиий характеристикадаги иккита нуқтанинг координаталари: $M_x = 0$, $n_x = 1085$ айл/мин, $M_{ном} = 244$ Н·м, $n_{ном} = 1000$ айл/мин. **11.2**. Характеристикадаги тўртта нуқтанинг координаталари: **11.3**. $P_1 = 4{,}9$ кВт; $P_2 =$

Режим	Момент, Н · м	Айланиш частотаси, айл/мин
Салт ишлаш	0	750
Номинал	4600	730
Критик	11100	658
Ишга тушириш	2660	0

$= 14.7$ кВт. **12.1**. $k_ф = 0{,}14$. **12.2**. $P_{ўр} = 45{,}6\%$. **12.3**. $I_{э.к} = 80$ А, $S = 6$ мм². **12.4**. $S = 25$ мм², $\Delta U\% = 2{,}9\%$ **12.5**. $C = 3330$ мкФ; $Q_c = 50{,}6$ квар. **12.6**. $P_0 = 35$ кВт, $\cos\varphi_2 = 0{,}95$.

АДАБИЁТ

1. Евдокимов Ф. Е. Теоретические основы электротехники. М., 1981.

2. Касаткин А. С. Основы электротехники. М., 1982.

3. Попов В. С., Николаев С. А. Общая электротехника с основами электроники. М., 1976.

4. Демидова-Панферова Р. М. ва б., Малиновский В. Н., Попов В. С. Электрические измерения. М., 1982.

5. Кацман М. М. Электрические машины, М., 1983.

6. Хализев Г. П. Электрический привод. М., 1977.

7. Чиликин М. Г., Сандлер А. С. Общий курс электропривода М., 1981.

8. Постников Н. П., Рубашов Г. М. Электроснабжение промышленных предприятий. Л., 1980.

9. Гаврилюк В. А., Гершунский Б. С., Ковальчук А. В. ва б. Общая электротехника с основами электроники. Киев, 1980.

10. Миловзоров В. П. Электромагнитная техника. М., 1974.

11. Квартин М. И. Электромеханические и магнитные устройства автоматики М. 1979.

12. Васин В. М. Электрический привод. М., 1984.

МУНДАРИЖА

Русча нашрига сўз боши 3
Кириш 5

1-боб. **Электр майдони** 11

1.1.-§. Электр майдонининг асосий хусусиятлари ва характеристикаси 11
1.2-§. Электр майдонидаги ўтказгичлар ва диэлектриклар 17
1.3-§. Электр сиғим. Конденсаторлар 28

2-боб. **Ўзгармас ток электр занжирлари** 35

2.1-§. Электр токи 36
2.2-§. Электр занжирларининг асосий элементлари . . 41
2.3-§. Ўзгармас ток электр занжирлари ҳисобининг асослари 49
2.4-§. Э. ю. к. манбаи битта бўлган электр занжирлар . 54
2.5-§. Э. ю. к. манбаи бир нечта бўлган электр занжирлар 58
2.6-§. Ўзгармас токнинг чизиқлимас электр занжирлари 63

3-боб. **Магнит майдон** 66

3.1-§. Магнит майдонининг асосий хоссалари ва характеристикалари 66
3.2-§. Индуктивлик 72
3.3-§. Моддаларнинг магнит хоссалари 76
3.4-§. Магнит занжирлар 84
3.5-§. Электромагнит кучлар. Магнит майдон энергияси 88
3.6-§. Электромагнит индукцияси 94

4-боб. **Бир фазали ўзгармас ток электр занжирлари** . . . 101

4.1-§. Синусоидал э. ю. к. ва ток 102
4.2-§. Актив ва реактив қаршиликли электр занжирлар 110
4.3-§. Актив ва реактив элементли занжирлар 117
4.4-§. Ўзгарувчан токнинг тармоқланмаган занжири . . 123
4.5-§. Ўзгарувчан токнинг тармоқланган занжири . . 128

5- б о б. **Уч фазали электр занжирлар** . . . .
5.1- §. Электр энергияси уч фазали манбаларининг чулғамларини улаш . . . .
5.2- §. Симметрик уч фазали занжирлар . . . . . .
5.3- §. Уч фазали носимметрик занжирлар . . . . . .

6- б о б. **Электр ўлчашлар** . . . .
6.1- §. Электр ўлчашлар ва электр ўлчов асбоблари ҳақида умумий маълумотлар . . . .
6.2- §. Ток ва кучланишни ўлчаш . . . .
6.3- §. Қувват ва энергияни ўлчаш . . . .
6.4- §. Қаршиликларни ўлчаш . . . .

