

М. М. КАЦМАН

ЭЛЕКТРЛІ МАШИНАЛАР

*«Білім беруді дамытудың федералды
институты»
федералдық мемлекеттік мекемесі бастауыш
кәсіптік білім беру бағдарламаларын іске асыратын
білім беру мекемелеріне оқу құралы ретінде*

ҰСЫНЫЛҒАН

*Пікірдің тіркеу нөмірі № 499, 14 желтоқсан,
2012 жыл.*

12-ші басылым, стереотипті

Мәскеу
«Академия» баспа орталығы, 2013 жыл

Бұл кітап Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігі және «Кәсіпқор» холдингі» КЕАҚ арасында жасалған шартқа сәйкес «ТКББ жүйесі үшін шетел әдебиетін сатып алуды және аударуды ұйымдастыру бойынша қызметтер» мемлекеттік тапсырмасын орындау аясында қазақ тіліне аударылды.

Аталған кітаптың орыс тіліндегі нұсқасы Ресей Федерациясының білім беру үдерісінде қойылатын талаптардың ескерілуімен жасалды.

Қазақстан Республикасының техникалық және кәсіптік білім беру жүйесіндегі білім беру ұйымдарының осы жағдайды ескеруі және оқу үдерісінде мазмұнды бөлімді (технология, материалдар және қажетті ақпарат) қолдануы қажет.

Аударманы «Delta Consulting Group» ЖШС жүзеге асырды, заңды мекенжайы: Астана қ., Иманов көш., 19, «Алма-Ата» БО, 809С, телефоны: 8 (7172) 78 79 29, эл. поштасы: info@dcg.kz

П і к і р б е р у ш і :

Е.П. Рудобаба (Л.Б.Красин атындағы Мәскеу кешкі
электромеханикалық техникумы)

М. М. Қацман

К307 Электрлі машиналар : орта кәсіптік білім беру мекемелерінің студенттеріне арналған оқулық/

М. М. Қацман. — 12-басылым, стер. — М. : «Академия» баспа орталығы, 2013. — 496 б.

ISBN 978-601-333-359-5 (каз.)

ISBN 978-5-7695-9705-3 (рус.)

Оқулықта техникалық түрлі салаларында қолданыс тапқан жалпы және арнайы тағайындалымдағы электрлі машиналар мен трансформаторлардың жұмыс режимдерінің талдауы, құрылысы, жұмыс жасау принципі мен теориясы қарастырылады.

Оқулық КИ.01 кәсіби модульді игеру кезінде пайдаланыла алады. «Электрлі және электромеханикалық жабдықты техникалық қызмет көрсетуді және жөндеуді ұйымдастыру»(МДК.01.01) 140448 «Техникалық пайдалану және электрлі және электромеханикалық жабдыққа қызмет көрсету»

Орта кәсіби білім беру мекемесінің студенттеріне арналған. ЖОО студенттеріне де пайдалы бола алады.

ӘОЖ 621.313(075.32) КБЖ 31.26я723

© М.М.Қацман, 2006

© Т.И.Светова, Қацман М.М. мұрагері, 2011

© «Академия» білімдік-баспа орталығы, 2011

© Рәсімдеу. «Академия» баспа орталығы, 2011

ISBN 978-601-333-359-5 (каз.)

ISBN 978-5-7695-9705-3 (рус.)

АЛҒЫСӨЗ

Оқулық орта кәсіби оқу мекемелерінің «Электр машиналары және аппараттары», «Электр оқшаулағыш, кабельдік және электрлі және электромеханикалық жабдықты жөндеу» және «Электрлі және электромеханикалық жабдықты техникалық пайдалану, қызмет көрсету және жөндеу» мамандықтары үшін «Электрлі машиналар» пәнінің оқу бағдарламаларына сәйкес жазылған.

Кітап теория негіздерін, құрылымдар сипаттамасын және трансформаторлар мен электрлі машиналардың пайдаланушылық қасиеттерін талдауды қамтиды. Сонымен қатар онда тапсырмаларды шешу мысалдары берілген, ол сөзсіз зерттелетін сұрақтарды жақсы түсінуге септігін тигізеді.

Оқулықта материалды баяндаудың келесі тәртібі қабылданды: трансформаторлар, асинхронды машиналар, синхронды машиналар, коллекторлық машиналар. Мұндай реттілік курсты игеруді жеңілдетеді және электрлі машина құрылысының заманауи жағдайы мен үрдісіне толығымен жауап береді. Жалпы арналымдағы электрлі машиналармен қатар оқулықта арнайы тағайындалымдағы электр машиналары мен трансформаторлардың кейбір түрлері қарастырылған, құрылымдық орындалуының ерекшеліктерін сипаттаумен электрлі машиналардың заманауи серияларының техникалық деңгейі бойынша деректер келтірілген. Оқулықта қарастырылып отырған құрылғылардың жұмысын анықтайтын құбылыстар мен процестердің физикалық болмысын ашуға көңіл бөлінген.

Кітапта қабылданған материалды баяндау әдіснамасы «Электрлі машиналар» пәнін оқыту көп жылдық тәжірибесіне негізделген.

В.1. Электрлі машиналар мен трансформаторлардың арналымы

Электрлендіру — энергетикалық жүйелерге жоғары вольтты электрлі желілерімен біріктірілген қуатты электр станцияларында өндірілетін электр қуатын өнеркәсіп, ауыл шаруашылығы, көлік пен тұрмысқа кеңінен енгізу.

Электрлендіру электротехникалық өнеркәсіппен дайындалатын құралдар арқылы жүзеге асырылады. Осы өнеркәсіптің негізгі саласы **электр машина құрылысы** болып табылады, ол электр машиналары мен трансформаторларды әзірлеу және дайындаумен айналысады.

Электр машинасы механикалық және электрлі энергиясын өзара қайта түзуді жүзеге асыратын электромеханикалық құрылғыны білдіреді. Электр қуаты механикалық энергияны электр энергиясына түзетін электр машиналары – генератормен электр станцияларында өндіріледі.

Электр қуатының негізгі бөлігі (80 % дейін) жылу электр станцияларында өндіріледі, онда химиялық отынды (көмір, торф, газ) жағу кезінде су жылынып, жоғары қысымды буға айналады. Соңғысы бу турбинасына жіберіледі, онда кеңейе отырып, турбина роторын айналдырады (турбинадағы жылу энергиясы механикалыққа айналады). Турбина роторының айналуы генератор білігіне жіберіледі (турбогенератор). Генераторда болатын электромагнитті процестер нәтижесінде механикалық энергия электрліге айналады.

Атом электр станцияларында электр қуатын өндіру процесі жылу электр станцияларындағы процеске ұқсас, айырмашылығы тек химиялық отынның орнына ядролық отын пайдаланылады.

Гидравликалық электр станцияларында электр қуатын өндіру процесі келесіде; плотинамен белгілі деңгейге көтерілген су гидротурбинаның жұмыс дөңгелегіне жіберіледі; мұнда алынатын механикалық энергия турбина дөңгелегінің айналуы арқылы электрлі генератор білігіне (гидрогенератор) жіберіледі, онда механикалық энергия электр қуатына өтеді.

Электр энергиясын тұтыну процесінде оның энергияның басқа түрлеріне (жылу, механикалық, химиялық) өтуі де жүреді. Шамамен электр энергияның 70 % станоктарды, механизмдерді, көлік құралдарын қозғалысқа келтіруге, яғни оны механикалық энергияға түзілу үшін пайдаланылады. Бұл түзілімдер электр машиналары – *электр қозғалтқыштарымен* жүзеге асырылады.

Электр қозғалтқышы – жұмыс машиналарының электр жетегінің негізгі элементі. Электр энергиясының жақсы басқарылуы, оны үлестіру қарапайымдығы өнеркәсіпте көп қозғалтқышты электр машиналарының электр жетегін пайдалануға кең мүмкіндік берді, онда жұмыс машинасының жеке буындары өзіндік қозғалтқыштармен жүзеге асырылады. Көп қозғалтқышты жетек жұмыс машинасының механизмін қарапайым етеді (машинаның жеке буындарын байланыстыратын механикалық жіберіліс саны азаяды) және түрлі технологиялық процестерді автоматтандырудың үлкен мүмкіндіктерін жасайды. Электр қозғалтқыштар электровоз, электропоезд, троллейбустардың және т.б. дөңгелекті буын айналдыруға әкелетін тартқыш қозғалтқыш ретінде көлікте кеңінен пайдаланылады.

Соңғы уақытта қуаты аз электрлі машиналарды қолдану барынша өсті – яғни ширектен бірнеге жүзге дейінгі қуаттағы микромашиналар. Мұндай электрлі машиналарды құралдық құрылғыда, автоматтандыру құралдарында және шаңсорғыш, тоңазытқыш, желдеткіш секілді тұрмыстық техникада пайдаланады. Бұл қозғалтқыштардың қуаты үлкен емес, құрылымы қарапайым және сенімді және көп мөлшерде дайындалады.

Электр станцияларында өндіретін электр энергиясын оны тұтынуы орындарына, ең алдымен іші өнеркәсіптік орталық елдеріне, олар қуатты электр станцияларынан жүздеген, кейде мыңдаған километрге дейін қашықта орналасқан. Алайда электр қуаты жіберу жеткіліксіз. Оған түрлі тұтынушыларды – өнеркәсіптік мекемелері, тұрғын ғимараттары арасында үлестіріп беру керек. Электр қуатын үлкен қашықтықтарға жоғары кернеуде жіберу (500 кВт және одан артық) жүзеге асырылады, сол арқылы электр жіберіліс желілерінде минималды электрлі шығындар қамтамасыз етіледі. Сондықтан электр қуатын жіберу және үлестіру кезінде бірнеше рет кернеуді көтеру және төмендету керек. Бұл процесс *трансформатор* деп аталатын электромагнитті құрылғылар арқылы орындалады. Трансформатор электрлі машина емес, себебі оның жұмысы электр энергиясын механикалыққа немесе керісінше түзуге байланысты емес. Трансформаторлар электр энергиясының кернеуін ғана түзеді. Сонымен қатар трансформатор – бұл статикалық құрылғы және онда ешқандай қозғалмалы бөлшектер жоқ. Алайда трансформаторларда болатын электромагнитті процестер электрлі машиналарда өтетін процестерге ұқсас. Тіпті, электр машиналары мен трансформаторларға магнитті өрістің және тогы бар өткізгіштің өзара әсерлесуі кезінде туындайтын электромагнитті және энергетикалық процестердің бірыңғай табиғаты тән.

Электрлі машина жұмысының теориялық негіздері 1821 жылы электр энергиясын механикалыққа түзу мүмкіндігін белгілеген және электрқозғалтқышының алғашқы үлгісін құрған М.Фарадеймен ашылды. Электрлі машиналардың дамуында ғалым Д.Максвелл мен Э.Х.Ленцтың жұмыстары маңызды болды. Электрлі және механикалық энергияны өзара түзу идеясы танымал орыс ғалымдары Б.С.Якоби және М.О.Доливо-Добровольскийдің жұмыстарында дамуын тапты, олар практикалық пайдалану үшін жарамды электр қозғалтқыштарынын әзірлеп, құрды.

Трансформаторларды құру мен олардың практикалық қолданылуында үлкен еңбек тамаша орыс өнертапқышы П.Н.Яблочковқа тиесілі. XX ғасырдың басында электрлі машиналар мен трансформаторлардың негізгі түрлері мен теория негіздеріне құрылған болатын.

Қазіргі уақытта отандық электр машина құрылысы үлкен табысқа жетті. Ары қарайғы ілгерілеуді өнеркәсіптік құрылғылары мен тұрмыстық техника бұйымдары үшін электр жетек құрылғысын шынайы әзірлеуде электр техникасының жетістіктерін практикалық енгізуде негізгі міндет ретінде анықтайды. Ғылыми-техникалық прогрестің басты міндеті техникалық қайта жабдықтау мен құрылысты қайта құру. Осы міндетті шешудегі үлкен роль электрлендіруге бөлінеді. Мұнда энергия көздеріне артып келе жатқан экологиялық талаптарды ескеру керек және сонымен қатар дәстүрлімен бірге күн, жел, теңіз толқыны, термальды көздерін пайдалана отырып, электр энергия өндірісінің экологиялық таза (баламалы) әдістерін дамыту керек.

Ғылыми-техникалық даму жағдайында шығарылатын электрлі машиналар мен трансформаторлардың сапасының артуымен байланысты жұмыстар үлкен мәнге ие болуда. Бұл міндетті шешу халықаралық экономикалық серіктестікті дамытудың маңызды құралы болып табыады. Тиісті ғылыми мекемелер мен өнеркәсіптік мекемелер Ресейде шығарылатын өнімнің экономикалық көрсеткіштері мен сапасына заманауи талаптарын қанағаттандыратын электрлі машиналар мен трансформаторлардың жаңа түрлерін құру бойынша жұмыстар жүргізуде.

В.2. Электрлі машиналар —электромеханикалық энергия түрлендірушілер

Электрлі машиналарды игеру «Электротехниканың теориялық негіздері» курсында баяндалатын электрлі және магнитті құбылыстардың физикалық болмысын білуге негізделген.

В.1-сурет. «Элементарлы генератор (а) және «элементарлы қозғалтқыш» туралы ұғымдарына (б)

Сондықтан «Электрлі машиналар» курсын бастамас бұрын электр машиналарының әрекет ету принципі негізінде жатқан, ең алдымен, электромагнитті индукция заңы негізінде жатқан кейбір заңдар мен құбылыстардың физикалық мәнін түсінейік.

Электр машинасының жұмыс процесінде генератор режимінде механикалық энергия электр энергиясына көшеді. Бұл процесс негізінде *электромагнитті индукция* жатыр: егер F сыртқы күшін магнитті өріске енгізілген өткізгішке әсер етсе және оның орнын ауыстырса (В.1-суреті), мысалы, солдан оңға қарай B магнитті өрістің перпендикуляр векторымен v жылдамдығымен жүргізсе, онда өткізгіште электр қозғалтқышты күш (ЭҚК) жүргізіледі.

$$E = Blv, \quad (B.1)$$

мұнда B — магнитті индукция, Тл; l — өткізгіштің белсенді ұзындығы, яғни оның магнитті өрісте орналасқан ұзындығы, м; v — өткізгіштің қозғалу жылдамдығы, м/с.

ЭҚК бағытын анықтау үшін «оң жақ қолы» ережесін қолдану керек (В.2, а-суреті). Бұл ережені қолданып, ЭҚК өткізгіштегі бағытын анықтаймыз («бізден»).

Егер өткізгіш ұшраты сыртқы кернеуге R (тұтынушы) тұйықталса, онда ЭҚК әсерімен E өткізгіште дәл сол бағытта ток пайда болады. Осылайша, магнитті өрістегі өткізгіш бұл жағдайда механикалық энергиясы өткізгішті v жылдамдығымен орнын ауыстыруға шығындалады.

а б

В.2-сурет. «Оң жақ қол» (а)
және «сол жақ қол» (б) ережелері

Токтың I магнитті өріспен әсерлесу нәтижесінде өткізгішке әсер ететін электромагнитті күш туындайды:

$$F_{эм} = BIl. \quad (B.2)$$

F_x күштің бағынын «сол жақ қол» ережесі бойынша анықтауға болады (B.2, б-сурет). Қарастырылып отырған жағдайда бұл күш оңнан солға қарай бағытталған, яғни өткізгіш қозғалысына қарсы. Осылайша, қарастырылып отырған элементарлы генераторда $F^\wedge$ күш F қозғалтқыш күшіне қарағанда тежегіш болып табылады. Өткізгіштің біртекті қозғалысы кезінде бұл күштер тең, яғни $F = F_{эм}$. Теңдеудің екі бөлігін v өткізгіш жылдамдығына көбейту арқылы аламыз:

$$Fv = F_{эм}v.$$

Оны (B.2)-ден $F^\wedge$ мәнінің өрнегіне салсақ, аламыз:

$$Fv = BIlv = EI. \quad (B.3)$$

Теңдеудің сол жағы (B.3) магнитті өрісте өткізгіштің орын ауыстыруына жұмсалатын механикалық қуаттың мәнін анықтайды; оң жағы – I электр тогымен контурда бекітіліп дамушы электр қуатының мәні. Теңдік мәні осы бөліктер арасында генератордағы сыртқы күшпен жұмсалатын Fv механикалық қуат электр EI түзіледі.

Егер сыртқы күшті F_k өткізгішке салмаса, ал электр энергиясы көзінен оған U кернеуді B.1с-суретте көрсетілген бағыты бар өткізгіште I ток иеленсе, онда өткізгішке электромагнитті күш $F^\wedge$ қана әсер етеді. Бұл күштің әсерімен өткізгіш магнитті өрісте қозғала бастайды. Мұнда өткізгіште ЭҚК кернеуге U қарсы бағытта индукстеледі. Осылайша, өткізгішке тіркелген U кернеудің бөлігі осы өткізгіште жүргізілген ЭҚК E теңестіріледі, ал басқа бөлігі өткізгіштегі құлауды құрайды:

$$U = E + Ir, \quad (B.4)$$

мұнда r — өткізгіштің электрлі кернеуі.

Теңдеудің екі бөлігін де I токқа көбейту арқылы аламыз:

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

E орнына (B.1) ЭҚК мәнін қоямыз, аламыз:

$UI = BIlv + I^2 r$, немесе (B.2) ескере отырып, аламыз:

$$UI = F_{эм}v + I^2 r. \quad (B.5)$$

Бұл тендеуден шығатыны, электр қуаты (UI), өткізгіштен желіге түседі, жартылай механикалық($F\Delta v$), ал жартылай өткізгіштегі (I^2R) электрлі шығындарды жабуға жұмсалады. Бұдан шығатыны тогы бар өткізгіш магнитті өрісте орналастырып, элементарлы электр қозғалтқышы ретінде қарастыруға болады.

Сипатталған құбылыстар келесідей қорытынды жасауға мүмкіндік береді:

а) кез келген электр машинасы үшін электр өткізетін ортаның (өткізгіш) және өзара орналасу мүмкіндігі бар магнитті өрістің болуы міндетті;

б) электр машинасының генератор режимінде де, қозғалтқыш режимінде де жұмысы кезінде магнитті өрісте қиылысатын өткізгіштегі ЭҚК индукциясы және одан электр тогы өткен кезде магнитті өрісте орналасқан өткізгішке әсер ететін өткізгішке әсер ететін механикалық күштің пайда болуы;

в) электр машинасында механикалық және электр энергиясының өзара түзілуі кез келген бағытта жүре алады, яғни бір электр машинасы қозғалтқыш режимінде де, генератор режимінде де жұмыс жасай алады; электрлі машиналардың бұл қасиетін *қайтымдылық* деп атайды.

Қарастырылған «элементарлы» электр генераторы мен қозғалтқыш оларда электр тогының құбылыстары мен заңының пайдалану принципі ғана бейнелейді. Құрылымдық орындауға қатысты келсек, онда көпшілік электр машинасы қозғалмалы бөлігінің айналу қозғалысы негізінде құрылған. Электр машиналарының құрылымдарының әр түрлілігіне қарамастан электр машинасының жалпыланған құрылымын бейнелеу мүмкін екен. Мұндай құрылым (В.3-суреті) қозғалмайтын бөліктен 1, статор деп аталады және айналатын 2 ротор бөлігінен тұрады. Ротор статордың ұштамасында орналасқан және әуе саңылауымен бөлінген. Машинаның көрсетілген бөлшектерінің бірі машинада магнитті өрісті қоздыратын элементтермен жабдықталған (мысалы, электромагнит немесе тұрақты магнит), ал екіншісінің – айналмасы бар, ол шартты машинаның жұмыс айналмасы деп аталады. Машинаның қозғалмайтын бөлігі (ротор), қозғалмалы бөлігі (ротор) өзектері бар, магнитті-жұмсақ материалдан орындалған және шағын магнитті кернеу бар.

Егер электр машинасы генератор режимінде жұмыс жасайтын болса



В.3-сурет. Электр машинасының жалпыланған құрылымдық сызбасы.

ротордың айналуы кезінде (жетекті қозғалтқыш әсерімен) жұмыс айналмасының өткізгіштерінде ЭҚК беріледі және тұтынушыны қосқан кезде электр тогы пайдаболады. Мұнда жетекті қозғалтқыштың механикалық энергиясы электрліге айналады. Егер машина электр қозғалтқышы ретінде жұмыс жасауға арналса, онда машинаның жұмыс айналмасы желіге қосылады. Мұнда осы айналмада туындаған ток магнитті өріспен әсерлеседі және роторда электромагнитті күштер пайда болады, олар роторды қозғалысқа келеді. Мұнда электр энергиясы желіден қозғалтқышпен тұтынылып, қандай да бір механизм, станок, көлік құралын іске қосуға шығындалатын механикалық энергияға айналады. Сонымен қатар электр машиналардың құрылымдары оларда жұмыс айналмасы статорда орналасқан, ал магниттік өрістерді тудыратын элементтер роторда орналасқан. Машинаның жұмыс жасау принципі бұрынғыша қалады. Электр машиналардың қуатының диапазоны кең – ширек ваттан жүз мың киловатқа дейін созылады.

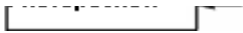
В.3. Электрлі машиналардың жіктелуі

Электр машиналарын генератор және қозғалтқыш ретінде пайдалану олардың басты арнылымы болып табылады, себебі тек қана электрлі және механикалық энергияны өзара түзу мақсатымен байланысты. Алайда электр машиналарын қолдану техниканың түрлі салаларында өзге мақсаттары да болуы мүмкін. Мәселен, электр қуатын тұтынуы көп жағдайда ауыспалы токтың тұрақтыға немесе өнеркәсіптік жиіліктегі токтың жиілігі жоғары токқа өтуімен жүреді. Осы мақсаттарда *электромашиналы түзушілер* пайдаланылады.

Электр машиналары сонымен қатар электр сигналдарының қуатын күшейту үшін де пайдаланады. Мұндай электрлі машиналарды электромашиналы күшейткіштер деп атайды. Электр энергиясын тұтынушыларға қуат коэффициентін арттыру үшін пайдаланылатын электр машиналарды синхронды өтемдеуішлар деп атайды. Ауыспалы токтың кернеуін реттеуге қызмет ететін электр машиналарын индукциялық регуляторлар деп атайды.

Автоматика құрылғыларында микромашиналарды пайдалану алуан түрлі. Мұнда электрлі машиналар тек қозғалтқыш ретінде ғана емес, тахогенератор (айналу жиілігін электр сигналына түзу үшін), сельсин, айналмалы трансформатор (біліктің айналу бұрышына пропорционал электр дабылын алу үшін) ретінде де пайдаланады.

Келтірілген мысалдардан электрлі машиналар арналымы бойынша қаншалықты алуан түрлі екені көрініп тұр.



В.4.-сурет. Электрлі машиналарды жіктеу

Электрлі машиналардың әрекет ету принципі бойынша жіктелуін қарастырайық, оған сәйкес барлық электрлі машиналар коллекторсыз және коллекторлы болып бөлінеді, олар әрекет ету принципі және құрылымы бойынша әр түрлі. Коллекторсыз машиналар – бұл ауыспалы ток машиналары. Олардың синхронды және асинхронды деп бөледі. Асинхронды машиналар көбін қозғалтқыш ретінде пайдаланады, ал синхрондыны – қозғалтқыш ретінде және генератор ретінде де пайдаланады.

Коллекторлық машиналар басты түрде тұрақты токта генератор немесе қозғалтқыш ретінде пайдаланады. Тек шағын қуаттағы коллекторлық машиналар әмбебап қозғалтқыш ретінде жасайды, яғни тұрақты және айнымалы тоқтың да желісінен жұмыс жасай береді.

Бір әрекет принципіндегі электрлі машиналар қосылу сызбаларымен немесе осы машиналардың пайдаланушылық қасиеттеріне әсер ететін өзге белгілері бойынша ажыратыла алады. Мысалы, асинхронды немесе синхронды машиналар үш фазалы (үш фазалық желіге қосылатын) немесе бір фазалы болуы мүмкін.

Синхронды машиналар роторды айналдыру құрылымына сәйкес қысқа тұйықталу роторы немесе фазалық роторға бөлінеді.

Тұрақты токтағы синхронды және коллекторық машиналар онда магнитті өрістің құрылу әдісіне қарай қоздыру айналмасы бар машинаға және тұрақты магниті бар машиналарға бөледі. В.4-суретте электрлі машиналарды жіктеу диаграммасы берілген, ол заманауи электрлі жетекте қолданыс тапқан олардың негізгі түрлерін қамтиды. Дәл осы жіктелу «Электрлі машиналар» курсына оқытуға негіз болған.

Бұл курс электрлі машиналардан бөлек трансформаторларды игеруді қарастырады. Трансформаторлар ауыспалы ток энергиясын статикалық түзуші болып табылады. Қандай да бір айналу бөлшектерінің болмауы трансформаторға электрлі машиналардан ерекшелейтін құрылым береді. Алайда трансформатордың әрекет ету принципі электрлі машиналардыкі секілді электромагнитті индукция құбылысына негізделген және сондықтан трансформаторлар теориясының көптеген ережелері ауыспалы токтың электрлі машиналарының негізін құрайды.

Электрлі машиналар мен трансформаторлар – кез келген энергетикалық жүйенің немесе қондырғының элементтері, сондықтан электрлі машиналар өндірісі немесе пайдалануы саласында жұмыс істейтін мамандар үшін жұмыс кезінде электрлі машиналарда және трансформаторларда өтетін электромагнитті, механикалық және жылулық болмысын түсіну мен теориясын түсінуді қарастырады.

Бірінші бөлім

ТРАНСФОРМАТОРЛАР

Трансформаторлар электр энергиясын жіберу және үлестіру жүйелерінде кеңінен қолданылады. Алыс қашықтықтарға электр қуатын жіберу жоғары кернеуде (500 кВ және одан артық) жүзеге асырылатыны белгілі, соның арқасында электр жіберілісі желісінде электр шығындары азаяды. Генераторда осындай жоғары кернеуді алу мүмкін емес, сондықтан генератордан кейінгі электр энергиясы арттырушы трансформаторға жіберіледі, онда кернеу қажетті мәніне дейін көтеріледі. Бұл кернеу электр жіберілісі желісі ұзарған сайын және осы желі арқылы көп қуат берілген сайын жоғары болу керек. Мысалы, қуаты 10^6 кВт 1000 км қашықтыққа электр энергиясын жіберу кезінде 500 кВ кернеу қажет. Электр энергиясын үлестіру орнында тұтынушылар арасында төмендететін трансформаторлар орнатады, ол қажетті мәнге дейін төмендетеді. Және соңында, электр энергиясын тұтыну орнында кернеуді тағы бір рет трансформаторлар арқылы 220, 380 және 660 В дейін төмендетеді. Мұндай кернеу электр энергиясы тікелей тұтынушыларға мекеме жұмыс орындары мен тұрғын жайларға беріледі.

Осылайша, ауыспалы токтың электр энергиясы электр станциясынан тұтынушыларға жіберілген кезде үш, кейде төрт рет трансформацияға ұшырайды. Осы негізгі қолданудан басқа трансформаторлар түрлі электр қондырғыларда – электр жетекті, жылыту пештерінде пайдаланылады.

1 тарау.

ТРАНСФОРМАТОРДЫҢ ЖҰМЫС ПРОЦЕСІ

1.1. Трансформаторлардың арналымы мен қолдану аясы

Екі (немесе одан артық) индуктивті байланысқан орамы бар және ауыспалы токтың бір (бірінші) электромагнитті индукциясының ауыспалы токтың екінші (екінші) жүйесіне

құбылыс арқылы түзілуге арналған статикалық электромагнитті құрылғыны трансформатор деп атайды.

Жалпы жағдайда ауыспалы токтың екінші жүйесі біріншіден кез келген өлшемдері бойынша ерекшелене алады: кернеу және ток, фаза санымен, кернеу (ток) кестесінің пішінімен, жиілік мәнімен ерекшелене алады. Электрлі қондырғыларда ең үлкен қолданысты, сонымен қатар электр энергиясын жіберудің және таратудың энергетикалық жүйелерінде күштік трансформаторлар болады, олар арқылы ауыспалы кернеу мен токтың мәндері өзгереді. Мұнда фазалардың, кернеу (ток) кестесінің пішіні және жиілігі өзгеріссіз қалады.

Трансформаторлар жалпы арналымдағы күштік трансформаторларға және арнайы арналымдағы трансформаторларға бөлінеді. Жалпы арналымдағы күштік трансформаторлар энергияны жіберу және тарату желілерінде, сонымен қатар қажетті кернеуі бар түрлі электр қондырғыларында пайдаланылады. Арнайы арналымдағы трансформаторлар жұмыс қасиеттері мен құрылымдық орындаудың алуан түрлілігімен сипатталады. Бұл трансформаторларға пеш және автоматика құрылғыларына арналған балқыту трансформаторлары (пик-трансформаторлар, импульсты, жиілікті көбейткіш және т.б.), сынау, өлшеу трансформаторлары жатады.

Бұл тарауды оқыған кезде арнайы арналымдағы трансформаторлардың кейбір түрі қарастырылған 5-бөлімді қоспағанда арнайы арналымдағы күштік трансформаторларды назарда ұстаймыз.

1.2. Трансформатордың әрекет ету ұстанымы

Қарапайым күштік трансформатор ферромагнитті материалдан дайындалған (әдетте жапырақты электро техникалық болат) магниттік жетектен (өзек) және магнитті жетектің ортасында орналасқан екі айналмадан (1.1.а-сурет) құралған. Бірінші деп атайтын айналмалардың бірі G (генератору) ауыспалы токтың көзіне U_1 . Кернеуіне қосылған. Өзге айналмаға

а

б

ол екінші деп аталады, $Z_{\text{н}}$ тұтынушы қосылған. Трансформатордың бірінші және екінші айналмалары бір-бірімен электрлібайланыспаған және бір айналма қуаты екіншісіне электромагнитті жолмен жіберіледі. Осы айналмалар орналасқан магнитті жетек айналмалар арасында индуктивті байланысты арттыру үшін қызмет етеді.

Трансформатордың әрекеті электромагнитті индукция құбылысына негізделген. Бірінші айналманы ауыспалы ток көзіне осы айналма иірімінде қосу ауыспалы i_1 токқа өтеді, ол магнитті желіде ауыспалы магниттік Φ ағын құрайды.

Магниттік жетекте тұйықтала отырып, бұл ағын екі айналмамен (бірінші және екінші) тіркеледі және онда ЭҚК индуктеледі: бірінші айналмада – ЭҚК өзіндік индукциясы

$$e_1 = -w_1 (d\Phi / dt), \quad (1.1)$$

екінші айналмада — ЭҚК өзара индукциясы

$$e = -w_2 (d\Phi/dt), \quad (1.2)$$

мұнда w_1 және w_2 — трансформатордың бірінші және екінші айналма иірімдерінің саны.

Жүктемені $\gamma_{\text{н}}$ трансформатордың екінші айналмасының шығысына қосқан кезде ЭҚК e_2 әсерімен айналма тізбегінде i_2 тогы құрылады, ал екінші айналма шығысында U_2 кернеуі орнатылады. Көтеретін трансформаторларда $U_2 > U_1$, ал төмендеушіде $U_2 < U_1$.

(1.1) және (1.2) көрінгендей, трансформатор айналмаларында әкелінетін ЭҚК e_1 және e_2 бір-бірінен айналмаларындағы w_1 и w_2 иірімдер саны әртүрлі болуымен ерекшеленеді, сондықтан қажетті иірім саны бар айналманы қолдана отырып, кернеудің барлығы дерлік қатынастарына трансформатор дайындауға болады.

Желіге үлкен кернеумен қосылған трансформатор айналмасын жоғары кернеу (ЖК) айналмасы деп атайды; азырақ кернеумен желіге қосылған айналма – төмен кернеу (ТК) айналма деп аталады.

1.1, б-суретте қалыпты электрлі сызбалардағы бір фазалы трансформатордың шартты бейнесі берілген.

Трансформаторлар қайтымдылық қасиетіне ие: бір трансформаторды жоғарылатушы және төмендетуші ретінде қарастыруға болады. Бірақ әдетте трансформатордың белгілі мәні бар: немесе ол жоғарылатушы, немесе –төмендетуші.

Трансформатор — бұл ауыспалы ток аппараты. Егер оның бірінші айналмасын тұрақты ток көзіне қосса, онда магнитті ағын трансформатордың магниттік жетегінде көлемі және бағыты бойынша тұрақты ток болады $[(d\Phi/dt) = 0]$,

Сондықтан трансформатордың айналмаларында ЭҚК жүргізіледі, ал тиісінше бірінші тізбектің электр энергиясы екіншісіне жіберілмейді. Трансформаторлар бірнеше түрі бойынша жіктеледі: арналымы – күштік және арнайы арналым, импульсты, жиілікті түзіуші және т.б. Салқындату түрі бойынша-әуе (құрғақ трансформаторлар) және май (май трансформаторлары) салқындатумен (1.3.қараңыз); Трансформацияланатын фазалардың саны бойынша – бір фазалы және үш фазалы; Магнитті жетек формасы бойынша - өзекті, бронды, брон өзекті, тор тәрізді; Фазаға айналма саны бойынша – екі айналмалы, көп айналмалы.

1.3. Трансформатор құрылысы

Заманауи трансформатор түрлі құрылымдық элементтерден құралған: магнитті жетек, кірістері, бак және т.б. Оның өзегінде орналасқан магнитті жетек трансформатордың белсенді бөлігін құрайды. Трансформатордың қалған элементтері белсенді емес (көмекші) бөліктер деп атайды. Трансформатордың негізгі бөліктерінің құрылымын қарастырамыз.

Магнитті жетек трансформаторда екі қызмет атқарады: біріншіден, ол магнитті тізбек құрайды, ол бойынша тұйықталады

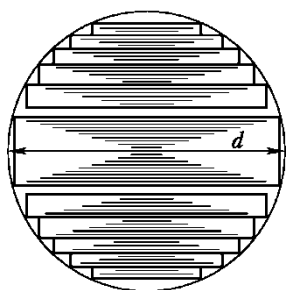
a



б

1.2.-сурет. Айналмасы бар өзекті түріндегі үш фазалы трансформатордың магнитті жетегі

трансформатордың негізгі магнитті тогы, екіншіден, айналманы, ауыстырғыштарды *а* және *б* бекітуге арналған. Магнитті



рылымы бар, яғни ол ын үлдірмен (мысалы, электротехникалық жасалған (әдетте Осындай магнитті октарды әлсіретуге магнитті ағынымен форматордағы энергия тталады.

ар үш типтегі магниті жетекпен орындайды:

өзектік, брондық және брондық-өзектік.

Өзектік түріндегі магнитті жетекте (1.2., а-суреті) тігінен өзектер 1, онда айналмалар орналасқан 2, үстінен және астынан бұғаумен бекітілген. Әр өзекте тиісті фазаның айналмалары орналасқан, осы фазаның магнитті ағыны өтеді: шеткі өзектерінде - Φ_A және Φ_C ағындары, ал орта өзекте - Φ_B ағын. 1.2.,б суретте магнитті жетектің сыртқы көрінісі берілген. Мұнда өзектерінің қимасы сатылы, домалаққа *d* (1.3-сурет). диаметрімен енгізіледі.

Үлкен қуаттағы трансформаторлардың өзектері көп сатылары бар, ол айналма ішіндегі алаңынан болатпен толтыруға жақсы мүмкіндік береді. Жылу беруді жақсарту үшін

1.3-сурет.

Трансформатор өзектерінің қима пішіні: *a* — кіші және орта қуаттағы; *б* — үлкен

a

б



1.4-сурет. Брондық типтегі бір фазалы трансформатор:

1.5.-сурет. Бронды өзекті трансформаторлардың магнитті жетегі::

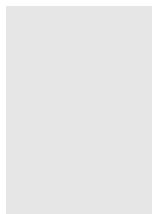
кейде жеке өзектің пакеттері арасында ені 5-6 мм болатын әуе саңылауын қалдырады, олар желдету арнасының қызметін атқарады.

Брондық типтегі магнитті жетек өзегі және бұғауы бар тармақталған құрылысты білдіреді, жартылай айналмаларды жауып (брондап) тұрады (1.4.-сурет). Брондық типтегі магнитті жетек өзегінде магниттік ағын бұғауға қарағанда екі есе артық, әрқайсысының өзегінен екі есе аз кесіндісі бар. Брондық типтегі магнитті жетекші дайындаудың технологиялық күрделілігінен кең қолданыс таппаған, оларды тек қуаты аз күштік трансформаторларда пайдаланады (радиотрансформаторлар).

Қуаты үлкен трансформаторларда магнитті жетектің брондық өзектік құрылымын пайдаланады (1.5.-сурет), ол электротехникалық болаттың көп шығынын қажет етсе де, магнитті жетек биіктігін азайту ($J_{BC} < C J_c$), бұдан шығатыны трансформатор биіктігін де азайту мүмкіндігін береді. Бұл трансформаторды тасымалдау кезінде үлкен маңызға ие.

Өзектерді бұғауымен байланыстыру әдісі бойынша өзекті магнитті жетектің жапсарлы және дестеленген құрылымын ажыратады (1.6-сурет).

а



б

Жапсарлы құрылымы кезінде а-сурет) өзек пен бұғауы бөлек жинайды, өзек айналасына орнатады, содан кейін үстіңгі және астыңғы бұғауы, өзегі мен бұғауының беттерін өзара жапқан кезде туындайтын иірімді токты әлсірет мақсатында қақтығысушы элементтер арасында окшаулау төсемелерін алдын-ала салады. Екі бұғауды орнатқан соң барлық құрылым сығылып, тігінен түйреуіштермен тартады.

1.6-сур. Магнитті жетектердің жапсарлы (я) және дестеленген (б) магнитті жетек құрылымдары

Жапсарлы құрылым магнитті жетекші жинауды жеңілдетсе де, тарту құралдарының ауырлығы және жапсарлану жігінде магнитті кернеуді азайту үшін жапсарланатын беттерінің механикалық өңдеу қажеттілігі салдарынан күш трансформаторларында кең қолданыс таппаған.

Сәйкессіздік аймағы

a

б

1.7-сурет. «Сәйкессіздік аймағы» тікелей (*a*) және қиғаш (*б*)

Күштік трансформаторлардың магнитті жетек дестеленген құрылымы 1.6.б.-суретте көрсетілген, өзектері мен бұғауларды орамға қабатпен жинайды. Әдетте 2-3 табақты қамтиды. Қазіргі уатыққа күштік трансформаторлардың магнитті жетектерін суық тігілген текстураланған электротехникалық болаттан жасалады, оның магниттік қасиеттері табағын жазу бойымен көлденеңге қарағанда жақсырақ. Сондықтан дестеленген құрылымда 90° бұрылу жерлерінде прокатка бағытның магнитті ағынымен сәйкеспейтін жерлері кездеседі. Бұл учаскелереде магнитті кернеу мен магнитті жоғалтудың артуы байқалады. Бұл құбылысты әлсірету мақсатында шеттері қиғаш дестелеу пластиналары (жолақтары) қолданылады. (1.7, *a*.сур.) Қиғаш жапсар шығады, (1.7, *б* сур.), оның сәйкес келмейтін аймағы аздау Дестеленген құрылымды магниті жетектерінің кемшілігі жинау қиындығы себебі айналма орнатпаларына өзектерін дестелеу керек, сосын орнатпаларды қайта дестелеу керек. Магнитті жетектердің өзектерін босақ кетпеу үшін сығымдайды. Әдетте мұны бандаж өзегіне шыны лентасын немесе болат сымнан жасайды. Болат бандаж оқшаулау жүгенінен жасайды, ол өзекте болат иірімдердің пайда болдырмайды. Бандажды тегіс, белгілі тартумен салады.

Бұғауды 3 сығу және өзекпен байланысу жерін сығу 1бұғау балкаларын 2 пайдаланады, олар шеткі өзектен шығатын жерінде (1.8-сурет), түйреуішпен тартады.



1.8-сурет. Сығылған бұғау



1.9. –сурет.Лентал кеспелі
магнитті жетек

1.10-сурет.
Трансформаторлардың концентрлік (а)
және дискілік (б) айналмасы

Трансформатор жұмысы кезінде металл бөлшектер арасында потенциалдың айырмашылығын болдырмау үшін, ол осы бөліктерді бөлетін оқшаулау аралықтарынан туындауы мүмкін, магнитті жетек және оны бекіту бөлшектерін міндетті жерсіндіреді. Жерсіндіру мыс ленталармен жүзеге асырылады, ол бір ұшымен магниттіболат жетектер арасында екінші ұшымен бұғау балкаларына бекітіледі.

Қуаты аз трансформаторлардың магнитті жетектері (әдетте қуаты 1кВа артық емес) көп жағдайда электротехникалық суық қанатты болаттан өру арқылы дайындалады. Мұндай магнитті жетектерді кесінділейді (1.9.-сурет), ал айналмаларды орнатқан соң істікке жинап, арнайы қамыттармен орайды.

Орта және шағын қуаттағы трансформатордың айналмаларды мақта-қағаз жіппен немесе кабельді қазағбен оқшауланған айналманемесе тіктөртбұрыш кесіндідегі айналма сымдарынан орындайды. Көп жағдайда негізгі айналма болып қағазды-бакелитті цилиндр табылады, оған механикалық және электрлі беріктікті қамтамасыз ететін элементтер бекітіледі (рейка, бұрыштық шайба және т.б.).

Өзара орналасу бойынша айналма өзегінде концентрлік және кезектесуші болып бөлінеді.

Концентрлік айналмалар өзегінде концентрлі орналастын цилиндр түрінде орындалады: өзегіне жақындатып әдетте НН айналмасын (өзегінен оқшаулаудыз талап ететін), ал сыртынан ВН айналмасы (1.10, а-сурет).

Кезектелуші (дискілік) айналмаларды НН және ВН секілді дискілер түрінде орындайды, өзекке кезектестіріп орналастырады. (1.10, б-сурет). Оларды сирек, кейбір арнайы арналымдағы трансформаторларда пайдаланады.

Концентрлік орам құрылым бойынша бірнеше типке бөлінеді.



6

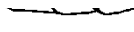
1.11-сурет. Концентрлік айналма құрылымдары:

a — цилиндрлі; *б* — бұрандалы; *в* — үздіксіз

1. Цилиндрлі бір қабатты немесе екі қабатты айналмалар тіктөртбұрыш қимасындағы сымнан (сурет. 1.11, *a*) бастапқы ток 800 А болғанда НН айналмасы ретінде пайдаланады;

2. Бұрандалы бір немесе көп жүрісті айналмалар тік төртбұрыш қимасынан параллель бірнеше сымнан жасайды. Мұнда иірімдер бұранда желісімен бір немесе бірнеше жүріспен салынады (сурет 1.11, *б*). параллель өткізгіштер бірдей токпен қамтылуы үшін бұл өткізгіштердің орналасуын алмастырады. Транспозиция кезінде бір иірім аясында әр өткізгіш барлық қалыпты ұстанғанын қалайды. Транспозиция топтық бола алады (сурет. 1.12, *a*), параллель сымдар екі топқа бөлінеді және орнын ауыстыру топтармен жүзеге асырылады және жалпы, барлық сымдардың өзара орналасуы ауысқан кезде. (сурет. 1.12, *б*).

3. Үздіксіз айналмалар (сурет 1.11, *в*) жеке дискілік айналмалардан (бөліктерден) тұрады, олар спиральмен оралған және өзара байланып қалусыз, яғни үздіксіз. Егер айналма Бірнеше параллель сымдармен жасалса, онда Сымдар транспозициясын қолданады.



a

б

1.12.-сурет. Бұрандалы
айналмадағы транспозиция

Үздіксіз айналмалар дайындаудың кейбір қиындығына қарамастан күштік трансформаторларда ВН және НН айналамалары ретінде қолданылады. Бұл олардың механикалық төзімділігі және сенімділігімен түсіндіріледі.

Майлы салқындатуы бар трансформаторларда айналмалары бар магнитті жетек трансформаторлық маймен толтырылған бак орналасқан. (сурет 1.13). трансформаторлық май 2 және 3 және 1 магнитті жетекті шайып, олардың жылуын алады және ауаға қарағанда жоғары жылу өткізгіштігін иеленіп, 4 бак қабырғасы және 5 радиатор құбыры арқылы оны қоршаған ортаға береді. Трансформаторлық майдың болуы жоғары вольтті трансформаторлардың сенімді жұмысын қамтамасыз етеді, себебі майдың электрлі төзімділігі ауаға қарағанда жоғары. Майлы салқындату әуеге қарағанда интенсивті, сондықтан майлы трансформаторлардың көлемі мен салмағы осы қуаттаға құрғақ трансформаторларға қарағанда азырақ.



1.13.-сурет. Майлы салқындатуы бар трансформатор құралы

30 кВт дейін қуаты бар трансформаторларда А қабырғасы тегіс бактарды қолданады. Көпшілік үлкен трансформаторларда салқындаушы бак қабырғасы бетінің үлкеюі оны бедерлі етеді немесе құбырлы бактарды пайдаланады. Май жылынып, жоғары көтеріледі, ал салқындап, төмен түеді. Мұнда май құбырларда циркуляциянады, ол оның тез салқындауына әсер етеді. (5.7 қараңыз).

Температура өзгеруі кезінде май көлемін компенсациялау үшін, сонымен қатар майды қышқылдану және трансформаторда ауамен байланысқа түскен кезде ылғалдануынан қорғау үшін кеңейткіш 9 қолданады, ол бак қақпағына орнатылған және онымен бірге болатын цилиндрлі құты. Май деңгейінің тербелістері оның температурасының өзгеруімен бакта болмайды, ол әрдайым майға толы, ол атмосферамен тоғыстан кеңейткіште болады.

Трансформаторлардың жұмысы кезінде газдардың қарқынды бөлінуімен сүйемелденетін құбылыстардың туындау мүмкіндігі, ол бак ішіндегі қысымның барынша артуына әкеледі, сондықтан бактың зақымдалмауы үшін қуаты 1000 кВа трансформаторларды шығару құбырымен жабдықтайды, оны бак қақпағына орнатады. Құбыр төменгі ұшымен бакқа жалғасады, ал оның үсті шыны дискі орнатылған фланецпен аяқталады. Қысым кезінде ол бак үшін қауіпсізден асып кетсе, шыны дискі жарылып, газы сыртқа шығады.

Майлы трансформатор бак пен кеңейткішті байланыстыратын құбыр желісі газ релесі орнатады. Трансформаторда үлкен зақымдаулар пайда болған кезде ол газдың көп бөлінуімен сүйемелденсе, (мысалы, қысқа тұйықталу кезінде айналма иірімдері арасында), газды реле қосылып, сөндіргіштің басқару тізбегінің контактілері тұйықталады, ол трансформаторды желіден ажыратады. Трансформатор айналмалары сыртқы тізбегімен 7 және 8 кірістерімен байланыстырады. Майлы трансформаторларда әдетте өтпелі фарфор окшаулағыштарды пайдаланады. Мұндай енгізу металл фланецпен жабдықталған, ол арқылы бак қақпағына немесе қабырғасына бекітіледі. Бак тұбіне арба бекіген, ол трансформаторды подстанция аумағында жүргізуге арналған. Бак қақпағында кернеуді ауыстырып қосу тұтқасы орналасқан 6 (1.15 қараңыз).

Трансформатордың техникалық мәліметтері оның бастапқы өлшемдерімен анықталады:

1.бастапқы алғашқы сызықтық кернеу $U_{1ном}$, В;

2.бастапқы екінші сызықтық кернеу $U_{2ном}$ (жүктеме қосылмаған кезде екінші айналма шығысындағы және бастапқы бірінші кернеудегі кернеу), В;

3.бастапқы желілік токтар бастапқы $I_{1ном}$ және екінші $I_{2ном}$ айналмаларда, А;

1) Номиналды бастапқы қуат $S_{\text{НОМ}}$, кВ-А (бір фазалы трансформатор үшін $\mathcal{E}_{\text{НОМ}} = I_{\text{НОМ}} I_{\text{НОМ}}$, үш фазалы үшін — $S_{\text{НОМ}} = I$). Қуатының шығыны трансформаторда үлкен болмауына байланысты (1.14.қараңыз), онда бастапқы толық қуатын бастапқы айналу тізбегінде екінші айналма тізбегінің бастапқы толық қуатына тең деп санаған дұрыс:

$$S = u I \sim u I$$

$$\wedge_{\text{НОМ}} \wedge_{\text{ЛНОМ}} \text{ЛНОМ} \sim \wedge_{\text{2НОМ}} \wedge_{\text{2НОМ}}^*$$

Номиналды желілік токтар трансформатордың номиналды қуаты бойынша есептейді: үш фазалы трансформатор үшін

$$I = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} U_{\text{НОМ}}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} U_{\text{НОМ}}} \quad (1.3)$$

мұнда $\mathcal{E}_{\text{НОМ}}$ — үш фазалы трансформатордың номиналды қуаты, к В А .

Әр трансформатор белгілі жиіліктегі ауыспалы ток желісіне қосуға есептелген. Ресейде жалпы арналымдағы трансформаторлар келесі жиілікке есептелген $f = 50$ Гц (кейбір елдерде $f = 60$ Гц), автоматика және байланыс құралдарында 50, 400 немесе 1000 Гц жиіліктегі трансформаторларға қолданады.

Мысал 1.1. Бір фазалы трансформатордың бірінші және екінші кернеуінің номиналды мәндері $U_{\text{НОМ}} = 110$ кВ, $U_{\text{2НОМ}} = 6,3$ кВ, номиналды бастапқы ток $I_{\text{НОМ}} = 95,5$ А. Трансформатордың бастапқы қуатын анықтау $\mathcal{E}_{\text{НОМ}}$ және бастапқы екінші ток $I_{\text{2НОМ}}$.

Шешуі. Трансформатордың бастапқы қуаты $\mathcal{E}_{\text{НОМ}} = U_{\text{НОМ}} I_{\text{НОМ}} = 110 \cdot 95,5 = 10\,500$ кВ ■ А. Бастапқы екінші ток $I_{\text{2НОМ}} = \mathcal{E}_{\text{НОМ}} / U_{\text{2НОМ}} = 10\,500 / 6,3 = 1666$ А.

1.4. Трансформатор кернеуінің теңдеуі

Негізгі ауыспалы магнитті ағын Φ трансформатор магнитті сымында w_1 және w_2 айналмаларының иірімдерімен ұстасып, (1.1.сурет), оларға ЭҚК әкеледі [(1.1) және (1.2) қараңыз]

$$e_x = -w_1 (d\Phi / dt); e_2 = -w_2 (d\Phi / dt).$$

Φ магнитті ағыны уақыттың синусоидалды уақыты, яғни

$$\Phi = \Phi_{\text{max}} \sin \omega t, \quad (1.4)$$

мұнда Φ_{max} — ағынның максималды мәні.

Онда , (1.4) формулаға ЭҚК e_1 қойып, және дифференциалап, аламыз ,

$$e_1 = -\omega W_1 F_{\max} \cos \omega t. \quad (1.5)$$

Бірақ $\cos \omega t = -\sin (\omega t - \pi/2)$, онда

$$e_1 = \omega W_1 F_{\max} \sin (\omega t - \pi/2) \blacksquare \quad (1.6)$$

Дәл осылай,

$$e_2 = \omega W_2 F_{\max} \sin (\omega t - \pi/2) \blacksquare \quad (1.7)$$

(1.6) және (1.7) шығатыны, ЭҚК e_1 және e_2 Φ ағыны фазасынан кейін қалып отыр $\pi/2$ бұрышы. Максималды мәні ЭҚК

$$E_{1\max} = \omega W_1 F_{\max} \blacksquare \quad (1.8)$$

$E_{1\max}$ на V_2 -ге бөліп және $\omega = 2\pi f$ қойып

$$e_{s1} = -L_{s1} \frac{di_1}{dt}; e_{s2} = -L_{s2} \frac{di_2}{dt},$$

мұнда L_{s1} және L_{s2} — шашыру индуктивтілігі.

Шашыру магнитті ағындары басты түрде магнитті емес ортада тұйықталса (ауа, май, мыс), магниттік өткізгіштік тұрақты, онда L_{s1} және L_{s2} индуктивтілігін тұрақты деп санауға болады.

ЭҚК қолданыстағы мәндері тиісті орамдардағы токтарға пропорционал:

$$e_{si} = -j\omega L_{si} i_i; E_{a2} = j\omega L_{a2} i_2, \quad (1.12)$$

мұнда x_1 және x_2 — бірінші және екінші айналмалардың тиісінше шашырау индуктивті кернеулері, Ом (минус белгісі бұл өрнектерде ЭҚК шоғырланудың реактивтілігін куәландырады).

Осылайша, трансформатордың әр айналмасында екі ЭҚК индуктеледі: ЭҚК негізгі ағынынан Φ және ЭҚК шашырау ағынынан (Φ_{ct1} бірінші айналмад және Φ_{ct2} екінші айналмада). Трансформатордың бастапқы тізбегі үшін желіге қосылған кернеу U_1 , бірінші орамның r_1 , белсенді кедергісінде кернеудің құлауын ескере отырып, кернеу теңдеуін Кирхгофтың екінші заңы бойынша жазуға болады:

$$U_1 + E_1 + E_{o1} = i_1 r_1,$$

немесе ЭҚК E_1 және E_{s1} теңдеудің оң жағына тасымалдап, оны ЭҚК шашырауда көрсетіп, шашыраудың x_1 индуктивті кернеуі арқылы трансформатордың бастапқы тізбегі үшін кернеу теңдеуін аламыз:

$$U = (-E_0 + j\omega L_{s1} i_1 + i_1 r_1). \quad (1.13)$$

E_1 бірінші орам ЭҚК негізгі Φ магнитті ағынымен келтірілген, өздік индукция ЭҚК білдіреді, сондықтан бірінші орамда жүрген U_1 кернеуге келтірілген қарсы фазада орналасады.

Әдетте индуктивті $j\omega L_{s1} i_1$ және белсенді $i_1 r_1$ құлау кернеуі үлкен емес, трансформаторға әкелінген U_1 кернеу ЭҚК E_1 теңестіріледі, яғни

$$U_1 = (-E_1). \quad (1.14)$$

Трансформатордың екінші тізбегі үшін E_{s2} кернеуімен жүктемеге тұйықталған кернеу теңдеу келесідей:

$$E_2 + E_{o2} = i_2 r_2 + j\omega L_{s2} i_2, \quad (1.15)$$

Яғни ЭҚК сомасы екінші орам бойынша келтірілген ($E_2 + E_{s2}$), кернеудің құлау сомасымен теңестіріледі ($i_2 r_2 + j\omega L_{s2} i_2$). Мұнда r_2 —

екінші айналма белсенді кедергісі. Кернеудің түсуі $U_2^{\text{нг}}$ трансформатордың екінші айналма шығысында кернеудің болуымен танылады:

$$U_2^{\text{нг}} = C \cdot 2. \quad (1.16)$$

Теңдеу келтірейік (1.15) бірінші тізбек ЭҚК теңдеуіне ұқсас (1.13). мұнда (1.12) және (1.16) өрнектерін ескереміз және трансформаторың екінші тізбегі үшін кернеу теңдеуін аламыз:

$$I_2^{\text{р}} \cdot 2 - I_2^{\text{з}} \cdot U_2^{\text{нг}} = I_2^{\text{л}} \cdot 2^{\text{х}} \cdot 2 \quad (1.17)$$

Осы теңдеуге сәйкес трансформатордың шығысындағы кернеу екінші орам шығысында ЭҚК-нан осы орамдағы кернеудің құлаған көлеміне ерекшеленеді.

1.2-мысал. Бір фазалы трансформатор (1.14-суретті қараңыз) номиналды қуаты $S_{\text{ном}} = 100 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ және номиналды кернеу $U_{1\text{ном}} = 6000 \text{ В}$ және $U_{2\text{ном}} = 400 \text{ В}$ ток жиілігі $f = 50 \text{ Гц}$; айналманың бір иіріміне келетін қолданыстағы мәні, $I_{\text{вит}} = 5 \text{ В}$.

Анықтау керек: трансформатор иірімдерінің саны w_1 және w_2 ; бірінші q_1 және екінші q_2 айналма сымдарының көлденең қимасы, егер бұл сымдардағы ток тығыздығы $D = 4,0 \text{ А/мм}^2$; магнитті жетек өзегінің көлденең қимасы $<Z_{\text{ст}}$, егер максималды мәні магнитті индукцияның өзегінде $B_{\text{ст}} = 1,4 \text{ Тл}$.

Шешім. Кернеудің номиналды мәні бойынша $U_{1\text{ном}}$ және $U_{2\text{ном}}$ орамдағы иірім санын анықтаймыз:

$$w_1 = U_{1\text{ном}} / U_{\text{вит}} = 6000 / 5 = 1200; w_2 = U_{2\text{ном}} / U_{\text{вит}} = 400 / 5 = 80.$$

Токтың орамдағы номиналды мәні:

$$I_{1\text{ном}} = S_{\text{ном}} / U_1 = 100 \cdot 10^3 / 6000 = 16,7 \text{ А};$$

$$I_{2\text{ном}} = S_{\text{ном}} / U_2 = 100 \cdot 10^3 / 400 = 250 \text{ А}.$$

Айналма сымдарының көлденең қимасы:

$$q_1 = I_{1\text{ном}} / D = 16,7 / 4 = 4,175 \text{ мм}^2; q_2 = I_{2\text{ном}} / D = 250 / 4 = 62,5 \text{ мм}^2.$$

Өзегіндегі негізгі магнитті ағын анықтаймыз, өрнегін пайдалана отырып, (1.10) және номиналды екінші кернеу $U_{2\text{ном}} = E_2$:

$$\Phi_{\text{таx}} = E_2 / (4,44 \cdot f \cdot w_2) = 400 / (4,44 \cdot 50 \cdot 80) = 0,0225 \text{ Вб}.$$

Магнитті жетек өзегінің көлденең қимасы

$$Q_{\text{ст}} = F_{\text{max}} / (f \cdot B_{\text{ст}}) = 0,0225 / (0,93 \cdot 1,4) = 0,017 \text{ м}^2,$$

мұнда $\kappa_c = 0,93$ — болат сызықтар арасында оқшаулау лагының қабаттары өзегінің қимасын арттыруды ескерумен дестеленген өзектің болатпен толтырылу коэффициенті.

1.5. Магнитті қозғаушы күш пен токтардың теңдеулері

Трансформатор бос жүріс режимінде жұмыс жасайды дейік (1.15, а-сурет), яғни бірінші орам қысқыштарына кернеу U_1 , келтірілген, ал екінші орам ашылған ($I_2 = 0$). Ток I_0 бірінші орамда бұл жағдайда бос жүріс тогы деп атайды.

Магнитті қозғайтын күш (МҚК) $I_0 W_1$, осы токпен құрылған, трансформатордың магнитті сымында негізгі магнитті ағынын жүргізеді, оның максималды мәні

$$F_{\max} = V_2 I_0 W_1 / D_m, \quad (1.18)$$

Мұнда D_m — магнитті жетектің магнитті кернеуі.

Екінші орам тұйықтаған кезде жүктемеге $\Lambda_{\text{нг}}$ (1.15, б. сурет) ток I_2 онда туындайды. Мұнда бірінші орамда ток I_1 мәніне дейін артады.

Енді ағын $F_{\max}$ МҚК $I_1 W_1$ және $I_2 W_2$ әрекеттерімен құрылады:

$$F_{\max} = (I_1 / 2) D_m X_{L1} + I_2 W_2 \quad (1.19)$$

Бұл ағынды анықтауға болады (1.9):

$$F_{\max} = E / (4,44 V),$$

Немесе U_1 және $(-E_1)$, назарға алып, аламыз

$$F_{\max} \text{ және } U_1 / (4,44 V) \quad (1.20)$$

(1.20) сәйкес негізгі магнитті ағынның мәні Φ трансформатор жүктемесіне тәуелді емес, себебі кернеу өзгеріссіз. Алайда айта керу керек, бұл ереже жақынырақ және бастапқыдан аспайтын жүктеме жағдайларына жатады. Φ ағынының өзгеріссіздігі туралы ереже теңдеу негізінде қабылданған.



а

б

1.15-сурет. Бос жүріс (а) және жүктеме (б) режимдері бір фазалы трансформаторда

U_1 және $(-E_1)$, бірінші тізбектегі кернеу құлауын ескермейді. [салыстырыңыз (1.13)].

Қабылданған қалпы $\Phi = \text{const}$ өрнекті теңестіру мүмкіндігін береді (1.18) және (1.19):

$$(j\omega L_M)I_0W_1 = (j\omega L_M)(iI_1W_1 + I_2W_2)$$

және трансформатор МҚК теңдеуін ала алады:

$$1 \cdot I_0W_1 = iI_1W_1 + I_2W_2. \quad (1.21)$$

(1.21) түзе отырып, МҚК бірінші орам I_1W_1 екі құраушы сомасы түрінде берілген:

$$-I_1W_1 = -I_0W_1 + (-I_2W_2)$$

I_0W_1 құраушысы трансформатордың магнитті жетегінде Φ негізгі магниттік ағынын, ал құраушысы I_2W_2 МҚК теңестіреді екінші орам I_2W_2 .

МҚК трансформатордың екінші орамына әсері Φ негізгі I_2W_2 магнитті ағынын Ленц ережесі арқылы түсіндіруге болады. Осы ережеге сәйкес ЭҚК индуктелген айналмасы осы ЭҚК туындауына септігін тигізген себепке қарсы бағытталған өзінің магнитті әсері бар магниттік тоқты құрады. ЭҚК E_2 келтірудің себебі трансформатордың екінші орамында Φ негізгі магнитті ағыны, сондықтан екінші орамдағы I_2 ток Φ ағынына қарсы бағытталған МҚК I_2W_2 құрады, яғни онымен қарсы фазада орналасқан және осы ағынды әлсіретуге тырысады. Егер айналма w_2 қысқа немесе таза тұйықталса, индуктивті кедергі белсенді кедергіні иеленбесе, онда I_2 ток ЭҚК E_2 бұрышында $u_2 = 90^\circ$ кейін қалып, барлық МҚК магнитті жетекке магнитсіздендіру әсерін беретін еді. Бірақ шынайы жағдайларда екінші айналма жүктеме кедергісіне тұйықталған $E_{\text{нм}} = r_{\text{нм}} \pm jx_{\text{нм}}$, тіпті өзі де белсенді r_2 кернеуге ие. Сондықтан токтың фазалық қозғалысы I_2 ЭҚК E_2 90° ерекшеленеді және Φ негізгі магнитті ағынымен барлық МҚК I_2W_2 әрекеттеспейді, оның реактивті құраушысы ғана.

Белсенді-индуктивті жүктеме кезінде $Z_{\text{нм}} = r_{\text{нм}} + jx_{\text{нм}}$ және жүктеме тогы I_2 екінші орам ЭҚК кейін қалып жатса E_2 бұрышына u_2 , МҚК I_2W_2 өзінің реактивті (индуктивті) құраушысымен $\frac{1}{2}pW_2$ трансформатордың магнитті жетегіне магнитсіздендіру әсерін береді:

$$-\frac{1}{2}pW_2 = -I_2W_2 \sin u_2,$$

мұнда $I_2p = I_2 \sin u_2$ — жүктеме тогының реактивті құраушысы.

$$I_2 w_2 \quad \downarrow E_2$$

$$hpW_2$$

6

а 1.16-сурет, а МҚК векторлық диаграммасы трансформатордың белсенді индуктивті жүктемесі жағдайы үшін ұсынылған. Диаграммада ЭҚК E_2 векторы екінші орам фаза бойынша $F_{\max}$ на угол 90° негізгі магнитті ағын векторынан кейін қалады, ал $I_2 w_2$ екінші орам МҚК фаза бойынша ЭҚК E_2 у₂ бұрышына кейін қалады (1.16-а.сурет). осы диаграмма бойынша орындалған құрылыстардан көрінгендей, реактивті (индуктивті) МҚК құраушысы екінші орам $I_{2p} w_2$ негізгі $F_{\max}$ магниттік ағынында қарсы фазада болып, яғни трансформатор магнитті жетегіне магнитсіздендіру әсерін береді.

1.16-сурет. белсенді-индуктивті- (а) және белсенді-сыйымдылықты (б) жүктемедегі трансформатордың МҚК векторлық диаграммалары

Трансформатор жұмысын талдай отырып, айту керек, трансформатордың жүктемесінде номиналды мәнінің шегінде Φ магниттік ағын біршама ағана өзгереді және бұрын қабылданған Φ және const жол беріледі. Бұл болады себебі МҚК $I_2 w_2$, екінші орам магнитті жетекті магнитсіздендіріп бірінші МҚК реактивті орны толтырылады:

$$(-\&_2 W_2) = I_1 W_1 - I_0 W_1. \quad (1.22)$$

Ток тербелісі кезінде трансформатор жүктемесі I_2 екінші орам $I_2 w_2$, МҚК өзгереді, ол оның $I_2 w_2$ құраушысы есебінен бірінші орам МҚК тиісті өзгерістерін тудырады. Бос жүрісті $I_0 m_b$ МҚК қатысты онда ол дерлік өзгеріссіз, трансформатордың магнитті жетегінде Φ негізгі магнитті ағынын және const құруға жеткілікті.

Трансформатордың белсенді сыйымдылықты жүктеме кезінде $Z_{Hr} = r_{Hr} - jx_{Hr}$ және жүктеме тогы I_2 ЭҚК E_2 фазасы бойынша у₂ бұрышына асып кетсе, реактивті (сыйымдылықтық) МҚК құраушысы екінші орам $I_{2p} w_2$ негізгі $F_{\max}$ магнитті ағыны бар фазмен және трансформатор магнитті жетегін магниттендіреді (1.16, б-сурет.). бұл жағдайда белсенді-индуктивті жүктеме кезіндегідей [(1.22) қараңыз], бірінші МҚК құраушысы ($-I_2 w_2$) екінші МҚК $I_2 w_2$ магниттендіру әсерін өтейді.

МҚК (1.21) теңдеуін иірім m_b санына бөліп аламыз:

$$I_0 = I_i + I_2 W_2 / w_i, \text{ или } I_0 = D + D, \quad (1.23)$$

мұнда $I_2' = I_2 w_2 / w_1$ — жүктеме тогы (екінші ток), бірінші орам иірімдерінің санына келтірілген.

Басқа сөзбен айтқанда бұл ток айналмада иірім w_1 санымен екінші орамдағы W_2 , ток I_2 секілді МҚК құрады.

$$CЧ = CЧ/W_i)w = I_2 W_2.$$

Өрнегін түрлендіріп (1.23), трансформатор тогының теңдеуін аламыз:

$$I_i = I_o + (-I_2). \quad (1.24)$$

Бұл теңдеуге сәйкес бірінші ток I_1 екі құраушының сомасы ретінде қарастыруға болады: МҚК $I_o w_1$ құраушы I_o , магнитті жетекте негізгі магнитті ағынды Φ тудырады және I_2 құрайды, ол МҚК $I_2 w_1$ құра отырып, трансформатор $I_2 w_2$ екінші орам МҚК өтейді. Бірінші токтың құраушыларының мұндай әсері жүктеме I_2 тогының кез келген өзгерісі бірінші токтың I_1 өзгеруімен ілестіріледі, жүктемесіндегі токтың қарсы фазасында орналасқан I_2 құраушн өзгерту есебінен бірінші токтың өзгеруімен ілестіріледі.

Φ негізгі магнитті ағыны ауыспалы, сондықтан трансформатордың магниттің жүйелі мөлшерден тыс магниттенуге бейім. Соның нәтижесінде трансформатордың магнитті жетегінде электротехникалық болаттың пластиналарында ауыспалы магнитті ағынымен келтірілетін гистерезистен магнитті жоғалтулар мен иірімді токтар орын алады. Магнитті шығындардың қуаты бос жүрістің ток құраушысының белсенді құраушысына тең. Осылайша бос жүріс тогы екі құраушысы бар:

реактивті I_{op} , магниттелген токты білдіреді. және белсенді I_{oa} , магнитті шығынмен шартталған:

$$I_0 = \sqrt{I_{oa}^2 + I_{op}^2} \quad (1.25)$$

Әдетте бос жүріс тогының белсенді құраушысы үлкен емес және I_o 0,10 аспайды, сондықтан ол бос жүріс тогына болмашы әсер етеді.

1.17.-суретте векторлы диаграмма ұсынылған, онда бос жүрісті I_o ток пен оның I_{oa} және I_{op} құраушылары көрсетілген. E бұрышы оған негізгі магниттік ағын F_{max} векторы токтан фаза бойынша қалыс қалуда, магнитті шығын бұрышы деп атайды. Бұл бұрыш I_{oa} бос жүрісті ток құраушысының белсенділігінң артуымен байланысты екенін

∇E_1

1.17. –сурет. Бос жүрісті құраушыларына бөлшектеу

байқамау мүмкін емес, яғни трансформатор магнитті жетегінде магнитті шығынның өсуімен.

Үлкен және орта қуаттағы трансформатордағы бос жүрісті ток күші бастапқы бірінші тоғынан $2 — 10\%$ құрайды. сондықтан жүктеме кезінде номиналға жақын, I_0 тоғына назар аудармай және (1.22) түзе отырып, аламыз

$$I_1/I_2 = w_2 j w_1 i, \quad (1.26)$$

Яғни трансформаторлардағы токтар осы айналма иірімдерінің санына кері пропорционал: иірімі аз орамда ток көп және иірімі көп айналмада көп. Сондықтан НН айналмасы үшін кима сымын пайдаланады, үшін иірімі аз ВН айналмасына қарағанда.

1.6. Екінші орам өлшемдерін келтіру және келтірілген трансформатордың алмастыру сызбасы

Жалпы жағдайда трансформатордың екінші орамының өлшемдері (кернеу, ЭҚК, ток, айналма кедергісі) бірінші орам өлшемдерінен өзгеше. Бұл айырмашылық үлкен болмаса, трансформация коэффициенті үлкен. Бұл есептерді қиындатады және векторлық диаграмма құрылысын қиындатады, себебі бұл жағдайда электрлі көлемдердің векторлары бірінші орамдікі ұзындығымен екінші орамның бір атты векторларынан өзгеше. Көрсетілген қиындықтар трансформатордың барлық өлшемдерін бірдей иірім санына әкелумен жойылады, әдетте бірінші орам иірім санына w_1 . Осы мақсатта трансформатордың екінші тізбегін сипаттайды – ЭҚК, кернеу, ток және кедергі – бірінші орам иірім w_1 санына саналады.

Осылайша, трансформациялау коэффициенті $k = w_1/w_2$ шынайы трансформатордың орнына баламалы трансформатор алады $k = w_1/w_2 = 1$, мұнда $w_2 = w_1$. Мұндай трансформатор келтірілген деп аталады. Алайда трансформатордың екінші өлшемдерін келтіру оның энергетикалық көрсеткіштеріне әсер етпеу керек: барлық қуаттар мен фазалық қозғалыстар екінші орамда келтірілген трансформаторда шынайы трансформатордағыдай қалу керек.

Мәселен, шынайы трансформатордың екінші айналмасының электромагнитті қуаты келтірілген трансформатордың екінші орам келесіге тең болу керек:

$$E_2 I_2 = E_2 I_2. \quad (1.27)$$

Екінші $I_2 = I_2$ орам (w_2/w_1) келтірілген тогының мәнін қойып, (1.27) келтірілген екінші ЭҚН формуласын аламыз:

$$E_2 = \wedge_{1212} E_2 = \wedge_{w_2}^w E_2 = E_{w_2}^w. \quad (1.28)$$

Себебі $U_2 I_2$ және $U_2 I_2$, онда келтірілген екінші орам кернеуі:

$$U_2 \text{ және } U_2 K/W_2). \quad (1.29)$$

Теңдеу шарттарынан екінші орам белсенді кедергісінде $I_2 r_2 = I_2 r_2'$ бар. Келтірілген белсенді кедергіні анықтаймыз:

$$r_2 = r_2 (I_2 / I_2)^2 = r_2 (w_1 / w_2)^2. \quad (1.30)$$

екінші орамның индуктивті шашыраудың индуктивті кедергісі реактивті қуаттардың теңдеу шартын анықтайды $I_2^2 = I_2^{2x_2}$, одан $x_2 = x_2 (W_{ij} W_2)^2$. О₃₁)

Трансформатордың екінші орамның келтірілген толық кедергісі

$$Z_2 = r_2 + jx_2 = (r_2 + jx_2) (w_1 / w_2)_2 = Z_2 (w_1 / w_2)_2. \quad (1.32)$$

Екінші айналма шығыстарына қосылған жүктеменің келтірілген толық кедергісін ұқсастықпен анықтаймыз(1.32):

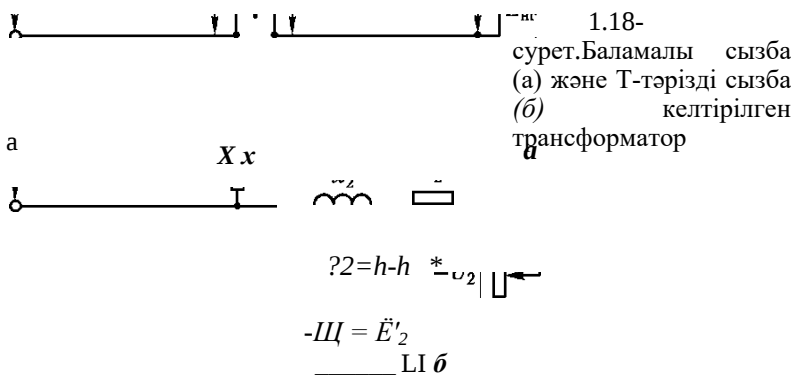
$$Z_{HГ} = Z_{HГ} (w_{ij} w_2)^2 \blacksquare \quad (1.33)$$

Келтірілген трансформатор үшін кернеу және ток теңдеулері келесі түрде болады

$$\begin{aligned} U_i &= (-E_i) + I_1 Z_i = (-E_i) + jI_1 x_i + I_1 r_i > \\ U_2 &= E_2 - I_2 Z_2 = E_2 - jI_2 x_2 - I_2 r_2, \quad (1.34) \\ -\&1 = I_0 + (-I_2). \end{aligned}$$

Бұл басқарулар трансформаторлар арасында бос жүріс пен бастапқы жүріс режиміндегі жүктемелер ауқымында аналитикалық байланысты орнатады.

Электромагнитті процестердің зерттеуін және трансформаторлардың есебін жеңілдетудің тағы бір құралы келтірілген трансформатордың алмастырдуың электрлі сызбасын қолдануы болып табылады.



1.18, а суретте келтірілген трансформатордың баламалы сызбасы берілген, онда айналма кедергісі r және x шартты тиісті орамдардан шығарылған және онымен қосылған. Бұрын анықталғандай, келтірілген трансформаторда $k = 1$, сондықтан $\vec{E}_1 = \vec{E}_2$. Нәтижесінде A және a нүктелері, және X және x нүктелері сызбада потенциалдары бірдей, ол көрсетілген нүктелерді қосу мүмкіндігін береді, келтірілген трансформатордың Т-тәрізді алмастыру сызбасын аламыз. (сурет. 1.18, б). Трансформаторды алмастырудың электрлі сызбада трансформатордың бірінші және екінші тізбектері арасындағы байланыс электрлі байланыспен алмастырылған.

Келтірілген трансформаторды алмастыру сызбасы келтірілген трансформатордың бар теңдеуі мен токтарын қанағаттандырады (1.34). ол үш тармақтың жиынтығын білдіреді: бірінші – кедергісі $Z = r_1 + jx_1$ және тогы ϕ ; магниттелетін — кедергісі $Z_m = r_m + jx_m$ және тогы 1_0 ; екінші — екі кедергімен: екінші тармақ кедергісімен $Z'_2 = r_2 + jx_2$ және жүктеме кедергісімен $Z_{н.г.} = r_{н.г.} + jx_{н.г.}$ және тогымен i . Жүктеме кедергісінің өзгеруі $Z^{\wedge}$ алмастыру сызбасында трансформатордың барлық режимдері тудырылуы мүмкін.

Магниттеу тармақтарының өлшемі $Z_m = r_m + jx_m$ бос жүріс тогымен анықталады. Бұл тармақта r_m белсенді құраушысының болуы трансформатордағы магнитті шығындармен шартталған (1.14-қараңыз). Алмастыру сызбасының барлық өлшемдері $Z^{\wedge}$ қоспағанда осы трансформатор үшін тұрақты және бос жүріс және қысқа тұйықталу тәжірибесінен анықталуы мүмкін. (1.11 қараңыз).

1.7. Трансформатордың векторлық диаграммасы

Келтірілген трансформаторды алмастыру сызбасын пайдаланып және кернеу мен токтардың негізгі теңдеулерін қолданып (1.34), трансформатордың векторлық диаграммасын құрамыз. Бұл диаграмма

токтар, ЭҚК және трансформатор кернеуі арасындағы қатынасы мен фазалық қозғалыстарды көрнекі көрсетеді. Векторлық диаграмма – келтірілген трансформатордың негізгі теңдеулерінің графикалық өрнегі (1.34). Диаграмма құруды (1.19, а.сурет) $F_{\max} = E_1 / (4,44 f w_1)$ негізгі магниттік ағынның максималды мәні векторынан бастаған дұрыс. Ток векторы I_0 фаза бойынша $F_{\max}$ ағын векторын ϵ бұрышына озады, ал ЭҚК E және E_2 векторлары магниттік ағын векторынан 90° бұрышқа қалады угол [(1.6) және (1.7) қараңыз]. Ары қарай векторын φ_2 құрамыз. U фазаның қозғалу бұрышын анықтау үшін E_2 және I_2 арасында жүктеме сипатын білу керек. Трансформатор жүктемесі белсенді индуктивті деп шамалайық.

Онда векторы I_2' фаза бойынша E_2 -ден бұрышқа қалып қояды

$$\operatorname{arctg} \frac{X_2 + X_{\text{нг}}}{r_2} \quad (1.35)$$

Сыртқы жүктеме сипаты ретінде, екінші реттік орам өзіндік кедергісімен сипатталады.

$$-jI_2'x_2'$$

б

а

1.19.-сурет. Трансформатордың векторлық диаграммалары белсенді-индуктивті (а) және белсенді сыйымдылықты (б) жүктемеде

Екінші кернеу $\dot{U}_2$ векторын құру үшін ЭҚК $\dot{E}_2$ векторынан кернеудің құлау $j\dot{I}_2 X_2$ и $\dot{U}_2$ векторларын есептеу керек. Осы мақсатта $\dot{E}_2$ вектор соңынан перпендикуляр түсіреміз, $\dot{E}$ тогының вектор бағытына және онда $j\dot{I}_1 X_2$ векторын жинаймыз. Содан кейін $\dot{U}_2$ тік параллель жүргіземіз және онда $\dot{U}_2$ векторын тұрғызамыз. Векторын $\dot{I}_2 Z_2'$, құрған соң екінші тізбектегі кернеу құлау ішкі үшбұрышын аламыз. Содан кейін О нүктесінен $\dot{U}_2 = \dot{E} - \dot{I}_1 Z_2'$ вектор жүргіземіз, ол фаза бойынша тоқты $\dot{I}_2$ озып кетеді $y_{\text{гол}}^2 = a - \text{rctg} K V v$).

Бірінші ток векторын векторлық сома ретінде құрамыз: $\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2)$. Вектор $-\dot{I}_2$ вектор $\dot{I}_0$ соңынан жүргіземіз $\dot{I}_2$ векторына қарама-қарсы. Кернеу векторын құрамыз $\dot{U}_1 = -\dot{E} + j\dot{I}_1 X_1 + \dot{I}_1 r_1$, ол үшін векторға $\dot{E}$ вектор соңынан $\dot{I}_2$ қарсы векторға өткіземіз. Кернеу векторын құрамыз, ол үшін фаза бойынша озатын F_{max} на 90° ағын векторына бірінші орам кернеудің ішкі құлау векторын қосамыз: вектор $\dot{I}_1 r_x$, тоққа параллель $\dot{I}_1$, және вектор $j\dot{I}_1 X_1$, $\dot{I}_1$ 90° бұрышына ток векторын озады О нүктесін $\dot{I}_1 Z$ векторының ұшымен байланыстырып, $\dot{U}_1$ векторын аламыз, ол фаза бойынша $\dot{I}_1$ тогын j бұрышына озады.

Кейде трансформатордың векторлық диаграммасын ЭҚК орамдарын анықтау мақсатында құрады. Бұл жағдайда екінші орам өлшемдері беріледі: $\dot{U}_2$, $\dot{I}_2$ және $\cos \varphi_2$. w_1/w_2 біле отырып, $\dot{U}_2$ және $\dot{I}_2$ анықтайды, содан кейін осы үлкендіктегі фазалық j бұрышта бір-біріне векторлар құрады. ЭҚК $\dot{E}_2 = \dot{E}_1$ векторы кернеу векторын екінші орамдағы $\dot{U}_2$ кернеу құлдырауымен геометриялық қосу арқылы алады:

$$\dot{E}_2 = \dot{U}_2 + j\dot{I}_2 X_2 + \dot{I}_1 r_1.$$

Белсенді-сыйымдылықты жүктеме кезінде трансформатордың векторлық диаграммасының түрі 1.19, б-суретте көрсетілген. Диаграмманы құру тәртібі сол болып қалады, бірақ түрі біршама өзгереді. Бұл жағдайда ток $\dot{I}_2$ бұрышына ЭҚК $\dot{E}_2$ фазасы бойынша озады:

$$\arctg \frac{X_2}{r_2'} = \varphi_2 \quad (1.36)$$

Маңызды сыйымдылықты жүктеменің құраушысы жағдайында сыйымдылықты құраушысындағы құлау кернеуі және шашырау кернеудің индуктивті құлауы екінші орамда бір-бірін толықтырады. Нәтижесінде $\dot{U}_2$ кернеу ЭҚК $\dot{E}_2$ қарағанда үлкенірек болу мүмкін. Сонымен қатар реактивті (фаза бойынша озатын кернеу) $\dot{I}_2 r = \dot{I}_2 \sin \varphi_2$ екінші токтың құраушысы $\dot{I}_{0p}$ бос жүріс тогының реактивті құраушысымен сәйкестенді, яғни трансформатор магнитті жетегіне магниттеу әсерін береді. Бұл бастапқы $\dot{I}_1$ токтың азаюына әкеледі,

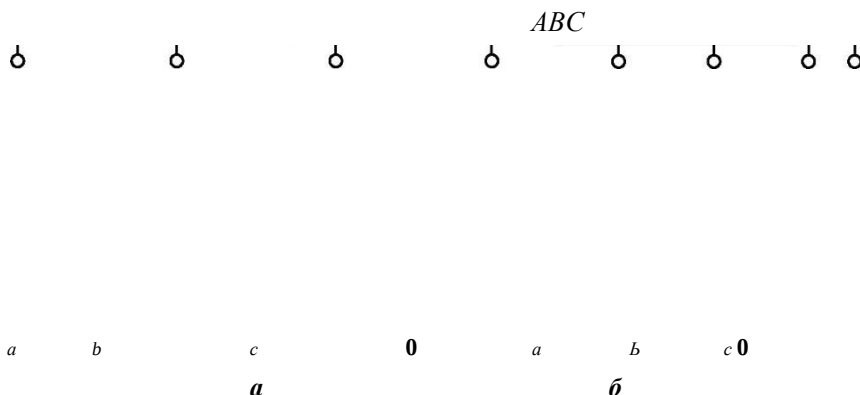
Белсенді-индуктивті жүктеме кезінде оның мәнімен салыстырғанда, екінші токтың $\frac{1}{2}p$ реактивті құраушысы трансформатордың магнитті жетегіне магнитсіздендіру әсерін береді (1.19 а-сурет).

1.8. Үш фазалы токты және үш фазалы трансформатордың орамдарын байланыстыру сызбасын трансформациялау

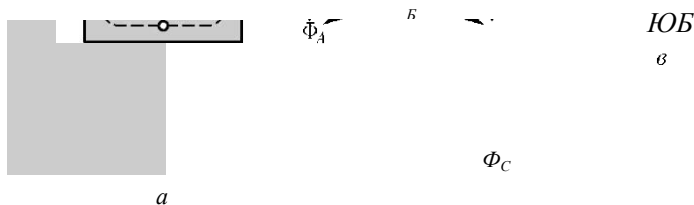
Кернеудің үш фазалы жүйесін трансформациялауды бір трансформаторлық топқа біріккен үш бір фазалы трансформаторлармен орындауға болады (1.20, а-сурет). Алайда үлкен габариттері мен бағасы үлкен қуаттағы орнатпалармен трансформаторлық топтың қолдануын шектейді ($60\,000\text{ кВ А}$ артық). Бұл жағдайда кішірейтілген массалар мен қондырғы бірлігінің габариттері (бір бір фазалы трансформатор, оның қуаты трансформаторлық топтың $1/3$ қуатын құрайды), ол трансформаторлық топты монтаждау және тасымалдау кезінде үлкен мәнге ие.

Қуаты $60\,000\text{ кВ} \cdot \text{А}$ дейін болатын қондырғыларда әдетте үш фазалы трансформаторлар қолданады (1.20, б сурет), оларда айналмалары үш өзекке орналасқан, екі бұғау арқылы жалпы магнитті жетекке біріккен (1.2-суретті қараңыз). Осылайша алынған магнитті жетек симметриялы емес болып табылады: орта фазаның ағынына магнитті кернеу Φ_A және Φ_C шеткі фазалардың ағындарының магнитті кернеуінен аз (1.21, а-сурет).

Себебі үш фазалы трансформатордың бірінші орамдарына U_A , U_B және U_C кернеулердің симметриялы жүйесі келтіріледі, онда



1.20-сурет. Трансформаторлық топ (а) және үш фазалы



1.21-сурет. Үш өзекті магнитті жетек және векторлық диаграммалар

Трансформатордың магнитті жетегінде F_A , F_B және F_C магнитті ағындар туындайды, олар симметриялы жүйені құрайды (1.21, б-сурет). Алайда магнитті жетектің магнитті ассиметриясы нәтижесінде жеке фазалық айналмалардың магниттелетін токтары тең емес: шеткі фаза орам токтары (I_{OA} және I_{OC}) I_{OB} орта фазаның орамы магниттеуші тогынан артық. Сонымен қатар I_{OA} және I_{OC} токтары фаза бойынша а бұрышына тиісті Φ_A және Φ_C ағындары бойынша ығыстырылады. Осылайша трансформаторға әкелінген үш фазалы кернеудің симметриялы жүйесінде бос жүріс токтары симметриялы емес бос жүріс тогын түзеді (1.21, в сурет).

Үш өзекті магнитті жетектің симметриялық еместігін азайту үшін яғни магнитті кернеуді азайту үшін бұғау қималары осы өзектің қимасын 10 — 15 % артық етеді, олардың магнитті кедергісін азайтады. Осыдан кейін қалған бос жүрісті токтардың несимметриясы трансформатор жұмысында көрініс таппайды, себебі шамалы жүктеме кезінде де I_A , I_B және I_C токтардың мәндерінің айырмашылығы байқалмайды.

Осылайша, симметриялы қоректендіру кернеуі кезінде және тегіс үш фазалы жүктеме кезінде үш фазалы трансформатордың барлық фазалары үш өзекті магнитті жетекте орындалған, бірдей жағдайларда орналасқан. Сондықтан жоғарыда қарастырылған МҚК және токтар, сонымен қатар алмастыру сызбалары мен векторлық диаграммалар үш фазалық трансформатордың әр фазасының жұмысын зерттеу үшін пайдаланыла алады.

Үш фазалы трансформаторлардың орамдары келесі сызбалармен байланыстыру қабылданған: жұлдыз; нольдік шығысы бар жұлдыз; үш бұрыш; нольдік шығысы бар зигзаг. Трансформатор айналмаларын байланыстыру сызбаларын бөлшекпен көрсетеді, есептеуіште ВН айналмаларының байланыс сызбасы, ал атауышша НН орамдары көрсетілген. Мысалы, Y/D ВН орамдары жұлдызға біріккен, ал НН орамдары үш бұрышқа біріккен дегенді білдіреді.

Зигзагқа біріктіру арнайы арналымдағы трансформаторларда ғана қолданылады, мысалы түзеуіш трансформаторларында (5.2-қараңыз). Осы байланысты орындау үшін НН орамының әр фазасын екі бөлікке бөледі, өзекке орналастырады.

Айналмалардың көрсетілген бөліктері Фазалық орамның бір бөлігінің ұшы басқа өзекте орналасқан осы орамның ұшына қосылу керек. (1.22, а-сурет). Зигзагты тең иықты деп атайды, егер түрлі өзекке орналасқан және бірізді байланысқан айналма бөліктері бірдей болса, және тең иықты емес деп егер бөліктері бірдей болмаса атайды. Зигзагқа біріккен кезде орамның жеке бөліктерінің ЭҚК геометриялық ажыратылады (1.22, б.сурет).

1.22-сурет. Айналмаларды зигзагқа біріктіру сызбасы (а) және (б) векторлық диаграмма

Трансформатор орамдарының шығыстарын келесідей белгілейді: ВН орамы – орам бастары А, В, С, тиісті орам соңы Х, Y, Z;

НН орам ұштары—а, b, c, орам бастары, тиісінше тиісті ұштары x, y, Z.

Орамдарды жұлдызбен байланыстыру кезінде сызықтық кернеу фазалықтан үлкен ($U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\text{ф}}$), ал орамдарды үшбұрышпен байланыстырған кезде желілік кернеу фазалыққа тең ($U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}$).

Желілік кернеудің үш фазалық трансформаторға қатысы орамдарды байланыстырудың түрлі сызбалары үшін әр түрлі келесі түрде анықталады:

Айналмаларды

байланыстыру сызбасы .

Сызықтық

кернеу

қатынасы

....Y/Y

Д/Y

Д/Д

Y/Д

...W1/W2

W1/($\sqrt{3}W_2$)

w_1/w_2

- $\sqrt{3}W_1 / W_2$

Осылайша, үш фазалық трансформаторда желілік кернеудің қатынасы иірім санының қатынасымен ғана емес, оларды байланыстыру сызбасымен да анықталады.

1.3-мысал. Бастапқы қуаты $S_{\text{НОМ}} = 100$ кВ·А үш фазалық трансформатор Y/Д сызбасы бойынша қосылған. Мұнда бастапқы желілік кернеулер трансформатор кірісінде және шығысында тиісінше тең: $U_{\text{НОМ}} = 3,0$ кВ, $U_{2\text{НОМ}} = 0,4$ кВ. Иірім қатынасын анықтау w_1/w_2 және бірінші фф фазалық токтың бастапқы мәнін және I_2 фф екінші орамда анықтау.

Шешуі. Бірінші және екінші орамдардың фазалық кернеулері

$$U_{1\text{ф}} = U_{1\text{НОМ}}/\sqrt{3} = 3,0/\sqrt{3} = 1,73 \text{ кВ}, \quad U_{2\text{ф}} = U_{2\text{НОМ}} = 0,4 \text{ кВ}.$$

Трансформатордағы иірімдердің қажетті қатынасы:

$$w_1/w_2 = U_{1\text{ф}}/U_{2\text{ф}} = 1,73/0,4 = 4,32.$$

Бірінші орамдағы номиналды фазалық ток (жұлдызға біріккен)

$$I_1\phi = I_{1\text{НОМ}} = S_{\text{НОМ}} / (\sqrt{3} U_{1\text{НОМ}}) = 100 / (\sqrt{3} \cdot 3,0) = 19,3 \text{ A}.$$

Екінші орамдағы номиналды фазалық ток (үшбұрышқа біріккен)

$$I_2\phi = I_{2\text{НОМ}} / \sqrt{3} = S_{\text{НОМ}} / (\sqrt{3} U_{2\text{НОМ}}) = 100 / (\sqrt{3} \cdot 4) = 83,3 \text{ A}.$$

Осылайша, фазалық токтардың қатынасы $I_2\phi / I_1\phi = 83,3 / 19,3 = 4,32$ трансформатор орамындағы иірімдер қатынасына тең.

1.9. Трансформаторлардың магнитті жетегін магниттендіру құбылысы

Айта кетелік, трансформатордың бірінші орамына синусоидалды кернеу келтірілген. Мұнда магнитті жетектегі ағын да синусоидалды болады: $\Phi = \Phi_{\text{max}} \sin \omega t$. Алайда магнитті жетек қаныққан кезде трансформатордың магнитті ағыны магниттейтін токқа пропорционал емес болады. Сондықтан синусоидалды магнитті ағыны кезінде Φ магниттейтін ток i синусоидалды емес болады. Осы токтың қисығын анықтау үшін $i_{\text{ор}} = f(t)$ магнитті жетекші магниттеу кестесін және $\Phi = f(t)$ ағынды өзгерту кестесін пайдаланамыз. 1.23, а суретте магниттеуші токтың құру кестесі берілген $i_{\text{ор}} = f(t)$. Мұнда сол жақ үстіңгі квадрантта $\Phi = f(t)$ синусоидалды қисық көрсетілген, ал үстіңгі оң жақ квадрантта- магнитті жетек материалының $\Phi = f(i_{\text{ор}})$ магниттеу қисығы берілген. Магниттеуші токтың кестесін алу үшін $i_{\text{ор}} = f(t)$



1.23-сурет. Магниттеуші токтың кестесін қою (а) және құраушыларына бөлу (б)

ол келесідей жасайтын оң жақ төменгі квадрантта орналасқан. $\Phi = f(t)$ кестесінде бірқатар 1, 2, 3 нүктелерді таңдайды және оны магниттеу кестесіне түсіреді және магниттеуші токтың мәндерін анықтайды, олар магнитті ағынның таңдалған мәндеріне сай. Содан кейін 1,2,3 нүктелері арқылы білігінде 1,2,3 нүктелері арқылы осы квадранттың уақыт білігіне көлденең сызықтармен қиылысқанша оң жақ төменгі квадрантқа жүргізеді, және $i^{\wedge} = f(t)$ магниттеуші токтың кестесінің нүктелерінің геометриялық орнын алады. Жасаған құрылымдардан көрінгендей, $\Phi = f(t)$ кестенің синусоидалд пішінінде магниттеуші ток төбе тәріздес пішінді иеленеді. Құрылыстарды қарапайым қылу мақсатында гистерезис құбылысын ескерусіз құрылған $\Phi = f(i_{op})$ магниттеу кестесін пайдаландық.

Токтың i_{op} синусоидалды емес кестесінің синусоидалды құраушыларына (1.23, б-сурет) бұл токта негізгі i_{op1} (бірінші) гармоникадан басқа магниттеуші токтың i_{p3} үшінші гармоникалық құраушысы айқын. Мәселен, жоғары легирленген болаттан жасалған магнитті жетегі бар трансформаторда индукциясы $B = 1,4$ Тл үшінші гармоника амплитудасы шамамен магниттеуші токтың негізгі гармоникасының 30 % құрайды. айтылған тек бос жүрісті токқа ғана байланысты, себебі белсенді құраушысы i_{0a} синусоидалды болып табылады. Әдетте i_{0a} 10 % I_0 аспайды, сондықтан бос жүрісті ток кестесі $i_0 = f(t)$ $i_{op} = f(t)$ кестесінен ерекшеленбейді.

1.10. Бос жүріс режимінде үш фазалы трансформатордың жұмысына орам байланыстары сызбасының әсері

Үш фазалы жүйенің үшінші гармоника теңдеуінен

$$\begin{aligned} *A_3 &= i_3 \max^{\sin 3\omega t}, \\ 3 &= i_3 \max^{\sin 3(\omega t - 120^\circ)} = i_3 \max^{\sin 3\omega t}, \\ 3 &= i_3 \max^{\sin 3(\omega t + 120^\circ)} = i_3 \max^{\sin 3\omega t} \end{aligned} \quad (1.37)$$

Көрінетіні, бұл токтар кез келген фаза бойынша сәйкестенеді, яғни бағыты бірдей. Бұл қорытынды токтың өзге жоғары гармоникаларына әсер етеді, үш есе – 9, 15 және т.б. Бұл жағдай үш фазалы токты трансформациялау кезінде өзектің магниттелуін сүйемелдейтін процестерге әсер етеді.

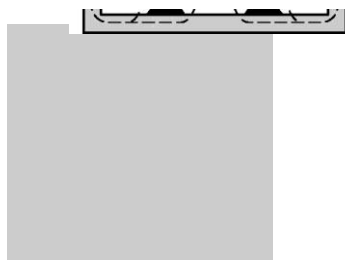
1.24-сурет. Орам байланысының түрлі сызбаларына үшінші гармоника токтарының бағыты

Үш фазалы трансформатордың бос жүрісті режимінің ерекшеліктерін орам байланыс сызбалары үшін қарастырайық.

Y/Y_0 трансформатордың орам байланыстары. Егер кернеу орам жағынан болса, нольдік байланыссыз жұлдызға біріккен (1.24 а-сурет) онда үшінші гармоника токтары (және үш есе – 9, 15 және т.б.) барлық үш фазада сәйкестенсе, нольге тең болады. Бұл нольдік сымның болмауымен түсіндіріледі, яғни нольдік нүктеден шығу болмайды. Нәтижесінде үшінші және үш есе гармоника өзара толықтырылады, және трансформатордың магниттеуші тогы синусоидалды болады. Бірақ магнитті жетектегі магниттік ағын синусоидалды емес, үшінші гармоникасының ағыны айқын білдірілген (1.25-сур).

Үшінші гармоника ағындары үш өзекті магнитті жетекте тұйықтала алмайды, себебі олар фаза бойынша сәйкестенеді, қарама-қарсы бағытталған. Бұл ағындар ауа (май) және бактың металл қабырғалары арқылы тұйықталады. (1.26-сурет).

t



1.25-сур. Магниттеуші токтың синусоидалды пішінінде магнитті ағының құрылу кестесі

1.26-сур. Үш өзекті магнитті жетекте магнитті ағындарды тұйықтау жолдары

Φ ағынына үлкен магнитті кедергі оның көлемін әлсіретеді, сондықтан осы ағынмен келтірілетін фазалық орамдардағы үшінші гармоника ЭҚК үлкен емес және әдетте олардың амплитудасы негізгі гармоника амплитудасынан 5 — 7 % аспайды. Тәжірибеде үшінші ағын және үш есе гармониканы иірімді токтардың шығынын есептеген кезде ғана ескереді, осы ағындармен бак ішінде индукстеледі. Бұл шығындардың көлемі магнитті индукцияның артуымен өседі. Мысалы, магнитті жетек өзегінің индукциясы кезінде бактағы иірімді токтың шығыны 1,4 Тл магнитті жетектегі шығынның 10 % құрайды, ал 1,6 Тл индукциясы кезінде 50 — 65 % шығындар артады.

Трансформаторлық топ жағдайында, олар бір фазалы трансформаторлардың бірінен құралады (1.20, а-сур.қара), жеке фазалардың магнитті жетектері байланысты емес, сондықтан барлық фазалардың үшінші гармоникасының магнитті ағындары өзара толықтырылмайды, кедергісіз тұйықталады (әр фаза өз магнитті жетегінде тұйықталады). Мұнда Φ ағыны көлемі Φ_3 . 15 — 20% қол жеткізе алады.

Φ синусоидалды емес магнитті ағыны трансформатордың магнитті жетегінде Φ негізгі гармоникасынан бөлек, үшіншісін де Φ_3 қамтиды

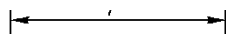
$$\Phi = \Phi_1 \sin \omega t + \Phi_3 \sin 3\omega t \quad (1.38)$$

Фазалық орамдарда синусоидалды емес ЭҚК индукстеледі

$$e = -\omega d\Phi/dt = \omega \Phi_1 \sin(\omega t - p/2) + 3\omega \Phi_3 \sin(3\omega t - p/2) = e_1 + e_3. \quad (1.39)$$

Φ_3 магнитті ағынының 3ω артқан жиілігі артық магниттендіруге пропорционал ЭҚК e_3 маңызды трансформатор орамдарына келеді. Бұл орамдардың фазалық ЭҚК амплитудалық мәнін арттырады, дәл сол қолданыстағы мәнінде (1.27-сурет), ол орамды электрлі оқшаулауға қауіп тудырады. Үшінші гармоника ЭҚК амплитудасы трансформаторлық тота негізгі гармониканың амплитудасынан 45 — 65 % жетеді.

Алайда айта кету керек, желілік ЭҚК (кернеулер) синусоидалды болып қалады және үшінші гармоника ЭҚК қамтымайды, себебі



1.27-сурет. Y/Y трансформаторлық топтың фазалық ЭҚК кестесінің формасы

$$\sim E_{1A} \quad E_{1B} \sim$$

$$E_{3A} E_{3B} E_{3C}$$

$$E_{3AB}=0$$

$$\vec{b}$$

1.28-сурет. Үш фазалы трансформатордың негізгі (а) және үшінші (б) ЭҚК векторлық диаграммалары

орамдардың жұлдызша біріккенде e_{3A} , e_{3B} және e_{3C} фаза бойынша сәйкестеніп, желілік ЭҚК құрмайды. Бұл желілік ЭҚК орамы жұлдызша біріккенде ЭҚК түрлі фазалығымен түсіндіріледі. Себебі негізгі гармоника үшін (1.28, а-сурет) желілік ЭҚК

$$E_{1AB} = -E_{1A} + E_{1B} - \sqrt{3}E_{1A}.$$

Үшінші және үш еселік фазалық осы гармоник ЭҚК қатысты

Олар сәйкестенген кезде (сурет. 1.28, б)

$$E_{3AB} = E_{3B} E_{3A} = 0.$$

Егер трансформатордың бірінші орамы НН орамы және оның нольдік қорытындысы G генератордың нольдік шығысына қосылады (1.24, б-сурет) онда фазалардың магниттеуші токтары үшінші гармонику қамтиды. Бұл токтар фаза бойынша сәйкес келеді, [(1.37)қараңыз], сондықтан олардың барлығы трансформатордан генераторға немесе керісінше бағытталады. Мұнда нольдік сымда тең $3i_3$ ток өтеді. Нәтижесінде трансформатордың магниттік ағыны, нәтижесінде, ЭҚК фазаларда синусоидалды болады.

Трансформатордың қандай да бір жағының орамдарының байланыстары (ВН немесе НН) үш бұрышқа біріккен. Бұл байланыс сызбалары таңдаулы, себебі олар бұрынғы сызбалардың кемшіліктерінен айырылған. Трансформатордың бірінші орамдары үш бұрышқа біріккен. Онда үшінші гармоника тогы үшбұрышқа біріккен фазалық орам контурында тұйықталған (1.24 в-суретте қараңыз). Бірақ магниттелуші ток үшінші гармоникуы ұстап тұрады, онда өзектердегі магнитті ағындар, яғни ЭҚК фазаларда синусоидалды.

Егер трансформатордың екінші орамдары үшбұрышқа, ал біріншісі жұлдызға біріксе, онда үшінші гармоника ЭҚК екінші орамдарда келтірілген, үшбұрыштың тұйықталған контурында үшінші гармоника тогын тудырады. Бұл ток магнитті жетекте Φ_{23} үшінші гармоника магнитті ағындары. Бұл үшінші гармониканың магнитті ағындарының магнитті жетегінде магниттеуші токтан Φ_{13} (Ленц ережесі) үшінші гармоника ағындарына қарсы бағытталған. Нәтижесінде нәтижеленуші үшінші гармоника ағыны $\Phi_{рез 3} = \Phi_{13} + \Phi_{23}$ әлсірейді және трансформаторлардың қасиеттеріне әсер етпейді.

1.11. Трансформаторды алмастыру сызбасының тәжірибелік өлшемдері

Трансформаторды алмастырудың электрлі схемасы (1.18 б-суретін кара) трансформатордың қасиеттерін кез келген режимде нақты зерттеуге жеткілікті. Бұл сызбаны сипаттамаларды анықтау кезінде пайдалану қуаты 50 кВА және одан артық қуаттағы трансформаторлар үшін тәжірибелік маңызы бар, себебі осындай трансформаторларды тікелей жүктеме әдісімен зерттеу техникалық қиындықтармен байланысты: электр қуатының өнімді еме шығынымен, үлкен және қымбатты жүктеме құрылғыларының қажеттілігімен байланысты.

Алмастыру сызбаларының өлшемдерін анықтау $Z_1 = r_1 + jx_1$, $Z_m = r_m + jx_m$, $Z_2 = r_2 + jx_2$ есептік немесе тәжірибелік жолмен мүмкін. Трансформаторды алмастыру сызбасын анықтаудың тәртібі тәжірибелік жолмен баяндалады, оны болмысы бос жүрісті және қысқа тұйықталу тәжірибесін жүргізуде.

Бос жүріс тәжірибесі. Бос жүріс деп трансформатордың екінгі орамы ашық кезіндегі жұмыс режимін атайды ($Z^\wedge = \infty$, $I_2 = 0$). Бұл жағдайда кернеулер мен токтардың теңдеуі (1.34) келесі түрді қабылдайды

$$\begin{aligned} U_1 &= H \& i_1 + I_0^* x_1 + V_1; \\ U_2 &= E_2; I_2 = I_0. \end{aligned} \quad (1.40)$$

Себебі трансформатордың жұмысы кезіндегі пайдалы қуаты бос жүрісте нольге тең, онда қуаты трансформатор кірісінде бос жүріс P_0 режимінде магнитті жетектегі P_m магнитті шығындарға шығындалады (магнитті жетектің артық магниттелуіне шығындар және иірімді токтарды келтірумен тудырылған шығындар) және бірінші орамдағы электрлі шығындар $I_0^2 r_1$ (оның бойымен ток өтетін кезде орамды жылыту). Алайда I_0 токтың кіші болған кезінде ол әдетте 2 — 10% $I_{1ном}$ аспайды, электрлі шығындарды көзге ілмеуге болады және бос жүрістің $I_0^2 r_1$ барлық қуаты магнитті жетек болатында магнитті шығындардың қуатын білдіреді. Сондықтан трансформатордағы магнитті шығындарды бос жүрісті шығын деп атау қабылданған (1.14-қараңыз).

Бос жүрісті бір фазалы трансформатордың тәжірибесі 1.29 асуретінде бейнеленген сызба бойынша келтіріледі. Сызбаға қосылған электр өлшеуіш құралдардың топтамасы бірінші орамға келтірілген U_1 кернеуді өлшеуге болады, кернеу U_2 екінші орам шығысында бос жүрістің қуаты P_0 және I_0 бос жүрісті ток.

Трансформатордың бірінші орамындағы кернеу, әдетте, РНО кернеу бір фазалы регуляторын келтіреді, ол біртіндеп кернеуді 0 ден 1,15 $U_{1ном}$ арттыруға мүмкіндік береді. Мұнда бос жүрісті токтың бірдей интервалы шамалы бірдей



1.29-сурет. Бір фазалы (а) және үш фазалы (б) трансформатордың бос жүріс тәжірибесінің сызбасы

құралдардың көрсеткішін алады, содан кейін бос жүріс сипаттамасын құрады: бос жүрісті P_0 қуаттың бос жүрісті ток тәуелділіктері I_0 және бос жүрісті қуатының $\cos \varphi_0$ коэффициенті бірінші кернеу U_1 (1.30-сурет).

Бұл сипаттамалардың қиғаштығы магнитті жетектің магнитті қанығу жағдайымен шартталған, ол U_1 кернеудің белгілі мәнінде туындайды.

Бос жүрісті тәжірибесінің үш фазалы трансформаторының кернеуін U_1 РНТ кернеудің үш фазалы регуляторы арқылы бекітеді (1.29 б.-суреті). Бос жүрістің сипаттамалары ток пен кернеудің орташа фазалық мәндері бойынша үш фаза үшін құрады:

$$I_0 = I_{0a} + I_{0b} + I_{0c} \quad (1.41)$$

$$U_i = (U_{1a} + U_{1b} + U_{1c}) / 3. \quad (1.42)$$

Бір фазалы трансформатор үшін қуат коэффициенті

$$(1.43)$$

$$(1.44)$$

үшфазалы

мұнда P_0 және P_0'' — бір фазалы ватметрлердің көрсеткіштері; U_i және I_0 — кернеу мен ток күшінің фазалық мәндері.

Бос жүрісті мәліметтері бойынша анықтауға болады: трансформация коэффициенті

1.30-сурет. Үш
фазалы
трансформатордың
бос жүріс
сипаттамалары (100

$$\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,08$$

COSip₀

00

00

0 40 80 120 160 $U_{II} B$

Бос жүрісті ток кезінде және_{ном} (% бірінші номиналды токтан)
*0 = (I_{ном}/I_{ном})¹⁰⁰ (1.45)

Сонымен қатар бос жүріс шығындары P_0 .

Үш фазалы трансформаторда бос жүрісті токтар фазалардабірдей емес және ассиметриялы жүйені құрайды (1.8 қараңыз), сондықтан қуат P_0 1.29-б-суретте бейнеленген сызба бойынша екі ватметрмен өлшеу керек. Бос жүріс режимінде алмастыру сызбасының бірінші тармағындағы кернеудің құлауы $I_0(r_1 + jx_l)$ (1.31-сурет) шамалы үлкендікті құрады, сондықтан белгілі қателікті жібермей, магниттелу тармақтарының өлшемдерін есептеу үшін келесі өрнектерді пайдалануға болады:

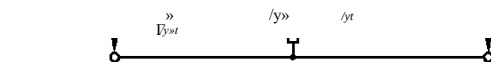
$$Z_m = U_i / I_0 ; \quad (1.46)$$

$$\Gamma_m = Z_m \cos \varphi_0 ; \quad (1.47)$$

$$X_m = \gamma j Z^{\wedge} - \wedge . \quad (1.48)$$

Әдетте, жалпы арналымдағы күштік трансформаторларда орта және үлкен қуаттағы бос жүрісті номиналды бірінші кернеуі $i_0 = 10$ —0,6 % тиісінше.

Егер бос жүрісті токтың нақты мәндері $I_{0\text{ном}}$ және



1.31-сурет. Бос жүріс режимінде трансформаторды

$P_{0ном}$, бос жүрісті қуаттың бірінші кернеу $U_{1ном}$ бастапқы мәндеріне сәйкес осы трансформатор түрінің тізімдемесінде көрсетілген өлшемдердің мәнінен елеулі асып кетеді, онда ол трансформатордың ақаулығы туралы куәландырады (магнитті жетектің пластиналарының бөліктерінде тұйықталу немесе орамдардағы қысқа тұйықталған иірімдері).

1.4-мысал. 1.30-суретте бос жүрісті сипаттамалары келтірілген ($I_{0ном} = 20,5$ А; $\cos \phi_{0ном} = 0,08$) бастапқы мәліметтері бар үш фазалы трансформатор: $U_{ном} = 100$ кВ-А; $U_{1ном}/U_{2ном} = 6,3/0,22$ кВ; Y/Y орам байланыстары. Трансформаторды алмастыру Z_m , r_m және x_m сызбасының магниттеу тармақтарының өлшемдерін анықтау және НН $u_2\phi = 127$ В орам жақтарындағы бастапқы фазалық кернеу кезіндегі бос жүрістің тогы.

Шешуі. Магниттендіру тармағының толық кедергісі (1.46) $Z_m = U_{2\phi}/I_0 = 127/20,5 = 6,2$ Ом; магниттендіру тармағының белсенді кедергісі (1.47)

$$R_m = Z_m \cos \phi_{0ном} = 6,2 \cdot 0,08 = 0,49 \text{ Ом};$$

Магниттендіру тармағының индуктивті кедергісі (1.48)

$$X_m = \sqrt{Z_m^2 - R_m^2} = \sqrt{6,2^2 - 0,49^2} = 6,18 \text{ Ом}.$$

Бос жүрісті ток (1.45)

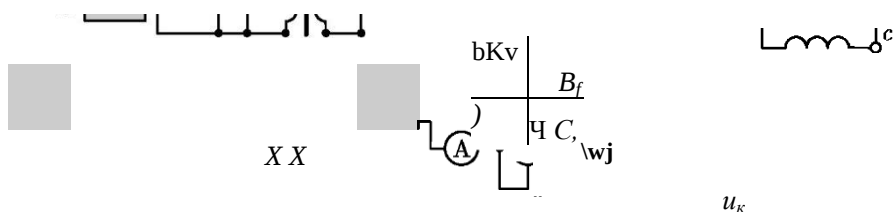
$$I_0 = (I_0 / I_{2ном}) I_{2ном} = (20,5/264) I_{2ном} =$$

7,8%. мұнда токтың бастапқы мәні НН орамында

$$I_{2ном} = I_{ном}/(\sqrt{3} \cdot U_{2ном}) = 100/(0,22 \cdot \sqrt{3}) = 264 \text{ А}.$$

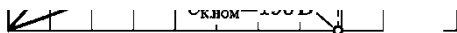
мұнда $I_{2ном}$ — екінші кернеудің желілік мәні.

Қысқа тұйықталу тәжірибесі. Трансформатордың қысқаша тұйықталуы — бұл екінші орам қысқа тұйықталған режим ($Z_{ж} = 0$), мұнда екінші кернеу $U_2 = 0$. Пайдалану жағдайында трансформаторға келтірілген



1.32-сурет. Бір фазалы (а) және үш фазалы (б) трансформатордың қысқаша тұйықталу тәжірибесінің сызбасы

1.33-сурет. Үш
фазалы
трансформатордың
қысқаша түйықталу
сипаттамалары (100 кВ.А;



050 100 150 200 U_K, B

кернеу және $I_{1\text{НОМ}}$ қысқаша түйықталу апатты жағдай және трансформатор үшін үлкен қауіп тудырады (4.1-қараңыз).

Қысқа түйықталу тәжірибесі кезінде бір фазалы трансформатордың төменгі кернеу орамын қысқаша түйықтайды (1.32, а сурет), ал жоғары кернеу орамына төмендетілген кернеу келтіреді, біртіндеп оны РНО кернеу реттеуішімен $I_{\text{КНОМ}}$ мәнге дейін көтеріп, онда трансформатордың орамдарындағы қысқаша түйықталу тогы бірінші ($I_{1K} = I_{1\text{НОМ}}$) және екінші ($I_{2K} = I_{2\text{НОМ}}$) орамдағы бастапқы токқа теңеседі. Мұнда құралдардың көрсеткіштері алынады және қысқаша түйықталу сипаттамаларын құрады, олар I_{1K} , қысқаша түйықталу тогының тәуелділігін, қысқаша түйықталу қуатын P_K және $\cos \phi_K$ қысқаша түйықталу кернеуінен қуаттың u_K коэффициентін білдіреді. (1.33-сурет).

Үш фазалық трансформатордың жағдайында тәжірибені 1.32 б-суретте көрсетілген сызба бойынша жүргізеді, ал қысқа түйықталу кернеу мәндері және қысқа түйықталу тогын үш фаза үшін орташа ретінде анықтайды:

$$I_K = (U_{KA} + U_{KB} + U_{KC})/3; \quad (1.49)$$

$$I_K = I_K A + I_K B + I_K C \cdot \quad (1.50)$$

Қысқа түйықталу тәжірибесі кезінде қуат коэффициенті

$$\cos \phi_K = P_K / (3 U_K I_K) \cdot \quad (1.51)$$

Үш фазалық трансформатордың белсенді қуатын екі ваттметр әдісімен өлшейді. Мұнда қысқаша тұйықталу қуаты

$$P_k = \text{ЯсЧ } P_k'', \quad (1.52)$$

мұнда P_i және P_k'' — бір фазалы ваттметрлердің көрсеткіштері, Вт.

Трансформатор орамдарындағы номиналды ток мәніне сәйкес келетін қысқа тұйықталу кернеуі қысқаша тұйықталу тәжірибесі кезінде қысқаша тұйықталудың бастапқы кернеуі деп атайды. Әдетте бұл кернеу бірінші % бастапқы кернеуден көрсетеді:

$$U_k = (U_{k''} / I_{\text{НОМ}}) I^{0.0} \quad (1.53)$$

күштік трансформаторлар үшін $U_k = 5 \wedge 10 \% I_{\text{НОМ}}$ -ден

(1.20) сәйкес трансформатордың магнитті жетегіндегі U_1 магниттік ағын бірінші кернеуге пропорционал. Бірақ қысқаша тұйықталу тәжірибесі кезінде бұл кернеу $I_{\text{НОМ}}$ -ден 10 % аспайды, онда шағын көлемін магниттік ағыны құрайды. Осындай магниттік ағынды құру үшін шағын магниттеуші ток керек, оның мәнін назарға алмауға болады. Бұл жағдайда токтардың теңдеуі келесі (1.24) түрді қабылдайды:

$$L_k = -Z_k, \quad a^{54})$$

және қысқаша тұйықталу тәжірибесі үшін трансформаторды алмастыру тәжірибесі магниттеу тармағын қамтымайды (1.34, а-сурет). Бұл алмастыру сызбасы үшін кернеу теңдеуінің түрі:

$$U_k = L_k (i_1 + i_2) + j L_k (x_1 + x_2) \quad (1.55)$$

немесе

$$U_k = L_k i_k + j L_k x_k = L_k \wedge. \quad (1.56)$$

қысқаша тұйықталу тәжірибесі кезінде трансформатордың толық кернеуі

$$Z_k = \Gamma_k + j X_k, \quad (1.57)$$

мұнда Γ_k және X_k — қысқаша тұйықталудың кернеудің белсенді және индуктивті құраушылары Z_k .

Токтардың (1.54) және кернеудің (1.55) теңдеулерін пайдаланып, қысқаша тұйықталу тәжірибесі үшін трансформатордың векторлық диаграммасын құрамыз (1.34, б-сурет). Бұл диаграмманы құру қысқаша тұйықталудың кернеу векторынан басталады $U = I \wedge Z_k$. Содан кейін Φ_k бұрышында U векторына $1_{1k} = -1/2_k$ қысқаша тұйықталу векторын жүргізеді. Бірінші орамдағы 1_{1k} кернеудің құлау векторларын құрып, және екінші орам $j \wedge$ кернеудің құлау векторлары 1_{2k} r_2 және $j L_{k2}$, АОВ тікбұрышты тіктөртбұрышт алады, қысқаша тұйықталу үш бұрышы деп аталады.



к

б

1.34-сурет. Трансформатордың алмастыру сызбасы (а) және векторлық диаграммасы (б)

Бұл үшбұрыш жақтары:

$$OB = {}_{1k}\Gamma + {}_{/2k}\Gamma_2 = L_k \Gamma c = U_{k.a} ;$$

$$BA = ji \, I_{kX} + ji2A = jliKX_k = U_{k.p} ;$$

$$OA = 4Z_k = U_k.$$

мұнда

$$и_k = U_{k.a} + и_{k.p}, \quad (1.58)$$

мұнда $и_{k.a}$ және $и_{k.p}$ — қысқаша тұйықталу кернеуінің белсенді және реактивті құраушылары, В.

Алмастыру сызбасының толық, белсенді және индуктивті кедергісі қысқаша тұйықталу тәжірибесі кезінде:

$$Z_{\Sigma} = \frac{1}{\frac{1}{Z_K} + \frac{1}{Z_{\Sigma}}}, \quad (1.59)$$

$$G_K = Z_K \cos \varphi_K; \quad (1.60)$$

$$\varphi_{\Sigma} = \varphi_K - \varphi_{\Sigma} \quad (1.61)$$

Кедергінің G_K және $\cos \varphi_K$ қуат коэффициентінің Z_{Σ} қуаттың алынған мәндері P_K және қысқаша тұйықталу кернеуі U_K оны орамдардың жұмыс температурасына келу керек $+75^{\circ}\text{C}$:

$$G_{K75} = G_K^{11} + a^{(75-0_1)}; \quad (1.62)$$

$$Z_{K75} = V^G_{K75} + X_K; \quad (1.63)$$

$$\cos \varphi_{K75} = G_{K75} / Z_{K75}; \quad (1.64)$$

$$U_{K75} = (U_{K75}^2 / Z_{K75} / 1_{\text{НОМ}})^{100}, \quad (1.65)$$

мұнда G_K — 0_X қоршаған орта температурасында қысқаша тұйықталудың белсенді кедергісінде қысқаша тұйықталу тәжірибесі жүргізілді; $a = 0,004$ — мыс пен алюминий үшін кедергінің температуралық коэффициенті.

Негізгі ағынның F_{max} қысқаша тұйықталу тәжірибесі кезінде оның бастапқы бірінші кернеуі кезінде мәнімен салыстырғанда бірнеше пайызды ғана құрайды, онда осы ағынмен тудырылатын магнитті шығындарын ескермеуге болады. Яғни трансформатордың қысқаша тұйықталу тәжірибесі кезінде тұтынылатын қуат P_K , трансформатор айналымдарындағы электрлі шығындарды жабуға толығымен жұмсалады:

$$P_K = I_{1K}^2 R_1 + I_{2K}^2 R_2 = I_{2K}^2 R_K.$$

Қысқаша тұйықталу қуаты орамдардың жұмыс температурасына әкеледі $+75^{\circ}\text{C}$:

$$P_{K75} = I_{2K}^2 R_{K75}. \quad (1.66)$$

1.5-мысал. Желілік кернеуі 6,3/0,22 В, Y/Y орам байланыстары үш фазалық трансформатор 100 кВ -А қуатының қысқаша тұйықталу тәжірибесі кезінде өлшем нәтижелері 1.1.-кестеде берілген (кернеу ВН жағынан жүргізілді). Қысқаша тұйықталу сипаттамасын құру: қысқаша тұйықталу U_{1K} тогының тәуелділігі қысқаша тұйықталу P_K қуаты және қысқаша тұйықталу $\cos \varphi_K$ кернеуінен G_K қуат коэффициенті.

Бұйым нөмірі	U _A , В	U _B ^{U_{KB}>}	U _D ^{U_{«C»,}}	Λ _{KA} » ^Λ	4б, ^Λ	4с> ^Λ	B _T
1	64	63	62	2,9	3,0	3,1	109
2	105	105	103	5,1	5,0	5,0	513
3	147	146	146	7,2	7,0	7,2	1040
4	191	189	190	9,2	9,2	9,1	1780

Шешуі. Қысқаша тұйықталудың бастапқы (фазалық) кернеуіне $U_{к\cdot ном} = 190$ В сәйкес келетін қысқаша тұйықталу тәжірибесінің өлшемдерін есептеулері келтірілген, мұнда қысқаша тұйықталу тогы

$I_k = Z_{iHOM} = S_{,ом}/(V3U_{iHOM}) = 100/(V3 \cdot 6,3) \gg 9,15$ А (1.1-кестесіндегі 4 өлшемі).

Қысқаша тұйықталу фазалық кернеуінің орташа (үш фаза үшін) мәні (1.49)

$$U_{к.,ом} = (191 + 189 + 190)/3 = 190 \text{ В.}$$

Қысқаша тұйықталу тогының орташа мәні (үш фаза үшін) (1.50)

$$I_{I_k} = (9,2 + 9,2 + 9,1)/3 = 9,15 \text{ А.}$$

Қысқаша тұйықталу тәжірибесі кезінде трансформаторды алмастыру сызбасының өлшемі: қысқаша тұйықталудың толық кернеуі (1.59)

$$Z_k = U_{к.,ом}/I_{1,ом} = 190/9,15 = 20,8 \text{ Ом;}$$

қысқаша тұйықталу қуатының мәнінен $P_k = /2_{кГ_k}$ қысқаша тұйықталу белсенді кернеуін анықтаймыз:

$$Г_k = P_k / (3/2_{,ом}) = 1780/(3 \cdot 9,15^2) = 7,1 \text{ Ом;}$$

Қысқаша тұйықталудың индуктивті кедергісі (1.61)

$$X_k = \omega L_k = V28,8^2 - 7,1^2 = 19,6 \text{ Ом.}$$

Қоршаған орта температурасын қабылдап $\theta_1 = 20$ °С, алынған көлем мәндерін орам жұмыс температурасына әкелеміз $+75$ °С: қысқаша тұйықталудың белсенді кедергісі (1.62)

$$Г_{к75} = 7,1[1 + 0,004(75 - 20)] = 8,6 \text{ Ом;}$$

қысқаша тұйықталу толық кедергісі

$$Z_{к75} = V8,6^2 + 19,6^2 = 21,5 \text{ Ом;}$$

қысқаша тұйықталу қуаты (1.66)

$$P_{к75} = 3/2_{кГ_{к75}} = 3 \cdot 9,15^2 \cdot 8,6 = 2160$$

Вт; қуат коэффициенті (1.64)

$$\cos \varphi_{к75} = +75/2_{к75} = 8,6/21 \varphi = 0,40$$

Бұйым нөмірі	U, в	Лк, ^А	Δ ^В Т	^{cos} Фк75
1	65	3	230	0,40
2	108	5	620	0,40
3	152	7	1260	0,40
4	190	9,15	2160	0,40

Қысқаша тұйықталу кернеуі (1.65)

$$\langle K_{75} = N_{\text{жк}} \cdot K_{75} / U_{i,0M} \rangle 100 = (9,15 \cdot 21,5 \cdot \sqrt{3} / 6300) 100 = 5,4\% .$$

Дәл осы тәртіпте қысқаша тұйықталу тогының өзге мәндері үшін қысқаша тұйықталу тәжірибесінің өлшемдерін есептейміз. Есептеулердің нәтижесін 1.2-кестеге енгіземіз, содан кейін қысқаша тұйықталу сипаттамаларын құрамыз (1.33-суретті қара).

1.12. Трансформатордың қарапайым векторлық диаграммасы

Жүктелген трансформатордың векторлық диаграммасы (1.19-суретті қара) трансформатордың өлшемдері арасында қатынасын көрсетеді. Бұл диаграмманың күрделілігі үшін ол практикалық есептулер пайдаланыла алмайды. Диаграмманы қарапайымдандыру және оған тәжірибелік мәнін беру үшін келесідей жасау керек. Жүктемемен істейтін күштік трансформаторларда, ол бастапқыға жақын, бос жүрісті тоқты қарастырмайды және $I_1 = -I$ деп санайды. Бұл жағдайда алынған қателікке жол беріледі, себебі I_0 ток $I_{1\text{ном}}$ және $I_{2\text{ном}}$ тогымен салыстырғанда үлкен емес (1.14.-суретті қараңыз). Жол берілген жағдайда трансформаторды алмастыру сызбасы қарапайымданады, себебі магниттеу тармақтары болмайды және ретті учаскелерден ғана құралады $\varepsilon_k =$

$= i_1 + i$

$$' \text{ и } x_k = x_1 + \% (1.35, \text{ а-сурет}).$$

a

б

в

о-

Ц.

О-

1.35-сурет. Трансформатордың алмастырудың қарапайым сызбасы (а) және векторлық диаграммасы (б)

Тиісінше қарапайымдалған алмасу сызбасы бойынша және қарапайым векторлық диаграмма (1.35 б-сурет) онда ABC тікбұрышты үшбұрыш қысқаша тұйықталу үшбұрышын білдіреді, оның қабырғалары тең:

$$BC = D_{гк}; CA = I_1 Z_K; AB = D_{a*}.$$

Трансформатордың қарапайымдалған векторлық диаграммасын қуат коэффициентінің $1/\cos \phi_{2ном}$ тогының $\cos \phi_{2ном}$ кернеудің $U_{\wedge}$ белгіленген мәндері бойынша және қысқаша тұйықталу үш бұрыш өлшемдері U_K , $I_{ка}$ және I_{K*} бойынша құрады.

1.36-сурет. Қарапайым векторлық диаграмманы құру

Қарапайым векторлық диаграмманы құру тәртібі (1.36-сурет) келесідей. Ток векторының координата білігінде $1_1 = -f$, содан кейін бұрышында j_2 кернеу U_2' векторын құрады. Қысқаша тұйықталу $A'B'C'$ үшбұрышын C' нүктесі координата нүктесімен үйлесетіндей, ал $C' B'$ катеті ордината осімен үйлесетіндей орналасу керек. Содан кейін үшбұрышты C нүктесін U_2 вектор ұшымен үйлестіріп, тасымалдайды, ал жақтарын бастапқы $A'B'C$ үш бұрышқа параллель қалдырады. ABC үшбұрышын алады. Осы құрылыстардан кейін координата осінен басталады (O нүктесі) бірінші (фазалық) кернеу U /векторын жүргізеді және бірінші ток I_1 пен бірінші кернеу U_1 арасында фазалық қозғалыс j бұрышын анықтайды.

1.13. Трансформатордың сыртқы сипаттамасы

Трансформатор жүктемесі болмаған кезде (бос жүріс режимі) екінші орам шығысындағы кернеу $U_2' = U_1$. Жүктемені қосқан кезде кернеу $U_2' = U_{\wedge} - I_{\wedge}^* Z_K$. Бұған трансформаторды алмастырудың қарапайым сызбасын пайдалануға көз жеткізуге болады (1.35-суретті қараңыз). Егер трансформатордың жұмыс жасау процесінде жүктемесі немесе сипаты өзгерсе, онда ол трансформатор шығысында кернеу тербелістеріне әкеледі.

Трансформатордың бос жүрістен бастапқыға дейін жүктемесін арттыру кезінде екінші кернеуін өзгерту трансформатордың маңызды сипаттамасы болып табылады және келесі өрнекпен анықталады

$$AU_{ном} = \frac{U_{ном} U_2}{U_{1ном}} 100. \quad (1.67)$$

А $U_{\wedge}$ анықтау үшін келесі қосымша құрылысты жасап, трансформатордың қарапайым векторлық диаграммасын пайдаланамыз. (1.37-сурет).

А нүктесінен векторлық жалғастыруға перпендикуляр — U_2 жібереміз, D нүктесін аламыз. Кейбір жол берушілікпен кесіндісі BD мына түрлілікті білдіреді деп санаймыз

$$U_{ном} - U' = BD = BF + FD,$$

мұнда $BF = I_{ка} \cos j_2$; $FD = I_{к.р} \sin j_2$, онда

$$U_{ном} - U_2 = U_{к.а} \cos j_2 + U_{к.р} \sin j_2. \quad (1.68)$$

1.37-сурет.

$DU_{ном}$

(1.69)

(1.68)

Екінші кернеуді өзгерту (1.67) ескерумен

түрін қабылдайды:

$$DU_{ном} = (U_{к.а} \cos j_2 + U_{к.р} \sin j_2) 100 / U_{1шм}. \quad (1.69)$$

Белгілейміз $(U_{к.а} / U_{ном}) 100 = u^A$; $(U_{к.р} / U_{ном}) 100 = I_{к.р}$, онда трансформатордың екінші кернеу өрнегінің өзгеруі жүктемені арттырған кезде (1.67) аламыз:

$$DU_{ном} = U_{к.а} \cos j_2 + U_{к.р} \sin j_2. \quad (1.70)$$

(1.70) өрнегі трансформатордың бастапқы кернеуі кезінде екінші кернеуді өзгертуін анықтау мүмкіндігін береді. Өрнекте кез келген жүктеме үшін екінші кернеуді есептеуді қажеттігі жағдайында (1.70) жүктеме тоғының қатысымды мәнін білдіретін жүктеме коэффициентін енгізу керек $b = U / U^A$:

$$DU = b(u_{к.а} \cos j_2 + U_{к.р} \sin j_2). \quad (1.71)$$

a

б

1.38-сурет. Үш фазалы трансформатордың жүктемесінен DU тәуелділік (a) және жүктеме қуатының коэффициенті (б) (100 кВ.А; 6,3/0,22 кВ; $u_k = 5,4\%$;

(1.71) өрнегіне сәйкес, екінші кернеуді $A U$ өзгерту трансформатор жүктемесінің көлемінен (b), ғана емес, осы жүктеме (j_2) сипатына байланысты болады.

1.38 а-суретте $A U = f(b)$ тәуелділік кестесі берілген, $\cos j_2 = \text{const}$, ал 1.38 б-суретте $A U = f(\cos j_2)$ кестесі берілген, $b = \text{const}$.

Бұл кестелерде трансформатордың жұмысы кезінде мәндері теріс $A U$, онда сыйымдылықты жүктемесі бос жүрістен жүктемеге көшкен кезде кернеуді арттыруға сәйкес келеді.

$u_{ka} = u_R \cos \phi_k$, $u_{kp} = i' \sin \phi_k$ ескере отырып, кез келген жүктемеде екінші кернеу өзгерістерін есептеу үшін тағы бір өрнек аламыз:

$$AU = bu_k(\cos j_k \cos j_2 + \sin j_k \sin j_2) = b^u_k \cos(j_k - j_2). \quad (1.72)$$

(1.72) сәйкес, кернеудің өзгеруінің ең үлкен мәні $A U = u_k$ бастапқы жүктемеде ($b = 1$) және фазалық қозғалыстың бұрыштарының теңдігінде $j_2 = j_R$, онда $\cos(j_k - j_2) = 1$

Трансформатордың U_2 екінші кернеуінің I_2 жүктемеден тәуелділігін сыртқы сипаттама деп атайды. Еске салайық күштік трансформаторларда бастапқы екінші кернеу ретінде бастапқы бірінші кернеудегі бос жүріс режимінде екінші орам қысқыштарындағы кернеуді қабылдайды (1.3-қараңыз).

Сыртқы сипаттама түрі (1.39-сурет) трансформатордың жүктеме сипатына тәуелді ($\cos j_2$). Трансформатордың (1.72) сыртқы сипаттамасы b және $\cos j_2$ түрлі мәндері үшін AU есептеу арқылы құруға болады:

1.6-мысалы. Мәліметтері 1.4 және 1.5 мысалдарда келтірілген трансформатор үшін (1.11-қараңыз) бастапқы кернеу кезінде екінші кернеуді өзгертуін ($b = 1$) анықтау екі сипатты жүктеме үшін қуат коэффициенті $\cos j_2 = 0,8$: белсенді-индуктивті және белсенді-сыйымдылықты.

Шешуі. 1.4 өлшемінен аламыз: $u_{K75} = 5,4\%$; $\cos j_{K75} = 0,4$; $\sin j_{K75} = 0,92$. По (1.72) $\cos j_2 = 0,8$ және $\sin j_2 = 0,6$ кезінде аламыз:

белсенді-индуктивті жүктеме үшін

$$A U_{H0,} = 5,4(0,4 \cdot 0,8 + 0,92 \cdot 0,6) = 4,65\% ;$$

белсенді-сыйымдылықты жүктеме үшін

$$A U_{HO,} = 5,4[0,4 \cdot 0,8 + 0,92 (-0,6)] = -1,2\% .$$

Ұқсас зерттеулер нәтижесінде, $b = 0 \wedge 1,2$ кезінде жасалған, $\cos j_2$ жүктеме үшін 0,7; 0,8; 0,9 және 1,0 тең, $A U$, алынған мәндері $A U = f(b)$ бойынша кестелер құрылған, 1.38, а.-суретте көрсетілген.

Кернеудің ең үлкен өзгерісі $\cos j_2 = \cos j_{K75} = 0,40$ белсенді-индуктивті жүктемеге сәйкес келеді және жүктеме коэффициентіне ($3 = 1$ (трансформатордың артық жүктемесіне жол берілмейді) $DU_{\max} = u_{K75} = 5,4\%$ (1.38, б суретті қара).

1.14. Трансформатор шығындары және ПЭК

Электр энергиясын трансформациялау кезінде энергияның бөлігі шығынды жабуға трансформаторда жоғалады. Трансформатордағы шығындар электрлі және магнитті деп бөлінеді. **Электрлі шығындар.** Бұл электр тогымен өткен кезде трансформатор орамның белсенді кедергілеріндегі шығындары. Электрлі шығындардың қуаты P_Σ ток шаршысына пропорционал және бірінші P_1 және екінші P_2 электр шығындардың сомасымен анықталады:

$$P_\Sigma = P_{\Sigma 1} + P_{\Sigma 2} = m/fa + ml^2rI \quad (1.73)$$

мұнда m — трансформатор фазаларының саны (бір фазалы трансформатор үшін $m = 1$, үш фазалы үшін $m = 3$).

Трансформаторды жобалау кезінде электрлі шығындар P_Σ (1.73) ойынша анықтайды, ал дайындалған трансформатор үшін бұл шығындарды қысқа тұйықталу қуатын өлшеп, тәжірибелік жолмен анықтайды (1.11-қараңыз) P орам токтарындағы бастапқы мәндері кезінде: $k_{\text{ном}}^*$

$$P_\Sigma = 3^2 P_{K.\text{ном}}, \quad (1.74)$$

мұнда 3 — жүктеме коэффициенті (1.13-қараңыз).

a

б

1.40-сурет. Трансформатордың оның жүктемесінен шығын тәуелділігі (*a*) және (*б*) энергетикалық диаграммасы

Электрлі шығындарды ауыспалы деп атайды, себебі олардың көлемі трансформатор жүктемесіне байланысты (1.40-суретті қараңыз).

Магнитті шығындар. Басты түрде, трансформатордың магнитті жетегінде жүреді. Бұл шығындардың себебі – ауыспалы магнитті өрісі магнитті жетегін жүйелі магниттендіру. Бұл магниттендіру магнитті жетекте магнитті шығынның екі түрін тудырады: P_r гистерезис шығындары магнитті жетектің ферромагнитті материалындағы қалдық магнетизмді жоюға энергия шығынымен байланысты. Және $P_{вт}$, иірімді токтың шығындары магнитті жетек пластинасында ауыспалы магнитті өрісімен келтіріледі

$$P_m = P + P_{вт}.$$

Трансформатордың магнитті жетегінің магнитті шығынын азайту мақсатында магнитті жұмсақ ферромагнитті материалдан - жұқа табақты электротехникалық болаттан жасайды. Мұнда магнитті жетекті екі жағынан лактың жұқа үлдірімен жасалған оқшауланған жұқа пластина (жолак) пакеттері түрінде орындайды.

Гистерезистен магнитті шығындар магнитті жетек магниттендіру жиілігіне тікелей пропорционал, яғни ауыспалы ток жиілігіне ($P_r = f$). Иірімді токтардың магнитті шығындары осы жиілік квадратына пропорционал жиынтық магниттік шығындарды 1,3 дәрежесінде ток жиіліген пропорционал, яғни $P_m = f^{1.3}$. Магнитті шығындар өзектегі магнитті индукцияға тәуелді магнитті жетек өзектерінде және бұғауларында ($P_m = B^2$). Бастапқы тұрақты кернеуде ($U_1 = \text{const}$) магнитті шығындар тұрақты, яғни трансформатор жүктемесіне тәуелді емес (1.40-сурет).

Трансформаторды жобалау кезінде магнитті шығындарды 1,0; 1,5 магнитті индукцияның 1,7 Тл мәнінде немесе магниттеу жиілігі 50 Гц кезінде 1 кг жұқа табақты электротехникалық болатта өтетін үлесті магнитті шығындар $P_{уд}$ бойынша анықтайды.

$$P_m = P_{уд} (B / B_x)^2 (f / 50)^{1.3} m, \quad (1.75)$$

мұнда B — трансформатордың магнитті жетегінің өзегінде немесе бұғауында магнитті индукцияның нақты мәні, Тл; B_x — үлесті магнитті шығынға сәйкес магнитті индукция, мысалы $B_x = 1,0$ немесе 1,5 Тл; m — магнитті жетек өзегінің немесе бұғауының массасы, кг.

Үлесті магнитті шығындар мәндері электротехникалық болат стандартында көрсетілген. Мысалы, 3411 (суық илемделген анизотропты электротехникалық болат) маркалы болат үшін қалыңдығы 0,5 мм $B = 1,5$ Тл және $f = 50$ Гц кезінде үлесті магнитті шығындар $P_{х,50} = 2,45$ Вт/кг.

Дайындалған трансформатор үшін магнитті шығындарды тәжірибелік жолмен анықтайды, бастапқы бірінші кернеу $U_{0ном}$ кезінде бос жүріс қуатын өлшейді (1.11-суретін қараңыз).

$P_{\text{НОМ}} = b'^2 P_{\text{К·НОМ}}$, бұдан жүктеме коэффициентінің мәні максималды ПӘК сәйкес келеді,

$$b' = \sqrt{P_{\text{НОМ}} / P_{\text{К·НОМ}}} \quad (1.80)$$

Әдетте, трансформатор ПӘК $b' = 0,45 \text{ } ^\wedge \text{ } 0,65$ кезінде максималды мәнге ие. (1.79) жерге b мәнінің орнына b' мәнін қойып, (1.80), трансформатордың максималды ПӘК өрнегін аламыз:

$$\frac{b S_{\text{НОМ}} \cos j_2}{b' S_{\text{НОМ}} \cos j_2} \quad (1.81)$$

Қарастырылған ПӘК басқа қуат бойынша кейде қуаты бойынша энергия бойынша ПӘК ұғымын пайдаланады, ол трансформатордың тұтынушыға берген энергия көлемін білдіреді: W_2 (кВт·ч) жыл ішінде, осы уақытта электр желісінен қоректенетін алынған W_1

$$\eta — W_2 / W_1.$$

Трансформатор ПӘК энергиясы бойынша трансформаторды пайдалану тиімділігін анықтайды.

1.7-мысалы. Үш фазалы трансформатордың қуаты 100 кВ·А, кернеуі 6,3/0,22 кВ бос жүріс тәжірибесі мәліметтері бойынша кернеу (1.4-мысалды қараңыз) және қысқаша тұйықталу (1.5-мысалды қараңыз) ПӘК анықтап, тәуелділік кестесін құрамыз $\eta = f(b)$: $P_{\text{НОМ}} = 605$ Вт, $P_{\text{КНОМ}} = 2160$ Вт. Жүктеме қуатының коэффициентінің екі мәні үшін есептеуді орындау: 0,8 және 1,0.

Шешуі. Кестелерді құру үшін $\eta = f(b)$ 0,25; 0,50; 0,75 және 1,0 тең b , жүктеме коэффициентін мәндерінің қатары үшін ПӘК есептейміз. Есептеу нәтижелері 1.3.-кестеде берілген. ПӘК бойынша максималды мәні (1.81): $\cos j_2 — 0,8$ кезінде

$$\eta_{\text{max}} = \frac{0,53 \blacksquare 100 \blacksquare 10^3 \blacksquare 0,8}{0,53 \blacksquare 100 \blacksquare 10^3 \blacksquare 0,8 + 2} \quad 0,972, \text{ немесе } 97,2\%;$$

$\cos j_2 — 1,0$ кезінде

1.3-кесте

b	$b^2 P_{\text{ВТ}}$	$P_{\text{Р}}, \text{ ВТ}$	ПӘК, %	
			$\cos j = 0,8$	$\cos j = 1,0$
0,25	134	739	96,5	97,0
0,50	540	1145	97,3	97,8
0,75	1210	1815	97,1	97,6
1,0	2150	2755	96,6	97,3

Ескерту: 1) $b' — ^\wedge 605 / 2160 — 0,53$ [қара (1.80)]; 2) $P_{\text{НОМ}} = 605$ Вт.

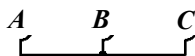
$$0,53 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 1,0 = 0,978, \text{ немесе } 97,8\%.$$

$$0,53 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 1,0 + 2 \cdot 605$$

Осылайша, ПЭК белсенді жүктеме кезінде жоғары.

1.15. Трансформатор кернеуін реттеу

Төмендетуші трансформатордың ВН орамдары реттеу тармақтарымен қамтамасыз етеді, олардың көмегімен номиналдыдан біршама ерекшеленетін, номиналды бастапқы кезіндегі номиналды екінші кернеуіне сәйкес келетін трансформация коэффициентін алуға болады. Оның қажеттілігі төмендеуші трансформаторлар қосыла алатын электр жіберілісі желілерінің түрлі нүктелеріндегі кернеу бір-бірінен өзгеше болуымен түсіндіріледі, және әдетте, номиналды бастапқы кернеуден ерекше. Сонымен қатар желінің кез келген орнындағы кернеу жүктеме тербелісінен өзгере алады. Бірақ трансформатордың екінші орам қысқыштарындағы кернеу барлық жағдайларда номиналдыға тең болу керек немесе шамалы ерекшелену керек (жол берілетіннің шегінде), онда трансформация коэффициентін өзгерту қажеттілігі трансформаторды пайдалану процесінде қажетті болады. Реттеу қысымдары әр фазада немесе нольдік нүкте қасында жасайды, немесе айналма ортасында жасайды. Бірінші жағдайда әр фазада үш тармақ жасайды (1.42а- суреті қараңыз), мұнда орташа тармағы трансформацияның номиналды коэффициентіне сәйкес келеді, ал екеуі – трансформация коэффициентіне сәйкес ол номиналдыдан $\pm 5\%$ өзгеше. Екінші жағдайда айналманы екі бөлікке бөледі, және алты тармақ жасайды (1.42 б-суретті қараңыз). Бұл трансформацияның номиналды коэффициентінен басқа тағы төрт мәнін алу мүмкіндігін береді, ол номиналдыдан $\pm 2,5$ және $\pm 5\%$ өзгеше.



a

б

1.42-
сурет. Реттеу
тармақтары бар үш
фазалы
трансформатордың

Орам тармақтарын трансформатор желісінен өшірген кезде (қоздырусыз өшіру -ҚӨ) немесе трансформаторды өшірусіз ауыстыруға болады (жүктемемен реттеу -ЖР). ҚӨ тармақтану ауыстырып қосқышын қолданады (1.43-сурет). Әр фазаға бір ауыстырып қосқышты орнатады, мұнда ауыстырып қосқыштың Түйіспелі сақина айналдыратын білік бір уақытта, бак қақпағында 6 тұтқасымен штанга арқылы байланысты. (1.13-суретті қараңыз).

1.43-сурет. ҚАҚ тармағының ауыстырып қосқышы

ЖР принципі реттеу тармақтары арқылы трансформация коэффициентін өзгертуге негізделген. Алайда бір тармақтан екіншісіне ауыстырып қосу жұмыс тогының ізбегін үзусіз жүзеге асырылады. Осы мақсатта әр фазаның орамын Р реактордан, К1 және К2 контактілері бар байланыстырғыш және П1 және П2 екі қозғалмалы контактілері бар ауыстырып қосқыштар (1.44 а-сурет).

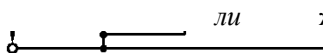
Жұмыс қалпында екі қозғалмалы ауыстырып қосқыш байланыстырғышы бір тармақта орналасқан, және К1 және К2 контактілері тұйықталған және

5.2

а

б

1.44-сурет. Контактілерді жүктемеде ауыстырып қосу реттілігі



жұмыс тогы реактордың екі бөліктері
 ...ыныша параллель бағытталған.
 Егер бір тармақтан екіншісіне
 ауыстыру қажеттігі туындаса,
 мысалы X_1 -тен X_3 , онда К1
 байланыстырғыш контактілері
 ашылып (1.44 б-суретіндегі 1 қалпы),
 токсыз тармақ П1 қозғалмалы
 контактісі басқа тармаққа
 ауыстырылады және К1
 байланыстырғыш контактілері қайта
 тұйықталады (2 қалпы).

1.45-сурет. Вольт-қосымша
 трансформаторды қосу сызбасы

Бұл қалыпта тармақтары X_1 және X_3 бар орам бөлігі тұйық болады. Алайда ауыстырып қосу тізбек құралындағы ток үлкен мәнге жетпейжі, себебі ол Р реакторының кедергісімен шектеледі. К2 қозғалмалы контактінің X_1 тармағынан X_3 тармағына ауыстыру осы тәртіпте жүзеге асырылады (3 және 4 қалпы), содан кейін ауыстырып қосу процесі аяқталады. ЖР аппаратурасы трансформатормен ортақ бакта орналасады, ал оны ауыстырып қосу автоматтандырылады немесе қашықтан жүзеге асырылады (басқару қалқаны). ЖР трансформаторлары әдетте 6 — 10 % шегінде кернеуді реттеу үшін есептеледі.

Трансформатордың ауқымды қуаты кезінде ЖР өте үлкен болып саналады. Бұл жағдайда вольт-қосымша трансформатор көмегімен кернеуді реттеуді қолданады, ол ретімен қосылған ПТ трансформатордан құралады, және ПУ құрылғысымен РА реттеу трансформаторынан құралады (1.45-сурет).

ПТ трансформатордың А U екінші орам кернеуі желісінің $и_{л1}$ кернеуімен жиынтықталады және $и_{л2} = и_{л1} + A U$ мәніне дейін өзгереді. А U көлемі РА арқылы өзгере алады. Мұнда бойлық реттеу ауыстырғышы (БРА) А U на $\pm 180^\circ$ фазаны өзгертуге болады, сондықтан БРА қалпы кернеудің $и_{л2} = U_{л1} + A U$ артуына септігін тигізеді, ал өзгесі $- U_{л2} = U_{л1} - A U$ кернеудің азаюына сәйкестенеді. Сонымен қатар А U фазалық әсер етудің өзге әдістері де мүмкін, мысалы үш фазалы орамдардың байланыстыру түрлі сызбаларының комбинациясы (жұлдыз, үшбұрыш) вольт-қосымша трансформаторда 60° , 120° және 90° бұрыштарына U қатысты $U_{r1}A$ фазалық қозғалыстарын құрады (көлденең реттеу). Бұл жағдайда А U өзгертуі мәніне ғана емес, кернеу фазасына $U^\wedge$ да әсер етеді.

Бақылау сұрақтары

1. Трансформатордың жұмыс істеу принципі қандай?
2. Неліктен трансформаторлар тұрақты ток желісінен жұмыс жасамайды?

3. Трансформатордың белсенді жағы қандай бөліктен тұрады? Олардың арналымы мен құрылымы қандай?
4. Трансформаторлық майдың арналымы?
5. Номиналды тоқты және трансформатордың номиналды екінші кернеуін қалай анықтайды?
6. Неге трансформатордың жүктеме тогы артқан сайын бірінші орамдағы ток артады?
7. Келтірілген трансформатор дегеніміз не?
8. Трансформатордың векторлық диаграммасын құру тәртібін түсіндіріңіз.
9. Трансформатордың екінші кернеуі қалай және неге ЭҚК артық болады?
10. Үш фазалық трансформатордағы бос жүріс тогының ассимметриясы қалай түсіндіріледі?
11. Егер трансформатордың орамын Д/У сызбасынан У/Д ауыстырғанда үш фазалы трансформатордың желілік кернеуінің қатынасын қалай өзгертуге болады?
12. Бос жүрісті ток өзгертіле алады ма және магнитті жетек өзегінің қимасын арттыру немесе азайтуда өзгереді ме?
13. Босжүріс және қысқа тұйықталу режимдерінде тәжірибе кезінде трансформатормен тұтынылатын белсенді қуат шығындалады?
14. Трансформатордың қысқаша тұйықталу кернеуін қалай тәжірибелік жолымен анықтауға болады?
15. Кернеуді бос жүрісті тәжірибесі кезінде, қысқаша тұйықталу тәжірибесі кезінде қайсысын келтіруге мақсатты? Түсіндіріңіз.
16. Егер трансформаторды номиналдыдан жоғары немесе төмен жиілікте желіге қосса, онда негізгі магнитті ағында және бос жүрісті ток өзгереді ме?
17. Кернеудің жүктемеде реттеу ұстанымын түсіндіріңіз.
18. Жүктемеде кернеуді реттеу кезінде ауыстыратын құрал контактілерін ауыстырып қосу тәртібі қандай?
19. Вольт-қосымша трансформатордың арналымы мен жұмыс тәртібін түсіндіріңіз.

2 тарау

ОРАМДАРДЫ БАЙЛАНЫСТЫРУ ТОПТАРЫ ЖӘНЕ ТРАНСФОРМАТОРДЫҢ ПАРАЛЛЕЛЬ ЖҰМЫСЫ

2.1. Трансформатор орамдарын байланыстыру топтары

Трансформатордың векторлық диаграммасын құру кезінде осы уақытқа дейін ВН E_{ax} және НН E_{ax} орамдарының фазалық ЭҚК фаза бойынша сәйкестенеді деп есептелді. Бірақ бұл бір бағыттағы трансформатор орамының бірінші және екінші айналымдары кезінде орынды және

2.1-сурет. Бір фазалы трансформатордың орам байланыстарының тобы:

2.1.а-суретте көрсетілгендей осы орамдарын шығарудың бір атты маркері көрсетілген. Егер трансформаторда НН орамының шырмау бағытын өзгертсе немесе оны шығару нүктелерін ауыстырса, онда ЭҚК $\vec{E}_{ax}$ ЭҚК $\vec{E}_{AX}$ қатысты фазасы бойынша 180° қозғалған (2.1.б-сурет).

ЭҚК $\vec{E}_{AX}$ және $\vec{E}_{ax}$ арасында фазалардың қозғалысын байланыс тобымен білдіру қабылданған. Себебі бұл фазалардың қозғалысы 0 ден 360° дейін өзгере алады, ал қозғалу еселігі 30° құрайды, онда байланыс тобын белгілеу үшін бірқатар сандар қабылданған: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 және 0.

Үш фазалы трансформаторларға өте отырып, айта кету керек, ВН орамының желілік ЭҚК векторына қатысты вектордың ығысу бұрышы байланыс тобын белгілейтін санын 30° көбейтумен анықтайды. Ығысу бұрышы ЭҚК векторынан ВН орамының сағат тілі бойынша НН орамының ЭҚК векторына дейін есептеледі, мысалы, байланыстыру тобы НН орамының ЭҚК желілік векторы ВН орамынан желілік ЭҚК векторынан фаза бойынша $5 \cdot 30^\circ = 150^\circ$ бұрышына қалып келеді.

Байланыс тобын қабылданған белгілеуді жақсы түсіну үшін сағатпен салыстыруды пайдаланады. Мұнда желілік ЭҚК векторы ВН орамында санында тұрған минут тілшесіне сәйкес келеді, ал НН орамының ЭҚК желілік векторы сағат тілі бойынша (2.2.-сурет). Сонымен қатар есте ұстау керек,

Группа 0

Группа 6

Группа 11

Группа 5

2.2-сурет. Байланыс топтарын белгілеумен сағат тілшесінің қалпын салыстыру

$$\begin{array}{ccccccc} X & & & & & X & & B & & E_{AB} \\ \tilde{x} & \tilde{y} & \tilde{z} & \tilde{a} & & \tilde{a} & \tilde{b} & \tilde{c} & \tilde{y} & \end{array}$$

0.

(Г

a

b

2.3-сурет. Орам байланысының сызбасы және векторлық диаграмма: *a* — Y/Y тобы үшін — 0; *b* — Y/Y тобы үшін — 6

E_{AX} және E_{ax} ЭҚК векторлар фазасы бойынша циферблатта сағат тілдерінің сәйкес келуіне баламалы етеді, 0 тобымен белгіленеді (12 емес). Сонымен қатар есте ұстау керек, ЭҚК векторларының айнарудың он бағыты оны сағат тіліне қарсы айналдыру қабылданған.

Осылайша, бірфазалы трансформаторда байланыстың екі тобы ғана мүмкін: 0 тобы, ЭҚК фазасы бойынша сәйкестенеді E_{AX} және E_{ax} , және 6 тобы, ЭҚК E_{AX} және E_{ax} векторлары арасында фазалардың 180° -ығысуына сәйкес келеді. Бұл топтардан стандарт деп тек 0 тобы танылады, ол I/I — 0 белгіленеді.

Үш фазалы трансформаторда орамдарды байланыстырудың әр түрлі әдісін қолданумен байланыстың 12 түрлі тобын құруға болады. Мысал ретінде «жұлдыз-жұлдыз» байланыс сызбасын қарастырамыз (2.3.а-суреті). Желілік ЭҚК E_{AB} және E_{ab} арасындағы қозғалулар көрсеткендей ЭҚК векторлық диаграмма нольге тең. ВН және НН орамдарының ЭҚК векторлық диаграммаларын салу кезінде А және а нүктелерін біріктіріп, көз жеткізуге болады. Яғни, орамдарды байланыстырудың көрсетілген сызбаларында 0 тобы орын алады; Y/Y — 0 белгіленеді. Егер НН жағында нольдік нүктеге *a*, *b* және *c* қысқыштарын байланыстырса, ал *x*, *y* және *z* қысқыштарынан шешсе, онда ЭҚК E_{ab} фазаны өзгертпеді және трансформатор 6 тобына жататын болады (Y/Y — 6) (2.3, б-сурет).

«Жұлдыз-үшбұрыш» орамдарын байланыстырған кезде, ол 2.4.а-суретте көрсетілген, 11 тобы орын алады (Y/D — 11). Егер НН фазалық орамдардың басы мен соңын орындарын ауыстырса, онда E_{ab} векторы 180° бұрылады және трансформатор 5 топқа жататын болады (Y/D — 5) (2.4, б сурет).

НН және ВН орамдарының бірдей сызбаларында, мысалы Y/Y немесе D/D байланыстың жұп топтарын алады, ал бірдей емес сызбаларда мысалы, Y/D немесе D/Y — так.

Байланыстың қарастырылған төрт тобын (0, 6, 11 және 5) негізгі деп атайды. Байланыстың әр қаралған түрінен айналмақайта маркерлеу әдісімен трансформатордың бір жағына шығарумен қайта маркерлейді,

a b 

2.4-сурет. Орам байланысы мен векторлық диаграмма
 сызбасы: a — Y/Д тобы үшін— 11; b — Y/ Д тобы үшін— 5

	$x \quad y \quad z$	A	U	a	.
--	---------------------	-----	-----	-----	---

2.5-сурет. Үш фазалы екі орамды трансформаторлардың байланыс
 сызбалары мен топтары

мысалы, НН жағында (байланыс сызбасын өзгертусіз) екі туынды топты алуға болады. Мысалы, егер байланыс тобы $Y/Y—0$ бар трансформаторда (2.3.а-суреті) НН орамының шығысын қайта маркерлеп, abc реттілігінің орнына cab реттілігін қолданса, онда ЭҚК E_{ab} векторы 120° бұрылады, онда байланыс $Y/Y—4$ тобын аламыз. Егер НН орамы шығысын bca реттілігіне қайта маркерлесе, онда вектор тағы 120° , барлығы 240° бұрылады, яғни $Y/Y—8$ тобын аламыз.

Дәл осылай 6 негізгі тобынан айналмақайта маркерлеу арқылы 10 және 2 туынды топтарды, негізгі 11 топтан – 3 және 7 туынды топтары, негізгі 5 топтан – 9 және 1 туынды топтарын аламыз.

Негізгі байланыс топтарының туындылар алдында бірқатар артықшылығы бар, себебі бір өзекте орналасқан орам шығынын бір атты маркерлеуді қарастырады, бұл қате байланыстардың мүмкіндігін азайтады. Алайда байланыс топтарының барлығының тәжірибелік қолданысы үш фазалық трансформаторда болмайды. Жалпы өндірістік арналымдағы күштік екі орамды трансформаторлар үшін қолданылатын байланыс сызбалары мен топтарын МС анықтайды (2.5-сурет).

НН орамның зигзаг байланыстары ВН орам байланыстарымен жұлдызшаға немесе үшбұрышқа үйлестіруде, ВН және НН орамдарының желілік ЭҚК-арасында фаз бұрышының кез келген ығысуын алуға болады. Ол НН орамын осы бөліктердегі иірім санымен екі бөлікке (1.11-сурет) бөлуге болады, яғни b бұрышының түрінің мәні арқылы (1.22 б-суретті қараңыз). Трансформаторды дайындау және пайдалану процесінде байланыс тобын тәжірибелік тексеру қажеттігі туындайды. Осындай тексерудің бірнеше әдісі бар, бірақ ең кең таралғаны фазометр және вольтметр әдістері.

Фазометр әдісі. 2.6.а-суретте көрсетілген сызба бойынша қосылған фазометр j арқылы ВН және НН орамдарының (ЭҚК) тиісті желілік кернеулер арасында бұрыштың фазалық ығысуын тікелей өлшеуге негізделген. Фазометрдің параллель $U—U$ орамын ВН жағына қосады, ал $I—I$ ретті орамын НН жағына қосады. Ретті орамда тоқты шектеу үшін оны қосымша кедергі $r_{доб}$ арқылы қосады. Содан кейін трансформаторды үш фазалық симметриялы кернеумен желіге қосады. Өлшемнің ыңғайлылығы үшін фазометрдің толық шкаласы болу керек (360°).

Вольтметр әдісі. Желілік кернеу арасында (ЭҚК) фазалық ығысу бұрышын тікелей өлшеуді бұл әдіс бермейді. Бұл жанама әдіс және ВН және НН орамның бір атты шығындары арасында (ЭҚК) кернеу вольтметрін өлшеуге негізделген. Егер байланыс тобын $Y/Y—0$ тексерсе, (2.6.б-сурет), онда A және a шығысты байланыстырып, U_{b-v} кернеуді өлшейді,

a

б

(*b* және *B* шығыстары арасында) және U_{c-c} (*c* және *C* шығыстары арасында). Егер байланыстың болжалды тобы $Y/Y=0$ нақтысына сәйкес келсе, онда кернеу (*B*)

$$U_{b-B} = U_{c-C} = U_{ab} (k_L - 1), \quad (2.1)$$

мұнда $k_L = U_{AB}/U_{ab}$ — ВН және

НН орамдарының желілік кернеуінің (ЭҚК) қатынасы, яғни желілік кернеу (ЭҚК) трансформациясының коэффициенті. Егер 6,11 немесе 5 байланыс топтарын тексерсе, онда

2.6-сурет. Y/Y байланыс тобын тексеру— фазометрдің 0 (*a*) және вольтметр (*б*)

Y/Y тобы— 6

$$U_{b-B} = U_{c-C} = U_{xy} (k_L + 1); \quad (2.2)$$

Y/D тобы — 11

$$U_{b-B} = U_{c-C} = U_{ab} V_1 - V_3 k_L + k_L^2; \quad (2.3)$$

Y/D тобы — 5

$$U_{b-B} = U_{c-C} = U_{ab} V_1 + \% / 3 k_L + k_L^2, \quad (2.4)$$

мұнда U_{ab} және U_{xy} — НН орам шығысындағы желілік кернеу, В.

егер өлшем нәтижелері бойынша кернеу теңдігінің шарттары және жүргізілетін формула бойынша жүргізілмесе, ол трансформаторды шығысында маркерлеуде ақаулар барын куәландырады.

2.2. Трансформатордың параллель жұмысы

Бір немесе бірнеше трансформаторлардың параллель жұмысы бірінші және екінші жақтарда орамның параллель байланыстарында. Параллель байланысы кезінде трансформаторлардың бір атаулы қысқыштары бір желіге қосады (2.7.а-сурет). Жиынтық қуаттағы бір трансформатор орнына бірнеше параллель қосылған трансформаторларды қолдану белгілі бір трансформаторда апат жағдайында үздіксіз электрмен жабдықтауды қамтамасыз ету үшін немесе оны жөндеуге өшіру үшін қажет. Бұл сонымен қатар жүктеменің кестесе ауыспалы трансформаторлық подстанциясы жұмысы кезінде мақсатты, мұнда жүктеме қуаты тәуліктің түрлі сағаттарында ауысып отырады. Бұл жағдайда жүктеме азайған кезде бір немесе бірнеше трансформаторды қалған трансформатордың жүктемесі номиналдыға жақын болатындай етіп жасау керек.

2.7-сурет. Трансформаторларды параллель қосу

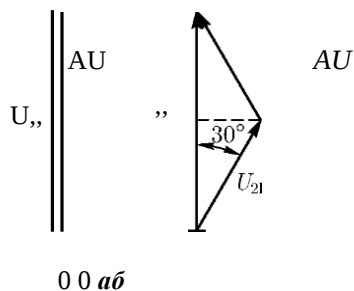
Нәтижесінде трансформатордың эксплуатациялық көрсеткіштері (ПЭК, және $\cos j_2$), жоғары болып сақталады. Параллель жұмыс жасайтын трансформаторлар арасындағы жүктеме номиналды қуатына сәйкес үлестірілуі үшін келесі жағдайларда екі орамды трансформаторлардың параллель жұмысына жол беріледі:

1. Бірінші кернеу бірдей болған кезде екінші кернеу тең болу керек. Басқа сөзбен айтқанда, трансформаторлардың трансформация коэффициенттері бірдей болу керек: $k_I = k_{II} = k_{III} = \dots$. Бұл шарт сақталмаған жағдайда, бос жүрісті режимде де параллель қосылған трансформаторлар арасында трансформаторлардың екінші кернеуінің әртүрлілігімен шартталған теңдестіру тогы туындайды (2.8, a -сурет):

$$I_{\text{УР}} = \Delta U / (Z_K I + Z_{\text{КП}}), \quad (2.5)$$

мұнда $Z_{\text{сI}}$ және $Z_{\text{жn}}$ — трансформатордың ішкі кедергісі.

Трансформатор жүктемесінде теңестіру тогы жүктемеліге салынады. Мұнда бос жүрісте кернеуі жоғары трансформатор артық жүктемеленген болады, ал тең қуаттың трансформаторы бірақ екінші реттік кернеуі аз болса — тиесісі жетілмеген болып саналады. Трансформаторлардың жүктемесіне жол берілмегендіктен, трансформатордың жалпы жүктемесін азайтқан дұрыс. Трансформацияның коэффициенттерінің айырмашылығы кезінде трансформаторлардың қалыпты жұмысы мүмкін емес болып саналады. Алайда стандарт трансформацияның түрлі коэффициенттері бар трансформаторлардың параллель жұмысын қосуға жол береді, егер



2.8-сур.

Трансформаторларды параллель жұмысқа қосу шартын сақтауда ΔU кернеуінің туындауы.

айырмашылығы $\pm 0,5\%$ аспаса және орта мәнінен аспайды:

$$Dk = (k_i - k_n)/k \cdot 100 < 0,5\%, \quad (2.6)$$

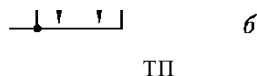
мұнда $k = y/k_{jk_n}$ — трансформация коэффициенттерінің орташа геометриялық мәні.

2. Трансформаторлар бір байланыс тобына жату керек. Бұл шарт сақталмаған жағдайда трансформаторлардың екінші желілік кернеуі бір-біріне қатысты фаза бойынша ығысқан болады және трансформатор тізбегінен әр түрлі $D U$ кернеу туындайды, оның әсерімен елеулі теңестіру тогы пайда болады. Мәселен, егер екі трансформаторды параллель бірдей трансформация коэффициенттерімен қосса, бірақ біреуі – нольдік ($Y/Y — 0$) байланыс тобына, екіншісі – он бірінші байланыс тобына ($Y/D — 11$) жатса, онда желілік екінші кернеу U_{2j} бірінші трансформатордыкі екінші трансформатордың желілік екінші кернеуінен U_{2j} артық $\sqrt{3}$ есе ($U_{2j}/U_{2jj} = \sqrt{3}$) болады. Сонымен қатар бұл кернеудің векторлары бір-біріне фаза бойынша 30° бұрышына қозғалған болады (2.8, б сурет). Бұл жағдайда трансформатордың екінші тізбегінің жағдайында алуан түрлі $D U$ кернеу туындайды. $D U$ көлемін анықтау үшін 2.8.б-суретінің құрылыстарын пайдаланамыз. OA кесіндісі $\sqrt{3}U_{2n}/2$ тең немесе $U_{2jj} = U_{2j}/\sqrt{3}$ ескере отырып, $OA = 0,5 U_{2j}$ аламыз. Яғни кернеу векторларымен түзілген үш бұрыш U_{2j} , U_{2jj} және $D U$, - тең бүйірлі, сондықтан кернеу $DU = U_{2jj}$. Мұндай түрлі кернеудің пайда болуы теңестіру тогының трансформаторларының екінші тізбегін тудыруға әкелетін еді, ол жүктеме тогының номиналды мәнінен 15-20 есе астам болатын, яғни апатты жағдай туындайтын еді. $D U$ көлемі үлкен болады, егер трансформаторлар нольдік және алтыншы байланыс топтарына жататын болса, онда екінші кернеу арасындағы фазалық ығысу параллель жұмыс жасайтын трансформатор кернеуі 180° құрайды (2.3., б-сурет) және түрлі кернеу $D U = 2 U_2$

3. Трансформаторлардың қысқаша тұйықталу кернеуі бірдей болу керек, яғни $u_{k1} = u_{k11} = u_{k111} = \dots$ яғни бұл шартты сақтау жалпы жүктеме трансформаторлар арасында номиналды қуатына пропорционал үлестірілуі үшін керек.

Кейбір жақындаумен, бос жүріс тогын назарға алмай, параллель қосылған трансформаторларды олардың қысқаша тұйықталу Z_{Rj} және Z_{sjj} кедергісімен алмастыруға болады және 2.9.-суретте көрсетілген сызбадан баламалы сызбаға өтуге болады (2.9. б-сурет). Параллель тармақтардағы токтар кедергіге қарсы бағытта үлестірілетіні белгілі:

$$I_1' / I_2 = Z_{KI} / Z_{KI}. \quad (2-7)$$



Теңдеудің екі жағын (2.7.)
 $\frac{I_1'}{I_2} = \frac{Z_{KI}}{Z_{KI}}$ сол жағын
 $\frac{I_1'}{I_2} = \frac{Z_{KI}}{Z_{KI}}$ ал оң жағын $100/100$,
аламыз $\frac{I_1'}{I_2} = \frac{Z_{KI}}{Z_{KI}}$ —
 $\frac{I_1'}{I_2} = \frac{Z_{KI}}{Z_{KI}}$ —
 $\frac{I_1'}{I_2} = \frac{Z_{KI}}{Z_{KI}}$ —
 $\frac{I_1'}{I_2} = \frac{Z_{KI}}{Z_{KI}}$ —

2.9-сурет. Трансформаторлардың
параллель жұмысы кезінде
жүктемені үлестіру ұғымына

Содан кейін алынған теңдікті түзіміз келесіні ескеріп:

$I_1 / I_2 = S_1 / S_2$ — бірінші және екінші трансформаторлардың
тиісінше жүктемесі, В-А; $I_1 / I_2 = S_1 / S_2$ және $I_1 / I_2 = S_1 / S_2$ осы
трансформаторлардың қуатының бастапқы мәндері; В-А;
 $(I_1 / I_2) 100 = U_{KI}$ және $(I_1 / I_2) 100 = U_{KI}$ —
трансформатордың қысқаша тұйықталу кернеуі, %. Нәтижесінде аламыз

$$(S_1 / S_2) (I_1 / I_2) = (U_{KI} / U_{KI}) \quad (2-8)$$

немесе

$$S_1 I_1 = S_2 I_2 \quad (2-9)$$

мұнда $S_1 / S_2 = I_1 / I_2$, $S_1' / S_2' = I_1' / I_2'$ — бірінші және екінші трансформатордың
(жүктемесінің) қатысымды қуаты.

(2.9) қатынасына сәйкес, параллель жұмыс жасайтын қуаты (жүктеме)
олардың қысқаша тұйықталу кернеуіне кері пропорционал. Басқа сөзбен
айтқанда параллель жұмыс жасайтын трансформатордың қысқаша
тұйықталу кернеуінің теңсіздігі кезінде қысқаша тұйықталу кернеуі аз
трансформаторлар жүктеледі. Нәтижесінде бір трансформатордың артық
жүктемесіне (i_k аз) екіншісінің жеткіліксіз жүктелуіне (артық i_k) әкеледі.
Трансформатордың артық жүктемесіне жолбермеу үшін жалпы жүктемені
төмендету керек. Осылайша, қысқаша тұйықталу кернеу теңсіздігін қуаты
бойынша параллель жұмыс жасайтын трансформаторлар толық
пайдаланылғанға дейін жол бермейді.

Қысқаша тұйықталу кернеуі бірдей трансформаторларды таңдау
әрдайым сәтті бола бермейтінін ескерсек, стандарт орта арифметикалық
мәні кезінде трансформатордың параллель жұмысын қосуға қысқаша
тұйықталу кернеуінің 10 % аспайтын айырмашылыққа жол бермейді.
Трансформатордың қысқаша тұйықталу кернеуіндегі айырмашылық осы
трансформаторлар бір-бірінен қуат бойынша ерекшеленеді. Сондықтан
параллель қосылған трансформаторлардың номиналды қуатына қатысты
қатынасы 3:1 артық емес.

Көрсетілген үш шартты сақтаудан басқа трансформаторды параллель жұмысқа қосу алдында барлық трансформаторларда бірдей болуы керек фазаларды кезектестіру тәртібін тексеру керек.

Барлық санамаланған шарттардың сақталуы трансформаторлардың фазалануымен тексеріледі, оның болмысы ажыратқышта қарсы орналасқан қысқыштардың бір жұбын, мысалы ортаңғысын (2.7. б-суретті кара), сыммен және V_0 вольтметр арқылы (нольдік вольтметр) ажыратқыштың қысқыштарының байланыспаған жұптары арасында кернеуді өлшейді. Егер трансформатордың екінші кернеуі тең болса, олардың байланыстыру топтары тең және фазаларды ұстану тәртібі бірдей, онда V_0 вольтметр көрсеткіштері нольге тең. Бұл жағдайда трансформаторларды параллель жұмысқа қосуға болады. Егер V_0 вольтметр кейбір кернеуді көрсетсе, онда параллель жұмыстың қай шарты бұзылғанын анықтау керек. Бұл ақауды жойып, трансформаторды фазалауды жүргізу керек. Айта кету керек, фазалардың реті бұзылған кезде V_0 вольтметр екілік желілік кернеуді көрсетеді. Мұны вольтметрді таңдау кезінде ескеру керек, өлшем шегі трансформатордың екінші жағында желілік кернеуден кем болмауы керек.

Барлық параллель қосылған трансформаторлардың S жалпы жүктемесі осы трансформаторлардың жиынтық номиналды қуатынан аспауы керек: $S < SS^{\wedge\wedge}$

Параллель жұмыс жасайтын трансформатор арасында жүктемені үлестіру келесідей болады:

$$S_x = SS_H \quad \blacksquare \quad / |i_{KX} S (S_{HOMx} / U_{KX}) j^j \quad (2.10)$$

мұнда S_x — параллель жұмыс жасайтын трансформатордың жүктемесі, кВ-А; S — параллель топтың ортақ жүктемесі, кВ-А; $S^{\wedge}_x$ — осы трансформатордың қуатының номиналды мәні, кВ-А; i_{Rx} — осы трансформатордың қысқаша тұйықталу кернеуі, %.

(2.10) өрнегінде

$$S(S_{HOM\ x} / i_{Kx}) \quad \quad \quad (S_{HOM\ I} / i_{K1}) \\ kI) + (S_{HOM\ II} / i_{KII}) + \dots$$

2.1-мысал. Бірдей байланыс топтары бар үш үшфазалы трансформатор параллель қосылған (2.7.а-сурет) жалпы жүктемесі 5000 кВ-А. Трансформатордың мәліметтері келесідей: $\mathcal{E}_{D_{OM\ 1}} = 1000$ кВ-А, $i_{K1} = 6,5$ %, $\mathcal{E}_{D_{OM\ II}} = 1800$ кВ-А, $i_{KII} = 6,65$ %, $\mathcal{E}_{D_{OM\ III}} = 2200$ кВ-А, $i_{KIII} = 6,3$ %. Әр трансформатордың жүктемесін анықтау.

Шешуі. (2.11) бойынша анықтаймыз

$$\xi(S_{\text{НОМ}}/u_{\text{кк}}) = 1000/6,5 + 1800/6,65 + 2200/6,3 = 775.$$

(2.10) бойынша әр трансформатор жүктемесін анықтаймыз:

$$S_I = 5000 \cdot 1000/(6,5 \cdot 775) = 995 \text{ кВ-А};$$

$$S_{II} = 5000 \cdot 1800/(6,65 \cdot 775) = 1755 \text{ кВ-А};$$

$$S_{III} = 5000 \cdot 2200/(6,3 \cdot 775) = 2250 \text{ кВ-А},$$

яғни үшінші трансформатор мөлшерден артық жүктелген $[(2250 - 2200)/2200] \cdot 100 = 2,3 \%$.

Бұл артық жүктемені алып тастау үшін трансформатордың сыртқы жүктемесін 2,3%, төмендету керек, яғни азайту $S' = S - 2,3S/100 = 5000 - 2,3 \cdot 5000/100 = 4885 \text{ кВ-А}$.

Бұл жағдайда трансформатордың жиынтық қуаты 97,7 % ғана пайдаланылады.

Бақылау сұрақтары

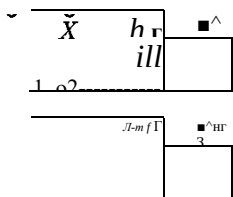
1. Байланыс тобы дегеніміз не және ол қалай белгіленеді?
2. МС қандай байланыс топтары қарастырылған?
3. Қандай негізгі топтан туындыны алуға болады?
4. Егер байланыстың нольдік тобын 11-ге ауыстырса трансформатордың желілік кернеуінің қатынасы қалай өзгереді?
5. Трансформаторларды параллель жұмысқа қосқан кезде қандай шарттарды ұстану керек?
6. Трансформатор фазировкасы деген не және қалай орындалады?

3 т а р а у

ҮШОРАМДЫ ТРАНСФОРМАТОРЛАР ЖӘНЕ АВТОТРАНСФОРМАТОРЛАР

3.1. Үш орамды трансформаторлар

Үшорамды трансформаторда әр трансформацияланатын фазаға үш орамнан келеді. Осындай трансформатордың номиналды қуаты үшін оның анағұрлым жүктелетін номиналды қуатын қабылдайды. Өзге орамдардың токтары, кернеулері мен кедергілері анағұрлым қуатты орамының иірім санына келтіреді. Үшорамды трансформатордың жұмыс принципі екіорамды трансформатордың жұмыс істеу принципінен ерекшеленбейді.



3.1-сурет. Бірінші және екі екінші орамдары бар үш орамды трансформатор

1 1 1
1 2 3

б

Бір бірінші және екі екінші орамдары бар үш орамды трансформаторлар және екі бірінші және екі бірінші орамы бар трансформатор бар.

Негізгі теңдеулер, жұмыс ерекшеліктері және үш орамды трансформаторды қолдану саласын анағұрлым таралымы бар бір бірінші орамнан қарастырамыз (3.1.а-сурет). Осы трансформатордың бірінші (анағұрлым қуатты) орам магниттелуші және магнитті жетекті магнитті ағын құрады, ол екі екінші ораммен ұсталып және ЭҚК E_2 и E_3 келтіреді.

Екі орамды трансформаторға ұқсас үш орамды трансформатордың МҚК теңдеуін жазамыз:

$$i_1 w_1 + I_2 w_2 + I_3 w_3 = I_0 w_1. \quad (3.1)$$

(3.1) w_1 , бөліп ток теңдеуін аламыз

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_0 \quad (3.2)$$

мұнда

$$I_2 = I_2 / k_{12}, I_3 = I_3 / k_{13}. \quad (3.3)$$

мұнда $k_{12} = w_1 / w_2$ — w_1 және w_2 орамдары арасында трансформация коэффициенті $k_{13} = w_1 / w_3$ — олардың арасында w_1 және w_3 .

Бос жүрісті тоқты I_0 назарға алмай үш орамды трансформатордың қарапайым теңдеуін аламыз:

$$I_0 \ll -(I_2 + i I_3). \quad (3.4)$$

G1 III

Электр берілістің жоғары вольтті желі

ц.

Үш орамды трансформаторды пайдаланудың экономикалық мақсаттылығы (3.4.) сәйкес үш орамды трансформатордың бірінші тогы арифметикалық емес, келтірілген екінші токтардың геометриялық сомасына теңдігімен түсіндіріледі. Бұл теңдікті ескере отырып, екінші орамға жүктеме номиналды мәніне әр уақытта жеткенін ескере отырып

3.2-сурет. Екі бірінші орамы бар үш орамды трансформатор

Үш орамды трансформатордың бірінші айналымын екі екінші орамдың номиналды қуатының арифметикалық сомасынан аз қуатқа есептейді. Үш орамды трансформатордың тағы бір артықшылығы ол екі орамдыны алмастыра алады.

Үш орамды трансформатордың орамдары өзекте әдетте концентрлі орналасады (3.1. б-сурет), мұнда екінші орамдардың біріншіге қатысты екі жақты орналасуы мақсатты, онда бірінші болып 2 орам табылады, ал екінші болып – 1 және 3 орамдары болады. Бұл жағдайда екінші орамдардың өзара әсер етуі біршама әлсірейді.

Үш фазалық үш орамды трансформаторда байланыс топтарын $Y_0/Y_0/A — 0 — 11$ немесе $Y_0/A/A — 11 — 11$ қолданады, ал бір фазалы байланыс тобы $I/I/I — 0 — 0$.

Үш орамды трансформаторларды орам қуатының түрлі қатынасымен әзірлейді. Стандартпен ең қуатты (бірінші) орамның қуатынан үлесте қуаттардың келесі қатынасы қарастырылған:

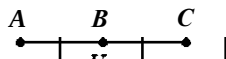
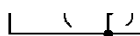
W	1	1	1
w_2	1	1	2/3
w_3	1	2/3	2/3

Ірі электрстанцияларда w_2 және w_3 екі бірінші орамы бар үш орамды трансформаторларды қолданады (эрқайсысына генератор қосылады) және бір екінші орам қолданылады (одан электр берілістің жоғары вольтты желісі беріледі). Мұндай трансформатор екі қосылған G_1 және G_2 генератор кезінде де (3.2.-сурет) және бір өшірілген генератор кезінде де жұмыс жасай алады. Әдетте бұл қуаттың үлкен қондырғылары, сондықтан оларда бір трансформаторлық топқа біріккен бір фазалы үш орамды трансформаторды қолданады (1.20 а-сурет қараңыз).

3.2. Автотрансформаторлар

Автотрансформатор — бұл магниттік байланыстан бөлек орамдар арасында электрлі байланысы да бар трансформатор түрі.

Екі орамды трансформаторға қарағанда автотрансформатордың бір орамы бар, иірім бөлігі бірінші және екінші тізбектерге бір уақытта тиесілі. 3.3.а-суретте төмендетуші автотранспорттың қағидатты ұстанымы көрсетілген, онда орам учаскесі $aX — ^{12}$ тогы бар иірімдердің жалпы бөлігі. Екі орамды трансформаторда да, автотрансформаторда да бірінші ток I_1 және екінші ток I_2 қарсы фазада орналасады, яғни олардың векторлары бір-біріне қатысты жақын 180° бұрышқа ығысқан.



$$\frac{h}{1^2} Z_{HT} T^* X \cdot 10^{-1} U_{2ab}^6$$

a 6 6

3.3-сурет. Автотрансформаторлардың қағидатты сызбасы:

а – бір фазалы төмендетуші; б – үш фазалы

Бұған сәйкес иірімдердің aX жалпы санының тогы I_{12} автотрансформатордың бірінші және екінші токтарының айырмашылығына тең.

$$I_{12} = I_2 - I_1. \quad (3.5)$$

Алынған өрнектен (3.5.) автотрансформатордың иірімдерінің жалпы бөлігі бойынша I_{12} тогы өтеді, оның көлемі екінші токтан I_2 аз. Егер автотрансформатордың $k_A = w_{AX}/w_{ax}$ бірден біршама көп болса, онда токтары I_1 және I_2 бір-бірінен аз ерекшеленеді, ал олардың айырмашылығы шамалы үлкендікті құрайды. Бұл иірімдері w_{ax} кішірейтілген кима сымы арқылы орындау мүмкіндігін береді.

Автотрансформатордың өтпелі қуаты ұғымын енгіземіз, ол бірінші тізбектен екіншіге жіберілетін $\mathcal{E}_{np} = U_2 I_2$ қуатты білдіреді. Сонымен қатар тағы магнитті өріспен бірінші тізбектен екіншісіне жіберілетін қуатты білдіретін $\mathcal{E}_{расч}$ есептік қуат бар. Бұл қуатты есептік деп атайды себебі магнитті жетектің көлемі мен массасы, яғни бар автотрансформатор осы қуатқа байланысты. Автотрансформаторда өтетін барлық қуат есептік болады, себебі трансформатордың орамдары арасында магнитті байланыс қана бар. Автотрансформаторда бірінші және екінші тізбек арасында магнитті байланыстан басқа электрлі байланыс та бар. Сондықтан есептік қуат өтпелі қуаттың бөлігін ғана құрайды, қалған бөлігі біріншіден екіншісіне магнитті өрістің қатысуынсыз өтеді. Осының дәлеліне автотрансформатордың өтпелі қуатын $\mathcal{E}_{np} = U_2 I_2$ саламыз. Осы өрнек үшін (3.5.) алынған екінші токты пайдаланамыз

$$I_2 = I_1 + \quad (3.6)$$

$$\text{Өтпелі қуат формуласына осы өрнекті қойып, аламыз } S_{np} = U_2 I_2 = U_2 (I_1 + I_2) = U_2 I_1 + U_2 I_2 = S + S_{расч}, \quad (3.7)$$

мұнда $S = U_2 I_1$ — автотрансформатордың бірінші тізбегінен екіншісіне осы тізбектер арасында электрлі байланыс есебінен берілетін қуат.