7- б о б. **Трансформаторлар** . . . .
7.1- §. Трансформаторнинг ишлаш принципи ва тузилиши
7.2- §. Трансформаторнинг режимлари . . . .
7.3- §. Трансформаторларнинг турлари ва уларнинг ишлатилиши . . . .

8- б о б. **Ўзгарувчан ток электр машиналари** . . . .
8.1- §. Ўзгарувчан ток электр машиналарининг магнит майдони . . . .
8.2- §. Асинхрон электр двигателларнинг тузилиши ва иш жараёни . . . .
8.3- §. Асинхрон электр двигателнинг электромагнит моменти . . . .
8.4- §. Асинхрон двигателларни ишга тушириш ва айланиш частотасини ростлаш . . . .
8.5- §. Синхрон машиналар . . . .

9- б о б. **Ўзгармас ток электр машиналари** . . . .
9.1- §. Ўзгармас ток электр машинасининг тузилиши ва ишлаш принципи . . . .
9.2- §. Ўзгармас ток машинасининг ишлаш жараёни . .
9.3- §. Ўзгармас ток генераторлари . . . .
9.4- §. Ўзгармас ток электр двигателлари . . . . . .

10- б о б. **Автоматиканинг электромагнит элементлари** . . .
10.1- §. Автоматика элементлари ва системалари ҳақида умумий маълумотлар . . . .
10.2- §. Параметрли ўлчаш ўзгартиргичлари . . . . .
10.3- §. Генератор ўзгартиргичлар . . . .
10.4- §. Ижрочи тузилмалар . . . .
10.5- §. Автоматиканинг электромеханик оралиқ элементлари . . . .

10.6- §. Автоматиканинг ферромагнит элементлари . . 305
10.7- §. Импульсли ферромагнит элементлар 314

11- б о б. Электр юритма асослари 323
11.1- §. Электр двигателни механик характеристикалар бўйича танлаш 324
11.2- §. Электр двигателларни қувват бўйича танлаш . 328
11.3- §. Электр юритмаларни бошқарадиган аппаратлар 334
11.4- §. Электр юритмаларни реле — контактли бошқариш 342
11.5- §. Электр юритмаларни контактсиз аппаратлардан фойдаланиб бошқариш 352

12- б о б. Электр таъминоти 358
12.1- §. Электр таъминоти схемалари 359
12.2- §. Электр тармоқларини тузиш элементлари . . . 365
12.3- §. Сим ва кабелларни танлаш 370
12.4- §. Электр қурилмаларидан фойдаланишнинг айрим масалалари 376

ФЕДОР ЕВДОКИМОВИЧ ЕВДОКИМОВ

УМУМИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Техникумлар учун дарслик

Тошкент «Ўқитувчи» 1995

Таржимонлар: **А. Раҳимов** (1 — 9- боблар),
Ш. Аъзамов (10 — 12- боблар)

Бўлим мудири **Абдувоҳид Раҳимов**

Муҳаррир **Дилором Аббосова**

Кичик муҳаррир **Мастура Иброҳимова**

Бадиий муҳаррир **Фарҳод Неккадамбоев**

Техник муҳаррир **Тамара Скиба**

Мусаҳҳиҳ **Моҳира Олимова**

ИБ № 5794

Теришга берилди 06.05.95. Босишга рухсат этилди 25.09.95. Формати 84 × 108/32. Тип. қоғози. Литерат. гарн. Кегли 10.8 шпонсиз. Юқори босма усулида босилди. Шартли б.л. 20,58. Шартли кр.-отт 20,79. Нашр.л 20,89. Тиражи 10000. Зак. № 2758.

«Ўқитувчи» нашриёти. Тошкент — 129. Навоий кўчаси, 30. Шартнома № 11 — 340 — 91.

Ўзбекистон Республикаси Давлат матбуот комитетининг Тошполиграф-комбинати. Тошкент, Навоий кўчаси, 30. 1995.

Е 16
32.85

Евдокимов Ф. Е.

Умумий электротехника: Техникумларнин электротехникадан бошқа ихтисосга ўқийди ган ўқувчилари учун дарслик: Русча нашри дан тарж.— Т.: Ўқитувчи, 1995.—392 б.

ББК 32.85я723

№ 651 — 95
Алишер Навоий номидаги Ўзбекистон
Республикасининг давлат кутубхонаси.
Тираж 4000
Карт. тиражи 8000