Осылайша, автотрансформатордағы есептік қуат $U_{расч} U_2 I_{12}$

өтпелінің бөлігін ғана құрайды. Бұл автотрансформаторды дайындау үшін қимасы қуатқа тең трансформаторға қарағанда аз магнитті жетекті пайдалану мүмкіндігін береді. Мұнда өзектің кішірейтілген қимасы есебінен кіші болады, яғни автотрансформатор орамын орындауға мыстың шығыны азаяды. Бір уақытта магнитті және электрлі шығындар азаяды, ал автотрансформатор ПӘК артады.

Осылайша, автотрансформатор қуаты тең трансформатормен салыстырғанда келесі басымдықтарға ие: белсенді материалдардың шығыны аз (мыс және электротехникалық болат), ПӘК жоғары, көлемі кіші және бағасы да аз. Ал қуаты көп автотрансформатордың ПӘК 99,7 % жетеді.

Автотрансформатордың көрсетілген басымдықтары U_2 қуат артқан сайын маңызды, яғни өтпелі қуаттың $U_{расч}$ есептік бөлігінен аз.

Біріншіден екінші тізбекке берілетін қуат U_2 осы тізбектер арасында электрлі байланыс арқылы өрнекпен анықталады:

$$S = U_2 I_1 = U_2 I_2 / k_A = S_{np} / k_A, \quad (3.8)$$

Яғни қуат мәні S автотрансформатордың трансформациялау коэффициентіне k_A кері пропорционал.

Кестеден көрінгендей (3.4.-сурет) автотрансформаторды қолдану екі орамды трансформаторлармен салыстырғанда трансформация коэффициентінің кіші мәнінде ғана басымдығы бар. Мысалы, $k_A = 1$ кезінде автотрансформатордың барлық қуаты екінші тізбекке тізбектер арасында электрлі байланыс есебінен беріледі. ($U_2 / U_{np} = 1$).

3.4-суртке сәйкес автотрансформаторды пайдаланған мақсатты

--	--	--	--	--	--

1 2 3 4 5 k_A

3.4-сурет.

Автотрансформатордың

трансформация коэффициенті $k_A < 2$. Трансформация коэффициенті үлкен болған кезде автотрансформатордың басым кемшіліктері бар, олар келесідей.

1. Төмендетуші трансформатор жағдайында қысқаша тұйықталудың үлкен токтары – а және Х нүктелерін тұйықтаған кезде (3.3.а-сурет) кернеу U_{1Aa} иірімдерінің кішкене бөлігіне ғана өтеді, олар қысқаша тұйықталу кедергісіне ие. Нәтижесінде қысқаша тұйықталу тогы автотрансформаторға бұзатын әсер ететін үлкен мәндерді иеленеді (4.1.-қараңыз.) сондықтан қысқаша тұйықталу токтары автотрансформаторда оның тізбегіне қосылатын электрлі орнатпаның өзге кедергісімен шектелуі керек.

2. НН жағымен ВН жағының электрлі байланысы бар орамның күшейтілген электрлі оқшаулауды қажет етеді.

3. НН желісі мен жер сымдары арасында кернеуді азайту сызбасында автотрансформаторларды пайдалану кезінде ВН жағындағы сымдар мен жер арасындағы кернеуге шамалы тең кернеу туындайды. Осы себеппен қызмет көрсетуші қызметкерлердің электр қауіпсіздігін қамтамасыз ету мақсатында ВН желілерінің кернеуін НН мәндеріне дейін азайту үшін автотрансформаторларды қолдануға болмайды, тікелей тұтынушыларға келтіріледі.

Күштік автотрансформаторлар жіберу желісінде және аралық кернеу желілерінің байланысы үшін электр қуатын үлестіруде қолданады, мысалы 110 және 220, 220 және 500 кВ және т.б. мұндай автотрансформаторлар, әдетте, үлкен қуатқа орындайды (500 МВ-А және одан жоғары). Үш фазалық автотрансформатордың орамдары әдетте жұлдызды қолданады (3.3. б-суретті қараңыз).

Автотрансформаторларды үлкен қуаттағы ауыспалы ток қозғалтқыштарының іске қосу тогын азайту үшін ауыспалы ток электр жетегінде қолданады (15.2-қараңыз), сонымен қатар электр металлургиялық пештердің жұмыс режимін реттеу үшін қолданады.

Кіші қуатты автотрансформаторларды радио құрылғыларда, байланыс және автоматика құралдарында пайдаланады. Трансформацияның ауыспалы коэффициенті бар автотрансформаторлар кең қолданыста. Мұндай автотрансформаторларды кернеу реттеуіштері деп атайды. Электротехникалық өндіріспен түрлі құрылымдағы реттеуіштер дайындалады. TDGC2 түріндегі бір фазалы кернеу реттеуіші (БКР) құрылымы мен TSGC2 типіндегі үш фазалы кернеу реттеуішінің (УКР) құрылымы рационалды (3.5.-сурет). Бір фазалық реттеуішінің қоректендіру кернеуі 220 в желіден, ал үш фазалық реттеуіштер – 220 немесе 380 В. ауыспалы ток жиілігі 50 Гц. Бір фазалы реттеуіштің шығысында реттелетін кернеу ауқымы 0-ден 226 В дейін, ал үш фазалы – 0-ден 450-ге дейін. Кернеу реттеуіштерінің барлық үлгілері реттеуіш шығысында кернеуді көрсететін реттеуіш тұтқасы және вольтметр бұрылысы шкаласымен жабдықталған.

3.5-сурет. Бір фазалы TDGC2 (*a*) және үш фазалы TSGC2 (*б*) түріндегі реттеуші автотрансформатордың сыртқы түрі

a

I^*
 I^*

б

3.6-сурет. Реттеу автотрансформаторын қосу сызбасы:
бір фазалы (*a*) және үш фазалы (*б*)

Реттеушілердің негізгі арналымы – реттеу, түзету және түрлі құралдар мен қондырғыларын сынау үшін зертханалық автотрансформаторлар зертханасы ретінде қолдану. Бір фазалық реттеуші мыс сымнан оралған шарғысы бар тороидальды магнитті жетекте орындалады. Шарғының сырғымалы көмірлі щеткасы бар жылжымалы контактісі бар оқшауланбаған жол бар. Үш фазалы реттеуші бірінің үстінен бірі вертикальды орналасқан, жұлдызша біріккен шарғылары бар үш тороидальды магниттіжетекке орындалған. Кернеу реттеуіштерін қосу сызбалары 3.6.-суретте берілген.

Бақылау сұрақтары

1. Үш орамды трансформаторлардың артықшылығы неде?
2. Неліктен автотрансформаторлар трансформация $k_A < 2$ коэффициентімен орындалады?
3. Трансформация коэффициенті ауыспалы автотраснформатор құрылысын түсіндіріңіз.

4 т а р а у ТРАНСФОРМАТОРДАҒЫ ӨТПЕЛІ ПРОЦЕСТЕР

4.1. Трансформаторларды қосқан кезде және қысқа тұйықталған кездегі өтпелі процестер

Трансформатордың бір бекітілген режимнен екіншісіне өткен кезде өтпелі процестер болады. Себебі әр бекітілген режим электромагнитті өрістің энергиясының белгілі мәнімен сипатталады, онда өтпелі процес ішінде осы өрістердің энергиясының өзгерісі өтеді. Анағұрлым практикалық қызығушылық трансформаторды қосқан кезде және екінші орам қысқыштарындағы қысқаша тұйықталу кезінде өтпелі процестер тудырады.

Трансформаторды желіге қосу. Бұл жағдайда нәтижеленуші магнитті ағынды үш құраушының жиынтығы ретінде қарастыруға болады:

$$\Phi = \phi + \Phi \pm \phi \quad (4.1)$$

мұнда $\Phi_{уст}$ — бекітілген магнитті ағын; $\Phi_{пер}$ — өтпелі процестің магнитті ағыны; $\Phi_{ост}$ — қалдық магнетизмнің магнитті ағыны, бекітілген ағынға сәйкес («+» белгісі) немесе оған қарсы («—» белгісі) бағытталған.

Өтпелі процестің магнитті ағыны сөнүші және бағыты бойынша тұрақты.

Трансформатор желіге қарсы орныққан ағынға бағытталған қалдық магнетизм ағыны кезінде және бірінші кернеудің $u_1 = 0$ лезде мәні кезінде желіге қосылады. Мұнда бекітілген $\Phi_{уст}$ магнитті ағын максималды болады, себебі ол фаза бойынша $\sim 90^\circ$ бұрышына кернеуден кейін қалады (4.1.а-сурет). Φ магниттік ағыны трансформатор қосқан соң мерзімнің шамамен жартысынан асқанда үлкен болады. Егер трансформатордың магнитті жетегі қанықпаса, онда трансформаторды қосу кезінде бірінші орамада магнитті ағынға пропорционал магниттеугі ток туындайды. Егер трансформатордың магнитті ағыны қанықса, онда трансформаторды қосу кезінде магниттеуші ток бос жүрісті астам ток деп аталатын елеулі күшке жетеді. Магниттеу кестесінде жасалған құрылыстарға сәйкес (4.1.б-сурет) магнитті ағыны кезінде бекітілген мәнінен $\Phi = 2\Phi_{уст}$ екі есе асатын бос жүрістің астам тогы бос жүрісті тогының бекітілген мәнінен бірнеше есе асып түсетін күшке жетеді ($I_{1вкл} \gg I_0$).

Анағұрлым қолайлы емес жағдайларда бос жүріс астам тогы бірінші ток мәнінен 6-8 есе рет асып кетеді.

Себебі өтпелі процестің ұзақтығы үлкен емес және ауыспалы токтың бірнеше кезеңінен асады, онда трансформатор үшін қосылу тогы қауіпті емес. Алайда оны қорғану аппаратын реттеу кезінде ескеру керек, ол трансформаторды қосу кезінде желіден қате өшіруі орын алмауы керек. Қосылу тогының берілісі трансформатордың бастапқы орам тізбегінде сезімтал өлшеу құралдарының болуы кезінде ескеру керек. Осы құралдардың сынбауы үшін трансформаторды желіге қосқанға дейін оның ток орамдарын тексеру керек.

Кенеттен қысқаша тұйықталу трансформатордың екінші орам қысқыштарында. Ол түрлі ақаулардан туындайды: оқшаулаудың механикалық зақымдалуы немесе оның кернеу артық кеткенде, қызметкерлердің әрекеттерінде қателік кеткенде электр ақаулығы.

a

I_0

$I_{1вкл}$ *I*

б

4.1-сурет. Трансформаторды қосқан кезде өтпелі процестердің кестесі (а) және магниттеу кестесі бойынша трансформаторды қосу тогын анықтау (б)

Қысқаша тұйықталу – бұл трансформаторды бұзылуына әкелуі мүмкін апаттық режим.

Кенеттен болған қысқаша тұйықталу кезінде трансформаторда екінші орам қысқыштарында қысқа тұйықталу лездік тогының I_k туындауымен сүйемелденетін өтпелі процес туындайды. Бұл токты екі токтың нәтижесі ретінде қарастыруға болады: орныққан ток $I_{куст}$ және бағыты бойынша тұрақты, бірақ экспоненциалды заңы бойынша кемуші өтпелі процесс тогы $I_{кпер}^*$

$$I_{куст} + I_{кпер} \quad (4.2)$$

Қысқаша тұйықталудың анағұрлым қолайсыз шарттары бірінші кернеудің лездік мәні нольге тең болған ($U_1 = 0$) кезде бола алады. 4.2.-суретте осы шарттың 4 қысқаша тұйықталу тогының кестесі құрылған. Лездік қысқаша тұйықталу тогы (екпінді ток) бекітілген қысқаша тұйықталу тогының екілік мәніне жетіп, бірінші токтың номиналды мәнінен 20-40 есе арта алады.

Қуаты аз трансформаторларда лездік қысқаша тұйықталу кезінде өтпелі процесс бір кезеңнен артық созылмайды, ал қуаты үлкен трансформаторларда – 6-7 кезең. Содан кейін трансформатор бекітілген қысқаша тұйықталу режиміне өтеді, мұнда орамларда токтары өтеді, олардың мәні өтпелі процестегі 4 тогынан кем болса да, бірақ токтың номиналды мәнінен бірнеше есе артық. Бірнеше секундтан соң қорғану құралдары іске қосылады, олар трансформаторды желіден ажыратады. Бірақ қысқаша тұйықталу процесінің қысқа мерзімдігіне қарамастан трансформатор орамдары үшін елеулі қауіптілікті туындайды: біріншіден, қысқаша тұйықталу температураны бірден көтереді, ол оқшаулауды зақымдайды;

↑

~

4.2-сурет. Кенет қысқаша тұйықталу кезінде өтпелі процестердің кестесі

4.3-сурет. Қысқаша тұйықталу кезінде трансформатор

Екіншіден, трансформатор орамдарында электромагнитті күштер бірден күшейеді.

Орам иірімдеріне әсер ететін үлест электромагнитті күштің мәні орам иіріміндегі i тогына B_s шашырату өрісінің магнитті индукциясын тудырумен анықталады:

$$F = B_s i, \quad (4.3)$$

мұнда F — үлесті электромагнитті күш, Н/м.

Ток күшінің артуымен шашырату өрісінің индукциясы артады, сондықтан электромагнитті күн ток күшінің квадратына пропорционал ($F = i^2$). Мәселен, егер иірімде ток $i = 100$ А және индукция $B_s = 0,1$ Тл, онда $F = 0,1 \cdot 100 = 10$ Н/м. мұндай күш орам иірімдерінің елеулі деформациясын тудырмайды. Бірақ лездік қысқара тұйықталу кезінде ток берілісі токтың номиналды мәнін 30 есе асып түсетін мәніне жеткен кезде электромагнитті күш 900 артық болып, 9000 Н/м жетеді (4.3.-сурет). Осының барлығын трансформаторларды жобалау кезінде және берік құрылымдар мен олардың өзеклерде сенімді бекітілуін құру жеткілікті.

4.2. Трансформатордағы артық кернеу

Қалыпты жағдайларда трансформаторда пайдаланған кезде оның орамдарының жеке бөліктері арасында, сонымен қатар орамдары, жерсіндірілген магнитті жетек пен шанағы арасында номиналды жиіліктегі синусодалды кернеуі боларды, ол электрлі оқшаулауға қауіп келтірмейді. Алайда трансформатор элементтері арасында артық кернеу туындайтын жағдайлар туындайды. Артық кернеуді тудыратын себептерге байланысты олар екі түрге бөлінеді: сыртқы және ішкі.

Ішкі артық кернеу немесе коммутациялық операциялар процесінде туындайды, мысалы трансформаторды өшіру немесе қосу, немесе апатты жағдайлар нәтижесінде (қысқаша тұйықталу, доғалық тұйықталу және т.б.). ішкі артық кернеу мәні әдетте $(2,5 — 3,5)U_{ном}$ құрайды.

Сыртқы (атмосфералық) артық кернеу атмосфералық разрядтармен шартталған: немесе сымдарға немесе электрберіліс тірек желілеріне найзағай түскенде, немесе найзағай разрядтармен, жоғары кернеудің электромагнитті толқындарында индукстеледі. Артық кернеу мәні бұл жағдайда бірнеше мыңдаған киловольтқа жетеді.

Трансформаторда артық кернеу кезінде болатын процестерге кернеу толқынының өсу жылдамдығы әсер етеді.

Трансформаторға кернеу толқыны келген кезде орам қысқышы мен жер арасындағы кернеу жылдам өседі. Мұнда кернеудің өсу жылдамдығы көп мөлшерде орамды алмастыру сызбаларына әсер етеді. Өнеркәсіптік жиіліктің кернеуі кезінде орамды алмастыру сызбасының жиілігі осы орамның индуктивті байланысқан және белсенді кедергі элементтерінің ретті байланысын танытады (4.4.а-сурет). Трансформаторға мерзімді артық кернеу толқыны келген кезде, ол коммутациялық процестермен тудырылады, кернеудің өсу жылдамдығы артады, оған трансформаторда болатын процестер орам элементтері мен орам және жерсіндірілген магнитті жетек арасына сыйымдылықты байланыстар әсерін береді (4.4.б-сурет). Соңында, атмосфералық артық кернеу кезінде трансформаторға апериодтық импульсы ПФ алдыңғы фронтымен ұмтылады (4.5.-сурет), мұнда трансформатор кірісі мен жер арасындағы кернеу ең үлкен мәніне $(1 - 2) \cdot 10^{-6}$ с қол жеткізеді, алмастыру сызбасындағы индуктивті кедергілер оларды назарға алмауға болатындай және алмастыру сызбасын орам элементі және магнитті жетек арасында (жер) және орамның бойлық элементтері C_d арасында бойлық сыйымдылықты арасындағы көлденең сыйымдылық ретінде санайтындай үлкендікте болады. (4.4. в-сурет).

Трансформатордағы атмосфералық артық кернеу кезіндегі нақты процестерді қарастырайық, себебі артық кернеу қауіпті. Бұл жағдайда орам жылдам өсуші кернеуге қатысты белгілі кіріс сыйымдылығын білдіреді, ол кіріс (сыйымдылықты) трансформатор C_{bx} кедергісін x_{bx} сипаттайды. Толқынның келген бастапқы уақытында кернеудің өсу жылдамдығы үлкен $(du/dt \wedge te)$ болған кезде, кіріс кедергісі дерлік нольге тең $(x_{bx} \wedge 0)$ болады, яғни трансформатор беріліс желісінің қысқаша тұйықталған соңына баламалы. Мұнда кернеу трансформатор кірісінде алдымен нольге дейін құлайды, содан кейін сыйымдылықтың C_{bx} қуатталу мөлшеріне қарай көтеріліп, импульс амплитудасының екі есе көлеміне жетеді, ал кернеу толқыны трансформатордан шағылысады. Бұл мерзімде трансформатор беріліс желісінің ашылған ұшына баламалы (4.6.-сурет).

трансформатора

6

0 1 2 3 $4 \cdot 10^{-6} \text{ т, с}$

4.5-сурет. Импульс түріндегі артық кернеу 4.6-сурет. Атмосфералық қайта кернеу кезінде кернеу толқынының амалы (а) мен шағылысу (б)

Орам мен магнитті жетек (жер) арасында туындайтын кернеу көлденең сыйымдылықтағы C_q токтарды құрайды мұнда көлденең сыйымдылықтағы токтарды C_d орам соңына жақындау шамасы бойынша азаяды. (4.4.-сурет X нүктесі). Бұл орам бойында кернеуді тегіс емес үлестіруге келтіреді. Орам бойында кернеудің бастапқы үлестіру сипаты екі себепке байланысты: трансформатордың бейтарап нүктесінің жағдайы (бұл X нүктесі, 4.7.а суретте жерсіндірілген және 4.7.б-суретте оқшауланған), және келесі коэффициентпен анықталатын C_q және C_d сыйымдылықтарының қатынасына байланысты

$$a = y/C_q/C_d \blacksquare \quad (4.4)$$

$a > 5$, кезінде ол шынайы трансформаторларға сәйкес келеді, кернеудің бастапқы үлестірілуі бейтарап нүкте жағдайына тәуелді емес және орамның бастапқы элементтеріне дейін максималды мәніне дейін бірдей жетпейді. Бұл орам элементтерінің бастапқы элементтері арасында қауіп тудырады. Орам бойымен кернеуді азайту және үлестіру кезінде бірдей, әсіресе, жерсіндірілген бейтараптық, кернеудің үлкен мәні өзгеріссіз қалады.

Бірақ уақыттан кейін орамға толқынның келуінен кейін орамның барлық нүктелерінің бекітілген потенциалын иеленеді. Мұнда түпкілікті деп аталатын орам бойының кернеуі 4.7.-суретте көрсетілген $a = 0$ қисығына сәйкес келеді.

Яғни, кернеудің бастапқы және түпкілікті үлестіру арасында сөнуші электромагнитті тербелістерімен байланыст, индуктивтілік, сыйымдылық және орамның белсенді кедергісімен шартталған өтпелі процесі орын алады. Өтпелі процес кезінде орамның әр нүктесінің кернеуі өзгереді және уақыттың жекелеген мезеттерінде кернеудің бастапқы үлестірілу кезіндегі ең үлкен мәнінен асатын мәндерге қол жеткізеді. 4.8.-суретте А нүктесі кернеуінің өзгерістерінің қисығы өтпелі процестің орамы көрсетілген (4.7.а-сурет).

4.7-сурет. Жерсіндірілген (а) және оқшауланған (б) бейтараптардағы орам ұзындығымен кернеудің бастапқы үлестірілуі

Сөнуші сипаты орамның белсенді кедергісіндегі шығындармен шартталған. Ең үлкен кернеу орамның оқшауланған ұшында туындайды (Х нүктесі оқшауланған бейтарапта) және $u_x = 1,9 U$ мәніне жете алады, мұнда U - кернеудің бастапқы үлестірілуінде максималды кернеуді иеленеді. Осылайша, орам оқшаулауы үшін ең үлкен қауіпті (ірім аралық және жерге қатысты) өтпелі тербеліс процесін білдіреді. Автотрансформаторларда бірінші және екінші тізбектері арасында электрлі байланыстың болуы себебімен олардың амплитудасы бойынша бір желіден екіншісіне үлкен күшейтілуімен кернеудің берілу толқыны болуы мүмкін.

Трансформаторда артық кернеуден қорғау шараларына сыртқы қорғау – жерсіндіру тростары және вентильді қуатсыздандырғыш (бұл трансформатор толқынына келетін кернеу толқыны амплитудасын шектейді) пен ішкі қорғаныс – кіріс ірімдерінің оқшаулауын арттыру; сыйымдылық сақиналарын орнату және электростатикалық экран (сыйымдылықт компенсация); а коэффициенті мәні төмендеген орамды қолдану (4.4.-қараңыз).

u_x/U

1V

Ішкі қорғаныстың екі соңғы шарасының мақсаты кернеудің бастапқы және соңғы кернеуін ұқындастыру. Мұнда тербеліс процесі дерлік жойылған.

Сыйымдылық сақиналары шайба тәрізді ашылған экранды білдіреді, ол металл электрокартоннан алынады. Бұл сақиналармен орам басы мен соңын жабады,

4.8-сурет. Өтпелі процесс барысында жерге қатысты трансформатор орамының бір нүктесінің потенциалын өзгерту

4.9-сурет. Электростатикалық экран ролі

осылайша, кернеуді бастапқы үлестіру қисығын көтереді, оны түпкілікті үлестіру қисығына жақындатады.

Кернеуді бастапқы үлестіру мен оны түпкілікті үлестірумен жақындастыру бірдей еместігін азайту трансформаторда орамның бастапқы бөлігі мен оны енгізу байланысын қамтылумен ашылған металл сақина (иірім) түріндегі қосымша электростатикалық экраны қолданылады. Мұнда экран қосымша C_3 сыйымдылықты құрады, ол арқылы бойлық сыйымдылықтарды C_d айналып, бойлық сыйымдылықтар C_q қуаттандырылады (4.9.а-сурет). Нәтижесінде кернеуді 1 бастапқы үлестіру қисығы (4.9.б-сурет) біршама түзеледі және жерсіндірілген бейтарап орамы үшін түпкілікті 2 үлестірудің қисығы секілденеді. Оқшауланған бейтарапбы бар трансформаторлар электростатикалық экрандармен жабдықталады, бірақ бұл жағдайда арнайы құралдар – импидорлар қолданылады, олр бейтарап пен жер арасына қосылады. Бұл құрал қуатсыздандырғыш пен реакторға параллель қосылған сыйымдылықты қамтиды, ол толқынды процестерде трансформатордың бейтараптығын жерсіндіреді, ал өнеркәсіптік жиілікте үлкен кедергіні иеленіп, бейтарапты дерлік оқшаулайды.

Бақылау сұрақтары

1. Бос жүрісті астам токтың пайда болуы себептері қандай?
2. Магнитті жетектің магниттік қанығу жағдайы трансформатордың қосылу ток күшіне қалай әсер етеді?
3. Трансформатордың қысқаша тұйықталуы үшін лездік қолайсыз жағдайлар қандай?
4. Трансформатордың лездік қысқаша тұйықталу кезінде өтпелі процестің ұзақтығы қандай?
5. Трансформаторда артық кернеу түрлері қандай?
6. Трансформатордың артық кернеуден ішкі және сыртқы қорғанысы қандай?
7. Трансформатордағы қосымша электростатикалық экрандардың арналымы?

5 тарау

АРНАЙЫ ТРАНСФОРМАТОРЛЫҚ ҚҰРАЛДАР

5.1. Қозғалмалы өзегі бар трансформаторлар

Кернеуді біртіндеп реттеу үшін орам иірімдерінің бетімен сырғитын контактілерді пайдалану мүмкін, реттеу автотрансформаторында көрсетілгенге ұқсас (3.5.-сурет). Мұнда реттеу қарқыны екі аралық иірімдер арасындағы кернеу мәнімен шектеледі (0,5 — 1,0 В). осындай ұстаным бойынша бір фазалы және үш фазалы трансформаторларды және қуаты 250 вКАдейінгі автотрансформаторларды орындайды. Алайда сырғитын контактілердің болуы сенімділікті азайтып, осы трансформаторлардың қолданысын шектейді.

Реттеуші трансформаторлардың контактісіз реттеу құрылымдары сенімді, оларға қозғалмалы өзегі бар трансформатор.

Бұл трансформатордың бірінші орамы екі шарғыдан орындалған, олар магнитті жетектің сақиналы шығыстарында орныққан (5.1.а-сурет). $m\{$ және $m\{'$ шарғылары магнитті ағын тудыратын бір-біріне қарсы бағтталған. Магнитті жетектің ішкі қозғалмайтын бөлігінде екінші орамы w_2 бар ҚЖ қозғалмалы өзегі орналасқан. ҚЖ ортаңғы орналасуда иірімінде ЭҚК келтірілмейді, себебі бірінші шарғылардың әрекеті өзара толығыады.

ҚЖ солға және оңға қарай екінші орамның w_2 ортаға орналасуына қатысты ығысуы ЭҚК АЕЕ келтіріледі. Мұнда фаза АЕ& (бағыты) екінші орам бірінші шарғылардың қай орамында орналасқанына байланысты осы орамның бірінші шарғы аймағынан өзге шарғы аймағына орын ауыстыруы кезінде АЕ& фазасы 180° өзгереді. Егер мұндай трансформатор вольқосымша трансформаторға ұқсас желіге қосамыз (1.45-сурет).

○ ————— а

б



5.1-сурет. Қозғалмалы өзегі бар трансформатор

Ол 5.1.6-суретте көрсетілген, онда ҚЖ өзек қалпын өзгерте отырып, екінші кернеуді $U_2 = U_1 \pm DE$ біртіндеп өзгертуге болады.

5.2. Түзеуші құралдардың трансформаторлары

Түзету құрылысындағы күштік трансформаторлар жұмысының ерекшелігі оны диодтардың екінші тізбегіне – біржақты өткізгіштікке ие жартылай өткізгіш элементтерге қосылумен шартталған. Бір жартылай мерзімдік түзеткіштегі бір фазалы трансформатордың жұмысын қарастырамыз (5.2.а-сурет).

Осы трансформатордың екінші орамындағы тогы i_2 екінші ЭҚК e оң жартылай толқындарымен ғана құрылады және сондықтан өтеді, яғни синусоидалды емес болады (5.2.б-сурет). Бұл синусоидалды емес токты үйлесімді қатарға жатқызуға болады, яғни бұрыштық жиіліктері ω , 2ω , 4ω және т.б. тұрақты және ауыспалы токтың жиынтығы түрінде ұсынылады (мұнда ω —желідегі токтың бұрыштық жиілігі).

$$i_2 = (I_{2\max}^{(p)}) + (I_{2\max}^{(2)}) \sin \omega t - (I_{2\max}^{(3p)}) \cos 2\omega t -$$

$$- (I_{2\max}^{(3.5p)}) \cos 4\omega t \dots$$

мұнда $I_{2\max}$ —токтың амплитудалық мәні i_2 .

Қатардың бірінші қосылғыштары (5.1):

$$I_{2\max}^{(2)} \quad (5.2)$$

Трансформатордың екінші тізбегінің токтың тұрақты құраушысы, яғни түзету

— Негізгі (бірінші) гармоника ауыспалы тогы, оның жиілігі ω желісіндегі токтың бұрыштық жиілігіне тең.

Гармоникалық қатардың қалған қосылғыштары (5.1.) екінші токтың жоғары гармоникалары болып табылады, себебі осы токтардың бұрыштық жиіліктері 2,4,6 және т.б. есе ω негізгі бұрыштық жиілігінен асып түседі. Осы жоғары гармоника токтардың амплитудасы негізгі гармоника тогының амплитудасынан көп кіші ($I_{2\max}/2$), сондықтан жоғары гармоника токтары мәселесін қарастыру кезінде назарға ілмей, екі құраушыдан тұратын трансформатордың екінші тізбегіндегі өтетін токты қабылдауға болады: I_d және $I_{\text{осн}}$ жиілік, ол желідегі ω ток жиілігіне тең.

$$i_2 = I_d + I_{\text{осн}} \quad (5.4)$$

а

5.2-сурет. Бір жартылай
периодты түзуге (а) және ЭҚК
кестесі мен тогының сызбасындағы
(б) күштік трансформатор

Бос жүрісті токты назарға ілмей және (5.4.) ескере отырып, түзету сызбасындағы трансформатордың магнитті қозғаушы күштерінің теңдеуін жазамыз

$$i_1 W_1 + i_2 W_2 = i_1 W_1 + I_d W_2 + I_{ocn} W_2 = 0. \quad (5.5)$$

Тұрақты құраушының магнитті қозғаушы $I_d W_2$ күші трансформатордың магнитті жетегінде тұрақты магнитті токты F_d құрады. Себебі $dF/dt = 0$, онда ағын F_d мәжбүрлі магниттендіру ағыны деп аталады, трансформатор орамдарында электр қозғаушы күштерді келтірмейді, және сондықтан бірінші орам $i_1 W_1$ магнитті қозғаушы күшімен өтелмейді. Нәтижесінде магнитті ағын F_d трансформатордың магнитті жетегін қосымша магниттендіруді құрайды. бұл магнитті жетектің магнитті қанығуын арттырады және магниттеугі токтың артуына әкеледі, яғни бірінші токтың өсуіне әкеледі. Нәтижесінде шығындар көбейіп, трансформатордың жылытуы күшейеді, ал оның ПӘК азаяды. Мысалы, біржартылай мерзімді түзету қуатының бір фазалы сызбасы трансформатор кірісінде шығысындағы $P_d = U_d I_d$, яғни $P_1 = 2,69 P_d$ пайдалы қуатын 2,69 есе артады. Екі жартылай мерзімді түзету ток сызбаларында J_n жүктемесінде ауыспалы токтың екі жартылай мерзімі ішінде құрылады. Бұл жағдайда трансформатордың тұтылатын тогы $P_1 = 1,23 P_d$, яғни трансформатор шарттары қолайлы.

Түзету үшін күштік трансформаторды таңдау типтік қуатымен жүргізіледі, ол трансформатордың бірінші S^1 және екінші S^2 иірімдерінің номиналды қуатының мәнінің орта арифметикалық мәнін білдіреді:

$$^{0,5} (^1 I_1 + ^2 I_2) \quad ^{0,5} m \\ (^1 I_{ном} + ^2 I_{ном} + ^2 I_{ном} + ^2 I_{ном}), \quad (5.6)$$

мұнда m — фазалар саны ($m = 1$ бір фазалы үшін және $m = 3$ үшфазалы трансформатор үшін).

Үш фазалы трансформатор жағдайында (5.6.) фазалық ток пен кернеу мәндері қойылады.

Таңдалған трансформатордың типтік қуатын келесі түрде жазамыз:

$$\wedge \quad ^k x^U d \\ ном^{\wedge} ном, \quad (5.7)$$

мұнда k_T — типтік қуат коэффициенті; $U_{d\text{ ном}}$ және $I_{d\text{ ном}}$ — тұрақты ток пен кернеудің қажетті номиналды мәндері.

Түзету қондырғысының трансформаторын таңдау кезінде немесе оны жобалау кезінде типтік қуат k_T коэффициентін білу керек. Бір жартылай мерзімді түзету сызбасы үшін $k_T = 3,09$, ол осы сызбада трансформатордың қанағаттанарлықсыз пайдалануын куәландырады.

Трансформатордың екінші орамындағы шығысында ауыспалы кернеу мәні тұрақты кернеудің $U_{d\text{ ном}}$ номиналды мәнін алу үшін қажетті келесі өрнекпен анықталады

$$U_{d\text{ ном}} = \frac{U_d}{k_U} \quad (5.8)$$

мұнда k_U — кернеу коэффициенті.

Түзетушінің тағы бір көрсеткішінің бірі өту коэффициенті, ол түзетілген токтың $I_{1\text{ max}}$ құраушысы амплитудасының осы токтың тұрақты құраушысына I_d қатынасын білдіреді:

$$k_U = \frac{I_{1\text{ max}}}{I_d}$$

Бір жартылай мерзімді түзету сызбасы $m = 1,57$.

Кернеу k_U коэффициентінің мәні және типтік қуат k_T мәні кейбір түзету сызбасының таралуы үшін төменде келтірілген.

Түзету сызбасы	k_U	k_T
Бір фазалы жартылай мерзімді	2,22	3,09
Бірфазалы жартылай мерзімді көпірлі	1,11	1,23
Бір фазалы екіжартылай мерзімді нольдік шығыстағы	1,11	1,48
Үш фазалы нольдік шығысымен	0,855	1,345
Үшфазалы көпірлі	0,427	1,05

Түзетудің түрлі сызбаларын салыстыру трансформаторды үздік пайдалану түзетудің көпірлі екі жартылай мерзімді сызбаларында қамтамасыз етіледі, ол үшін типтік қуат коэффициенті k_T минималды мәнге ие. Үлкен қуат түзетушілерінде алты диоды бар «Ларионов сызбасы» атауымен белгілі үшфазалы көпірлі сызбада пайдаланады (5.3.-сурет). Диодтармен бұл сызба бойынша кезекпен жұмыс жасайды. Жұптардың ауыстырылуы әр 60 эл.град сайын жүргізіледі, яғни мерзімнің 1/6 бөлігі. Түзетілген токтың пульсациясы $m = 0,057$, ал типтік қуат коэффициенті $k_T = 1,05$, трансформатордың жақсы пайдаланылуын куәландырады.

5.3. Пик - трансформаторлар

Пик-трансформаторлар пик тәрізді пішіннің импульстағы синусоидалды кернеуін түзу үшін қолданылады. Күшті фронты бар мұндай импульсты кернеу тиристорларды басқару немесе өзге жартылай өткізгіш немесе электронды құрылғыларды басқару үшін қажетті.

Пик-трансформатордың жұмыс принципі ферромагнитті материалдың магнитті қанығу құбылысына негізделген. Пик-трансформаторлардың бірнеше құрылымдық орындалуы бар. Магнитті шунты бар пик-трансформаторды қарастырайық (5.4.-сурет). Бірінші орам w_1 ұлғайған қиманың өзегінде орналасқан, онда магнитті қанығу жағдайы жоқ. Екінші орам w_2 өзегінің қимасы аз, және кейбір кернеу u_1 мәнінде магнитті ағын Φ_2 осы өзекте магнитті қанығу туындайтын мәнге жетеді. Үшінші өзек – бұл әуе ойығы бар магнитті жетектің қалған бөлігінен бөлінген магнитті шунт. Ауыспалы магнитті Φ_x ағын орта өзегінің бүйір өзектері арқылы тармақталады, яғни $\Phi_x = \Phi_{ш} + \Phi_2$. 5.4.-суретте көрсетілгендей



a

5.4-сурет. Магнитті шунты бар пик-трансформатордың қызметтік сызбасы (*a*) және магнитті жетек өзегінің магнитті сипаттамалары (*б*)

б

үш өзектің магнитті сипаттамалары:

$\Phi_1; \Phi_2; \Phi_m = f(I_1)$. Мұнда магнитті ағын Φ_m кестесі тура сызық түрінде берілген, себебі әуе саңылаулары арқасында шунт қанықпайды.

Бірінші синусоидалды кернеуде i_1 магнитті ағын Φ_1 да синусоидалды (5.5.а-сурет). Шағын лездік кернеу i_1 мәндері мен магниті Φ_1 ағын $\Phi_2 > \Phi_m$ ағын кезінде, яғни магнитті ағын Φ_1 магнитті бөлігінің үлкен бөлігі екінші орам w_2 өзегі арқылы тұйықталады, ал кіші бөлігі — әуе саңылауларының магнитті жетегінің негізгі бөлігінен бөлінген шунт арқылы.

Бірінші кернеудің i_1 өсуімен магнитті ағын Φ_1 артады және екінші орамнан w_2 өзегінің магниті қанығуы орын алады. Мұнда екінші орам өзегінде ағынның Φ_2 өсуі кезінде дерлік тоқтайды (5.5.б-суретті қараңыз). Себебі екінші орамда келтірілген ЭҚК, ағынды Φ_2 өзгерту жылдамдығына пропорционал, яғни $e_2 = -w_2 d\Phi_2/dt$, онда кесте учаскесіне $\Phi_2 = f(t_1)$ 1-2 және 3-4 уақыт аралықтарында (5.5.б-сурет), ағын Φ_2 өзгермеген кезде, ЭҚК $e_2 = 0$ сәйкес келеді. Магнитті ағынның бағытын Φ_2 өзгерту (белгі) сәйкес уақыт мезетінде ЭҚК e_2 бірден өседі және оның кестесі пик тәрізді пішінді иеленеді.

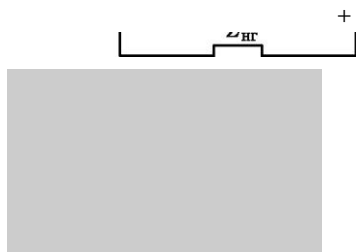
5.5-сурет. Пик-трансформатордың екінші орамының e_2 магнитті ағыны Φ_2 мен ЭҚК кестесі

Пик-трансформаторлардың қанағаттанарлық энергетикалық көрсеткіштерін қамтамасыз ету үшін олардың магнитті жетектерін темір никельді балқытпадан лентасының қалыңдығы 0,02 — 0,35 мм кезінде пермалды лентасын дайындайды.

5.4. Жиілік көбейткіштері

Магнитті жетек пен орамнан құралған трансформаторлық құрылғылар ауыспалы ток жиілігін көбейту үшін пайдалануға болады, яғни бірнеше рет жиілігін арттыру. Практикалық қолданысы екі еселену және үш еселену жиілігін алады.

Жиілігін екі еселеу. Екі тұйықталған магнитті жетекті бес орамы бар (5.6.-сурет). Бірінші орамды w бірден екі магнитті жетекті қамту керектей орындалуы керек. Орамды ауыспалы ток желісіне қосу кезінде синусоидалды кернеу кезінде және



0 t_1 t_2 t_3 t_4 t_5 t_6 t_7 t_8 $\rightarrow$

$$U_{2/f_2}$$

5.6-сурет. Екі еселендіру жиілігінің функционалдық

5.7-сурет. Екі еселендіру жиілігінің кернеу кестесі мен магнитті ағыны

0 t_1 t_2 t_3 t_4 t_5 t_6 t_7 t_8 $\rightarrow$

6

жиілігі f әр магнитті жетекте ауыспалы МҚК F_1 құрайды. Екінші орамның екі бөлігі w_2 және w_2'' олардың әрқайсысы өз магнитті жетегінде орналасқан, оы орамдармен тізбектелген магнитті ағын нәтижеленуі кезінде ретімен қосылған, магнитті жетек ағынының жиынтығына тең a және b , яғни $\Phi_a + \Phi_b$. Сонымен қатар әр магнитті w_0 жетекте бір-бірімен ретті байланысқан магниттендіру орамы болады. Осы орамдарды қосу кезінде тұрақты кернеуде U_0 әр магнитті жетекте МҚК $F_0 = I_0 w_0$ магниттеу туындайды.

Синусоидалды кернеуі u және жиілігі f желіге қосқан кезде (5.7.а-суреті) орам w_1 бірінші жартылай мерзім ішінде кернеуі a магнитті жетекте МҚК құрады, ол МҚК $F_1 = I_1 w_1$ тұрақты тогына F_0 сәйкес бағытталған. Магнитті жетекте магнитті ағындар нәтижеленуші $\Phi_a = \Phi_0 + \Phi_x$ ағынға құралады. Магнитті жетектің магнитті қанығу $\Phi_a = f(t)$ есебінен осы ағынның кестесі тығыздалған түрге ие (5.7.б-сурет).

Магнитті жетекте b дәл осы жартылай мерзімде Φ_0 және Φ_x қарсы әрекет етеді, бірінші жартылай мерзім ортасында елеулі құлдыраған нәтижеленуші $\Phi_b = \Phi_0 - \Phi_x$ ағынды құрады. Екінші жартылай мерзімде магнитті жетектеші a кернеу u $\Phi_a = \Phi_0 - \Phi_x$ әр түрлілікке тең ағын құрады, ал магнитті жетекте b $\Phi_b = \Phi_0 + \Phi_x$ сомасына тең ағын. Екі бөліктен ($w_2 = w_2 + w_2''$) тұратын екінші орам жиынтық магнитті ағынды қамтиды,

$\Phi_a + \Phi_b$, оның $(\Phi_a + \Phi_b) = f(t)$ Φ_a және Φ_b кестесі ағын ординаталарын жиынтықтау арқылы құрылады (5.7.в-сурет). Бұл ағын екінші ЭҚК келтіруде қатысады және $f_2 = 2f_j$ жиілікте ЭҚК E екінші орам секцияларында келтіретін екінші гармоника ауыспалы құраушысын қамтиды. Бірінші орамның E_j электрқозғаушы күші және бірінші кернеудің U_b жиілігі f_j . Индуктивті құлдыраудың орнын басу үшін екі еселеу жиіліктегі екінші тізбектегі кернеу C сыйымдылықты конденсаторын қамтиды, ол жиілікті екі еселеуші қуат коэффициентін артады және оның сыртқы сипаттамасының қаттылығын көбейтеді.

Жиілікті үш еселеуші. Жиілікті үш еселеушінің жұмысы магнитті жетектегі магнитті ағынның ауыспалы кестесінің синусоидалды айқын бұзылуына негізделген. Трансформатордың бірінші орамына w_j синусоидалды кернеу келтіріледі. Мұнда магнитті жетектегі магнитті ағын да синусоидалды. Өзекнің қанығу нәтижесінде магнитті ағын магниттеуші токқа i_{op} пропорционал болады. Сондықтан синусоидалды магнитті ағында Φ ток i_{op} синусоидалды емес болады. Бұл магнитеу қисығын пайдаланумен магниттеуші токтың кестесін құрумен расталады, ол 1.23а-суретте берілген. Жасалған құрылыстардан көрінгендей кестенің синусоидалды кестесінде $\Phi = f(t)$ және желілік емес магниттеу қисығында магнитті қанығу жағдайын ескеріп, магниттеуші токтың i_{op} кестесі пиктәрізді пішінді иеленген.

Синусоидалды емес магниттеуші токтың қисықтың синусоидалды құраушысына бөлінісінен кейін (1.23б-суретті қараңыз), көретініміз, бұл токта i_{op3} бірінші (негізгі) гармоникадан i_{opj} кейін жиілігі $f_3 = 3 f_j$ осы токтың үшінші гармоникасы айқын білдірілген.

Мәселен, электротехникалық болаттан жасалған магнитті жетегі бар трансформаторда магнитті индукция кезінде үшінші гармониканың амплитудасы $B = 1,4$ Тл магниттеуші токтың бірінші гармоникасының амплитудасынан 30 % құрайды. Егер үш бір фазалы трансформаторды трансформаторлық топқа біріктіру үшін (1.20 а-сурет), онда бірінші орамда үшінші гармоника токтары жұлдызға бірігіп, фаза бойынша бірігіп, өзара теңестіріледі. Мұнда магниттеуші ток әр үш трансформаторда синусоидалды болады.

Бірақ бұл жағдайда магнитті ағын әр магнитті жетекке синусоидалды емес болады, үшінші гармоникасы Φ_3 айқын білдіріледі (1.25-суретті қараңыз).

	1	Т		
эшг		жг		
U_j		U_j	c	Y
ϵ_3				

5.8-сурет. Жиілікті үш еселеуші

Жиілікті үш еселеуші үш бір фазалы трансформатордан тұрады, олар магнитті жетектердің күшті қаныққан жағдайларында жұмыс жасайды. Трансформатордың бірінші орамдары жұлдызға біріккен, ал екіншілері – ретімен біріккен (5.8.-сурет).

Үшінші гармоника ағынында жиілікті үш еселеушіде тәуелсіз магнитті жетектер бойынша тұйықталып, онда үлкен мәнге жетеді және үшінші гармониканың екінші e_3 ЭҚК орамдарында келтіреді. Мәселен, егер бұл ЭҚК барлық екінші орамдарда фаза бойынша үш еселегіштері сәйкестенсе, онда жиілікті үш еселеуші шығысында ауыспалы кернеу U_3 мен жиілігінде f_3 бекітіледі. Бірінші гармониканың электр қозғаушы күші үш еселеушінің екінші орамдарында, сонымен қатар үш еселеушінің шығысында кернеу құрамында келтіріледі, себебі фазалық ығысуда ЭҚК E_1 120° және алебралық сомасы нольге тең.

Екінші орамдарда кернеудің индуктивті құлауын азайту үшін жиілікті үш еселеуші оның жүктемесінде, екінші тізбегіне C сыйымдылықты конденсатор қосылады, ол осы орамдардың индуктивтілігін өтеледі.

Ауыспалы токтың жиілігін арттыру қажеттігі кезінде бірнеше жиілік еселегіштерін каскадты қосу қолданады.

5.5. Доғалы электр балқыту трансформаторлары

Доғалы электр балқыту трансформаторы балқыту трансформаторы деп аталады, бір фазалы екі орамды төмендетуші трансформаторды танытады, электрлі доғаның және металл электрод пен балқыту бөлшектері арасында сенімді жану және тұрақты жануы үшін қажетті 60-70 В кернеуде 220 немесе 380 В желісіндегі кернеуді түзеді.

Балқыту трансформаторының жұмыс ерекшелігі оның жұмысын үзілмелі жұмысында: электрлі доғаның жануына екінші тізбектің қысқаша тұйықталуы болады, ал доғаның үзілуі бос жүріс режимі құрылады. Балқытау трансформаторының бастапқы жұмыс режимі $U_2 = 30$ В кернеуінде электр доғасының тұрақты жануына сәйкестенеді.



б

5.9-

сурет. Электрлі доғалы балқыту үшін қосылу сызбасы (а) және сыртқы сипаттамалары

Трансформатордың қысқаша тұйықталу режимінде токты шектеу үшін және сыртқы сипаттамасына екінші орам тізбегіне тұрақты жану доғасын қамтамасыз ететін Др дросселді қосады, ол бұл тізбекке жоғары индуктивті кернеуді құрады. Осыған магнитті шашыратуды тудыратын трансформатор орамын бөлек орналастыруға септігін тигізеді (5.9a-сурет). Дроссель деген қозғалмалы өзегінде орналасқан тік бұрышты қимасындағы қалың мыс сымнан жасалған шарғыны білдіреді. Осы максатта дросселді «бұранда-сомын» құралымен жабдықтайды, оның көмегімен өзек пен бұғау арасындағы d әуе саңылауын өзгертуге болады. $d = 0$ кезінде дроссельдің индуктивті кедергісі максималды (жұмыс тогы минималды), ал $d = d_{\max}$ кезінде индуктивті кедергі минималды (жұмыс тогы максималды).

5.9.б-суретте балқыту трансформаторының сыртқы сипаттамалары берілген $U_2 = f(I_2)$: 1 сипаттамасы d минималды саңылауына сәйкес келеді, ал 2 сипаттамасы (анағұрлым қатты) – максималды саңылауына сәйкестенеді. «Бұранда-сомын» құрылғының маховигінің айналу саңылауын өзгертіп, жұмыс тогының I_2 көлемін біртіндеп өзгертуге болады, яғни қуатын ауыстыру, электр доғасында шашырайды (бөлінетін жылудың мөлшері). Мәселен, қажет болған кезде қалың бөлшектерді балқыту кезінде d саңылауын арттыруға болады.

Балқыту трансформаторларының төмен энергетикалық көрсеткіштер болады: ПЭК, елеулі шығын себебімен, және қуат коэффициенті трансформатор мен дроссельдің елеулі индуктивтілігі кезінде. Әдетте $\cos \varphi \approx 0,5$ -тен аспайды.

Кейбір балқыту трансформаторларының құрлысында дросселді трансформатормен үйлестіреді. Трансформатор жұмысының процесінде оның орамдары мен дроссель қарқынды жылиды. Жаксы салқындату үшін кейбір балқыту трансформаторларында кіріктірілген желдеткіш, орам мен өзекні ауамен үрлеу арқылы жасанды салқындатуды қолданады. Анағұрлым қуатты орам қондырғыларында екінші тізбекте ішінде ағын су циркуляциялайтын еден сымдарымен орындайды.

5.6. Жалпы арналым күштік трансформаторлары

Жалпы арналымдағы күштік трансформаторларды желі мен қондырғыларда кернеуді түзу үшін, электр қуатын үлестіру және пайдалану үшін қолданады.

Қолданыстағы стандарттарға сәйкес күштік трансформаторларға қуаты 6,3 кВ.А және одан артық және бір фазалы қуаты 5 кВ.А және одан артық үш фазалы трансформаторларды жатқызады.

Құрылымдық белгісі бойынша күштік трансформаторларды майлы және құрғақ деп бөледі. Майлы трансформаторларда белсенді бөлігі (орам мен магнитті жетек) трансформаторлық маймен толтырылған бакқа орналастырылады (1.13-суретті қараңыз). Ол трансформатор үшін салқындатушы және оқшаулаушы орта болады. Құрғақ трансформаторда салқындатушы және оқшаулаушы орта ретінде атмосфералық ауа немесе өзге газ болады. Құрғақ трансформатордағы оқшаулаушы орта болып қатты диэлектрик болады.

Трансформаторды топтамамен дайындайды, әр топтамасы бірдей арналымы мен бірдей құрылыммен біріктірілетін трансформаторды қамтиды. Топтамалық күштік трансформатордың түрлік көлемін белгілеу кезінде әріптік және сандық белгілерді қолданады, олардың мазмұнын трансформаторды таңдау кезінде білу керек.

Майлы трансформаторлар үшін қабылданған белгіленулер:

А — автотрансформатор (трансформатордың белгіленуі жоқ);

У — үшфазалы немесе В — бірфазалы;

К — жүктемемен кернеуді реттеу ЖНК (1.15-қараңыз); Н әрпі болмаған кезде — қоздырусыз реттеу ҚР, немесе трансформаторда кернеуді реттеу жоқ дегенді білдіреді;

Б — трансформатордың әр фазасында НН бөлінген орамның болуы, яғни екі тең бөлікке бөлінген орамдар.

Трансформаторды салқындату әдісі белгіленеді (см. 5.7):

М — майлы табиғи;

У — үрленген майлы және табиғи циркуляциялайтын май;

МЦ — майлы мәжбүрлі циркуляциясы;

МС — майлы –сулы майды табиғи циркуляциясымен;

Ц — мәжбүрлі майды циркуляциялау.

Әріптік белгіленуден кейін бөлшекпен жазылған сандар кетеді: бөлінгіште трансформатордың номиналды қуаты кВ.А, ал бөлінгіште - ВН орамының кернеуі кВ беріледі.

Мысал ретінде бірнеше күштік трансформатор белгілерін түсіндіреміз:

УМ-2500/35 — номиналды қуаты 2500кВ а табиғи салқындатуы бар майлы үш фазалы трансформатор, ВН жағында кернеу 35 кВ;

УМЦ-80 000/35 — үш фазалы трансформатор, майды мәжбүрлі циркуляциясымен майлы салқындату, номиналды қуаты 80 000 кВ.А, ВН жағында кернеу 35кВ;

ТРДЦН-125 000/110 — үш фазалы трансформатор, жүктемемен кернеуді реттеумен, мәжбүрлі май циркуляциясымен салқындату, номиналды қуаты 125 000 кВ.А, ВН жағында кернеу 110 кВ.

Трансформаторды таңдау кезінде осы трансформатордың топтамасын пайдаланады, онда трансформатордың техникалық мәліметтерінен бөлек қолданылу аясы мен саласы, құрылыс ерекшеліктері, пайдалану шарттары, дайындаушы зауыт көрсетіледі.

Кестеде техникалық мәліметтер көрсетілген: түрлік көлемінің белгіленуі, номиналды қуат, ВН және НН жақтарындағы кернеу, қысқа тұйықталу кернеу, бос жүрісті шығын мен қысқа тұйықталу, бос жүрісті ток, габаритті көлемдері (%), трансформатор салмағы мен май массасы.

Құрғақ трансформаторларды қуаты 1600 кВ А аспайтын көлемде дайындайды. Олар трансформаторды ішіне бөгде заттардың енуінен қорғайтын және кернеу астындағы бөліктеріне қызметкерлердің тиісуінен қорғау үшін қаптамамен қапталған. Бұл трансформаторлар агрессивті заттардың және шаңның болмаған жағдайында ауа ылғалдығы 80 % жабық үй-жайларда пайдалануға арналған. Құрғақ трансформаторлар ТҚҚ әрпімен белгіленеді, құрғақ қорғалған орындаудағы үш фазалы трансформатор. ВН жағында 380, 500, 660, 1000 В кернеулері мүмкін; НН жағында кернеу 230 мен 400 В болады. Мысалы ТҚҚ – 100/0,66 – үш фазалы қорғалған трансформатор номиналды қуаты бірінші кернеумен 660 В 100 кВ а.

Трансформаторлардың көп бөлігін шағын қуатты трансформаторлар құрайды: бір фазалы қуаты 4 вК А және үш фазалы қуаты 5 вКа. Бұл трансформаторларды түрлі топтамамен ірі партиямен дайындайды. Бұл қолданыс аясының түрлілігімен түсіндіріледі: радио, байланыс, автоматика, дабыл, жұмыс орындарын жергілікті жарықтандыру, тұрмыстық құралдарда және т.б. Бұған мысал ОСМ топтамасындағы трансформаторда кең пайдаланатын – бір фазалы, құрғақ, көп мақсатты арналымы.

5.7. Трансформаторларды салқындату

Трансформаторда айналатын бөліктерінің болмауы механикалық шығынның болмауынан трансформатордың жылытуын азайтады, бірақ бұл жағдай салқындату процесін қиындатады, себебі трансформаторда өздігінен желдетуді қолдануды болдырмайды. Осы себеппен трансформаторды салқындатудың негізгі әдісі табиғи салқындату болып табылады. Алайда елеулі қуаттағы трансформаторларда электромагнитті жүктемесін арттыру мақсатында салқындатудың анағұрлым тиімді әдістерін қолданады. Салқындатудың келесі әдістері анағұрлым кең қолданыс тапты.

Құрғақ трансформаторларды табиғи әуе салқындату. Трансформатордың барлық жылытылатын бөлшектері тікелей ауамен жанасады. Жылу бөліну мен ауаның табиғи конвекциясы есебінен салқындату болады.

Әдетте мұндай трансформаторларды қорғаныс қаптамасымен, жалюзиі немесе саңылауы бар, тормен жабылған, ауаның салқындату ағынына бағыт береді. Бұл салқындату әдісін құрғақ жабық үй-жайларда орнату кезінде кернеу төмен трансформаторларда пайдаланады.

Жасанды әуе салқындату. Интенсивті жылыту жағдайында жұмыс жасайтын трансформаторларда осы әдісті пайдаланады (балқыту, пеш трансформаторлары және т.б.) ол трансформаторға кіріктірілген желдеткіш арқылы орындалады.

Табиғи майлы салқындату. Орамдары бар магнитті жетекті трансформаторлық майға толтырылған бакқа орналастырады, ол трансформатордың жылыту бөліктерін жуады. Май бөлшектері трансформатордың орамы мен магнитті жетегімен жанасып, жылынып бактың жоғары бөлігіне көтеріледі. Олардың орнын анағұрлым салқын май бөлшектері басады. Май жоғары көтеріліп, бак қақпағы және қабырғасымен жанасып, өз жылуын береді, салқында, бактың төменгі жағына түседі. Осылайша бакта майдың үздіксіз циркуляциясы құрылады.

Трансформатор майы



Салқындату бетін арттыру үшін 1 бүйірлі етеді немесе құбырлы бакты пайдаланады (1.13-суретті қараңыз). Құбырдың бірлік қуаты үлкен трансформаторда радиатор біріктіреді (радиаторлық бактар). Майдың жылыған бөлшектері бактың жоғарғы жағына көтеріліп, құбырмен төмен түседі. Мұнда құбыр қабырғасымен жанасып, май салқындайды.

Трансформаторлық май жоғары электр оқшаулау қасиеттеріне ие, сондықтан орам оқшауларын сіндіре отырып, л қасиетін арттырады және трансформатордың сенімділігін арттырады. Айта кету керек, майлы салқындату күрделендіреді және трансформаторды пайдалануды қымбаттады, себебі сапа бақылауы мен майды мерзімді ауыстыруды қажет етеді.

Үрлеуі бар май. Трансформаторды электр желдеткіштермен жабдықтайды, олар бак радиаторын үрлейді.

Трансформатор майы (салқындатылған)
5.10-сурет. Үрлеу мен май циркуляциясы бар трансформаторды майлы салқындату



5.11-сурет. Трансформатордың майлы-сулы салқындатуы

Бак ішіндегі конвекция табиғи болып қалады. Салқындатудың бұл түрі трансформатордың бірлік қуатын 40 — 50 % арттыруға мүмкіндік береді. Әдетте үрлеумен майлы салқындатудың қуаты 10 МВ а трансформаторда қолданады. Трансформатордың жүктемесін 50 — 60 % азайтқан кезде желдеткіштерді сөндіруге болады, яғни табиғи майлы салқындатуға көшуге болады.

Үрлеу және мәжбүрлі май циркуляциясымен майлы салқындату. Сорғы 1 көмегімен (5.1.0-сурет) трансформаторлық майдың 2 арнайы салқындатқыштары арқылы мәжбүрлі циркуляциясын құрайды, олар құбырлардан құрылған. Бір уақытта желдеткіштердің қажетті саны 3 салқындату құбырларының бетін үрлейтін ауа ағынын құруға бағытталған.

Майлы-салқындату салқындату (5.11-сурет). Трансформаторда 1 жылытылған май сорғы 2 арқылы салқындатушы 3 арқылы жіберіледі, онда су циркуляцияланады. Бұл салқындатудың анағұрлым тиімді әдісі, себебі майдан суға жылу беру коэффициенті ауаға қарағанда жоғары. Бір уақытта май ауа салқындату арқылы 4 және сүзгі арқылы 5 өтеді, онда қажетсіз қосылулардан босатылады.

Бақылау сұрақтары

1. Трансформатор шығысындағы қозғалмалы өзегі бар кернеу көлемі мен фазасы неге байланысты?
2. Мәжбүрлі магниттеу магнитті ағыны қандай және оның туындау себебі қандай?
3. Трансформатордың типтік қуаты қандай және ол неге байланысты?
4. Кернеу импульстерін алу үшін пик-трансформаторда қандай құбылыс пайдаланылады?
5. Жиілікті үш еселеушіде жеке магнитті жетектер қандай мақсатта қолданылады?
6. Балқыту трансформаторда токтың жұмыс көлемін қалай реттеуге болады?
7. Майлы трансформатордың түрлік көлемінің әріптік белгіленуі қалай түсіндіріледі?
8. Майлы трансформаторларда салқындатудың қандай әдістері қолданылады?

КОЛЛЕКТОРСЫЗ МАШИНА ТЕОРИЯСЫНЫҢ ЖАЛПЫ СҰРАҚТАРЫ

Ауыспалы токтың электрлі машиналары заманауи электр энергетикасының негізін құрайды, себебі өндіріс саласында, электр қуатын тұтыну саласында құрайды. Барлық машиналар кейбірі ғана емес коллекторсыз болып табылады. Ауыспалы токтың коллекторсыз машинасының екі түрі бар: асинхронды және синхронды. Бұл машиналар жұмыс қасиеттерімен ерекшелене отырып, құрылымдық ұқсастықтары бар, және оның теориясы негізінде жұмыс орамы – статор орамымен байланысты құбылыстар мен процестерге қатысты кейбір жалпы мәселелер жатыр. Сондықтан асинхронды және синхронды машиналарды мұқият зерттеуге көшу алдында осы машиналардың теориясының жалпы сұрақтарын қарастырған дұрыс.

Асинхронды және синхронды машиналар қайтымдылық қасиетіне ие (В.2 қараңыз), яғни олардың әрқайсысы генератор режимінде де, қозғалтқыш режимінде де жұмыс жасай алады. Алайда осы машиналармен бастапқы танысу синхронды генератордың әрекет ету принципі пен асинхронды қозғалтқыштың әрекет ету принципінен бастаған дұрыс. Бұл осы кезеңде осы машиналардың құрылысы мен оларда өтетін электромагнитті процестер туралы қажетті ақпаратты алу мүмкіндігін береді.

Бұл бөлім негізгі режимдердегі ауыспалы токтың коллекторсыз машиналарының әрекет ету принципіні зерттеуге, осы машиналардың статор орамдарының құрылымын және оларға ЭҚК және МҚК келтіру процесіне арналған.

Электрлі машиналардың негізгі өлшемдерінің бірі айналу қозғалысының жылдамдығы. Айналу қозғалысын сипаттау үшін айналудың бұрыштық жылдамдығы ω (рад/с) және айналу жиілігі ұғымдары n (айн/мин немесе мин^{-1}) алынған.

Айналудың бұрыштық жылдамдығы әдетте теориялық мәселелерді қарастыруда қолданылады. Техникалық құжаттамада (тізімдеме, анықтамалық, электротехникалық құралдардың техникалық шарттары және т.б.) және өндірістік тәжірибеде n айналу жиілігін қолданады. Бұрыштық жылдамдық пен айналу жиілігі келесі тәуелділікпен байланысты:

$$\omega = 2\pi n/60 = 0,105n.$$

АУЫСПАЛЫ ТОК КОЛЛЕКТОРСЫЗ МАШИНАЛАРдың ӘРЕКЕТ ЕТУ ҰСТАНЫМЫ

6.1. Синхронды генератордың әрекет ету ұстанымы

Синхронды генератордың әрекет ету принципін зерттеу үшін синхронды машинаның қарапайым үлгісін пайдаланамыз (6.1-сурет). Статор деп аталатын машинаның қозғалмайтын бөлігі ішкі жағында екі бойлық пазалары бар дестеленген цилиндрді 1 (статор өзегі) білдіреді. Бұл пазаларда иірімнің 2 екі жағы орналасқан, ол статор орамы болып табылады. Статор өзегінің ішкі жағында машинаның айналатын бөлігі – ротор орналасқан, ол 3 білікке бекітілген N және S 4 полюстері бар тұрақты магнитті білдіреді. Ротор білігі белдікті беріліс арқылы белдікті жетекпен механикалық байланысқан (суретте көрсетілген). Шынайы синхронды генераторда жетекті қозғалтқыш ретінде ішкі жану қозғалтқышы немесе турбина пайдаланыла алады. Айналу мезетінің әрекетімен жетекті қозғалтқыштың генератор роторы сағат тілімен жиілігімен айналады. Мұнда статор орамында электромагнитті индукцияға сәйкес ЭҚК келтіріледі, оның бағыты суретте тілшелермен көрсетілген. Себебі статор орамы Z_{sr} жүктемесіне тұйықталғандықтан, онда осы орам тізбегінде i ток пайда болады.

Ротордың айналу процесінде тұрақты магниттің магнитті өрісі жиілігімен пайдаланады, сондықтан статор орамының жетектердің әрқайсысы магнитті өрістің солтүстік (N) аймағында болады, біресе магнитті өрістің оңтүстік (S) аймағында орналасқан. Мұнда полюстерді әр алмастыру статор орамындағы ЭҚК бағытының өзгеруімен сүйемелденеді. Осылайша, синхронды генератордың статор орамында ауыспалы ЭҚК орналасады, сондықтан i ток осы орамда және жүктемеде E_m ауыспалы.

ЭҚК лездік мәні статор орамының ЭҚК қарастырылып отырған синхронды генераторда (B)

$$e = B_d 2l v = B_d 2l p D_1 n_1 / 60, \quad (6.1)$$

мұнда B_d — статор өзегі мен ротор полюсі арасында әуе саңылауының магнитті индукциясы, Тл; l — статор орамының бір пазалық жағының белсенді ұзындығы, м; $v = p D_1 n_1 / 60$ — статорға қатысты ротор полюстерінің қозғалыс жылдамдығы, м/с; D_1 — статор өзегінің ішкі диаметрі, м.

бұл формула көрсеткендей, ротордың өзгеріссіз айналу жиілігінде экірдің ауыспалы ЭҚК қисығы саңылауда B_d магнитті индукцияны үлестіру заңымен анықталады.

**6.1-сурет. Синхронды
генератордың қарапайым үлгісі**

**6.2-сурет .Синхронды
генератордың әуе
саңылауында магнитті
индукцияны үлестіру**

Егер саңылаудағы магнитті индукция кестесі синусоиданы ($B_d = B_{\max} \sin \alpha$) білдірсе, онда генератор ЭҚК синусоидалды болатын еді. Алайда индукцияның синусоидалды үлестірілуін саңылауда алу дерлік мүмкін емес. Мәселен, егер d әуе саңылауы тұрақты болса (6.2.-сурет), онда магнитті индукция B_d әуе саңылауында трапецеидалды заңбойынша үлестіріледі (1-кесте), яғни генератордың ЭҚК кестесі трапецияны білдіреді. Егер полюс шеттерін қиғаштаса, полюстік ұштардың шеттері $B_{\max}$ тең болатындай (6.2.-суретте көрсетілгендей), онда магнитті индукцияны саңылауда үлестіру кестесі синусоидаға жақындайтын еді (2 кесте), яғни ЭҚК кестесі, генератор орамымен келтірілген, синусоидаға жақындайды.

Синхронды генератордың ЭҚК жиілігі f_1 (Гц) ротордың айналу жиілігіне n_1 (айн/мин) тура пропорционал, оны айнарудың синхронды жиілігі деп атау қабылданған:

$$f_1 = p n_1 / 60, \quad (6.2)$$

мұнда p — полюс жұптарының саны; қарастырылып отырған генераторда екі полюс, яғни $p = 1$.

ЭҚК өнеркәсіптік жиілігін алу үшін (50 Гц) осы генератордың роторы жиілігімен айналу керек $n_1 = 3000$ айн/мин, онда

$$f_1 = 1.3000/60 = 50 \text{ Гц.}$$

Роторда тұрақты магниттер қуаты аз синхронды генераторда ғана пайдаланады (23.1-қараңыз), сондықтан көпшілік синхронды генераторларда қоздыратын магнитті өрісті алу үшін қоздыру орамын қолданады, ол роторда орналасқан. Бұл орам тұрақты ток көзіне сырғитын байланыс арқылы қосылады.

Олар білікте орналасқан және бір-бірінен және біліктен және екі қозғалмайтын шеткадан оқшауланған екі контактілі сақина арқылы жүзеге асырылады (6.3.-сурет).

Айтып өткендей, жетекті қозғалтқыш (М) n_1 синхронды жиілігі бар синхронды роторын айналдырады. Мұнда ротордың магнитті өрісі жиілігімен айналады және ЭҚК E_a, E_b, E_c ауыспалылары бар статордың үш фазалы орамында индукстеледі, олар мәні бойынша бірдей бола тұра, фаза бойынша бір-біріне қатысты $1/3$ мерзімге ығысқан (120° эл.град), үш фазалы симметриялы ЭҚК жүйесін құрайды.

Статор орамының фазаларында жүктемені қосумен I_a, I_b, I_c токтар пайда болады. Мұнда статордың үш фазалы орамы айналатын магнитті өрісті тудырады. Осы өрістің айналу жиілігі генератор роторының айналу жиілігіне тең (айн/мин):

$$n_1 = f_1 \cdot 60/p. \quad (6.3)$$

Осылайша, синхронды генераторда статордың магнитті өрісінде және ротор синхронды айналады, атауы да осыдан – синхронды машиналар.

6.2. Асинхронды қозғалтқыштың әрекет ету ұстанымы

Асинхронды қозғалтқыштың қозғалмайтын бөлігі – статор, оның құрылысы синхронды генератордың статоры секілді (6.3-суретті қараңыз). Статор ұштамасында қозғалтқыштың айналу бөлігі – ротор орналасқан, ол біліктен, өзектен және орамадан тұрады (6.4.-сурет). Ротор орамы қысқа тұйықталған құрылымды білдіреді (10.2-сурет), алюминий сақиналармен ротордың екі жағынан тұйықталған ротор өзегінің бойлық пазаларында орналасқан сегіз алюминий өзектен тұрады (суретте бұл сақиналар көрсетілмеген). Ротор мен статор әуе саңылауымен бөлінген. Статор орамын үш фазалы токтың желісіне қосқан кезде статордың айналатын магнитті өрісі пайда болады, оның айналу жиілігі n_1 өрнекпен анықталады (6.3).

Статордың айналатын өрісі (N_1 және S_1 өрістері) статор орамымен де, ротор орамымен де бекітіліп, оған ЭҚК келтіреді.

6.3-сурет. Синхронды генератордың электромагнитті сызбасы:



Мұнда статор орамының ЭҚК, ЭҚК өзіндік индукциясы бола отырып, кернеу орамына қарсы әреке етеді және токтың көлемін орамада шектейді. Ротордың орамы тұйықталған, сондықтан ротор ЭҚК ротор орамының өзектерінде ток құрайды. осы токтардың статор өрісімен әсерлесуі электромагнитті күштерді $P_{эм}$ тудырады, оның бағытын «сол жақ қол» ережесімен анықтайды. 6.4-суретке сәйкес көрінгендей, $\Lambda_{эм}$ күштер статордың магнитті өрісінің айналу бағытында роторды бұруға ұмтылады. Күштердің жиынтығы $\Lambda_{эм}$ роторда электромагнитті M мезетті тудырады, оны n_2 жиілігімен айналуға әкеледі.

6.4-сурет. Асинхронды қозғалтқыштың әрекет ету

Білік арқылы ротордың айналуы жұмыс механизміне беріледі. Осылайша, электр қуаты желіден статор орамына келіп, қозғалтқыш роторының айналуының механикалық энергиясына түзіледі. Статордың магнитті өрісін айналу бағыты және ротордың айналу бағыты да статор орамында келтірілетін кернеу фазаларының ілесу тәртібіне байланысты. Ротор айналу жиілігі $n_{асинхронды}$ деп аталады, ол магнитті өрістің айналу жиілігінен n_1 кем, себебі бұл жағдайда ғана асинхронды ұозғалтқыш роторының орам өзегінде ЭҚК индукстеледі. Осылайша синхронды және асинхронды машиналардың статорлары бірдей қызмет атқарады: статор орамында ток пайда болған кезде айналатын магнитті өріс пайда болады және осы орамда ЭҚК келтіріледі. Дәл осы себеппен орындау қағидасын игеру және статор орамының құрылысын зерттеу, сонымен қатар ЭҚК статор орамында келтірумен және магнитті өрістің пайда болуымен байланысты электромагнитті процестерді игеруге дейін синхронды және асинхронды машиналардың теориясы мәселелерін қарастыру керек.

Бақылау сұрақтары

1. Синхронды және асинхронды машиналардың құрылымдық ұқсастығы қандай?
2. Ауыспалы ток генераторының әрекет ету принципін түсіндіріңіз.
3. Синхронды генератордың ЭҚК кестесінің формасы немен анықталады?
4. Синхронды генераторда түйіспелі сақиналары мен шеткалардың арналымы қандай?
5. Асинхронды қозғалтқыштың әрекет ету принципін түсіндіріңіз.
6. Асинхронды қозғалыс роторы айналу өрісімен қалай синхронды айнала алады ма?

АУЫСПАЛЫ ТОК МАШИНАЛАРЫНЫҢ СТАТОР ОРАМДАРЫН ОРЫНДАУ ҰСТАНЫМДАРЫ

7.1. Коллекторсыз машинаның статор құралы және статор орамдары туралы негізгі ұғымдар

Ауыспалы ток коллекторсыз машинасының статоры (7.1.-сурет) шанағынан 1, өзектен 2, және 3 орамадан тұрады. Статор өзегі дестеленген құрылысы бар, яғни жапырақты электротехникалық пластинадан тұратын штампілеу әдісімен алынған пластина пакетінен тұрады. Пластиналар алдын ада екі жағынан жұқа оқшаулау үлдірімен жабылады, мысалы, лак қабатымен. Статор өзегінің ішкі жағында бойлық пазалар бар, онда статор орамдарының тізбектері орналасқан. Статор орамын мыс орама айналмасымдарынан немесе тік бұрышты қимадан жасалады.

Статордың орамдарына талаптар негізінен келесіге құралады: а) орама мысының кем шығыны; б) ыңғайлылық және дайындаудағы минималды шығындар, яғни технологиялық; в) ЭҚК қисығының пішіні, статор орамында келтіріледі, дерлік синусоидалды болу керек.

Ауыспалы ток генераторларына қатысты бұл талап келесімен шартталған, генератордың электр тізбегіндегі синусоидалды емес ЭҚК токтың жоғары гармоникалық құраушылары туындайды, ол бар энергожүйенің жұмысына зиянды әсерін тигізеді:



2



7.1-сурет. Коллекторсыз машинаның статоры

7.2-сурет. Статор өзегінің пазасында шарғылардың орналасуы

шығындар артады, қауіпті артық кернеу, байланыс тізбегіне электр беріліс желісінің зиянды әсері күшейеді. Ауыспалы ток қозғалтқыштарына қатысты статор орамының синусоидалды ЭҚК талабы әлі де өзекті, себебі ЭҚК синусоидалдық еместігі шығынның өсуіне және қозғалтқыштың пайдалы қуатының азаюына әкеледі.

Статордың көп фазалы орамы t_1 -фазалы орамадан тұрады. Мысалы, үш фазалы орам ($m_1 = 3$) үш бір фазалы орамы бар, олардың әрқайсысы статор өзегінің $Z_1/3$ пазаларын алады, мұнда Z_1 - статор өзегі пазаларының жалпы саны. Әр бір фазалы орам өткізгіштердің ашық жүйесін білдіреді. Орам элементі шарғы, ол бір немесе бірнеше иірімнен тұрады. Пазаларда орналасқан шарғы элементтері 1 пазалық жақтар деп атайды, ал пазадан тыс орналасқан элементтер және байланыстырушы пазалық жақтар – алдыңғы бөліктер 2 деп атайды (7.2.-сурет). Статор ұштамасының ішкі доғасының бөлігі бір полюсқа келеді, полюстік бөлу деп атайды (м):

$$t = pD_1/(2p), \quad (7.1)$$

мұнда D_1 — статордың ішкі диаметрі, м; $2p$ — полюстер саны.

Статордың ішкі беті бойынша өлшенген шарғының пазалық жақтары арасындағы қашықтықты пазалар бойынша u_1 орам қадамы деп атайды. Орам қадамы пазаларда білдіріледі. Орам қадамы толық немесе диаметрлі деп атайды, егер ол полюстік бөлгішке тең болса:

$$u_1 = Z_1/(2p) = t. \quad (7.2)$$

Бұл жағдайда иірім ЭҚК осы иірімнің пазалық жақтарында келтірілген ЭҚК арифметикалық сомасымен анықталады (7.3.-сурет):

$$e = e_1 + e_2.$$

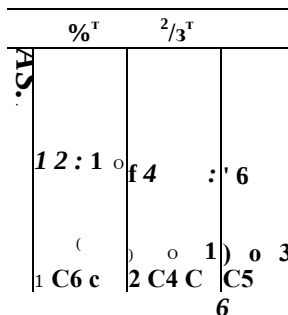
Егер орам қадамы полюстік бөлгіштен кем ($u_1 < t$) болса, онда оны қысқартылған деп атайды. Қадамы қысқартылған шарғыда ЭҚК қадамы толық шарғыға қарағанда кем.

$$e = e_1 + e_2$$

Статор орамы, әдетте, шарғылардың көп санына тұрады, олар өзара белгілі түрде байланысқан. Шарғы мен олардың байланыстарын ыңғайлы және көрнекі бейнелеуі үшін орамдардың толық сызбасын пайдаланады. Цилиндрлік сызбада статордың бетінде ораммен бірге жазықтықта ашады, ал барлық шарғылар түзу сызық түрінде бір иіріммен бейнелейді.

7.3-сурет. Шарғының пазалық жақтарындағы ЭҚК диаметрлік қадамда сәйкес

a



7.4-сурет. Шоғырланған үш фазалы орам:

a — статор пазаларында шарғылардың орналасуы; *б* — толық орам сызбасы

Екі полюсті машина статорының қарапайым үш фазалық орамы үш шарғыдан (*A, B, C*) тұрады, олардың білігі бір-біріне қатысты кеңістікте 120 эл.град-қа ығысқан, яғни полюстік бөлгіштің 2/3 бөлігіне (7.4.-сурет). Мұндай орам шоғырланған деп аталады. Әр шарғы шоғырланған орамада фазалық орамды білдіреді. Стандартқа сәйкес үш фазалы орамдардың шығысы келесі түрде белгіленеді:

Бірінші фаза басы C1—соңыC4
 Екінші фаза » C2—»C5
 Үшінші фаза » C3—»C6

Статордың орам құрылымы белгілі мөлшерде ауыспалы ток машиналарының қасиетеріне әсер етеді, біріншіден, бағасына, ПӘК және жұмыс сипаттамаларына.

7.2. Шарғының электр қозғаушы күштері

Айналатын магнитті өріс статор орамының шарғыларымен байланыса отырып, оған ЭҚК келтіреді. Бір шарғының лездік ЭҚК мәні (*B*) пірім санымен m_k

$$e_k = B_d - 2lvw_k \quad (7.3)$$

мұнда B_d — электр машинасының статоры мен роторы арасында әуе саңылауындағы магнитті индукция, Тл;

$$v = pD_1n_1/60 = \tau \cdot 2pn_1/60 = 2\tau f \quad (7.4)$$

— магнитті өрістің қозғалысының желілік жылдамдығы қозғалмайтын шарғыға қатысты, м/с; $pD_1 = m \cdot 2p$ — статор ұштамасының бетінің ұзындығы.

(7.4.) ескере отырып, шарғының лездік ЭҚК мәні

$$e_k = B_b - 4t Ifw \quad (7.5)$$

Айтып өткендей, ЭҚК e_k қисығының пішіні әуе саңылауында индукциясын B_d үлестіру кестесіне тәуелді. Алайда бірдей емес саңылауда да (6.2.-сурет) индукция синусоидалды емес болып қалады. Сондықтан шарғының ЭҚК синусоидалды емес және бірінші (негізгісімен) қатар синусоидалды гармоникасының ЭҚК бірқатар жғары синусоидалды гармоникалары бар. ЭҚК қисығы абцисса білігіне қатысты симметриялы болуына байланысты, ол тақ гармоникаларды қамтиды (1,3,5 және т.б.). Кейбір жақындаумен, ЭҚК e^e қисығының трапецеидалды пішінін қабылдайды (7.5.-сурет), гармоникалық қатардың келесі өрнегін жазуға болады:

$$E^e \sin a \sin w_1 t + \frac{1}{3} \sin 3a \sin 3w_1 t + \frac{1}{5} \sin 5a \sin 5w_1 t + \dots + \frac{1}{v^2} \sin va \sin vw_1 t, \quad (7.6)$$

мұнда E — трапецеидалды ЭҚК амплитудасы (7.5-суретті қараңыз); v — гармоника нөмірі; $\omega_1 = 2\pi f$ — негізгі гармониканың бұрыштық жиілігі.

(7.6) сәйкес, ЭҚК гармоника нөмірінің артуымен бұл ЭҚК амплитудасы көлеміне пропорционал $\sin va/v^2$ азаяды, ал жиілігі $f_v = f_1 v$ гармоника нөміріне пропорционал өседі. Сондықтан ЭҚК қисығының пішініне практикалық әсер етуі жетіншіден жоғары емес болады. Осылайша, статор орамында синусоидалды ЭҚК алу міндеті жойылуға



7.5-сурет. Трапецеидалды ЭҚК қисығының гармоникалық қатарға бөлінуі

7.6-сурет. Орам қадамын $1/5$ т қысқаруы және ЭҚК векторлық диаграммалары

біріншіден, үшінші, бесінші және жетінші.

Токтар мен үшінші гармоника ЭҚК үш фазалық орамның барлық фазаларында фаза бойынша сәйкестенеді (1.37-қараңыз). Сондықтан желілік ЭҚК (кернеу) орамдардың жұлдызша немесе үшбұрышпен байланысу сызбалары кезінде үшінші гармоника жоқ. Үшінші гармоникаға қатыстының барлығы жоғары ЭҚК гармоникаларына таралады, үш есеге тең нөмірлер (9, 15 және т.б.).

Үшіншіден жоғары гармониканы жою және әлсірету мүмкіндігі туралы мәселені қарастырайық, ең бастысы бесінші және жетінші. Айта кетейік, магнитті индукцияны B_d тарату қисығы әуе саңылауында синусоидалды емес және бірінші B_1 гармоникамен қатар бесіншіні B_5 қамтиды (7.6.а-суретті қараңыз). Егер мұнда орам диаметрлік қадаммен орындалса ($y_1 = \tau$), онда бірінші және бесінші гармониканың ЭҚК (e_1 және e_5) шарғының екі жағында (ірімінде) (7.6. б-сурет) арифметикалық қосындалады. Бұл жағдайда шарғының $e^{\wedge}_\phi$ ЭҚК, яғни ЭҚК бар орамымен қатар бірінші мен бесінші гармониканы қамтиды.

Егер шарғы қадамын $1/5$ полюстік бөлініске қысқартылады, яғни оны тең қылып алады

$$Vi = 4 / 5 \tau = 0,8\tau,$$

онда e_5 бесінші гармониканың шарғының пазалық жақтарда келтірілсе, бірақ бір-біріне қатысты қарсы фазада орналасады. Нәтижесінде, шарғыда осы ЭҚК сомалары нольге тең (7.6.в-сурет) және шарғының ЭҚК e_1 біріншісін ғана қамтиды, яғни ол дерлік синусоидалды болады.

Жетінші гармониканың ЭҚК жою үшін шарғы қадамын $1/7$ полюстік бөлуін қысқартуын қажет етпейді, яғни шарғы қадамын қабылдаймыз тең қылып

$$y_1 = 6 / 7 \tau = 0,857\tau.$$

Полюстік бөлінуге y_1 қатысты қадамының қатынасы орамның қатысымды $3 = y_1/\tau$ қадамы деп атайды. Әдетте қатысымды қадамды $b = 0,80 \wedge 0,89$ қабылдаса, ол жоғарғы гармоникалардың ЭҚК елеулі әлсіретуін қамтамасыз етеді.

7.6.-суретте берілген құрылыстарға сәйкес көретініміз, шарғы қадамын қатысымды қысқарту көлеміне азайту $e = 1 \text{ — } 3$, әлсіретуді туындайды, тек жоғары гармоника ЭҚК емес, бірінші (негізгі) гармоника да тудырады. Бұл диаметральд қадам кезінде ($y_1 = \tau$) бірінші қадамының ЭҚК $E_{1\text{кд}}$ (7.6. б-суретті) ЭҚК арифметикалық сомасына тең, шарғының пазалық жақтарында келтірілетін ($E_{1\text{кд}} = 2E_1$), ал көлеміне қадамын қысқарту кезінде (7.6.в -сурет) ЭҚК шарғының пазалық жағы фаза бойынша бір-біріне қатысты 180° ығысады және шарғының ЭҚК шарғының қысқартылған қадамы $E_{1\text{кy}}$ геометриялық жиынтығымен анықталады:

$$E_{1\text{кy}} = E_i + E_1 \cos(e \cdot 180^\circ) < E_{1\text{кд}}. \quad (7.7)$$

Қадамды қысқарту кезінде шарғының ЭҚК $e = 1$ көлеміне азайтуда қадамды жылдамдату коэффициенті ескеріледі:

$$k_y = E_{\text{кy}}/E_{\text{кд}}.$$

Бірінші гармоника үшін

$$E_{y1} = \sin(3 \cdot 90^\circ). \quad (7.8)$$

Кез келген гармониканың
ЭҚК үшін

$$k_{yn} = \sin(n \cdot 90^\circ). \quad (7.9)$$

7.1-кестеде қысқарту k_{yn} коэффициентінің мәні түрлі ЭҚК гармоникаларының 3 орамы қадамына қатысты келтірілген.

Гармоника нөмірі v	k_{vv} мәндері, орамның қатысымды қадамында (3)		
	4/5	6/7	1
1	0,951	0,975	1,000
5	0,000	0,433	1,000
7	0,573	0,000	1,000

Қорыта келе айта кету керек, пазалар бойынша орам қадамын қысқарту тек екі қабатты орамдарда мүмкін (8.1.-қараңыз). Бір қабатты орамдарды диаметральді қадаммен орындайды, сондықтан оларда келтіретін ЭҚК 5-7 арасындағы тәртіптегі жоғары гармониканы қамтиды. Бұл асинхронды қозғалтқыштарда қуаты 2кВт артық бір қабатты орамның пайдаланылуын шектейді.

7.3. Шарғылық топтың электрқозғаушы күші

Статор орамдарын шоғырландырылған және үлестірілген болып бөлінеді. Шоғырланған орам кезінде бір фазаның барлық шарғылары полюске келеді және шарғылық топты құрайды, екі пазаға сыяды, яғни бірге шоғырланып бір үлкен шарғыны түзеді. Осындай орам мысалы ретінде үш фазалы орам бола алады, ол 7.4.-суретте берілген. Бірқатар себептермен шоғырланған орамдар кең таралмаған. Себептердің бірі – үлкен ауқымды пазалар статорындағы пластинаны өшіру қажеттігі, ол пазалық жақтардың ауқымды санын орналастыру үшін қажетті. Бұл статордың сыртқы диаметрін арттыру үшін, яғни машина көлемін арттыру үшін керек.

Үлестіру орамдарында барлық шарғылар статор ұштауының периметрі бойынша тегіс орналасқан. Мұнда әр фазаның шарғысы полюске келеді, яғни әр шарғылық топтың шарғысына келеді, ол екі паздан артық иеленеді, мысалы, төрт, алты және т.б.

Статор орамының маңызды өлшемі болып полюс пен фазаға келетін пазалар саны:

$$01 = Z_1 / (2pm_1), \quad (7.10)$$

мұнда m_1 — орамдағы фаз саны (үш фазалы орам үшін $m_1 = 3$).

Полюстер жұбына әр фазаның екі пазасы келетін шоғырланған орамда, ал барлық пазалар $Z_1 = 2pm_1$, пазалардың полюс пен фазаға саны $q_1 = 1$. Үлестірілген орамда $q_1 > 1$.

Үлестірілген екі қабатты статор орамында шарғылық топтардың саны әр фазада полюстер санына тең $2p$, ал үш фазалық орамның шарғылық топтардың жалпы саны $A = 2pm_1$. Мұнда шарғылық топтағы шарғы саны q_1 тең.

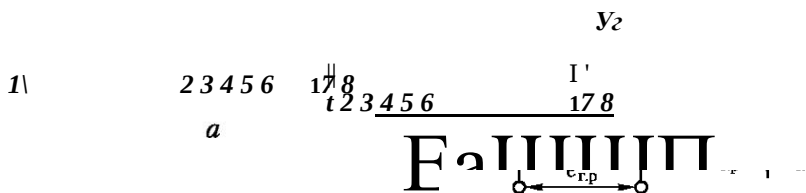
Алайда шоғырланған және үлестірілген орамдар құрылымымен ғана ерекшеленбейді. Шоғырланған және үлестірілген орамдарда келтірілген ЭҚК кестелерінің көлемі мен пішінінде айырмашылық бар. Түсіндіру үшін 7.7-суретке жүгінеміз, онда фазалық орамның бір иірімді шарғылары көрсетілген, ол екі пазаға шоғырланған (а) және шарғылық топты түзетін дәл осындай екі шарғы төрт пазаға үлестірілген (б).

Шоғырланған орамда (7.7.а-сурет), екі шарғыда келтірілген ЭҚК фаза бойынша сәйкестенеді; бұл жағдайда шарғылық топтың ЭҚК (шоғырланған) шарғылардың ЭҚК $E_{г.с} = E_{к1} + E_{к2}$ арифметикалық сомасына тең: (7.1¹)

Үлестірілген орам кезінде екі орам да бір-біріне қатысты g пазалық бұрышқа ығысқан. Сондықтан шарғылық топтардағы шарғыларда келтірілетін ЭҚК бір-біріне қатысты g бұрышына ығысқан (7.7.б-сурет) Осыған байланысты шарғылық топтың ЭҚК үлестірілген орамы шарғылардың ЭҚК геометриялық орамына тең, олардың саны q_1

$$E_{г.р} = \frac{E_{к1} + E_{к2}}{1}$$

7.7.-суретте келтірілген векторлық диаграммаларда көрсетілгендей, шарғылық топтың ЭҚК қарағанда $E_{г.с}$ артық



б

7.7-сурет. Үлестіру коэффициенті ұғымына қатысты

Гармоника нөмірі n	Полюсіне және q_1 фазасына пазалар санына k_p мәндері						
	1	2	3	4	5	6	ГО
i	1,000	0,966	0,960	0,958	0,957	0,956	0,955
3	1,000	0,707	0,667	0,654	0,646	0,644	0,636
5	1,000	0,259	0,217	2,204	0,200	0,197	0,191
7	1,000	-0,259	-0,178	-0,157	-0,149	-0,145	-0,136

ол үлестірілген орам кезінде E_{2p} орын алады. Шоғырланған орамнан үлестірілетінге көшу кезінде шарғылық топтың ЭҚК азаюы бірінші ғана емес, жоғары гармоникаға да таралады. Осы ЭҚК азаюдың сандық бағалауы үшін орамды үлестіру коэффициенті болады, ол ЭҚК қатынасын білдіреді:

$$K = (E_{Г.р} / E_{Г.с}) < 1$$

Бірінші гармоника үшін орамды үлестіру коэффициенті

$$\frac{\sin}{(OMg)} \quad (7.12)$$

мұнда g — пазалық ЭҚК векторлары арасында ығысу бұрышы, яғни статордың көрші пазаларында жататын өткізгіштерде келтірілген ЭҚК, эл. град:

$$g = 360p/Z_1. \quad (7.13)$$

Пазалық ЭҚК векторлары арасында фаза бойынша ығысу бұрышы v -й гармоника үшін g пазалық бұрыштан n есе артық болса, онда кез келген гармоника үшін орамды үлестіру коэффициенті келесіге тең

$$\frac{\sin}{(0,5nq_1g)} \quad (7.14)$$

7.2-кестеде бірінші, үшінші, бесінші және жетінші ЭҚК гармоникасы үшін үлестіру коэффициентінің мәндері келтірілген. Келтірілген мәндерден көрінгені, арттыру q_1 негізгі гармоника үшін k_p үлестіру коэффициентін азайтумен салыстыруды туындатады, бірақ жоғарғы гармониканы азайтады.

7.4. Статор орамының электр қозғаушы күші

(7.5) бойынша статор шарғысының ЭҚК лездік мәні

$$e_k = B_0 - 4rlf_1 w_k.$$

Егер магнитті индукцияны саңылауда үлестіруді синусоидалды ($B_d = B_{\max} \sin w_1 t$) ретінде қабылданса, онда шарғының ЭҚК максималды мәні

$$E_{k\max} = B_{\max} \cdot 4rlf_1 w_k. \quad (7.1^5)$$

Магнитті индукцияны синусоидалды үлестіру заңы кезінде әуе саңылауында магнитті индукцияның орташа мәні $B_{cp} = (2/p)B_{\max}$, осыдан

$$B_{\max} = (p/2) B_{cp}. \quad (7.16)$$

(7.15) және (7.16) ескере отырып, аламыз

$$E_{k\max} = 2pB_{cp} r l f_1 w_k. \quad (7.1^7)$$

ЭҚК қолданыстағы мәніне өтіп, аламыз

$$E_k = E_{k\max} / 2 = (2p/2) B_{cp} r l f_1 w_k. \quad (7.18)$$

Полюстік бөлгішті t H статор өзегінің ұзындығына тудыру полюстік бөлу ауданын білдіреді, яғни бір полюстің магнитті ағынының ауданы. Онда туындысы $B_{cp} t l = \Phi$, яғни статордың негізгі магнитті ағынына тең. Осыны және $2p / v_2 = 4,44$ ескере отырып, диаметральді қадамы бар ($y_1 = t$) шарғының ЭҚК қолданыстағы мәнінің өрнегін аламыз:

$$E_k = 4,44 \Phi f w_k. \quad (7.19)$$

Статордың бір фаза орамының ЭҚК анықтау үшін шарғының E_k ЭҚК статордың азалық орамындағы біріккен шарғылардың ретті санына көбейту керек. Себебі шарғылық топтағы шарғылар саны q_1 тең, ал фазалық орамдағы шарғылардың топ саны $2p$ тең, онда статордың фазалық орамы шарғылардың $2pq_1$ тең.

Байланысқан иірімдердің саны фазалық орамда $w_1 = 2pq_1 w_k$ екенін ескерсек, статордың фазалық орамының ЭҚК аламыз (В):

$$E = 4,44 \Phi / k_{ob1}, \quad (7.20)$$

мұнда k_{ob1} — орам қадамын қысқарту және оны үлестірумен шартталған статор орамында келтірілген негізгі гармоника ЭҚК азаюын ескерсек, негізгі гармониканың орам коэффициенті. Орам коэффициентінің мәні қысқарту k_{y1} және үлестіру k_{p1} коэффициентінің туындысымен анықталады:

$$k_{ob1} = k_{y1} k_{p1}. \quad (7.2^1)$$

Диаметралді қадамы бар орамы үшін $K_{об1} = K_{p1}$.

(7.20) өрнегі статордың орамының фазалық ЭҚК мәнін анықтайды. Желілік $E_{1л}$ қатысты, оның көлемі статор орамының байланыс сызбасына тәуелді: жұлыздша біріккенде $E_{1л} = \sqrt{3}E_1$, ал үш бұрышпен біріккенде $E_{1л} = E_1$.

7.1-мысалы. Асинхронды қозғалтқышы бар үш фазалы статор (7.1.-суретті қараңыз) ішкі диаметрі $D_1 = 435$ мм, ұзындығы $l = 270$ мм пазалардың саны $Z_1 = 60$. Статор орамының паза бойынша қадамы $y_1 = 12$, статор орамындағы катушкадағы иірім саны $m_k = 2$. Егер әуе саңылауында магнитті индукция $B_d = 0,75$ Тл, ал ауыспалы ток жиілігі $f_1 = 50$ Гц; $2p = 4$ тең болғанда орамның бір фазасының ЭҚК анықтау.

Ш е ш у і. 1. Полюстік бөлу

$$\tau = \pi D_1 / (2p) = \pi \cdot 435 / 4 = 341 \text{ мм},$$

немесе тісті бөлуде $\tau = Z_1 / (2p) = 60 / 4 = 15$ зубц.дел.

2. Орамның қатысымды қадамы

$$b = y_1 / \tau = 12 / 15 = 0,80.$$

3. (7.8) бойынша қадамды қысқарту коэффициенті

$$k_{y1} = \sin(b \cdot 90^\circ) = \sin(0,80 \cdot 90^\circ) = 0,951.$$

4. (7.10) бойынша полюс пен фаза бойынша пазалар саны

$$q_1 = Z_1 / (2pm_1) = 60 / (4 \cdot 3) = 5.$$

5. (7.13) бойынша пазалық бұрыш

$$g = 360p / Z_1 = 360 \cdot 2 / 60 = 12 \text{ эл. град.}$$

6. (7.12) бойынша орамды үлестіру коэффициенті

$$k = \frac{\sin(0,5g)}{\sin(0,5g)} = \frac{\sin(0,5 \cdot 5 \cdot 12)}{5 \sin(0,5 \cdot 12)} = 0,957 \quad p^1 q_1$$

7. (7.21) бойынша орам коэффициенті

$$K_{об1} = k_{y1} K_{p1} = 0,951 \cdot 0,957 = 0,91.$$

8. Негізгі магнитті ағын

$$F = (2p) B_6 l_1 \tau 10^{-6} = (2p) 0,75 \cdot 270 \cdot 341 \cdot 10^{-6} = 0,044 \text{ Вб.}$$

9. Фаза орамындағы біріккен иірімдерінің ретті саны

$$w_1 = 2p q_1 w_k = 4 \cdot 5 \cdot 2 = 40.$$

10. (7.20) бойынша статор фазасының орам ЭҚК

$$E_1 = 4,44 \Phi / 1 \text{ ад}_1 K_{об1} = 4,44 \cdot 0,044 \cdot 50 \cdot 40 \cdot 0,91 = 357 \text{ В.}$$

ДС желілік Э мәні осы орамда оны байланыстыру сызбасына тәуелді: $E_{1л} = \sqrt{3} E_1 = \sqrt{3} \cdot 357 = 618 \text{ В}$, ал үшбұрышпен біріккен кезде $E_{1л} = E_1 = 357 \text{ В}$.

7.5. ЭҚК тісті гармоникалары

Статор бетінде тістер мен пазалардың болуын әуе саңылауының ретсіздігі құрылады. Осы себеппен магнитті өрістің барлық гармоникалық құраушылары магнитті индукция қисығының синусоидалты еместігімен шартталған (6.2.-суретті қараңыз), тісті пішінді иеленеді. Әр осы бұзылған гармоникалардың әрқайсысы екі ЭҚК статор орамында индукстеледі: өзіндік жиілік f_n және тісті f_z .

Машина жұмысына тәжірибелік әсер ету негізгі гармоника өрісінің тісті ЭҚК көрсете алады (7.8.-сурет). Осы ЭҚК лездік мәні:

$$e_z = E_{zm} \sin \omega t \cos 2Q \omega t, \quad (7.22)$$

немесе осыны ескере отырып,

$$\sin \omega t \cos 2Q \omega t = 0,5 \sin(\omega t + 2Q \omega t) + 0,5 \sin(\omega t - 2Q \omega t), \text{ аламыз}$$

$$e_z = 0,5 E_{zm} [\sin(2Q + 1)\omega t - \sin(2Q - 1)\omega t], \quad (7.23)$$

мұнда $Q = Z_1/(2p)$ — полюстігі пазалар саны.

(7.23) сәйкес тісті ЭҚК негізгі өріс гармоникасынан бірдей амплитудалық мәні бар, бірақ әр түрлі жиілігі бар екі құраушысына бөліну мүмкін:

$$f_z = (2Q + 1)f_i; f_z = (2Q - 1)f_i. \quad (7.24)$$

мысалы, $2p = 4$, $Z_1 = 24$ и $f_i = 50$ Гц кезінде негізгі гармоника өрісі тісті ЭҚК тудырады, оның жиілігі

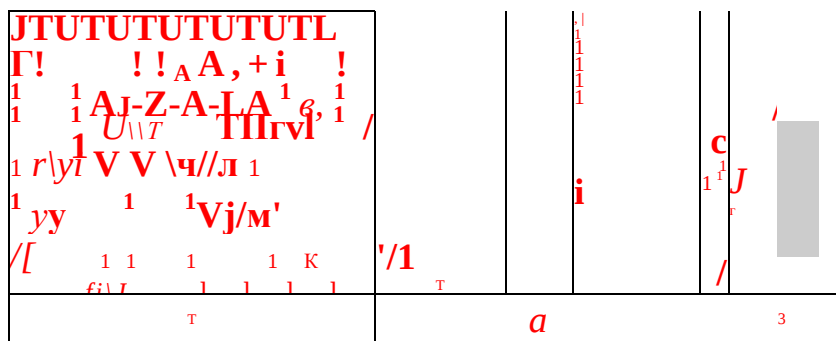
$$\begin{aligned} f_z &= (2 \cdot 6 + 1)50 = 650 \text{ Гц (13 гармоника); } f_z \\ &= (2 \cdot 6 - 1)50 = 550 \text{ Гц (11- гармоника).} \end{aligned}$$

Тісті ЭҚК гармоникалардың зиянды әсері машинада қосымша шығындарды тудырады және жоғары жиілікті иелене отырып, байланыс желілерінде кедергі тудырады.

Себебі u_1 пазалар бойынша орам қадамдарын қысқарту әрдайым тістер санына еселенеді, онда ол ЭҚК тісті гармоникаларын азайту мүмкіндігін берді. ЭҚК тісті гармоникаларын әлсіретудің тиімді әдісі — пазаларды немесе полюсті ұштамаларды алып тастау (синхронды машиналарда). Әдетте бұл с алып тастау бір тісті бөлгішті құрайды (7.9.-сурет). Пазалар мен ЭҚК полюсті ұштамаларын алып тастаған кезде жетек бойында ұзындығы бойынша ретті нүктелердің қатарында индукстеледі, ол бір-біріне қатысты фаза бойынша ығыстырылады. Бұл өткізгіш ЭҚК азаюына әкеледі, ол пазаларды алып тастау коэффициентімен ескеріледі

$$k_a = \frac{2\tau \sin \langle n\tau, 90^\circ/\tau \rangle}{pnc}, \quad (7.25)$$

мұнда τ және c — тісті бөлгіштер.



7.8-сурет. Негізгі B_1 гармониканың полюсті ұштамасының магнитті индукциясының кестесі

7.9-сурет. Пазаларды (а) және (б) негізгі гармоника индукциясының алып тастау B_Z

Пазаларды алып тастау кезінде бір тісті бөлінуде t_l бірінші гармониканың коэффициенті $k_{ск1}$ және 1, ал тісті тәртіп гармоникасы үшін $k_{скn} \ll 1$. Мысалы $2p = 4$, $Z_1 = 48$ кезінде және бір тісті бөліністің пазаларын алып тастауда ($c = 1$) негізгі гармоника үшін ($v = 1$) пазаларды алып тастау коэффициенті $k_{ск1} = 0,995$, тісті гармоника үшін ($v = 13$) коэффициент $k_{ск13} = 0,59$.

Бақылау сұрақтары

1. Пазалар бойынша орам қадамы дегеніміз не және оның көлемі қандай болу керек?
2. Статор орамына келтірілген ЭҚК синусидалды емес қисығын қандай құраушыларға бөлуге болады?
3. Статор орамында ЭҚК жоғары гармоникаларын басудың қандай құралдары қолданылады?
4. Статор орамында тісті ЭҚК қалайша әлсіретуге болады?

8 т а р а у СТАТОР ОРАМЫНЫҢ НЕГІЗГІ ТҮРЛЕРІ

8.1. Полюс пен фазаға пазалардың бүтін саны бар үш фазалы екі қабатты орамдар

Ауыспалы токтың машина статорының орамы өзінің құрылысы бойынша екі немесе бір қабаттыға бөлінеді. Екі қабатты орамда шарғының пазалық жағы биіктігі бойынша пазаның жартысын алады, ал

8.1-сурет. Статор орамының екі қабатты пазалық жағының орналасуы (а) және бір қабатты (б)

пазаның өзге жартысы басқа шарғының бөлігі алады (8.1.а-сурет). Бір қабатты статор орамында кез келген шарғының пазалық жағы барлық пазды иеленеді (8.1.б-сурет). Үшфазалы екіқабатты орамды полюс пен q_1 фазаның бүтін санымен орындау ұстанымын қарастырамыз: 2; 3; 4 және т.б. бұл жағдайда әр фазаның орамы әр полюсті бөлудің шегінде q_1 алады. Осылайша, үшфазалы орамның статор өзегінің тісті қабаты әр полюстік бөлу шегінде әр аймаққа q_1 пазалар бойынша үш аймаққа бөлу керек.

Келесі мәліметтері бар орам мысалындағы статор орамының үшфазалы екіқабатты орамының толық құрылу сызбасының тәрібін қарастырамыз:

Фазалар саны $m_1 = 3$, полюстер саны $2p = 2$, статор өзегіндегі пазалар саны $Z_1 = 12$, диаметральді пазалар бойынша орам қадамы яғни $y_1 = \tau$.

Орам қадамы $y_1 = Z_1/(2p) = 12/2 = 6$ паз; полюс пен фазаға пазалардың саны $q_1 = Z_1/(m_1 2p) = 12/(3 \cdot 2) = 2$ паз; пазалық бұрыш $g = 360p/Z_1 = 360 \cdot 1/12 = 30$ эл. град. Фазалық орам біліктері арасында ығысу бұрышы 120 эл.град құрайды, сондықтан А,В және С фазалық орамдардың бастамалары арасындағы ығысу пазаларда айқын $1 = 120/g = 120/30 = 4$ паз.

Статордың ашық бетінде пазаларды ($Z_1 = 12$) және полюстік бөлүлерді ($2p = 2$) орналастырамыз, содан кейін $q_1 = 2$ паз бойынша аймақтарын барлық фазалар үшін белгілейміз (8.2а.-сурет); мұнда бір полюстік бөлуде қандай да бір фаза аймағы мен осы фазаның аймағы арасындағы қашықтық орам қадамына тең болу керек $y_1 = 6$ пазов. Ары қарай фазалық орам бастаулары арасындағы қашықтық 1-4 паз. Сызбада (8.2.б-сурет) үстіңгі (жаппай сызықтар) және төменгі (пунктирлі сызықтар) А фазасының катушка пазалық жақтарын белгілейміз (1,2,7 және 8 шарғылар). Маңдай бөлігінің 1 шарғының үстіңгі жағы (1 рет) осы шарғының төменгі бөлігімен байланыстырамыз (7 рет), ол өз кезегінде шарғының үстіңгі жағына қосамыз (2 паз). Шарғының үстіңгі жағын 2 (8.2.б-сурет) сондай-ақ беткі жағымен төменгі жағымен осы шарғыға қосамыз (8 рет) және А фаза орамдарының бірінші шарғылық тобын аламыз (Н1А—К1А).

А фазасының екінші шарғылық тобын дәл осылай аламыз, ол ретімен байланысқан 7 және 8 шарғылардан құралады (Н2А— К2А). Шарғылық топтарды ретімен қарсы байланыстырамыз, ол үшін К1А К2А қосамыз. Басын бірінші шарғылық топқа Н1А С1 орам шығысына байланыстырып,

8.2-сурет. Статордың үшфазалы екіқабатты орамын толық сызбасын құру тәртібі ($Z_1 = 12$, $2p = 2$, $y_1 = 6$, $q_1 = 2$)

ал екінші шарғылық топтың басы H2A – C4 шығысына, A фазалық орамын аламыз.

В фазасының пазалық жақтарын байланыстыруға кірісеміз: 5 және 6 шарғылар (бірінші шарғылық ток) және 11 және 12 шарғылары (екінші шарғылық топ). С фазалық орам шарғыларымен осыны жасап, осы фазалық орамдардың шарғылық топтарын байланыстырамыз, А фазалық орамда жасалған, В фазалық орамды (C2-C5) және С фазаларын (C3-C6) аламыз. Түпкілікті түрде үшфазалы орамның толық сызбасы 8.2.в –суретте берілген.

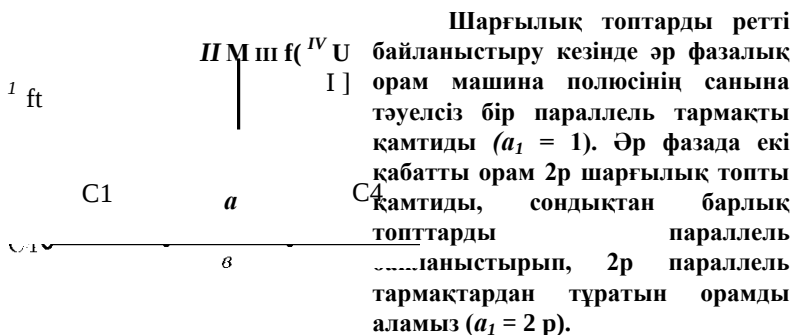
Ауыспалы токтың электрлі машиналарындағы екі қабатты орамдар 22 кВт және одан артық қуат кезінде ең үлкен таралымды алды. Бұл бірқатар артықшылықтарымен түсіндіріледі, олардың бастысы орам қадамын қысқарту, ол, өз кезегінде, ЭҚК қисығын синусоидаға жақындау мүмкіндігін береді (7.3.-сурет).

Алайда екіқабатты орамда кемшіліктерден кенде емес, бұл – орамның станокты төсемі мен төменгі қабаттағы пазалық жетектерді оқшаулау кезінде орамды жөндеуде қиындықтар.

Көрші пазаларда жататын және бір фазалық айналымға жататын өзара байланысқан шарғылардың реттілік қатарын шарғылық топ деп атайды. Әр шарғылық топтың ретті байланысқан q_1 шарғылары бар. Шарғылық топтардың саны фазалық орамда полюстер санына тең. Шарғылық топтардың жалпы саны екі қабатты орамда $2 p m_1$ тең.

Статордың фазалық орамының шарғылық орамы ретімен немесе параллель қосыла алады, ол орамдағы параллель тармақтарның санына әсер етеді. 8.2.б-суретінде көрсетілгендей, фазалық орамның екі шарғылық тобының ретті байланысы көрсетілген, ол бірінші шарғылық топтың (K1A) төменгі соңын екінші шарғылық топтың (K2A) соңымен, ал үстіңгі ұштарын фазалық орам қысқыштарына (C1—C4) шығаруға қажет. Шарғылық топтардың байланысы кезінде фазалық орамның ЭҚК барлық шарғылық топтардың ЭҚК жиынтығын білдіреді.

8.3.а-суретте көрсетілгендей, төрт шарғылық топтың ретті байланысы берілген. Байланыстырудың бірінші және екінші топтары төменгі ұштарымен, екінші және үшінші топтары үстіңгі ұшымен, үшінші мен төртінші – төменгімен, ал фазалық орам шығысына бірінші және төртінші шарғылық топтардың ұштары байланысқан.



8.3.б-суретте көрсетілгендей, төрт шарғылық топтың параллель байланысы: орамның бір шығысына (C1) тақ топтардың үстіңгі ұштары (I және III) және жұп топтардың төменгі ұштарына (II және IV) қосылады, шарғылық топтардың қалған ұштары фазалық орамның өзге шығысына байланысқан (C4).

8.3-сурет. Шарғылық топтарды байланыстыру әдістері

8.4-сурет. Қадамы қысқартылған статордың үшфазалық екіқабатты статор орамының толық сызбасы ($Z_1 = 24$; $2p = 4$; $y_1 = 5$)

Топтарды қосудың осы тәртібі келесі арқылы түсіндіріледі: ЭҚК қасында жатқан шарғылық топтар бір фазалық орамда бір-біріне қатысты 180° ығысқан, себебі шарғылық топтар аттары әр түрлі полюстермен орналасқан. Сондықтан қатар жатқан шарғылық топтардың фазалық орамдары ЭҚК фаза бойынша сәйкестеншу үшін олардың ұштарын ауыстыра отырып, қосады.

Егер фазалық орамның әр шарғылық тобының жартсын ретімен бір тармаққа байланыстырса, содан кейін екі тармақты параллель қосса, онда фазалық орамда ($a_1 = 2$) екі параллель тармағы бар шарғылық топтарды ретті-параллель (аралас) байланыстыру.

Параллель тармақтардың ЭҚК бірдей болуы үшін әрқайсысына шарғылық топтарды бірі арқылы қосады. Осылайша, бір параллель тармақта барлық жүп шарғылық топтар, ал екіншісінде тақ шарғылық топтар орналасады (8.3 в суреті).

8.1-мысал. Келесі мәліметтермен үшфазалы екі қабатты орамды қадамның қатысымды жылдамдатуымен толық сызбасын орындау (3-0,83): $2p = 4$, $Z_1 = 24$, шарғылық топтарды байланыстыру ретімен.

Ш е ш у і. (7.10) бойынша полюс пен фазаның пазалар саны

$$q_i = Z_1 / (2p \cdot i) = 24 / (4 \cdot 3) = 2.$$

(7.13) бойынша пазалық бұрыш

$$g = 360p / Z_1 = 360 \cdot 2 / 24 = 30 \text{ эл.град.}$$

Фаз біліктер арасындағы ығысу (пазаларда)

$$l = 120 / g = 120 / 30 = 4.$$

пазалар бойынша орам қадамы

$$Y_1 = 3V(2p) = 0,83 \cdot 24 / 4 = 5.$$

8.4 –суретте осы орамның толық сызбасы бейнеленген.

8.2. Полюс пен фазаға пазалардың бөлшекті саны бар үш фазалы екі қабатты орамы

Қуатты көп полюсті синхронды генераторда – гидргенераторда (19-тарауын қараңыз) бүтін санға тең полюс пен $q_1 > 1$ фазасына пазалар санымен статордың орамын орындау мүмкін емес, себебі бұл үшін старторда пазалардың $Z_1 = 2pm_1q_1$ көп бөлігін иелену керек еді. Бұл жағдайда стартор орамында полюс пен q_1 фазаға пазалардың бөлшекті санымен орындайды. Мұндай орамдардың бүтін q_1 орамдары алдында басымдығы бар, себебі шағын мәндерінде q_1 дерлік синусоидалды пішіннің ЭҚК алу мүмкіндігін береді.

Ауыспалы токтың қозғалтқыштарындағы q_1 бөлшек статорлардың орамдарын басты түрде топтамалық өндірісте қолданады, онда полюстерінің саны әр түрлі қозғалтқыштың статор өзегінің пластиналарын дайындауда бір штамп пайдаланады. Мұнда $2p$ мәндерінің бірі q_1 береді (бүтін сан).

Бөлшекті q_1 мән келесі түрде беріле алады:

$$q_1 = a + b/c = (ac + b)/c. \quad (8.1)$$

мұнда анық көрінетіні, b , c және $ac + b$ сандарының ортақ бөлгіші жоқ. Ескерумен, статор пазалараының саны (8.1.)

$$Z_1 = 2pm_1q_1 = 2pm_1(ac + b)/c. \quad (8-2)$$

Егер m_1 еселенбесе, онда бөлшекті орам $q^{ac+b} = ac + b$ бүтін санымен орамға баламалы. Себебі q_1 q^{ac+b} шынайының (бөлшектің) q_1 есе үлкен, (8.1. қараңыз), онда $q^{ac+b}_{1\text{КВ}}$ пазалар санына баламалы, ол шынайыдан Z_1c есе артық. Мәселен, екі полюсті үш фазалы статор орамы $Z_1 = 9$ полюс пен фазаға пазалар санына ие

$$q_1 = V(2pm_1) = 9 / (2 \cdot 3) = 1.5,$$

немесе, (8.3) сәйкес,

$$q_1 = (ac + b)/c = (2 + 1) / 2 = 1.5, \text{ мұнда}$$

$$a = 1, c = 2, b = 1.$$

Бұл орам үшін өлшемдері баламалы болады

$$q^{ac+b} = q^{1.5} = 1^{1/2} \cdot 2 = 3; Z_{b\text{КВ}} = Z_1c = 9 \cdot 2 = 18.$$

Баламалы $q^{ac+b}_{1\text{КВ}} = 18$ статордың тісшелерін бейнелеп (8.5.а-сурет) және оларды фазалы қ аймақтың полюстік бөліністеріне бөліп, шынайы статор ($Z_1 = 9$) пазаларын нөмірлейміз. Белгіленуден көрінгендей, бұл пазалар баламалы паза болады. Паза белгілерінен көрінгендей, әр фазалық орам екі шарғылық топтан тұрады,

8.5-сурет. Бөлшекті q_1 статордың үш фазалық орамы

мұнда, бір тобы екі шарғыдан, екіншісі- біреуден. А фазасының шарғылық топтарын бейнелеп (8.5.б-сурет), оларды ретімен (қарама-қарсы) біріктіреміз және C1 және C4 фазалық орамдарының қорытындысын белгілейміз. В және С фазалық орамдардың сызбаларын орындаймыз.

Қарастырылған мысалда $q_1 = 1\frac{1}{2}$ әр шарғылық топ шарғы саны бойынша бірдей емес бөліктерден тұрады: бір шарғылық топ бөлігінде – бір шарғы, екіншісінде екі шарғы. Осылайша, шарғылық топта шарғылар кезектеседі. 1-2 белгіленеді. Егер бөлшектің q_1 бөлігі $\frac{1}{2}$ өзгешеленсе, онда шарғыларды кезектестіру әр шарғылық топта бөлек болады [10].

Шарғылық топта шарғыларды кезектестіру келесі ережегі бағынады: кезектестіру цифр саны бұрыс бөлшектің бөлінгішіне тең (8.1)-қараңыз], ал осы цифрлардың сомаы бұрыс бөлшектің бөлінгішіне тең $ac + b$.

8.3. Статордың бір қабатты орамдары

Үшфазалық орам. Бір қабатты орамдарда әр шарғының жағы статор өзегінің пазасын толығымен толтырады (8.1.б-сурет). Мұнда шарғылық топтардың саны әр фазада полюстер жұбына тең, сондықтан шарғылық топтардың жалпы саны бірқабатты pm_1 орамда тең.

Статордың бір қабатты орамдарын концентрлік және шаблонды деп бөледі. Концентрлік шарғы орамда әр шарғылық топта әр түрлі енін иеленеді және концентрлікті иеленеді. Шарғылық топқа енетін шарғылардың орам қадамдары бірдей емес, бірақ олардың орташа мәні

$$y_{1cp} = Z_1 / (2p).$$

Мәселен, үш фазалы бір қабатты концентрлік орамда $Z_1 = 24$; $2p = 4$ $y_{1cp} = 24/4 = 6$ паз бар; $q_1 = Z_1 / (2p m_1) = 24 / (4 \cdot 3) = 2$. Яғни, әр фазалық орамның шарғылық тобы екі орналасқан концентрлік шарғыдан тұрады. Осы шарғылардың қадамдары: $y_{11} = 7$ и $y_{12} = 5$. Осы орамның толық сызбасы ($2p = 4$; $Z_1 = 24$; $q_1 = 2$; $y_{1cp} = 6$) 8.6, а.-суретте берілген.

Қарастырылған бірқабатты орамды екі жазықтықты деп атайды, себебі шарғының кез келген алдыңғы бөліктері шығыстары әр түрлі және екі жазықтықта орналасады (8.6.б-сурет).



C1 C6 C2

C3

C4 C5

a

8.6.-
сурет. Үш фазалы
бірқабатты статор
орамы алдыңғы
бөліктері екі
жазықтықта
орналасқан: а — толық
сызба; б — алдыңғы



б

8.7-сурет. Статордың үшфазалы бір қабатты шаблонды орамы

Орамның мұндай құрылымы әр түрлі фазаларға тиесілі шарғылардың алдыңғы бөліктерінің қиылысына жол бермейді. Алдыңғы бөліктерінің топтарының полюс жұптарының тақ санында тақ болады. Бұл жағдайда бір шарғылық топты алдыңғы бөлігінің екілене бүгілген өтпелі көлемін жасайды.

Шарғылық топты құрайтын шарғы көлемі бойынша түрлісін қолдану концентрлік орамдардың шарғылық топтарында электрлік кедергі әр түрлі болуына әкеледі. Мұны фазалық орамды түзетін шарғылық топтардың шарғысының мөлшерін анықтау кезінде ескеру керек. Барлық фазалық орамдардың электрлік кедергісі бірдей болу керек, оларда шарғылық топтардың көлемі бойынша сандары бірдей болу керек. Бір қабатты концентрлік орамдардың негізгі артықшылығы – станокты төсемді пайдалану мүмкіндігі. Статор орамының осы түрінің қуаты 18кВт асинхронды қозғалтқыштарда кең қолданысы түсіндіріледі, өндірісі массалық сипатта.

Концентрлік орамдардың кемшілігі – шарғылардың түрлі көлемде болуы, ол орамның қолмен жасалуын қиындатады. Бұл кемшілік бір қабатты шаблонды орамдарда жоқ, себебі олардың шарғыларының көлемі бірдей, жалпы шаблонда дайындала алады. Сонымен қатар осындай орамдардың барлық шарғылары кедергілері бірдей, алдыңғы бөліктері қысқа болады, онда концентрлік орамдарда мыстың шығыны азаяды.

Мысал ретінде шарғылық топта үш шарғысы бар екі полюсті машинаның шаблонды орамды қарастырамыз (8.7.а-сурет). Шарғылардың трапецеидальді пішіні орамның алдыңғы бөліктерінің орналасуын жеңілдетеді. (8.7.б-сурет). Бір қабатты орамдарының барлық түрлерінің негізгі кемшілігі оларда қадамы қысқартылған шарғының қолданылуы мүмкін емес, ол ауыспалы ток машиналарының жұмыс қасиеттерін жақсартуға қажетті (7.2.-қараңыз).

б С1

б С4

Бірфазалы орам. Статордың бұл оралымын үш фазалы орамның бір фазасына ұқсас орындайды, айырмашылығы тек – осы орамның шарғылары статор өзегінің 2/3 пазасын ғана иеленеді. Орамның мұндай құрылымы оны үнемді етеді, себебі статордың қалған 1/3 пазасын толтыру орамды дайындауға мыс шығынын 1,5 есе арттырар еді, яғни 50 %, ал орамның ЭҚК тек 15 % өсетін еді.

Бір фазалы орам үшін ($m_1 = 1$) статорда 2/3 пазасын иеленеді, үлестіру коэффициентінің формуласы келесідей (7.3.-сурет):

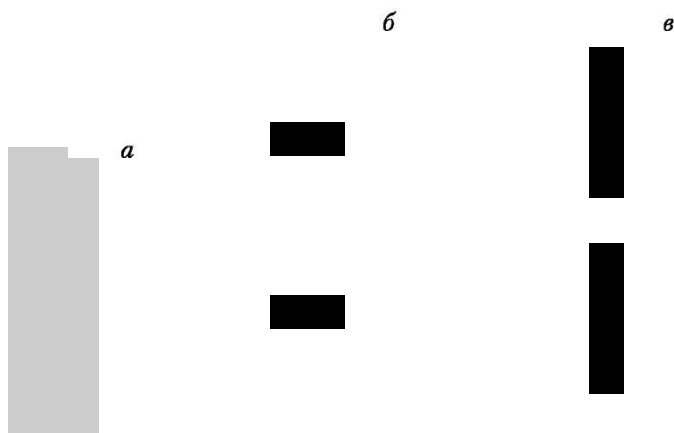
8.8-сурет. Статордың бір фазалы бірқабатты орамы ($2p = 2$; $Z_1 = 1^2$; $q_1 = 4$)

$$,, \frac{\sin \frac{6}{\pi} \theta^v}{q_1 \sin 60^\circ} \quad (8.3)$$

Үшінші гармоника ЭҚК үшін ($v = 3$) өрнек есептеуіші (8.3) $\sin 60^\circ v = \sin 180^\circ = 0$. Бұған сәйкес статорға 2/3 пазаны иеленетін бір фазалы орамда үшінші гармоника ЭҚК жоқ. 8.8.-суретте бірфазалы бір қабатты орамының сызбасы көрсетілген. Бір фазалы орамдар екі қабатты бола алады.

8.4. Статор орамын оқшаулау

Орамның электрлі оқшаулауы – электрлі машинаның жауапты элементі, белгілі дәрежеде оның габариттерін, массасын, бағасы мен сенімділігін, жарамдылық қызметін анықтайды. Статор орамының пазалық жақтары (8.9.-сурет) жартылай жабық (а), жартылай ашық (б) және ашық (в) болатын пазаларда орналасу керек. Өткізгіштерді төсеу алдында 4 пазаның бетін пазалық қорап түріндегі пазалық (шанақтық) оқшаулаумен 2 жабылады. Оқшаулаудың бұл түрі тек электрлі ғана емес, механикалық төзімділікті иелену керек, себебі оған машинаны жұмыс процесінде туындайтын елеулі механикалық күштер әсер етеді, ал әсіресе орам өткізгіштерін төсеу кезінде (нығыздауда) пазалардағы орам өткізгіштері әсер етеді. Пазаларға 1 төсемені орналастырады.



8.9.-сурет. Статор пазалары

Өткізгіштерді бір-бірінен электрлі окшаулау иірімді окшаулаумен қамтамасыз етіледі, оның негізінде машиналарда кернеу 660 дейін болады. Онда орамды сымдардың окшаулауын пайдаланады, ал 6000 В кернеуінде және одан жоғарыда бұл окшаулау арнайы иірімді окшаулауда әр өткізгіште күшейтуді қажет етеді. Екі қабатты орамдарда қабаттар арасында 3 төсеме салады. Пазаны сынамен 6 жабады, оның астына да окшаулау төсемесін 5 салады.

Статор орамдары үшін 660 В кернеу кезінде айналмажәне тік бұрышты қималардың ПЭТВ және ПЭТ-155 маркаларын эмальді окшаулануымен сымдарды пайдаланады. Статор орамдары үшін негізгі окшаулау материалы: төменгі вольтті машиналарда (660 В дейін) -) — пленкосинтокартон, электронит, лакоткане- сплюдопласт, ал жоғары вольтті машиналарда (6000 В және одан жоғары) - стеклосплюдопластілі лента, стеклотекстолит және т.с.с.

Машина габаритін пайдалануды жақсарту мақсатында пазаларда орамлы окшаулау аз орынды алу керек. Паз аумағын пайдалануды бағалау үшін пазаны окшауланған өткізгіштермен толтыру коэффициенті пайдаланылады

$$k_n = N^{\wedge}4^{\wedge}', \quad (8.4)$$

мұнда $N^{\wedge}$ — статор пазасында өткізгіштер саны, мм; ξ_n' — ораманың алатын паз ауданы, (сынаманы ескерусіз), мм².

Айналмақимасындағы орама сымдарын пайдалану кезінде (пазлар жартылай жабық) орамды қолмен төсеуде $k_n = 0,70 \wedge 0,75$; статорорамалық станокта машиналық төсеу үшін $k_n = 0,70 \wedge 0,72$.

Жоғары вольтті машиналарда статор пазаларын ашық қылады, себебі бұл жағдайда ғана сенімді пазалық оқшаулауды қамтамасыз етуге болады.

Бақылау сұрақтары

1. Төменде келтірілген нұсқалар үшін шарғылық топты ретті байланыстырумен үшфазалы екіқабатты статор орамының толық сызбасын сызыңыз:

<u>Нұсқалары.....</u>	<u>..... 1</u>	2	3	4	5	6	7	8	9	1
<u>Полюстер саны 2 p.....</u>	<u>..... 2</u>	4	6	4	2	2	2	8	4	4
<u>Пазалар саны Z.....</u>	<u>..... 24</u>	24	36	36	18	36	30	48	48	3

2. Егер шарғылық топтардың ретті байланысын параллельге ауыстырған кезде орамның ЭҚК $2p = 6$ қалай өзгереді? Осы байланыстың сызбасын сызыңыз.
3. Концентрлік бір қабатты орамдардың алдыңғы бөліктері неліктен бірнеше жазықтықта орналасады?
4. Бір қабатты және екі қабатты статор орамдарының артықшылықтары мен кемшіліктері қандай?
5. Неге статордың бірфазалы орамын $2/3$ пазаларға орналастырады?
6. Жылуға төзімділігі бойынша оқшаулау материалдары қалай бөлінеді?
7. Неге жоғары вольтті электр машиналардың статор пазаларын ашық етіп жасайды?

9 тарау

СТАТОР ОРАМЫНЫҢ МАГНИТТІ ҚОЗҒАУШЫ КҮШІ

9.1. Шоғырланған орамның магнитті қозғаушы күші

Статор орамдарының МҚК талдау кезінде келесіні ұстанамыз:

а) ауыспалы ток орамдарының МҚК уақытта өзгеріледі және статор аумағы бойынша үлестіріледі, яғни МҚК уақыттың ғана емес, кеңістіктің де қызметі болып табылады;

б) статор орамындағы ток синусоидалды, яғни орам МҚК уақыттың синусоидалды қыметі саналады;

в) статор аумағы бойынша әуе саңылауы тұрақты;

г) ротор орамындағы ток болмайды, яғни ротор магнитті өріс тудырмайды.

Ауыспалы токтың статордың шоғырланған бір фазалы шарғысы бар екі полюсті машинаны қарастырайық, диаметральді қадамы $y_1 = \tau$ (9.1, а-сурет). Осы ораммен ток өткен кезде магнитті ағын туындайды, ол магнитті жетекте тұйықталып, статор мен ротор арасындағы е саңылауыан екі рет еңсереді.

Статор орамы екі пазада шоғырландықтан, осы орамның МҚК кестесі екі тікбұрыш түрінде келеді: теріс және оң (9.1.6-суреті). Олардың әрқайсысының биіктігі F МҚК сәйкес келеді, ол е әуе саңылауы арқылы магнитті ағынды жүргізу үшін қажет, яғни

$$F_K = 0,51_{\text{Ттах}} \text{ад} = 0, W 2 I_1 w_K, \quad (9.1)$$

мұнда I_1 — шарғы тогының қолданыстағы мәні.

МҚК шоғырланған орамы үшін гармоникалық қатар түзу, яғни кеңістікті синусоидалды үлестірілген МҚК жиынтығы түрінде ұсыну:

$$f(\theta) = -F_K \left(\cos a - \frac{1}{3} \cos 3a + \frac{1}{5} \cos 5a - \dots \pm \frac{1}{n} \cos na \right) \quad (9.2)$$

мұнда a — кеңістікті бұрыш (9.1, б-суреті).

(9.2) сәйкесг статордың шоғырланған орамы негізгі және жоғарғы тақ гармониканы қамтиды, олардың амплитудасы гармоника тәртібі (нөміріне) n пропорционал.

Кез келген гармоника МҚК лездік мәндері оның ординаталарының кеңістікті бұрышыны есептеуді бастағанға дейін кеңістікті қалпына байланысты (9.1.6-суреті). Бұл тәуелділік түрлі гармоникаларда әр түрлі, яғни МҚК гармоникалары кеңістікте әр түрлі мерзімділікке ие, ол $\cos na$ заңымен анықталады. Сондықтан МҚК гармоникасын кеңістікті деп атайды.

МҚК гармоникасының уақыттық тәуелділігі бар, себебі шарғымен ауыспалы ток өтеді. Бірақ бұл уақыттық тәуелділік барлық гармоникаларда бірдей және шарғыдағы ток жиілігімен анықталады. Яғни, барлық кеңістікті гармоника $\sin \omega t$ пропорционал.

Біздің алдыңғы тарауларда қарастырған токтың гармоникалық құраушылары мен ЭҚК уақыттық гармоника деп атайды. Бұл гармоникалардың уақыттық мерзімділігі гармоника нөмірімен анықталады (7.6.).

(9.2) бойынша бірінші кеңістікті гармоника МҚК амплитудасы

$$F_{K1} = F_c = \frac{4}{p} \text{ Лад} = 0,9 \text{ Лад} \quad (9.3)$$



9.1-сурет. Статордың шоғырланған орамының бірфазалы МҚК

v-тәртіптегі кеңістікті гармоника амплитудасы

$$F_{KV} = F_{jv} = O^{\wedge}w/v. \quad (9.4)$$

Кез келген гармониканың МҚК уақыт пен бұрыш кеңістігіне тәуелділігі келесі өрнекпен анықталады

$$/_{ky} = \pm F_{j,y} \sin \omega t \cos \alpha. \quad (9.5)$$

Гармоника нөмірінің артуымен оның кеңістікті мерзімділігі артады, сондықтан кеңістікті гармоника МҚК полюстерінің саны $2p_v = 2pv$ тен.

Ауыспалы ток машинасындағы пайдалы магнитті ағынды МҚК негізгі гармоникасы құрады, ал жғарғы кеңістікті МҚК гармоникалары әдетте машинаға зиянды әсерін тигізеді (МҚК жоғары гармоникаларының әрекеті келесі тарауда қарастырылған).

9.2. Үлестірілген орамның магнитті қозғаушы күші

9.2.а-суретте статордың орамының шарғылық тобы көрсетілген, ол үшін шарғыдан тұрады. Негізгі гармониканың МҚК кестесі осы шарғының бірі синусоиданы білдіреді, максималды мәні (C_{k1}) тиісті шарғының білігімен C_{1k1} , C_{2k1} және C_{3k1} сәйкестенеді, сондықтан шарғының МҚК векторлары арасында U бұрышына кеңістікті ығысу бар, ол бір-біріне қатысты орам шарғысының пазалық ығысу бұрышына тең.

9.2-сурет. Статордың үлестірілген орамының негізгі гармоникасының МҚК

Бар шарғылық топтың негізгі гармоникасының МҚК кестесі шарғылардың МҚК синусоидалардың ординаталарын қосумен алынған синусоиданы білдіреді, ол шарғылық топты құрайды. Осы кестенің F_i максималды мәні орта шарғысының білігімен сәйкестенеді.

Гармоникалардың МҚК векторлық бейнеленуіне көшкен кезде көретініміз, негізгі гармониканың шарғылық тобының МҚК амплитудасы (9.2.6-сурет) шарғының МҚК амплитудалық мәндерінің векторларының геометриялық сомасымен анықталады: $F_{\alpha} = \ddot{E}_{1\kappa l} + \ddot{E}_{2\kappa l} + F_{3s1}$, яғни шарғылық топтың ЭҚК анықтауына ұқсас (7.7.6-сурет). Айырмашылығы тек шарғының ЭҚК векторлары бір біріне қатысты g ығысқан - осы ЭҚК фазалардың ығысу бұрышы бір-біріне қатысты (уақыттық бұрыш), ал МҚК қосқан кезде g' бұрышы шарғылардың амплитудалық мәндерінің кеңістікті ығысу бұрышы ($g' = g$).

Егер шарғылық топтың барлық шарғылары екі пазада ($g' = 0$) шоғырланады, онда нәтижеленуші МҚК шарғылардың МҚК арифметикалық сомасымен анықталады, яғни $F_{\alpha} = F_{s1}q_1$.

Осылайша, шарғыларды бірнеше пазада орналастыру шарғылық топтың МҚК азаюына әкеледі, ол орамды үлестіру коэффициентімен ескеріледі (7.3.-қараңыз). Негізгі гармоника МҚК үшін бұл кішірейту үлкен емес, бірақ жоғары кеңістікті гармоника үшін елеулі.

Шарғылық топтың кеңістікті гармоникасының амплитудасы үлестірілген орамда

$$m_{\text{нда}} \kappa_{py} = \frac{F_{gy}}{\kappa^{\wedge\wedge py}}, \quad \frac{C_{\text{ку}}^{\wedge\wedge py}}{(9 \ 6)}, \quad (0 \ 9/y)11$$

мұнда κ_{py} — үлестіру коэффициенті.

Мысалы, шарғылық топтың негізгі гармоникасының МҚК амплитудасы

$$E_{T1} \wedge 1 \wedge 1^{0,91} 1^{\wedge k} 1^k p_1 - \quad (9.7)$$

Егер машинанының бірнеше полюс жұбы болса ($p > 1$), онда q_1 кезінде бүтін санға тең, орам симметриясына байланысты МҚК кестесі әр полюстер жұбында қайталанады, сондықтан (9.6) шарғылық топ үшін шығарылған фазалық орам $\wedge \phi$ МҚК үшін де әділетті (9.6). шарғы иірімдерінің санын w_k фазалық орам иірімдер санына w_1 алмастырамыз. Ретті байланыс кезінде бірқабатты орам үшін

Барлық шарғылар үшін $w_1 = p q_1 w_k$ бұдан

$$w = w_1^{(p q_1)}. \quad (9.8)$$

(9.6) және (9.8) пайдаланып, аламыз

$$P \phi_y = (0,9/v) I_1 W_1 k_p / p; \quad (9.9)$$

Негізгі гармоника үшін

$$U \phi_1 = 0,9 I_1 W_1 k_p i / p, \quad (9.10)$$

Мұнда I_1 — фаза орамындағы ток.

Фазалық орамның барлық шарғыларын ретті байланыстырған кезде

$$I = /k.$$

(9.9) өрнегі екіқабатты орам үшін де орынды, оның $w_1 = 2 p q_1 w_k$ себебі екіқабатты орамның шарғы иірімдер саны иу. «двухсл» оның пазалық жағы пазаның жартысын, бірқабатты орам шарғысының иірім санынан екі есе кем.

$\wedge k$. бірқабатты, $\tau. e.$ $\wedge k$. екіқабатты $^{0,5} \wedge k$. бірқабатты.

(9.9) өрнегі шарғылық топтарды параллель байланысты кезінде де орында, онда фаза орамындағы ретімен байланысқан иірімдер саны a есе кішірейеді, мұнда ток сонша есе рет артады (мұнда a — статор орамындағы параллель тармақтардың саны).

Жоғары кеңістікті гармоникаларды басудың тиімді құралдары болып: орам қадамын қысқарту (7.2.-қараңыз), үлестірілген орамд қолдану (7.3.-қараңыз), және пазаларды қиғаштату (7.5.). Статор орамының МҚК негізгі гармоникасының амплитудасын азайту орама коэффициентімен ескеріледі $k_{об}$ [(7.21 қараңыз)]. Пазаларды қиғаштатуға қатысты ол негізгі гармоника МҚК көлеміне әсер етпейді (7.5.-қараңыз).

Баяндалғанды ескере отырып, статор фазасының орам МҚК амплитудасы

$$\wedge \phi_y = (0,9/v) 1^{\wedge 1} k_{об} i / p; \quad (9.11)$$

Негізгі гармоника үшін

$$U \phi_1 = 0,9/1 W_1 k_{об} i / p. \quad (9.12)$$

Статордың бірфазалы орамының МҚК осы орамдағы ауыспалы токтың шынайы мәніне пропорционал ($F^\wedge = I_1$). Ауыспалы ток әр мерзім ішінде түрлі лездік мәндерді қабылдайды $+I_{1\max}$ до $-I_{1\max}$. Яғни бір фазалы орамының әр полюстік бөлуде МҚК түрлі лездік мәндерді $+F^\wedge$ до $-F^\wedge$ пайдалана отырып, f_b ток жиілігі өтеді. Мұнда барлық гармоникалық құраушылары осы МҚК бірдей жиілікпен өтеді.

9.3. Статордың үш фазалы орамының магнитті қозғаушы күші

Статордың үш фазалы орамын үш фазалы ток желісіне қосқан кезде фаз орамдарында фаза бойынша (уақытта) бір –біріне қатысты 120 эл.град.ығысқан токтар пайда болады (9.3.а-сурет).

$$\begin{aligned} i &= I_{\max} \sin \omega t; \\ i_B &= I_{\max} \sin (\omega t - 120^\circ); \\ i_C &= I_{\max} \sin (\omega t - 240^\circ). \end{aligned} \quad (9.13)$$



9.3-сурет. Айналма МҚК алу ұстанымы

Әр орам тогы пульстейтін МҚК ады, ал осы МҚК жиынтық әрекеті нәтижеленуші МҚК құрады, оның векторлы уақыттың түрлі мезеттерінде түрлі бағытты қабылдай отырып, статорға қатысты айналады. Осы айналушы МҚК түзілу ұстанымы қарапайым үшфазалы екі полюсті орамда қарастырамыз, әр фазасы бір шарғыдан тұрады ($q_1 = 1$). Фазалық орамдар жұлдызша бірігіп, үшфазалы токтың желісіне қосылған (9.4.-сурет).

9.4. Үш фазалы орамы бар статор

Үш фазалы орамның МҚК векторының құрылысын жүргізейік, 9.3.-суретте а 0,1,2,3 сандарымен белгіленген түрлі уақыт мезеттеріне сәйкес келеді.

Уақыт мезетінде 0 ток А фазада нольге тең, В фазада теріс бағыты бар, ал С фазада –оң. Токтың бұл бағыттары 9.3.б-суретінде белгіленеді. Содан кейін орамның пазалық жақтарында көрсетілген ток бағыттарына сәйкес МҚК F_1 векторын статордың үш фазалық орамында анықтайды (вектор тігінен төмен бағытталған). Уақыт мезетінде I ток В фаза орамында нольге тең, А фазасында бағыты оң, С фазасында – бағыты теріс. Алдыңғы 0 уақыт мезетіне ұқсас құрылыстарды жасап, көретініміз, МҚК F_1 векторы 0 уақыт мезетінде өзінің қалпымен сағат тілімен 120° бұрылған. 2 және 3 уақыт мезеттері үшін осындай құрылыстарды жасап, көретініміз векторы F_1 әр рет 120° бұрылады және ауыспалы ток мезетіне толық айналым жасайды (360°).

Егер статор орамындағы ток жиілігі $f = 50$ Гц, онда МҚК векторы жиілігімен 50 айн/с айналады. Жалпы жағдайда вектордың айналу жиілігі МҚК n_1 – айналудың синхронды жиілігі – ток жиілігіне f_1 тура пропорционал және статор орамының р полюстерінің жұп санына кері пропорционал (6.3.-қараңыз).

$$n = f \cdot \frac{60}{p}.$$

Өнеркәсіптік жиілік үшін айналудың синхронды жиіліктерінің мәні $f = 50$ Гц төменде келтірілген.

Полус жұптарының саны р	12	3	4	5	6	
Айналудың синхронды жиілігі n_1 , айн/мин.....	3000	1500	1000	750	600	500

Айналушы МҚК статор ұштамасында айналатын магнитті өрісін тудырады. МҚК айналу бағытын өзгерту қажет жағдайда орамдағы ток жүру тәртібін өзгерту керек. Мәселен, қарастырылған мысалда (9.3.-суретте қараңыз) фазалық орамдарда ілесу тәртібі А-В-С. Мұнда МҚК сағат тілімен айналды. Егер токтардың фазалық орамда ілесу тәртібін өзгертсе(А—С—В), онда үшфазалы орам МҚК сағат тіліне қарсы айналады. Фаза орамдарында токтардың ілесу тәртібін өзгерту үшін екі сымның желіге байланысу орнын өзгерту керек, ол статор орам қысқыштарынан кетеді (10.1 а және б суретті қараңыз). Барлық үш фаза орамдарында ток бағытын өзгерту статордың айналу өрісінің бағытын өзгертпейді.

Үшфазалы орамның МҚК негізгі гармоникасының амплитудасын анықтау үшін біліктері бір-біріне қатысты 120 эл.град ығысқан фазалық орам МҚК негізгі гармоникаларын қосу керек.

$$f_A = \sin w_1 t \cos a = 0,5F_{j1}[\sin(w_1 t - a) + \sin(w_1 t + a)];$$

$$f_B = F_{j1} \sin(w_1 t - 120^\circ) \cos(a - 120^\circ) = 0,5F_{j1}[\sin(w_1 t - a) + \sin(w_1 t + a - 240^\circ)];$$

$$f_C = F_{j1} \sin(w_1 t - 240^\circ) \cos(a - 240^\circ) = 0,5F_{j1}[\sin(w_1 t - a) + \sin(w_1 t + a - 120^\circ)].$$

Яғни үшфазалы орамның МҚК

где

$$F_1 = t,5F_{j1} = 1,35/1 @A\delta_1/p$$

— үшфазалы орам МҚК негізгі гармоникасының амплитудасы. 9..12-орнегін ескеріп аламыз:

$$F_1 = 1,5 \cdot 0,911 \text{цк} \delta_1/p = 1,35/1^{\wedge}1 \text{к} \delta_1/p. \quad (9.15)$$

(9.15) сәйкес үшфазалы орамның МҚК амплитудасы фазаның симметриялы жүктемесі кезінде бір полюсі фаза орамының МҚК 1,5 амплитудасына тең. Статор орамындағы фазаның саны m_1 тең. Онда МҚК амплитудасы m_1 -бір полюстік бөлгіштің фазалық орамы(А)

$$F_1 = 0,5 \tau^{\wedge} \phi_1 = 0,45 m_1 / w_1 k \delta_1/p. \quad (9.16)$$

9.4. Домалақ, эллиптикалық және өтетін магнитті өрістер

Статордың айналатын магнитті өрісі айналма және эллипстік болады. Айналма өріс осы өрістің магнитті индукциясының кеңістікті векторы бірдей айналады және өзінің ұшымен айналасын сызады, яғни индукция векторының мәні кез келген кеңістікті қалыпта өзгеріссіз қалады.

Айналма айналатын өріс статордың көп фазалы орамымен құрылады, егер магнитті индукция векторлары әр фазада бірдей, яғни симметриялы жүйені білдіреді. Үш фазалы орамда осы шартты ұстану фазалық орамдарды бірдей қылуымен қамтамасыз етіледі, ал біліктері кеңістікте бір-біріне қатысты 120° эл.град ығыстырады және желіге симметриялы үшфазалық кернеумен қосады. Айналма айналатын өріс статордың екіфазалы орам арқылы алынады. Бұл үшін фаза орамдарының білігі кеңістікте 90° эл.градқа ығысады және осы орамдарды токпен қанықтырады, олар фаза бойынша бір-біріне қатысты 90° ығысқан. Осы токтардың мәні орам МҚК тең болатындай болу керек.

Егер баяндалған шарттар қадағаланбаса, яғни фаза орамының магнитті индукция векторлары симметриялы жүйені түзбесе, онда статордың айналатын өрісі эллиптикалық болады: осы өрістің В магнитті индукцияның кеңістікті векторы уақыттың түрлі мезеттерінде тұрақты болып қалмайды және алуан түрлі айнала отырып, өзінің ұшымен эллипс салады (9.5.а-суреті). Эллипстік айналатын магнитті өріс кері айналушы құраушыны құрайды, ол негізгі (тура айналатын) құраушыдан аз.

а

б

в

9.5-сурет. Эллиптикалық және өтетін магнитті өрісті екі айналма айналу өрісіне бөлінуі

Осылайша, эллипстік өрістік магниттік индукция векторы кез келген кеңістікті қалыпта туралы және кері магнитті өрістердің магнитті индукция векторларының жиынтығы түрінде ұсынуға болады: $\mathbf{B} = \mathbf{B}_{\text{пр}} + \mathbf{B}_{\text{обр}}$ при $\mathbf{B}_{\text{пр}} > \mathbf{B}_{\text{обр}}$.

Түсіндіру үшін 9.5.б-суретке жүгінеміз, онда айналушы эллипстік өріс векторы төрт уақыт мезетінде көрсетілген, осы өрістің индукция векторымен сипатталатын қисығында точкам a, b, c, d нүктелеріне сәйкес келеді (өріс айналымының төрттен бір бөлігі). Нәтижеленуші өрістің индукция векторының үлкен мәні B_{max} (a нүктесі).

Тура $\mathbf{B}_{\text{пр}}$ және кері $\mathbf{B}_{\text{обр}}$ векторларының кеңістігінде сәйкестену кезінде нәтижеленуші өрістің индукциясы векторының үлкен мәні (1 және 1' қалпы). Индукция векторының ең кіші мәні B_{min} (d нүктесі) векторлардың $\mathbf{B}_{\text{пр}}$ және $\mathbf{B}_{\text{обр}}$ қарсы бағытына сәйкес келеді 4 және 4') қалыптары, нәтижеленуші вектор $\mathbf{B}_{\text{min}} = \mathbf{B}_{\text{пр}} + \mathbf{B}_{\text{обр}}$. b және c нүктелерінде индукция векторының $\mathbf{B}_{\text{пр}}$ мәндері 2 және 3 векторларының қалпына сәйкес келеді және $\mathbf{B}_{\text{обр}}$ векторының 2' және 3' қалыптарына сәйкес келеді.

Кері магнитті өріс ауыспалы ток машинасына қолайсыз әсер етеді. Мысалы, қозғалтқышта ол қарсы әрекет етуші (тежегіш) электромагнитті мезетін тудырады және қолданушылық қасиеттерін нашарлатады.

Үшфазалы машинада магнитті өріс эллипстік болады, егер статор орамын симметриялы емес үшфазалы кернеу желісіне қосса, немесе статор фазаларының орамдары симметриялы емес болса (кедергілері әр түрлі немесе иірімдер саны әр түрлі). Өрісі сондай-ақ эллипстік болады, статор орамдарының фазалық байланысы дұрыс болмаған кезде – фазалық орамдардың бірінің басы мен соңы «ұйысқан». Бұл жағдайда $B_{\text{max}} = 3B/2$ және $B_{\text{min}} = B/2$, мұнда B – фазаларды дұрыс біріктірген кезде осы орамның айналатын өрісінің айналмамагнитті индукция векторы (9.5.а-суреті).

Егер магнитті өрістің турасы мен керісі тең болса, онда нәтижеленуші өріс өтетін болады. Осы өрістің индукция векторы кеңістікте қозғалыссыз (9.2.в-суреті), және $+B_{\text{max}}$ до $-B_{\text{max}}$ уақытта өзгере алады, ($\mathbf{B}_{\text{пр}}$ және $\mathbf{B}_{\text{обр}}$ векторлар бағыты бойынша сәйкестенеді), нольдік мәнінен өтеді ($\mathbf{B}_{\text{пр}}$ және $\mathbf{B}_{\text{обр}}$ векторлары қарсы бағытталған). Өтетін магнитті өріс ауыспалы ток желісіне қосатын бірфазалы орамын құрады (16.1-қараңыз).

9.5. Үш фазалы орамның магнитті қозғаушы күшінің жоғары кеңістікті гармоникалар

Жоғары кеңістікті гармоника МҚК полюстік бөлгіші гармоника нөміріне кері пропорционал: $t_n = t/v$. Сондықтан осы гармоникалардың кеңістікті мерзімділігі гармоника нөміріне пропорционал өседі (9.1-сурет).

Баяндалғанды ескере отырып, фазалық орам үшінші гармоника МҚК тендеуін жазамыз:

$$I_{3L} = F_u \sin \omega t \cos 3\alpha ;$$

$$f_{3B} = F_{3B} \sin(\omega_x t - 120^\circ) \cos 3(\alpha - 120^\circ) = F_{3A} \sin(\omega_x t - 120^\circ) \cos 3\alpha ;$$

$$f_{3C} = F_{3C} \sin(\omega_t t - 240^\circ) \cos 3(\alpha - 240^\circ) = F_{3A} \sin(\omega_x t - 240^\circ) \cos 3\alpha ,$$

бұдан үшфазалы орам үшінші гармоникасының МҚК

$$f_3 = f_{3A} + f_{3B} + f_{3C} = 0, \quad (9-17)$$

яғни статордың үшфазалық орамындағы үшінші гармоника нәтижеленуші МҚК симметриялық жүктемеде фаза нольге тең. Бұл үш еселенетін жоғары гармоникаға да таралады (9,15 және т.б). Қалған нөмірлердің жоғары гармоника МҚК (5,7 және т.б.) пазаларды орамның үлестірілуімен, шарғы қадамын қысқартумен және пазаларды алып тастаумен әлсірейді.

Көп фазалы статор орамы көп фазалы жоғары гармоникаларының МҚК – айналмалы. Мұнда олардың айналу жиілігі ω v есе негізгі гармоника МҚК айналу жиілігінен аз:

$$n_v = n_1/v. \quad (9.18)$$

осы МҚК айналу бағыты гармоника нөміріне тәуелді: гармоника ретінің МҚК $6x + 1$ айналатын негізгі гармоника МҚК сәйкес тура айналатын МҚК деп аталады, ал $6x - 1$ тәртібінің МҚК негізгі гармоникаға қарсы айналады және кері айналатын МҚК деп аталады

(мұнда $x = 1, 2, 3, \dots$).

Жоғары гармоника құраушылары МҚК құрылған айналатын магнитті өрістер негізгі жиілікті f_1 ЭҚК статор орамында индукцияланады. Анығында, кез келген кеңістікті гармониканың магнитті өрісімен келтірілген ЭҚК жиілігі

$$f_v = n_v P_v / 60 = n_1 p_v / (v \cdot 60) = f_b \quad (9.19)$$

мұнда $P_v = p_v$; $n_v = \wedge/v$.

Бақылау сұрақтары

1. Статор орамының МҚК гармоникалық құраушыларын неге кеңістікті деп атайды?
2. Ауыспалы ток машиналарында жоғары кеңістікті гармониканы басудың қандай әдістері пайдаланылады?
3. Статор орамының МҚК айналу жиілігі ток жиілігі мен статор орамындағы полюстер санына тәуелділігі қандай?
4. Статор орамының МҚК айналу бағытын қалай өзгертуге болады?
5. Статордың кері құраушы өрісінің магнитті индукциясының мәні домалақ, эллиптік немесе пульстеуші магнитті өрістерде қандай?

АСИНХРОНДЫ МАШИНАЛАР

Асинхронды машиналар заманауи электрлі қондырғыларда кең қолданысты тапқан және ауыспалы ток коллекторсыз электрлі машиналардың кең таралған түрі болып табылады. Кез келген электрлі машина секілді асинхронды машиналар қайтымды және генераторлы және қозғалтқышты режимдерде жұмыс жасай алады. Алайда басым қолдануды заманауи электр жетектің негізін құрайтын асинхронды қозғалтқыштар алды.

Асинхронды қозғалтқыштардың қолданылу аясы кең: тұрмыстық электр құралдарынан бастап ірі станок пен агрегаттарға дейін – металл кесетін станоктар, тау жабдықтары (эксковаторлар, үккіштер, диірмен), көтергіш құралдар, көлік құралдары және т.с.с. Осыған сәйкес электр машина құрылысы өнеркәсібімен шығарылатын асинхронды қозғалтқыштардың бірлік қуаты ватт үлесі мен мыңдаған киловатқа дейін ауқымды қамтиды.

Ең үлкен қолданыста жалпы өнеркәсіптік арналымдағы үшфазалық асинхронды қозғалтқыштар бар олар өнеркәсіптік жиіліктегі желі жұмысына арналған (50 Гц). Заманауи электр жетекте асинхронды қозғалтқыштардың кең қолданысына қозғалтқыштардың реттеу қасиетін кеңейту мүмкіндігін беретін бірқатар электронды құрылғыларды әзірлеуге септігін тигізеді. Осы қозғалтқыштарды зерттеуге осы бөлім арналған. Жұмыстың физикалық негіздері, негізгі тәуелділіктер, сипаттамалары, үшфазалы асинхронды қозғалтқыштарды реттеу әдістері қарастырылған. Жеке бөлім отандық машина құрылысымен дайындалатын, жалпыөнеркәсіптік арналымдағы кейбір негізгі топтамаларының асинхронды қозғалтқыштың қасиеттері мен құрылымдық орындалуын қарастыруға арналған.

Асинхронды қозғалтқыштар өзге әрекет типіндегі қозғалтқыштармен салыстырғанда ең сенімді ғана емес, сонымен қатар арзан екендігін есте ұстау керек. Сондықтан асинхронды қозғалтқыштарды пайдалану электр жетегінің сенімділігін арттырып, оның құрылуына капиталды шығындарды төмендетеді.

Сонымен қатар арнайы арналымдағы асинхронды машиналар қарастырылған: автоматты құрылғылардың асинхронды машиналар, желілік қозғалтқыштар, индукциялық реттеуіштер, фазореттеуіштер және тағы басқалары.

10 - БӨЛІМ

АСИНХРОНДЫ МАШИНАЛАРДЫҢ ЖҰМЫС РЕЖИМІ МЕН ҚҰРЫЛЫСЫ

10.1. Асинхронды машинаның қозғалтқышты және генераторлы режимі

Қозғалтқышты режим. Асинхронды қозғалтқыштың әрекет ету ұстанымына (6.2-қараңыз) сәйкес, асинхронды қозғалтқыш жұмысының міндетті шарты онда n_1 жиілігімен айналатын магнитті өрістің болуы (айналудың синхронды жиілігі). Бұл өріс статордың үш фазалы орамын ауыспалы токтың үшфазалы желісіне қосқан кезде құрылады. Айналатын магнитті өрістің келтіру процесі асинхронды машинаны қоздыру деп атайды. Қоздыру ауыспалы токтың реактивті (индуктивті) құраушысымен құрылады, ол желіден статор орамына келіп түседі. Яғни асинхронды машинаның қозуына реактивті қуат керек

$$Q_1 = S_1 \sin j_1 = m_1 U_1 I_1 \sin j_1,$$

мұнда $S_1 = U_1 I_1$ — асинхронды машинаға желіден келетін толық қуат; j_1 — статор орамына келіп түсетін кернеу U мен токтың I_1 арасындағы фазалық ығысу бұрышы.

Желіден асинхронды қозғалтқыштан түсетін толық қуаттың өзге бөлігі белсенді қуат болы табылады (P_1),

$$P_1 = S_1 \cos j_1 = m_1 U_1 I_1 \cos j_1.$$

Шығындарды ескермей, асинхронды қозғалтқыштағы белсенді қуат $P_2 \sim P_{\text{мех}}$ механикалық қуатқа түзіледі. Қозғалтқыш білігін ЖМ жұмыс машинасының білігімен байланыстыратын байланыстыру муфтасы арқылы қозғалтқыш білігінің айналудың механикалық қуаты жұмыс машинасына беріледі, нақты айтқанда технологиялық процесті жүзеге асыратын атқарушы органына (метал кесетін станокта айналып өнделетін бөлшегі немесе барабан, оған көтергіш құралдың тартқыш тросы байланады, сүмбіге).

Асинхронды машинаның негізгі режимі болып табылатын қозғалтқыш режимі 10.1а-суретте көрнекілендірілген.

Асинхронды машинаның маңызды өлшемі сырғу болып табылады, - статор щ мен щ ротордың айналу жиілігінің әр түрлілігін сипаттайтын көлемі

$$s = (\omega - \omega_2) / \omega_1. \quad (10-1)$$



Қозғалтқыш
режимі

Генераторлық режим
—слю < s < 0

а

б

10.1-сурет. Қозғалтқыш және генератор режиміндегі асинхронды

Сырғу бірлік үлесінде немесе % білдіріледі. Соңғы жағдайда (10.1) бойынша алынғанды 100 көбейту керек. Қозғалтқыш білігінің айналуға қарсы әрекет ететін статикалық мезетін M_c арттырумен ротордың n_2 айналу жиілігі азаяды. Яғни асинхронды қозғалтқыштың сырғуы қозғалтқыш білігіне механикалық жүктемесіне байланысты және $0 < s < 1$ ауқымда өзгере алады. Асинхронды қозғалтқышты желіге қосқан кезде ротордың уақыт мезетінде инерция күшінің әсерімен қозғалмайды ($n_2 = 0$). Мұнда сырғанау s бірге тең. Жүктемесіз қозғалтқыш жұмыс режимінде білікте (бос жүріс режимі) ротор жиілігімен n_2 айналады, синхронды айналу жиілігінен біраз ғана аз және сырғанаумен нольден ерекше болады (s және 0). Қозғалтқыштың номиналды жүктемесіне сәйкес келетін сырғанау $s_{\text{ном}}$ номиналды сырғанау деп аталады. Жалпы арналымдағы асинхронды қозғалтқыштар үшін $s_{\text{ном}} = 1 \text{ — } 8 \%$, мұнда номиналды сырғанаудың кіші мәндері үлкен қуаттағы қозғалтқыш қуатына сәйкес келеді. 10.1 өрнегін түрлендіріп, қозғалтқыш роторының асинхронды айналу жиілігін анықтаудың формуласын аламыз (айн/мин):

$$n_2 = n_1(1 - s). \quad (10.2)$$

10.1-мысал. Үшфазалы асинхронды қозғалтқыш полюстер саны $2p = 4$ $f = 50$ Гц ток жиілігі желіде жұмыс жасайды. Қозғалтқыштың айналу жиілігін номиналды жүктемеде анықтау егер сырғанау мұнда 6% құрайтын болса.

Шешуі. 1. (6.3) бойынша айналудың синхронды жиілігі $n_1 = f \cdot 60 / p = 50 \cdot 60 / 2 = 1500$ айн/мин.

2. (10.2) бойынша қозғалтқыш білігінің номиналды айналу жиілігі $n_{\text{ном}} = n_1(1 - s) = 1500(1 - 0,06) = 1412$ айн/мин.

Генераторлық режим. Электрлі машиналардың қайтымдылық ұстанымына сәйкес (В2-қараңыз), асинхронды машиналар қозғалтқышты ғана емес, генераторлық режимде де жұмыс жасайды. Осы үшін асинхронды машинаны қоздыру керек, оның статор орамын үшфазалы желіге қосу және жетекті қозғалтқыш арқылы (турбина, ішкі жану қозғалтқышы) осы өрістің $n_2 > n_1$ айналу жиілігін арттыратын жиілігі бар статордың магнитті өрісінің айналу бағытында машина роторын айналуға келтіреді. Бұл жағдайда ротордың қозғалыс сипаты статор өрісіне қатысты (қозғалтқышты жұмыс режимімен салыстырғанда) себебі ротор статор ($n_2 > n_1$) өрісінен озады және сырғанау теріс болады, яғни

$$s = (-\omega + n_x)/n_x.$$

Жиілігімен айналатын $n_2 > n_1$ ротор орамындағы статор өрісінде айналып келтірілетін ЭҚК өз бағытын өзгертіп, желідегі кернеуін өзгертеді. Мұнда асинхронды машина электр қуатын тұтынушыдан көзіне айналады және желіге белсенді қуатын P_2 береді, ол жетекті қозғалтқыштың механикалық қуаты болып табылады. Басқа сөзбен айтқанда асинхронды машина генераторлық режимде жұмыс жасайды. Электромагнитті мезет M роторда өз бағытын өзгертеді, яғни статордың айналатын магнитті өріске қарсы бағытталған және жетекті қозғалтқыш M_x айналу мезетіне қатысты тежеуші болады (10.16-суреті). Бұл жағдайда жетекті қозғалтқыштың P_x механикалық қуаты өзінің негізгі бөлігінде ауыспалы токтың P_2 және P_x белсенді электрлі қуатына түзіледі. Асинхронды генератордың жұмыс ерекшеліктері ондағы айналатын магнитті өріс үш фазалы желінің реактивті қуатымен Q құрылады, оған генератор қосылады және өндірілетін белсенді қуатты P_2 береді. Яғни ауыспалы токтың көзі болып табылатын асинхронды генератордың жұмысы үшін ауыспалы ток көзі керек, оған қосылған кезде генератордың қозуы болады, яғни онда айналатын магнитті өріс келтіріледі. Қоздырылмаған генераторда механикалық энергияны электрліге ауыстыру процесі мүмкін емес.

Асинхронды машинаның генераторлық режимдегі сырғуы — те $s < 0$ ауқымда өзгере алады, яғни ол кез келген теріс мәндерді қабылдай алады. Тәжірибеде асинхронды машинаның генераторлық режимі желіге электр қуатын берумен асинхронды қозғалтқышты генераторлық рекуперативті тежеуде қолданыс тапты. Осылайша, асинхронды машинаның негізгі режимі болп қозғалтқышты режим табылады. Осы себептен асинхронды машиналардың теориясын қозғалтқышты режимге қатысты қарастыруға болады. Ауыспалы ток генераторларына қатысты онда ең үлкен таралымды синхронды генераторлар алды (20-бөлімді қараңыз).

10.2. Асинхронды қозғалтқыштардың құрылысы

6.2. айтылып өткендей, асинхронды қозғалтқыш екі негізгі бөліктен тұрады: қозғалмайтын статор мен айналушы ротор, әуе саңылауымен бөлінген. Осы бөліктердің әрқайсысының өзегі мен орамы бар. Мұнда статор орамы желіге қосылады және бірінші болып табылады, ал ротор орамы – екінші, себебі оған энергия статор орамынан осы орамдар арасындағы магнитті байланыс есебінен түседі.

Өзінің құрылысы бойынша асинхронды қозғалтқыштар екі түрге бөлінеді: ротордың қысқа тұйықталған орамы бар қозғалтқыш және ротордың фазалық орамы бар қозғалтқыштар. Қсқа тұйықталған роторы бар үш фазалы асинхронды қозғалтқыш құрылысын қарастырамыз (10.2-сурет). Бұл түрдегі қозғалтқыштар ең үлкен қолданыс тапқан.

Қозғалтқыштың қозғалмайтын бөлігі – статор шанақтан 7 және үш фазалы орамы бар 6 өзектен тұрады (8-тарауды қараңыз). Қозғалтқыш шанағы алюминий балқытпасы мен шойыннан немесе балқытпалы етіп жасайды. Қарастырылып отырған қозғалтқыштың жабық үрленетін орындалуы бар. Сондықтан оның корпусының бетінде бірқатар бойлық қабырғалар бар, олар қозғалтқышты салқындату бетін азайтады.

Шанақта 6 статор өзегі орнатылған. Иірім токтарын әлсірету мақсатында өзектің әдетте қалыңдығы 0,5 мм болатын жұқа табақты электротехникалық болаттан дестелеп жасайды. Статор өзегінің пластиналары оқшаулау лак қабатымен жабылған, пакетке салынып, арнайы қысқыштармен дестеленіп жасалады. Өзектің мұндай құрылысы айналатын магнитті өрісімен магниттендіру процесінде туындайтын иірімді токтардың елеулі азаюына септігін тигізеді.

Статор өзегінің ішкі бетінде бойлық пазалар бар, онда статор орамының пазалық бөліктері орналасады (8.1.суретті қараңыз), алдыңғы бөліктерімен белгілі тәртіпте байланысқан, тыс жақтарымен өзектің шегінен тыс орналасады.

Статордың ұштамасында қозғалтқыштың айналатын бөлігі – ротор орналасқан, ол біліктен 2 және қысқа тұйықталу орамы бар өзек 5 орналасқан. Мұндай орам «тиін дөңгелегі» деп аталады, екі жағынан қысқа тұйықталу сақиналарымен бекітілген ротор өзегінің пазаларында орналасқан бірқатар металл (алюминий немесе мыс) өзектерді білдіреді (10.3а-сурет). Ротор өзегі сонымен қатар дестеленген құрылымы бар, бірақ ротор табактары оқшаулау лағымен жабылмаған, бірақ бетінде оксидтің жұқа үлдірі бар.



10.2-сурет. Қысқа тұйықталған роторы бар үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың құрылысы:

1, 10 — мойынтіректер; 2 — білік; 3,8 — мойынтірек қалқандары; ; 4 — шығару қорабы; 5 — қысқа тұйықталған орамы бар ротор өзегі; 6 — статордың орамы бар өзегі.

Бұл иірімді токтарды шектейтін жеткілікті оқшаулау болып табылады, себебі олардың көлемі ротор өзегінің магниттендіру жиілігінен үлкен емес (12.1-сурет). Мысалы, 50 Гц жиілігінде және номиналды сырғу 6 % ротор өзегінің магниттендіру жиілігі 3 Гц құрайды. Ротордың қысқаша тұйықталған орам көпшілік қозғалтқыштарда балқытылған алюминий қорытпасынан ротор өзегінің жиналған құймасымен орындалады. Мұнда орам өзектерімен бірге қысқаша тұйықталу сақиналары құйылады және желдету қалақшалары бар (10.36-сурет). Ротор білігі 3 және 8 мойынтірек қалқандарында орналасқан 1 және 10 тербелу мойынтіректерінде айналады. (10.2-суретті қараңыз).

*a**б*

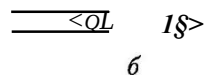
10.3-сурет. Қысқаша тұйықталған ротор:

a — «тиін торы» орамы; *б* — қысыммен құйылу әдісімен орындалған орам роторы; 1 — білік; 2 — қысқа тұйықталушы сақина; 3 — желдету қалақшалары.

Қозғалтқышты салқындату шанақтың сыртқы бетін үрлеу әдісімен жүзеге асырылады. Ауа ағыны орталық желдеткішімен 9, жабылған қаптамамен 11 орындалған. Осы қаптаманың сырт жағында ауа жиналатын тесіктер бар. Қуаты 15 кВт және одан артық қуаттағы қозғалтқыштар жабықтан бөлек, ішкі өздігінен желдетуі бар қорғалған орындауда жасайды. Мойынтіректі қалқандарда осы қозғалтқыштардың тесіктері (жалюзи) бар, олар арқылы желдеткіш көмегімен қозғалтқыштың ішкі қуысы арқылы үрленеді. Мұнда ауа қозғалтқыштың жылыған бөліктерін (орам, өзек) жуады. Бұл жағдайда салқындату анағұрлым тиімді, қозғалтқыш шанағын сыртқы үрлеуге қарағанда.

Фаза орамдарының ұштары шығару қорабы қысқыштарына 4 шығарады. Әдетте асинхронды қозғалтқыштар екі түрлі кернеуге үш фазалық желіге қосылуға арналған, олар -ч/Э есе ерекшеленеді.

Мысалы, қозғалтқыш 380/660 В кернеуге желіге қосылу үшін есептелді. Егер желіде 660 В желілік кернеу болса, онда статор орамын жұлдызға біріктіру керек, ал егер 380 В-үшбұрышпен біріктіру керек. Екі жағдайда әр фаза орамындағы кернеу 380 В болады.

*б*

10.4-сурет. Статор орамының шығысының орналасуы (а) және статор орамының жұлдызға және үшбұрышқа бірігу кезінде қосқыштың орналасуы (б)

10.5-сурет. Қысқа тұйықталған (а) және фазалық (б) роторлармен үшфазалы асинхронды қозғалтқыштың қосылуының принципіалды сызбасы

Фаза орамдарының түрлері шығару қорабының панелінде келесідей орналасады, фаз орамдарының байланысы соңғыларды қиылыстырусыз қосқыштар арқылы орындауға ыңғайлы болу керек (10.4-сурет). Қуаты аз кейбір қозғалтқыштарда шығару қорабы панелінде үш шығысы ғана бар. Бұл жағдайда қозғалтқыш бір кернеуге желіге қосыла алады (осындай қозғалтқыш статорының орамын жұлдызша немесе үшбұрышпен біріктіру қозғалтқыш ішінде орындалған).

Қозғалтқышты монтаждау оны орнату жерінде 12 бұтақ немесе (10.2-суретті қараңыз) немесе фланец арқылы орындалады. Соңғы жағдайда мойынтірек қалқаншасында (біліктің шығатын ұшынан) жұмыс машинасына қозғалтқышты бекіту үшін тесіктері бар фланец жасайды. Қызмет көрсетуші жұмыскерлердің элект тогымен жарақаттану мүмкіндігінен сақтандыру үшін қозғалтқыштар жерсіндіру бұрандаларымен жабдықталады (екеуден кем емес).

Қысқаша тұйықталу роторы бар асинхронды қозғалтқыштың үшфазалы желісіне қосылудың принципіальді сызбасы 10.5а-суретте көрсетілген.

Үшфазалы асинхронды қозғалтқыштардың өзге алуан түрлілігі – фазалық роторы бар қозғалтқыштар – ротор құрылысымен қарастырылған қозғалтқыштан құрылымдық ерекшеленеді (10.6-сурет). Осы қозғалтқыштың статоры шанақтан 3, үшфазалы орамы бар өзекден 4 тұрады. Оның 1 және 7 томалау мойынтіректері бар 2 және 6 мойынтірегі бар. Шанақтың төменгі жағында 3 бұтақ 10 пен шығару қорабы 9 бар. Алайда роторды құрылысы күрделі. 8 білікте үшфазалы орамы бар дестеленген өзек 5 бар, ол статор орамына ұқсас орындалған. Бұл орамды жұлдызға біріктіреді, ал ұштарын үш түйіспелі сақиналарына 11 қосады, олар білікті орналасқан және бір-бірінен және басқа біліктен оқшауланған.



10.6-сурет. Фазалық роторы бар үшфазалы асинхронды қозғалтқыштың құрылысы:

1, 7 - мойынтіректер; 2, 6 – мойынтірек қалқаншалары; 3 - шаңақ; 4 – орамы бар статор өзегі; 5 – ротор өзегі; 8 - білік; 9 – шығару қорабы; 10 - бұтақтар; 11 – түйіспелі сақиналары.

Айналатын ротордың электрлі контактісін жүзеге асыру үшін әр түйіспелі сақинада 1 (10.7-сурет) 2 екі қылшақ салады, ол қылшақ ұстағышта орналасқан 3. Әр қылшақ ұстағыш серіппемен жабдықталған,

Ол қылшақтарды Түйіспелі сақинаға қысылуын қамтамасыз етеді. Фазалық роторы бар асинхронды қозғалтқыштар күрделі құрылымға ие және сенімділігі аз, бірақ үздік реттеуіш және іске қасиеттерімен қысқа тұйқыталу роторына қарағанда жақсы жабдықталған (15-бөлімді қараңыз).

Фазалық роторы бар үшфазалы желіге асинхронды қозғалтқышқа қосылудың принципалды сызбасы 10.5.6-суретте көрсетілген. Осы қозғалтқыш роторының орамы



іске қосу реостатымен IP байланысқан, ротор тізбегінде қосымша кернеу $U_{доб}$ тудырады.

10.7-сурет. Қылшақұстағыш

Асинхронды қозғалтқыштың шанағында металл тақтайша бекітілген, онда қозғалтқыш түрі, дайындаушы-зауыты, шыққан жылы мен бастапқы мәліметтері көрсетіледі (пайдалы қуаты, кернеу, ток, қуат коэффициенті, айналу жиілігі мен ПӘК).

Бақылау сұрақтары

1. Асинхронды машинаның сырғуы дегеніміз не?
2. Асинхронды машинаның сырғу өзгерістерінің ауқымы оның түрлі жұмыс режимдерінде қандай?
3. Асинхронды генератор статорының орамын үшфазалы ток желісіне қандай мақсатта қосады?
4. Асинхронды қозғалтқышты электромагнитті тежеу режиміне қалай ауыстыруға болады?
5. Қысқа тұйықталған және фазалық ротор құрылымын түсіндіріңіз.
6. Үшфазалы асинхронды қозғалтқыш 220/380 В желі кернеуінде жұмыс жасауға арналған. Осы қозғалтқыштың статор орамын 220/380 В желі кернеуінде қалай байланыстыру керек?

11 тарау бөлім

АСИНХРОНДЫ МАШИНАНЫҢ МАГНИТТІ ТІЗБЕГІ

11.1. Негізгі ұғымдар

Статор орамының магнитті қозғаушы күші магнитті ағын тудырады, ол машинаның магнитті жүйесінің элементтері арқылы тұйықталады. Асинхронды машинаның магнитті жүйесі күңгірт полюсті деп атайды (11.1-сурет), себебі оның айқын білінген магнитті өрістері жоқ (20.1-суретпен салыстырыңыз). Магнитті жүйеде күңгірт полюстердің магнитті полюстерінің саны магнитті өрісті тудыратын орамда полюстер санымен анықталады, бұл жағдайда статор орамындағы санымен. Статор өзегі мен ротордан тұратын машинаның магнитті жүйесі тармақталған симметриялы магнитті тізбекті құрады. Мысалы, төрт полюсті машинаның магнитті жүйесі төрт бірдей тармақтан тұрады, онда бір полюстің магнитті ағынның жартысы тұйықталады (11.1-сурет). Екі полюсті машинада осындай тармақ екеу, алты полюстіде – алты және т.б. осындай тармақтардың әрқайсысы тармақталмаған магнитті тізбекті құрайды ол есептеу мәні болып табылады. 11.2-суретте күңгірт полюсті машинаның магнитті тізбегі берілген. Мұнда магнитті тізбектің бөліктері көрсетілген: әуе саңылауы e , тісті статор h_{z1} , ротордың тісті орамы h_{z2} , ротор арқасы L_{c2} , статор арқасы L_{c1} .



11.1-сурет. Төрт полюсті асинхронды машинаның магнитті өрісі

11.2-сурет. Төрт полюсті асинхронды машинаның магнитті тізбегі

Магнитті тізбекте тұйықтала отырып, магнитті ағын әуе саңылауынан өтеді және статор мен ротордың тісті қабаттарынан екі рет өтеді.

Аталған учаскелердің әрқайсысы магнитті ағынға кейбір магнитті кедергі танытады. Сондықтан магнитті тізбектің әр учаскесінде статор орамының жарты МҚК шығындалады, ол магнитті кернеу деп аталады:

$$SF = 2F_6 + 2F_i + 2F_2 + F_c + F_{c2}, \quad (11.1)$$

мұнда SF — бос жүріс режимінде полюстер жұбына статор орамының МҚК, F_6 , F_{z1} , F_{z2} , F_{c1} және F_{c2} — магнитті кернеу әуе саңылауы, статор мен ротордың тісті қабатына, статор мен ротор арқасына A сәйкес.

Осылайша, статор орамының МҚК полюстер жұбына есептеу магнитті тізбектің барлық учаскесіндегі магнитті кернеуді есептеуге саяды.

Магнитті тізбекті есептеу нәтижесінде алынған МҚК мәні полюстер жұбына SF статор орамының магниттеуші тогын анықтау мүмкіндігін береді (негізгі гармоника):

$$_{>}^{\circ} \mathbf{m} \cdot \mathbf{I}_0^k \mathbf{i}$$

Болат маркасы	Кремний қамтылуы, %	Қолданылу аясы
2013	0,4	Қозғалтқыш қуаты 60 — 90 кВт, кернеу 660 В дейін
2312	1,8 - 2,8	Қозғалтқыш қуаты 100—400 кВт, кернеу 660 В дейін
2411	2,8 - 3,8	Қозғалтқыш қуаты 400 кВт артық, кернеу 6 немесе 10 кВ

Асинхронды қозғалтқыштың магнитті тізбегін есептеу кезінде бастапқы өлшеміболып B_p әуе саңылауындағы максималды магнитті индукция саналады.

B_d көлемін ұсынылатын мәндерге сәйкес қабылдайды, статор өзегінің сыртқы диаметрі $D_{нар}$ мен полюстер 2 р санына тәуелді. Мысалы, $D_{нар} = 300 — 800$ мм кезінде ұсынылатын мәндер $B_d = 0,80 — 1,1$ Тл. Мұнда үлкен 2р қозғалтқыштары үлкен мәндерін B_d қабылдайды.

Магнитті индукция B_d қозғалтқыштың магнитті жүктемесін анықтайды: мәні B_d тым аз болған кезде қозғалтқыштың магнитті жүйесінің жүктемесі жеткіліксіз болады, сондықтан қозғалтқыштың габаритт өлшемдері үлкен болады; егер B_d үлкен мәнін берсе, онда магнитті жүйе учаскелерінде магнитті кернеу лезде өседі, әсіресе, статор мен ротордың тісті қабаттарында, нәтижесінде статордың магниттеуші тогы I_{lm} өседі және қозғалтқыш ПӘК төмендейді (13.1-қараңыз).

Асинхронды қозғалтқыштардың ротор мен статор өзеклерін дайындау үшін бірдей магнитті өткізгіштігіне не кремнийді қамтумен суық илемделген изотропты табақты электротехникалық болатты қолданады (11.1-кесте).

11.2. Асинхронды қозғалтқыштың магнитті тізбегінің есебі

Электрлі машинаның магнитті тізбегін есептеу, негізінен, барлық учаскелеріндегі магнитті кернеуді анықтауда. Магнитті тізбектің кез келген бөлігінің F_x магнитті кернеуі осы учаскеде өріс кернеуін H оның l_x ұзындығына көбейтуге тең:

$$F_x = H_x l_x, \quad (O)$$

Магнитті тізбек учаскелері конфигурация, көлемі және материалдармен ажыратылады. Әуе саңылауындағы е магнитті өріс кернеуі $H = Bd/m_0$, мұнда $m_0 = 4\pi/10^{-7}$ Гн/м.

Саңылаудың есептік ұзындығы $4 = \delta_{\text{к}}$, мұнда $\kappa_{\text{с}}$ асинхронды қозғалтқышта ($\kappa_{\text{с}} > 1$) әуе саңылауын шектейтін ротор мен статор өзеклерінің беттерінің тісті болуымен тудырылған саңылаудың магнитті кедергісін арттыруды ескереді Осыны ескере отырып, әуе саңылауының магнитті кернеу өрнегін аламыз (А):

$$F_d = 0,8B_g6k_10^3, \quad (01)$$

мұнда δ —біржақты әуе саңылауының мәні, мм.

Асинхронды қозғалтқыштың магнитті тізбегінде есептік бөлігіне енетін екі әуе саңылауының қалыпты магнитті кернеу (11.2-суретті қараңыз) SF полюстер жұбына жиынтық МҚК 70 — 85% құрайды. осыған сәйкес е әуе саңылауының қозғалтқыш қасиетіне елеулі әсерін білуге болады. МҚК артуымен EF елеулі өседі, ол статордың магниттеуші тогының I_m артуына келтіреді, (11.2-суретті қараңыз), яғни қозғалтқыштың шығынының артуына және ПӘК төмендеуіне әкеледі. Және керісінше, е кішірейіп, SF азайғанда, ол ПӘК артуына әкеледі, яғни қолдануда үнемді болады. Алайда е саңылауы кішкентай болған кезде қозғалтқыштың дайындауы қиындайды (оның технологиялығы азаяды), себебі қозғалтқыш бөлшектерін өңдеу және жинау кезінде нақтылық керек. Мұнда қозғалтқыш сенімділігі төмендейді. Е саңылаулары кіші болған кезде саңылаудың біркелкі болмауы мүмкіндігі туындайды, және нәтижесінде қозғалтқыштың роторы мен статорына жанау мүмкіндігі артады.

Е әуе саңылауынан басқа қозғалтқыштың магнитті тізбегінің қалған учаскелері болаттан жасалған (статордың h_{z1} және ротордың h_{z2} тісті қабаттары, статор L_{c1} мен ротордың L_{c2} аркалары). Осы учаскелер үшін магнитті кернеудің тікелей есебі қиындатылған, себебі болаттың магнитті қанығу жағдайынан магнитті өріс H_x пен магнитті индукцияның B_x кернеуі арасында тура пропорционалдық бұзылады. Осы себеппен кернеуді H_x анықтау үшін магнитті индукцияның B_x алынған мәні бойыша электротехникалық болаттың осы маркасы үшін магниттеу $H = f(B)$ кестелерін пайдалану керек.

Асинхронды қозғалтқыштарды магнитті жүйесі қаныққан болатындай жобаланады. 11.3-суретте асинхронды қозғалтқыштың магнитті сипаттамасы $\Phi^* = f(EF^*)$ берілген, ол магнитті ағынына қатысты негізгі магнитті ағының $\Phi^* = \Phi/\Phi_{\text{ном}}$ МҚК $EF^* = EF/EF^{\wedge}$ мәніне қатысты тәуелділігін білдіреді. Мұнда $\Phi_{\text{ном}}$ және $EF_{\text{ном}}$

- Негізгі магнитті ағынының номиналды мәндері және магнитті индукцияның B_d берілген мәніне сәйкес бос жүріс режиміндегі статор орамының МҚК.

0 0,25 0,5 0,75 1,0 ΣF_* Басты бөлігінде магнитті сипаттама турашыл, ал содан кейін жүйеде магнитті қанығу туындайды, ол қисық сызықты болады.

Машинаның магнитті тізбегінің қанығу дәрежесі магнитті қанығу коэффициентімен сипатталады, ол келесідей магнитті сипаттама бойынша анықталады. Координата басынан түзу жүргіземіз – магнитті сипаттамаға қатысты – с нүктесінде ba кесіндісімен қиылысқанға дейін. (11.3-сурет).

11.3-сурет. Асинхронды машинаның магнитті сипаттамасы

Магнитті қанығу коэффициенті толық МҚК ($SF^* = 1$) білдіретін ba кесіндісінің екі еселенген әуе саңылауының магнитті кернеуін білдіретін bc кесіндісіне қатынасымен анықталады ($2 Fd^* = 2 \wedge / E^{\wedge nom}$):

$$km = ba/bc = 1/(2Fd^*). \quad (II)$$

әдетте асинхронды машиналар үшін $k_m = 1,2 \text{ — } 1,5$.

11.1-мысал. Үшфазалы асинхронды қозғалтқыштың магнитті тізбегінің әуе саңылауы $d = 0,5$ мм, магнитті индукцияның максималды мәні $B_d = 0,9$ Тл. Статор орамы төрт полюсті, бір фазада ретімен байланысқан иірімдер саны $w = 130$, орама коэффициенті $k_{об1} = 0,91$. Егер әуе саңылауының коэффициенті $k_d = 1,38$ болса, ал магнитті қанығу коэффициенті $km = 1,4$ болса статор орамының I_{1m} магниттеуші тогының көлемін анықтаймыз.

Шешуі. (11.4) бойынша әуе саңылауының магнитті кернеуі

$$F_d = 0,8 B_d d k_d \cdot 10^3 = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,5 \cdot 1,38 \cdot 10^3 = 497 \text{ A.}$$

Себебі магнитті қанығу коэффициенті $km = SF^{\wedge} / F^{\wedge}$, онда СТАТОР ОРАМЫНЫҢ МҚК СТАТОР ОРАМЫ РЕЖИМІНДЕ ПОЛЮСТЕР ЖҰБЫ БАР.

$$S F^{\wedge} H = 2 F d k m = 2 \cdot 497 \cdot 1,4 = 1392 \text{ A.}$$

(11.2) бойынша статордың магниттеуші тогы

$$Am = p S F_{H_{об1}} / (0,9 m l w k_{об1}) = 2 \cdot 1392 / (0,9 \cdot 3 \cdot 130 \cdot 0,91) = 8,7 \text{ A.}$$

Егер осы қозғалтқыштың әуе саңылауы 20 % арттырса, яғни $d = 0,6$ мм (қалған өзгеріссіз жағдайларда) қабылдансын, онда статордың магниттеуші тогы $I_{1m} = 10,4$ А тең болса, яғни ол әуе саңылауының артуына пропорционал артады.

11.3. Асинхронды машинаның шашырау магнитті ағыны

Негізгі (басты) магнитті ағыннан Φ басқа ол статор мен ротордың орамдарымен тіркеледі (11.4-сурет), асинхронды машинада тағы екі магнитті ағыны бар, шашырау ағындары де аталады: статорды шашыратудың магнитті ағыны $\Phi_{ст1}$ және ротордың шашырату магнитті ағыны $\Phi_{ст2}$. Осы шашыратудың әр ағыны өзіндік ораммен ғана тіркеледі және онда шашырату ЭҚК келтіреді: статор орамында $E_{с1}$, ротор орамында $E_{с2}$.

Шашырату магнитті ағынының болуы статор орамында $L_{с1}$ және ротор орамында $L_{с2}$ шашырату индуктивтілігімен шартталады, яғни индуктивті кедергі де шашыратудың индуктивті кедергісі деп аталады:

$x_1 = w_1 L_{с1}$ — статор орамын шашыратудың индуктивті кедергісі; $x_2 = w_2 L_{с2}$ — ротор орамын шашыратудың индуктивті кедергісі. Мұнда w_1 және w_2 — статор мен ротордың орамдарындағы токтардың бұрыштық жиіліктері.

Статор орамын шашыратудың индуктивті кедергісі (Ом)

$$x_1 = 1,58 \cdot 10^{-8} f i k w L X_{ij}(p q i). \quad (11.6)$$

Мұнда

$$^1 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + X_{j1} \quad (11.7)$$

— статор орамын шашыратудың магнитті өткізгіштігінің коэффициенті;

$1_{н1}$, $1_{д1}$ және $1_{л1}$ — пазалық, дифференциалдық және статор алдың шашыратуда магнитті өткізу коэффициенті.

Ротор орамын шашыратудың индуктивті кедергісі ротор орамы түріне тәуелді өрнектермен анықталады. Қозғалмайтын ротор кезінде қысқа тұйықталу орамы үшін (Ом)

$$x_2 = 1,58 \cdot 10^{-8} f i k w L X_{ij}(p q i) \quad (11.8)$$

Φ_a
 $\downarrow$
 $\Phi_{с2}$



11.4-сурет. Асинхронды машинаның шашырату магнитті ағыны

Мұнда

$$1 - \wedge_{n2} + \wedge_2 + \wedge_l + \wedge_k \quad (II - 9)$$

— ротордың қысқа тұйықталған орамын шашыратудың магнитті өткізгіштік коэффициенті; 1_{n2} , 1_{d2} , $1_{кл}$ және $1_{ск}$ — пазалық, дифференциалдық, қысқа тұйықталатын сақиналар мен қысқа тұйықталу роторының пазаларын алып тастау.

Егер ротор фазалық болса және оның орамы статор орамының түрі бойынша орындалса, онда индуктивті кедергі (Ом) осы орам шашыратуда $x_2\phi$ осы қозғалмайтын роторда ($s = 1$) ұқсас өрнегімен анықталады (11.6):

$$x_2 = 1,58 \cdot 10^{-8} / x / y^{\wedge \wedge} \phi / (pq_2) \quad (11.10)$$

мұнда

$$\wedge^2 \phi - \wedge_{n2} + \wedge_{d2} + \wedge_{l2} - \quad (II - .$$

(11.6) және (11.10) өрнектерінде статор 1_{ii} мен ротордың l_2 өзегінің арқасының есептік ұзындығы – мм.

Магнитті өткізгіштіктің коэффициенттерін есептеу үшін электрлі машиналарды есептеу бойынша нұсқаулықта келтірілетін өрнектер пайдаланылады, мысал [5].

11.4. ЭҚК келтіруде мен электромагнитті құру мезеті

Белгілі болғандай, статор мен ротордың өзектерінің беі тістер мен пазалардан тұрады, мұнда орамдардың пазалық жақтары пазаларда орналасқан, онда магнитті индукция тістерге қарағанда аз. Алайда орамда ЭҚК келтіру шарттары өзгермейді және орамның пазалық жақтары өзекнің тегіс бетінде орналасатындай қалады. Бұл магнитті сызықтардың үздіксіздік қасиетімен түсіндіріледі. Осы қасиетке сәйкес айналатын магнитті өрістің магнитті желілері бір тістен екіншісіне өтеді және тістер арасында жатқан пазалардың орамының пазалық өткізгіштері оған ЭҚК келтіреді.

Айта кету керек, өткізгіште токтың өзара әсерлесуі кезінде туындайтын электромагнитті күш өзек пазасында жатады, сыртқы магнитті өріспен сымға емес, паза қабырғасын түзетін тістерге қойылған. Бұл механикалық күшті сымнан тіске ауыстыру құбылысы пондеромоторлы күштердің пайда болуымен түсіндіріледі, ол магнитті өрісте екі ортаның бөліні шегінде пайда болады, түрлі магниттік өткізгіштікке ие және әрдайым үлкен магнитті ортадан кіші магниттік өткізгіштікке бағытталған (қарастырылып отырған жағдайда тісі мен пазасы).

11.5-сурет.
Ротор тістерінде
электромагнитті
күштер

$$i = 0$$


6 ¹¹²

a

Бұл құбылысты түсіндіру үшін H_0 өріс кернеулігінің екі тісі әрқайсысында және магнитті өткізгіштікке m_r қатысты және пазада биіктігі h_{zi} мен ұзындығының l_t тістері арасында. Өткізгіште ток болмаған жағдайда пондеромоторлы күштер болмаған кезде

$$F_i = f_2 \ll 0, 5 m_0 (m_r - 1)^2 i_t h_{zi}, \quad (i_t \cdot i^2)$$

ал нәтижеленуші пондеромоторлы күш $F_n = F_2 - F_1 = 0$ (11.5, *a*-суреті).

Өткізгіште токтың пайда болуымен өрістің H_1 кернеулігі сол жақ қабырғада паза азаяды, ал кернеулігі H_2 пазаның оң жағында артады (11.56-суреті):

$$H_i = H_0 - H; H_2 = H_0 + H, \quad (H.1)$$

мұнда

$$H \ll t / (2h_{zi}) \quad (11.14)$$

— i тогының өріс кернеуі.

Бұл жағдайда (11.13) және (11.14) ескере отырып, нәтижеленуші пондеромоторлы күш (H) ескере отырып, оң жақ тістің қабырғасына

$$\begin{aligned} F_n &= F_i - F \ll 0, 5 m_0 (m_r - 1) l_t h_{zi} [(H_0 + H)^2 - (H_0 - H)^2] = \\ &= 2 m_0 (m_r - 1) H \cdot H l_t h_{zi} = m_0 (m_r - 1) H l_t t. \end{aligned} \quad (11.15)$$

(H) күш, пазаға өткізгіштікке тікелей әсер етуші,

$$\ll m_0^H o^L t^L \quad (H.$$

яғни ол ($m_r - 1$) өзек тісіне әсер ететін күші аз.

Магнитті индукцияның шынайы мәндері кезінде өзегінің тістерінде тісіне әсер ететін күш F_z , күші 5 есе артық, ол пазада $F^\wedge$ орналасқан өткізгішке әсер етеді.

1. Асинхронды машинаның магнитті тізбегі қандай бөліктерден тұрады?
2. Асинхронды машинаның магнитті тізбегінің есебі қандай?
3. Әуе саңылауындағы магнитті индукцияның мәнін таңдау асинхронды қозғалтқыш тізбегіне қалай әсер етеді?
4. Асинхронды қозғалтқыш өзеклерінде табақты электротехникалық болаттың қандай маркасы пайдаланылады?
5. Әуе саңылауының коэффициенті нені ескереді?
6. Магнитті қанығу коэффициентін қалай анықтауға болады?
7. Асинхронды қозғалтқыштың роторы мен статорның шашырату индуктивті кедергісі немен шартталған?
8. Асинхронды қозғалтқышта электромагнитті күштер неліктен орам сымдарына емес, өзек тістеріне қойылған?

12 тарау

АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫ АЛМАСТЫРУ

СЫЗБАСЫ

12.1. Асинхронды қозғалтқыштың кернеуін теңестіру

Асинхронды қозғалтқыштың әрекет ету ұстанымына сәйкес (6.2.-қараңыз) ротор орамының статор орамымен электрлі байланысы жоқ. Осы орамдар арасында магнитті байланыс қана бар және статор орамының энергиясы ротор орамына магнитті өріспен беріледі. Бұл тұрғыда асинхронды машина трансформаторға ұқсас: статор орамы бірінші, ал ротор орамы – екінші.

Асинхронды қозғалтқыштың жұмыс процесінде статор орамы мен ротор орамында екі магнитті қозғаушы күш туындайды: статор МҚК және ротор МҚК. Бірлескен әрекетпен бұл МҚК қозғалтқыштың магнитті жүйеде нәтижеленуші магнитті ағын келтіреді, ол статорға қатысты айнарудың n_1 асинхронды жиілігі бар. Трансформатордағыдай бұл магнитті ағынды статор орамымен де ротор орамымен де тіркелген негізгі Φ ағыннан тұрады деп қарастыруға болады (өзара индукцияның магнитті ағыны) және шашырату ағынның екі ағыны: $\Phi_{ст1}$ — статор орамын шашырату ағыны және $\Phi_{ст2}$ — ротор орамының шашырату ағыны (11.3-қараңыз). Қозғалтқыш орамында көрсетілген ағындар қандай ЭҚК келтіретінін қарастырайық.

Электр қозғаушы күште статор орамында келтіріледі. Негізгі магниттік Φ ағыны жиілігімен n_1 айналады, статордың қозғалмайтын

Шашыратудың магнитті ағыны Φ_{cr1} статор орамында шашыратудың ЭҚК келтіреді, оның мәні статор орамында кернеудің индуктивті құлауымен анықталады:

$$E_{s1} = -j\omega_1 x_1 > \quad (12.1)$$

мұнда x_1 — статордың фазалық орам шашыратудың индуктивті кедергісі [(11.6)-қараңыз], Ом.

Асинхронды қозғалтқыштың статор орамының тізбегі үшін желіге кернеумен U қосылған Кирхгофтың екінші заңы бойынша кернеу теңдеуін жазамыз:

$$U + E_{s1} + E_{a1} = I_1 T_1, \quad (12.2)$$

мұнда $I_1 r_1$ — статор орамының белсенді кедергісінде кернеудің құлау төмендеуі r_1 .

ЭҚК E_1 және E_{s1} теңдеудің оң бөлігіне ауыстырған соң (12.2) (12.1) ескере отырып, асинхронды қозғалтқыштың статор орамының кернеу теңдеуін аламыз:

$$U = (-E) + I_{a1} + I_{d1}. \quad (12.3)$$

(1.13) теңдеуімен алынған теңдеуді салыстырып, ол трансформатордың бірінші тізбегіндегі кернеу теңдеуінен ерекшеленбейтінін көреміз.

Ротор орамында индуктелетін электрқозғаушы күштер. Асинхронды қозғалтқыштың жұмыс процесінде ротор статор өрісіне қарай жиілігімен n_2 айналады. Сондықтан статор өрісінің айналу жиілігі роторға қатысты айналу жиілігінің $(n_1 - n_2)$ әр түрлілігіне тең. Негізгі магнитті ағын Φ айналу жиілігіндегі роторды $n_s = (n_1 - n_2)$ оза отырып, ЭҚК ротор орамында индуктеледі:

$$E_{2s} = 4,44 i_2 \quad (12.4)$$

мұнда f_2 — ротордағы жиілік ЭҚК E_{2s} , Гц; w_2 — ротор бір фазасында біріккен иірімдердің ретімен байланысқан саны; K_{062} — ротор орамның орамалық коэффициенті.

ЭҚК (ток) жиілігі айналатын ротор орамында роторға қатысты магнитті өрістің айналу жиілігіне $n_s = (n_1 - n_2)$ пропорционал, ол сырғу жиілігі деп аталады:

$$f_2 = p n_s / 60 = p (n_1 - n) / 60,$$

немесе

$$f_2 = \frac{p(n_1 - n)}{60} \quad \text{немесе} \quad \frac{p n_1}{60} - \frac{p n}{60} \quad (12.5)$$

Яғни ротор (ток) жиілігі сырғуға пропорционал.

Жалпы өнеркәсіптік арналымдағы асинхронды қозғалтқыштар үшін бұл жиілік әдетте үлкен емес және $f = 50$ Гц кезінде бірнеше герцтен аспайды, мәселен $s = 5\%$ кезінде жиілігі $f_2 = 50 \cdot 0,05 = 2,5$ Гц.

(12.5) (12.4)-ге қойып алатынымыз

$$E_2s = 4,44 f_s F W_2 k_0 62 = E_2 S, \quad (12.6)$$

мұнда E_2 — сырғу кезінде ротор орамында келтірілген ЭҚК $s = 1$, яғни қозғалмайтын роторда, В.

$\Phi_{\text{ст}}$ роторды шашырату ағыны шашырату ЭҚК ротор орамында индукстеледі, оның мәні осы орамдағы кернеу индуктивті төмендеумен анықталады:

$$E_{s2} = -j \omega_2^2 x_{2s}, \quad (12.7)$$

мұнда x_2 — қозғалмайтын роторда ротор орамының шашырату индуктивті кедергісі (11.8)-қараңыз], Ом.

Асинхронды қозғалтқыштың ротор орамы электрлі желі арқылы сыртқы желімен байланыспаған және оған сырттан кернеу келтірілмейді. Осы орамдағы ток магнитті F ағынымен келтірілген ЭҚК есебінен ғана туындайды. Сондықтан асинхронды қозғалтқыштың ротор тізбегінің кернеу теңдеуі Кирхгофтың екінші заңы бойынша келесідей

$$E_{2s} + E_{s2} - I_2 r_2,$$

мұнда r_2 — ротор орамының белсенді кедергісі.
(12.6) және (12.7) ескере отырып алатынымыз

$$E_2s - j i_2 s - V_2 = 0. \quad (12.8)$$

Барлық қосылған теңдеулерді (12.8) s бөліп алатынымыз

$$E_2 - j i_2 X_2 - V_2 / s = 0 \quad (12.9)$$

— ротор орамы үшін кернеу теңдеуі.

12.2. Асинхронды қозғалтқыштың МҚК және тоқтарын теңестіруі

Асинхронды қозғалтқыштағы F негізгі магнитті ағыны F_1 мен ротордың F_2 орамдарының МҚК бірлескен әрекетімен құрылады:

$$F = (F_1 + F_2) R_m = F_0 / R_m, \quad (12.10)$$

мұнда R_m — қозғалтқыштың ағынға магнитті тізбегінің кедергісі F ; F_0 — қозғалтқыштың нәтижеленуші МҚК, статор орамы бос жүрісті режимде МҚК тең

[(9.16 ұқсас)]:

$$F_0 = 0,45m_1I_0w_1k_{061}/p, \quad (12.11)$$

I_0 — статор орамындағы бос жүрісті ток, А.

Жүктелген қозғалтқыш режимінде статор F_1 мен ротордың F_2 орамдарының МҚК бір полюске

$$F_1 = 0,45 m_1 I_1 w_1 k_{061}/p; \quad (12.12a)$$

$$F_2 = 0,45m_2I_2W_2k_{062}/p, \quad (12.12б)$$

мұнда m_2 — ротор орамындағы фазалар саны; k_{062} — ротор орамының орамалық коэффициенті.

Қозғалтқыш білігінде жүктемені өзгерткен кезде орамдарындағы статор I_1 мен ротордың I_2 токтар өзгереді. Негізгі магнитті ағын Φ сақталады, себебі статор орамында келтірілген желі кернеуі өзгермейді ($U_1 = \text{const}$) және статор орамында ЭҚК E_1 толығымен теңестіріледі [(12.3)-қараңыз]:

$$U_1 \ll (-E). \quad (12.13)$$

Себебі ЭҚК E_1 Φ негізгі магнитті ағынға пропорционал (7.20-қараңыз), онда соңғысы жүктеме өзгерісі кезінде тұрақты болып қалады. МҚК F_1 және F_2 өзгерістеріне қарамастан, нәтижеленуші МҚК тұрақты болып қалатыны осылай түсіндіріледі, яғни $F_0 = F_1 + F_2 = \text{const}$.

F_0 , F_1 және F_2 орнына (12.11) және (12.12) бойынша өрнегін қойып аламыз:

$$0,45m_1I_0k_{061}/p = 0,45m_1I_1k_{061}/p + 0,45m_2I_2W_2k_{062}/p.$$

Бұл теңдеуді $m_1w_1k_{061}/p$ бөліп, асинхронды қозғалтқыштың ток теңдеуін анықтаймыз:

$$I_0 = I_1 + \frac{m_2 W_2 k_{062}}{m_1 W_1 k_{061}} = I_1 + 1\&2, \quad (12.14)$$

061 мұнда

$$I_2' = I_2 \frac{m_2 W_2 k_{062}}{m_1 W_1 k_{061}} \quad (12.15)$$

— статор орамында келтірілген ротор тогы.

(12.14) теңдеуін түрлендіріп, асинхронды қозғалтқыш ток теңдеуін аламыз

$$I_1 = I_0 + (-I_0), \quad (12.16)$$

Оған сәйкес, асинхронды қозғалтқыштағы 1_1 статор тогы екі құраушысы бар: 1_0 — магниттеуші құраушы (дерлік тұрақты) составляющую (1_0 және I_{1m}) және — 12 — ауыспалы құраушы, ротор МҚК өтейді.

Яғни ротор тогы 1_2 қозғалтқыштың магнитті жүйесіне магнитсіздендіру әсерін береді, трансформатордың екінші тогы секілді (1,5-қараңыз). Осылайша, механикалық жүктеменің қозғалтқыш білігіне кез келген тербелісі статор орамындағы токтың 1_b тиісті өзгерісімен сүйемелденеді, себебі қозғалтқыштың бұл жүктемесі сырғу өзгерісін тудырады. Бұл өз кезегінде ротор орамының ЭҚК әсер етеді (12.6-қараңыз), яғни 1_2 ротор тогына. Бірақ осы ток қозғалтқыштың магнитті жүйесіне магнитсіздендіру әсерін беретіндіктен, оны 1_2 құраушысы есебінен статор орамындағы тиісті ток 1_1 өзгерістерін тудырады. Мәселен, бос жүріс режимінде қозғалтқыш білігіне жүктеме болмаған кезде және s және 0, ток 1_2 және 0. Бұл жағдайда статор орамындағы ток 1_1 және 1_0 . Егер қозғалтқыш роторы тежелсе, онда статор орамын желіден өшірмесе (қысқа тұйықталу режимі), онда сырғу $s = 1$ және ротор орамының E_{2s} ЭҚК ең үлкен мәніне E_2 жетеді. Сонымен қатар үлкен мәнге ток 1_2 жетеді, яғни статор орамындағы 1_1 токта.

12.3. Ротор орамының өлшемдерін келтіру және

асинхронды қозғалтқыштың векторлық диаграммасы

Статор мен ротор орамдарындағы ЭҚК, кернеу және ток векторлары бір векторлық диаграммада бейнелеу үшін ротор орамының өлшемдерін статор орамына келтіру керек, яғни фаз ротор орамы m_2 , орама коэффициенті k_{062} және бір фазалық орамның пірімдер w_2 саны с m_1 , w_1 және k_{061} орамдарымен алмастыру керек. Мұнда қуат пен ЭҚК векторларының фазалық ығысуы және ротор тогы кезінде келтіруден кейін келтіргенге дейін қалу керек. Ротор орамдарының шынайы өлшемдерін есептеу трансформатордың екінші орамының өлшемдерін келтіру формуласына ұқсас формула бойынша орындалады (1.6.) $s = 1$ кезінде ротордың келтірілген ЭҚК

$$E_2 = E_2 K, \quad (12.17)$$

Мұнда $k_e = E_1/E_2 = k_0 \sqrt{(k_{062} w_2)}$ — қозғалмайтын роторда асинхронды машинаның кернеуін трансформациялау коэффициенті.

Ротордың келтірілген тогы

$$V = h/k, \quad (12.18)$$

мұнда $k = m_1 w_1 k_{06} / (m_2 w_2 k_{062}) = m_1 k_e / m_2$ — асинхронды машина тогының трансформация коэффициенті.

Асинхронды қозғалтқыштардың трансформаторына қарағанда кернеу мен тоқтың трансформация коэффициенттері тең емес ($k_e \neq k$). Статор мен ротор орамдарындағы фазалар саны жалпы жағдайда бірдей емес ($m_1 \neq m_2$) болуымен түсіндіріледі. Фазалық роторы бар қозғалтқыштарда $m_1 = m_2$ бұл коэффициенттер тең.

Ротор орамының белсенді және индуктивті келтірілген кедергілері:

$$r_2 = k_e k_r, \quad (12.19a)$$

$$x_2 = x_2 k_e k_r. \quad (12.19b)$$

Фаза санын анықтаудың кейбір ерекшелігіне назар аудару керек m_2 және иірімдер саны w_2 қысқа тұйықталу ротор орамы үшін (10.3-сурет). Осы орамның әр өзегі бір фазаға қарастырылады, сондықтан ротордың қысқа тұйықталу орамының бір фазасының иірім саны $w_2 = 0,5$; осындай орамның орама коэффициенті $k_{062} = 1$, фазалар саны $m_2 = Z_2$, яғни ротордың қысқа тұйықталу орамындағы өзектердің санына тең. Ротор орамының өлшемдерінің (12.9) келтірілген E_2 , I_2 , r_2 және J_2 мәнін қойып, келтірілген түрдегі ротор орамының кернеу теңдеуін аламыз:

$$E_2 - j\omega L_2 I_2 / s = 0. \quad (12.20)$$

r_2/s көлемін қоюға болады

$$\frac{r_2}{s} = \frac{r_2}{s} \cdot \frac{s}{s}, \quad (12.21)$$

онда келтірілген өлшемдерде ротор тізбегі үшін ЭҚК теңдеуі келесі түрді қабылдайды

$$0 = E_2 - j\omega L_2 I_2 - I_2 (r_2/s) - I_2 (x_2/s). \quad (12.22)$$

асинхронды қозғалтқыш үшін (трансформатор секілді) векторлық диаграмма құрамыз. Осы диаграмманы құру негіздемесі ток теңдеуі (12.14) және статор орамдарының теңдеуі (12.3) және ротор теңдеуі (12.24):

ЭҚК E_2 және ток I_2 арасындағы ығысу бұрышы

$$\psi_2 = \arctan(x_2/r_2) -$$

Асинхронды қозғалтқыштың векторлық диаграммасын трансформатор теңдеуіне ұқсас кернеу мен ток теңдеуі бойынша құратындықтан, онда осы диаграмманы құру тәртібі трансформатор векторлық диаграммасы секілді (1.7-қараңыз).

12.1-суретте асинхронды ғалтқыштың векторлық диаграммасы берілген. Трансформатордың векторлық диаграммасынан (1.19-суретті қараңыз) ротор орамындағы кернеудің құлауымен ерекшеленеді (екінші орамда), қозғалмайтын ротордың орамының ЭҚК E_2 теңестіріледі, себебі ротор орамы қысқа тұйықталған. Алайда егер кернеудің құлауын $OA = 1 \wedge (1 - s)js$ белсенді жүктемедегі $r_2(1 - s)/s$ кернеу ретінде қарастырса, онда асинхронды қозғалтқыштың векторлық диаграммасын трансформатордың векторлық диаграммасы ретінде қарастыруға болады, екінші орам қысқыштарына ауыспалы белсенді кедергі $r_2(1 - s)/s$ қосылған. Басқа сөзбен айтқанда асинхронды қозғалтқыш электрлі қатынаста таза белсенді жүктемеге жұмыс жасайтын трансформаторға ұқсас. Трансформатордың екінші орамының белсенді қуаты

$$P_2 = m!(i_2)^2 r_2 (1 - s) / s \quad (12.23)$$

Асинхронды қозғалтқышпен дамитын толық механикалық қуатты білдіреді.

Кернеу мен ток тендеулеріне, сонымен қатар асинхронды қозғалтқыш векторлық диаграммасына асинхронды қозғалтқыштың алмастыру электрлі сызбасы сәйкес келеді.

12.2-суретте T тәрізді алмастыру сызбасы бар. Асинхронды қозғалтқыштағы ротор мен статор орамдарының магнитті байланысы алмасу сызбасында статор мен ротордың электр байланыс тізбегіне алмастырылған. Белсенді кедергіні сыртқы кедергі $r_2(1 - s)/s$ ретінде қарастыруға болады, ол қозғалмайтын ротор орамына қосылған. Бұл жағдайда асинхронды қозғалтқыш белсенді жүктемеге жұмыс жасайын трансформаторға ұқсас. Кедергі $r_2(1 - s)/s -$ сызбаның жалғыз ауыспалы өлшемі. Осы кедергінің мәні сырғумен анықталады, яғни қозғалтқыш білігіндегі механикалық жүктемемен анықталады. Мәселен, егер жүктеу мезетінде қозғалтқыш $M_2 = 0$ білігінде сырғу s және 0 .

12.2-сурет.

Асинхронды
қозғалтқыш алмастыру
сызбасы:

a — Т-тәрізді; b —
Г-тәрізді бедерленген
магнитті кескінімен

a

b

мұнда $r_2'(1 - s)/s = \mathcal{M}$, ол бос жүріс режиміндегі қозғалтқыш жұмысына сәйкес келеді. Егер қозғалтқыш білігіне жүктеу мезетін айналу мезетінен асып кетсе, онда ротор тоқтайды ($s = 1$). Мұнда $r_2'(1 - s)/s = 0$, ол асинхронды қозғалтқыш қысқа тұйықталу режиміне сәйкес келеді.

Тәжірибелік қолданыста анағұрлым ыңғайлысы Г тәрізді алмастыру сызбасы (12.2-сурет), оның магниттеуші кескіні ($Z_m = r_m = jx_m$) алмастыру сызбасының кіріс қысқышына шығарылады. Мұнда магниттеуші ток I_0 өзінің мәнін өзгертпеген, бұл контурға статор орамының кедергісі r_1 және x_1 қосылады. Осылайша алынған сызба екі параллель контурлардан құралғанымен ыңғайлы: магниттеуші ток I_0 және жұмыс тогы — I .

Г тәрізді алмастыру сызбасының жұмыс контурының жұмыс өлшемдерін есептеу нақтылауды қажет етеді, ол мінсіз бос жүріс кезінде ($s = 0$) [1] статорының E_1 ЭҚК кернеу U желісіне қатынасын білдіретін коэффициенттің есептік формулаларын енгізумен қол жеткізіледі (12.26-суреті). Себебі бұл бос жүрісті ток режимінде асинхронды қозғалтқышта U шағын болғандықтан ЭҚК E_x қарағанда шамалы ғана артық, ал олардың қатынасы $c_1 = U_x/E_x$ бірліктен аз ерекшеленеді. Мысалы, қуаты 3 кВт және одан артық болатын қозғалтқыш үшін $c_1 = 1,05$ қ 1,02. Сондықтан асинхронды қозғалтқыштардың қасиеттерін және тәжірибелік есептеулерді қарапайымдату сипаттайтын өрнектерді талдауды жеңілдету үшін $c_1 = 1$ қабылдаймыз. Мұнда туындаған белгісіздіктер техникалық есептеулер кезіндегі мәндерден аспайды. Мысалы, ротор тогын есептеген кезде // бұл қателік 2-ден 5 % құрайды (кем мәндері қуаты үлкен қозғалтқыштарға жатады).

Алмастырудың Г- тәрізді сызбасын пайдалана отырып, қабылдап, жұмыс кескініндегі ток өрнегін жазамыз:

$$U_i \quad (12.24)$$

$$\phi m. + r_2 + r_2 (i^{-s})/s]^2 + (x_1 + x_2)^2$$

немесе (12.21) ескеріп аламыз

$$I_2' = \frac{U_i}{\sqrt{(r_2/s)^2 + (x_1 + x_2)^2}} \quad (12.25)$$

(12.25) бөлгіші өрнегінің асинхронды қозғалтқыштың алмастыру сызбасының Г тәрізді жұмыс кескінінің толық кедергісін білдіреді.

Бақылау сұрақтары

1. Асинхронды қозғалтқыш пен трансформатордың айырмашылығы мен ұқсастығы неде?
2. Асинхронды қозғалтқыш білігіне механикалық жүктеменің артуымен қозғалтқышпен желіден тұтынылатын қуат өседі?
3. Қозғалтқыштың векторлық диаграммасын құру тәртібі қандай?
4. Г тәрізді алмастыру сызбасының Т тәрізді алмастыру сызбасынан айырмашылығы неде?

13 тарау

АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫҢ ЭЛЕКТРОМАГНИТТІ МЕЗЕТІ ЖӘНЕ ЖҰМЫС

13.1. Асинхронды қозғалтқыштың шығындары және ПӘК

Электр энергиясын асинхронды қозғалтқышта механикалыққа түзу басқа электр машиналарында секілді энергия шығынымен байланысты, сондықтан пайдалы қуат қозғалтқыш P_2 шығысында Р кірісінде қуаты кем (тұтынылатын қуат) ЕР шығын көлемінен аз:

$$P_2 = P - E_p. \quad (13.1)$$

ЕР шығындары жылуға ауысады, түпкілікті қозғалтқышты жылытады. Электрлі машиналардағы шығындар негізгі және қосымша болып бөлінеді. Негізгі шығындар магнитті, электрлі және механикалықты қамтиды. Асинхронды қозғалтқыштардың магнитті шығындары P_m гистерезистегі шығындармен және иірім токтарындағы шығындармен тудырылады, ол артық магниттендіру өзегінде туындайды. Магнитті шығын көлемі магниттендіру жиілігіне

$P_m = f^V$, мұнда $V = 1,3 \wedge 1,5$. Статор өзегінде артық магниттендіру жиілігі желідегі ток жиілігіне тең ($f = \text{Л}$), ал ротордың өзегінің артық магниттендіру жиілігі $f_2 = f_{1s}$. Желідегі ток жиілігі кезінде $f = 50$ Гц және номиналды сырғу кезінде $s^{\wedge}M = 1 - 8 \%$ ротор магниттендіру жиілігі $f_2 = 0,5 - 4$ Гц, сондықтан ротор өзегіндегі магнитті шығындар есептеулерде ескермеуге болатындай аз.

Асинхронды қозғалтқыштағы электрлі шығындар ол бойынша өтетін токтардың ротор мен статор орамдарын жылыту кезінде тудырылған. Осы шығындардың көлемі орамдағы ток шаршысына пропорционал (Вт): статор орамындағы электрлі шығындар

$$P_{\Sigma 1} = m \& \text{ь} \quad (13.2)$$

ротор орамындағы электрлі шығындар

$$P_{\Sigma 2} = m \wedge^2 \wedge^{\cdot} \quad (13.3)$$

мұнда r_1 және r_2 — жұмыс температурасына есептелген статор мен ротор фазаларының орамының белсенді кедергісі $0_{\text{раб}}$ (см. 38.3):

$$r_1 = r_{120}^{[1]} + a^{(0)}_{\text{раб}} - 20); \quad (33.4^a)$$

$$r_2 = r_{220}^{[1]} + a^{(0)}_{\text{раб}} - 20); \quad (33.46)$$

мұнда r_{120} және r_{220} — $0_{\text{р}} = 20$ °C температурасы кезіндегі орамның белсенді кедергісі; a — кедергінің температуралық коэффициенті, мыс үшін $a = 0,004$.

Қолданыстағы стандартқа сәйкес жұмыс температурасы қозғалтқышта пайдаланылатын электрлі оқшаулау жылытуға төзімділік санатына тәуелділік қабылданады: жылуға төзімділік санатында В ол 75 °C, F және H санаттары кезінде — 115 °C.

Ротордағы электрлі шығындар сырғуға тура пропорционал:

$$P_{\Sigma 2} = s P_{\Sigma m}, \quad O$$

мұнда $P_{\Sigma m}$ — асинхронды қозғалтқыштың электромагнитті қуаты, Вт:

$$P_{\Sigma m} = P - (P_m + P_{\Sigma 1}). \quad (33.6)$$

(33.5) сәйкес асинхронды қозғалтқыш жұмысы шағын сырғуда үнемді, себебі сырғудың артуымен ротордағы электрлі шығындар артады.

Фазалық роторы бар асинхронды қозғалтқыштарда аталған электрлі шығындардан басқа қылшақты байланыстағы электрлі шығындар да бар:

$$P_{\Sigma \text{щ}} = 3 I_{\text{ш}}^2 R_{\text{ш}},$$

мұнда $I_{\text{ш}} = 2,2$ В — қылшақ жұбына кернеудің ауыспалы құлауы.

$P_{\text{мех}}$ механикалық шығындары — бұл мойынтірек пен желдетуде үйкелу шығыны. Бұл шығындардың көлемі ротордың айналу жиілігінің шаршысына пропорционал ($P_{\text{мех}} = n^2$).

Асинхронды қозғалтқышта фазалық ротордағы механикалық шығындар қылшақ және ротордың түйіспелі сақиналары арасындағы үйкелу есебінен болады.

Қосымша шығындар тістерде магнитті индукцияның өтуі және өзге себептермен МҚК жоғары гармоникалардың әсерімен тудырылған шығындарды ескеретін түрлері бар. Стандартқа сәйкес қосымша шығындар асинхронды қозғалтқышта P_1 қуат қозғалтқышына келтірілетін 0,5 % тең қабылдайды:

$$P_{доб} = 0,005P_1. \quad (13.7)$$

Қосымша шығындарды есептеу кезінде номиналды емес режим үшін келесі өрнекті пайдалану керек:

$$роб = P_{доб} b^2, \quad (13.8)$$

мұнда $b = I/I_{ном}$ — жүктеме коэффициенті.

Асинхронды қозғалтқыштың барлық шығындарының сомасы (Вт)

$$= P_M + P_{э1} + P_{э2} + P_{мех} + P_{доб}. \quad (13.9)$$

13.1-суретте асинхронды қозғалтқыштың энергетикалық диаграммасы берілген, оған сәйкес, қозғалтқышқа келтірілетін қуат $P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi$ статорда магнитті P_M және электрлі шығындарға шығындалады. $P_{э1}$ Осыдан кейін қалған электромагнитті қуат роторға $P_{эм}$ [(13.6)-қараңыз] жіберіледі, онда ротордағы $P_{э2}$ орамда электрлі шығынға шығындалады және толық механикалық қуатқа P_2 түзіледі.



Қуаттың жартысы механикалық және қосымша $P_{доб}$ шығындарды жабуға кетеді, ал осы қуаттың қалған бөлігі P_2 қозғалтқыштың пайдалы қуатын құрайды.

Асинхронды қозғалтқыштың ПӘК

$$\eta = P_2/P_1 = 1 - EP/P_1. \quad (13.10)$$

Статор $P_{э1}$ және ротор $P_{э2}$ орамындағы электрлі шығындар ауыспалы және шығын болып табылады, себебі олардың көлемі қозғалтқыш жүктемесіне тәуелді, яғни статор мен ротордың орамындағы ток мәндеріне [(13.2) және (13.3) қараңыз].

Қосымша шығындар да ауыспалы болып табылады (13.8). Магнитті P_M және механикалық $P_{мех}$ шығындарға қатысты олар жүктемеге дерлік тәуелді емес

13.1-сурет.

Асинхронды
қозғалтқыштың
энергетикалық

(кең ауқымда жүктемесі өзгергенде айналу жиілігі өзгертін қозғалтқыштарды қоспағанда).

Асинхронды қозғалтқыштың пайдалы әрекет коэффициенті жүктеменің өзгеруімен көлемін өзгертеді: бос жүріс режимінде ПӘК нольге тең, содан кейін жүктеменің өсуімен ол артады, жүктеме кезінде максимумға жетеді $(0,7 \wedge 0,8)P_{ном}$. Жүктеме ары қарай өскен кезде ПӘК азаяды, ал қозғалтқыш жүктемесі $(P_2 > P_{ном})$ кезінде ол жылдам азаяды, ол ауыспалы шығындардың $(P_{\gamma 1} + P_{\gamma 2} + P_{доп})$ қарқындылығымен түсіндіріледі, олардың көлемі статор орамындағы ток шаршысына пропорционал және қуат коэффициенті азайған (13.9-суретті қараңыз). ПӘК тәуелділігінің кестесі $h = f(b)$ жүктемеінде асинхронды қозғалтқыштар үшін келесі түрде (13.7-суретті қараңыз), ол 14.1-суретте берілгенге ұқсас.

Жалпы арналымдағы үшфазалы асинхронды қозғалтқыштардың ПӘК номиналды жүктеме кезінде келесіні құрайды: қуаты 1-20 қозғалтқыштар үшін $\eta_{ном} = 75 \wedge 90\%$, қозғалтқыш қуаты 20 кВт $\eta_{ном} = 90 \wedge 95\%$.

13.1-мысал. Үшфазалы асинхронды қозғалтқыш статор орамы жұлдызға біріккен кезде 660 В кернеудегі желіге қосылды. Номиналды жүктеме кезіндеол қуат коэффициенті $\cos \varphi_1 = 0,87$ кезінде желі қуатын $P_1 = 16,7$ кВт тұтынады. Айналу жиілігі $n_{ном} = 1470$ айн/мин. Егер магнитті шығындар $P_m = 265$ Вт, ал механикалық шығындар $P_{мех} = 123$ Вт кезінде номиналды жүктеменің $\eta_{ном}$ қозғалтқышының ПӘК анықтау керек. Статор орамы фазасының белсенді кедергісі $r_{120} = 0,8$ Ом, ал жұмыс температурасы $\theta_{аб} = 115$ °C.

Шешуі. Статор орамындағы фаза тогы

$$\frac{P}{3} = \frac{16,7 \cdot 10^3}{3} = 5,57 \text{ кВт}$$

Фазалық кернеу $U_1 = 660/\sqrt{3} = 380$ В.

Жұмыс температурасына есептелген статор орамының фазалық кедергісі $\theta_{аб} = 115$ °C, (13.4) бойынша

$$r = r_{1,20}[1 + a(\theta_{аб} - 20)] = 0,8[1 + 0,004(115 - 20)] = 1,1 \text{ Ом.}$$

(13.2) бойынша статор орамындағы электрлі шығындар

$$P_{\Sigma 1} = P_{ном} = 16,7 \cdot 10^3 \cdot 1,1 = 18,37 \text{ кВт. (13.6) бойынша}$$

қозғалтқыштың электромагнитті қуаты

$$P_{эм} = P_1 - (P_m + P_{\gamma 1}) = 16,7 \cdot 10^3 - (265 + 931) = 15504 \text{ Вт.}$$

Номиналды сырғу

$$\eta_{ном} = (P - P_{ном})/P_1 = (15504 - 16700)/16700 = 0,020. (13.5)$$

бойынша ротор орамының электрлі шығындары

$$P_{\gamma 2} = \eta_{ном} P_{эм} = 0,020 \cdot 15504 = 310 \text{ Вт.}$$

(13.7) бойынша қосымша шығындар

$$P_{\text{доб}} = 0,005P = 0,005 \cdot 16,7 \cdot 10^3 = 83 \text{ Вт.}$$

(13.9) бойынша жиынтық шығындар

$$\sum P = P_{\text{ш}} + P_{\text{эл}} + P_{\text{эл2}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{доб}} = 265 + 931 + 310 + 123 + 83 = 1712 \text{ Вт.}$$

(13.10) бойынша номиналды режимдегі қозғалтқыш ПӘК

$$\eta_{\text{ом}} = 1 - \frac{P_{\text{ру}}}{P} = 1 - \frac{1712}{16,7 \cdot 10^3} = 0,898 \text{ немесе } 89,8 \, \%.$$

Пайдалы әрекет коэффициенті асинхронды қозғалтқыштардың негізгі өлшемдерінің бірі болып табылады, ол оның энергетикалық қасиеттерін – пайдалану процесіндегі үнемділік анықтайды. Сонымен қатар қозғалтқыш ПӘК, яғни олардағы шығындардың көлемі негізгі бөлшектерінің температуралық жылытуын анықтайды және ең алдымен статор орамын анықтайды. Осы себеппен ПӘК төмен қуаты бірдей қозғалтқыш (салқындатудың бірдей шарттарында) статор орамын жоғары жылыту кезінде жұмыс жасайды, ол орам окшауларының интенсивті тозуы есебінен сенімділігі мен ұзақ мерзімділігін төмендетеді (18.1-сурет).

13.2. Қозғалтқыш сипаттамалары мен жұмыс механизмдері туралы ұғымдар

Қозғалтқыш қасиеттері қозғалтқыш өлшемдері арасында тәуелділікте көрініс табатын сипаттамалар бойынша бағалайды. Қозғалтқыш қасиеттерін бағалаудағы маңыздысы механикалық сипаттамалар болып табылады, олар электромагнитті мезет пен айналу жиілігі немесе сырғу арасында өзара байланысын анықтайды.

Қозғалтқыш арналымы – түрлі жұмыс механизмдерін іске қосады: станок, көтергіш құралдар, көлік құралдары және т.б. мұнда жұмыс механизмі қозғалтқыш білігінде білік айналымына қарсы құрады. Бұл мезет кедергінің статикалық мезеті M_c болып саналады. Бұл мезеттің көлемі айналу жиілігінен белгілі тәуелділікте болады.

Осылайша, жұмыс механизмдерінің қасиеттері, қозғалтқыштардікі секілді механикалық сипаттамалармен анықталады. Мысалы көтергіш механизмнің механикалық сипаттамасы (жұкарба, көтергіш кран) түзу тігінен сызық түрінде болады 1 (13.2-сурет), себебі түсірілетін немесе көтерілетін жүктің өзгеріссіз салмағы кезінде оның орнын ауыстыру жылдамдығы әр түрлі болған кездегі өзгеріссіз массада тұрақты.

Желдеткіштер, орталық сорғылар, тұрақты бұрандалар кедергі тудырады, ол айналу жиілігіне пропорционал, яғни $M = p^2$ (2-кесте).

Металл кесетін станоктардың айналу жиілігі n мен статикалық мезет M_c арасында гиперболикалық тәуелдігі бар: айналу жиілігінің артуымен кедергінің статикалық мезеті азаяды (3-кесте). Айналу мезетінің мәндері оң деп санау қабылданған, сондықтан қарсы әреке ететін статикалық мезетті теріс деп санайды және жұмыс машиналарының механикалық сипаттамалары координата осіндегі квадранттағы машиналарды құрайды.

13.2-сурет. Бекітілген

жұмыс режимі ұғымына

Электрқозғалтқыштың тұрақты жұмысы бекітілген режимге сәйкес келеді. Қозғалтқыштың механикалық сипаттамасында бекітілген режимдегі нүктені анықтау үшін (13.2-сурет 4- кесте) координата осінің бірінші квадрантында қозғалтқыштың механикалық сипаттамасымен бірге осы қозғалтқышпен $n = f(-M_c)$ әрекетке келтірілетін жұмыс механизмінің механикалық сипаттамаларының айна бейнесін құрады. 13.2-суретте бұл қиғаш 2'. Екі сызықты қиылысу нүктесі (А нүктесі) $n_{уст}$ және $M_{уст}$ координаталарымен қозғалтқыштың бекітілген жұмыс режимін анықтайды.

Қозғалтқыш сипаттамаларын бағалау кезінде сипаттама қаттылығы ұғымын пайдаланады. Сандық қаттылық сипаттама ылдиының тангенс бұрышының $tg \alpha$ ордината осімен анықталады (13.2-сурет). α бұрышы үлкен болған сайын, сипаттамасы қаттырақ: $\alpha = 90^\circ$ кезінде сипаттамасы абсолютті қатты, ал $80^\circ < \alpha < 90^\circ$ кезінде – қатты, $\alpha < 80^\circ$ кезінде – жұмсақ. Алайда сипаттамаларды бұлай бөлу шартты. Әдетте сипаттама қаттылығын бағалау сипаттаманың нақты түріне қатысты жүреді. Мұнда қаттылық ордината білігінде өлшемнің өзгеруімен анықталады (%), ол белгілі ауқымда абцисса осінің өлшемінің өзгеруімен тудырылған. Мысалы, механикалық сипаттамалардың қаттылығы жүктеме түскен кезде айналу жиілігінің (%) өзгеруімен анықталады, яғни жүктеменің номиналдыдан ($M_{ном}$) бос жүріс режиміне ($M_2 = 0$). дейін өзгерген кезде.

13.3. Асинхронды қозғалтқыштың электромагнитті мезеті жұмыс сипаттамалары

Асинхронды қозғалтқыштың электромагнитті мезеті айналатын магнитті өрісі бар ротор орамында токпен әсерлесуде құрылады. Электромагнитті мезет электромагнитті қуатқа пропорционал:

$$M = P_{\Sigma MM} = O^{55\wedge!}$$

ОЗ.н)

мұнда

$$w_1 = 2\pi n_1/60 = 2\pi f_1/p \quad (13.12)$$

синхронды бұрыштық айналу жылдамдығы
(рад/с);

— синхронды айналу жиілігі (айн/мин).

(13.11) электромагнитті қуатты қойып, (13.5) және (13.3) ескере отырып, аламыз

$$M = P_{\Sigma}/(w_1 s) = \tau O O O / O^{\wedge}, \quad (13.13)$$

Яғни асинхронды қозғалтқыштың электромагнитті мезеті ротор орамындағы электрлі шығындардың қуатына пропорционал.

Егер ротор тогының келтірілген мәні (12.25) қойса (13.13) (13.12) ескере отырып, асинхронды машинаның электромагнитті мезетінің формуласын аламыз (Н м) :

$$M = 2\pi f_1 s [(r_1' + r_2' / s)^2 + (x_1 + x_2')^2] \quad (13.14)$$

(13.14) өрнегіне енетін асинхронды машинаның алмастыру сызбасының өлшемдері r_1 , r_2 , x_1 және x_2 кейбір жақындаумен тұрақты көлем деп атауға болады. Статор фазасының орамындағы кернеу U_1 мен О желісіндегі ток жиілігін тұрақты деп санауға болады. М мезетінің өрнегінде жалғыз ауыспалы көлем – s сырғу. Асинхронды машинаның сырғу көлемі жүктеме ғана емес, жұмыс режиміне де тәуелді. Асинхронды машинаның түрлі жұмыс режимдерінде сырғу +те —те дейін ауқымында түрлі мәндерді қабылдай алады (13.3-суретті қараңыз).

Сырғудан $M = f(s)$ мезеттің тәуелділігі кестелік айқын, кезінде $U = \text{const}$, $f_1 = \text{const}$ және алмастыру сызбасының тұрақты өлшемдері асинхронды машинаның механикалық сипаттамасын білдіреді, ал (13.4) өрнегі осы сипаттаманың тендеуі болып табылады. Тендеу талдауы (13.14) көрсеткендей $s = 0$ және $s = 1$ те мәндері кезінде электромагнитті мезет $M = 0$. Осыған сәйкес механикалық сипаттама $M = f(s)$ максимум болады.

Шекті $s^{\wedge}$ сырғудың максималды мезетке сәйкестенетін көлемін анықтау үшін (13.14) өрнегінен бірінші туындысын алып, нольге теңестіру керек:

$$dM/ds = 0.$$

Нәтижесінде аламыз

$$s_{kp} = \pm r_2 y_{l^2}^2 + (x_1 + x_2')^2. \quad (13.15)$$

(13.15) бойынша шекті сырғу мәнін (13.14) электромагнитті мезет өрнегіне қойып, бірқатар түзілістерден кейін максималды мезеттің формуласын аламыз (Нм):

$$M_{\max} = \pm \frac{m_1 U_1^2 p}{4p f_1 \pm \dots} + V_{r^2} \quad (13.16)$$

(13.15) және (13.16) қосу белгісі қозғалтқышқа, ал алу белгісі – асинхронды машинаның генераторлық жұмыс режиміне сәйкестенеді. Жалпы өнеркәсіптік арналымдағы асинхронды машиналар үшін статор r_1 орамының белсенді кедергісі индуктивті кедергінің сомасынан біршама аз: $r_1 \ll (x_1 + x_2')$.

Сондықтан r_1 көлемін ескермей отырып, шекті сырғудың қарапайым өрнектерін аламыз:

$$s_{kp} \approx \pm r_2 / (x_1 + x_2), \quad (13.17)$$

және максималды мезеті (Н-м)

$$M_m = \pm \frac{m U_1^2 p}{4p f_1 (x_1 + x_2)} \quad (13.18)$$

$$M_{\max} = \dots \quad | - M$$

(13.16) өрнегін талдау көрсеткендей асинхронды машинаның максималды мезеті генераторлық режимде, қозғалтқышқа қараған ($M_{\max \Gamma} > M_{\max \Delta}$) артық. 13.3-суретте көрсетілгендей асинхронды машинаның механикалық сипаттамасы $M = f(s)$ кезінде $U_1 = \text{const}$ көрсетілген. Бұл сипаттамада түрлі жұмыс режимдеріне сәйкес келетін аймақтар көрсетілген: қозғалтқыштың режим ($0 < s < 1$), мұнда электромагнитті мезет M айналады; генераторлық режим ($-te < s < 0$) және қарсы қосылатын тежегіш режимі ($1 < s < +te$) мұнда электромагнитті мезет M тежеуші болады.

(13.14) сәйкес асинхронды қозғалтқыштың электромагнитті мезеті желі кернеуінің шаршысына пропорционал: $M = \Pi^2$. Бұл көп жағдайда қозғалтқыштың эксплуатациялық қасиеттерінде көрініс табады: желі кернеуінің шамалы төмендеуі асинхронды қозғалтқыштың айналу мезетін елеулі азайтуын тудырады. Мысалы, желі кернеуі номиналдыға қатысты 10 % азайған кезде ($\Pi = 0,9 \Pi_{\text{ном}}$) қозғалтқыштың электромагнитті мезеті 19 % азаяды: $M = 0,9^2 M = 0,81M$, мұнда M - желінің номиналды кернеуіндегі мезет; M' — төмен кернеудегі мезет.

Асинхронды қозғалтқыш жұмысын талдау үшін асинхронды машинаның механикалық сипаттамасының учаскесін пайдалану ыңғайлы $M = f(s)$, ол қозғалтқыш режиміне сәйкес келеді (13.4-сурет). Қозғалтқышты желіге қосқан кезде статордың магнитті өрісі инерцияны иеленбейді, синхронды жиілікпен айналу басталады, сонымен бірге қозғалтқыш роторы инерция күшінің әсерімен іске қосудың бастапқы мезетінде қозғалыссыз қалады ($\omega_2 = 0$) және сырғу $s = 1$.

(13.14) –ге сырғу $s = 1$ қойып, асинхронды қозғалтқыштың іске қосу мезетінің өрнегін аламыз (H_m) :

$$M_{\text{н}} = \frac{m \Pi \omega_{\text{фр}}^{\wedge p}}{M \omega_{\Gamma}^{\Gamma} 1 + \omega_{\Gamma}^2 + (\omega_1 + \omega_2)^2} \quad (13.19)$$

$$0 \quad s_{\text{ном}} \quad s_{\text{кр}} \quad 1 \quad 0 \quad M'' \quad M_{\text{ном}} \quad M' \quad M_{\text{max}}$$

a

б

13.4-сурет. Асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамасы: *a* — $M = f(s)$; *б* — $\omega = f(M)$

Бірлікке жақын сырғанау кезінде (қозғалтқыштың іске қосу режимі) асинхронды қозғалтқыштың алмастыру сызбасының өлшемдері өзінің мәндерін өзгертеді. Бұл негізінен екі фактормен түсіндіріледі:

а) статор мен ротордың тісті қабаттарының магнитті қанығуын күшейту, ол x_1 және j_2 шашыратудың индуктивті кедергісінің азаюына әкеледі;

б) ротор өзегінде r_2 тоқты ығыстыру әсері ротор орамының белсенді кедергісін арттыруға әкеледі.

(13.14), (13.16) және (13.18) бойынша электромагнитті мезетті есептеу кезінде пайдаланылатын асинхронды қозғалтқышты алмастырудың өлшемдері (13.19) бойынша іске қосу мезетін есептеуге пайдаланыла алмайды.

Іске қосу мезетінің M_n әсерімен қозғалтқыш роторының айналуы басталады, мұнда сырғу азаяды, ал айналу мезеті $M = f(s)$ сипаттамасына сәйкес өседі. Шекті сырғу $s^\wedge$ кезінде мезеті максималды мәніне $M_{\max}$ жетеді. Айналу жиілігінің ары қарай өсуімен (сырғудың азаюы) электромагнитті мезет M кемиді, қозғалтқыш роторына тіркелген қарсы әрекет ететін мезеттердің жиынтығына тең бекітілген мәніне жеткенше кемиді: бос жүріс мезеті M_0 және жұмыс машинасында құрылатын кернеудің M_c статикалық мезеті, яғни

$$M = M_0 + M_c. \quad (13.20)$$

Бос жүріс мезеті M_0 қозғалтқыш мойынтірегінде және қылшақтардың түйіспелі сақиналарына (фазалық роторы бар қозғалтқыш үшін) үйкелу күштерімен құрылатын мезетті $M_{тр}$ еңсеруге барады, ал өздігінен желдету қозғалтқыштары үшін (18.2-қараңыз) желдеткіштің айналуына қажетті желдету мезетін $M_{вент}$ еңсеру үшін қажет, ол қозғалтқыш білігінде орналасқан. Осылайша, жұмыс машинасын жұмыс жасауға келтіруге пайдаланылатын қозғалтқыштың пайдалы мезеті электромагнитті мезетінен кем

$$M_2 = M - M_0 = M_c.$$

Қозғалтқышта механикалық шығындарға пропорционал бос жүріс мезетінің шағын көлемін ескере отырып, (13.1-қараңыз) кейбір жақындатумен M және M_c қабылдаймыз.

Қозғалтқыш білігіндегі қарсы әрекет етуші мезет қозғалтқыш жүктемесінде номиналды $M_{ном}$. Бұл жағдайда қозғалтқыштың бекітілген жұмыс режимі $M = M_{ном}$ және $s = s^\wedge$ координаталарына сәйкес номиналды N режиммен анықталады.

Механикалық сипатта талдауына сәйкес, асинхронды қозғалтқыштың тұрақты жұмысы шектіден кем сырғу кезінде ғана мүмкін, яғни механикалық сипаттамасының ОА учаскесінде, ол жұмыс учаскесі деп аталады. Мәселе мынада, сипаттаманың жұмыс учаскесінде

Жұмыс машинасы тарапынан статикалық жүктеме мезетінің өзгерісі қозғалтқыштың электромагнитті мезетінің тиісті өзгеруімен сүйемелденеді. Мәселен, егер қозғалтқыш номиналды жүктеу режимінде тұрақты жұмыс жасаса ($M_{ном}; 5_{ном}$), онда жүктеме статикалық мезетін $M/$ мәніне дейін ұлғайту кезінде мезеттердің теңдігі бұзылады, яғни $M' > M_{ном}$ және ротордың айналу жиілігі азаяды (сырғу көбейеді). Бұл электромагнитті мезеттің мәніне дейін $M' = M/ (B \text{ нүктесі})$ өсуге әкеледі, содан кейін қозғалтқыштың жұмыс режимі қайта тұрақталады, бірақ сырғуы артады 5 (ротордың айналу жиілігі азаяды n). Егер бекітілген номиналды режимде қозғалтқыш жұмысы кезінде МД мәніне дейін статикалық жүктеу мезеті азайса, онда теңдігі бұзылады, бірақ қозғалтқыштың айналу мезеті статикалық жүктеме мезетінен артық болады. Ротордың айналу жиілігі арта бастайды (сырғу азаяды), ол қозғалтқыштың электромагнитті мезетінің $M'' = M' (C \text{ нүктесі})$ мәніне дейін азаюға әкеледі; қозғалтқыштың бекітілген жұмыс режимі қайта қалпына келтіріледі, бірақ электромагнитті мезет пен сырғудың мәндері өзгереді.

Асинхронды қозғалтқыштың жұмысы сырғу $s = s_{XF}$ кезінде $s > s_{xp}$ тұрақсыз болады. Мәселен, егер қозғалтқыштың электромагнитті мезеті $M = M_{max}$ ал сырғу, онда статикалық жүктеу мезетінің болмашы өсуі M_c , сырғудың азаюын арттырып, қозғалтқыштың электромагнитті мезетінің M азаюына әкеледі. Осыдан кейін сырғудың және т.б. артуы болады, сырғу мәніне $s = 1$ жеткенше, яғни қозғалтқыш роторы тоқтамайды.

Осылайша, электромагнитті мезеттің максималды мәніне жеткенше асинхронды қозғалтқыштың тұрақты жұмысының шегі орын алады. Яғни қозғалтқыштың тұрақты жұмысы үшін статикалық жүктеу мезеті қозғалтқыш білігіне әсер етіп, максималды мезеттен кем болу керек: $M_c < M_{max}$. Асинхронды қозғалтқыштың жұмысы сенімді тұрақты болуы үшін және кездейсоқ қысқа мерзімді артық жүктемелер қозғалтқышты тоқтатпау үшін ол артық жүктеу қабілетіне ие болу керек. Қозғалтқышты артық жүктеу қабілеті максималды мезеттің M_{max} номиналды мезетіне $M_{ном}$ қатынасымен анықталады. Жалпыөндірістік арналымдағы асинхронды қозғалтқыштар үшін артық жүктеу қабілеті $1m = 1,7 - 2,5$ құрайды. Қозғалтқыштың жұмысы сырғу $s < s^{\wedge}$, кезінде, яғни механикалық сипаттаманың жұмыс учаскесінде үнемді болады, себебі ол сырғудың шағын мәндеріне сәйкес, яғни ротор орамындағы аз электрлі шығындарға сәйкестенеді $P_{22} = sP^{\wedge}$.

Кейде асинхронды қозғалтқыштардың қасиеттерін талдау кезінде ротордың айналу жиілігінің электромагнитті мезетке тәуелділігі кестесін пайдаланады: $n_2 = f(M)$.

Мұндай кестені (13.4, б-суреті) кестені $M = f(s)$ пайдаланып құру және ротордың айналуы жиілігіне сырғуға тәуелділігі: $P_2 = ni(1 - s)$.

0,1 0,3 0,5 0,7 0,9 s

13.2-мысал. Мәліметтерді есептеу және 4А160М4У3 түріндегі қысқа тұйықталған асинхронды үшфазалы қозғалтқыштың механикалық $M = f(s)$ сипаттамасын құру, номиналды қуаты 18,5 кВт, кернеу 220/380 В, айналу жиілігі 1465 айн/мин.

Ос қозғалтқыштың алмастыу сызбасының өлшемдері $r_1 = 0,263$ Ом. $x_1 = 0,521$ Ом. $r_2' = 0,158$ Ом. x_2'

Шешуі. Қозғалтқыштың механикалық сипаттамасын құруға қажетті мәліметтерді алу үшін іске қосу M_n және максималды M_{max} номиналды электромагнитті мезеттерді $M_{ном}$ анықтаймыз, сонымен қатар сырғу кезінде мезеттердің екі аралық мәні $s > s_{ер}$.

(10.1) бойынша номиналды сырғу $s^{\wedge} = (1500 - 1465)/1500 = 0,023$.

(13.14) бойынша номиналды электромагнитті мезет

$$M_{ном} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,158 \cdot 2}{2p50 \cdot 0,023[(0,263 + 0,158/0,023)^2 + (0,521 + 0,907)^2]} = 121 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Қозғалтқыштың іске қосу мезеті $M_n = M_{ном} = 121 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Қозғалтқыштың максималды мезеті $M_{max} = X_m M_{ном} = 2,3 \cdot 121 = 278 \text{ Н} \cdot \text{м}$. (13.17) бойынша шекті сырғу $s_{ер} = 0,158/(0,521 + 0,892) = 0,112$. $s = 0,2$, $s = 0,4$ және $s = 0,7$ (13.14) бойынша сырғу кезінде электромагнитті мезеттер:

$$M_{0,2} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,158 \cdot 2}{2p50 \cdot 0,2[(0,263 + 0,158/0,2)^2 + (0,521 + 0,892)^2]} = 236 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{0,4} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,158 \cdot 2}{2p50 \cdot 0,4[(0,263 + 0,158/0,4)^2 + (0,521 + 0,892)^2]} = 150 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{0,7} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,158 \cdot 2}{2p50 \cdot 0,7[(0,263 + 0,158/0,7)^2 + (0,521 + 0,892)^2]} = 93,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Есептеу нәтижелері:

s	0	0,023	0,112	0,20	0,4	0,7	1,0
M, Н-м	0	121	278	236	150	93,6	121
M* = M/Mmax	0	0,44	1,0	0,85	0,54	0,34	0,44

Осы мәліметтер бойынша құрылған механикалық сипаттама $M^* = f(s)$, 13.5.-суретте берілген.

Асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамаларын есептеу 13.14 формуласымен әрдайым мүмкін бола бермейді, себебі қозғалтқышты алмастыру сызбаларының өлшемдері әдетте тізімдеме мен анықтамалықтарда берілмейді, сондықтан тәжірибелік есептеулер үшін мезеттің қарапайым формуласы пайдаланылады. Бұл формуланың негізіне асинхронды қозғалтқыш статор орамының белсенді кедергісі

$r_1 = 0$, мұнда

$$M = M_{\max} \frac{1}{\left(\frac{s}{s_{\text{кр}}} + \frac{s_{\text{кр}}}{s} \right)^2} \quad (13.21)$$

Шекті сырғу формуламен анықталады

$$s_{\text{кр}} = s_{\text{нОМ}} (X_M + \frac{1}{l} M^2)^{1/2} \quad (13.22)$$

Механикалық сипаттама есебі қарапайымдалады, егер оны қатысымды бірліктерінде $M^* = M/M_{\max}$ енгізсе. Бұл жағдайда механикалық сипаттама теңдеуі келесідей:

$$M^* = \frac{1}{S / s_{\text{кр}} + s_{\text{кр}} / s} \quad (13.23)$$

13.3-мысал. 4A160M4Y3 түріндегі үшфазалы асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамасын есептеу (18,5 кВт; 1465 айн/мин; $l_M = 2,3$; $M_{\text{п}}/M_{\text{нОМ}} = 1,0$; $s_{\text{кр}} = 0,112$) қатысымды бірліктерде $M^* = f(s)$ (13.23) қарапайым формуламен есептеу және алынған нәтижелерді 13.2 –мысалда есептелген мәліметтермен салыстыру

Шешуі. (13.22) бойынша шекті сырғу

$$s_{\text{кр}} = 0,023(2,3 + \sqrt{2,3^2 - 1}) = 0,100.$$

Мезетінің қатысымды сырғуы M^* сырғанау кезінде: $s^{\wedge} = 0,023$; $s_{\text{кр}} = 0,100$; $s = 0,2$; $s = 0,4$; $s = 0,7$

$$\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{нОМ}}} = 0,46; M^* = \frac{1}{0,023/0,1 + 0,1/0,023} = 1; 0,1/0,1 + 0,1/0,1$$

$$M^*_{0,2} = \frac{0,80}{0,2/0,1 + 0,1/0,2} = 0,80; M^*_{0,4} = \frac{0,4}{0,4/0,1 + 0,1/0,4} = 0,47;$$

$$M^*_{0,7} = \frac{0,28}{0,7/0,1 + 0,1/0,7} = 0,28.$$

s	0,023	0,1	0,2	0,4	0,7
M^*	0,46			0,47	
Қате, %,		1,0	0,80		0,28
мысалының есебімен ...	-4,3	—	+5,9	-6,8	+16,6

Алынған нәтижеге сәйкес, қарапайым формуланы пайдалану (13.23) $s < s_{кр}$ сырғу кезінде механикалық сипаттама жұмыс учаскесін есептеу кезінде анағұрлым мақсатты, себебі бұл жағдайда техникалық есептеулер үшін жол берілетін мәндерінен қате көлемі аспайды. Сырғу $s > s_{Rp}$ кезінде қате 15 — 17 % жете алады. Бұл 13.3-мысалды есептеуде расталады

13.4. Ротор орамының желі кернеуі мен белсенді кедергісі өзгерген кезде асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамалары

(13.14), (13.16) және (13.19) сәйкес асинхронды қозғалтқыштың электромагнитті мезеті, сонымен қатар оның максималды және іске қосу мәндері статор орамында келтірілетін кернеу шаршысына пропорционал:

$M = U_x^2$. Сонымен бірге өрнегінің талдауы (13.15) көрсеткендей, шекті сырғу мәні кернеуге U_b тәуелді емес. Бұл түрлі кернеу U_1 (13.6-сурет) мәндері үшін механикалық сипаттамаларын $M = f(s)$ құрауға мүмкіндік береді, оған сәйкес желінің кернеу U_1 тербелістері оның бастапқы мәніне қатысты максималды және іске қосу мезеттерінің өзгерістерімен ғана $n_{ном}$ сүйемелденбейді, бірақ роторды айналу жиілігімен сүйемелденеді. Кернеудің азаюымен ротордың айналу жиілігі төмендейті (сырғу артады). Кернеу максималды мезет M_{max} көлеміне, сонымен қатар қозғалтқыштың артық жүктеме қабілетіне $1_m = M_{тах}/M_{ном}$ әсер етеді. Мәселен, егер кернеу төмендесе 30 %, яғни $U_1 = 0,7 n_{ном}$, онда асинхронды қозғалтқыштың максималды мезеті екі есе азаяды: $M_{max} = 0,7^2 M_{max} = 0,49 M_{max}$. Қозғалтқыштың артық жүктеу қабілеті қаншалықты азаяды? Егер, мысалы номиналды кернеуде артық жүктеме қабілеті $1_m = M_{max}/M_{ном} = 2$, онда кернеу төмендеген 30 % кезде қозғалтқыштың артық жүктеме қабілеті $1_m = M_{max}/M_{ном} = 0,49 M_{max}/M_{ном} = 0,49 \cdot 2 = 0,98$, яғни қозғалтқыш номиналды жүктемені ұстауға да қабілетсіз болады. Қозғалтқышты қоректендірудің жол берілетін шекті кернеуі онда ол не артық жүктеме қабілеттігін жоғалтады ($1_m = 1$) немесе іске қосу мезеті ($1_n = 1$) бойынша қорын жоғалтады,

Баяндалған ток жиілігінің коректендіру кернеуінің көлемін біруақытта өзгертуге жатады. То кернеуі $U_{\text{и}}$ мен жиілігіне f әсер бірмезеттік асинхронды қозғалтқыштың өзгерісте электромагнитті өзгерісі осы өлшемдердің қатынасына тәуелді (15.4-қараңыз).

(13.16) сәйкес асинхронды қозғалтқыштың максималды мезеті ротордың r_2 белсенді кедергісіне тәуелді емес. Шекті сырғуға $s_{\text{кр}}$ қатысты ол (13.15) сәйкес және кедергісіне пропорционал.

13.6-сурет. Асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамасының түріне кернеу әсері

Осылайша, егер асинхронды қозғалтқышта ротор тізбегінің белсенді кедергісін біртіндеп арттырса, он максималды мезеттің мәні тұрақты болып қалады, ал шекті сырғу артатын болады (13.7-сурет). Мұнда қозғалтқыштың іске қосу мезеті M_n кедергінің r_2 артуымен өседі. Суретте бұл кедергісіне $r_{2//}$ сәйкес, онда іске қосу мезеті максималдыға тең. Кедергіні r_2 ары қарай арттыру кезінде іске қосу мезеті азаяды.

0 s_I s_{II} s_{III} s_{IV} 1 s

13.7-сурет. Ротор орамының белсенді кедергісінің асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамасына әсері

13.7-суретте берілген $M = f(s)$ кестелердің талдауына сәйкес r_2 ротор кедергісінің өзгерістері айналу жиілігінің өзгерістерімен сүйемелденеді: өзгеріссіз r_2 жүктеме мезетінде $M_{ст}$ артуымен сырғу артады, яғни айналу жиілігі азаяды (1,2,3 және 4 нүктелері).

Асинхронды қозғалтқыштардың механикалық сипаттамаларының пішініне ротор орамының белсенді кедергісіне әсері қозғалтқыштарды жобалауда пайдаланылады. Мысалы жалпы арналымдағы асинхронды қозғалтқыштардың жылдамдық сипаттамасы қатты болу керек (137-суретті қара, r_{2l} кезіндегі кесте), яғни шағын номиналды сырғумен жұмыс жасау. Бұл белсенді кедергісі r_2 аз ротор орамы қозғалтқышында қол жеткізіледі. Мұнда ротор орамында электр шығындарының азаюы есебінен қозғалтқыштың ПӘК жоғары ($P_{32} = m_l I^2 r_2$). Таңдалған мән r_2 қозғалтқышқа іске қосу мезетінің мәнін қамтамасыз ету керек. Қозғалтқыштың жоғары іске қосу мезеті болуы үшін ротор орамының белсенді кедергісін арттырады. Бірақ мұнда номиналды сырғудың үлкен мәнін қозғалтқыш иеленеді, яғни ПӘК аз болады.

Қарастырылған $M = f(U_l)$ және $M = f(r_2)$ тәуелділіктері іске қосу және асинхронды қозғалтқыш айналу жиілігін реттеу мәселелерін қарастыруда тәжірибелік мәнге ие (15-тарауды қараңыз).

13.5. Асинхронды қозғалтқыштың жұмыс сипаттамалары

Асинхронды қозғалтқыштың жұмыс сипаттамалары (13.8-сурет) айналу жиілігін n_2 , ПӘК η , пайдалы мезетті (білік мезеті) M_2 , қуат коэффициенті $\cos \varphi$ және статор тогы I_1 пайдалы қуат P_2 , $U_1 = \text{const}$ және $f_1 = \text{const}$.

Жылдамдық сипаты $n_2 = f(P_2)$. Асинхронды қозғалтқыш роторының айналу жиілігі

$$n_2 = n(1 - s).$$

(13.5) бойынша сырғу

$$s = P_2 / P_{эм}, \quad (13.24)$$

яғни қозғалтқыш сырғуы, яғни оның айналу жиілігі ротордағы электромагнитті шығындардың электромагнитті қуатқа $P_{эм}$ қатынасымен анықталады. Ротордағы электр шығындарын назарға бос жүрісте алмай, $P_{32} = 0$ қабылдауға болады, сондықтан бос жүріс режимінде

s_0 және 0 және n_{20} және n_1 . Жүктемені арттыру шамасынша қозғалтқыш білігінде қатынас (13.24) артады, номиналды жүктемеде 0,01 — 0,08 мәндеріне жетеді. Осыған байланысты $n_2 = f(P_2)$ тәуелділігі абцисса осіне ойысқан қиғашты білдіреді. Алайда ротордың белсенді кедергісін арттыру кезінде бұл қисық артады. Бұл жағдайда айналу жиілігін өзгерту жағдайында жүктеме P_2 тербелісінде өседі. Бұл Γ_2 артуымен ротордағы электрлі шығындардар артады (13.3-қараныз).

$M_2 = f(P_2)$ тәуелділігі. Қозғалтқыш білігінде пайдалы мезет тәуелділігі M пайдалы қуаттан P өрнегімен анықталады:

$$M_2 = P_2 / W_2 = 60 P_2 / D_2 P \Pi_2 = 9,55 P_2 / n_2, \quad (13.25)$$

мұнда P_2 — пайдалы қуат, Вт; $w_2 = 2\pi n_2 / 60$ — ротордың бұрыштық айналу жылдамдығы.

Бұл өрнекке сәйкес $n_2 = \text{const}$ егер болса, онда $M_2 = f_2(P_2)$ кестесі түзу сызықты білдіреді. Бірақ асинхронды қозғалтқышта P_2 жүктеменің артуымен ротордың айналу жиілігі азаяды, сондықтан пайдалы мезет M білігінде жүктеменің асуымен біршама P_2 жылдам өтеді, яғни $M_2 = f(P_2)$ кестесінің сызығы қисық болады.

$\cos \varphi = f(P_2)$ тәуелділігі. Статор тогының I_1 реактивті (индуктивті) құраушысы болғандықтан қозғалтқыш магнитті өрісін құру үшін қажетті, асинхронды қозғалтқыштың қуат коэффициенті бірліктен кем. Қуат коэффициентінің кем мәні бос жүріс режиміне сәйкес. Бұл келесідей түсіндіріледі, бос жүріс тогы I_0 кез келген жүктемеде тұрақты болып қалады. Сондықтан шағын жүктемеде статор тогы үлкен емес және көп бөлігінде реактивті болады (I_1 және I_0). Нәтижесінде статор тогының I_1 кернеуге U_1 қатысты фаза бойынша ығысу елеулі болады (φ_1 және φ_0), 90° шамалы аз болады (13.9-сурет).

йг

I_2'

О 0,4 0,8 $P_2/P_{тл}$

13.9-сурет. Шағын жүктемеде асинхронды қозғалтқыштың векторлық диаграммасы

13.10-сурет. Статор орамының жұлдызға (1) және үш бұрышқа (2) бірігу кезінде жүктемеден $\cos j_1$ тәуелділігі

Асинхронды қозғалтқыштардың қуат коэффициенті бос жүріс режимінде әдетте 0,2 аспайды. Қозғалтқыш білігінде жүктемені арттырған кезде токтың белсенді құраушысы өседі және қуат коэффициенті артады, номиналдыға жақын жүктеме кезінде ең үлкен мәнге жетеді (0,80-0,90). Кейінгі жүктемені арттыру азаюымен сүйемелденеді, бұл сырғу есебінен ротордың (x_2s) индуктивті кедергісінің өсуімен түсіндіріледі және бұдан шығатыны ротор тізбегіндегі $y_2 = \arctg(x_2s/r_2)$ фазалық ығысу бұрышын арттыру және ротордағы ток жиілігімен арттыру.

Асинхронды қозғалтқыштардың қуат коэффициентін арттыру мақсатында қозғалтқыш әрдайым жұмыс істеу керек немесе номиналдыға жақын жүктемемен жұмыс жасау керек. Бұл қозғалтқыштың қуатын дұрыс таңдаған кезде болады. Егер қозғалтқыш көп бөлігінде жүктемесі жетпей істесе, онда $\cos j$ арттыру үшін қозғалтқышқа келтіретін кернеуді U_1 азайту керек. Мысалы, статор орамын үшбұрышпен бірікті кезінде жұмыс жасайтын қозғалтқышта мұны статор орамын жұлдызға біріктіріп жасауға болады, ол фазалық кернеуді V_3 есе азайтуды тудырады. Мұнда статордың магнитті ағыны, яғни магниттеуші ток 3 есе азаяды. Сонымен қатар статор тогының белсенді құраушысы бірнеше рет артады. Осының барлығы қозғалтқыш қуат коэффициентін арттыруға септігін тигізеді.

13.10-суретте асинхронды қозғалтқыштың $\cos j$ жүктемеден статор орамын жұлдызша (1-кесте) және үшбұрышпен (2-кесте) біріктіру кезінде тәуелділік кестелері берілген.

13.6. Асинхронды қозғалтқыштың магнитті өрісінің жоғары кеңістікті гармоникасының электромагнитті мезеттері

Бұрын анықталғандай, үшфазалы статор орамының МҚК негізгі гармоникадан бөлек бірқатар жоғары гармоникалар бар (9.5.-қараңыз). Бұл гармоникалардың әрқайсысы машинада айналатын магнитті өріс тудырады, оның айналу жиілігі n рет негізгі гармониканың айналу жиілігі өрісінен кем (9.18-қараңыз). Мұнда МҚК жоғары кеңістікті гармоникалар тәртібінде $n = 6x + 1$ тура айналатын (тура) өріс, ал тәртіп $n = 6x - 1$ гармоникасы – кері айналатын (кері) өрістер.

Асинхронды мезеттер. Жоғары кеңістікті гармоникалардың магнитті өрістері ротор орамымен бірігіп, онда ЭҚК келтіріп, қозғалтқышта меншікті электромагнитті асинхронды мезеттерді құрады. Бұл мезеттер қозғалтқыш қасиеттерін нашарлатады, сондықтан олар паразитті деп атау қабылданған. Электромагнитті мезет және асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамасы өрнегін қарастыру кезінде (13.2-қараңыз) тек негізгі гармониканың магнитті өрістерінің әрекеті ғана қаралды. Егер өрістің жоғары кеңістікті гармоника әсерін ескерсек, онда электромагнитті мезет кестесі (13.4-суретті қараңыз), ол бұрмаланған болады. Бағыты мен n_n айналу жиілігіне байланысты жоғары кеңістікті гармониканың магнитті өрісі және оның құратын электромагнитті мезеті M_n бағытына байланысты жоғары кеңістікті гармониканың магнитті өрістері асинхронды қозғалтқышта үш режимде құра алады: қозғалтқышты режим, егер жоғары гармоника өрісі тура айналады және оның айналу жиілігі $n_n > n_2$, ал мезет M_n бағыты оң, яғни ол негізгі гармоника M мезетіне сәйкес бағытталған; генераторлық режим, егер жоғары гармоника өрісі тура айналатын болса және оның айналу жиілігі $n_n < n_2$ болса, ал мезетінің бағыты теріс, яғни ол M негізгі гармоника мезетіне M_n қарсы бағытталған; тежегіш режим, егер жоғары гармоника M мезетіне қарсы бағытталған.

13.11 а-суретте асинхронды қозғалтқыш мезетінің кестелері берілген

$M_n = f(s)$ жетінші гармониканың тура өрісінен және бесінші гармониканың кері өрісі, мұнда s — негізгі гармоника өрісіне қатысты ротордың сырғуы. Бесінші гармониканың кері өрісі s 0-1 кезінде теріс мезетті M_5 тудырады (тежегіш режим); жетінші гармоника тура өрісі кезінде $0,857 < s < 1$ оң мезетті M_7 құрады (қозғалтқышты режим); ал $s < 0,857$ кезінде – теріс мезет M_7 (генераторлық режим).

13.11-сурет. Айналатын магнитті өрістің негізгі және жоғары (5-7) гармоникаларынан асинхронды мезеттер

M_7 және M_5 мезеттерінің ординаталарын негізгі гармоника мезетінің M ординаталарымен қосып, нәтижеленуші асинхронды мезеттің кестесін аламыз (13.11б-сурет):

$$M_{\text{рез}} = M + M_5 + M_7. \quad (13.26)$$

$M_{\text{рез}}$ мезетінің кестесінің «құлауы» ($0,7 < s < 0,85$ кезіндегі учаске онда $M_{\text{рез}} < M_c$) қозғалтқышты тарату процесін қиындатады және ротордың шағын айналу жиілігінде кептелуін тудырады.

Ең үлкен қауіпті паразитті асинхронды мезеттер ротор орамының қысқа тұйықталған орамында тудырады, себебі бұл жағдайда ротор өзегінде магнитті өріс жоғары гармоникаларымен келтірілген токтарда шағын электрлі кедергі тудырылады. Фазалық роторы бар қозғалтқышта паразитті асинхронды мезеттер біршама әлсіз.

Электромагнитті мезеттің кесте пішініне елеулі әсері тісті тәртіптің гармоникаларынан асинхронды паразитті мезеттеріне әсер етеді (статор Z_1 мен роторда Z_2 тістердің болуымен шартталған):

$${}^n z_1 = (Z_1' / P) \pm i; \quad {}^n z_2 = (Z_2' / P) \pm 1. \quad (13.27)$$

өріс жоғары гармоникаларының қозғалтқыш қасиеттеріне әсерін әлсіретудің тиімді құралы - ротор пазаларын бір тісті бөлгішке қиғаштату. Бұл жағдайда ротор өзегіндегі ЭҚК статор өрісінің тісті гармоникаларынан дерлік нольге дейін төмендейді.

Өрістің жоғары гармоникаларының әсері статор Z мен ротордың Z_2 пазаларының санын дұрыс таңдаумен әлсіретеді, қозғалтқышты жобалау кезінде. $Z_2 < 1,25(Z_1 \pm p)$ қатынасы ұсынылады.

Синхронды мезеттер. Статор мен ротордың жоғары кеңістікті гармоникалардың айналатын магнитті өрістері арқылы, олардың бірдей тәртібі бар, өзара әсерлесудің магнитті өзара әсерлесулері бар. Осы әсерлесудің нәтижесі болып синхронды мезеттің M_{cv} пайда болуы табылады. Жалпы жағдайда статор мен ротор өрісі жоғары кеңістікті гармоникалардан түрлі жиіліктермен айналады ($n_{v1} \wedge n_{v2}$), сондықтан синхронды мезеттің M_{cv} бағыты өзара әсерлесетін өрістердің магнитті полюстерінің өзара орналасуына байланысты өзгеріледі. Әдетте M_{cv} мезетінің өзгеру жиілігі үлкен, ротордың инерциясы үлкен болғанда бұл мезет ротор айналуына елеулі әсер етпейді. Бірақ статор мен ротордың жоғары гармоникалардың өріс роторының айналу жиілігі кезінде бірдей айналу жиілігімен айнала бастайды ($n_{v1} = n_{v2}$). Бұл жағдайда синхронды мезеттің бағыты тұрақты болады. Магнитті өрістердің магнитті полюстерінің өзара орналасуына байланысты M_{cv} мезеті оң немесе теріс бола алады (13.12-суреті).

Асинхронды қозғалтқышта синхронды мезеттер қажет емес, яғни паразитті болып табылады, себебі олар қозғалтқыштың механикалық сипаттамасында төмендету тудыра алады. Синхронды мезеттер ең үлкен мәнінде статор мен ротордың бірдей тәртібінде тіс гармоникалары кезінде жетеді, яғни $v_{z1} = v_{z2}$.

Синхронды мезеттер статор мен ротордың келесі қатынастарында қауіпті болады (Z_1 және Z_2):

$$Z_1 = Z_2; Z_1 - Z_2 = \pm 2p. \quad (13.28)$$

a

б

13.12-сурет. Синхронды мезет бағытына статор мен ротордың өрісінің жоғары кеңістікті гармоникада өзара орналасуының әсері

a — синхронды оң мезет; *б* — теріс бұл да

Статор мен ротор пазаларында сандардың теңдігі ұнамсыз ($Z_1 = Z_2$), себебі ол ротордың статорға жабысуына әкелуі мүмкін: ротор тістері магнитті тартылыс арқылы статор тістері астында ұсталып тұрады. Синхронды мезеттерді азайту роторда пазаларды қиғаштатуға әкеледі.

Бақылау сұрақтары

1. Асинхронды қозғалтқышта шығындардың қандай түрі бар?
2. Неліктен ротор өзегіндегі магнитті шығындарды ескермейді?
3. Әуе саңылауы мен статор өзегінің пластина қалыңдығы қандай шығын түрлеріне әсер етеді?
4. 13.1-мысал мәліметтерін пайдаланып және статор тогының мәндерін белгілеп $I_1 = 0,5, 0,75, 1,15/I_{ном}$ тиісті ПӘК мәндерін анықтап, кестесін құрыңыз $\eta = f(P_2)$; есептеулерде қуат коэффициентінің келесі мәндерін алыңыз: $\cos \phi = 0,4$; $\cos \phi = 0,6$; $\cos \phi_{1.1.15} = 0,8$
5. Неге $I_1 = f(P_2)$ кестесі координата басынан еңбейді?
6. Неге қозғалтқыш жүктемесінде оның номиналдан кем болғанда неге $\cos \phi$ төмен мәндерді иеленеді?
7. Қандай шарттарда жоғары кеңістікті гармоникалар өрісі асинхронды қозғалтқышта қозғалтқышты, генераторлы және тежегіш режимдерін қандай шарттарда тудырады?
8. Механикалық сипаттамасында «құлау» қандай себептерден туындайды?
9. Ротордың статорға «жабысу» қандай шарттарда өтеді?
10. Асинхронды қозғалтқышта «паразитті» мезеттерді қалай әлсіретуге болады?

14 тарау

АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРДЫҢ ЖҰМЫС СИПАТТАМАЛАРЫ ЕСЕПТЕУ ЖӘНЕ ТӘЖІРИБЕЛІК АНЫҚТАУ

14.1. Негізгі ұғымдар

Асинхронды қозғалтқыштардың жұмыс сипаттамаларын құру үшін мәліметтерді алудың екі әдісі бар: тікелей жүктеме және жанама әдіс.

Тікелей жүктеме әдісі қажетті өлшемдерді өлшеумен бос жүрістен номиналды жүктемеге дейінгі ауқымда қозғалтқышты тәжірибелік зерттеуде.

Бұл әдіс әдетте қуаты 10-15 кВт аспайтын қозғалтқыштарда пайдаланылады. Қозғалтқыш қуатының өсуімен оның жүктеме міндеті артады, электр қуатының өнімді емес шығыны және электр желісінің жүктемесі артады. Осы әдісті қолданудағы тағы бір шектеу, қажетті жабдықтың болмауынан және электр желісін артық жүктеудің болдырмау себебінен сынақ қондырғысын құру мүмкін емес.

Әмбебап жанама әдіс кең қолданыс тапты, зерттелетін қозғалтқыш қуаты бойынша шектеулері жоқ. Бұл әдіс екі тәжірибеде орындауда: бос жүріс тәжірибеді және қысқаша тұйықталу тәжірибесі.

Асинхронды қозғалтқыштардың бос жүріс және қысқа тұйықталу әдістері трансформаторлардың осындай тәжірибелеріне ұқсас (1.11-қараңыз). Бірақ олардың барлығының ерекшеліктері бар, басты түрде қозғалтқышта айналу бөлігі – ротордың болуымен шартталған. Сонымен қатар бос жүріс режимінен қысқа тұйықталу режиміне өткен кезде қозғалтқыш орамдарының өлшемдері (белсенді және индуктивті кедергілер) тұрақты болып қалмайды, бұл статор мен ротордың тісті жабынымен түсіндіріледі. Осының барлығы тәжірибе жүргізуде арнайы және олардың нәтижелерін өңдеуде ерекшеліктерді тудырады.

14.2. Бос жүріс тәжірибесі

Асинхронды қозғалтқышты бос жүріс тәжірибесінде қоректендіру (14.1-сурет) ИР кернеудің индукциялық реттеушісі (17.1-суретті қараңыз) немесе реттеуші автотрансформатор арқылы жүзеге асырылады (3.2.-қараңыз), ол кернеуді кең ауқымда өзгертуге мүмкіндік береді. Мұнда қозғалтқыш білігі механикалық жүктемеден еркін болуы керек.

Тәжірибені қоректендірудің жоғары кернеуінен $U_1 = 1,15 U_{1ном}$ бастайды, содан кейін біртіндеп кернеуді дейін түсіреді, ол құралдардың көрсеткіштерін 5-7 нүктелерде алу үшін керек. Мұнда өлшемдердің бірі номиналды $I_{1ном}$ кернеуге сәйкес болу керек.

Кернеудің және токтың желілік мәндерін өлшейді және орташа мәнін есептейді:

$$U_{cp} = (U_{AB} + U_{BC} + U_{CA})/3; \quad (I)$$

$$I_{Ocp} = (I_{OA} + I_{OB} + I_{OC})/3, \quad (14.2)$$

Содан кейін статор орамын байланыстыру сызбасына байланысты кернеу мен бос жүрісті токтың фазалық мәндерін анықтайды:

* Электр қуатын желіге жартылай қайтару сызбасы бойынша қосылған бірнеше электр машинасын қамтитын қондырғылар есептелмейді.

Жұлдызға біріккенде

$$U = U_{cp}/\sqrt{3}; I_0 = I_{cp}; \quad (14.3)$$

Үшбұрышқа біріккенде

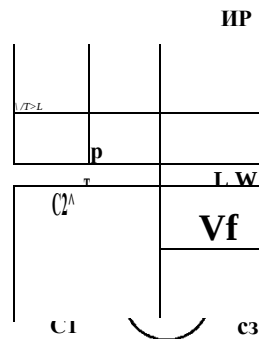
$$U_i = U_{cp}; I_0 = I_{ocp}/\sqrt{3}. \quad (14.4)$$

Ваттметрмен W белсенді қуатты өлшейді P_0 , ол қозғалтқышпен бос жүріс режимінде тұтынылады, ол статор орамындағы электрлі шығындарды $m_1 I_0^2 r_1$, статор өзегіндегі магнитті шығындарды P_m және механикалық шығындарды қамтиды P_{mex} (Вт):

$$P_0 = m_1 I_0^2 r_1 + P_m + P_{mex} \quad (14.5)$$

мұнда r_1 — статор орамы фазасының белсенді кедергісі (Ом), қозғалтқышты желіден ажырату арқылы өлшенген, бірақ орам салқындап үлгермеген.

Қозғалтқышта магнитті және механикалық шығындар жиынтығы (Вт)



14.1. Бос жүріс және

қысқа тұйықталу тәжірибелерінде үшфазалы асинхронды қозғалтқыштың қосылу

$$P_0 = P_m + P_{mex} = P_0' \quad m_1 I_0^2 r_1. \quad (14.6)$$

Бос жүріс режимі үшін қуат коэффициенті

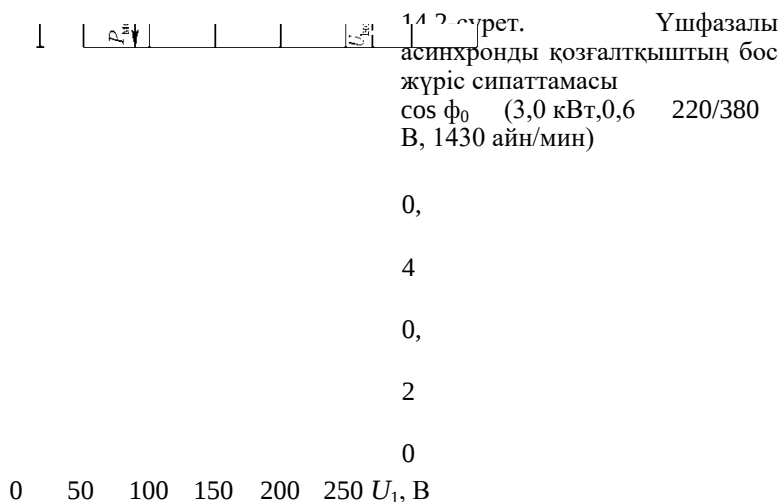
$$\cos \phi_0 = P_0 / (r_1 U_1 I_0). \quad (44.7)$$

Өлшеу және есептеулер нәтижесінде бос жүріс сипаттамасын I_0 , P_0 , P_0' және $\cos \phi_0 = f(U_1)$ құрады, онда көлем мәндерін $T^{\wedge}m$, Ронмен, РОНмен және $\cos$ Фонмен анықтайды, олар номиналды кернеуге сәйкес $U^{\wedge}$ (14.2-сурет). Егер кестесі $P_0' = f(U_1)$ ордината осімен қиылысқанға дейін жалғастырса ($U_1 = 0$), онда P_{mex} шығын көлемін аламыз.

Бұл магнитті және механикалық шығындарды бөлу желінің тұрақты жиілігінде f_1 қозғалтқышта айналу жиілігі бос жүріс режимінде n_0 , яғни механикалық шығындар P_{mex} да тұрақты. Сонымен бірге Φ магнитті ағын статор ЭҚК E_1 пропорционал. Бос жүріс режимі үшін U_1 және E_1 сондықтан $U_1 = 0$ кезінде магнитті ағын $\Phi = 0$, яғни магнитті шығындар $P_m = 0$.

Механикалық шығындардың көлемін P_{mex} анықтап, магнитті шығындарды есептеуге болады (Вт):

$$P_m = P' - P_{mex}. \quad (14.8)$$



Фазалық роторы бар асинхронды қозғалтқыштар үшін бос жүріс тәжірибесінде статор мен ротор орамдары арасында кернеудің трансформация коэффициентін анықтайды. Бұл коэффициент жеткілікті нақтылықпен ротордың ұқсас кернеуіне қатысты статор кернеуінің (фазааралық) орта арифметикалық желілік кернеуіне қатысты анықтала алады.

14.3. Қысқа тұйықталу тәжірибесі

Асинхронды қозғалтқышты байланыстыру сызбасы қысқа тұйықталу тәжірибесі кезінде бос жүріс тәжірибесіндегідей қалады (14.1-суретті қараңыз). Бірақ мұнда өлшеу құралдары ток, кернеу және қуат өлшемдерінің шегіне сәйкес таңдалу керек. Қозғалтқыш роторын қатаң бекітіп, алдын ала қысқа тұйықталу орташа тогына сәйкес келетін қалыпқа келтіру керек. Осы мақсатта қозғалтқышқа шағын кернеу беріледі ($u_k = 0,1 u_{ном}$) және біртіндеп роторды бұрып, амперметр көрсеткіштерін бақылайды, оның тілшесі қозғалтқыш роторының қалпына қарай тербелетін болады. Ол статор мен ротордың тісті аймақтарының өзара ығысуы есебінен түсіндіріледі, ол қозғалтқыш орамының индуктивті кедергісінің тербелістерін тудырады.

Статор тогының шекті мәні қысқа тұйықталу тәжірибесі кезінде желіден қоректендіретін жол берілетін ток жүктемесінен орнатады және қозғалтқыштың қатты қызуын болдырмай, минималды мерзімде тәжірибе жүргізу мүмкіндігін береді. Қуаты 1 кВт дейінгі қозғалтқыш үшін номиналды кернеуден бастап тәжірибе жүргізу $u_k = u_{ном}$. Бұл жағдайда токтың шекті мәні $I_k = (5 - 7)/I_{ном}$. Қуаты көп қозғалтқыштар үшін шекті ток күші $I_k = (2,5 - 5)/I_{ном}$.

Оқу мақсатында қысқа тұйықталу тәжірибесін орындау кезінде токтың шағын мәнімен шектелуге болады $I_k = (1,5 - 2,5)/I_{ном}$. Қысқа тұйықталу тәжірибесін орындау кезінде статор орамын жұлдызша біріктіру орынды.

Статор тогының өзгерістер ауқымын қысқа тұйықталу тәжірибесін кезінде анықтап, тәжірибені осы токтың шекті мәнінен бастайды, индукциялық реттеушіде қысқа тұйықталудың 7_K тиісті кернеуін орнатады. Содан кейін бұл кернеуді ток оның бекітілген мәндерінің ауқымының төменгі шегіне жеткенше сол мәнге төмендетеді. Мұнда 5-7 нүктенің құрал көрсеткіштерін алады, олардың бірі статортотының номиналды мәніне тең болу керек ($4 = 1_{ном}$). Тәжірибе ұзақтығы мүмкіндігінше минималды болу керек. Осы мақсатта тек бір желілік кернеуді өлшейді (мысалы, u_{KAB}), себебі желілік кернеудің кейбір симметриялы еместігі қысқа тұйықталу тәжірибесінде мәнсіз. Желілік токтарды кемінде екі желілік сымда өлшейді (мысалы, 1_{KA} және 1_{KB}). Қысқа тұйықталудың есептік мәні үшін осы екі мәnnің орташа арифметикалығын қабылдайды. Құрылғылардың соңғы көрсеткіштерін алған соң бірден сөндіріп, статор орамының белсенді фазалық кернеуін өлшеу керек, ол орам температурасын анықтау керек. Желілік кернеу мен токты (14.3) және (14.4) ұқсас формулалар 7_K және 4 бойынша фазалыққа санайды.

Ваттметрмен W қысқа тұйықталудың белсенді P_K қуатын өлшейді. Кернеудің 7_K , токтың 4 және қуаттың P_K алынған мәндері бойынша келесі өлшемдерді есептейді: қысқа тұйықталу кезіндегі қуат коэффициенті

$$\cos j_K = \frac{P}{I} (mi \ 7_K/K); \quad (14.9)$$

қысқа тұйықталудың толық кедергісі (Ом)

$$*K = 7_K/4; \quad (14.10)$$

Осы кернеудің белсенді және индуктивті құраушылары (Ом)

$$Г_K = 2K \cos \quad (14.11)$$

ϕ_K ;

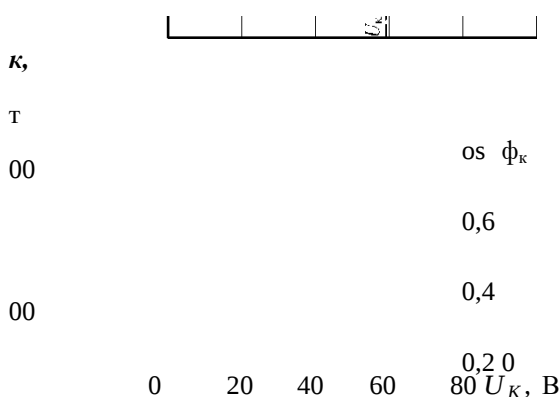
$$x_K = V^{z2} - r_K^2 \cdot \quad (14.12)$$

өлшенген және есептелген көлемдер кестеге енгізіледі, содан кейін қысқа тұйықталу сипаттамаларын құрады 1_K ; P_K и $\cos \phi_K = f(7_K)$ (14.3-суреті).

Қозғалтқыш орамын қысқа тұйықталу тәжірибесі кезінде жұмыс температурасына дейін қызады, себебі қозғалмайтын роторда қозғалтқыш желдетілмейді. Орам температурасын θ_1 (°C)әдетте фаза г/кедергісі бойынша өлшейді, ол тікелей тәжірибе жүргізілген соң формула бойынша өлшенеді

$$\theta_1 = [(r/ri.20)(255/Г_{1.20})] + 20, \quad (14.13)$$

мұнда $Г_{120}$ — суық күйіндегі статор орамы фазасының кедергісі («детте жұмыс температурасы 20 °C), Ом.



14.3-сурет.

Үшфазалы асинхронды қозғалтқыштың қысқа тұйықталу сипаттамалары
(3,0 кВт;
220/380 В; 1430 айн/мин)

Егер орам температурасы есептік жұмыс температурасынан кем болса, қозғалтқышты оқшаулау жылу төзімділіктің тиісті санатты үшін (18.1-суретті қараңыз), онда қысқа тұйықталу белсенді кедергісі r_k (Ом) жұмыс температурасына қайта өлшейді:

$$r_k = r_k' [1 + a(0.02 - \theta)], \quad (14.14)$$

мұнда r' — 0_1 температурасында қысқа тұйықталу белсенді кедергісі, есептік жұмыстан өзгеше; $a = 0,004$.

Содан кейін қысқа тұйықталу толық кедергісінің $z_k = \sqrt{r_k^2 + x_k^2}$ жұмыс температурасын қайта есептейді, қысқа тұйықталу кернеуі $u_k = I_k x_k$ және қысқа тұйықталу қуаты $P_k = 3 I_k^2 z_k$.

Қысқа тұйықталу сипаттамаларында (14.3-суретті қараңыз) қысқа тұйықталу тогына сәйкес келетін $I_k = I_{ном}$ көлем мәндерін $P_{к.ном}$; $u_{к.ном}$ атайды. Қысқа тұйықталу тогы мен қуатын номиналды кернеуге қайта есептейді $u_{I_{ном}}$:

$$I_k = I_{ном} (U_{I_{ном}} / U_{к.ном}) \quad (14.15)$$

$$P_k = P_{к.ном} (U_{I_{ном}} / U_{к.ном})^2. \quad (14.16)$$

Айта кету керек, мұндай есеп жуықталған болып табылады, себебі кезінде $u_k = u_{I_{ном}}$ статор мен ротордың (әсіресе тісті қабаттары) өзеклердің магнитті қанығуы жүреді; бұл индуктивті кедергінің x_k төмендеуіне әкеледі, ол (14.15) және (14.16) формулалары бойынша есептеледі. Іске қосу тогының еселігі $I_k / I_{ном}$ тең.

Қозғалтқыш роторына берілетін қысқа тұйықталу режиміндегі электромагнитті қуат ротор орамындағы электр шығындарына $P_{32к}$ тең, сондықтан қысқа тұйықталу тәжірибесі кезінде электромагнитті мезет (Нм)

$$M_k \wedge M_n = P_{32к} / W = (P_{к.ном} P_{31к} P_{м.к}) / W.,$$

мұнда $P_{\text{эл}} = m_{\text{эл}} K_{\text{дом}}^2 \omega_1^2$ — қысқа тұйықталу тәжірибесі кезіндегі статор орамының электрлі шығындары.

Қысқа тұйықталу $P_{\text{мк}}$ тәжірибесіндегі магнитті шығындар бос жүріс сипаттамалары бойынша жуықтап анықтайды (14.2-суретті қараңыз), кернеуі $U_1 = U_K$. Қысқа тұйықталу тәжірибесінде Φ магнитті ағын қысқа тұйықталуға қарағанда артық, бірақ егер бос жүрісті режимде магнитті шығындар тек статор өзегінде болса (13.1-қараңыз), она қысқа тұйықталу режимінде ($s = 1$) олар ротор өзегінде де пайда болады, себебі бұл жағдайда $f = f_r$. Бастапқы іске қосу мезеті бастапқы іске қосу тогына I_n мезетін M_K қайта есептеу арқылы алады:

$$M_n \ll I_K (1/n/K)^2.$$

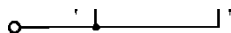
Содан кейін іске қосу мезетінің еселігі анықталады $M_n/M_{\text{ном}}$.

14.4. Асинхронды қозғалтқыштың айналма диаграммасы

Асинхронды қозғалтқыштың алмастыру сызбасын елестетейік (12.2-суретті қараңыз), қарапайым түрде (14.4-сурет), мұнда $R_1 = r_1 + r_m$, $X_1 = x_1 + x_m$; $R_2 = r_2 + q r_2' / s$ және $X_2 = x_2 + c_1 x_2' = x_2$, магниттеу тармағы $R_1 + jX_1$ ауыспалы өлшемдері жоқ, сондықтан ол үшін векторлық диаграмма екі векторды ғана қамтиды: ток векторы I_0 және кернеу векторы U_1 , бір-біріне қатысты j_0 бұрышына фаза бойынша ығысқан (14.5а-суреті). Жұмыс тармағына $R_2 + jX_2$ қатысты, ол R_2 ауыспалы өлшемін қамтиды. Осы тармақ диаграммасын кернеудің тікбұрышты үш бұрыш $U_1 BC$ түрінде елестету ыңғайлы, оның AB және BC катеттері индуктивті $U_L = jI_2 X_2$ және белсенді кернеу $U_R = I_2 R_2$ төмендеуін білдіреді, ал гипотенуза AC – келтірілген кернеу векторы $U_1 = U_R + jU_L$ (14.5-б-суреті).

ABC үшбұрыштың әр жағын X_2 бөліп, HDC үшбұрышын аламыз, катеті ток векторын ($-I_2$) бейнелейді (14.5-сурет). Бұрышында $j_2 = \arctg(X_2/R_2)$ ток I_2 векторына оң бағытта ордината осіне кернеу U_1 векторын келтіреміз. Егер белсенді кедергіні R_2 өзгертсек, онда тізбектегі ток өзгереді, ал катеттер жаңа қалыпты иеленеді: HD_1 и D_1C . Бірақ үшбұрыштың U_1/X_2 гипотенузасы тұрақты болып қалады.

Осылайша, электр тізбегінің жаңа жұмыс режимі D_1 нүктесінің қалпымен диаграмма бойынша анықталады. Егер тізбектің белсенді кедергісін кең ауқымда өзгертсе (нольден шексіздікке дейін), онда ток векторы I_2 диаграммада түрлі қалыптарды иеленеді,



14.4-
сурет. Асинхронды
қозғалтқышты

14.5-сурет. Асинхронды қозғалтқыштың айналма диаграмма

ұшында (Д нүктесі) U_1/X_2 диаметрлі шеңбер болады. $R_2 = 0$ (таза индуктивті жүктеме) кезінде Д нүктесі С нүктесімен үйлеседі. $R_2 = jx$ кезінде ток $I_2 = 0$, сондықтан Д нүктесі Н нүктесімен үйлеседі. Кез келген аралық кедергіде R_2 ток векторының ұшы – 1 НДС маңайында түрлі қалыптарды иеленеді, оны ток шеңбері деп атау қабылданған.

Алынған диаграмма айналмадеп аталады. Егер диаграммаларды үйлестірес, 14.5-суретінде көрсетілген, онда 14.4-суретінде алмастыру сызбасының айналма диаграмма сын аламыз немесе 12.2-суретте бейнеленген алмастыру сызбасын аламыз, яғни асинхронды қозғалтқыштың айналма диаграмма сы (14.5 г-суреті). Ток векторларын I_0 және $-I_2$ қосып, кернеуге қатысты фаза бойынша j бұрышына ығысқан. Айналма диаграмма ның токтарының айналмадиаметрі

$$HC = (U_i / x_k) / m_b$$

мұнда m , — ток масштабы, А/мм.

Айналма диаграмма құру. Айналма диаграмма құру үшін асинхронды қозғалтқышта білу керек: желі кернеуін U_b , бос жүрісті ток I_0 (фазалық), I_0 және C арасында фазалардың ығысу j_0 бұрышы, қысқа тұйықталу тогы $I_{кном}$, сонымен қатар қысқа тұйықталу кедергісі $z_k = z_k + jx_k$. Егер диаграмма құрылысы қозғалтқыш есебі кезінде жүргізілсе, онда қажетті өлшемдер есептеу барысында анықталады. Егер айналма диаграмма ны дайын қозғалтқыш үшін құру керек болса, онда диаграмманың бастапқы мәліметтерін анықтау үшін бос жүріс және қысқа тұйықталу тәжірибелерін пайдалану керек.

Айналма диаграмманы келесі тәртіпте құрады. Координата осін өткізеді және ордината осімен кернеу U векторын құрады (14.6-сурет). То масштабын таңдап (А/мм), I_0 ток векторын өткізеді (ОН кесіндісі), ордината осінің j_0 бұрышында. Н нүктесінен, бос жүріс нүктесі деп аталады, ол $s = 0$ сырғуға тең, НК кесіндісін салатын абцисса осіне параллель түзуін жүргізеді, ол ток айналасының диаметріне тең (мм).

Айналма диаграмманы кейін пайдалануда жеткілікті нақтылығын қамтамасыз ету үшін ток масштабын қабылдау керек, ол D диаметрі кемінде 200 мм болатындай, мұнда барлық құрылыстар үшкір ұшталған қарындашпен жүргізіледі.

НС кесіндісін екі тең бөлекке бөлген кезде O нүктесін аламыз, оған сәйкес жартылай шеңбер жүргізеді $D/2$ радиусымен. Содан кейін H нүктесінен ток ауқымында қысқа тұйықталу тогына баламалары радиустан келтіреді. Осы доғаны кесу орнында және токтардың жартылай доамалқтығында K нүктесін аламыз, қысқа тұйықталу ток векторы $I_{\text{кном}}$ деп аталатын токтарың қоршауын аламыз. H және E нүктелерін біріктіріп, қысқа тұйықталу тогын аламыз $I_{\text{кном}} = I_{\text{л}}$.

H және K нүктелерін біріктіріп, қысқа тұйықталу тогының векторын аламыз. K нүктесінде диаграммада $s = 1$ сырғуға тең.

O_1C кесіндінің орта бөлігінде F нүктесін белгілейміз, онда HC диаметріне перпендикуляр орнатамыз. Бұл перпендикулярда кесіндіні белгілейміз

$$FFi = HF \text{ (rDaO).} \quad (14.18)$$

H нүктесінен F_1 нүктесі арқылы T нүктесінде домалағы бар қиылысуға дейін түзу жүргіземіз. T нүктесі $s = \pm te$ сырғуға тең (ротор сағат тілімен немесе оған қарсы шексіз үлкен жылдамдықпен айналады).

Осылайша, айналма диаграмма да үш тән нүкте белгіленген: : H ($s = 0$), K ($s = 1$) және T ($s = \pm te$). Осы нүктелер арасында асинхронды машинаның мүмкін режимдерінің үш аймағы орналасқан. Ток айналасын сағат тілімен өткен кездебұл режимдерге тән:

- а) НК доғасы — қозғалтқышты режим ($s = 0 — 1$);
- б) КТ доғасы — тежегіш режим ($s = 1 — te$);
- в) ТСН доғасы (соның ішінде 14.6-суретте көрсетілмеген төменгі жартылай шеңбер) — генераторлық режим ($s = —te — 0$).

Рис. 14.6. Круговая диаграмма асинхронного двигателя

Ж және К нүктелерін біріктіріп, НК пайдалы қуат сызығын аламыз, ал Н және Т нүктелерін біріктіріп – НТ электромагнитті қуатының сызығын аламыз.

Айналма диаграммадағы Е нүктесі максималды мезетке тең, яғни y_k шекті сырғуына. Бұл нүктенің қалпы келесідей анықталады: нүктесінен НТ электромагнитті қуатына сызықты перпендикуляр түсіреді және Е нүктесінде шеңберімен қиылысқанға дейін жалғастырады.

Қарастырылған айналма диаграмма қарапайым, себебі ол асинхронды қозғалтқыштың алмастыру сызбасының белсенді және индуктивті тұрақтылық болжамдары кезінде құрылады. Алайда бұл кедергілер қозғалтқыштың өзгертілген жүктемесі кезінде өз мәндерін өзгертеді. Жүктеменің өсуімен статор мен ротордың тісті қабаттарының қанығуы күшейеді, ол x_r , x_m және x_2' индуктивті кедергілердің азаюына әкеледі. Сонымен қатар қозғалтқыштың жүктемесінің өсуі сырғудың артуымен сүйемелденеді, яғни ротор орамында ток жілігі артады. Бұл тоқты ығыстыру әсеріне себебі болып табылады (15.3-қараңыз) – ротор орамының r_2 белсенді кедергісін арттыратын құбылыс. Қарапайым айналма диаграмма ны пайдалану тәжірибесі көрсеткендей, қарапайым диаграмманы пайдалану қателігі $s > s_{Rp}$ сырғу кезінде байқалады, ал $0,4 - 0,5$ асатын сырғу кезінде бұл қателікке жол берілмейді.

14.5. Асинхронды қозғалтқыштың айналма диаграмма бойынша жұмыс сипаттамаларын құру

Оның жұмысының номиналды режимін сипаттайтын, сонымен қатар айналма диаграмма арқылы қозғалтқыштың жұмыс сипаттамаларының құрылу ұстанымын сипаттайтын асинхронды қозғалтқыштың өлшемдерін анықтау кезінде әрекеттер тәртібін қарастырамыз (14.6-сурет). Қозғалтқыш режиміне сәйкес келетін диаграмма учаскесі тым шағын (14.6-суретте ол пунктирлі жиектемеге алынған), сондықтан кейінгі түсініктемелерде 14.7-суреттегі ірі суретті пайдаланамыз.

Статор тогы. М токтар масштабында О нүктесінен статор тогын I_k құрады, мәселен, осы вектордың (D нүктесі) ұшы токтар айналасында жатқан (14.6-суретті қараңыз):

$$OD = I_k j m_{\varphi} \quad (14.19)$$

Содан кейін D нүктесін H нүктесімен біріктіріп, ODH токтар үшбұрышын аламыз, оның жақтарын токтар анықтайды: бос жүріс тогы

$l_0 = m, OH$, ротордың келтірілген тогы $if = mflD$

және статор тогы $i_l = m, OD$.

Ары қарай, D нүктесінен абцисса осіне перпендикуляр (Da) түсіреді, ODa тік бұрышты үшбұрыш алады, одан белсенді және реактивті

$$1_{1a} = mDa; 1_{1p} = m, Oa. \quad (14.20)$$

Егер $U_1 = \text{const}$, ал $i_1 \cos j = 1_{1a}$, онда қуат P_1 статор тогының белсенді құраушысына тура пропорционал ($P_1 = 1_{1a}$). Диаграмманың айналмамаңінде 1_{1a} Da кесіндісімен анықталады, сондықтан келтірілген қуат (Вт):

$$P_1 = mpDa, \quad (14.21)$$

мұнда $m_p = m_l U_l m_i$ — қуат масштабы,

Вт/мм.

14.7-сурет.

Келтірілген қуатты абцисса осінен есептейді, Айналма диаграмма оны келтірілген қуат P_1 сызығы деп атайды, ның жұмыс бөлігі берілген нүктеге дейін токтардың шеңбері.

Пайдалы қуат. Қозғалтқыштың пайдалы қуаты P_2 айналма диаграмма да ток шеңберінен пайдалы қуат сызығына дейін тігінен өлшенген кесіндіміне анықтайды. Токтардың шеңберіне бекітілген нүктесі үшін

$$P_2 = mpDb. \quad (14.22)$$

Электромагнитті қуат және электромагнитті мезет.

Электромагнитті қуат және электромагнитті мезет айналма диаграмма да ток шеңберінен электромагнитті қуат сызығына дейін тігінен өлшенген кесіндімен анықталады. Бекітілген D нүктесіне үшін ток шеңберіне: электромагнитті қуат (Вт)

$$P_{эм} = mpDc; \quad (14.23)$$

Электромагнитті мезет (Н м)

$$M = m^{\wedge}Dc, \quad (14.24)$$

мұнда $m_m = 9,55 m_p/n_l$ — мезет масштабы, Н-м/мм.

Қуат коэффициенті. $\cos j$ қуат коэффициентін анықтау үшін ордината осінде Of ерікті диаметрінің жартылай шеңберін құрады (14.6-суретті қараңыз). Ток айналасында бекітілген D нүктесі үшін $\cos j = Oh/ Of$. Есептеу ыңғайлылығы үшін әдетте $Of = 100$ мм қабылдайды. Бұл жағдайда $\cos j = Oh/100$.

Қозғалтқыш ПЭК. ПЭК-ті пайдалы қуаттың P_2 келтірілген қуатқа P_1 қатынасы ретінде анықтаса, (14.22) және (14.21) ескерсе аламыз:

$$h = Db/Da. \quad (14.25)$$

Алайда осы әдіспен ПӘК анықтау елеулі ақауды береді, себебі ол қозғалтқыштағы барлық шығындарды ескермейді. Сондықтан ПӘК (13.9) және (13.10) бойынша анықтау мақсатты, бос жүріс пен қысқа тұйықталу тәжірибесінің нәтижелерін пайдаланып (14.2 және 14.3-суретті қараңыз): магнитті сомма мен механикалық шығындар:

$$(P_m + P_{\text{мех}}) = P_{01} - m[I\phi_0]; \quad (14.26)$$

статор орамындағы электрлі шығындар (13.2) бойынша анықтайды, ал ротор орамында (13.3) бойынша; қосымша шығындар $P_{\text{доб}}$ номиналды режимде қозғалтқыш жұмысы кезінде қозғалтқышқа келтірілетін қуаттан 0,5 % құрайды.

Қосымша шығындар ток I_b шаршысына пропорционал деп санау қабылданған, себебі қосымша шығындар кез келген (номиналды) жүктемеде

$$P_{\text{д'об}} = P_{\text{доб}}(11/I_{\text{ном}})^2 \cdot \quad (14.27)$$

Қозғалтқыштың артық жүктеу қабілеті. Қозғалтқыштың максималды мезетін анықтау үшін О нүктесінен қуаттың электромагнитті сызығын перпендикуляр түсіріп, ток шеңберіне қиылысқанға дейін жалғастыру керек (Е нүктесі). Е нүктесінен (14.6-суретті қараңыз) ордината осіне параллель түзуін жүргізеді, электромагнитті қуат сызығын қиылысқанға дейін (N нүктесі). Онда EN кесіндісі мезеттер ауқымында максималды мезет мәнін анықтайды:

$$M_{\text{max}} = \text{III}MEK \quad (14.28)$$

Егер нүктесі D ток айналасына номиналды режимге сәйкес келеді, онда қозғалтқыштың артық жүктеме қабілеті

$$M_{\text{max}}/M_{\text{ном}} = EN/Dc. \quad (14.29)$$

Сырғу. Қозғалтқыштың сырғуын әдетте (13.24) бойынша қуат қатынасы ретінде анықтайды:

$$s P_2 / P_{\text{эм}},$$

мұнда $P_{\text{эм}}$ (14.23) бойынша анықтайды.

Жұмыс сипаттамалары. Статор тогының қатар мәндерін беріп, 0,5 $P_{\text{ном}}$; 0,75 $P_{\text{ном}}$; $P_{\text{ном}}$; 1,15 $P_{\text{ном}}$, осы токтардың векторын құрады және (D_1 , D_2 , D_3 және D_4) нүктелердің бірқатар шеңберін алады Олардың әрқайсысы үшін көлемдерінің мәндерінің жұмыс сипаттамаларын құру үшін қажеттісін анықтайды (13.8-суретті қараңыз):

14.6. Асинхронды қозғалтқыштың жұмыс сипаттамаларын есептеудің аналитикалық әдісі

Асинхронды қозғалтқыштардың жұмыс сипаттамаларын айналма диаграмма ны пайдалану арқылы есептеудің қарастырылған графикалық әдісінің елеулі кемшілігі бар – осы диаграмманы құру қажеттігі және құру кезінде де және кейінгі пайдалануда да анықсыздық болады. Жұмыс нәтижелерін есептеудің аналитикалық әдісі қандай да бір кестелік және өлшемдерді қарастырмайды, математикалық есептердің көлемін бірқатар арттыру қарапайым есептеу техникасын қарапайым қолдану қандай да бір қиындықтарды тудырмайды.

Есептеудің аналитикалық әдісі асинхронды қозғалтқыштың алмастыру сызбасына негізделген (12.26-суретті қараңыз). Қозғалтқыштың паспорттық мәліметтері бастапқы болып табылады және бос жүріс тәжірибесін орындау және қысқа тұйықталу нәтижелері (14.2 және 14.3-қараңыз). Есептеу келесі тәртіпте орындалады.

Ротордың келтірілген кедергісін анықтайды (Ом)

$$r_2 = r_K - r_i, \quad (14.30)$$

содан кейін шекті сырғу

$$S_{кр} \ll r_2 / X_K, \quad (14.31)$$

және номиналды сырғу

$$s_{ном} = (nI - n_{2ном}) / n_1, \quad (14.32)$$

Сырғудың бірқатар мәндерін белгілер (барлығы 6-7 мән, соның ішінде номиналды $s_{ном}$ және шекті $s_{кр}$), жұмыс сипаттамаларын құру үшін қажетті көлемдерді анықтайды.

Баламалы белсенді кедергі (Ом)

$$r_K = r_1 + r_2 / S. \quad (14.33)$$

Алмастыру сызбасының жұмыс кескінінің баламалы толық кедергісі (Ом)

$$z_K = \sqrt{r_K^2 + x_K^2} \quad (14.34)$$

Алмастыру сызбасының жұмыс кескінінің қуат коэффициенті

$$\cos \varphi_2 = r_K / z_K. \quad (14.35)$$

Ротордың келтірілген тогы (А)

$$I_2 = UI / Z_K \quad (14.36)$$

Және оның белсенді және реактивті құраушысы (А)

$$I_{2a} = I_2 \cos j_2; \quad (14.37)$$

$$I_{2p} = I_2 \sin j_2. \quad (14.38)$$

Астатор тогының белсенді және реактивті құраушылары (А)

$$I_{1a} = I_{0a} + I_{2a} \quad (14.39)$$

$$I_{1p} = I_{0p} + I_{2p} \quad (14.40)$$

мұнда $I_{0a} = I_0 \cos j_0$ — бос жүрісті токтың белсенді құраушысы; $I_{0p} = I_0 \sin j_0$ — осы токтың реактивті құраушысы.

Статор орамындағы ток (А)

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2}. \quad (14.41)$$

Қозғалтқыш қуатының коэффициенті

$$\cos j_1 = I_a / I. \quad (14.42)$$

Қозғалтқыштың тұтынатын қуаты (Вт)

$$P_1 = m_1 U_1 I_a. \quad (14.43)$$

Статордың электрлі шығындары $P_{\Sigma 1}$ (13.2) бойынша анықталады, электромагнитті қуат $P_{\Sigma M}$ (13.6) бойынша, электромагнитті мезет M – (13.11) бойынша, ротордағы электрлі шығында $P_{\Sigma 2}$ (13.5) бойынша, қосымша шығындар $P_{доб}$ – (13.7) және (13.8) бойынша анықтайды.

Қозғалтқыштың пайдалы қуаты (Вт)

$$P_2 = P_{\Sigma M} - P_{\Sigma 2} - P_{mex} - P_{доб} \quad (14.44)$$

мұнда P_{mex} — механикалық шығындар, Вт; бос жүріс тәжірибесінен анықтайды (14.2-суретті қараңыз).

Қозғалтқыштың пайдалы әрекетінің коэффициенті (13.10) бойынша, ротордың айналу жиілігі – (10.2) бойынша. Қозғалтқыштың (білік мезеті) пайдалы мезеті (Нм)

$$M_2 = 9,55 P_2 / n_2. \quad (14.45)$$

Есептеу нәтижелерін 14.1-кестеде беріледі, содан кейін қозғалтқыштың жұмыс тәжірибелері құрылады (13.8-суретті қараңыз).

Есептік формулалар	Сырғу кезінде өлшемдер мәні, s, тең					
	0,01	0,02	0,03	0,046	0,06	0,20
$r_2 j_s, \text{ Ом}$	180	90	60	39,1	30	10,1
$r_K = r + r^{\wedge} s, \text{ Ом}$	181,7	91,7	61,7	40,8	31,7	11,8
$z_K = V r_K + x_K, \text{ Ом}$	182	92,0	62,5	42,0	33,2	15,5
$\cos j_2 = T k / z_K$	0,998	0,996	0,987	0,971	0,955	0,760
$\Pi \leq^{\wedge}$	1,21	2,39	3,52	5,24	6,63	14,20
$I_{2a} = 12 \cos j_2, \text{ A}$	1,21	2,38	3,47	5,09	6,33	10,7
$I_{2p} = 12 \sin j_2, \text{ A}$	0,08	0,19	0,57	1,25	1,95	9,20
$A a = {}^1_0 a + {}^1_2 a, {}^A$	1,65	2,82	3,91	5,54	6,77	11,10
${}^1_1 p = {}^1_0 p + {}^1_2 p > {}^A$	1,85	1,96	2,34	3,02	3,72	10,9
$ii = {}^{\wedge} / Is \Gamma + \mathcal{K}', \text{ A}$	2,48	3,43	4,55	6,30	7,70	15,5
$\cos j_i = {}^1_{ia} / \mathcal{L}$	0,66	0,82	0,86	0,88	0,88	0,71
$P_i = m U i l i a, \text{ Вт}$	1089	1861	2580	3652	4468	7326
$P_{\text{з1}} = m_1 l_i {}^2 T_i, \text{ Вт}$	31,0	60,0	105	200	302	1225
$P_{\text{эм}} = P_1 - P_{\text{з1}} - P_{\text{м}}, \text{ Вт}$	975	1718	2392	3369	4083	6080
$M = P_{\text{эм}}! w_1, \text{ Н- м}$	6,2	10,9	15,3	21,4	26,0	38,7
$P_{\text{э2}} = {}^{\wedge} \text{ Вт}$	10	34	72	151	245	—
$b^2 = (\mathcal{L} / l_{\text{ном}})^2$	0,15	0,29	0,52	1,0	1,44	—
$P_{\text{доб}} = b {}^2 P_{\text{доб.ном}} \text{ Вт}$	2,7	5,2	9,4	18	26	—
$P_2 = P_{\text{эм}} - P_{\text{э2}} - P_{\text{мех}} - P_{\text{доб}}, \text{ Вт}$	762	1479	2110	3000	3612	—
$\Pi \leq^{\wedge}$	0,70	0,79	0,82	0,82	0,81	—
$n_2 = n_1(1 - s), \text{ айн/мин}$	1485	1470	1455	1430	1410	—
$M_2 = 9,55 P_2 j n_2, \text{ Н- м}$	4,9	9,6	13,8	20,0	24,5	—

14.1-мысал. Үшфазалы асинхронды қозғалтқыштың паспорттық мәліметтері:

$P_{\text{тм}} = 3,0 \text{ кВт}$, $P_{\text{ом}} = 220/380 \text{ В}$, $I_{\text{н}} = 6,3 \text{ А}$, «ном = 1430 айн/мин. Статор орамы фазасының белсенді кедергісі жұмыс температурасы кезінде $r_1 = 1,70 \text{ Ом}$. Қозғалтқыштың бос жүріс сипаттамалары 14.2-суретте берілген. ($I_{\text{ном}} = 1,83 \text{ А}$, $P_{\text{м}} = 300 \text{ Вт}$, $P_{\text{х}} = 283 \text{ Вт}$, $P_{\text{х}} = 200 \text{ Вт}$, $\cos \phi_{\text{ном}} = 0,24$, статор орамы жұлдызша біріккен). Қысқа тұйықталу сипаттамасы 14.3-суретте берілген ($P_{\text{кном}} = 418 \text{ Вт}$, $I_{\text{кном}} = 59,5 \text{ А}$, $P_{\text{ном}} = 6,3 \text{ А}$, $\cos \phi_{\text{юном}} = 0,372$). Мәліметтерді есептеп, қозғалтқыштың жұмыс сипаттамаларын құрып, оның артық жүктеме қабілетін арттыру керек.

Шешуі. Бос жүрісті тоқтың белсенді және реактивті құраушысы $I_0 \cos$

$$jQ_{\text{ном}} = I_{\text{н}}^2 \cdot 0,24 = 0,44 \text{ А}, \\ I_0 \sin \phi_{\text{ном}} = 1,83 \cdot 0,97 = 1,77 \text{ А}.$$

(14.10) бойынша қысқа тұйықталу толық кедергісі

$$Z_{\text{к}} = U_{\text{к.ном}} / I_{\text{к.ном}} = 59,5 / 6,3 = 9,45 \text{ Ом},$$

(14.11) және (14.12) бойынша белсенді және реактивті құраушылары

$$r_{\text{к}} = Z_{\text{к}} \cos \phi_{\text{к.ном}} = 9,45 \cdot 0,372 = 3,5 \text{ Ом},$$

$$x_{\text{к}} = \sqrt{Z_{\text{к}}^2 - r_{\text{к}}^2} = \sqrt{9,45^2 - 3,5^2} = 8,8 \text{ Ом}.$$

(14.30) бойынша белсенді кедергісі келтірген

$$m' = r_{\text{к}} - r_1 = 3,5 - 1,7 = 1,8 \text{ Ом}.$$

(14.31) бойынша шекті сырғу

$$s_{\text{кр}} = r_{\text{к}} / x_{\text{к}} = 1,8 / 8,8 = 0,20.$$

(14.32) бойынша номиналды сырғу

$$s_{\text{ном}} = (n_1 - n_{2\text{ном}}) / n_1 = (1500 - 1430) / 1500 = 0,046.$$

(14.8) бойынша магнитті шығындар

$$P_{\text{м}} = P_0 - P_{\text{мех}} = 283 - 200 = 83 \text{ Вт}.$$

Сырғудың келесі мәндерін белгілейміз: 0,01, 0,02, 0,03, 0,046, 0,06 және 0,20.

Есептеу нәтижелері 14.1-кестеде берілген. Қозғалтқыштың жұмыс сипаттамалары 13,7-суретте берілген.

Қозғалтқыштың артық жүктеме қабілеті $I_{\text{м}} = M_{\text{тах}} / M_{\text{ном}} = 38,7 / 21,4 = 1,81$.

Бақылау сұрақтары

1. Асинхронды қозғалтқыштардың жұмыс сипаттамасы үшін мәліметтерді алудың әдістері қандай?
2. Тікелей жүктеменің әдістері немен шектеледі?

3. Бос жүріс сипаттамалары бойынша қозғалтқыштың механикалық және магнитті шығындарын қалай анықтауға болады?
4. Асинхронды қозғалтқыштың жұмыс сипаттамаларын анықтау кезінде айналма диаграмма ның кемшіліктері қандай?
5. Асинхронды қозғалтқыштың жұмыс сипаттамаларын есептеу кезінде аналитикалық әдістің артықшылықтары қандай?

15 тарау

ҮШФАЗАЛЫ АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРДЫ ІСКЕ ҚОСУ, ЖИІЛІГІН РЕТТЕУ ЖӘНЕ ТЕЖЕЛУІ

15.1. Асинхронды қозғалтқышты фазалық ротормен іске қосу

Асинхронды қозғалтқыштардың іске қосу қасиеттері. Асинхронды қозғалтқышты іске қосу өтпелі процеспен сүйемелденеді, ол ротордың және онда атқару механизмімен механикалық байланысты бөліктерінің бірдей айналу жағдайымен шартталған, қозғалтқыштың айналу мезеті теңестірілген кезде қарсы әрекет ететін мезеттердің жиынтығы қозғалтқыш роторына әсер етеді.

Қозғалтқыштың іске қосу қасиеттері біріншіден іске қосу I_n тогының мәнімен немесе еселігімен $I_n/I_{ном}$ және іске қосу мезетінің M_n мәнімен немесе еселігімен $M_n/M_{ном}$ анықталады. Жақсы іске қосу қасиеттеріне ие қозғалтқыш салыстырмалы түрде шағын іске қосу тогында іске қосу мезетін дамытатын қасиеттеріне ие. Алайда осындай іске қосу өлшемдерін үйлестіру асинхронды қозғалтқышта белгілі қиындықтармен тоғысқан, кейде мүмкін емес болады.

Бастапқы іске қосу мезетінде сырғу $s = 1$, сондықтан бос жүріс тогын назарға алмай, іске қосу тогын (12.25) анықтауға болады, $s = 1$ қоямыз:

$$I_n = U_1 / \sqrt{(r_1 + r_2) + (x_1 + x_2)} \quad , \quad (15.1)$$

(13.19) бойынша іске қосу мезеті. (15.1) және (13.19) сәйкес, қозғалтқыштың іске қосу қасиеттерін жақсарту үшін ротор тізбегінің белсенді кедергісі артады r_2 , себебі бұл жағдайда іске қосу тогын азайту іске қосу мезетін арттырумен сүйемелденеді.

Сонымен бірге кернеу U , қозғалтқыштың іске қосу мезеттеріне әртүрлі әсер етеді: азаюымен іске қосу тогы U_1 азаяды, ол қозғалтқыштың іске қосу мезеттеріне қолайлы әсер етеді, бірақ сонымен бірге іске қосу мезеті азаяды. Қозғалтқыштың іске қосу қасиеттерін жақсартудың белгілі бір әдісін қолдану мақсаттылығы қозғалтқыштың нақты шарттарымен анықталады және оның іске қосу қасиеттеріне қойылатын талаптармен анықталады.

Ток I_n пен мезеттің M_n іске қосу мәндерінен басқа қозғалтқыштың іске қосу мезеттері іске қосу ұзақтығы және баяулығы, іске қосу операциясының күрделілігі, оның үнемділігі секілді көрсеткіштермен бағаланады (іске қосу аппаратурасының бағасы және сенімділігі және ондағы энергия шығындары).

Фазалық роторы бар асинхронды қозғалтқыштарды іске қосу. Фазалық роторы бар қозғалтқыштарда түйіспелі сакиналарының және қылшақтардың болуы ротор орамына іске қосу реостатын (IP) қосу мүмкіндігін береді. Мұнда ротор тізбегінің белсенді кедергісі $R_2 = r_2 + r_{доб}$ мәніне дейін артады, онда $r'_{доб}$ - іске қосу реостатының электрлі кедергісі, ол статор орамына келтірілген. Белсенді кедергінің артқан мәні қозғалтқыштың іске қосу мезетіне M_n әсері (13.19) сәйкес. Бұл әсер графикалық 15.1-суретте көрсетілген, оған сәйкес қосалқы резистордың $r_{доб}$ болмаған кезінде, яғни ротор тізбегінің $R_2 = r_2$ белсенді кедергісі кезінде іске қосу мезеті $M_n = M_{n0}$, онда ротор тізбегін келтіру кезінде кедергісінің $r_{доб}$ қосалқы резисторы $R_2 = r_2 + r'_{доб}$, іске қосу мезеті артуда және $R' = r_2 + r'_{доб} = x_1 + x_2$ кезінде M_{max} үлкен мәніне жетеді, $R_2 > x_1 + x_2$ іске қосу мезеті аяқталады. Кедергіні $r_{доб}$ таңдау кезінде қозғалтқыштың іске қосу шартынан туындайды: егер қозғалтқышты елеулі жүктемелік мезеттен білікте қосылса,

IP

a

б

15.1-сурет. (a) асинхронды қозғалтқыштың $M_n = f(R_2)$ кестесі және іске қосу реостатын фазалық ротор тізбегіне қосу сызбасы (б)

Кедергіні үлкен іске қосу мезетін $\Gamma_{\text{доб}}$ қамтамасыз ететіндей таңдау керек (13.7-суретіндегі Γ_2' кестені қараңыз); егер қозғалтқышты шағын жүктеме мезетінде білікке қосса, және іске қосу мезетінің көлемі шешуші мәнді иеленбесе, резистор кедергісін Γ_d біршама үлкен мәнін таңдау мақсатты, үлкен іске қосу мезетіне сәйкес келеді, яғни $J_2' > x_1 + x_2'$. Бұл жағдайда іске қосу мезеті шамалы кіші мәні болып табылады, бірақ іске қосу тоғы елеулі азаяды (13.7-суретте $r_{2'IV}$ кестесін қараңыз).

(13.17) өрнегіне сәйкесгі шекті сырғу $y_{\text{кр}}$ ротор тізбегінің белсенді кедергісіне тура пропорционал. Сол кезде максималды мезеттің көлемі осы кедергіге тәуелді емес:

$$M_{\text{max}} = \pm \frac{mUiP}{4\pi f_1 [\pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2)^2}]}$$

Фазалық ротордың тізбегіндегі $\Gamma_{\text{доб}}$ қосалқы кедергісінің өсетін мәндері үшін құрылған сипаттамаларымен $M = f(s)$ қуәландырылады (137-суретті қараңыз).

Ротор тізбегінде қосалқы резистор ретінде іске қосу реостаттарын қолданады.

КМ1, КМ2 және КМ3 контактілерімен басқарылатын ІР іске қосу реостатын қолданумен фазалық роторы бар үшфазалы асинхронды қозғалтқышты іске қосу процесін қарастырамыз (15.16-суреті). Қозғалтқыш сипаттамалары ІҚ түрлі сатыларында жұмыс жасау кезінде $M = f(s)$ және $I_2 = f(s)$ 15.2 а және б- суреттерінде ұсынылған. ІР кедергілері мен оларды ауыстыру уақытының мезеттері қозғалтқыштың іске қосу мезеті ІР аз мәнінен $M_{\text{n max}}$ $M_{\text{n min}}$ және $1,1M_{\text{ном}}$ мәндеріне дейін ауысқан кездегі мезеттері тандалған, ауыстырудың іске қосу мезеті деп аталады. Қозғалтқышты желіге қосқан кезде барлық байланыстар өшіріледі және ІР кедергісі $R_{\text{т}}^{\wedge} = \Gamma_{\text{доб1}} + \Gamma_{\text{доб2}} + \Gamma_{\text{доб3}}$ мәнін иеленеді және қозғалтқыштың іске қосу мезеті механикалық сипаттамада басталады және бастапқы іске қосу мезетінің ең үлкен мәні $M_{\text{n max}}$ (15.2-суреті). Осы мезеттің әсерімен ротор оталады, ал мезет пен сырғу азаяды. Сырғу s_1 кезінде іске қосу мезеті $M_{\text{n min}}$ мәніне жетеді. Мұнда КМ1 байланысы іске қосылып, өзінің байланыстарымен резисторларды $\Gamma_{\text{доб1}}$ тұйықтайды. Реостат кедергісі до $R_{\text{пр2}} = + C^{\wedge}$ дейін азаяды.

Осыдан кейін іске қосу 2 сипаттама бойынша жалғасады, ал іске қосу мезеті $M_{\text{n max}}$ мәнін дейін қалпына келеді. Сырғу кезінде s_2 КМ2 байланыстырушысы қосылады және КМ2 өзінің байланыстарымен тағы бір реостат $\Gamma_{\text{доб2}}$ сатысын тұйықтайды. Нәтижесінде кернеуі қайтадан $R^{\wedge} = \Gamma_{\text{доб3}}$ мәнінде дейін азаяды. Іске қосу 3 сипаттамада жалғасады,

0 s_3 s_2 S_j a Is 0 s_3 s_3 s_2 s_x 1 s

6

15.2-сурет. Фазалық ротордың асинхронды қозғалтқыштың реостатты іске қосу мезетінің өзгеру кестесі (a) және іске қосу тогы(b)

Мұнда іске қосу мезеті мәніне $M_{n \max}$ дейін қалпына келеді және соңында сырғу кезінде s_3 КМ 3 байланыстырушысы қосылады және өзінің байланыстарымен ротор орамын тұйықтайды және қозғалтқыш 4 табиғи сипаттамасындағы қозғалтқышқа өтеді, ал мезет пен сырғу бекітілген мәніне дейін жетеді, мысалы $M_{ном}$ және $I_{ном}$. Осылайша, іске қосу мезетінде кейбір орташа мәнін

$$M_{п.ср} = 0,5(M_{п.макс} + M_{п.мин}).$$

Іске қосу мезетінде қозғалтқышта ток 1, фазалық ротор тізбегінде 15.2б-суретінде көрсетілгендей өзгерісі өтеді. Мұнда ток ротор орамында үлкен мәнінен I_{21} кіші мәнін I_{22} дейін өзгереді, ауыстыру тогы деп аталады.

Іске қосу тогының орташа мәні тең

$$I_{п.ср} = 0,5(I_{22} + I_{21}).$$

Басқа сызбасын қарапайымдату мақсатында және аппаратура бағасын төмендету мақсатында ІР қадамдарының саны әдетте 2-4 арасын қабылдайды. Іске қосу реостатының сатыларын ауыстырып қосу процесі автоматтандырылады.

Іске қосу реостарының қадамдарының кіші саны қозғалтқыштың форстелген іске қосуға сәйкес келеді, оның шағын ұзақтығы бар, іске қосу тогының өткір зымыраған кезде болады. Қалыпты іске қосу кезінде сатылар саны артады, ол іске қосу операциясының баяу процесіне септігін тигізеді. Бірақ мұнда іске қосу ұзақтығы кседі және іске қосу аппаратурасының бағасы резисторлардың $r_{доб}$ үлкен санының есебі артады, және КМ ауыстырып қосатын контактілері бар. Іске қосу режимі кезінде қозғалтқыш білігінде жүктеменің статикалық мезетін және қоректендіру желісінде токтың жол берілетін көлемін ескереді.

15.2. Қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды қозғалтқыштарды іске

Желіге тікелей іске қосу (15.3-сурет). Іске қосудың бұл әдісі қарапайымдылығымен ерекшеленіп, кемшілігі бар: статор орамында желіге қосылатын қозғалтқыштың қосылу мезетінде іске қосу тогы туындайды, қозғалтқыштың номиналды тогынан 5-7 есе артады. Шағын инерттілік кезінде қозғалтқыштың айналу жиілігінің арқару механизмі бекітілген мәніне жылдам жетеді және іске қосу тогы жылдам азаяды, статор орамының астам қызуына жол бермейді. Бірақ осындай токтың елеулі зымырауы қоректендіру желісінде онда кернеудің елеулі төмендеуін тудырады, ол осы желіге қосылған басқа тұтынушылардың жұмысын бұзады.

Алайда іске қосудың бұл әдісі өзінің қарапайымдылығы арқасында кіші және орта қуаттағы қозғалтқыштар үшін үлкен қолданысты иеленді. Асинхронды қозғалтқыштың шекті қуаты әр жеке жағдайда анықталады және желіден қоректенетін жол берілген жүктемесіне сәйкес. Осындай қозғалтқыштың желіге қосылуы өзге күштік және жарықтандыру құралдарын қоректендіреді, осы желіде кемінде 15 % кернеудің номиналды мәнінен төмендеуін тудырмау керек. Мұнда іске қосу қозғалтқышының шартын назарда ұстау керек: бос жүрісті режимінде іске қосу немесе жүктемеге қосады.

Қозғалтқыштың іске қосу тогын азайту қажеттігі кезінде төмен кернеуде асинхронды қозғалтқышты іске қосудың арнайы әдістерін қолданады.

$$MI$$

$$0 \qquad n_{2\text{ном}} \quad n_2 = n_1 \quad n$$

a

б

15.3-сурет. Қысқа тұйықталу роторы бар асинхронды қозғалтқышы желіге тікелей қосу (*a*) және іске қосу мезеті мен токты өзгерту кестесі (*б*)

Төмен кернеу кезінде іске қосу. (15.1) сәйкес қозғалтқыштың іске қосуға сәйкес келтірілген кернеуге U_1 пропорционал, төмендеу іске қосу тоғын тиісті азайтуды тудырады. Қозғалтқышқа келтіретін кернеудің бірнеше әдістері бар. Кейбірін қарастырайық.

Статор орамасын үшбұрышқа біріктіру кезінде жұмыс жасайтын асинхронды қозғалтқыштар үшін статор орамын жұлдыздан үшбұрышқа ауыстырып іске қосу (15.4а-суреті). Қозғалтқышты желіге қосу мезетінде ауыстырып қосқышты «жұлдыз» қалпына салады, яғни статор орамы жұлдызға біріккен болады және статордағы фазалық кернеу V_3 есе төмендейді. Сонша рет қозғалтқыштың фазалық орамдарындағы ток азаяды (15.4б-суреті). Сонымен қатар орамдар жұлдызбен біріктірген кезде сызықтық ток фазалыққа тең, ал осы орамдарды желілік токқа үшбұрышқа біріктіру фазалықтан V_3 есе артық. Яғни статор орамын жұлдызбен қосқанда, біз желілік ток $(V_3)^2$ есе рет азайтуға мүмкіндік береді. Қозғалтқыш роторы айналу жиілігіне орнатылған жақын болсағ ауыстырғыш «үшбұрыш» қалпына ауыстырып, қозғалтқыштың фазалық орамдары қалыпты кернеуде болады. Мұнда туындаған ток $I_{нд}$ берілісі мәніне дейін елеусіз болады.

Іске қосудың қарастырылған әдісінде елеулі кемшілік бар – фазалық кернеудің U_1 V_3 есе төмендеуі іске қосу мезетінің үшеуге азаюын әкеледі, себебі (13.19) сәйкес асинхронды қозғалтқыштың іске қосу мезеті кернеу шаршысына тура пропорционал. Мұндай іске қосу мезетін елеулі азайту қозғалтқыш үшін іске қосудың бұл әдісін қолдануға мүмкіндік бермейді, олар желіге біліктегі елеулі жүктемесінде қосылады.

a

б

15.4-сурет. Статор орамы жұлдыздан үшбұрышқа бірігетін қысқа тұйықталған ротор бар асинхронды қозғалтқыштың қосулы сызбасы (*a*) және іске қосу мезеті мен тогының (фазалық) өзгерту кестесі (*б*)

Іске қосу кезінде кернеуді төмендету әдісі статор орамы үшбұрышқа біріккен жағдайда жұмыс жасайтын қозғалтқыштар үшін ғана қолданылады. Іске қосудың анағұрлым әмбебап тәсілі қозғалтқышқа келтірілетін кернеуді реакторлар арқылы төмендету (реактивті шарғылар - дроссельдер). Бұл жағдайда қозғалтқышты қосу тәртібі келесідей (15.5а-суреті). Ашық ажыратқышта 2 1 ажыратқышт қосады. Мұнда ток желіден статор орамына Р реакторлар арқылы түседі, онда кернеу $D_{пжр}$ құлайды (мұнда x_p – реактордың индуктивті кедергісі, Ом). Нәтижесінде статор орамына төмен кернеу $U \neq U_{ном}$ — $D_{пжр}$ жіберіледі. Қозғалтқыш роторы оталған соң қозғалтқыш 2 ажыратқышты қосады және статор орамында келтірілетін кернеу номиналды болады.

Асинхронды қозғалтқышты іске қосу кезінде дроссельдерді пайдалану артықшылығы ротордың оталу шамасына қарай ток жиілігі роторда ($f_2 = f_1s$) төмендейді, сонымен қатар дроссельдің кедергісі $x_p = 2pf_1s$ азаяды. Іске қосу соңында x_p және 0.

Осы әдістің кемшілігі кернеудің ($U // U_{ном}$) төмендеуі іске қосу мезетінің $M_n (U // U_{ном})^2$ есе азаюымен сүйемелденеді.

Төмендетуші трансформатор арқылы қозғалтқышты іске қосқан кезде (15.5б-суреті) басында ажыратқышты 1 тұйықтайды, ол автотрансформатор орамын жұлдызша біріктіреді, содан кейін ажыратқышты қосады 2 және қозғалтқыш төмен кернеуге $U/қосылады$. Мұнда қозғалтқыштың іске қосу тогы автотрансформатор шығысында өлшенеді және K_A есе төмендейді, мұнда K_A – автотрансформатордың трансформатор коэффициенті. Желіні қоректендіру қозғалтқышына қатысты, яғни ток автотрансформатор кірісінде, ол K_A^2 есе төмендейді қозғалтқышты желіге тікелей қосқан кезде іске қосу тогымен салыстырғанда азаяды. Мәселен, төмендетуші автотрансформаторда

а

б

15.5-сурет.

Қысқа тұйықталған
роторы бар
асинхронды
қозғалтқыштың
реакторлық (а) және
автотрансформаторлы

бірінші ток екіншісінен K_A есе аз және сондықтан автотрансформаторлық іске қосу кезінде іске қосу тогының азаюы $K_A K_A = K_A^2$ құрайды. мысалы, егер асинхронды қозғалтқышты іске қосу еселігі оны желіге тікелей қосқан кезде $I_n / I_{ном} = 6$, а құрайды, ал желі кернеуі – 380 В, онда автотрансформаторлық іске қосу кезінде кернеу 220 В дейін төмендейді, іске қосу тогының еселігі желіде $I_n / I_{ном} = 6 / (380 / 220)^2 = 2$ құрайды.

қозғалтқыш роторын бастанқы оталдырудан соң ажыратқышты ашады және автотрансформатор реакторға айналады. Мұнда статор орамының шығысындағы кернеу бірнеше рет артады, бірақ номиналлыдан кем болып қалады. Ажыратқышты қосқанда 3 қозғалтқышқа желінің толық кернеуі беріледі. Осылайша, автотрансформаторлық іске қосу үш сатымен өтеді: бірінші сатыда қозғалтқышқа $U = (0,50 \wedge 0,60) U_{ном}$ кернеуі беріледі және екіншісінде $U = (0,70 \wedge 0,80) U_{ном}$ және соңғысы үшінші сатысында қозғалтқышқа номиналды кернеу $U_{ном}$ келтіріледі. Іске қосудың алдыңғы әдістері секілді кернеу төмен болған кезде автотрансформаторлық әдіс іске қосу мезетінің азаюымен сүйемелденеді, себебі соңғының мәні кернеу шаршысына тура пропорционал. Іске қосудың автотрансформаторлық әдісі реакторлыққа қарағанда жақсы, себебі реакторлық іске қосуда іске қосу тогы қоректендіру желісінде $U / U_{ном}$ есе азаяды, автотрансформаторлық кезінде $-(U / U_{ном})^2$ азаяды. Бірақ іске қосу операциясының кейбір күрделілігі және іске қосу аппаратурасының қымбат бағасы (төмендетуші автотрансформатор және ауыстырып қосатын аппаратура) бұл асинхронды қозғалтқышты іске қосу әдісін біршама шектейді.

15.3. Жетілдірілген іске қосу сипаттамалары бар қысқа тұйықталған асинхронды қозғалтқыштар

Қысқа тұйықталу роторы бар асинхронды қозғалтқыштардың іске қосу қасиеттерін жақсартуға ұмтылу ротор құрылысы ерекше асинхронды қозғалтқышты құруға әкелді: роторда пазалары терең қозғалтқыштар және роторда екі қысқа тұйықталған торлары бар қозғалтқыштар.

Роторда пазалары төмен қозғалтқыш. Бұл қозғалтқыш қалыпты асинхронды қозғалтқышпен салыстырғанда оның ротор пазалары тар саңылау түрінде жасалған, онда ротор орамының өзектері салынған, тар металл сызықтарды білдіреді. Екі жағынан өзектер тұйықтау сақиналарына балқытылған. Әдетте терең пазада көлемдердің келесі қатынасы болады $H_n / B_n = 9 \wedge 10$, мұнда H_n , B_n — паза биіктігі мен ені.

Қозғалтқышты қосқан кезде ротор қозғалыссыз және ротор орамындағы ток жиілігі үлкен мәнге ие ($I_2 = I_1$),

15.6-сурет. Терең пазалары бар ротор:

a — құрылғы; b — қозғалтқышты іске қосқан кезде және жұмыс істеген кезде өзегінің биіктігі бойынша ротор тогының тығыздығын үлестіру

әр өзектің төменгі бөлігінің индуктивті кедергісі үстінгісінен үлкен. Өзектің төменгі бөлігі шашырату өрісінің магнитті күштік желілерінің көп санымен біріккен (15.6а-суреті). 15.6 б-суретінде пазалары терең ротор өзегінің биіктігі кезінде іске қосу тогының тығыздығын үлестіру кестесі көрсетілген. Бұл кестеге сәйкес ротор тогының барлығы дерлік өзектің үстінгі бөлігіне келеді, көлденең қимасы барлық өзектің қимасынан аз. Бұл ротор өзегінің белсенді кедергісін арттыруға тең, белгілі болғандай, ол қозғалтқыштың іске қосу мезетінің өсуіне септігін тигізеді және іске қосу тогының шектеуіне әсер етеді (13.4-қараңыз).

Осылайша, роторда пазалары терең қозғалтқыш үлкен іске қосу мезетіне ие. Ротордың айналу жиілігінің өсу шамасы бойынша ротордағы ток ($f_2 = sf_1$) азаяды, осыған байланысты ротор орамының индуктивті кедергісі $x_2 = f_2$ азаяды. Ток тығыздығын өзектің биіктігімен үлестіру бұл жағдайда бірдей болады, ол ротордың белсенді кедергісінің азаюына әкеледі. Айналу жиілігі номиналды қозғалтқыш жұмысы кезінде болған $f_2 \ll f_k$ кезде токты ығыстыру процесі тоқтатылады және қозғалтқыш жұмыс жасайды, әдетте, қысқа тұйықталған.

Токты ығыстыру әсері құты тәріздес роторының пазалары кезінде жақсы көрінеді (15.7-сурет). Бұл жағдайда токты ығыстыру пазаның үстінгі бөлігіне келеді, оның қимасы аз, яғни кедергісі белсенді. Құты тәрізді пазаларды пайдалану ротор пазасының биіктігін қысқарту мүмкіндігін береді, яғни терең пазалы ротормен салыстырғанда ротор диаметрін азайтады. Роторда екі торы бар қозғалтқыш. Сонымен қатар она үздік іске қосу қасиеттеріне асинхронды қозғалтқышты роторда екі қысқа тұйықталған торлары бар түрі бар (15.8а -суреті).



15.7-сурет. Ротор өзегінің құты пішіні

15.8-сурет. Екі торлы роторы:

a — құрылғы; *б* — қозғалтқышты іске қосу және жұмысы кезінегі жұмыс және іске қосу торларында токтың тығыздығын үлестіру

жұмыс торы 1, өзектері төменгі қабатта орналасқан, және іске қосу торы 2, оның өзектері үстіңгі қабатта орналасқан, әуе саңылауына жақын. Іске қосу торының өзектері әдетте жез немесе қола материалдарынан орындалады, ол мысқа қарағанда жоғары белсенді кедергіге ие. Шашыратылған іске қосу торының индуктивті кедергісі үлкен емес, себебі оның өзектері әуе саңылауына жақын орналасты және екі жағынан әуе саңылаулары бар (15.8б-суреті). Жұмыс торының өзектері мыстан орындалады және іске қосу торының өзектерімен салыстырғанда олардың қимасы аз. Бұл жұмыс торына аз белсенді кедергісін қамтамасыз етеді. Бір жұмыс торының индуктивті кедергісі іске қосуға қарағанда артық, әсіресе іске қосудың бастапқы мерзімінде, онда роторда ток жиілігі салыстырмалы үлкен (f_2 және f_1).

Қозғалтқышты іске қосқан кезде ротор тогы негізінен үстіңгі (іске қосу) торында жүреді, ол аз индуктивті кедергіге ие. Мұнда іске қосу торының өзегіндегі ток тығыздығы жұмыс торының өзектеріндегі ток тығыздығынан біршама көп (15.8б-суреті). Бұл тордың жоғары белсенді кедергі қозғалтқышқа төмен іске қосу тогында елеулі іске қосу тогында елеулі. Ротордың айналу жиілігін арттыру шамасында роторда ток азаяды, мұнда жұмыс торының индуктивті кедергісі төмендейді және іске қосу өзегінде ток тығыздығын үлестіру және жұмыс торы шамалы бірдей. Нәтижесінде торлар арасында айналу мезеті қайта үлестіреді: егер іске қосу мезетінің бастапқы мерзімі басты түрде іске қосу торы тогымен құрылса, онда іске қосу мезеті аяқталған соң жұмыс торының негізгі токтарында құрылады. Себебі ротордың белсенді кедергісі бірдей емес, онда тәуелділік $M = f(s)$ бұл торларда түрлі қисық болады (15.9-сурет).

Іске қосу торының максималды мезеті жоғары белсенді кедергі салдарынан сырғу жағына ығысқан, бірлікке жақын. Екі тордың да айналу мезеттері бір жаққа бағытталған, сондықтан қозғалтқыштың нәтижеленуші мезеті іске қосу мезеттерінің жиынтығына тең: $M_{п.к}$ және жұмыс $M_{р.к}$ торлар: $M = M_{п.к} + M_{р.к}$. роторда екі торы бар қозғалтқыштар қалыпты құрылымдағы асинхронды қозғалтқыштармен салыстырғанда бағасы қымбат, ол құрылым күрделілігімен түсіндіріледі.

15.9-сурет. Екі торлы асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамалары

Ротор орамында белсенді кедергісі жоғары қозғалтқыш (сырғуы жоғары). Осындай қозғалтқыштың ротор орамы арнайы балқытпамен құю әдісімен орындалады, онда үлесті электрлі кедергісі жоғары. Ротор орамының белсенді кедергісінің жоғарылауы қосалқы резистордың фазалық ротор тізбегіне қосылуға баламалы (15.1-сурет), ол бізге белгілі болғандай іске қосу тогының біруақытта артуына септігін тигізеді. Осы қозғалтқыштардың негізгі кемшілігі – төмен ПӘК, ротор орамында үлкен электрлі шығындармен шартталған, жоғары белсенді кедергіге ие.

Қысқа тұйықталу роторы бар қозғалтқыштардың іске қосу қасиеттерін салыстыру үшін бір габаритті асинхронды қозғалтқыштардың техникалық мәліметтері берілген (9-габарит), айналу жиілігі синхронды бірдей

15.1-кесте

Типтік көлемі	A02-91	A0C2-91	A0П2-91
Ротордың қысқа тұйықталған орамының құрылымы	Қалыпты	Жоғары белсенді кедергісі	Терең пазалы
$P_{ном}, кВт$	75	61	75
$\Delta_{ном}, \%$	2	6	1,6
$\eta_{ном}, \%$	92,5	86	92
$i_{п}/i_{ном}$	7,0	7,0	7,5
$M_{п}/M_{ном}$	1,1	2,9	2,1



(1500 айн/мин), бірақ құрылысы әр түрлі (15.1-кесте). Келтірілген кестеге сәйкес, ротор орамының белсенді кедергісі жоғары (сырғуы жоғары) ПӘК және номиналды қуаты басқа қозғалтқыштарға қарағанда аз, іске қосу мезетінің еселігі үлкен.

Жақсартылған іске қосу қасиеттері бар қозғалтқыштардың қалыпты құрылымдағы қозғалтқыштармен салыстырғанда бағасы қымбат. Сондықтан осындай қозғалтқыштарды қолдану іске қосу шарттары ауыр электржетектерінде ғана орынды (жүктеменің үлкен статикалық мезеті немесе айналу бөлшектерінің инерция мезеті). Осылайша, қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды қозғалтқыштарды іске қосу қасиеттерін жақсартудың әдістердің барлығында кемшіліктері бар.

15.10-сурет. Қорғау-іске қосу құрылғысы

Қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды қозғалтқыштарды іске қосу қасиеттерін жақсартудың әдістердің тиімдісі (баяу қосылу, іске қосу тогының берілісін шектеу) қорғау-іске қосу құралдарын ҚІҚ пайдалану болып табылады (15.10-сурет). Бұл құрылғы кернеудің тиристорлы түзушісі КТТ негізінде құрылған, оның негізгі элементтері тиристорлар – басқарылатын диодтар. КТТ басқа қорғау-іске қосу құрылғысы ББ басқару блогы, ток тетігін ТТ қамтиды, одан ББ*на желілік сымдардағы ток көлемі туралы ақпарат түседі және кернеу тетігі КТ БТ желідегі кернеу көлемі және фазалардың мүмкін симметриялы еместігі туралы ақпарат береді. ҚІҚ қорғау функциясы қозғалтқыш артық жүктемесі немесе фазалардың бірі үзілген кезде қозғалтқыш желіден ажыратылады. ҚІҚ басқару ҚББ қашықтан басқару блогынан жүзеге асырылады, ол диспетчерлік пультте орналасады.

15.4. Асинхронды қозғалтқыштың айналу жиілігін реттеу

Асинхронды қозғалтқыштың роторының айналу жиілігі

$$\omega = m(1 - s) = (f \cdot i \cdot 60/p)(1 - s). \quad (15.2)$$

Осыған сәйкес, асинхронды қозғалтқыштың роторының айналу жиілігін үш көлемнің бірі арқылы реттеуге болады: сырғу s , статор орамындағы ток жиілігі f немесе статор орамындағы полюстер саны $2p$.

Айналу жиілігін реттеу сырғуды s өзгерту арқылы үш әдіспен орындалады: статор орамына келтіретін кернеу көлемінің өзгеруі, осы кернеудің үшфазалы жүйесінің симметриялылығы бұзылуы және ротор орамының белсенді кедергісін өзгерту.

Айналу жиілігін реттеу сырғуды өзгертумен тек жүктелген қозғалтқышта ғана болады. Бос жүріс режимінде сырғу, яғни айналу жиілігі де дерлік тұрақты болып қалады, олар синхронды айналу жиілігінен шамалы өзгеше.

Келтірілетін кернеуді өзгертудің айналу жиілігін реттеу. Реттеудің осы әдісінің мүмкіндігі $M = f(s)$ кестелермен расталады, олар түрлі U мәндері үшін құрылған (13.6-суретті қараңыз). Тұрақты жүктемеде қозғалтқыш білігінде қозғалтқышқа келтірілетін кернеуді арттыру айналу жиілігінің өсуі тудырады. Алайда кәдімгі құрылыстағы асинхронды қозғалтқыштардың айналу жиілігін реттеу қозғалтқыштың тұрақты жұмысының аймағы тұрақтылығының тар болуынан шағын болады. Қозғалтқышқа келтірілген кернеуді U астам артқан кезде магнитті мен электрлі шығындар лезде артады. Сонымен бірге U кернеу азайған кезде, қозғалтқыш артық жүктеме қабілетінен айырылады, ол, әдетте, желі кернеуінің шаршысына пропорционал (13.3-қараңыз). Айналу жиілігін реттеудің кең ауқымы ротор орамының белсенді кедергісі жоғары қозғалтқыштарда болады (13.7-суретті қараңыз).

Кернеуді U номиналдыдан төмен ғана өзгертуге болады, себебі қозғалтқышта номиналдыдан жоғары кернеу келтіру мүмкін емес. Осылайша кернеуді азайтқан кезде ротордың айналу жиілігі өзгерісіз жүктеме мезетінде азаяды (сырғу артады). Бірақ мұнда ротор орамындағы электрлі шығындар өседі, олардың көлемі $P_{\Sigma} = sP_x$ сырғуға пропорционал, мұнда P_{Σ} — қозғалтқыштың электромагнитті қуаты. Бұл қозғалтқыш ПӘК елеулі азаюына әкеледі, әсіресе айналу жиілігі төмен кезде. Мысалы, айналу жиілігі екі есе ($s = 0,5$) азайған кезде қозғалтқыштың электромагнитті қуаты ротордағы электрлі шығындарды жабуға жұмсалады. Ал егер статордағы шығындарды екерсек, онда қозғалтқыш ПӘК екі есе азаяды.

АД жұмыстың қолайсыз режимі кезінде айналу жиілігін реттеуде кернеудің U өзгеруі желіден қозғалтқышпен тұтынылатын ток I_1 , кернеуге U_1 пропорционал, ал қозғалтқыштың электромагнитті мезеті осы кернеу шаршысына пропорционал. Сондықтан кернеудің азаюы шамасы бойынша қозғалтқыштың электромагнитті мезеті M желіден қозғалтқыштың тұтынатын тогына I_1 қарағанда аз, яғни бұл көлемдер (I_1/M) артады.

Сондықтан айналу жиілігінің төмендеуі токтың I_1 елеулі артуымен сүйемелденеді. Осындай қолайсыз қатынастардың нәтижесі болып реттелетін қозғалтқыштағы шығындардың өсуі мен оның астам қызып кетуі табылады.

Желдеткіш жүктемесі бар механизмдерінің электр жетегі ерекшелік болып саналады, оның жүктемесінің M_c статикалық мезеті айналу жиілігінің шаршысына пропорционал $M_c = n_2$ (13.2-сурет). Бұл жағдайларда қозғалтқышқа айналу жиілігі аз мезетінде салыстырмалы шағын токпен құрылады, сондықтан үлкен шығындар болмайды.

Асинхронды қозғалтқыштардың қоректендіру кернеуін реттеу автотрансформаторы (АТ) арқылы өзгертуге болады, ол желі мен статор орамы арасындағы желілік сымдарға қосылады (15.11а-суреті).

Қоректендіру кернеуін U_1 сонымен қатар үшфазалы қанықтыру дросселімен ҚД реттеуге болады (15.11б-суреті). Дроссельдің жұмыс орамдары ЖО қозғалтқыштың қоректендіру тізбегінде индуктивті кедергі X_L тудырады, мұнда кернеу тікелей қозғалтқыш кірісінде тең В,

$$U_1 = u - jhx_L.$$

Дроссельдің басқару орамы БО тұрақты ток көзіне қосылған. Басқару орамдағы ток көлемі жұмыс орамдарының индуктивті кедергісіне сәер етеді. Басқару тогының артуымен дроссель өзеклерінің магнитті қанығуы күшейеді және жұмыс орамдарының кедергісі X_L азаяды (қозғалтқышты қоректендіру кернеуі артады) және керісінше басқау тогының азаюымен дроссель кедергісі артады, ол қозғалтқышта кернеудің төмендеуіне әсер етеді, яғни айналу жиілігі азаяды. Үлкен габариттер мен елеулі массасы

а

б

15.11-сурет.
Қоректендіру кернеуін
өзгертумен айналу
жиілігін реттеу

реттелетін дроссельдің себебі
олардың қолданысын шектейді.



Кернеудің тиристорлы реттеуші
лерді КТР пайдалану рационалд,
себебі ол артқылы қозғалтқыш
статоры орамында f_1 ток жиілігі

өзгеріссіз болғанда кернеу U/реттеледі.

Осындай реттеушінің күштік жағы

Алты тиристордан тұрады (әр

Фазада екеуден), олар қарсы

-параллель сызба бойынша қосылған

(15.12-сурет), ол статор орамы тізбегінде

екі жарты мерзім ішінде токтың 15.12-сурет. Кернеудің

өтуін қамтамасыз етеді (токтың оң тиристорлы реттеушісі

жартылай мерзімі тек бір тиристор арқылы ғана,

ал теріс-басқасы арқылы).

Тиристорларды басқару импульсті-фазалық басқару блогымен (ИФБЖ) автоматты реттеу жүйесінен (АРЖ) келетін және басқару дабылы қызметінде басқарудың қажетті бұрышы (фаза) бар тиристорлар электродтарға берілетін басқару импульсі арқылы жүзеге асырылады. ТРН сызбасы жеңілдейді, егер тиристорлардың орнына симисторларды қолданса, олар екі бағытта токтардың өтуін қамтамасыз етеді.

Айналу жиілігін реттеу келтірілген кернеу симметриясын бұзушылық алдында. Үшфазалы жүйе қозғалтқышына келтірілетін симметриясы бұзған кезде статор өрісінің айналатын кернеуі эллипстік болады (9.4.-қараңыз). Мұнда өріс кері құраушыны иеленеді (қарсы өріс), ол айналатын мезетке M_{np} қарсы бағытталған мезетті $M_{обр}$ құрады. Нәтижесінде нәтижеленетін электромагнитті қозғалтқыш мезеті азаяды ($M = M_{np} - M_{обр}$).

Қозғалтқыштың механикалық сипаттамалары бұл реттеу әдісінде симметриялы кернеу кезінде сипаттамалар арасындағы аймақта орналасады (15.13-сурет, 1 қисығы) және қозғалтқыштың бір фазалы қоректендіру сипаттамасымен (2 қисығы) – үшфазалы кернеудің симметриялы еместігінің шегі. Осылайша, реттеудің бұл әдісі айналу жиілігін номиналдықтан төмен өзгерту мүмкіндігін береді.

Симметриялы емес келтірілетін кернеуді реттеу үшін фазалардың бірінің тізбегіне бір фазалы реттеуші автотрансформаторды қосуға болады (15.13 б-суреті). АТ шығысында кернеуді азайтқан кезде артады және ротордың айналу жиілігі азаяды. Реттеудің бұл әдісінің кемшілігі реттеудің тар аймағы мен қозғалтқыш ПӘК кернеу симметриялы еместігін арттыру шамасында азаяды. Әдетте айналу жиілігін реттеудің бұл әдісін қуаты аз қозғалтқыштарда пайдаланады.

а

б

инхронды

қозғалтқышың

механикалық

сипаттамалар (а) және

қосылу сызбасы (б)

үшфазалы жүйенің

симметриясын

өзгертудің айналу

жиілігін реттеу кезінде

Ротор тізбегінде белсенді кедергіні өзгертудің айналу жиілігін реттеу. Айналу жиілігін реттеудің бұл әдісі тек фазалық роторлы қозғалтқыштарда ғана мүмкін. Асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамалары ротор тізбегінің белсенді кедергісінің түрлі мәндері үшін (13.7-суретті қараңыз), көрсеткендей ротордың белсенді кедергісінің артуымен берілген жүктеме мезетіне сәйкес болатын сырғу артады. Мұнда қозғалтқыштың айналу жиілігі азаяды. Сырғу тәуелділігі (айналу жиілігі) ротор тізбегінің белсенді кедергісінен түрлендірумен алынған формуламен білдіріледі (13.13):

$$s = m_I I_2^2 \phi / (w_I M). \quad (15.3)$$

ротор тізбегінің белсенді кедергісін практикалық өзгерту ротор тізбегіне реттеу реостатын қосумен (РР) қол жеткізіледі, ол іске қосу реостатына сай (ІР), бірақ ұзақ жұмыс мерзіміне есептелген. Ротордағы электрлі шығындар сырғуға ($P_{\Sigma} = sP^{\wedge}$) пропорционал сондықтан айналу жиілігінің азаюы (сырғуды арттыру) ротор тізбегіндегі электрлі шығындардың артуымен сүйемелденеді және қозғалтқыш ПЭК төмендеуімен сипатталады. Мәселен, егер өзгеріссіз жүктеме мезетінде қозғалтқыш білігінде сырғу 0,02-0,5 аралығында сырғиды, ол айналу жиілігін шамалы екі есе азайтады, онда ротор тізбегіндегі шығындар қозғалтқыштың электромагнитті қуатының жартысын құрайды. Ол реттеу әдісінің үнемсіздігін куәландырады. Сонымен қатар ротордағы өсімнің жоғалуы айналу жиілігінің төмендеуі салдарынан желдету шарттарының нашарлауымен сүйемелденеді, ол қозғалтқыштың артық жүктемесіне әкеледі (18.2-қараңыз).

Реттеудің қарастырылған әдісінің тағы кемшілігі бар, оның механикалық сипаттамасының учаскесі қозғалтқыштың тұрақты жұмысына сәйкес келіп,

$$M = 9,55 P/n = \text{const},$$

онда қозғалтқышқа келтірілетін кернеуді жиілікке пропорционал өзгерту керек:

$$U \ll n_{1\text{шж}} (//\text{ом}), \quad (15.4)$$

мұнда $n_{1\text{ном}}$ $n_{1\text{ном}}$ — қозғалтқыш статоры орамына келтірілетін кернеу мен ток жиілігінің номиналды мәндері; U_1 және f_1 — кернеу мен ток жиілігінің нақты мәндері.

(15.4) сәйкес электромагнитті мезеттің тұрақтығы жағдайында статор орамына келтірілетін кернеу U_1 жиілікті f_1 , яғни $U_1/f_1 = \text{const}$ өзгертуге пропорционал реттеледі. Номиналдыдан жоғары айналу жиілігін реттеу ерекшелік болады, яғни номиналдыдан жоғары жиілікті f_1 арттыру. Мұнда кернеуді U_1 арттырудың болжалды шамасы номиналдыдан артық, бірақ қозғалтқыштарды пайдалану шарттары бойынша жол берілмейді. Бұл жағдайда ток жиілігін арттыру кернеудің артуымен сүйемелденбейді және оны номиналды мәніне тең етеді. Мұнда айналу жиілігі өседі, ал максималды мезеті мен қозғалтқыштың артық жүктеме қабілеті қозғалтқыштың айналу жиілігін өзгертуге пропорционал өзгереді.

Егер жүктеменің статикалық мезетінің M_c кестесі 13.2-суретте көрсетілген түрде болса, онда 3 кесте және электржетектің айналу жиілігін реттеу қозғалтқыштың тұрақты қуаты кезінде болса, онда қуат тұрақтылығы шарты орындалады, яғни

$$P = 0,105 M n = \text{const}, \quad (15.5)$$

және келтірілген кернеуді өрнегіне сәйкес өзгерту керек

$$U_1 \sim U_{1\text{н}} \sqrt{VA} / f_{1\text{ном}}, \quad (15.6)$$

я

ғни

$$U_{1/4} / = \text{const}. \quad (15.7)$$

Бұл жағдайда электромагнитті мезет айналу жиілігіне кері пропорционал өзгереді,

$$M = 9,55 P/n. \quad (15.8)$$

Және, нәтижесінде жүктеменің желдету сипаты жағдайында (13.2-суреті, 2 кесте) статор орамына келтірілетін кернеуді ауыспалы ток жиілігінің шаршысына пропорционал өзгерту U_1 керек болғанда

$$U_1 / f_1^2 = \text{const}. \quad (15.9)$$

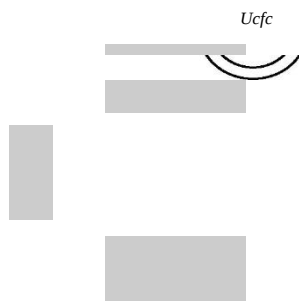
Бұл жағдайда қозғалтқыш мезеті айналу жиілігі шаршысына пропорционал өседі.

Асинхронды қозғалтқыштың жиілікті реттеуіне ең көп қолданысты жиілікті тиристорлық тудырушылар ЖТТ алды. Әдетте мұндай тудырғыш басқарылатын түзетушіден БТ және автономды инвертордан АИ тұрады. Екі блок та тиристорға құрылған, оларды басқарда импульсті-фазалық басқару жүйесі ИФБЖ қолданылады (15.15-сурет). Басқарушы сигнал ИФБЖ кірісіне автоматты басқару жүйесінен (АБЖ) келеді. Бұл дабыл кернеу U_1 мен жиілік f_1 мәндері туралы ақпаратты қамтиды, оларды статор орамына жіберу керек, қозғалтқыштың қажетті жұмыс режимін қамтамасыз ету үшін. ИФБЖ шығысында сигналдары U_U және U түзіледі. U_U сигналы басқарылатын түзеткіш БТ кірісіне беріледі және тұрақты ток U_d кернеуін анықтайды, ол автономды инвертор АИ кірісіне беріледі, кернеудің U_1 қажетті мәнін қамтамасыз ету үшін керек. U_f сигналы инверторға АИ келеді және ТЖТ шығысында ауыспалы f_1 ток жиілігінің мәнін анықтайды. Қарастырылған ТЖТ қажетті ауқымда баяу реттеуді қамтамасыз етеді. ТЖТ негізгі кемшілігі – шығысында ауыспалы кернеудің синусоидалдығы еместігі, ол қозғалтқышта шығынның өсуіне әкеледі.

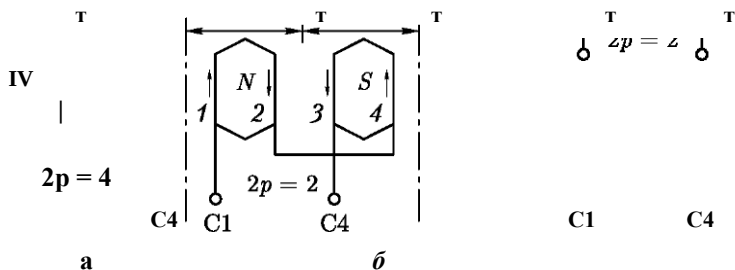
Айналу жиілігін статор орамының полюстері санның өзгертумен реттеу. Айналу жиілігін реттеудің бұл әдісі сатылы реттеуді береді. Мәселен кезінде және полюстер жұбы 1-5 аралығында болған кезде айналудың келесі синхронды жиіліктерін алуға болады: 3000, 1500, 1000, 750, 600 айн/мин. Статор орамындағы полюстер санын өзгерту статорда екі орамда полюстердің әр түрлі полюстер санымен немесе құрылымы шарғылық топтарды ауыстыру арқылы полюстердің түрлі санын алуға мүмкіндік беретін құрылым.

Соңғы әдісі анағұрлым үлкен қолданысқа ие.

Төрт полюсті орамды екі полюстіге түзудің ұстанымы (бір фаза үшін) 15.16-суретте көрсетілген: екі шарғының ретті байланысы кезінде олардың магнитті өрісі төрт полюсті түзеді;



15.15-сурет. Жиілік тиристорлы түзуші функционалдық сызбасы



15.16-сурет. Полюстердің әр түрлі санына статор орамының шарғысына қосылу сызбасы

(15.16-сурет); ретті қарсы (15.16-сурет) немесе параллель байланысы (15.16-сурет) — екі полюс. Осылайша, полюсті ауыстырылатын орамды түзу ұстанымы орам фазасы бөлікке бөлінеді (шарғылық топтар), байланыс сызбасын өзгертеді, олар полюстердің түрлі санын алады.

Үш жылдамдықты АД статорда полюстердің бекітілген саны бар бір орамды және бір полюсті ауыстырылатынды орналастырады. Егер статорда екі полюсті ауыстырылатын орамдарды орналастырса, онда төрт полюсті қозғалтқыш аламыз. Алайда бір орамды да қолдану орынды, оны полюстердің түрлі саны алынғанша төрт нұсқасына дейін шарғылық топтарға ауыстыруға жол береді. Мысалы, 4А180М12/8/6/4 түріндегі асинхронды қозғалтқыштың статор орамы бар, 12, 8, 6, 4 полюстің жол берілетін ауыстырылуы. Статор орамдарының шарғылық топтарды ауыстырудың кейбір сызбаларын қарастырайық.

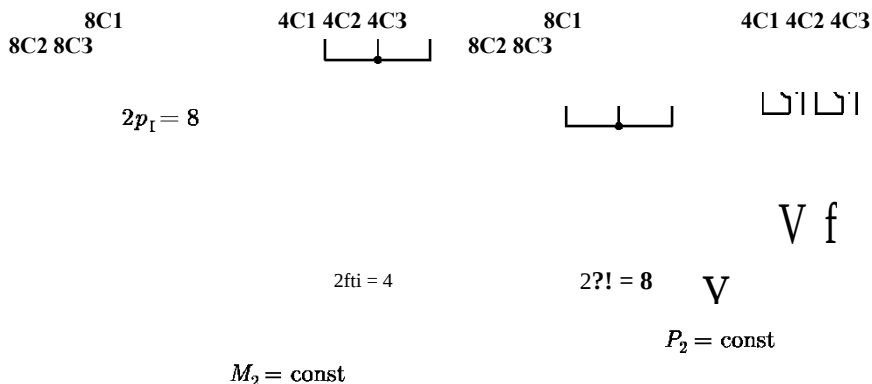
«Жұлдыз – екілік жұлдыз» сызбасы (Y/Y) 2:1 қатынасына полюстердің жұптарының санын өзгертеді (15.17а-суреті). Бұл сызбалар асинхронды қозғалтқышта тұрақты мезет режимін қамтамасыз етеді, яғни статор орамын бір сызбадан екіншісіне ауыстырып қосуда айналудың өзгеріссіз қалады (M және const), ол 15.17-суретте көрсетілген. Қозғалтқыш қуаты мұнда айналудың жиілігі өзгерісіне кері пропорционал өзгереді, яғни екі есе ($P_{Y/Y}/P_Y$ және 2). Ауыстырып қосу әдісін кез келген айналудың жиілігіндегі кез келген жүктеменің қолданыстағы статикалық мезетін электр жетекте қолдану мақсатты, яғни жүкәроба жетегінде.

«Жұлдыз-жұлдыз» сызбасы (Y/Y) сонымен қатар 2:1 қатынасында полюстерінің жұбын өзгертуге мүмкіндік береді (15.17-суреті), бірақ бұл сызбалар асинхронды қозғалтқыш режимінде тұрақты мезет құрады, яғни орам ауыстырып қосу кезінде АД қуаты дерлік (P және const) өзгеріссіз қалады, ал мезет екі есе (M_{YI}/M_{YII} және 2). өзгереді. Бұл ауыстыру сызбаларын электр жетекте қолдану керек, онда жүктеме мезеті айналудың жиілігіне кері пропорционал өзгереді, мысалы металл кесетін станок жетегінде.

Көп жылдамдықты айналу жиілігін сатылы реттеуге жол беретін электржетектерінде кең пайдаланады (лифтілерді жетегі, станок, желдеткіш жетегі және т.б.). реттеудің осы әдісінің артықшылығы бір айналу жиілігінен екіншісіне өткен кезде жоғары экономикалық көрсеткіштерді сақтау, себебі статор орамының ауыстыру сатыларында ПӘК және қозғалтқыш қуатының коэффициенті дерлік өзгеріссіз қалады. Алайда бұл қозғалтқыштардың бірқатар кемшіліктері бар: құрал күрделілігі, үлкен габаритте, қымбат бағасы. Сонымен қатар статор орамын полюстердің түрлі санын ауыстыру қажеттігі коммутациялайтын аппаратурасын күрделендіру қажеттігі, ол электр жетектің қымбаттауына әкеледі.

Өнеркәсіппен көп жылдамдықты А4 сериялы екі және төрт полюсті АД дайындалады.

Айналу жиілігін статорда полюстер санын өзгертуді реттеу тек қысқа тұйықталған ротордағы асинхронды қозғалтқыштарда болады, себебі осы ротордың орамындағы полюстер саны статор полюстерінің санына тең және айналу жиілігін өзгерту үшін статор орамындағы полюстер санын өзгерту жеткілікті.



a

б

15.17-сурет. Полюстер санын ауыстыру сызбасы және тұрақты мезет режимінде(а) және тұрақты қуат (б)режимдеріндегі механикалық сипаттамалары

Фазалық ротор жағдайында роторда да полюсті ауыстырылатын орамды қолдану керек, ол қозғалтқышты күрделендіруге әкелетін еді.

Айналу жиілігін импульсті реттеу. Қозғалтқыштың айналу жиілігін импульсті реттеу ұстанымы мынада: статор орамы мерзімді мерзімді желіге қосылады, содан кейін өшіріледі; немесе статор тізбегіне немесе фазалық роторға ретімен тізбекке қосылған резисторлар немесе мерзімді тұйықталатын тізбектерде шектелетін ток. Мұнда қозғалтқыш ротор айналымы жылдамдығын үнемі жылдамдату және баяулату режимінде болады.

Қарапайым жағдайда АД импульсті реттеу КМ байланыстырғышы арқылы жүзеге асыруға болады (15.18а-суреті), оның орамына тұрақты кернеуден u_k басқарушы импульстер беріледі, t_n ұзақтығы t_n үзілістерімен кезектеседі. Егер іске қосылу уақыты және контакторын жіберу уақытын қабылдаса, нольге тең болады, онда қозғалтқыш роторының айналу жиілігін өзгерту кестесін басқару импульстерін кезектестіру кестесімен үйлестіруге болады. t_n уақытында айналу жиілігі n_n дейін өседі, үзілісі уақытында ол мәніне n_n дейін кемиді (15.18б-суреті). Нәтижесінде ротор кейбір орташа айналу жиілігімен айналады:

$$n_{cp} = (n_n + n)^{1/2} \quad (15-10)$$

Ротордың айналуының орташа жиілігі басқару коэффициентіне байланысты $g = 4/T$: g үлкен болған сайын n_{cp} айналу жиілігі артады. Мұнда $T = \Delta + B_n$ мерзім деп аталады.

Импульсті реттеу кезінде айналу жиілігінің тербелістер диапазоны T бір мерзімі ішінде $n_n - n$ құрайды және бұл тербелістер аз болған сайын, жетектің айналатын бөліктерінің инерция мезетін үлкен және импульстердің ілесу жиілігі n_k .

a

б

К контакторы арқылы импульсті реттеу АД күштік тізбегін коммутациялайтын контактілерін қатардан жылдам шығару есебінен жетек жұмысының жеткілікті сенімділігін қамтамасыз етпейді.

15.5. Асинхронды қозғалтқыштың тежелу режимдері

Электр жетегінің жұмысы кезінде қозғалтқыш пен айналу механизмінің айналатын бөлшектерінде елеулі кинетикалық энергия жиналады, ол қозғалтқышты өшіргеннен кейін осы бөліктердің айналуының ұзақтығының себебі болады, ол көп жағдайда жұмыс шарттары бойынша жиі жол берілмейді. Осы себеппен электр жетегін жылдам тоқтату қажеттігі туындайды, ол үшін қозғалтқыштың тежегіш режимдері қолданылады. Үшфазалы асинхронды қозғалтқыштардың кейбір режимдерін қарастырайық.

Генераторлық (рекуперативті) тежеу. Асинхронды қозғалтқыштың генераторлық режимге өту шарты, онда қозғалтқыш роторының айналу жиілігі статорды магнитті өрісінің синхронды айналу жиілігінен артады

($n_2 > n_1$). Бұл жағдайда қозғалтқыштың электромагнитті мезеті теріс болады (13.2-суретті қараңыз), ал өндірілетін электр энергиясы желіге береді, яғни рекуперативті тежеудің генераторлық режимі орын алады.

Бұл режимді жұмыс жасап тұрған қозғалтқышта ш синхронды айналу жиілігін азайт арқылы алуға болады. Синхронды $n_1 = (f \cdot 60) / p$ жиілік өрнегіне сәйкес оны екі әдіспен жасауға болады: статор орамында полюстер жұбының саны артады немесе коректендіру кернеуі f_1 жиілігі азаяды. Мысалы, бұл көп жылдамдықты асинхронды қозғалтқышта мүмкін, статор орамында шарғылық топты ауыстыру арқылы полюстердің түрлі (кемінде екеу) санын алуға мүмкіндік беретін құрылымы болады (қысқа тұйықталған ротордың полюстер саны әрдайым статор полюстерінің санына тең). Түсіндіру үшін 15.19-суретіне жүгінеміз, онда $n = f(M)$ екі механикалық сипаттама көрсетілген, екі жылдамдықты асинхронды қозғалтқыш: бір сипаттамасы сәйкес келеді $p = 2$ ($f_1 = 50$ Гц $n_1 = 1500$ айн/мин), ал басқасы $p = 4$ ($f_1 = 750$ айн/мин сәйкес келеді). Мұнда қозғалтқыштың механикалық сипаттамасы $p = 4$ кезінде генераторлық режимге сәйкес келетін координата осінің екінші квадрантында орналасқан учаскеде құрылған (M мезетінің мәні шартты). Мәселен, қозғалтқыш статор орамы қосылған кезде полюстер жұбының саны $p = 2$ номиналды жүктеме режимінде жұмыс жасайды (B_d нүктесі).

Генераторлық тежеу үшін статор орамын $p = 4$ (қозғалтқышты желіден ажыратпай) полюстер санына ауыстырады.

Бастапқы мезетте қозғалтқыш роторы инерциясының әсерінде бұрынғы айналуын жалғастырады және қозғалтқыштың жұмыс режимі B_T нүктесіне басқа механикалық сипаттамаға $p = 4$ өтеді және қозғалтқыштың теріс мезеті ($-M_T$) тежегіш болады. Осы мезеттің әсерінде айналу жиілігі азаяды $p_{n2} < p_{n1}$ мәніне дейін, ал асинхронды генераторда алынатын электр энергиясы желіге қосылады.

15.19-сурет. Генераторлық тежеу режимі

Тежелудің генераторлық режимі «аздап тежеу» үшін пайдаланылады, яғни механизмді толық тоқтатқанша жылдамдықты азайту үшін пайдаланады. Мұны күрт тоқтаған кезде болуы мүмкін механикалық соғылу мен итерудің болмауы үшін жасайды. Мысалы «аздап тежеуді» лифті мен өзге көтергіш механизмдерінде қолданады.

Айналудың синхронды жиілігін n сонымен қатар ауыспалы ток жиілігін азайту f_1 арқылы азайтуға болады. Бұл тиристорлы басқарылатын асинхронды қозғалтқышты ТЖТ жиілігін түзуден қоректендіру арқылы мүмкін (15.15-суретті қараңыз). Ток f_1 жиілігін біртіндеп төмендете отырып, қозғалтқышты толық тоқтатқанға дейін айналу жиілігін азайтуға болады. Генераторлық рекуперативті тежелу сонымен қатар белсенді статикалық мезеті бар көтергіш құралда мүмкін. Түсірілетін жүк массасының салмағында түсіру режимінде ротордың айналу жиілігі артып, айналудың синхронды жиілігінен асатын мәнге жетеді және АД генераторлық режимге өтеді. Мұнда өндірілетін электр энергиясы желіге жіберіледі.

Динамикалық тежелу. Асинхронды қозғалтқышта қозғалтқыш ауыспалы ток желісінен өшірген кезде және тұрақты ток көзіне қосу кезінде орын алады. Мәселен, егер қозғалтқыш ауыстыру қосылғышы болса, II үшфазалы желіге қосылған (15.20а-суреті), онда оның динамикалық тежелуі үшін бұл ауыстырып қосқышты 1 қалыптан 2 қалыпқа ауыстыру керек. Мұнда статор орамында тұрақты ток пайда болады, ал статордың құрылатын магнитті өрісі көлемі бойынша тұрақты және кеңістікте қозғалыссыз болады. Бұл жағдайда ротор орамында инерция бойынша айналуын жалғастырады, ауыспалы E_2 ЭҚК келтіріледі. Себебі ротор орамы тұйықталған, онда E_2 ЭҚК ротор орамында ток i_2 құрады, ол статордың қозғалмайтын өрісімен өзара әсерлесе отырып, роторда электромагнитті мезет тудырады, ротордың айналуына қарсы бағытталған, яғни тежеуші мезет.

15.20-сурет. Динамикалық тежелу кезінде асинхронды қозғалтқышты қосу сызбасы: а — статор орамын тұрақты ток көзіне ауыстыру; б — конденсаторлық тежелу; в — статор орамын тұйықтау.

Ротордың айналу жиілігін азайту үшін ЭҚК E_2 азаяды, яғни тежелу мезеті де азаяды. Осы мезеттің көлемін реттеу үшін фазалық роторы бар қозғалтқышта резисторлардың көлемін өзгерту ротор тізбегінде өзгертеді. Қысқа тұйықталу роторы бар қозғалтқышта реттеу тұрақты ток тізбегі r_n резисторда орындалады. Динамикалық тежеудің алуан түрлілігі болып конденсаторлық тежелу орындалады, ол асинхронды машинаның өздігінен қозу құбылысына негізделген. Қозғалтқышты өшірген кезде бастапқы өздігінен қозу магнитті жүйенің қалдықты магнетизмі есебінен болады. С конденсаторлар батареяларының болуы арқасында (15.20б-сурет) қозғалтқыштың магнитті өрісі мен конденсаторлардың электрлі өрісі арасында реактивті энергиямен алмасу болады. Статор орамы бойынша нәтижесінде қозғалтқыштың магнитті жетегінде ток I_2 өтеді, ол ЭҚК E_2 ротор инерциясы бойынша айналатын орамда индукстеледі. Ротор тогы I_2 статор өрісімен өзара әсерлеседі және тежеу мезетін құрады. С конденсаторлар батареясын қозғалтқыш жұмысы уақытына өшіруге болады, бірақ үнемі қосып та қалдыруға болады. Асинхронды қозғалтқышты тежеу үшін өздігінен қозу ұстанымы конденсаторды қолданусыз жүзеге асырылып, қолданыла алады. Ол үшін қозғалтқышты өшірген соң статор орамын тұйықтау керек: П ауыстырып қосқышы лезде 1 қалыптан 2 қалыпқа ауыстыру керек (15.20 в -суреті). Мұнда қалдық магнетизмнің магнитті ағыны есебінен қозғалтқыштың өздігінен қозуы болады және роторда тежеу мезеті туындайды. Бұл процесс қысқа мерзімді болса да, бірақ тиімді және кейбір жағдайларда жеткілікті бола алады.

Қарсы қосу кезінде тежеу. Үлкен тежеу мезеттерін алуға мүмкіндік береді, сондықтан оны қозғалтқыш тез тоқтаған кезде қолданады. Осы режимді орындау үшін жұмыс істеп тұрған асинхронды қозғалтқышта статор өрісінің айналу бағытын өзгерту жеткілікті. Бұл статор орамының желісіне байланысқан екі сымды ауыстырып қосу арқылы жасалады (15.21а-суреті). Мысалы, АВС фазаларының ілесудің тура (жұмыс) тәртібін (II ауыстырып қостқыштың 1 қалпы) кері (тежегіш) ВАС ілесу тәртібімен алмастырады (2 қалпы). 15.21б-суретте қозғалтқыштың механикалық сипаттамалары көрсетіледі, тура (1 кесте) және кері (2 кесте) фазалардың ілесу тәртібі. Мәселен, қозғалтқыш B_d нүкте режимінде жұмыс жасады. Қарсы қосылумен тежелген кезде жұмыс нүктесі екінші квадрант фазалардың кері ілесу сипаттамасына көшеді және B_t қалпын иеленеді. Нәтижесінде қозғалтқыш роторына тежелу мезеті M_t әсер етеді, оның әсерімен ротордың айналу жиілігі нольге дейін төмендейді. $n = 0$ кезде қозғалтқышты өшіру керек, себебі кері жағдайда реверс болады, яғни қозғалтқыш қозғалтқыш режиміне ротордың кері айналу бағытына көшеді. Қозғалтқыш орамында токты шектеу үшін қарсы қосылу тежелуі кезінде ротор тізбегіне резисторлар r_d түрінде қосалқы кедергіні енгізу керек. Мұны істеудің тағы бір мақсаттылығы – ротор тізбегіне қосалқы резисторды қосу шекті сырғуды $s > 1$ аясына ығыстырады және қозғалтқыштың механикалық сипаттамасы жұмсақ болады (13.6-суретті қараңыз), ал тежелу процесі тұрақты болады. r_d реттей отырып, тежеу мезетінің қажетті көлемін орнату керек. Тежелудің бұл әдісі тек фазалық роторы бар асинхронды қозғалтқышта ғана қолданылады.

ABC

б

a

1. Асинхронды қозғалтқыштың іске қосу қасиеттері қандай көрсеткіштермен сипатталады?
2. Асинхронды қозғалтқыштардың іске қосу қасиеттерінің артықшылықтары мен кемшіліктері қандай?
3. Іске қосу қасиеттерін жақсарту тұрғысынан іске қосу тогын қалай азайтқан дұрыс: қозғалтқышқа келтірілген кернеуді төмендету немесе ротор орамының тізбегіндегі белсенді кедергіні арттырумен бе?
4. Асинхронды қозғалтқыштарды іске қосудың тікелей желіге қосудың артықшылықтары мен кемшіліктері қандай?
5. Төмен кернеу кезінде асинхронды қозғалтқыштардың іске қосуының қандай әдістері бар?
6. Токты ығыстыру әсерінің болмысы неде және неліктен ол қозғалтқышты іске қосқан кезде туындайды және оның жұмысы кезінде дерлік жоғалады?
7. Неге ротор пазасының құты тәрізді пішіні токты ығыстыру әсерінің жақсы көрінуіне септігін тигізеді?
8. Асинхронды қозғалтқыштың айналу жиілігін реттеу әдістерін атаңыз және оларға салыстырмалы баға беріңіз?
9. Неге айналу жиілігін жиілікті реттеу кезінде ток жиілігімен бірге кернеуді өзгерту қажет?
10. Келтірілген кернеуді өзгертумен асинхронды қозғалтқыштың айналу жиілігін реттеу ауқымына ротор орамының белсенді кедергісі қалай әсер етеді?
11. Көп жылдамдықты қозғалтқыштың қандай жұмыс режимдері болуы мүмкін және статор орамының қандай байланыс сызбаларымен олар қамтамасыз етіледі?
12. Асинхронды қозғалтқыштарда қандай тежеу режимдері мүмкін? Салыстырмалы баға беріңіз.

16 тарау

БІРФАЗАЛЫ ЖӘНЕ КОНДЕНСАТОРЛЫ АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАР

16.1. Бірфазалы асинхронды қозғалтқыштың әрекет ету ұстанымы мен іске қосылуы

Бірфазалы асинхронды қозғалтқыш өзінің құрылысы бойынша үш фазалыға ұқсас және статордан тұрады, оның пазаларында бірфазалы орам орналасқан (8.8.-суретті қараңыз) және қысқа тұйықталған ротордан тұрады. Бірфазалы асинхронды қозғалтқыштың жұмыс ерекшелігі C1-C2 статордың бірфазалы орамын желіге қосқан кезде (16.1-сурет) статор МҚК айналатын емес, өтетін магнитті ағын тудырады (9.4.-қараңыз).

16.1-
сурет. Бірфазал
ы асинхронды
қозғалтқышты
қосу сызбасы

$$5_{np} = (\Pi 1 - \Pi) / \Pi = S. \quad O^{6-1})$$

$$S_{06p} = \frac{2 \pi_1 \pi_1 \pi_1}{\pi_2} = \frac{112}{2} = 56$$

$\Phi_{\text{обр}}$ кері ағыны роторға қарсы айналады, сондықтан ротордың айналу жиілігі $n_2 \Phi_{\text{обр}}$ қатысты теріс. Бұл жағдайда ротордың $\Phi_{\text{обр}}$ сырғуы қатысты өрнегімен анықталады.

$$\begin{aligned} n_1 &= (-n_2) n_1 + n_2 n_1 + \\ n_1 &= n_1 + n_2 \end{aligned} \quad (16.2)$$

Тура өріс ротор орамында ЭҚК E_{2np} келтіреді, ал кері өріс - ЭҚК E_{2obr}
Бұл ЭҚК ротор орамында 1_{2np} және 1_{2obr} токтар құрылады

[illegible]

16.2-сурет. Өтетін магнитті ағынның екі айналушыға бөлінуі

Белгілісі, ротордағы ток жиілігі сырғуға пропорционал ($i_2 = s f i$). Себебі $s_{np} < s_{o(5p)}$, онда ток жиілігі $i_{2обр}$ ток жиілігінен $i_{2нр}$ көп артық. Мәселен, бірфазалы қозғалтқыш үшін $n_1 = 1500$ айн/мин, $n_2 = 1450$ айн/мин и $i_1 = 50$ Гц аламыз:

$$s_{np} = (1500 - 1450)/1500 = 0,033; \quad i_{2нр} = 0,033 \cdot 50 = 1,65 \text{ Гц};$$

$$i_{o(5p)} = (1500 + 1450)/1500 = 1,96; \quad i_{2обр} = 1,96 \cdot 50 = 98 \text{ Гц}.$$

Ротор орамының индуктивті кедергісі токқа $i_{2обр}$ көп жағдайда оның белсенді кедергісінен артық (себебі $i_{2обр} \gg i_{2нр}$). Ток $i_{2обр}$ таза индуктивті болып табылады, ол $\Phi_{обр}$ кері өрісіне магнитсіздендіру әсері береді. Нәтижесінде кері өріс және онымен шартталған $M_{обр}$ мезет елеулі әлсіреп, бірфазалы қозғалтқыш роторы тура өріс бағытында мезеттің әсерімен айналады:

$$M = M_{np} - M_{обр}, \quad (16.3)$$

Мұнда M_{np} — турал өріспен шартталған электромагнитті мезет.

16.3-суретте айналу мезетінің M тәуелділік кестесі $s = \alpha_{np}$ сырғу қызметінде берілген. Бұл кесте кестелерді $M_{np} = i_1 \Phi_{np}$ және $M_{обр} = i_2 \Phi_{обр}$ салу арқылы алынады. Сырғудың s кіші мәндерінде қозғалтқыш жұмысының номиналды жүктеме шегінде сәйкес келеді, ол M айналу мезетіне басты түрде M_{np} мезеті құрылады. $s^{\wedge} = s^{\wedge} = 1$ кезінде M_{np} және $M_{обр}$ мезеттер тең, сондықтан бір фазалы қозғалтқышты іске қосу мезеті нольге тең. Яғни бір фазалы асинхронды қозғалтқыш желіге қосылған кезде өздігінен айнала алмайды, ал бастапқы түрткіні қажет етеді, себебі $s^{\wedge} = 1$ кезінде қозғалтқыш роторына айналу мезеті $M = M_{np} - M_{обр}$ әсер етеді.

16.3-суретте келтірілген мезеттердің тәуелділігі көрсеткендей, бірфазалы асинхронды қозғалтқыш іске қосу мезетін құрмайды. Осы мезеттің пайда болуы үшін қозғалтқышты іске қосу мезетінде онда айналу магнитті өрісін құру қажет.

Осы мақсатта қозғалтқыш жұмыс орамынан басқа А тағы бір орамын – іске қосуды қолданады. Бұл орамдар статорда осьтері бір-біріне 90° қатысты ығысатындай орналасу керек.

16.3-сурет. Бірфазалы асинхронды қозғалтқыштің механикалық сипаттамалары

Сонымен қатар статор орамындағы токтар i_A және i_B фаза бойынша бір-біріне қатысты ығысу керек. Орамның іске қосу тізбегі үшін фазаны ығыстыратын элементті қосады (ФЫ), ол ретінде белсенді кедергі, индуктивтілік немесе сыйымдылық қолданыла алады (16.4-сурет). Номиналдыға жақын мәннің айналу жиілігіне жеткен соң В іске қосу орамын реле арқылы өшіреді. Осылайша, іске қосу кезінде қозғалтқыш екі фазалы, жұмыс кезінде – бірфазалы болу керек.

Айналатын магнитті өрісті алу үшін статордағы екі орам арқылы, олардың осьтері бір-біріне қатысты 90 эл.град-қа ығысқан, келесі шарттарды ұстану керек (16.5-сурет):

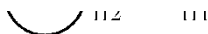
а) жұмыс МҚК және іске қосу F_A және F_B орамдары тең болу керек және кеңістікте бір-біріне қатысты 90 эл.град-қа ығысу керек;

б) статор орамындағы i_A және i_B токтар фаза бойынша бір-біріне қатысты 90°ығысу керек.

Көрсетілген шарттарды қатаң ұстану кезінде статордың айналу жиілігі домалақ, ол қозғалтқыштың ең үлкен айналу мезетіне сәйкестенеді. Қандай да бір шарттарды ішінара бұзған кезде статор өрісі эллипстік болады, кері құраушысын қамтиды (9.5.б-суретті қараңыз). Өрістің кері құраушысы тежеу мезетін құрады және қозғалтқыштың іске қосу мезеттерін нашарлатады.

$$\overline{\alpha} = 90^\circ$$

$$\overline{\alpha} = 270^\circ$$



16.4-сурет. Іске қосу орамы бар бірфазалы асинхронды қозғалтқыштың

16.5-сурет. Токтардың екі фазалы жүйесі арқылы айналушы магнитті өрісті алу

16.6-сурет. Фаза ығыстыратын элементтердің қасиеттерін салыстыру:

a — белсенді кедергі; *б* — индуктивтілік; *в* — сыйымдылық; *г* — түрлі фазаны ығыстыру элементі кезінде қозғалтқыштың механикалық сипаттамалары: *1* — белсенді кедергі кезінде; *2* — сыйымдылықта

16.6-суретте келтірілген векторлық диаграммаға сәйкес белсенді кедергі мен индуктивтілік ФЭ ретінде токтар арасында фазалық ығысуды 90° алуды қамтамасыз етпейді. С сыйымдылығы ФЭ ретінде фазалық ығысуды қамтамасыз етеді $y = 90^\circ$. Бұл сыйымдылықтың мәні келесідей: орамның іске қосу тогы іске қосу мезетінде ($s = 1$) фаза бойынша кернеуді j_B бұрышына озған, толықтыру бұрышы j_A 90° дейін:

$$y = jA + jB = 90^\circ.$$

Егер мұнда екі орамда МҚК мәні бойынша бірдей құрса, онда бастапқы іске қосу мезетінде айналатын өріс айналмаболады және қозғалтқыш елеулі бастапқы іске қосу мезетін дамытады. Алайда сыйымдылықты ФЭ ретінде пайдалану конденсаторлардың елеулі габариттерімен шектеледі, тіпті айналма өрісті алу үшін елеулі сыйымдылықтағы конденсаторлар керек болады. Мысалы, қуаты 200 Вт бірфазалы қозғалтқыш үшін жұмыс кернеуі 300-500 В-мен 30 мкФ сыйымдылығы қажет.

ФЭ ретінде белсенді кедергісі бар бірфазалы қозғалтқышты тарату. Мұнда іске қосу орамының жоғары белсенді кедергісі кезінде келесідей қол жеткізіледі: ол кішірейтілген қимасын келтіру арқылы қол жеткізіледі (жұмыс орамының жетегімен салыстыру бойынша). Себебі осы орам белгілі уақытқа қосылған (әдетте бірнеше секунд), онда оның құрылымына жол беріледі. Осы қозғалтқыштардың іске қосу мезеті әдетте номиналдықтан аспайды, бірақ ол шағын жүктеме кезінде қозғалтқышты іске қосу кезінде білікте орынды.

Сыйымдылықты ФЭ ретінде қолдану іске қосу $M_n = (1,6 \wedge 2,0)M_{ном}$ мезетін алу мүмкіндігін береді. 16.6-суретте бірфазалық асинхронды қозғалтқыштың түрлі ФЭ механикалық сипаттамалары берілген.

Үлкен көрнекілік үшін мезеттің мәніне қатысымды бірліктерде берілген.

16.2. Асинхронды конденсаторлық қозғалтқыштар

Асинхронды конденсаторлы қозғалтқыштың статорында екі орам бар, пазалардың бірдей санына ие және кеңістікте бір-біріне қатысты 90 эл.градқа ығысқан. Орамдардың бірі – бастысы – тікелей бірфазалы желіге қосады, екіншісі – қосалқысын – дәл сол желіге, бірақ жұмыс конденсаторы арқылы қосады (16.7а-суреті).

Бұрын қарастырылған бірфазалық асинхронды қозғалтқышқа қарағанда конденсаторлы қозғалтқышта қосалқы орам іске қосқаннан кейін өшірілмейді және жұмыстың бар мерзіміне қосулы қалады, мұнда сыйымдылық $C_{раб}$ I_A ЖӘНЕ I_B токтары арасында фазалық ығысу тудырады.

Осылайша, егер бірфазалы асинхронды қозғалтқыш іске қосу процесі аяқталуы бойынша статордың өтетін МҚК жұмыс жасайды, онда конденсаторлық қозғалтқыш – айналатын МҚК. Сондықтан конденсаторлық қозғалтқыш қасиеті бойынша үшфазалы қозғалтқышқа жақындайды.

Айналу өрісін алуға қажетті сыйымдылық (мкФ)

$$C_{раб} = 1,6 \cdot 10^5 I_A \sin jB / (f i U A k^2), \quad (16.4)$$

Мұнда кернеу басты U_A және қосалқы орамдарда U_B болу керек

$$U_A / U_B = \tan jA \wedge 1$$

a

b

в

16.7-сурет. Конденсаторлық қозғалтқыш: *a* — жұмыс сыйымдылығымен; *b* — жұмыс және іске қосу сыйымдылығымен; *в* — механикалық сипаттамалар; 1 — жұмыс сыйымдылығы кезінде; 2 — жұмыс және іске қосу сыйымдылығы кезінде

мұнда $j = I_A$ және кернеу U_A арасында айналмашеңбер кезіндегі фазалардың ығысу бұрышы; $k = w_B k_B / (w_A k_A)$ — трансформация коэффициенті, ол қосалқы және басты орамдарда иірімдердің тиімді сандарының қатынасын білдіреді; k_A және k_B — статор орамының орама коэффициенттері.

(16.4) талдауына сәйкес трансформацияның бекітілген мәнінде және кернеу U_A / U_B қатынасы кезінде сыйымдылық айналмаайналатын өрісті алуды қамтамасыз етеді тек бір, қозғалтқыштың дерлік анықталған режимінде қамтамасыз етеді. Егер режим (жүктеме) өзгерсе, онда ток I_A және фазалық j бұрыш та өзгереді, яғни айналма өріске сәйкес келетін сыйымдылық $C_{раб}$ та. Осылайша егер қозғалтқыш жүктемесі есептіктен ерекшеленсе, онда қозғалтқыштың айналу өрісі эллипстік болады және қозғалтқыштың жұмыс қасиеттері нашарлайды. Әдетте сыйымдылықты $C_{раб}$ есептеу номиналды жүктеме немесе оған жуыққа келеді.

Салыстырмалы жоғары ПӘК және қуат коэффициентін иелене отырып ($\cos j = 0,80 \wedge 0,95$) конденсаторлық қозғалтқыштар қанағаттанарлықсыз іске қосу қасиеттері бар, себебі сыйымдылық айналма өрісті есептік жүктемеде қамтамасыз етеді, ал қозғалтқышты іске қосу кезінде статор өрісі эллипстік. Мұнда іске қосу мезеті әдетте $0,5 M_{ном}$ аспайды.

Іске қосу мезетін арттыру үшін параллель сыйымдылықтар $C_{раб}$ іске қосылушы деп аталатын сыйымдылықты C_n қосады (16.76-сурет). Қозғалтқышты іске қосу кезінде статордың айналма өрісін алудың шартына сәйкес C_n көлемін таңдайды, яғни ең үлкен іске қосу мезетін алу. Іске қосу сыйымдылығы аяқталған соң өшіру керек, себебі статор орамының тізбегінде шағын сығу кезінде сыйымдылық пен индуктивлікті қамтиды, кернеу резонансы мүмкін, орамада кернеуден және конденсаторда желі кернеуін екі-үш есе арттыруға болады.

Конденсатор түрін таңдау кезінде есте ұстау керек, жұмыс кернеуін синусоидалды кернеудің амплитудалық мәнімен анықталады, ол U_C конденсаторға тіркелген. Айналмаайналатын өріс кезінде кернеу (B) желі кернеуінен U_1 артады және өрнегімен анықталады:

$$U_C = U_{1л} / (1 + k^2). \quad (16.5)$$

Конденсаторлық қозғалтқыштарды кейде екіфазалы деп атайды, себебі статор орамы бұл қозғалтқышта екі фазаны қамтиды. Екі фазалы қозғалтқыштар конденсаторсыз немесе өзге ФЭ жұмыс жасай алады, егер статор орамының фазасына кернеудің екі фазалы жүйесін келтірсе. Екі фазалы жүйе бірдей көлемдегі екі кернеуден және жиіліктен тұрады, бірақ фаза бойынша бір-біріне 90° қатысты ығысқан. Осындай жүйені алу үшін кернеу жүйесін нольдік сымы бар үшфазалы желісін пайдалануға болады.

б

16.8-сурет. Екіфазалы қозғалтқышты үшфазалы желіге қосу сызбасы

Екі фазалы қозғалтқыш статорының орамына 16.8-суретінде көрсетілгендей қосу керек: бір орамы – U_{AB} желілік кернеу, екіншісі – U_C фазалық кернеу автотрансформатор АТ арқылы (қозғалтқыш орамында). Нольдік сымсыз қозғалтқышты қосу мүмкіндігі (16.8б-суреті), бірақ бұл жағдайда қозғалтқыш орамындағы кернеу фаза бойынша 120° ығысады, ол қозғалтқыштың жұмыс қасиеттерін нашарлатуға әкеледі.

16.3. Бірфазалы желіден үшфазалы асинхронды қозғалтқыштың жұмысы

Үшфазалы асинхронды қозғалтқыш бірфазалы желіден жұмыс жасау үшін пайдаланыла алады. Бұл жағдайда осындай қозғалтқышты 16.9-суретінің сызбасы бойынша конденсаторлық ретінде қосады. Жұмыс сыйымдылығының $C_{раб}$ мәні (мкФ) ауыспалы ток жиілігінде 50 Гц шамалы келесі формуланың бірі анықтала алады: 16.9а-суретте бейнеленген сызба үшін

$$C_{раб} \ll 2700VV \quad (16.6)$$

16.9, б,-суретте

$$C_{раб} \ll 2800V U_c; \quad (16.7)$$

16.9, в,-суретте

$$C_{раб} \ll 4800V V \quad (16.8)$$

мұнда I_1 — номиналды
(фазалық)

ток статор орамында, A ; U_c —
бірфазалы желі кернеуі, B .

Жұмыс сыйымдылығын
таңдау кезінде статордың фазалық
орамындағы ток жұмыстың
бекітілген режимінде номиналды
мәнінен артпайды.

Егер қозғалтқыш іске қосуы
біліктегі елеулі жүктемеде өтсе,
онда жұмыс сыйымдылығына
параллель $C_{раб}$ іске қосу
сыйымдылығын қосу

a b c

16.9-сурет. Үшфазалы
асинхронды қозғалтқыштың
бірфазалы желіге қосқан кезде
статор орамын байланыстыру

$$C_n = (2,5 - 3,0) C_{раб}. \quad (16.9)$$

Бұл жағдайда іске қосу мезеті номиналдыға тең болады. Іске қосу мезетін ары қарай арттыру қажет болған жағдайда іске қосу сыйымдылығының одан артық мәнін қабылдау керек ($C_n < 8C_{раб}$). Асинхронды қозғалтқыштың сенімді жұмысы үшін конденсатор ретінде конденсаторды кернеу бойынша таңдау үлкен мәнге ие. Айта кету керек, конденсатор габариттері мен бағасы олардың сыйымдылығымен ғана емес, жұмыс кернеуімен де анықталады. Сондықтан үлкен «қоры» бар конденсаторды таңдау габариттері мен қондырғысының бағасын орынсыз арттыруға әкеледі, ал конденсаторды кернеуге қосу, жұмыс кернеуінен артық, конденсатордың мерзімінен бұрын істен шығуына әкеледі, яғни оның жабдығын да істен шығарады.

Конденсатордар кернеуді анықтаған кезде қарастырылған сызбалардың ішінен біреуі бойынша қозғалтқышты іске қосу кезінде келесіні есте ұстау керек: қозғалтқышты 16.9-суретінің сызбасы бойынша іске қосқан кезде конденсатордағы кернеу u_k және $1,3 U_c$ тең және қозғалтқышты 16.9б және в-суретінің сызбасы бойынша қосқан кезде кернеу u_k және $1,15 U_c$ тең.

Конденсаторлық қозғалтқыш сызбаларында әдетте герметикалық металл корпуста тік бұрыш пішінінде КБГ—МН немесе БГТ (термо төзімді) түрлері қағаз конденсаторларды қолданады. Конденсатор корпусында сыйымдылық пен тұрақты токтың жұмыс кернеуін көрсетіледі. Осындай конденсаторды ауыспалы ток желісіне қосқан кезде жол берілетін жұмыс кернеуін шамамен екі есе азайту керек. Мысалы, егер конденсаторда 600 В кернеуі көрсетілсе, онда ауыспалы ток жұмыс кернеуін 300 В ретінде ескеру керек. Үшфазалы қозғалтқышты бірфазалы конденсаторлық режимде қолданған кезде оның пайдалы қуаты әдетте номиналды 70 — 80% қуаттан аспайды,

Бірфазалы режимде жұмыс сыйымдылығынсыз қозғалтқыштын пайдалы қуаты номиналды қуатынан 60 %аспайды.

16.1-мысал. 4AA50B4 түріндегі үшфазалы асинхронды қозғалтқыштың жұмысына қажетті жұмыс сыйымдылығының $C_{раб}$ мәнін анықтау $U_c = 220$ В. қозғалтқыштың номиналды мәліметтері: $P_{ном} = 90$ Вт; кернеу 220 В; $\cos\phi_{ном} = 0,6$; $\eta_{ном} = 55$ %.

Ш е ш у і. 220 В желі кернеуі статор орамының үшбұрышқа бірігуіне сәйкес келеді, сондықтан қозғалтқышты бірфазалы желіге қабылдаймыз 16.9в-суреті бойынша. Статордың номиналды (фазалық) орамы үшбұрышқа бірігуімен сәйкес келеді, сондықтан бір фазалық желіге қозғалтқышты қосу сызбасын 16.9в-суреті бойынша қабылдаймыз. Статордың номиналды (фазалық) тогы

$$I_n = P_{ном} / (3 U_c \cos \phi_{ном} \eta_{ном}) = 90 / (3 \cdot 220 \cdot 0,6 \cdot 0,55) = 0,41 \text{ А. (16.8)}$$

бойынша жұмыс сыйымдылығы

$$C_{раб} = 4800 \cdot 0,41 / 220 = 9 \text{ мкФ.}$$

Конденсатордың жұмыс кернеуі

$$U_k \text{ и } 1,15 \cdot 220 \text{ и } 250 \text{ В.}$$

Сыйымдылығы 10 мкФ КБГ—МН түріндегі конденсатор ретінде 600 В жұмыс кернеуін қабылдаймыз.

16.4. Экрандалған полюсі бар бірфазалы қозғалтқыш

Қуаты аз асинхронды қозғалтқышты іске қосу мезеті үшін экрандалған полюстері айқын құрылыстарды пайдаланады (16.10а-суреті), онда бірфазалы орам орналасады. 1 полюсі екіге бөлінген құрылымы бар, мұнда әр полюстің бөлігіне қысқа тұйықталған иірім (экран) мыс сақинасы түрінде киілген 2. Қозғалтқыш роторы қысқа тұйықталған.

Статор орамын желіге қосқан кезде өтетін токты қысқа тұйықталған ток иіріміне (экранына) келтіреді, ол магнитті ағынның өсуіне кедергі жасайды және полюстің осы бөлігінде ағынның фазалық ығысуын тудырады (16.10б-суреті). Нәтижесінде әр полюстің екі ағынындағы фазалар бір біріне қатысты ығысқан болады, ол өз кезегінде, қозғалтқышта айналатын магнитті өрісіне келтіреді. Қозғалтқыштың іске қосу жән жұмыс сипаттамаларын жақсарту үшін полюстер арасында болат пластина түрінде магнитті шунт орнатады және статор полюсті ұштамаларын шеттерін тұйықтайды.

Экрандалған полюстері бар асинхронды қозғалтқыштары реверсті емес – ротор әрдайым экрандалмаған полюс бөлігінен экрандалған жағына айналады. Әдетт бұл қозғалтқыштарды

Экрандалған полюстері бар асинхронды қозғалтқыш

100 Вт аспайын қуатпен дайындайды және іске қосу мезетін қажет етпейтін құрылғылар жетегі үшін пайдаланады (желдеткіш электржетегі, электр ойнатқыш және т.с.с.). отандық өнеркәсіппен АД-Е топтамасының экрандалған полюстері бар асинхронды қозғалтқыштарды дайындайды, желдегу жүктемесі бар жетекке арналған қуаты 2,5-25 Вт дейінгі қозғалтқыштар кернеу 220 В жиілігі 50 Гц желіде жұмыс жасауға арналған. Осы қозғалтқыштардың іске қосу мезетінің еселігі $M_{п}/M_{ном} = 0,5 \wedge 0,6$

Бақылау сұрақтары

1. Неге бірфазалы қозғалтқыш іске қосу мезетін тудырмайды?
2. Қай мақсатта іске қосу қозғалтқыш орамының тізбегіне ФЭ қосады?
3. Бірфазалы қозғалтқыш конденсаторлықтан немен ерекшеленеді?
4. Конденсаторлық қозғалтқышта іске қосу мезетін қалай арттыруға болады?

17 тарау

АРНАЙЫ АРНАЛЫМДАҒЫ АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШ

17.1. Кернеудің индукциялық реттеушісі мен фазалық реттеушісі

Кернеудің индукциялық реттеушісі (ИР). Ауыспалы ток кернеуін баяу реттеуге арналған фазалық роторы бар асинхронды машинаны білдіреді.

Желі К нагрузке	Желі К нагрузке	Кең фазалық	колданыс ИР	тапқаг жұмысын
--------------------	--------------------	----------------	----------------	-------------------

қарастырайық. ИР роторы жіберіліс арқылы тежелген, ол оны бекітілген қалыпта ұстап тұрмайды, бірақ статорға қатысты баяу бұруға септігін тигізеді. Статор мен ротор ИР автотрансформаторлық байланысы бар (17.1а-суреті), сондықтан индукциялық реттеушіні кейде бұрылысты автотрансформатор деп атайды.

Желісінің кернеу U_1 ротор орамында келтіріледі, мұнда ротор айналатын магнитті өріс береді, ол статор ЭҚК $E = - U_1$ орамында келтіріледі, ал статор орамында ЭҚК E_2 (17.2, а-суреті).

17.1-сурет. Кернеуді (а) және фазореттеушіні (б) индукциялық реттеуді байланыстыру сызбалары

Осы ЭҚК фазалық ығысуы бір-біріне қатысты өзге кеңістікті қалпына байланысты статор мен ротор орамының осьтеріне байланыды, ол α бұрышымен анықталады. $\alpha = 0$ кезінде орам осьтері сәйкестенеді, айналатын өріс біруақытта орамдарымен тіркеседі және ЭҚК E және E_2 фаза бойынша сәйкестенеді (E_2 және U_1 қарсы фазада орналасады). Мұнда $\alpha = 180$ эл. Град ЭҚК E_1 және E_2 қарсы фазада (E_2 және U фаза бойынша сәйкестенеді). Егер ішкі кернеу төмендеуін ескермесе, онда ИР шығысында кернеу геометриялық жиынтықпен анықталады:

$$U = U + E_2. \quad (1)$$

б

в

↓ E_1

17.2-сурет. Кернеуді индукциялық реттеушінің векторлық диаграммалары

ИР роторын бұрған кезде E_2 және U_2 векторларының ұштары шеңберін сипаттайды (17.26-суреті), мұнда $U_2 U_{2\min} = U_1 - E_2$ өзгереді, $\alpha = 0$ кезінде $U_{2\max} = U_1 + E_2$ дейін, $\alpha = 180$ эл.град кезінде (17.2в-суреті).

Индукциялық реттеушіні ауыспалы ток кернеуін баяу реттеу керек болатын барлық жағдайларда қолданады, мысалы, зертханалық зерттеулерде.

Фазалық реттеуші (ФР). Екінші кернеу фазасын екінші кернеу өзгеріссіз кезінде біріншіге қатысты реттеу керек болады. Ротор мен статор ИР қарағанда ФР бір-бірімен электрлі байланыспаған, яғни трансформаторлық байланысы бар (17.16-суретті қараңыз), сондықтан ФР кейде бұрылысты трансформаторды атайды.

Екінші кернеу фазасының өзгеруі статорға қатысты ротордың байланысымен жүзеге асырылады. Бірінші орам ФР әдетте статор орамы болып табылады. Фазалық реттеушілер автоматика құралдарында (фазалық басқару) және өлшеу техникасында (ваттметр мен есептеуішті тексеру кезінде) қолданады.

17.2. Асинхронды жиілік түрлендірушісі

Асинхронды машинадағы ротордың ток жиілігі ($f_2 = s f_1$) сырғуға байланысты. Асинхронды машиналардың бұл қасиеті асинхронды жиілік түзушілерде пайдаланылады. АЖТ статор орамын ток жиілігі f_1 үшфазалы желіге қосады, ал роторды табиғи қозғалтқышпен ТҚ айналдырады (17.3-сурет). Егер АЖТ роторы статор АЖТ бағытына қарсы бағытта айналдырса, онда АЖТ $s > 1$ сырғумен жұмыс жасайды, яғни қарсы қосылуда тежеу режимінде жұмыс жасайды (13.3-суретті қараңыз). Бұл жағдайда ротор АЖТ орамында $f_2 > A$ жиілігімен ЭҚК E келтіріледі, себебі сырғу $s > 1$. Көрсетілген ЭҚК түйіспелі сақиналары және қылшақ секілді АЖТ шығысын кернеу тудырады. Егер АЖТ шығысында $f_2 < A$ жиілігінде кернеу алуға болады, онда ротор $n_2 < n_1$ айналу жиілігі статор өрісін айналу бағытында айналдыру керек, мұнда $s < 1$ (қозғалтқыш режимінде АЖТ жұмыс жасайды). Ауыспалы ток жиілігін есептеу үшін АЖТ шығысында өрнегін пайдалануға болады

$$f_2 = A[n \pm \text{OML}] \quad (2)$$

мұнда n_1 — АЖТ айналу синхронды жиілігі; $n_{\text{нд}}$ — M келтірілген қозғалтқыш айналу жиілігі.

«Қосу» белгісі бұл өрнекте ротор айналу бағытына АЖТ статорының айналу өрісіне кері сәйкестенеді, «алу» белгісі АЖТ ротор мен статор өрісі айналуына сәйкес.

$f_2 = sf_1$ АЖТ шығысындағы қуат ротор орамына статордың айналатын өрісімен берілетін электромагнитті қуаттан $P_{эм}$ және жетекті қозғалтқыштың механикалық қуатынан $P_{мех}$ құралады, яғни $P_2 = P_{эм} + P_{мех}$. $P_{эм}$ және $P_{мех}$ қуаттары арасында қатынастар сырғуға байланысты. Мәселен, АЖТ сырғумен жұмыс жасаған кезде $s = 2$ қуаттары тең және қуаттың жарты роторы статордан электромагнитті жолымен, ал жартысы – механикалық қуат түрінде жетекті қозғалтқыштан алынады.

17.3-сурет. Асинхронды жиілік түзушінің қосылу сызбасы

АЖТ шығысында баяу реттеуі қажет кезінде жетекті қозғалтқыш ретінде айналу жиілігін баяу реттеуден электрқозғалтқышты қолданады, мысалы тұрақты ток қозғалтқышы (29-бөлімді қараңыз). Егер АЖТ анықталған ток жиілігін f_2 алу үшін пайдаланады, онда жетекті ретінде асинхронды немесе синхронды қозғалтқышты пайдаланады (22-бөлімді қараңыз).

Әдетте АЖТ $f_2 = 100$ немесе 200 Гц жиілігі ауыспалы тоғын алу үшін қолданады. Осындай жиіліктегі ток асинхронды жетекті қозғалтқышы бар электр құралын қоректендіруде пайдаланылады, мысалы электрлі ара. Тұрақты ток қозғалтқышын осы құралдың жетегі үшін пайдалану шарттары бойынша қолдануға жол берілмейді (өрт немесе жарылу қауіптілігі).

Жиілігін алу үшін желінің $f_2 = 200$ ток жиілігінде 50 Гц қажет, ол жетекті $n_{нд}$ қозғалтқыштың синхронды айналу жиілігі АЖТ синхронды айналу жиілігінен үш есе артық болу керек. Ол үшін желінің белгіленген ток жиілігі 50 Гц полюс жұптарының саны статор орамында қозғалтқыш жетегінде АЖТ статор орамына қарағанда үш есе аз болу керек. Мысалы, егер жетекті қозғалтқыштың статор орамы $p_{нд} = 1$ және оның айналу синхронды жиілігі 3000 айн/мин, онда АЖТ $p_{пч} = 3$ және оның синхронды айналу жиілігі— 1000 айн/мин. Онда (17.2) аламыз:

$$f_2 = 50(1000 + 3000)/1000 = 200 \text{ Гц.}$$

Айта кету керек, осындай түзушінің ПЭК үлкен емес, себебі құраушы машиналардың ПЭК туындысымен анықталады. Мысалы, егер әр машинаның ПЭК 85% тең болса, онда қондырғы ПЭК келесіге тең:

$$h = 0,85 \cdot 0,85 = 0,72, \text{ т.е. } 72\%.$$

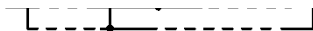
17.3. Синхронды байланыс электрлі машиналар

Заманауи техникада механизм біліктерінің біруақытта (синхронды) айналу немесе бұрылысының қажеттілігі туындайды, олар бір-бірімен механикалық байланыспаған. Бұл міндет синхронды байланыс жүйелері арқылы сәтті жүзеге асырылады.

Синхронды байланыс деп электрлі байланысты атайды, ол бір-бірінен қашықтықта орналасқан біруақытта айналу немесе бірмезетті бұрылу (немесе одан артық) және механикалық байланыспаған біліктер. Синхронды байланыс жүйесінің екі түрлері таралған: «электрлі білік» жүйесі (синхронды айналу) және «бұрыш берілісі» жүйесі (синхронды бұрылыс).

«Электрлі білік» жүйесін олардың арасында механикалық байланыс болмаған кезде бірнеше механизмдердің синхронды айналу қажеттігі туындайды. Осындай механизмдердің жетегі үшін әдетте фазалық роторы бар қалыпты асинхронды қозғалтқыштарды қолданады.

17.4-суретте «электрлі білік» сызбасының мүмкін біреуі көрсетілу керек, ол фазалық роторы бар бір түрлі асинхронды қозғалтқыштан тұрады. М1 синхронды қозғалтқышты айналдыру кезінде (жұмыс машинасының жетегі РМ1) және қозғалтқыш М2 (жұмыс машинасының жетегі М2) осы қозғалтқыш ротор орамында I_{21} және I_{22} токтар көлемі бойынша бірдей және бағыты бойынша қарсы орналасқан, сондықтан олар СР сәйкестенуші реостат резисторларында тұйықталады. Егер қозғалтқыштардың бірінің білігінде жүктеме артады, мысалы М1, онда осы қозғалтқышта сырғу және сәйкесінше ротордың фазалық орамындағы токтар артады. Нәтижесінде М1 және М2 қозғалтқыш роторы орамы мен байланыс сымдарында теңестіру тогы туындайды, М1 қозғалтқыштың айналу мезеті артады және оны М2 қозғалтқышта азайтады. Бұл «электрлі білік» қозғалтқыштарының айналу жиілігі қалпына келеді. Бұрылыс бұрышын жіберу жүйесі (синхронды бұрылыс) қашықтан басқару және қандай да бір құралдарды кеңістіктегі жағдайын бақылау үшін қолданады.



17.4-сурет. «Электрлі білік» жүйесінде үшфазалы асинхронды қозғалтқыш

Жүйе сельсин деп аталатын шағын асинхронды машиналарда орындалады (бірфазалы немесе үшфазалы). Ең үлкен қолданысты бірфазалы сельсиндер неленген. Мұндай сельсин қоздырудың бірфазалы орамын және жұлдызға байланысқан синхрондау үшфазалы орамын қамти алады. Орамдардың бірі ротордағ ал екіншісі – статорда орналасады.

Бұрылыс бұрышын жіберудің қарапайым жүйесі, индикаторлы деп аталады және екі сельсинді қамтиды: сельсин-тетік (СТ) және сельсин-қабылдаушы (СҚ) (17.5-сурет). Қоздыру орамын ауыспалы токқа қосылу U_1 кернеуге кезінде сельсиндердің әрқайсысы Φ қоздыру магнитті ағыны құрылады. СТ синхрондау орамында ЭҚК E_d бұл ағын келтіреді, ал СҚ синхрондау орамында - ЭҚК E_n . Бұл ЭҚК қарсы бағытталған. Егер СТ және СҚ роторлары өз статорларына қатысты бірдей қалпын алады, онда $E_d = E_n$ және жүйесі тепе-теңдікте орналасады. Егер СТ бұрышына бұрса, онда ЭҚК СТ синхрондау орамында өзгереді, ал ЭҚК теңдігі бұзылады ($E_d \neq E_n$) және синхрондау тізбегінде нәтижеленуші ЭҚК туады

$$DE = E_d + E_n, \quad (17.3)$$

синхрондау тогын құрады

$$I_C = \frac{DE}{Z + Z_n + Z_l}, \quad (17.4)$$

мұнда Z_w Z_{ll} және Z_{ll} — СТ және СҚ синхрондау орамдарының кедергісі және желілік сымдардың кедергісі, Ом.

Тетіктің синхронды тогы қоздыру ағынымен өзара әсерлесіп және СТ роторында электромагнитті мезет құрады, ол тетік роторының ад бұрышына СТ роторын бұрады, яғни механизмге қарсы әрекет ететін мезет.

Рис. 17.5. Схема индикаторной синхронной передачи угла

СҚ синхрондау тогы қоздыру магнитті ағынымен өзара әрекеттеседі және СТ ротор бұрылысы жағына бағытталған электромагнитті мезет. Осы мезеттің әсерінде, ол синхронды деп аталады, қабылдаушы ротор a_n және a_d бұрышына бұрылыс жасайды. Содан кейін СҚ роторы СТ роторы сияқты статорға қатысты осы қалыпты алады және жүйеде тепе-теңдік орнайды, себебі E_n және E_d бірдей болады. Егер СТ роторын белгілі бұрышқа қайта бұрса, онда бұрылыстың осы бұрышы қабылдаушымен қайта жасалады. Тетік роторы айналған кезде қабылдаушы роторы сондай жиілікпен айналатын болады. Алайда СТ бекітілген a_d айналу бұрышы СҚ роторымен кейбір қателік – келісілмеуі болады. Қабылдаушы роторының бұрылысы үшін синхрондаушы мезет мойынтіректе және түйіспелі сақиналарында үйкеліс күшімен шартталған қарсы әрекет етуші мезетті еңсерді, ал кейде қабылдаушы білігінде пайдалы жүктемемен. Бұрылыс бұрышын жасаудағы қателік келісілмеу бұрышымен бағаланады.

$$\theta = \alpha_d - \alpha_n \quad (17.5)$$

СҚ роторы синхронды СТ роторына ілеседі, бірақ сельсин роторлары арасында келісілмеу бұрышы СҚ білігінде қарсы әрекет ету мезетін артық болған сайын өседі. Келісілмеу бұрышы әдетте $2,5^\circ$ аспайды, ал жоғары жиілікті сельсиндерде ол $0,75^\circ$ аспайды. Қабылдаушы роторында синхрондау мезетінің мәні

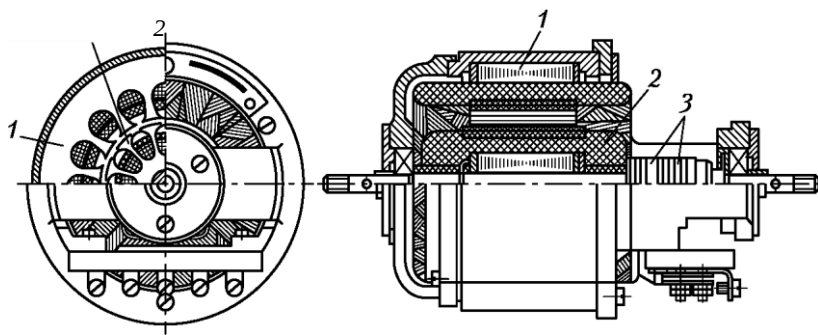
$$M_c = M_c \max \sin 6, \quad (17.6)$$

мұнда $M_{c \max} — 90^\circ$ келісілмеу бұрышына сәйкес келетін синхрондау мезетінің максималды мәні.

Құрылысы бойынша сельсиндерді роторда орамы түйіспелі сақиналары арқылы сыртқы тізбекпен байланысқан түйіспелі сақиналары арқылы және роторда орамы жоқ байланыссыз деп бөлінеді.

Байланысты сельсиндер негізінен фазалық роторы бар асинхронды қозғалтқыштан ерекшеленбейді. 17.6-суретте байланыс сельсинінің құрылысы көрсетілген. 1 статор және 2 ротор осы сельсиндікі айқын полюсті емес, және сондықтан сельсиннің екі орамы да үлестірілген. Роторда екі түйіспелі сақиналарының 3 болуы қоздыру орамы роторында орналасуына нұсқайды.

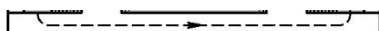
Кейбір құрылыстарда статор мен роторды полюстерін айқын етіп жасайды, ол синхрондаушы мезеттің артуына септігін тигізеді. Түйіспелі сақиналарының болуы – байланыс сельсиндерінің негізгі кемшілігі, себебі ол сельсин өлшемдерінің тұрақсыздығына және сенімділігінің төмендеуіне әкеледі. Байланыссыз сельсиндер өзінің жоғары сенімділігіне қатысты синхронды бұрылыс жүйелерінде кең қолданыс тапты.



17.6.-суреттер. Байланыс сельсиндерінің құрылысы

Бұл сельсиндердің сырғу контактілері жоқ, себебі олардың екі орамы да статорда орналасқан (17.7-сурет). Байланыссыз сельсин роторы полюс түзетін оқшауланған бөліктерге бөлінген магнитті емес қабаттамамен ажыратылған ферромагнитті материалдан жасалған цилиндрді білдіреді. Ротор құятын алюминий магнитті оқшаулау болып табылады және сонымен бірге ротордың бөліктерін біріктіреді. Сельсиннің сыртқы жақтарынан тороидальді 1 өзеклер жасалған, олар жұқа табатқы электротехникалық болаттан жасалған. Бұл өзектердің ішкі бетінде сыртқы магнитті жетек өзегіне тоғысады 4. Сельсинді қоздырудың бірфазалы орамын екі дискілі шарғы түрінде орындайды, ол сельсин осімен синхрондау орамы және тороидальді өзек арасында статордың қарсы беттерінде орналасқан.

Сельсиннің жұмыс процесінде өтетін магнитті ағын сельсин магнитті жүйесінде тұйықталады, статорда синхрондаудың үшфазалы орамымен бірігеді. Ағынның тұйықталу жолы суретте пунктирлі сызықпен көрсетілген. Осы суреттен көрінгендей, магнитті ағын магнитті



Жетекте тұйықталып, төрт рет әуе саңылауы арқылы өтеді. Осы себеппен қажетті магнитті ағын байланыссыз сельсиндеелеулі МҚК қажет. Бұл байланысты сельсинмен салыстырғанда байланыссыз сельсиндердің үлкен габариттерінің себебі болып саналады.

17.7-сурет. Байланыссыз сельсиннің құрылымдық сызбасы

17.4. Асинхронды атқару қозғалтқыштар

Басқару, реттеу және бақылау жүйелерінде үлкен қуаттағы басқарылатын электрқозғалтқыштары кең қолданылады. Осы қозғалтқыштардың көмегімен электр сигналын механикалық ауыстыру – білік айналуына түзу жүзеге асырылады. Мұндай электрқозғалтқыштарында атқарушы деп атайды (АҚ). Атқару қозғалтқыштарына қойылатын талаптардың сипатымен олардың жұмыс ерекшелігі анықталады: жиі іске қосу, реверстер, әрдайым өзгеретін айналу жиілігі. Негізгі талаптары – өздігінен жүруінің болмауы, яғни басқару дабылын алу кезінде өздігінен тежелу; айналу жиілігін реттеудің кең ауқымы; сипаттамалардың желілігі; үлкен іске қосу мезеті; басқарудың шағын қуаты; жылдам әрекет ету (шағын инерттілік).

Асинхронды атқарушы қозғалтқыш статорында екі бірфазалы орам орналасқан (16.2-қараңыз). Орамдардың бірі – қоздыру орамы (ҚО), кернеумен желіге үнемі қосылуы, ал екіншісі – басқару орамы (БО) – кернеу (басқару дабылы) және қозғалтқышты іске қосу қажеттілігінде жіберіледі (17.8-сурет).

Екі фазалы АҚ жұмысы үшін айналатын магнитті өріс керек, оның пайда болуының міндетті шарты статор фазалық орамдарының МҚК арасында кеңістікті және фазалық ығысу болып табылады. Көрсетілген МҚК кеңістікті ығысуы статор құрылысымен қамтамасыз етіледі, онда фазалық орам осімен кеңістікте бір біріне қатысты 90 эл.град.бұрышына ығысқан. Уақыттық (фазалық) ығысу МҚК екіфазалы кернеу жүйесінің статор орамын қоректендірумен (16.2-қараңыз) немесе БО айналдырғышының тізбегі – құрылғының қосылуы, ол кірістегі кернеуге қатысты оның шығысында кернеудің фазалық ығысуын алуға септігін тигізеді, яғни қоздыру орамының кернеуіне қатысты.

Алайда көп жағдайда уақыттық (фазалық) ығысу БО тізбегіне С сыйымдылығын қосу арқылы алынады (17.8-сурет).

Әдетте С сыйымдылық мәнін U_i U_v қозғалтқышты іске қосқан кезде айналма өрісті алу шартымен таңдайды. іске қосу мезеті аяқталған соң С: қозғалтқыш эллипстік айналатын өріспен жұмыс жасайды.

ҚО



у

17.8-сурет. Синхронды атқару қозғалтқышын қосу сызбасы

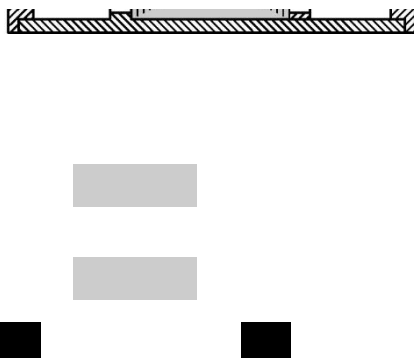
17.9-сурет. Атқару асинхронды қозғалтқышында өздігінен жүруді жою

Атқару қозғалтқышын басқару басқару орамында БО басқарылатын дабылдың көлемін (амплитудасын) немесе фазалық ығысуын өзгертуді арқылы жүзеге асырылады, мұнда осы орамның МҚК мәні (амплитудасы), ҚО қоздыру орамының МҚК қатысты мәні өзгереді. Сондықтан ИҚ басқарудың қарастырылған әдісі амплитудалық-фазалық деп атайды.

ИҚ негізгі талаптарының бірі – өздігінен жүрудің болмауы. Кәдімгі асинхронды қозғалтқыштардың ротор орамының белсенді кедергісі шағын және шекті сырғумен жұмыс жасайды (13.4-қараңыз). Осындай қозғалтқыштар атқарушы ретінде жарамсыз, себебі олардың өздігінен жүретіні бар, яғни басқару дабылын алған кезде қозғалтқыш бірфазалы режимде секілді жұмысын жалғастырады (16.3-суретті қараңыз). Ол 17.9а-суретте берілген, онда А нүктесі басқару дабылының болуымен жүктеме мезетінің $I_{ном}$ қозғалтқыш жұмыс режимін анықтайды. Басқаруды алған соң статор өрісі өтеді (қоздыру орамы үнемі желіге қосылған) және қозғалтқыштың жұмыс режимі В нүктесінде бірфазалы қозғалтқыштың нәтижеленуші сипаттамасында анықталады мұнда қозғалтқыштың электромагнитті мезеті оң болып қалады. Егер ротордың белсенді кедергісін арттырса, онда тура $M_{пр}$, кері $I_{обр}$ және нәтижеленуші мезеттер $M_{пр} + I_{обр}$ өзгере алады (17.9б-суреті): $I_{пр}$ және $I_{обр}$ мезеттер максимумы үлкен сырғу жағына ығысады ($\gamma_{кр} > 1$). Енді басқару сигналын беруді тоқтатқан соң, яғни қозғалтқыш бірфазалық режимге өткен кезде электромагнитті мезет теріс I_t болады (В нүктесі) және роторға тежеу әсері береді, бірақ өздігінен жүруге жол бермейді.

Атқарушы қозғалтқыштарға осындай шағын инерттілік (жылдам әрекет ету) талабы қойылады, яғни дабылы берілген кезде

17.10. Бос магнитті емес роторы бар асинхронды қозғалтқыш: ¹ — сыртқы статор; ² — ротора стақаны; ³ — ішкі статор; ⁴ — статор орамы; ⁵ — білік; ⁶ — бос ротордың бекіту білігі



Қозғалтқыш роторы бекітілген айналу жиілігіне тез қол жеткізеді. Осы талапты орындау іске қосу мезетінің артуына, статор өрісінің синхронды айналу жиілігін азайтады және ротор инерциясының мезеті төмендейді. Жоғары жиілік кезінде қоректендіру кернеуі (үлкен синхронды айналу жиілігі) қалыпты құрылымдағы роторы бар ИҚ (қысқа тұйықталған) соңғының инерция мезет елеулі болғандықтан қажетті жылдам әрекетке ие емес. Бұл жағдайда асинхронды атқарушы қозғалтқыштарды бос магнитті емес роторымен пайдаланады (17.10-сурет). Бос магнитті емес ротор жұқа қабырғалы алюминий стақанын білдіреді, ол бір жағынан жоғары белсенді кедергіні, екінші жағынан шамалы инерция мезетін білдіреді.

Қозғалтқыштың екі статоры бар: сыртқы (орамы бар және ішкі), орамсыз, ротордың бос стақанының ішіне енеді. Ішкі статор негізгі магнитті ағынға магнитті кедергіні азайту үшін керек.

Қалыпты құрылыстағы бос магнитті емес роторы бар артқарушы қозғалтқыштармен салыстырғанда габариттері үлкен және ПӘК жоғары емес. Бұл ішкі және сыртқы статорлары арасында елеулі саңылаудың болуымен түсіндіріледі, ол ротор стақаны қабырғасының қалыңдығынан және екі әуе саңылауынан тұрады. Белгілі болғандай, әуе саңылауының артуы қозғалтқыштың магниттендіру тогының артуына және ПӘК төмендеуіне септігін тигізеді.

17.5. Желілік асинхронды қозғалтқыштар

Желілік қозғалтқышты қозғалмалы бөлігі ілгерілемелі қозғалыс жасайды, сондықтан осы қозғалтқыштарды ілгерілемелі қозғалысы бар жұмыс машиналарының жетегі үшін пайдалану



Зематикасын қарапайым қылуға, жіберілістегі шығынды азайтуға және жалпы механизм сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Төрт түрлі желілік қозғалтқыштар мүмкін: электромагнитті (соленоидты), магнитті электрлі (тұрақты магнитті қолданумен), электродинамикалық және асинхронды. Асинхронды (индукциялық) желілік қозғалтқыштар құрылым қарапайымдылығына және сенімділігінің жоғары болуына байланысты ең үлкен қолданысты иеленген.

17.11-сурет. Доғалы және желілік қозғалтқыш ұғымына:
1 — индуктор; 2 — екінші элемент

Желілік асинхронды қозғалтқыштың жұмыс ұстанымын түсіндіру үшін ротордың айналу қозғалысы бар асинхронды қозғалтқышқа жүгінеміз. Егер осы қозғалтқыштың статоры (17.11а-суреті), бұрышы бар доғаны түзу үшін «кесіп», «ашу» керек (17.11б-суреті), онда ротор диаметрі артады. Мұнда доғалық статоры бар асинхронды қозғалтқышты аламыз. Осы қозғалтқыштың (синхронды жиілік) статордың магнитті өрісінің айналу жиілігі

$$n_i = n_l a / (2p), \quad (17.7)$$

мұнда P_0 — қалыпты асинхронды қозғалтқыштың айнарудың синхронды бөлігі («кесуге» дейін, яғни $a = 360^\circ$), айн/мин; a — статор доғасының бұрышы, рад.

(17.7) сәйкес a бұрышын өзгерте отырып, n айналу жиілігінен кем кез келген синхронды жиілікке доғалық асинхронды қозғалтқышты аламыз. Мысалы, доғалы асинхронды қозғалтқыш $a = 165^\circ$ кезінде синхронды айналу жиілігі:

$$n_{i65} = n ? (165/360) = 0,458 n_{i0}.$$

доғалы қозғалтқыштарды құрылғылардың редукторсыз жетек үшін қолданады, ол күрделі және көп еңбекті қажет ететін редукторды пайдаланбауды қарастыратын шағын айналу жиілігін талап етеді. Егер «кесілген» статорды жазып ашса, онда асинхронды желілік қозғалтқышты аламыз (17.11в-суреті). Ротордың айналу әрекеті бар желілік асинхронды қозғалтқыштың құрылымдық ерекшелігі – желілік қозғалтқыштың бірінші элементі (индуктор) айналатын емес, жүгіретін магнитті өрісті тудырады және қысқа тұйықталған орамы бар (немесе жоқ) қозғалтқыштың қозғалмалы бөлігі, екінші элемент деп аталады, өзінің білігінің бойымен орналасады. Желілік қозғалтқыштағы жүгіретін

$$n = 2f_1 = A^L J p, \quad (17.8)$$

мұнда t — полюстік бөлу, м; f_1 — статор орамының ток жиілігі, Гц; L_c — статор (индуктор) ұзындығы, м.

желілік асинхронды қозғалтқыштың әрекет ету принципі келесіге негізделген — индуктордың жүгіретін өрісі қозғалтқыштың екінші элементінен қысқа тұйықталған орамымен бірігіп, оған ЭҚК келтіреді. Екінші орамның өзектерінде туындайтын токтар индуктордың жүгіретін өрісімен өзара әсерлеседі және индуктор мен екінші элементін де электромагнитті күштерді құрады, олар бір-біріне қарсы бағыттталып, қозғалтқыштың қозғалмайтынына қатысты қозғалу бөлігіне желілік ауыстыруға тырысады. Кейбір желілік қозғалтқыштардың құрылымдарында қозғалмалы бөлігі индуктор болып табылады, өзгеде — екінші элемент, ол жүгіргіш деп аталады. Егер желілік қозғалтқыштың екінші элементін қысқа тұйықталу орамымен қолдану мүмкін емес, онда екінші элементтерін мыс, алюминий немесе ферромагнитті болаттан жасалған жолақтар түрінде қолданады. Анағұрлым қанағаттанарлық болып, құралған екінші элементтегі желілік қозғалтқыш сипаттамалары болады, мысады мыс қабатымен жабындалған ферромагнитті болаттан жасалған жолақтар түрінде орындалады.

Статор ашық асинхронды қозғалтқыштардың негізгі кемшілігі — доғалық және желілік - шеткі әсер құбылысы, ол статордың ашық құрылысымен шартталған электромагнитті процестердің кешенін білдіреді. Шеткі әсердің қажетсіз салдарына біріншіден паразитті тежеу күшін жатқызуға болады, ол қозғалтқыштың қозғалмалы бөлігіне қарсы бағытталған және көлденең бағытта қозғалтқышты қозғалмалы бөлігін ығыстыруға тырысатын көлдене күштер пайда болады.

Сонымен қатар шеткі әсер өзге қажетсіз құбылыстарды тудырады, ол желілік қозғалтқыштардың жұмыс сипаттамаларын нашарлатады.

Желілік асинхронды қозғалтқыштарды кедергі жетегі үшін қолданады, ленталы контейнерлері, көтергіш-көлік механизмдерінен құралады. 17.12-суретте желілік асинхронды қозғалтқыш жетегі көтергіш краны арбасы көрсетілген. Арбада 3 желілік қозғалтқыш индукторы орналасқан, ол дестеленген өзекден тұрады.



1

■ 4

17.12-сурет. Орамда орналасқан пазалардың синхронды қозғалтқышы

17.13-сурет. Теміржол көлік құралының желілік асинхронды қозғалтқышы

Көтергіш кранның арба 2 дөңгелегі үшін бағыттаушы болат бағанын 1 танытады, оның төменгі бөлігіне болат жолақ бекітілген 4. Индуктордың жүргіргіш магнитті өрісі болат жолақта иірім токтарын келтіреді. Осы токтардың индуктор магнитті өрісімен әсерлесу нәтижесінде туындайтын электромагнитті күштер индукторды (арбаны) болат жолақ 4 бойына орналастырады.

Желілік асинхронды қозғалтқыштар елеулі қуатта тартқыш қозғалтқыш ретінде көлікте қолданады. Осындай қозғалтқыштың нұсқаларының бірі 17.13-суретте көрсетілген. Мұнда қозғалтқыш индукторы 2 көлік құралына 1 ілінген, ал болат жолақ 3 тігінен рельстер арасындағы жолдар негізіне бекітілген. Бұл құрылыстар F_n көлденең күш шеткі әсермен тудырылып, пайдалы пайдаланылады, себебі ол негізгі білік пен дөңгелектің қысым күшін азайтады, және нәтижесі ретінде тербелс үйкелісін азайтады.

Бақылау сұрақтары

1. Индукциялық реттеуші және фазалық реттеушінің байланыс сызбалары арасындағы айырмашылық неде?
2. ИР шығысындағы кернеу ротордың бір айналымы үшін ең үлкен мәніне қол жеткізеді, егер орамы $2p = 6$ болса?
3. Шығысында желідегі ток жиілігінен артық жиілікте ЭҚК алу үшін АЖТ роторын қай бағытта айналдыру керек?
4. Егер ток жиілігі АЖТ кірісінде 50 Гц тең, ал шығысында – 100 Гц тең болғанда жетекті қозғалтқыштың қуаты АЖТ шығысында қандай қуат үлесін құрайды?
5. Жіберілістің индикатор жүйесіндегі сельсиндердің жұмысын түсіндіріңіз. Бұрылыс бұрышындағы қателік неден туындаған?
6. Асинхронды атқарушы қозғалтқыштағы өздігінен жүрудің болмауы немен қамтамасыз етіледі?
7. Асинхронды желілік қозғалтқыштың жұмыс істеу ұстанымын түсіндіріңіз.
8. Шеткі әсер дегеніміз не және желілік асинхронды қозғалтқыштағы орынсыз әрекеттері қандай?

18 тарау

ЭЛЕКТРЛІ МАШИНАЛАРДЫ ОРЫНДАУДЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ПІШІНДЕРІ

18.1. Электрлі машиналарды жылыту және салқындату

Электрлі машинада өтетін барлық шығын түрлері жылу түзеді, ол жартылай машинаны жылытуға, ал жартылай қоршаған ортада жұмсалады. Жылыту қозғалтқыштың барлық көлемімен тегіс жайылады деп санау қабылданған, ал жылуды шашырату да оның бетімен тегіс болады. Бұл жағдайларда жылу теңгерімінің теңдеуі келесі түрде болады

$$qdt = mcdt + S\lambda m dt, \quad (18.1)$$

мұнда q — машинада уақыт бірлігіне бөлінетін жылу көлемі (Дж/с):

$$q = SP,$$

SP — қозғалтқыш қуатындағы жиынтық шығындар, Вт; $mcdt$ — машинаны жылытуға кететін жылу көлемі; m — жылынатын машина массасы; c — машина материалының үлесті жылу сыйымдылығы, яғни осы материалдың 1 кг 1°C жылытуға қажетті жылу көлемі; t — қоршаған ортаның температурасынан машинаны жылыту температурасын арттыру; $S\lambda t$ — уақыт бірлігіне қоршаған орта кеңістігіне қозғалтқыш бетінен шашырайтын жылу көлемі; λ — жылуды шашырату коэффициенті, яғни 1°C температурасын арттыру кезінде 1 машина бетінің бірлігінде шашырайтын жылу көлемі.

Бастапқы мезетте машинаның жұмысы жылыту температурасы бар, ол қоршаған орта температурасынан айырмашылығы жоқ 0_b , яғни астам жылыту $t = 0$. Бұл жағдайда қоршаған ортаға жылу шашу болмайды, яғни $S \lambda t dt = 0$ және машинада бөлінетін бар жылу оны жылытуға бөлінеді. Содан кейін машинаны жылыту температурасы қоршаған орта температурасынан асып кеткен кезде, яғни $t > 0$, бөлінетін жылу бөлігі қоршаған ортаға шашырай бастайды. Соңынд, машинаны жылыту температурасы бекітілген $0_{yct} = \text{const}$ мәнге жеткен соң, машинада бөлінетін барлық жылу қоршаған ортаға таралады, яғни жылулық тепе-теңдік режимі орын алады:

$$qdt = S \lambda t_{yct} dt, \quad (18.2)$$

мұнда

$$t_{yct} = 0_{yct} - 0_1. \quad (18.3)$$

(18.2) сәйкес

$$T_{уст} = q / (S \lambda).$$

(18.4)

(18.4) өрнегінен келесідей тұжырым жасаймыз:

а) қызып кетудің бекітілген температурасы электр машинасының салмағына байланысты емес, онда уақыт бірлігінде бөлінетін жылу көлемімен q , яғни электр машинасының SP шығын қуатымен анықталады;

б) қызып кетудің бекітілген температурасы салқындату бетінің ауданына S және жылы шашырату коэффициентіне 1 кері пропорционал, яғни машинаны салқындату интенсивтілігіне байланысты; арнайы салқындату әдістері бар машиналарда (жасанды желдетілетін) жасанды желдеткіші бар машинадан кем (құрылыс және жұмыс шарттары бірдей).

Егер машина желіге оң температурасы қоршаған орта температурасына θ_1 сәйкес желіге қосылса, онда қыздыру температурасының тәуелділігі t уақыттан осы машина теңдігіне сәйкес:

$$t = t_{уст} (1 - e^{-t/T_n}), \quad (18.5)$$

мұнда $e = 2,718$ — табиғи логарифмдердің негіздемесі; T_n — уақытты көрсететін жылытудың тұрақты уақыты, (с), машинаны бекітілген температураға дейін жылытуға қажетті, егер оның бетінің жылу шашуы болмаса.

Жылыту кестесі $t = f(t)$, (18.5) бойынша құрылған, экспоненциалды қисықты білдіреді, оған сәйкес, машина қыздырудың бекітілген температурасына жылиды, тек ұзақ уақыт өткен соң (18.1а-суреті). Жылыту процесі алдымен қарқынды жүреді, содан кейін қыздырудың бекітілген температураға жақындау шамасынша баяулайды. Теориялық тұрғыдан машина қыздырудың бекітілген температураға жетеді, $t = t_e$ уақытында. Бастапқы бөлігіне дейін жылыту кестесін жүргізіп, уақыт масштабында тұрақты жылыту T_n уақытын анықтайтын кесіндіні аламыз. Осылайша, физикалық көлемді T_n температурасының артуы бекітілген мәніне t_{yc} жететіндей уақытты айтады, егер жылыту кестесі түзу сызықты білдірсе.

a

б

18.1-сурет.
Электр машинасын
жылыту (а) және
салқындату (б)

Шынайы жағдайларда қыздыру температурасы уақытында $t = (4 - 5)T_n$ жылытудың бекітілген мәніне жетеді деп қабылданған.

Егер машинаны желіден ажыратып, оның ары қарай қыздырылуын тоқтатса, онда оның бетінен жылу шашырату онда жиналған жылу есебінен болады. Мұнда машинаның қызу температурасы дейін төмендейді, яғни температура қоршаған орта температурасына теңескенше. Бұл суу процесі салқындау кестесі бойынша өтеді (18.16-суреті), ол келесі теңдеу бойынша құрылады:

$$\tau = \tau_{\text{уст}} e^{-t/T_0}, \quad (18.6)$$

мұнда T_0 — салқындатудың тұрақты уақыты, с.

машинаны қыздыру температурасы салқындату уақытында $t = (4 - 5) T_0$ дерлік нольдік мәнге жететіні қабылданған.

Осылайша, жылыту мен салқындатудың тұрақты уақыты процестердің жылдамдығын сипаттайды. Мысалы, машина жылдам жылыған сайын, жылытудың тұрақты уақыты азаяды.

Мәселен, электрлі машина жұмыс процесінде жылиды, мұнда оның түрлі бөліктері үшін жылыту температурасының шекті жол берілетін мәндері берілген.

Жылытуға орамдардың электрлі оқшаулауы сезімтал. Шекті мәнінен асатын температурада оқшаулаудың жылулық қартаю процесі жылдамдайды, ол оның оқшаулау және механикалық қасиеттерін нашарлатады. Электротехникалық бұйымдарда қолданылатын электр оқшаулау материалдары жылу төзімділігінің бес санатына бөлінеді: A, E, B, F және H . Электрлі машиналарда үш жылуға төзімді санаттағы оқшалауды қолданады: B, F және H . Жұмыс процесінде машина жұмысы орамдардың оқшаулауы тегіс емес, мұнда жылыту температурасын өзгерту ең ыстық нүктелерінде техникалық мүмкін емес. Сондықтан қолданыстағы стандартқа сәйкес, орамды оқшаулауды жылытудың шекті температуралары жылу төзімділігі санатына сәйкес келетін шекті жол беретін мәндерінен төмен:

Оқшаулаудың жылу төзімділік санаты	$B \ F \ H$
Оқшаулауды жылытудың жол берілетін	
шекті температурасы, °C	130 155 180
Қозғалтқыш орамын жылытудың	
Шекті жол берілетін температурасы,°C	120 140 165
$9_1 = 40$ °C кезінде орам температурасын	
шекті жол берілетін температурасы	80 100 125
Орам кедергісін есептеу үшін жұмыс температурасы, °C	75 115 115

Артық қыздыру машинаның басқа бөліктеріне кері әсерін тигізеді, мысалы, мойынтірек, түйіспелі сақиналары және т.б.

Машинаның қандай да бір бөлігінің артық қыздыру θ_2 температурасы белгілі температура кезінде және қоршаған орта температурасында $\theta_1 = 40^\circ\text{C}$:

$$\theta_2 = \tau_{\text{уст}} + \theta_1. \quad (18.7)$$

Қоршаған ортаның жоғары температурасында жұмыс жасайтын машиналар үшін, мысалы металлургиялық өндіріс шарттарында θ_1 температурасын 40°C артық қабылдайды.

Электр машиналарының жұмыс режимдері. Қолданыстағы стандартқа сәйкес электрлі машиналардың үш номиналды режимі бар, олар жүктеменің өзгеру сипатымен ерекшеленеді.

Созылыңқы номиналды режим $S1$ – мұнда өзгеріссіз номиналды жүктемеде P_n машина жұмысының созылу ұзақтығы қыздыру температурасы оның барлық бөлшектері бекітілген мәнге $\tau_{\text{уст}}$ қолжеткізуге ұмтылуда. Өзгеріссіз жүктемесі бар ұзақ режимі бар $P = \text{const}$ (18.2а-суреті) және өзгертін жүктемесі бар ұзақ режимі (18.2б-суреті) бар. Мысалы, сорғы қозғалтқыштары, транспортер, желдеткіштер өзгеріссіз жүктемемен ұзақ режимде жұмыс жасайды, ал илемдік орнағының қозғалтқыштары, металл кесетін станоктары және т.с.с. – өзгертін жүктемесі бар ұзақ режимде.

Қысқа мерзімді номиналды режим $S2$ – онда номиналды жүктемесі өзгеріссіз мерзімі қозғалтқышты өшіру мерзімімен кезектеседі (18.2в-суреті). Мұнда қозғалтқыш жүктемесінің B_n мерзімдері соншалықты қысқа мерзімді, онда қозғалтқыштың барлық бөлшектерінің қыздыру температурасы бекітілген мәндерге жетеді, онда қозғалтқыш бөлігі қоршаған орта температурасына дейін салқындап үлгереді. Стандартпен жүктеме мерзімдерінің ұзақтығы бекітілген 10; 30; 60 және 90 мин. Шартты белгіленуде қысқа мерзімді режимде жүктеме мерзімінің ұзақтығы көрсетіледі, мысады $S2$ — 30 мин. Қысқа мерзімді режимде шлюздердің жетекті қозғалтқыштары, түрлі кедергілер және бекіту құралдары жұмыс жасайды, олар құбыр арқылы тұтыну объектісіне жұмыс затының (мұнай, газ және т.б.) берілісін реттейді.

Қайталама – қысқа мерзімді номиналды режим $S3$ – қозғалтқыштың номиналды жүктемесінің қысқа мерзімді кезеңдері қозғалтқышты өшіру мерзімдерімен кезектеседі (үзілістермен), мұнда жүктеме мезетінде барлық бөліктерінің температураны асыруы бекітілген мәндерге жетіп үлгермейді, ал қозғалтқыш бөлігінің үзілісі кезінде қоршаған орта температурасына дейін салқындап үлгермейді. Қозғалтқыштың жалпы жұмыс уақыты қайталама-қысқа мерзімді режимде ұзақтығы $B_{\Sigma} = B_n + B_m$ мерзімді қайталанатын циклдерге бөлінеді.



б

в

г

18.2-сурет. Қозғалтқыштың ұзақ мерзімді өзгеріссіз (а), ұзақ өзгермелі (б), қысқа мерзімді (в) және қайталама-қысқа мерзімді (г) номиналды жұмыс режимдерінде кезіндегі жүктеме диаграммалары

Қайталама-қысқа мерзімді режимде қозғалтқышты жылыту кестесі ара тәрізді қисық түрде танылады (18.2г-суреті). Қозғалтқыш жылыту температурасының бекітілген мәніне жеткен кезде, ол қайталама-қысқа мерзімді режимге $t_{уст}$ сәйкестенеді, қозғалтқышты жылыту температурасы T_{min} дейін T_{max} аралығында тербелуді жалғастырады. Мұнда $t_{устк}$ жылыту температурасынан кем, ол қозғалтқыштың жұмыс режимі ұзақ болса орын алатын еді ($t_{устк} < t_{уст}$). Қайталама-қысқа мерзімді режимнің мысалдарына лифтілердің электржетегінің жұмысы, көтергіш кранының, экскаватордың және жұмысына мерзімділік тән құрылғылардың жұмысы бола алады (үзілістерімен жүктеме мерзімдерін кезектестіру).

Қайталама-қысқа мерзімді режим қосылудың шартты ұзақтығымен сипатталады, %,

$$ПВ = (\xi_d / \xi_n) 100. \quad (18.8)$$

Қолданыстағы стандартпен ПВ 15, 25, 40 және 60 % номиналды қайталама-қысқа мерзімді режимдер қарастырылған (ПВ ұзақ режимі үшін 100 %). Қайталама-қысқа мерзімді режимнің шартты белгіленуінде ПВ көлемін көрсетеді, мысалы S3 - 40 %.

Қарастырылған үш номиналды режим негізгі болып саналады. Қозғалтқыш топтамаларында, олар осы режимдердің біріне арналған, осы жұмыс режиміне сәйкес келетін номиналды мәліметтері көрсетілген.

Негізгі үш режимнен басқа стандартпен тағы бес қосымша режим қарастырылған.

18.2. Электрлі машиналарды салқындату әдістері

Салқындату әдісі бойынша электрлі машиналар екі түрге бөлінеді: жасанды және табиғи салқындату.

Электрлі машиналарды табиғи салқындату. Бұл машиналардың желдеткіші немесе машинаны салқындатуға өзге құралдары жоқ. Салқындату жылу өткізгіштік пен конвекция есебінен табиғи жолымен өтеді.

Жылуөткізгіштік – қатты дене ішінде жылудың берілуі. Мысалы статор орамының пазалық бөліктері жылып, өзекке пазалық оқшаулау қабаттары арқылы жылу беріледі. Өзекні бекіту орындары арқылы жылу статор шанағы арқылы беріледі. Жылу өткізгіштікпен жылу берілісі анағұрлым жылыған қатты дене қабаттарынан аз жылығандарға беріледі.

Конвекция дегеніміз қыздырылған дене бетімен жанасатын (орамдардың алдыңғы бөлігі, өзек, корпус) газ бөлшектері (ауа) жылынып, жеңілденеді және үстіге көтеріледі, аз жылыған бөлшектерге орын береді және т.б. мұндай конвекция табиғи деп аталады. Айналушы машинада тағы да жасанды конвекция бар, ол ротор айналуымен шартталған, ол газдың (ауаның) мәжбүрлі циркуляциясын құрады, ол машина ішінде конвекция әсерін күшейтеді.

Электрлі машиналарды жасанды салқындату. Бұл машиналарда арнайы құрылғы қолданылады, әдетте, газ машинасында қозғалатын желдеткіш оның қызған бөліктерін салқындатады. Жасанды салқындату бар машиналардың елеулі тобын өдігінен желдетуі бар машиналар құрайды, желдеткіші машина білігіне бекітілген; жұмыс процесінде ол айналып, аэродинамикалық ағын құрайды. өздігінен желдету жүктемелі және ішкі бола алады.

Сыртқы өздігінен желдету кезінде статор корпусының сыртқы беті үрленеді. Машина бұл жағдайда бүйірлі жабыны бар жабық орындауы бар (салқындату бетін арттыру үшін). Ішкі өздігінен желдету кезінде шанақ пен машинаның мойынтіректі қалқанында ауа қоршаған орта арқылы машина ішіне енеді, содан кейін сыртқа шығарады. Ішкі өздігінен желдету ұстанымы

⇐ от электрических потерь

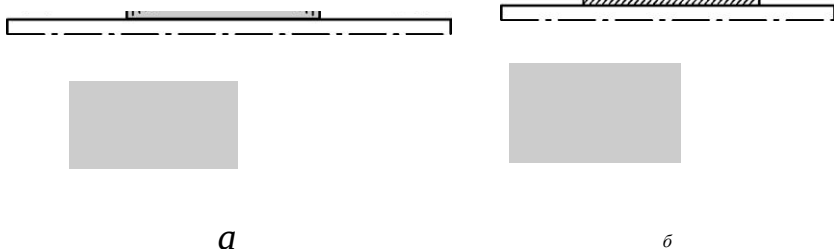
← от магнитных потерь



18.3-сурет. Электрлі машинаның ішкі өздігінен желдету ұстанымы.

электрлі машиналарда кең қолданыс тапқан, 18.3-суретте бейнеленген. Машина білігінде орталық желдеткіш бекітілген. Ол білікпен бірге айналып, ол оң жақ мойынтірек қалқанындағы саңылауда ауа сорады, машина ішінде аэродинамикалық ағын тудырады, оның әсерімен ауа оның іші арқылы өтеді. Ауа желдету арналары, саңылау мен полюс аралық кеңістік (айқын полюсті құрылым машиналар) арқылы өтеді. Мұнда машинаның жылыған бөліктерін жуады, олардан жылуды алады және жылынып алып, желдеткішке қарама-қарсы сол мойынтірек қалқаны жағынан арнайы тесіктерден шығады.

Анағұрлым тиімді салқындату үшін кейбір машиналардың магнитті жетегінде желдету арналарын жасайды, ол арқылы салқындату газы өтеді. Желдету арналарын ротордың осіне параллель орналасса аксиальді (18.4а-сурет) және машина осіне перпендикуляр орналасса, радиальді деп атайды (18.4в-сурет). Радиальді желдету арналарын өзекнің жалпы ұзындығы 40-60 мм бойынша пакеттерге бөлінген. Пакеттер арасында 10 мм аралықтар құрайды, олар радиальді арналар болып табылады. Кейден машиналарда радиальді желдетуді қолданады. Айналу жиілігін реттеу қозғалтқышында өздігінен желдетудің тиімділігі аз, ол машинаны астам жылытуға келтіреді.



18.4-сурет. Аксиальді (а) және радиальді (б) желдету жүйелері: 1 — статор; 2 — ротор

Сондықтан мұндай қозғалтқыштарда тәуелсіз желдетуді қолдану мақсатты (29.15-суретті қараңыз), онда желдеткіштің жеке жетегі бар (соңғының айналу жиілігі машинаның жұмыс режиміне тәуелді емес). Тәуелсіз желдетуді жарылғыш немесе химиялық белсенді ортада жұмыс жасайтын электрлі машиналарды салқындату үшін қолданады. Бұл жағдайда желдету 4 (18.5а-суреті) құбыр арқылы 3 машинаға ауаны 1 келтіріп, құбырдан 2 сыртқа шығарады. Тәуелсіз желдетудің мұндай жүйесі ашық және тұйық деп аталады (18.5б-суреті). Газдың бір көлемі тұйық жүйеде циркуляцияланады, ол қозғалтқыштан (салқындату объектісі) 1, құбырдың 3 тәуелсіз желдеткішінен және салқындату 5 радиаторынан 4 тұрады. Радиатор 4 арқылы өтіп, машинада жылыған газ суық су арқылы радиатордан өтеді (18.5б-суретіндегі пунктирлі сызықтар).

а б

18.5-сурет. Ашық (а) және тұйықталған (б) тәуелсіз желдету жүйелері

Электрлі машиналарды салқындатудың барлық әдістері International Cooling ағылшын сөзінің бастапқы әріптері болатын ІС әріптерімен белгілеу қабылданған, қалған әріптері мен сандары машинаны салқындату әдісін белгілейді. Алдымен салқындау агентінің түрін көрсететін әріп көрсетіледі: А- ауа, Н –сутегі, V- су және т.б. егер суыту агенті тек ауа болса, онда әріп түсіріледі.

Содан кейін бірнеше сан кетеді: бірінші саны шартты суыту агентінің циркуляциясы үшін салқындату тізбегінің құралын белгілейді, мысалы ауаның, екіншісі – суыту агентін пайдалану әдісі. Егер машинаның бірнеше суыту агенті болса (мысалы, ішкі желдету немесе сыртқы үрлеу), онда белгіленуде төрт саны бола алады: екі – салқындатудың сыртқы тізбегін белгілеу үшін және екеу – ішкі үшін.

Төменде электрлі машиналарды салқындатудың кең таралған әдістерін белгілеу мысалдары келтірілген:

IC01 — ішкі өздігінен желдетуі бар машина; желдеткіш машинаның білігінде орналасқан (18.3-суретті қараңыз);

IC03, IC05, IC06, IC07 — салқынданатын машина шанағында орналасқан жеке қозғалтқышы бар кіріктірілген салқындату желдеткіші бар машина (тәуелсіз желдету) (29.15-суретті қараңыз);

IC37 — келтіретін және кетіретін құбырлары бар жабық машина; салқындату машинасынан тыс орнатылған жетекті қозғалтқышта салқындату желдеткіші бар машина (18.56-суретін қараңыз).

IC0041 — табиғи салқындатуы бар жабық машина;

IC0141 — машина білігінде орналасқан сыртқы үрлейтін желдеткіші бар жабық машина (10.2-суретін қараңыз).

18.3. Электрлі машиналарды орындаудың

құрылымдық пішіндері

Электрлі машинилардың қасиеттері тек электромеханикалық өлшемдерімен және сипаттама пішінімен ғана анықталады. Ең алдымен, электрлі машина пайдалануда қауіпсіз, монтаждау кезінде ыңғайлы және сыртқы факторларға төзімді болу керек. Аталған талаптар электрлі машиналарды орындаудың құрылымдық пішіндерімен ескеріледі, олар қорғаныс дәрежесімен, салқындату әдісімен және монтаждаумен, климаттық жағдайлармен және пайдалану орнымен анықталады.

Электрлі машиналардың қорғаныс дәрежесі екі әріппен International Protektion – бастапқы әріптері және екі санмен белгіленеді. Бірінші саны қызметкерлерді ток өтетін және айналу бөліктерімен жанасу және машина ішіне қатты денелердің енуінен қорғауды білдіреді. Екінші саны машина ішіне су өтуден қорғау дәрежесін білдіреді. Кернеуі 1000 В болатын машиналар үшін қорғаныстың алты дәрежесі бекітіледі, ол келесідей белгіленеді (бірінші сан):

0 — қорғаныс жоқ;

1 — адам денесінің үлкен бөлігінің ток беретін және айналатын бөліктерімен кездейсоқ жанасудан қорғау; қасақана жанасудан қорғану жоқ; диаметрі 50 мм артық ішіне қатты денелерінің түсіп кетуінен қорғау;

2 имеется защита от попадания внутрь твердых тел диаметром свыше 50 мм;

3 — құралдың ток беретін және айналатын бөліктерімен, сым және өзге заттармен жанасудан қорғау; олардың қалыңдығы 2,5 мм құрайды; диаметрі 2,5 мм асатын қатты денелердің машина ішіне түсуінен қорғау;

4 — қалыңдығы 1 мм асатын заттардың ток беретін және айналатын бөліктерімен жанасудан қорғау және машина ішіне қалыңдығы 1 мм артық қатты заттардың түсуінен қорғау;

5 — ток беретін және айналатын бөліктерімен жанасудан толық қорғау және машина ішінде зиянды заттардың шаңынан толық қорғау.

Машина ішіне су өтуден қорғаудың тоғыз дәрежесі бар (екінші сан):

0 — қорғаныс жоқ;

1 — тігінен түсетін конденсацияланған су тамшыларынан қорғау;

2 — тігінен 15° аспайтын бұрыштан түсетін су тамшыларынан қорғау;

3 — тігінен 60° аспайтын бұрышта түсетін жаңбырдан қорғау;

4 — кез келген бағыттағы су шашырауынан қорғау;

5 — кез келген бағыттағы су ағынынан қорғау;

6 — кеме палубасына тән әсерден қорғау, соның ішінде теңіз суымен малыну;

7 — стандартта көрсетілген уақытта және қысымда суға баты кезінде қорғау;

8 — стандартта көрсетілген қысым кезіндегі уақытта шектеусіз уақытта суға бату кезінде қорғау.

Қозғалтқыштың 1000 В дейінгі кернеуде мүмкін қорғаныс дәрежелері 18.1-кестеде берілген.

Айналу осінің биіктігінде машина біліктің айналу осінен табанның тірек жазықтығына дейінгі қашықтықты иеленеді (18.6-сурет).

Электрлі машиналарды оларды орнату орнында монтаждау табандарда немесе фланецтер арқылы жүзеге асырылады. Мұнда машина білігінің көлденең немесе тігінен орналасуы мүмкін.

Машиналардың құрылымдық орындалуының әр түрлілігі монтаждау әдісі бойынша стандартпен анықталған. Мұнда қозғалтқыштың орнату жерінде бекітілуі мен жұмыс механизмімен ұштасу әдісі көрсетілген.

Қызметкерлерді ток беретін және айналатын бөліктерімен кездейсоқ жанасудан қорғау дәрежесі, машина ішіне қатты	Машина ішіне судың өтуінен қорғау дәрежесі								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	IP00	IP01							
1	IP10	IP11	IP12	IP13	—	—	—	—	—
2	IP20	IP21	IP22	IP23	—	—	—	—	—
3									
4	—	—	—	IP43	IP44	—	—	—	—
5	—	—	—	—	IP54	IP55	IP56	IP57	IP58

Осы орындаудың шартты белгіленуі IM (International Mounting сөзінің бастапқы әріптері) әріптерінен және сандарынан тұрады.

Бірінші саны — құрылымдық орындалуы:

- 1 — мойынтірек қалқаны бар табанда;
- 2 — мойынтірек қалқаны бар табан, бір немесе екі қалқандағы фланецімен;
- 3 — мойынтірек қалқаны бар, табансыз, бір немесе екі қалқандағы фланецімен;
- 4 — табансыз, мойынтірек қалқандарымен, тұғырдағы фланецпен;
- 5 — мойынтірек қалқандарынсыз;
- 6 — тұғырлы мойынтірегі бар мойынтірек қалқаны бар табандарда;
- 7 — табанда, тұғырлы мойынтірегімен (мойынтірек қалқанысыз);
- 8 — тігінен білігімен, осы тізімнің 1,2,3 және 4 жайғасымдарынсыз;
- 9 — монтаж әдісімен арнайы орындау.

Екінші және үшінші сандар— монтаж әдістері (машинаның кеңістікті қалпы және біліктің шығып тұрған ұшының бағыты).

Төртінші сан – біліктің ұшының орындалуы (цилиндрлік немесе коникалық, білік ұшының бір немесе екі шығыңқысы).
Монтаждау әдісімен машиналарды орындаудың кең таралған түрлері 18.2-кестеде берілген.Электр машиналар қолдану сенімділігіне елеулі әсерді



18.6-суреті. Электр машинасының айналу білігінің биіктігі

IM1001

Табанында екі мойынтірек қалқанымен,
цилиндрлі ұшы бар көлденең білік

**IM1011**

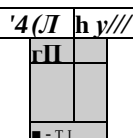
Екі мойынтірек қалқаны табанда бар,
цилиндрлі ұшы бар тігінен білік, төмен
бағытталған

IM2001

Екі мойынтірек қалқаны бар табанында,
бір қалқанында фланец бар, кері жағынан
қолжетімді, цилиндрлі ұшы бар көлденең білік

**IM2131**

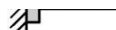
Екі мойынтірек қалқаны бар табанда, бір қалқанда
фланец бар, кері жағынан қолжетімсіз, тігінен білік



Цилиндрлі ұшы жоғары бағытталған

IM3001

Табансыз, екі мойынтірек қалқаны
бар, бір қалқанда фланеці бар, кері
жағынан қолжетімді, цилиндрлі ұшы бар
көледең білік цилиндрлі ұшы бар



Сыртқы ортаның климаттық жағдайлары әсер етеді, оларға жатады: температура және тербелістер диапазоны, қатысымды ылғалдығы, атмосфералық қысым, күн радиациясы, жаңбыр, жел, шаң, тұзды тұман, ызғар, көгерген саңырауқұлақ әрекеті, қоршаған ортада белсенді коррозиялық материалдардың әсері. Қозғалтқыштардың климаттық орындалуы әріптермен белгіленеді:

Жерде, өзенде, теңізде пайдалануға арналған қозғалтқыштар

макроклиматтық аудандарда:

орташа климатта Y
суық климатта XL
ылғалды тропикалық климатта TB
құрғақ тропикалық климатта TC
құрғақ және ылғалды тропикалық климатта T
жерде барлық макроклиматтық аудандар үшін
(жалпыклиматтық орындалу) O
Жер мен теңізде барлық макроклиматтық аудандар үшін B

Стандартпен сонымен қатар электрлі машиналардың пайдалану кезінде орналастыруына байланысты орындалуы бекітіледі: санмен белгіленеді:

1 — ашық ауада;

2 — ашық ауада немесе үй жайда, онда температура тербелісі мен ылғалдығы ашық ауадағы өлшемдердің елеулі өзгешеленеді (күн радиациясы мен атмосфералық жауын-шашындар);

3 — жасанды реттелетін климаттық жағдайларынсыз табиғи желдетуі бар жабық үй-жайларда;

4 — жасанды реттелетін климаттық жағдайлары бар үй-жайларда;

5 — ылғалдығы жоғары үй-жайларда.

Электрлі машинаны белгілеу мысалы:

4A112M4Y3 — үшфазалы асинхронды қозғалтқыш, А топтамасы (негізгі орындалу), қорғаныс дәрежесі IP44, салқындату IC0141, айналу осінің биіктігі 112 мм, статордың шартты ұзындығы М, полюстер саны 4 (синхронды айналу жиілігі, 1500 айн/мин), климаттық шарттар (Y) - орташа климат, қолдану кезінде орналасу жері (3) – табиғи желдетуі бар жабық үй-жай.

Пайдаланудың ерекше шарттары үшін арнайы топтамадағы қозғалтқыштар дайындалады.

Жарылудан қорғалған қозғалтқыштар жарылу және өрт қауіпті ортада жұмыс жасауға арналған. Бұл қозғалтқыштардың ерекше берік қаптамасы бар, қозғалтқышты пайдалану кезінде ішінне жану немесе жарылу кезінде өрт және жарылу қаупін болдырмайды. Сонымен қатар қозғалтқыштар химиялық өнеркәсіп мекемелерінде, газ және мұнай өнеркәсібінде қолданады.

Бататын қозғалтқыштар сұйықтыққа батырылып жұмыс жасайды. Мұнда қозғалтқыштың ішкі қуысы осы сұйықтықпен толтырылады (су, май, мұнай). Мұндай қозғалтқыштарды қойма, шахталарда пайдаланады.

18.4. Үшфазалы асинхронды қозғалтқыш топтамалары

Үшфазалы асинхронды қозғалтқыштар А. Бұл сериясы қуат 0,06 - 400 кВт ауқымын қамтиды. Қозғалтқыштарды типтік көлемдерге бөлу негізіне – құрылымды өлшем – h айналу білігінің биіктігі жатады (18.6-суретті қараңыз).

A4 сериясының қозғалтқыштарын айналу білігінің 50, 56, 63, 71, 80, 90, 100, 112, 132, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 315 және 355 мм биіктігімен дайындалады. Әр айналу биіктігінде қозғалтқыштар өзек пакеттерінің әр түрлі ұзындығындағы екі типтік көлемде орындайды, бірақ пластина штамптары бірдей. Қозғалтқыштарды синхронды айналу жиілігі 3000, 1500, 1000, 750, 600 және 500 айн/мин орындайды.



18.7-сурет. А4 сериялы асинхронды қозғалтқыштар жабық үрленетін (а) және қорғалған (б) орындаудағы

А4 сериялы қозғалтқыштарды екі орындауда дайындайды: жабық үрленетін (18.7а-суреті) және қорғалған ішкі өздігінен үрленумен (18.7б-суреті). Барлық айналу ауқымының жабық орындаудағы қозғалтқыштар қысқа тұйықталған ротормен дайындайды, ал айналу осі - 200, 225 және 250 мм – фазалық роторы бар (4АК).

Қорғалған орындаудағы қозғалтқыштарды қысқа тұйықталу роторымен (4АН) айналу осінің биіктігі $h > 160$ мм, ал айналу осінің биіктігі $h > 200$ мм — және фазалық роторы (4АНК).

4А сериялы қозғалтқыштарда айналу осінің биіктігі 50-132 мм аралығында жылу төзімділік санатын оқшаулауда, ал айналу осінің биіктігі 160-355 мм аралығында болатын – F санатындағы қозғалтқыштарда қолданады.

4А сериялы асинхронды қозғалтқыштар шаруашылықтың барлық салаларында қолданылады, сондықтан негізгі орындаудан бөлек бірнеше түрлені мен арнайы орындаулары бар.

Негізгі орындауда қозғалтқыштар іске қосу, сырғу, энергетикалық көрсеткіштерді іске қосу сипаттамаларына ерекше талап қоймайтын механизм жетектері үшін орындалған. Осы қозғалтқыштарды орнату жерінде қоршаған орта жарылғыш қауіпті емес, ток өткізетін шаңы жоқ, агрессивті газы мен концентрация буы, бұзатын металдары және оқшаулануы жоқ деп шамалануда. Қозғалтқыштар 18.3-кестесіне сәйкес ток жиілігі 50 Гц және кернеу желісінен жұмыс жасауға арналған. Өнеркәсіп 4А сериялы қозғалтқыштың келесі түрлерін шығарады:

а) сырғуы жоғары, жұмсақ механикалық сипаттамасы бар (4АС); осы қозғалтқыштардың қысқа тұйықталған орамында жоғары белсенді кедергісі бар;

б) роторда екі торы бар жоғары іске қосу мезеті бар қозғалтқыштар (4АР);

Қозғалтқыш қуаты, кВт	Номиналды кернеу, В	Статор орамын байланыстыру	Шығыс ұштарының саны
0,06 — 0,37	220 және 380	Д немесе Y	3
0,55 — 11	220, 380 және 660	солай	3
15 — 110	220/380 және 380/660	Д / Y	6
132—400	380/660	солай	6

в) көп жылдамдықты қозғалтқыштар —500 -3000 айн/мин ауқымында екі, үш және төрт айналу жиілігі;

г) ток жиілігі 60 Гц, айналу жиілігі дәл сол қуатта негізгі орындаудағы қозғалтқыштардан 20 % жоғары қозғалтқыштар;

д) шуылы аз қозғалтқыштар (теңгерімі жетілдірілген, жоғары санаттағы мойынтіректер және т.б.);

е) енгізілген электромагнитті тежегіші бар қозғалтқыштар (жиі іске қосылулары бар электржетек үшін);

ж) қозғалтқыштар, кіріктірілген механизмдер, олармен айналуға келтіріледі (4AB);

з) лифтілік екі жылдамдықты кіріктірілген температуралық қорғанысы бар, шуылы аз лифт жетектері үшін тұрғын және өнеркәсіптік ғимараттарда қозғалтқыштар.

Түрлерінің көптігі өнеркәсіптік электрқозғалтқыштағы қажеттілігін қанағаттандыруға мүмкіндік береді.

Үшфазалы асинхронды қозғалтқыштар АҚ сериясы. Бұл сериядағы қозғалтқыштардың арналымы жалпы өнеркәсіптік. Оларды айналу осінің биіктігі 45 - 355 мм аралығында, қуаты 0,025 -315 кВт, кернеуі 220/380 және 380/660 В, жиілігі 50 Гц дайындайды. Қозғалтқыштарды 60 Гц ток жиілігінде дайындайды. Қозғалтқыш қорғану дәрежесі бойынша бұл серияда орындалуы бар: жабық үрленетін барлық айналу осінің биіктігі немесе ішкі өздігінен желдетумен қорғалған айналу осінің биіктігі 160 - 355 мм болады.

4А сериялы қозғалтқыштар АҚ сериясына қарағанда жоғары төзімді алюминий балқытпасы мен пластмасса кеңінен қолданылған және желдету жүйесі жетілдірілген, ол 4А сериялы қозғалтқыштарға қатысты 10 — 20 °С номиналды жүктеме кезінде қозғалтқыштарды жылыту температурасының төмендеуін қамтамасыз ететін жетілдірілген желдету жүйесі. Ең үлкен қолданыс тапқан серия кесіндісі үшін айналу осінің биіктігі 71-100 мм жетілдірілген виброакустикалық сипаттамалары бар мойынтіректер қолданылған. Мойынтірек және желдету тораптарын жақсарту АҚ сериялы қозғалтқыштарға шуын төмендетіп, сенімділігін арттыру мүмкіндігін берді.

18.8-сурет. Сыртқы түрі (а) және құрылымы (б) АН2 асинхронды қозғалтқыштың

Жоғары вольтті асинхронды қозғалтқыштар. Бірқатар өнеркәсіптік қондырғылардың жетегі үшін үлкен қуаттағы қозғалтқыш қажет: 500, 800, 2000 кВт және одан артық. Әдетте осындай қуаттағы асинхронды қозғалтқыштарды жоғары вольтті етеді – 6 немесе 10 кВ. Жоғары вольтті қозғалтқыштардың кейбір серияларын қарастырайық.

Үшфазалы асинхронды қозғалтқыштар қысқа тұйықталған роторымен АН2 айналу жиілігін реттеуді қажет етпейтін механизмдер жетегі үшін қолданады, мысалы қуатты желдеткіш, сорғы жәнет.б. осы серияның қозғалтқыштарын қуатында 500-2000 кВт, айналу (синхронды) жиілігі 1000, 750, 600, 500 және 375 айн/мин. Қозғалтқыштар кернеуі 6 Кв және жиілігі 50 Гц үшфазалы желіге қосылуға арналған. АН2 сериялы қозғалтқыштар қорғалған орындауда қуысты мойынтірек екі қалқанында білікте орналасқан көлденең орындауда дайындайды. Статор шанағы мен пісірілген мойынтіректі қалқандар (18.8а-суреті) табақты болаттан жасалады. Статор орамы ілмекті екі қабатты қысқартылған қадамы бар. Жылу төзімділікті оқшаулау санаты В. Ротор орамы екі торлы (18.8б-суреті): іске қосу торы (үстіңгі) жез өзектен, жұмыс торы (төменгі) – мыс өзектен жасалады. Ротордың тұйықтау сақиналары бөлек және екі тор үшін де мыстан жасалған. Салқындату әдісі – аксиальді-радиальді өздігінен желдету.

АН32 сериялы асинхронды қозғалтқыштар жоғары вольтті (6Кв), бірақ АН2 сериялы қозғалтқышқа қарағанда бөгде желдеткіштен мәжбүрлі желдетумен жабық орындалған. Осы сериялы қозғалтқыштардың қуаты 500-2000кВт.

ААТД2 сериялы асинхронды қозғалтқыштарды 1000-5000кВт қуатымен орындайды, қоректендіру кернеуі 6 кВ. Бұрын қарастырылғандардан қарағанда бұл сериялы қозғалтқыштарды сырғудың тұғырлы мойынтіректерімен орындайды. Қозғалтқыштың желдету жүйесі радиальді симметриялы, ашық немесе тұйық.

АТД2 сериялы қозғалтқыш орамдарының жылулық жағдайы статор орамының алдыңғы бөлігіне қойылған кедергі термометрлерімен бақыланады. Осы термометрлердің сымдарының ұштары шығару қорап қысқыштарына берілген. Орамдарды жылыту температурасы кезінде, ол жол берілетіннен асады, термометрлердің электрлі сигналын қозғалтқышты автоматты өшіруге пайдалануға болады.

Кранды –металлургиялық асинхронды қозғалтқыштар. МТК сериялы мұндай қозғалтқыштар (қысқа тұйықталған роторы бар) және МТ (фазалық ротормен) кранды механизмдер мен өзге агрегаттардың электр жетектерінде қолданылады, олардың жұмысы жиі іске қосылулармен, тежеулермен, реверстермен, артық жүктемемен сипатталады. Осы сериялы қозғалтқыштар металлургиялық өндіріс жағдайларында жұмыс жасайтын механизм электр жетектерінде пайдаланылады (сыртқы ортаның жоғары температурасы, шаң басу және т.с.с.). кранды-металлургиялық қозғалтқыштарды жоғары артық жүктемелік қабілеттілік ($M_{\text{тах}}/M_{\text{ном}}$), іске қосу мезетінің еселігі ($M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$), ол кейбір типтік көлемдерде 3,5 мәніне жетеді, ол ротор инерциясының төмендеген мезеті, ол өтпелі процестерде жұмысын жеңілдетеді (іске қосу, тежеу, реверс).

Көрсетілген сериялардың әрқайсысының екі түрленімі бар, қолданылған электрлі оқшаулауға жылуға төзімділік санатымен ажыратылады: МТКФ және МТФ қозғалтқыштарының жылу төзімділігін оқшаулау санаты F , ал МТКН және МТН қозғалтқыштары – анағұрлым жоғары H санатындағы оқшаулау (18.1-қараңыз). МТКН және МТН қозғалтқыштары сыртқы ортаның жоғары температура жағдайында жоғары сенімділікке ие.



18.9-сурет. МТФ сериялы үшфазалы асинхронды қозғалтқыш

СИНХРОНДЫ МАШИНАЛАР

Синхронды машиналар – бұл ауыспалы токтың коллекторсыз машиналары. Өзінің құрылысы бойынша олар асинхронды машиналардан ротордың құрылысы бойынша ғана ерекшеленеді, ол айқын полюсті немесе айқын емес полюсті бола алады. Қасиеттеріне қатысты айтсақ, олардың негізгісі ротордың синхронды жиілікпен кез келген жүктемеде жұмыс жасауы, сонымен қатар қуат коэффициентін реттеу мүмкіндігі, оның осындай мәнін белгілей отырып, онда синхронды машина жұмысы анағұрлым үнемді болады. Синхронды машиналар қайтымды және генератор және қозғалтқыш режимінде де жұмыс жасайды. Синхронды генераторлар электр станцияларының электро энергетикалық жабдығының негізін құрайды, яғни дерлік барлық электр қуаты синхронды генератормен өндіріледі. Заманауи синхронды генераторлардың бірлік қуаты 1 млн кВт және одан артыққа жетеді. Синхронды қозғалтқыштарды басты түрде үлкен қуаттағы құралдардың жетегі үшін пайдаланады. Ол өзінің техника-экономикалық көрсеткіштері бойынша өзге типтегі қозғалтқыштардан асып түседі.

Ірі электр энергетикалық қондырғыларда синхронды машиналар реактивті өтемдеуіш-генератор ретінде пайдаланыла алады. Өтемдеуішларды пайдалану қондырғы қуатының немесе ірі энергетикалық торабының коэффициентін арттырады, ол электр қуатын үнемдеуге септігін тигізеді.

19 тарау

ҚОЗДЫРУ ӘДІСТЕРІ ЖӘНЕ СИНХРОНДЫ МАШИНАЛАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫСЫ

19.1. Синхронды машиналарды қоздыру

Синхронды генератордың әрекет ету принципін қарастыру кезінде (6.1-қараңыз) анықталғаны, оның роторында МҚК (индуктор) көзі орналасқан генераторда құрылатын магнитті өріс бар. Жетекті қозғалтқыш (ЖҚ) көмегімен генератор роторы синхронды жиілікпен келтіріледі.

Мұнда ротордың магнитті өрісі сонымен қатар айналады статор орамымен бірігіп, ЭҚК келтіреді.

Синхронды қозғалтқыштар құрылымдық жағынан синхрондық генераторлардан ерекшеленбейді. Олар сонымен қатар орамы бар статордан және ротордан тұрады. Сондықтан жұмыс режиміне қарамастан кез келген синхронды машина қоздыру процесін – онда магнитті өрісті келтіруді қажет етеді.

Синхронды машинаны қозырудың негізгі әдісі электромагнитті қоздыру болып табылады, оның ротор полюстерінде қоздыру орамы орналасады. Осы ораммен тұрақты ток өткен кезде қоздыру МҚК туындайды, онда машинаның магнитті жүйесі магнитті өріс келтіріледі.

Соңғы уақытқа дейін қоздыру орамын қоректендіру үшін басым түрде тәуелсіз қоздыру тұрақты тогының арнайы генераторлары қолданылған (28.2-қараңыз), В қоздырғыш деп аталады (19.1а-суретті қараңыз). Қоздырғыштың қоздыру орамы (ҚО) ішкі қоздырушы (ІҚ) деп аталатын өзге генератордан (параллель қоздырушы) қоректендіру алады. Синхронды машина роторы мен қоздырушы мен ішкі қоздырушы экірі жалпы білікте орналасып, бір уақытта айналады. Мұнда ток синхронды машина қоздырғышы орамына түйіспелі сақиналары мен қылшақ арқылы түседі. Қоздыру тогын реттеу үшін қоздыру (r_1) мен ішкі қоздыру (r_2) тізбектеріне қосылатын реттеу реостаттаны қолданылады.

Орта және үлкен қуаттағы синхронды генераторларда токты реттеу процесі қоздыруды автоматтандырады. Үлкен қуаттағы синхронды генераторларда – турбогенераторларда (19.2-қараңыз) – кейді қоздырушы ретінде индукторлық түріндегі ауыспалы ток генераторларын пайдаланады (23.6-қараңыз). Осындай генератордың шығысында жартылай өткізгішті түзетушіні пайдаланады. Синхронды генератордың қоздыру тогын реттеу бұл жағдайда индукторлық генераторды қоздыруды өзгертумен жүзеге асырылады.

Синхронды генераторда үлкен қолданысты байланысыз электромагнитті қоздыру жүйесі тапты, мұнда синхронды генератордың роторында түйіспелі сақиналары болмайды. Қоздырушы ретінде бұл жағдайда ауыспалы ток генераторын қолданады (19.1в-суреті). Осы генератордың орамын онда ЭҚК келтіріледі (орам экірі) роторда орналасқан, ал қоздыру орамы-статорда. Нәтижесінде экір орамы мен синхронды машинаның қоздыру орамы айналады және олардың электрлі байланысы тікелей түйіспелі сақиналарынсыз және қылшақсыз жүзеге асырылады. Бірақ қоздырушы ауыспалы ток генераторының болғандықтан, ал қоздыру орамын тұрақты токпен қоректендіру керек болғандықтан, орам шығысында қоздыру экірі жартылай өткізгішті түзушіні қосады.



19.1-сурет. Синхронды генераторларды электромагнитті қоздырудың контактілі (а) және контактісіз (б) жүйесі

Ол синхронды машина білігінде бекітіліп синхронды машинаның қоздыру орамы және қоздыру ээкірі орамымен бірге айналады. Қоздырушының қоздыру орамын тұрақты токпен қоректендіру тұрақты ток генераторы – ішкі қоздырушымен жүзеге асырылады. Синхронды машинаның қоздыру тізбегінің сырғұшы контактілері оның қолданушылық сенімділігін және ПӘК арттыруға мүмкіндік береді.

Синхронды генераторларда, сонымен қатар гидрогенераторларда (19.2-қараңыз) өздігінен қозу ұстанымы кең қолданысы тапты (19.2а-суреті), мұнда ауыспалы ток энергиясы қоздыру үшін қажетті, синхронды генератордың статор орамынан және төмендетуші трансформатор және жартылай өткізгіш түзетуші түзілуі арқылы алынып, тұрақты ток энергиясын түзеді. Өздігінен қозу ұстанымы генератордың бастапқы қозуы магнитті жетекті машинаның қалдық магнетизмі арқылы жүреді

19.2-суретте түзетуші трансформаторы (ТТ) және тиристорлы түзушісі (ТТ) бар синхронды генератордың (СГ) өздігінен қозу автоматты жүйесінің құрылымдық сызбасы берілген, олар арқылы ауыспалы ток электр қуаты қоздыру орамына беріледі. Тиристорлы түзушіні басқару қоздырудың автоматты реттеушісі (ҚАР) арқылы жүзеге асырылады, оған кірісіне СГ (кернеу трансформаторы КТ арқылы) шығысында кернеу сигналдары келеді және СГ жүктеме тогы (ТТ трансформатор тогынан) келіп түседі.сызба қоздыру орамының және тиристорлық түзушіні ТТ артық кернеу мен ток жүктемесінен қорғайтын қорғаныс блогтын қамтиды.

Заманауи синхронды қозғалтқыштарда қоздыру үшін тиристорлы қоздыру құралдары қолданылады, олар ауыспалы ток желісіне қосылып, қозғалтқыштың жұмысын барлық мүмкін режимдерінде қоздыру тогын автоматты басқаруды жүзеге асырады,



19.2-сурет. Синхронды генератордың өздігінен қозу ұстанымы

Соның ішінде, өтпелі. Қоздырудың мұндай әдісі сенімді және үнемді болып табылады, себебі тиристорлық қоздыру құралдарының ПӘК тұрақты ток генераторына қарағанда жоғары. Өнеркәсіппен түрлі қоздыру кернеуіндегі тұрақты токтың жол берілетін 320 А мәні бар тиристорлы қоздыру құралдары пайдаланылады.

Синхронды қозғалтқыштардың заманауи серияларында ең үлкен қолданысты түріндегі ТЕ8-320/48 (қоздыру кернеу 48 В) және ТЕ8-320/75 (қоздыру кернеуі 75 В).тиристорлық құралдар қолданыс тапты.

Қоздыруға жұмсалатын қуат машинаның пайдалы қуатының 0,2 - 5 % құрайды (а з мәні үлкен қуаттағы машиналарға жатады). Қуаты аз синхронды машиналарда тұрақты магнитпен қоздыру ұстанымы қолданылады, онда машина роторында тұрақты магниттер қолданылады. Қоздырудың мұндай әдісі машинаны қоздыру орамынан арылтады. Нәтижесінде машина құрылымы қарапайымдандырылады, ол сенімді әрі үнемді болады. Алайда материалдардың жетіспеушілігінен тұрақт магнитті дайындау үшін үлкен қоры бар магнитті энергия мен олардың өңдеу қолданысының күрделілігі үшін тұрақты магниттермен қоздыруды қолдану бірнеше киловатт қуаты бар машиналармен шектеледі.

19.2. Синхронды машиналардың түрлері мен олардың құрылысы

Синхронды машина қозғалмайтын бөлік статор мен айналатын бөлігі ротордан тұрады. Синхронды машиналардың статоры негізінен асинхронды қозғалтқыштың статорынан өзгешеленбейді (7-тарауды қараңыз), яғни шанағы, өзегі мен орамынан тұрады (7.1.-суретті қараңыз).

Синхронды машина статорының құрылымдық орындалуы арналымы мен машинаның габариттеріне сәйкес түрлі бола алады.

Мәселен, көп полюсті машиналарда статорының өзегінің сыртқы диаметрі кезінде 900 мм өзегінің пластиналарында жеке бөліктерден жасалады, олар жиналған кезінде статор өзегінің цилиндрінен түзіледі. Ірі габаритті машиналардың статор шанағынан бөлек етіп жасайды, ол тасымалдау ыңғайлылығы мен машиналар монтажы үшін керек.

Синхронды машиналардың роторларының негізінен екі құрылымы бар: айқын полюсті және айқын емес полюсті (19.3-сурет).

Ауыспалы токтың электр қуатының өндірісі бойынша энергетикалық қондырғыларда бірінші (жетекті) синхронды генераторлардың қозғалтқыштары негізінен қозғалтқышты үш түрін қолданады: бу турбиналары, гидравликалық турбиналар немесе ішкі жану қозғалтқыштары (дизельдер). Аталған қозғалтқыштардың кез келгенін қолдану негізінен синхронды генератордың құрылымына әсер етеді.

Егер жетекті қозғалтқыш болып гидравликалық турбина болса, онда синхронды генераторды гидрогенератор деп атайды. Гидравликалық турбина әдетте шағын айналу жиілігін дамытады (60-500 айн/мин), сондықтан өнеркәсіптік жиілік ауыспалы тоғын алу үшін (50 Гц) гидрогенераторда полюстер саны көп роторды қолданады. Гидрогенератор роторлары айқын полюсті құрылымы бар, яғни полюстері айқын, онда әр полюсті жеке торап ретінде орындайды, ол полюс ұштамасының 2 өзегі 1 және полюсті шарғы 3 құралады (19.3а-суреті). Ротордың барлық полюстері жиектемеде 4 орналасқан, сонымен қатар машинаның магнитті жүйесінің бұғауы ретінде қолданады, онда полюстері ағымы тұйықталады. Гидрогенераторларды әдетте біліктерін тігінен орналастырып жасайды (19.4-сурет).

Бу турбинасы үлкен айналу жиілігімен жұмыс жасайды, сондықтан оның айналуға келтіретін генераторын турбогенератор деп атайды.

a

б

19.3-суреті. Синхронды машиналардың роторының құрылымы:

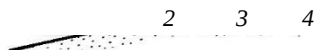
Ол жылдам жүретін синхронды машина. Осы генераторлардың роторыне екі полюсті ($n_1 = 3000$ айн/мин), не төрт полюсті ($n_1 = 1500$ айн/мин) етіп орындайды.

Турбогенератордың жұмыс процесінде оның роторына елеулі орталық күштер әсер етеді. Сондықтан механикалық төзімділік шарттарында турбогенераторларда айқын полюсті емес роторды пайдаланады, оның түрі қоздыру орамына арналған ұзын пазаларының бетінде фрезерленген ұзынша болат цилиндрді білдіреді (19.3в-суреті). Айқын емес полюсті ротордың өзегін ұштамалары (білік ұшы) немесе жиынтық тұтас болат қаптама түрінде дайындайды. Ротордың айқын емес полюсті қоздыруы оның бетінің $2/3$ бөлігін ғана қамтиды (периметрі бойынша). қалған $1/3$ бөлігі полюс түзеді. Ротор орамының алдыңғы бөлігін бұзылудан қорғау үшін ротордың орталық күштерімен екі жағынан болат бандажды сақиналармен (каппа) жабады, оны әдетте магнитті емес болаттан жасайды.

Турбогенераторлар (19.5-сурет) мен дизель-генераторларды білігін көлденең оратын дайындайды. Дизель-генераторлар



19.4-сурет. Гидрогенератор (225 МВт; 15,8 кВ; 125 айн/мин):
1 — статор шанағы; 2 — статор өзегі; 3 — ротор полюсі; 4 — ротор
жиіктемесі; 5 — жүк таситын табан ағаш; 6 — өкшелік



19.5-сурет. Турбогенераторлар:
1 —қоздырушы; 2 —шанақ; 3 — статор өзегі; 4 — сутекті
салқындату бөлігі; 5 — ротор

Рис. 19.6. Дизель-генератор:



1 — түйіспелі сақиналары; 2 — қылшақ ұстағыш; 3 — айқын
полюсті шарғы; 4 — полюсті ұштама; 5 — статор өзегі; 6 —желдеткіш; 7
— білік

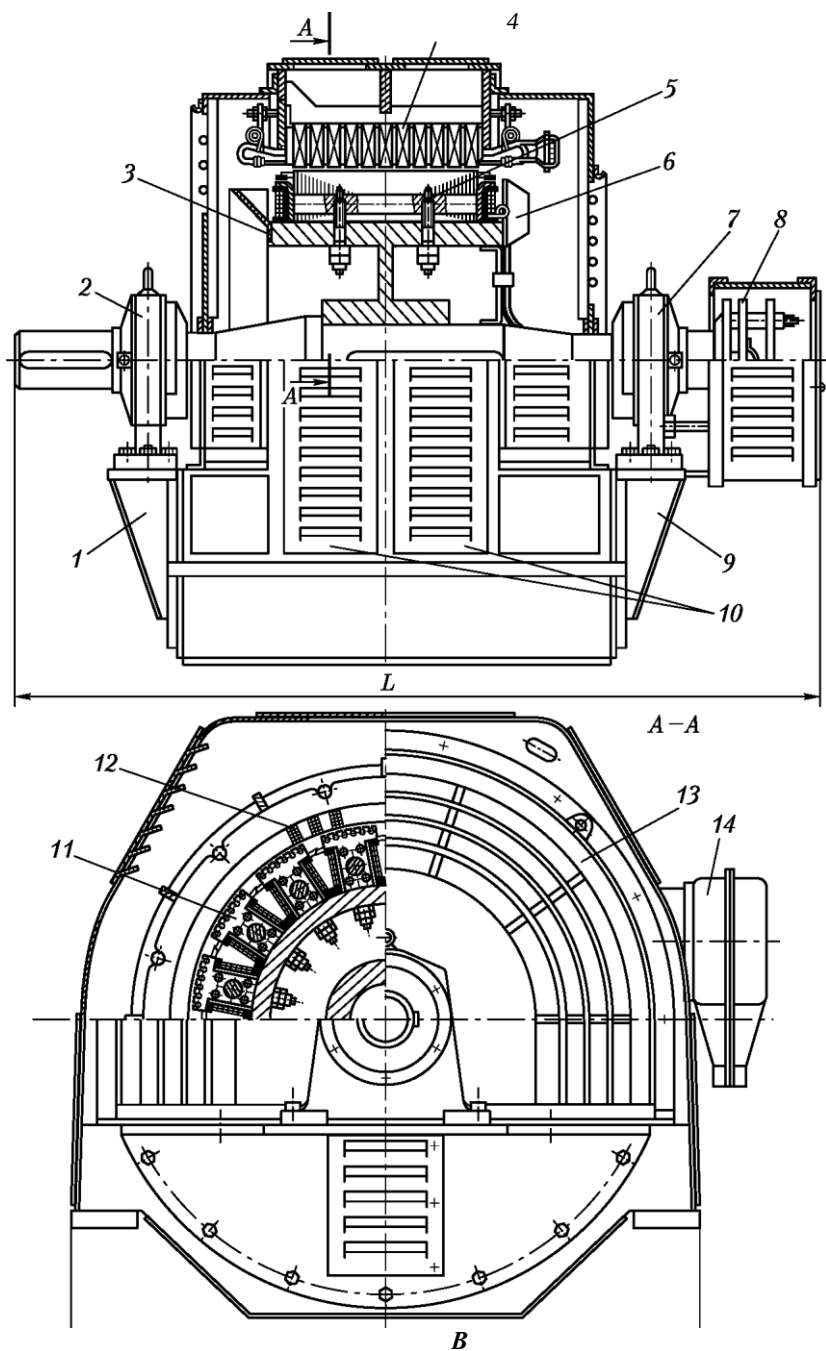
600 —1500 айн/мин айналу жиілігіне қарастырады және айқын полюсті роторымен орындайды (19.6-сурет).

Синхронды машиналардың үлкен тобын синхронды қозғалтқыштар құрайды, олар әдетте бірнеше мың киловатт қуатымен дайындалады және қуатты желдеткіш, диірмен, сорғы және айналу жиілігін реттеуді қажет етпейтін құралдардың жетегі үшін арналған. СДН 2 сериялы синхронды қозғалтқыш құрылысын қарастырайық (19.7-сурет). Осы сериядағы қозғалтқыштар 315-4000 кВт аралығындағы қуатпен дайындалады, айналу жиілігі 300-1000 айн/мин және 0,38-6 кВ кернеуде 50 Гц жиілігі болады.

Статор өзегі 4, болат корпусқа сығымдалған, қалыңдығы 0,5 мм болатын электротехникалық болаттың штамптелген табақтарынан жиналған пакет-бөліктерінен құралған. Қозғалтқышты жақсы салқындату үшін пакеттер ені 10 мм бойынша желдету радиальді арналарымен бөлінген. Статор орамы екіқабатты қысқа қадамы бар (7-тарауды қараңыз). Ротор полюстерінің өзектері негізіне түйреуішпен бекітіледі. Ротор орамы полюсті шарғылардан құралады. Түйіспелі сақиналары білік ұшына бекітіледі. Роторда орталық желдеткіштің қалақшалары орналасқан. Сырғудың тұғырлы мойынтіректер мен мойынтірек жартылай қалқандарда орнатылған. Қозғалтқыштар сыртқы жағынан болат қалқандармен бекітілген. Шанақ тігісінде желдету терезелері бар, жалюзимен жабылған. Шанақтың бүйір бетінде шығарылыс қораптары орналасқан. Қозғалтқышты қоздыру тиристорлық түзгіштерден қозғалтқышты іске қосу және тоқтату кезінде тоқты автоматты реттеу арқылы жүзеге асырылады.

19.8-суретте көрсетілгендей, синхронды қозғалтқыш элементі құрылысы көпшілік құрылымдар үшін тән. Білігінде дестеленген жиектеме орналасқан, онда Т тәрізді ұштамасы арқылы полюс өзегінде бекітіледі, ол ұштама полюсімен бірге орындалады. Полюс өзектері қалыңдығы 1,0 немесе 1,5 мм құрылымдық болаттың дестеленген табақтарынан дайындалады. Полюс ұшы бойлық пазада сыналар арқылы жиектемесіне бекітіледі. Сонымен қатар полюстерді «қарлығаш құйрығы» немесе түйреуіш арқылы жиектемесіне бекітіледі (19.3—суретті қараңыз). Болат беттері түйреуіштермен тартылады, ол ротор полюсінің пакетінің ашылып кетуінің алдын-алады. Ротордың полюсті шарғысын ұстап тұратын кемершіктер бар.

Полюсті ұштамалардың пазаларында іске қосу орамының жез немесе мыс өзектері 6 орналасқан, олар екі жағынан бөліктермен 7 тұйықталған. Полюсті ұштама мен статор өзегінің ішкі беті арасында әуе саңылауы бару полюс білігі бойынша бұл саңылау минималды(ө), ал шеттерінде – максималды(d_{max}). Полюсті ұштаманың мұндай конфигурациясы әуе саңылауында магнитті индукцияны синусоидалды үлестіру үшін керек.



19.7-сурет. СДН2 сериялы синхронды қозғалтқыш құралы



Ол полюсті ұштама бетінде $R < (D_1 - 2\delta)/2$ радиусы болда, онда D_1 - статор өзегін ұштау диаметрі.

19.3. Ірі синхронды машиналарды салқындату

Ірі электрлі машиналарда сақындатудың тұйықталған жүйесі қолданылады (18.2-қараңыз), салқындату газы ретінде сутегі қолданылған. Сутегінің ерекше қасиеттері сутекті салқындатуға біршама артықшылық береді:

1. Техникалық сутегі ауадан он есе жеңіл, ол желдетуге шығынның азаюына септігін тигізеді, яғни машина ПӘК арттырады. Мысалы, қуаты 150 мың Кв турбогенераторларда желдету шығындары әуе салқындатуы кезінде 1000 кВт құрайды, ал турбогенераторды сутекті салқындату кезінде осындай қуатта шығындар тек 140 кВт құрайды.

2. Сутегінің жылу өткізгіштігінің жоғары болуының арқасында, ол ауаға қарағанда 6-7 есе артық, ол машинаны интенсивті салқындатады. Бұл берілген көлемдерде қуаты әуе салқындатунан 20 — 25 % артық сутекті салқындатумен машина дайындау мүмкіндігін береді.

3. Сутекті салқындату машинада өрт туындау қауіптілігін төмендетеді, себебі сутегі жанбайды.

4. Сутегі салқындату орамды оқшаулаудың жарамдылық мерзімін арттырады, себебі машинада азоттың болмауы себебінен нитраттар түзілмейді, олар – оқшаулау материалдарын жоятын органикалық құраушылар.

Сутекті салқындату тиімділігі машинада сутегі қысымының өсуімен артады. Аталған артықшылықтарымен қатар сутекті салқындатудың кемшіліктері бар, олардың болмысы сутекті салқындату машинаның және оны қолданудың қымбаттауына және күрделенуіне әкеледі. Біріншіден, сутекті шаруашылығының құралдарының тұтас кешенін ұстау, ол қоректендіру, тазарту және машинаны салқындату жүйесінде қажетті сутегі қысымын қамтамасыз етеді. Алайда үлкен бірлікті қуаттағы машиналарда (турбогенераторлар, гидрогенераторлар, синхронды өтемдеуішлар) сутекті салқындату орынды және үлкен үнемділік әсерін береді.

Машиналарды салқындатудың қарастырылған әдістері жанама, себебі машинаның ең жылыған элементтері – орамдарымен салқындату затының тікелей байланысынсыз жүреді. Орамдардан жылуды алу бұл салқындату әдістерінде электрлі оқшаулау (алдыңғы бөліктерінде) және болат магнитті жетек арқылы жүреді, ол салқындату процесіні тиімділігін төмендетеді. Сондықтан анағұрлым тиімді әдістер болып машиналардың орамын және өзге жылытылатын элементтерінің тікелей салқындатылуы болып табылады. Салқындату әдісін жүзеге асыру үшін орам өткізгіштерінде және өзеклерінде ішкі арналарын жасайды, ол бойынша салқындату заттары – сутегі, су, май циркуляциялайды.

Орам өткізгіштері мен магнитті жетектің ішкі қабаттары бар салқындату заттарымен тікелей байланыс жылуды алу интенсивтілігін арттырады және машинаның үлесті электромагнитті жүктемесін елеулі арттырады (ток тығыздығы мен магнитті индукцияны елеулі арттыру). Әдетте тікелей салқындатуды үлкен қуаттағы – турбо және гидрогенераторларда пайдаланады, ол осы машиналардың бірлікті қуатын арттырады.

Бақылау сұрақтары

1. Синхронды машиналарды салқындатудың қандай әдістері бар?
2. Синхронды генераторды өздігінен қоздыру жүйесінде тиристорлық түзудің арналымын түсіндіріңіз.
3. Синхронды машиналардың айқын және айқын емес роторларының құрылысын түсіндіріңіз.

СДН2 сериялы синхронды қозғалтқыш құрылысын түсіндіріңіз.

4. Синхронды айқын полюсті машиналарда полюстерді бекітудің

5. Синхронды машинаны тегіс емес әуе саңылауы арқылы не қамтамасыз етіледі?
6. Электрлі машиналардың сутекті салқындатудың артықшылықтары мен кемшіліктері қандай?

20 тарау СИНХРОНДЫ ГЕНЕРАТОРЛАРДЫҢ МАГНИТТІ ӨРІСІ МЕН СИПАТТАМАЛАРЫ

20.1. Синхронды машинаның магнитті тізбегі

Асинхронды машинаның бос жүріс режимінде, яғни статор орамында ток болмаған жағдайда магнитті өріс тек қоздыру ω_0 МҚК құрылады. Айқын полюсті машинаның саңылауында индукция бұл жағдайда ротор полюсінің полюстік ұштамаларының баптауларына байланысты. Осы кестеге синусоидалды пішінге жақын пішін беру үшін әуе саңылауын тегіс емес етіп жасайды, оны ұштама полюстернің шеттерінде арттырады (6.2-суретті қараңыз).

Айқын полюсті синхронды машинаны негізгі магнитті ағыны машинаның магнитті жүйесінде тұйықталып, статор орамында тұйықталады. Асинхронды айқын емес машиналарда секілді (11.1-қараңыз) айқын полюсті синхронды машинаның жүйесі тармақталған симметриялы магнитті жүйені білдіреді (20.1а-суреті), ол 2 параллель тармақтан құралады. Осы тармақтардың әрқайсысы тармақталмаған магнитті тізбекті білдіреді, ол полюстердің бір жұбын қамтиды (20.1в-суреті). Φ негізгі магнитті ағыны



a

б

20.1-сурет. Айқын полюсті синхронды машинаның магнитті жүйесі

Айқын полюсті
синхронды машинаның
магнитті тізбегінің
учаскелері

Магнитті тізбекте тұйықталып, бірқатар учаскелерден өтеді (20.2-суреті): е әуе саңылауы, статордың тісті қабаты h_{z1} , ротордың тісті қабаты h_{z2} , ротор полюсі h_m , статор арқасы l_1 және ротор арқасы (жиіктемесі) h_{o6} .

Магнитті кернеудің жиынтығы магнитті тізбектің барлық аталған учаскелерінде қоздыру орамының МҚК полюстерді бос жүріс режимінде анықтайды (А):

$$F_B \cdot 0 = SF = 2 F + 2 F i + 2 F 2 + 2 F m + F_d + F_{o6}, \quad (20.1)$$

мұнда F_d , F_{z1} , F_{z2} , F_m , F_{c1} және F_{o6} — тістің тиісті магнитті кернеулері, саңылау кернеуі, статор мен ротордың тісті қабаттары, статордың арқасы, полюс, жиіктеме, А.

Магнитті тізбек учаскелерінде магнитті кернеуді есептеу тәртібі негізінен осындай, асинхронды машинаның магнитті тізбегін есептеуде секілді (11-тарауды қараңыз). Полюстер кернеуі мен ротор арқасын есептеу үшін келесіні есте ұстау керек, осы учаскелердегі магнитті ағын негізгі Φ магнитті ағынынан Φ полюстер жалпы ағынының шағын көлемін білдіретін, е саңылауы арқылы өтпейтін, полюсаралық кеңістікте тұйықталған Φ_{ct} роторды шашырату ағын көлемін білдіреді:

$$\Phi_T = \Phi + \Phi_{CT} = \Phi (1 + \Phi / \Phi_{ct}) = \Phi_{ot}, \quad (20.2)$$

мұнда Φ_T — ротор полюсінің магнитті шашырату коэффициентін білдіреді.

Синхронды айқын полюсті машиналар үшін магнитті шашырату коэффициенті

$$ot = 1 + 0,2kmi, \quad (20.3)$$

мұнда

$$kmi = Fio / (2Fd) \quad (20.4)$$

— Синхронды машинаның статор өзегінің магнитті қанығу коэффициенті;

$$F_{10} = 2F_d + 2F_{zi} + F_d$$

— Статор өзегі мен әуе саңылауында магнитті кернеу, А.

Синхронды айқын полюсті машиналар үшін статор полюсінің магнитті шашырату коэффициенті $\kappa_m = 1,1 \wedge 1,4$ машинаның магнитті жетегінің магнитті қанығуы және полюстер санына байланысты (2 р полюстер санының артуымен машина роторы мен магнитті шашырату полюсаралық кеңістігі артады). Синхронды машинаның магнитті тізбегін есептеуден кейін машинаның магнитті сипаттамасын құрайды, ол 11.3-суретке ұқсас. Бос жүріс режимінде SF_{LQ} қоздыру орамының МҚК пайдалана отырып, F_{α} жүктемесінде қоздыру орамының МҚК анықтайды. Әдетте $F^{\wedge} = (2,0 \wedge 2,2)SF_{b0}$.

Алынған МҚК мәні ротордың полюсті шарғысындағы иірім санын есептеу мүмкіндігін береді:

$$w_K \cdot B = F_{\alpha} / (2lB), \quad (20.5)$$

мұнда I_B — синхронды машинаның қоздыру орамындағы ток, А.

20.2. Синхронды машинаның магнитті өрісі

Осы бөлімде симметриялы жүктемемен жұмыс жасайтын үшфазалы синхронды генератор қарастырылады, онда орамның барлық фазалары бірдей жүктелген, яғни онда бірдей ЭҚК келтіріледі және көлемі бойынша бірдей және бір-біріне қатысты фаза бойынша токтың 120° бұрышына ығысқан. 9-бөлімге сәйкес бұл шарттардан статордың үшфазалы орамы ротормен синхронды айналатын МҚК құрады, оның максималды мәні (9.16)өрнегімен анықталады:

$$F_i = 0,45 m l i W_{\text{оги}} / p.$$

20.3 көрсетілгендей, статордың МҚК түрлі кеңістікте ротор полюстерінің білігіне қатысты түрл қалыптарды орындай алады.

Айқын полюсті емес синхронды машинада әуе саңылау бірдей, сондықтан статордың МҚК векторының кеңістікті қалпы ротор полюстеріне қатысты көлеміне және статордың магнитті өрісінің үлестіру кестесіне әсер етеді.

Айқын полюсті синхронды машинада әуе саңылауы полюсаралық кеңістіктің үлкен болуына байланысты тегіс емес, ол болатпен толтырылмаған (20.3-суреті), және F_d білігінің статор ағынына магнитті кедергісі көлденең біліктегі статор q ағынына магнитті кедергісінен аз. Сондықтан статордың магнитті өрісінің индукция көлемі және оның кестесі айқын полюсті машиналардың әуе саңылауында F_1 статор орамының МҚК векторының кеңістікті орналасуы немесе оның құраушысына байланысты.

a



б



20.3-сурет. Бойлық (*a*) және көлденең (*б*) осьтері бойынша синхронды айқын полюсті машинаның статор магнитті өрісі

Мәселен, статордың магнитті өрісінің индукциясының негізгі гармоникасының амплитудасы B_{1m} бойлық осімен өріс индукциясының негізгі гармоника амплитудасының B_{1q1} осінен артық:

$$B_{1d1} = B_1 k_d ; B_{1q1} = B_1 k_q, \quad (20.6)$$

мұндай B_1 — тегіс саңылау кезінде статор өрісінің магнитті индукцияның амплитудалық мәні; k_d және k_q — бойлық және ендік осьтер бойынша статор өрісінің пішіндік коэффициенттері.

k_d және k_q коэффициенттері бойлық және ендік осьтер бойынша статор өрісінің негізгі гармоникасының амплитудасын азайту дәрежесін анықтайды, ол айқын полюсті роторы бар машиналарда әуе саңылауының біртекте еместігімен шартталған. k_d және k_q мәндері әуе саңылауларының максималды және минималды $\vec{e}_{\text{тах}}/\vec{e}$ қатынасына

е/т саңылауының қатысымды көлеміне байланысты, сонымен қатар а полюсті жабының коэффициентіне байланысты. Саңылауы тегіс кезінде ($\epsilon = \text{const}$) $\epsilon_{\text{тах}}/\epsilon = 1$ қатысты. Т полюсті бөлуді (7.1.) бойынша анықтайды. Полюсті жабудың коэффициенті $= b_p/\epsilon$, мұнда b_p - полюсті ұштаманың ені (19.8-суретті қараңыз).

Әуе саңылауы бірдей кезінде ($\epsilon_{\text{тах}}/\epsilon = 1$) және шартты көлемі шағын болған кезде (ϵ/t және 0) коэффициенті өрістің пішіндерін келесі өрнектермен анықтайды:

$$k_d = [pa, + \sin(a, 180^\circ)]/p; \quad (20.7)$$

$$k_q = [pa, - \sin(a, 180^\circ)]/p. \quad (20.8)$$

(20.7) және (20.8) сәйкес $a = 1$, яғни айқын емес полюсті ротор $k_d = k_q = 1$.

Синхронды машинаның қоздыру орамы ол бойынша i_B ток өткен кезде полюстерінің жұбына МҚК құрады(A):

$$p_B \cdot H = 7B_2^{\wedge} \cdot B. \quad (20.9)$$

Мұнда машина саңылауында қоздыру магнитті өрісінің формасы ротор құрылымына байланысты. Осы өрістің негізгі B_{B1} гармоникасының амплитудасы қоздыру өрісінің коэффициентімен анықталады:

$$k_f = B_{B1}/B_B, \quad (20.10)$$

мұнда B_B — магнитті индукция өрісін қоздырушының ең үлкен мәні (20.4-сурет).

Қоздыру өрісінің пішінінің коэффициенті айқын емес полюсті роторы үшін (20.4, а-сурет)

$$k_j = 8 \sin 90^\circ / (p^2 g), \quad (20.11)$$



a

б

20.4-сурет. Айқын емес полюсті неявнополюсной (а) және айқын полюсті (б) синхронды машиналардың магнитті өрістерінің қозуы

мұнда $g = 2a/\tau$ — ротор полюсінің оралған бөлігінің барлық полюстік бөлінісіне қатынасы. Әдетте $g = 0,67 \wedge 0,80$. Өрістің ең жоғары гармоникаларының қамтылуы $g = 0,75$.

Айқын полюсті ротор үшін тегіс саңылауда и d/m және 0 өрісті қоздыру пішінің коэффициенті (20.4в, сурет).

$$k_f = 4\sin a, 90^\circ/p. \quad (20.12)$$

Саңылауды арттыру полюстер шетінде k_f коэффициентін бірлікке жақындайды, ал өрістің индукция қисығының пішін — синусоидаға жақындайды.

Тегіс емес әуе саңылау кезінде өрістің пішіндік коэффициенттерінің мәндері синхронды машиналарды есептеу бойынша басшылыққа келтірінені кестелер бойынша анықталады [5].

20.3. Синхронды машинаның зәкір реакциясы

Жүктелген синхронды генератордың жұмысы кезінде онда біруақытта қоздыру МҚК $U_{\text{в0}}$ [(20.1)-қараңыз] және статор МҚК F_1 [(9.15)-қараңыз], әрекет етеді, мұнда статор (зәкір) МҚК қоздыру МҚК әсер етеді және қоздыру өрісін күшейтіп немесе пішінін бұзады. Статор (зәкір) орамының МҚК қоздыру орамы МҚК әсері зәкір реакциясы деп аталады. Зәкір реакциясы синхронды машинаның жұмыс қасиеттеріне әсер етеді, себебі машинада магнитті өрістің өзгертуі статор орамында келтірілген ЭҚК өзгерісімен сүйемелденеді, яғни осы ЭҚК байланысты өзге көлемдердің өзгеруі.

Синхронды генераторлар, әдетте, аралас жүктемеге (белсенді-индуктивті немесе белсенді-сыйымдылықты) жұмыс жасайды. Бірақ зәкірдің синхронды машина жұмысына әсері туралы мәселені анықтау үшін шекті сипаттағы жүктемедегі генератор жұмысын қарастыру мақсатты, нақты айтқанда: белсенді, индуктивті және сыйымдылықты. Ол үшін магнитті өрістердің және МҚК векторлық диаграммаларының F_1 суреттерін және 20.5-суретте бейнеленген статор тогының I_1 суреттерін пайдаланамыз. Бұл диаграммаларды құру кезінде магнитті ағынмен индуктелетін ЭҚК E_0 векторы статор орамында фаза бойынша осы ағынның 90° векторынан қалыс қалады (яғни МҚК векторынан да F_b0). Статор орамындағы I_b ток векторына қатысты, ол E_0 векторына қатысты түрлі қалыптар ала алады, жүктеме түріне байланысты u_1 бұрышымен анықталады.

Белсенді жүктеме ($u_1 = 0$). 20.5 а-суретте екі полюсті генератордың статор мен роторы берілген. Статорда орамның фазалық бөлігі көрсетілген. Айқын полюсті ротор сағат тіліне қарсы қозғалады. Қарастырылып отырған мезетте ротор тігінен қалыпта болады,

Нәтижесінде машинаның нәтижеленуші магнитті ағыны әлсірейді, яғни магнитті жүйе біршама магнитсіздендіріледі. Бұл машинаның ЭҚК азаюына әкеледі.

Индуктивті жүктеме ($\phi_1 = 90^\circ$). Генератордың таза индуктивті жүктемеде статор тогы I_1 фаза бойынша ЭҚК E_0 90° қалады. Сондықтан ол максималды мәнге тек оның ЭҚК E_0 максимумына сәйкес келетін қалпына қатысты алдыға 90° ротор айналған соң ғана жетеді (20.56-суреті). Мұнда F_1 статор (зәкір) МҚК қоздыру $\neq 0$ МҚК қарсы ротор полюстерінің осінің бойымен әрекет етеді. Мұнда біз векторлық диаграмма құрып көз жеткіземіз.

Статор МҚК мұндай F_1 әрекеті машинаның магнитті өрісін әлсіретеді. Яғни, синхронды генератордағы зәкір реакциясы жиі индуктивті жүктемеде бойлық-магнитсізденуді әрекетін көрсетеді.

Зәкір реакциясына қарағанда белсенді жүктемеде қарастырылып отырған жағдайда магнитті өрісі бұзылмайды.

Сыйымдылықты жүктемеде ($y_1 = -90^\circ$). Себебі I_1 ток статор сыйымдылықты жүктемеде ЭҚК E_0 фаза бойынша 90° озады онда өзінің үлкен мәнінде ЭҚК қарағанда бұрын жетеді, яғни ротор 20.5в-суретте көрсетілген қалыпта болады. Статордың магнитті қозғаушы күші алдыңғы жағдайдағыдай полюстер осі бойынша әрекет етеді, бірақ қоздыру МҚК сәйкес мұнда қоздырудың магнитті өрісі күшейеді. Осылайша, синхронды генератордың таза сыйымдылықты жүктемесі кезінде зәкір реакциясы бойлық-магниттендіруші әсер береді. Магнитті өріс мұнда бұзылмайды.

Аралас жүктеме. Синхронды генератордың аралас жүктемесінде статор тогы I_1 фаза бойынша ЭҚК E_0 қатысты u_1 бұрышына ығысқан, оның мәндері $0 < y_1 < \pm 90^\circ$ шегінде болады.



20.6-сурет. Белсенді жүктеме кезінде
синхронды генератордың магнитті өрісі

20.7-сурет. Аралас жүктемедегі зәкір реакциясы

Аралас жүктеме кезінде зәкір реакциясының әсері туралы мәселені анықтау үшін 20.7-суретте берілген МҚК диаграммасын пайдаланамыз. Белсенді-индуктивті жүктемеде (20.7а-суреті) кезінде F_1 векторы фаза E_0 векторы бойынша $0 < \gamma_1 < 90^\circ$ бұрышына қалыс қалады. Векторын F_1 екі құраушыға бөлеміз: статор МҚК бойлық құраушысы $F_{1d} = F_1 \sin \gamma_1$ және статордың $F_{1q} = F_1 \cos \gamma_1$ МҚК көлденең құраушысы. Нәтижеленуші МҚК бойлық білігі бойынша осы жағдайда әр түрлілікпен анықталады:

$$SFd = F_{в0} - F_{id}.$$

Зәкірінің F_1 МҚК құраушыларға бөлінуін белсенді-сыйымдылықты жүктемеде жасауға болады (20.7б-суреті). Бұл жағдайда нәтижеленуші МҚК бойлық осімен жиынтығымен анықталады:

$$S^F d = F_{в0} + F_{id}.$$

Статорының МҚК көлденең құраушысы көлденең осі бойынша зәкірдің МҚК реакциясын білдіреді, жүктеме тогының $I_{1q} = I_1 \cos \gamma_1$ белсенді құраушысына пропорционал, яғни

$$F_{1q} = F_1 \cos \gamma_1, \quad (20.13)$$

Ал F_{1d} статор (зәкір) бойлық құраушысы бойлық p осі бойынша зәкір реакциясының МҚК білдіреді, жүктеме тогының реактивті $I_{1d} = I_1 \sin \gamma_1$ құраушысына пропорционалды, яғни:

$$F_{1d} = F_1 \sin \gamma_1. \quad (20.14)$$

Мұнда F_{1d} егер жүктеме тогының реактивті құраушысы фаза бойынша ЭҚК E_0 артта қалса (белсенді-индуктивті жүктеме), онда МҚК магнитсіздендіру генераторы, егер токтың I_{1d} реактивті құраушысы фаза бойынша ЭҚК E_0 (белсенді-сыйымдылықты жүктеме) онда F_{1d} МҚК генераторды магниттендіреді.

Векторының бағыты векторына $F^\wedge$ қатысты зәкір реакциясының сипатымен анықталады, ол жүктеме I_1 тогы кезінде, ол ЭҚК E_0 фаза бойынша артта қалады, онда магнитсіздендіруші болады, ал I_1 тогында ЭҚК E_0 , фазасынан озып, магниттендіреді.

20.1-мысалы. Үшфазалы синхронды генератордың номиналды қуаты, кернеуінде статор (зәкір) МҚК бойлық және көлденең құраушысын анықтау, егер оның төрт полюсті статор орамы орама коэффициенті $k_{об1} = 0,92$ әр фазада бойынша ретімен байланысқан иірімдерін қамтыса. Генератордың номиналды жүктемесі $\cos \gamma_1 = 0,8$.

Шешуі. Номиналды жүктеме тогы

$$= S_{H0} M / (\sqrt{3} U_{ном}) = 150 / (\sqrt{3} \cdot 6,3) = 13,76 \text{ А.}$$

(9.15) бойынша үшфазалы статор орамының МҚК максималды мәні

$$F_1 = 1,35 I_1 w_1 k_{o61} / p = 1,35 \cdot 13,76 \cdot 312 \cdot 0,92 / 2 = 2666 \text{ A.}$$

(20.13) бойынша статор МҚК көлденең құраушысы

$$F_{1q} = F_1 \cos y_1 = 2666 \cdot 0,8 = 2133 \text{ A.}$$

(20.14) бойынша статордың МҚК бойлық құраушысы

Бойлық F_{1d} және көлденең F_{1q} осьтері бойынша зәкір реакциясының магнитті қозғаушы күштері синхронды машинаның магнитті жетегінде зәкір реакциясының магнитті ағындарын құрады. Осы ағындардың негізгі гармоникасы: бойлық осімен

$$F_{1d} = F_{1\cos} = F_1 \sin \quad (20.15)$$

Бойынша көлденең осі

$$\Phi_{19} = F_{1q} / R_{mq} = F_1 \cos y_1 / R_{mq}, \quad (20.16)$$

мұнда R_{ml} және R_m — синхронды машинаның бойлық және көлденең осі бойынша негізгі гармоника ағындарына магнитті кедергісі.

Айқын емес полюсті машинада әуе саңылауы статор ұштамасының периметрі бойынша тегі, сондықтан магнитті кедергілер бойлық және көлденең осьтері бойынша ($\mathbf{Y}^\wedge = \mathbf{Y}_m = \mathbf{Y}_m$) тең.

Зәкір реакциясының магнитті ағындары статор орамымен біріге отырып, осы ЭҚК орамында зәкір реакциясын келтіреді: бойлық осімен

$$E_{1d} = -j \omega \Phi_{1d} = -j \omega \Phi_{1d} \sin y_1; \quad (20.17)$$

Көлденең осі бойынша

$$E_{1q} = -j \omega \Phi_{1q} = -j \omega \Phi_{1q} \cos y_1, \quad (20.18)$$

мұнда x_d — зәкір реакциясының индуктивті кедергісі, статор орамының басты индуктивті кедергісін білдіреді (Ом):

$$x_d = 2,5 \cdot 10^{-4} \frac{A \Gamma_r}{d} \left| \frac{w_1 k_{o61}}{p} \right| \quad (20.19)$$

D_1 — статор өзегінің ішкі диаметрі, м; l_1 — статор өзегінің есептік ұзындығы, м; d — әуе саңылауы, м.

Айқын полюсті синхронды машиналарда машинаның магнитті кедергісі гармониканың негізгі ағындарына бойлық және көлденең осьтері бойынша бірдей емес $R_{ml} > R_m$:

$$R_{ml} = \mathbf{Y}_m / k_d; \quad (20.20)$$

$$\mathbf{Y}_m = \mathbf{Y}_m / k_q, \quad (21)$$

мұнда R_{ad} — статор ұштамасының барлық периметрі бойынша тегі әуе саңылауының машинаның магнитті кедергісі.

Бойлық және көлденең осьтері бойынша магнитті кедергілерінің мәндеріндегі айырмашылық зәкір реакциясының магнитті ағындарының көлеміне әсер етеді, яғни зәкір ЭҚК реакциясына әсер етеді. Бұл әсер сандық тұрғыдан өріс пішінінің коэффициенттеріне әсер етеді k_d и k_q :

$$E_1 d = j^1 d^X a^k d = -j^1 I_1 X_{ad} \sin \Lambda \quad (20.22)$$

$$E_{1q} = -j I_q X_{akq} = \sim j I_1 X_{aq} \cos \Lambda \quad (20.23)$$

мұнда X_{ad} және X_{aq} — айқын полюсті машинаның зәкір реакциясының индуктивті кедергісі: бойлық осі бойынша

$$X_{ad} = X_{akd}; \quad (20.24)$$

көлденең осі бойынша

$$X_{aq} = X_{akq}. \quad (20.25)$$

20.4. Синхронды генератордың кернеулерін теңестіру

Жүктемемен жасайтын генераторының шығысындағы кернеу бос жүрісті режиміндегі осы генератордың кернеуінен ерекшеленеді. Бұл бірқатар себептердің әсерімен түсіндіріледі: зәкір реакциясы, шашырату магнитті ағыны, статор орамының белсенді кедергісінде кернеудің құлауы.

Анықталғандай, жүктемелік синхронды машинаның жұмысы кезінде онда бірнеше МҚК туындайды, олар өзара әсерлесіп, нәтижеленуші магнитті ағын құрады. Алайда синхронды генератордың кернеуіне әсер ететін факторларды ескере отырып, шартты генераторлардың барлық МҚК тәуелсіз әсері болжамынан шығады, яғни әр МҚК өзіндік магнитті ағынын құрады.

Айта кету керек, мұндай ұғым құбылыстардың физикалық болмысына сәйкес келмейді, себебі бір магнитті жүйеде жалғыз магнитті ағын — нәтижеленуші туындайды. Бірақ бұл жағдайда магнитті ағындардың тәуелсіздігі туралы болжам синхронды машинаға барлық факторлардың әсерін жақсы түсінуге мүмкіндік береді.

Сонымен, магнитті қозғаушы күштердің айқын полюсті синхронды генератор жұмысына әсері қандай екенін анықтаймыз.

1. Қоздыру Λ_{b0} орамының МҚК қоздырудың Φ_0 магнитті ағынын құрады, ол статор орамымен бірігіп, онда E_0 генератордың негізгі ЭҚК бастамалайды.

2. Зәкірдің МҚК бойлық осімен реакциясы магнитті ағынын F_{id} құрады, ол статор орамында ЭҚК E_{1d} зәкір реакциясын келтіреді [(20.22)-қараңыз], оның мәні бойлық осі x_{ad} бойынша зәкір реакциясының индуктивті кедергісіне пропорционал [(20.24)-қараңыз]. Бұл кедергі зәкірдің бойлық осі бойынша синхронды генератор жұмысына әсер етеді. Мәселен, машинаның қаныққан магнитті жүйесінде зәкір реакциясының F_{id} магнитті ағыны қанықпаған магнитті жүйесіндегі қарағанда кем. Яғни F_{id} ағыны дерлік толығымен магнитті жетектің болат бөліктерінен өтеді, шағын d әуе саңылауын еңсереді (20.3а-суреті), сондықтан магнитті қанығу кезінде осы ағынға кедергісі елеулі өседі. Мұнда x_{1d} индуктивті кедергі азаяды.

3. Көлденең осі F_{iq} бойынша зәкір реакциясының МҚК ЭҚК E_{iq} статор орамында келтіретін магнитті ағынын F_{iq} құрады [(20.23)-қараңыз], оның мәні көлденең осінің x_{aq} зәкірдің индуктивті кедергісіне x_{aq} пропорционал [(20.25)-қараңыз]. Кернеу машинаның магнитті ағынынан тәуелді емес, мәселен айқын полюсті F_{iq} роторда ағыны негізінен полюсаралық кеңістік бойынша өтеді (20.3, б-қараңыз).

4. Статор орамының $\Phi_{ст1}$ шашырау магнитті ағыны (11.4-суретті қараңыз), статор ЭҚК E_{si} шашырату, оның мәні x_1 статор орамының фазаларында индуктивті кедергіге пропорционал:

$$E_{fi} = -\Delta\lambda. \quad (20.26)$$

5. Статор орамындағы ток статор I_1 орамының r_1 фазасында белсенді кедергідегі кернеудің белсенді құрауын құрады:

$$U_{ai} = V_i - \quad (20.27)$$

Статор орамындағы индуктелген аталған ЭҚК барлық геометриялық жиынтығы синхронды генератор шығысында кернеуді анықтайды:

$$U_i = SE - I_{ir} = E_o + E_{id} + E_{iq} + E_{ai} - I_{ir}, \quad (20.28)$$

мұнда SE — барлық МҚК ($F^\wedge, F_{id}, F_{iq}$) және статорда шашырау F_{si} ағынымен бірлесіп түзілген машинаның нәтижеленуші магнитті өрісінің статор орамында индуктелген барлық ЭҚК геометриялық жиынтығы.

Статор орамының r_1 фазасының белсенді кедергісі орта және үлкен қуаттағы синхронды машиналарда үлкен емес, сондықтан номиналды жүктеме кезінде де кернеудің құлауы I_{r1} соншалықты шағын көлемін құрайды, ол кейбір жол берушіліктер бойынша $I_{r1} = 0$ қабылдауға болады.

Онда теңдеу (20.28) келесі түрде жазуға болады:

$$U_i \ll SE = E_o + E_{id} + E_{iq} + E_{si}. \quad (20.29)$$

(20.28) және (20.29) өрнектері айқын полюсті синхронды генератордың кернеулерінің теңдеуін білдіреді.

Айқын емес полюсті синхронды генераторларда зәкір реакциясы статорының толық МҚК $E_{\text{доп}}$ көлденең және бойлық осьтерімен бөлусіз сипатталады, себебі бұл машиналарда E_1 магнитті кедергілер бұл осьтер бойынша бірдей. Сондықтан статор ЭҚК айқын полюсті машиналарда статор орамындағы кернеудің индуктивті құлауына тең, зәкір реакциясының индуктивті кедергісіне пропорционал [(20.19)-қараңыз], яғни

$$E = -jii^*a. \quad (20.30)$$

Зәкір Φ_1 реакциясының және $\Phi_{\text{ст}}$ статордың шашырату ағыны бір токпен I_1 құрылады [(20.26) және (20.30) салыстырыңыз], сондықтан индуктивті кедергілерді жиынтық индуктивті кедергі x_a және x_l ретінде қарастырады

$$X_c = X_a + X_l,$$

айқын емес полюсті синхронды кедергісін танытады. Осыны ескере отырып, E_{s1} шашыратудың E_1 және ЭҚК зәкірінің реакциясы сомасы ретінде қарастыруға болады

$$E_c = E_1 + E_{\text{ст}1} = -D\dot{x}_a + (-jhx) = -3kx \text{ с}, \quad (20.31)$$

айқын емес полюсті синхронды генератордың синхронды ЭҚК білдіреді.

Баяндалғанның негізінде, айқын полюсті емес синхронды генератордың кернеулерінің теңдеуі келесі түрде

$$u_1 = EE - = E_0 + E_c - \quad (20.32)$$

немесе

$$U_1 \ll E E = E_0 + E_c. \quad (20.33)$$

20.5. Синхронды генератордың векторлық диаграммалары

(20.28) ЭҚК теңдеуін пайдаланып белсенді-индуктивті жүктемеге жұмыс жасайтын айқын полюсті синхронды генератордың векторлық диаграммасын құрамыз (ток I_1 ЭҚК E_0 фаза бойынша кейін қалады). векторлық диаграмма келесі мәндерге негізделген: E_0 бос жүрісті режиміндегі генератор ЭҚК; жүктеме тогы I_1 және оның ЭҚК E_0 қатысты фазалық ығысу γ_1 бұрышы; зәкір реакциясының индуктивті кедергісі x_{ad} және көлденең x_{aq} статордың γ_1 фазалық орамының белсенді кедергісі.

a

б

в

г

20.8-сурет. Синхронды генераторлардың жүктеме кезінде айқын полюсті (*a*, *б*) және айқын емес полюсті (*в*, *г*) векторлық диаграммалар *a* және *в* — белсенді-индуктивті; *б* және *г* — белсенді-сыйымдылықты

Генератордың симметриялы жүктемесі кезінде векторлық диаграмманы бір фаза үшін құрады.

Векторлық диаграмманың құрылу тәртібін қарастырамыз (20.8а-суреті). Тәуелсіз тәртіпте ЭҚК E_0 және y_1 бұрышында саламыз, оған $-I_1$ ток ЭҚК E_0 векторы. Құраушыларға таратамыз: реактивті $i_d = I_1 \sin y_1$ және белсенді $I_q = I_1 \cos y_1$. Бұдан әрі вектор ұшынан ЭҚК векторларын саламыз: $E_{1d} = I_d x_{ad}$, $E_{1q} = I_q x_{aq}$; E_{11} ; E_{a1} ЛТн.

Вектор $i_{a1} = -I_1 r_1$ үшін 0 нүктесімен байланыстырып, U_L кернеу векторын аламыз, оның мәні ЭҚК векторларының геометриялық жиынтығына тең ([20.28]-қараңыз).

Генератордың векторлық диаграммасын құру кезінде, ол белсенді-сыйымдылықты жүктемеге жұмыс жасайды (ток I_L фаза бойынша ЭҚК E_0 озады), ток векторын I_L ЭҚК векторынан сол жаққа орналастырады (20.8б-суреті), ал E_{1d} векторының E_0 бағытын векторының бағытына сәйкес орнатады, себебі сыйымдылықты сипатта зәкір реакциясының жүктемесінің магниттендіру сипаты бар.

Айқын емес полюсті синхронды генератордың векторлық диаграммасын тендеу негізінде құрады (20.32), мұнда ток векторын I_L y_L бұрышында ЭҚК E_0 векторына салады (20.8 в-суреті).

Айта кету керек, құрылған векторлық диаграммалар магнитті тізбектің қанғуын ескермейді, сондықтан құбылыстардың сапалы жағын бейнелейді. Бірақ бұл диаграммалар келесі қорытынды жасауға мүмкіндік береді: негізгі фактор, ол жүктелген генератордың кернеуін өзгертуге әсер етеді,

ЭҚК E_{1d} құратын зәкірдің магнитті ағынының бойлық құраушысы болып табылады; генератордың белсенді-индуктивті жүктемесіндегі жұмысы, яғни тогымен I_1 , фаза бойынша ЭҚК E_0 қалыс қалады, статор орамының шығысындағы кернеу U_1 , жүктеме артқан кезде азаяды ол зәкірдің магнитсіздендіру әсерімен түсіндіріледі (20.8а,в-суреттері). Генератордың белсенді-сыйымдылықты жүктемесінде жұмысы кезінде (тогымен I_1 , фаза бойынша ЭҚК E_0 озады) кернеу U_1 жүктеме өскен кезде артады, ол зәкір реакциясының магниттендіру әсерімен түсіндіріледі (20.8 б,г-суреті).

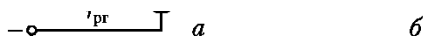
20.6. Синхронды генератордың сипаттамалары

Синхронды генератордың қасиеттері бос жүріс, қысқа тұйықталу, сыртқы және реттеушілердің сипаттамаларымен анықталады.

Синхронды генератордың бос жүрісінің сипаттамасы. Бос жүріс режимінде $U_1 = E_0$ қоздыру тогынан I_{a0} $n_1 = \text{const}$ кезінде генератор шығысында кернеу тәуелділігінің кестесін білдіреді. Синхронды генераторды бос жүріс сипаттамасын алу үшін қосылу сызбасы 20.9а-суретте берілген. Егер түрлі синхронды генераторлардың түрлі шартты бірліктерде $E^* = f(I_b^*)$ бейнелесе, онда ол сипаттамалар бір-бірінен аз ерекшеленеді және бос жүрістің қалыпты сипаттамасымен ұқсас болады (20.9б-суреті), оны синхронды машиналарды есептеуде пайдаланды:

E^*	0,58	1,0	1,21	1,33	1,40	1,46	1,51
I_b^*	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5

Мұнда $E^* = E_0 / U_{1ном}$ — статор орамы фазасының қатысымды ЭҚК;
 $I_b^* = I_{a0} / I_{aном}$ — қоздырудың қатысымды тогы; ; $I_{aном}$ — бос жүрістегі қоздыру тогы, бос жүріс ЭҚК $E_0 = U_{1ном}$ -сәйкес келеді.



20.9-сурет.
Синхронды
генератордың бос

20.10-сурет. Синхронды генератордың қысқа тұйықталу тәжірибесі

Үшфазалы қысқа тұйықталу сипаттамасы. Келесі түрде алынуы мүмкін: статор орамының шығыстарын қысқа тұйықтайды (20.10 в-суреті) және n_1 айналу жиілігімен ротордың айналуы кезінде біртіндеп қоздыру тогын арттырады, онда қысқа тұйықталу тогы статорлық орамның номиналды жұмыс тогын 25 % аспай арттырады на ($I_{1к} = 1,25 I_{ном}$). Себебі бұл жағдайда статор орамының ЭҚК мәні генератордың жұмыс режиміндегі мәнінен бірнеше есе аз, яғни негізгі магнитті ағын шамалы аз, онда машинаның магнитті тізбегі қанықпаған болады. Осы себеппен қысқа тұйықталу сипаттамасы түзу сызықты білдіреді (20.10а-суреті). Статор орамының белсенді кедергісі оның индуктивті кедергісімен салыстырғанда үлкен емес, сондықтан 0 ескере отырып, қысқа тұйықталу тәжірибесі кезінде синхронды генератордың жүктемесі (оның өзіндік орамдары) таза индуктивті болады. Осыған сәйкес, қысқа тұйықталу тәжірибесі кезінде синхронды генератор экірінің бойлықты-магнитсіздендіру сипаты бар (20.3-сурет).

Үшфазалы қысқа тұйықталу кезінде синхронды генератор үшін құрылға векторлық диаграмма 20.10 суретінде берілген. Диаграммаға сәйкес, статор орамында пайда болатын ЭҚК экірінің бойлықты реакциясының ЭҚК $E_{1d} = -j i_d x_{ai}$ және шашырату ЭҚК $E_{s1} = -j i_l x_l$ толығымен теңеседі:

$$E_k = E_{1i} + E_{s1}.$$

Мұнда қоздыру орамының МҚК екі құраушысы бар: бірі кернеудің $j i_l x_l$ құлауын өтейді, ал екіншісі – экірі реакциясына $j i_d x_{ai}$ магнитсіздендіру әсерін береді. Қысқа тұйықталу және бос жүріс сипаттамалары қоздырудың тиісті МҚК сәйкес келетін қоздыру токтарының мәнін анықтау мүмкіндігін береді. Осы мақсатта бос жүріс (х.х.) сипаттамасы мен қысқа қысқа тұйықталу (к.з.) бір білікте құрады (20.11-сурет),



мұнда ордината осінде бос жүріс кернеуінің $E^* = E / n_{1ш} \omega$ қатысымды мәндерін және қысқа тұйықталу тогының $I_K^* = I_K / I_{ном}$ мәндерін белгілейді. Ордината осінде ОВ кесіндісін салады, ол шашырату ЭҚК $E_{si}^* = -D^{\wedge} / \omega_{ном}$ шартты мәнін кернеу ауқымында білдіреді. Содан кейін В нүктесін бос жүріс сипаттамасына түсіреді (в нүктесі) және абциссаның D нүктесіне В перпендикулярін түсіреді. Алынған нүктесі қоздыру тогын екі бөлікке бөлген: I_{ax} - қоздыру тогы $/ \omega_{ном}$ кернеудің құлауын компенсация үшін қажетті, $j I_{x1}$ - қоздыру тогы, зәкірдің бойлықты-магнитсіздендіру әсерін өтейді.

20.11-сурет. Қысқа тұйықталу тогының құраушыларын анықтау

Синхронды машиналардың маңызды өлшемдерінің бірі – қысқа тұйықталу қатынасы ҚТҚ, ол бос жүрістегі номиналды кернеуге сәйкес келетін қоздыру тогының $/ \omega_{ном}$ қысқа тұйықталу тәжірибесі кезінде статордың номиналды тогына сәйкес келетін $I_{в*к*ном}$ қоздыру тогына қатынасын білдіреді (20.106-суреті):

$$OKZ = / \omega_{ном} / 4k_{ном}. \quad (20.34)$$

ҚТҚ турбогенераторлары үшін $= 0,4 \wedge 1,0$; ҚТҚ гидрогенераторлары үшін $= 0,8 \wedge 1,8$.

ҚТҚ білу синхронды машинаның қасиеттерін бағалау кезінде үлкен тәжірибелік мәнге ие: шағын ҚТҚ бар генераторлар параллель жұмыс кезінде тұрақтылығы аз (21-бөлімді қараныз), жүктеме өзгерісі кезінде кернеудің елеулі тербелістері бар, бірақ мұндай генераторлардың көлемі кіші және үлкен ҚТҚ бар генераторлардан арзан.

Сыртқы сипаттама. Жүктеме тогынан статор орамының шығысындағы кернеу тәуелділігін білдіреді: $\Pi = / (I_1)$ кезінде $I_g = \text{const}$; $\cos j_x = \text{const}$; $n_i = n_{ном} = \text{const}$.

20.12а-суретінде синхронды генератордың сыртқы сипаттамалары берілген, олар сипаты бойынша түрлі жүктемеге сәйкес келеді.

Белсенді жүктемеде ($\cos j_x = 1$) жүктеме тогының I_1 азаюы кернеу U_1 артуымен түсіндіріледі, ол статор орамында кернеудің құлауының азаюымен және көлденең осі бойынша зәкір реакциясының магнитсіздендіру әсерінің азаюымен түсіндіріледі.

Индуктивті жүктеме кезінде ($\cos j < 1$; инд.) Π артуы жүктемені түсіру кезінде қарқынды, себебі токтың I_1 азаюымен

20.12-сурет. Синхронды генератордың сыртқы (а) және реттеу (б) сипаттамалары

зәкір реакциясының бойлық құраушысы магнитсіздендіру әсерін әлсіретеді (20.3-сурет).

Генератордың сыйымдылықты жүктемесінде ($\cos j < 1$; емк.) уменьшение I_1 азаюы кернеудің төмендеуімен сипатталады, ол зәкірдің бойлық құраушысының магниттендіру әрекетінің әлсіреуімен түсіндіріледі.

Номиналды жүктеменің төмендеуімен тудырылған синхронды генератордың кернеуінің өзгеруі $I_e = \text{const}$ және $n_1 = \text{const}$ кезінде кернеудің номиналды өзгеруі (көтеріліуі) (%) деп аталады:

$$\Delta U_{\text{НОМ}} = \frac{E_0 - U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} \quad (20.35)$$

Генератордың сыйымдылықты жүктемесіндегі жүктеменің төмендеуі генератор шығысында кернеуінің азаюын тудырады, сондықтан $\Delta U^{\wedge}$ «алу» белгісімен қабылдайды. Синхронды генератордың пайдалану процесінде кернеу U_1 жүктеме тербелістері кезінде өзгеріссіз қалады, қоздыру орамында токтың автоматты реттеушісінің жылдам әрекет ету арқылы. Алайда синхронды генераторды $\Delta U^{\wedge}$ қалыпты пайдалану үшін 50 % аспауы керек.

Реттеуші сипаттама. Генератор қысқыштарында кернеу номиналды теңесіп өзгеріссіз қалатындай жүктеме өзгертулері кезінде генераторды қоздыру тогын қалай өзгерту керектігін көрсетеді: $I_e = f(I_1)$ кезінде $U_1 = U_{\text{НОМ}} = \text{const}$; $n_1 = n_{\text{НОМ}} = \text{const}$ және $\cos j = \text{const}$.

20.12б-суретінде синхронды генератордың реттеуші сипаттамалары берілген. Белсенді жүктемеде ($\cos j = 1$) жүктеме тогын $I_{\text{арттыру}}$ кернеудің азаюымен сүйемелденеді. Осы кернеуді U_1 өзгеріссіз ұстап тұру үшін жүктеме тогын арттыру шамасына қарай қоздыру тогын $I_{\text{арттыру}}$ керек. Индуктивті сипаттағау жүктемені арттыру

($\cos j < 1$; инд.) кернеудің U_1 күрт төмендеуін тудырады (20.12 а-суреті), сондықтан қоздыру тогы I_{ϕ} , $U = I_{\text{ном}}$ ұстап тұру үшін керек, үлкен дәрежеде арттыру керек. Жүктеменің ($\cos j < 1$; емк.) сыйымдылықты сипаттамасы кезінде жүктемені арттыру кернеу U_1 өсуімен сүйемелденеді, сондықтан $U = I_{\text{ном}}$ қолдау үшін қоздыру тогын азайту керек.

20.7. Синхронды генератордың тәжірибелік диаграммасы

Синхронды генератордың A и_{ном} кернеуінің өзгеруі номиналды жүктемені түсіру кезінде графикалық тұрғыдан анықтауға болады – ЭҚК тәжірибелік диаграммасын құру арқылы. Синхронды генератор номиналды жүктеме режимінде жұмыс жасады, содан кейін жүктеме толығымен түсіріледі, бірақ айналу жиілігі мен қоздыру тогы мұнда өзгеріссіз болып қалады. Генератор кернеуі жүктемені түсіргеннен A и_{ном} кейін артты. Осы мәнін анықтау үшін келесіні жасаймыз (20.13-сурет): координаталардың бір осінде бос жүріс және қысқа тұйықталу сипаттамасын құрамыз. Содан кейін ординат осімен $OA = I_{\text{ном}}$ векторын құрамыз және j бұрышында OA векторына вектор $I_{\text{ном}}$ тогын келтіреміз. и_{ном} векторына кернеудің $I_{\text{ном}} \cos j$ және $I_{\text{ном}} \sin j$ құлау векторын қосып, жүктелген генератордың ЭҚК табамыз:

$$E_H = U_{\text{ном}} + I_{\text{ном}} \cos j + j I_{\text{ном}} \sin j \quad (20.36)$$

Рис. 20.13. Практическая диаграмма ЭДС

В нүктесін бос жүріс сипаттамасына ауыстырып (С нүктесі), CD ординатасын жүргіземіз. Абцисса осінде алынған OD кесіндісі қоздыру тогын анықтайды, ол жүктелген генератордың $E_{нг}$ ЭҚК құру I_B үшін керек. Бірақ жүктемесіз жұмысы кезінде оның ЭҚК E_0 ЭҚК $E_{нг}$, қарағанда артық болады, зәкірдің бойлық реакциясының E_{id} ЭҚК мәніне, яғни $E_0 = E_{нг} + E_{id}$. E_{id} ескеру үшін қоздыру орамындағы токты I_{Bd} анықтаймыз, ол зәкірдің бойлық-магнитсіздендіру әсеріне сәйкес келеді. Қажетті құрылыстарды жасап, $= LG$ анықтаймыз (20.13-сурет).

Содан кейін D нүктесінен $j (= j + g \text{ к } CD \text{ бұрышында } DM = L \text{ вектор жүргіземіз. О орталығынан } OM \text{ радиусымен } N \text{ нүктесінде абцисса осімен қиылысу доғасын сипаттаймыз. Онда } ON = I_{B \cdot ном} - \text{қоздыру тогы, ол ЭҚК } E_0 = NP \text{ сәйкес келеді. А нүктесінен абцисса осіне параллель } AR \text{ сызығын жүргізіп, аламыз:}$

$$O \quad \overleftrightarrow{OD} \quad 1 \quad D \quad 1,67 \quad I_B / I_{B0 \text{ ном}}$$

20.14-сурет. $D_{и}$ анықтау

$$\frac{DU_{НОМ}}{NR} = \frac{NP \cdot NR}{NR} \cdot 100 = \frac{E_0}{U_{НОМ}} \cdot 100.$$

20.2-мысалы. Үшфазалы синхронды генератор үшін практикалық диаграммасын құру және жүктемені түсірген кезде кернеудің жоғарылауын анықтау. Генератордың келесідей мәндері бар: $P_{ном} = 500 \text{ кВт}$; $U_{ф \cdot ном} = 230 \text{ В}$; $\cos \varphi = 0,8$; $x_1 = 0,04 \text{ Ом}$; $r_1 = 0,0015 \text{ Ом}$; $OK3 = 1,4$; бос жүріс сипаттамасы қалыпты (20.6-қараңыз), статор орамы жұлдызға біріккен.

Шешуі. Қысқа тұйықталу сипаттамасын құру үшін $I_{вкном}^*$ қоздыру қатысымды тогын анықтаймыз, ол жүктеменің номиналды тогына сәйкес келеді. (20.14) аламыз:

$$4k_{ном}/40_{ном} = 1/OK3 = 1/1,4 = 0,715.$$

Генератордың номиналды тогы

$$4_{ном} \cdot \frac{P_{но}}{U_{10^3}} \cdot \frac{500}{10^3} = 905 \text{ А.}$$

Кернеулің белсенді құлауы

$$I_{1ном} r_1 = 905 \cdot 0,0015 = 1,36$$

В. кернеудің индуктивті құлауы

$$I_{1ном} jx_1 = 905 j 0,04 = j 36,2 \text{ В.}$$

Алынған бірліктерді қатысымды бірліктерде көрсетеміз:

$$\Phi_{\text{НОБ}} \dot{I}_{1\text{НОМ}} = \dot{I}_J^{36,230} = 0,0059; \Phi_{\text{НОБ}} \dot{I}_1 \dot{I}_{1\text{НОМ}} = 36,2,230 = 0,157.$$

Кернеудің индуктивті құлауы $0,157/0,0059 = 26$ белсендіден артық, кернеудің белсенді құлауын елемеуге болады. Кернеу $u_{1\text{НОМ}}$ мен ток $i_{1\text{НОМ}}$ арасында фазалардың ығысу бұрышы $\varphi = \arccos 0,8 = 37^\circ$ құрайды.

Баяндалған тәртіпте құрылыс жүргізе отырып, ЭҚК пратикалық диаграммасын аламыз (20.14-сурет), оған сәйкес жүктемені түсірген кезде кернеуді арттыру көлемін анықтаймыз:

$$\frac{U_{\text{НОМ}}}{U} = \frac{N_P}{N_R} = 28\% \quad \frac{128}{100} = \frac{1}{1} \cdot 100 =$$

Диаграммадағы барлық құрылыстар (20.14-суретті қараңыз) қатысымды бірлікте орындалған.

20.8. Синхронды машиналардың шығындары мен ПӘК

Синхронды машинада энергияны түзу энергия шығындарымен байланысты. Синхронды машинадағы барлық шығын түрлері негізгі және қосымшаға бөлінеді.

Синхронды машинадағы негізгі шығындар статор орамындағы электрлі шығындардан, қоздыру шығыны, магнитті және механикалық шығындардан тұрады.

Статор орамындағы электрлі шығындар(Вт)

$$P_{\Sigma 1} = t_{\Sigma 1} \cdot I^2, \quad (20.37)$$

мұнда $t_{\Sigma 1}$ — есептік жұмыс температурасында статор орамының бір фазасының белсенді кедергісі, Ом.

Қоздыру шығындары (Вт):

а) жеке қоздыру құралын қоздыру кезінде

$$P_{\Sigma 2} = 44 + D_{\Sigma 2}, \quad (20.38)$$

мұнда $t_{\Sigma 2}$ — есептік жұмыс температурасындағы қоздыру орамының белсенді кедергісі, Ом; $D_{\Sigma 2} = 2 \text{ В}$ — қылшақ байланысындағы кернеудің құлауы.

б) тұрақты ток генераторынан (қоздырушыдан) қоздыру кезінде, синхронды машина білігімен тоғысқан

$$P_{\Sigma 2} = (7V_{\Sigma 2}^2 + D_{\Sigma 2})/l_{\Sigma 2}, \quad (20.39)$$

мұнда $t_{\Sigma 2} = 0,80 \wedge 0,85$ — қоздыру ПӘК.

Синхронды машинаның магнитті шығындары статор өзегінде болады, ол

Бұл шығындар гистерезис шығындары P_r мен иірімді токтардан $P_{вт}$ тұрады:

$$P_M = P_r + P_{вт}, \quad (20.40)$$

Механикалық шығындар (P_M), мойынтіректегі үйкелу шығыны сомасына тең және желдету шығындарына тең (машинаның өздігінен желдетуі кезінде)

$$P_M, \quad 3,68 \cdot 10^4 > 104, \quad (00.41)$$

мұнда

$$v_2 = \frac{p(D_1 - 2d)n_1}{60}$$

— Ротордың полюсті ұштаманың бетінде айналма жылдамдық, м/с; l_1 — статор өзегінің құрылымдық ұзындығы, мм.

Асинхронды машиналардың қосалқы шығындары екі түрге бөлінеді: пульсациялық шығындар ротордың полюстік ұштамаларында және жүктеме кезіндегі шығындар.

Қосалқы пульсациялық шығындар ротордың полюстік ұштамаларында статордың ішкі бетінің тісті болуынан саңылауда магнитті индукция пульсациясымен шартталған. Бұл шығындар тең (P_{Π})

$$P_{\Pi} = k_{\Pi} b p l_1 (10^{-4} Z_1 n_1)^{1.5} [B_6 (k_{bi} - 1) t_i]^2 \cdot 10^{-6}, \quad (00.43)$$

мұнда k_{Π} — ротор полюсінің табақтарының қалыңдығын ескеретін коэффициент: табақ қалыңдығы 1 мм $k_{\Pi} = 4,6$; табақ қалыңдығы 2 мм $k_{\Pi} = 8,6$; массивті полюсті ұштама табақтарының қалыңдығы $k_{\Pi} = 23,3$; b_p — полюсті ұштаманың ені, мм; Z_1 — статордағы пазалардың саны; B_d — саңылаудағы магнитті индукция, Тл; k_{d1} — статордың әуе саңылауының коэффициенті; t_1 — статордың тісті бөлінісі, мм.

$P_{доб}$ жүктемесіндегі қосалқы шығындар синхронды машиналарда қозғалтқыштың келтіретін қуатының % немесе генератордың пайдалы қуатынан анықталады. Синхронды машиналар үшін қосалқы шығындар 1000 кВт жүктемесі 0,5 % тең, ал машина қуаты 1000 кВт астам - 0,25 - 0,4 %.

Синхронды машинадағы жиынтық шығындар (кВт)

$$E^P = (P_{\Sigma 1} + P_B + P_{M1} + P_{мех} + P_{\Pi} + P_{доб}) \cdot (00.44)$$

Пайдалы әрекет коэффициенті :

Синхронды генератор үшін

$$\eta_r = 1 - S \frac{P}{(P_{ном} + E^P)}, \quad (00.45)$$

мұнда

$$P_{ном} = m_1 U_1 I_{ном}^1 I_{ном} \cos \varphi_1 \cdot 10^3 \quad (00.46)$$

— Номиналды жүктеме кезінде генератордан алынатын белсенді қуат, кВт;

$$h_d = 1 - S_p / P_{\text{НОМ}}; \quad (20.47)$$

$U_{\text{НОМ}}$ және $Z_{\text{НОМ}}$ — статор орамының кернеуі мен тогының фазалық мәндері.

Синхронды машина ПЭК жүктеме ($b = P_2/P_{\text{НОМ}}$) көлеміне байланысты және оның сипатына ($\cos \varphi$) байланысты. Бұл тәуелділік кестесі 1.41-суретте бейнеленгендерге ұқсас. Синхронды машиналарда қуаты 100 кВт ПЭК 80 — 90 % құрайды, қуатты машиналарда - 92 — 99 % құрайды. Анағұрлым жоғары мәндер ПЭК турбо және гидрогенераторларда он және жүздеген мың киловатт құрайды.

Бақылау сұрақтары

1. Айқын полюсті синхронды машиналардың магнитті тізбегі қандай учаскелерден тұрады?
2. Экір реакциясы құбылыс дегеніміз не?
3. Экір реакциясының синхронды генератордың белсенді, индуктивті және сыйымдылықты жүктемелеріндегі әсері қандай?
4. Қандай ЭҚК айқын полюсті синхронды генератор статорының орамында экірдің қандай магнитті ағындарды келтіреді және осы ЭҚК қандай индуктивті кедергілерге баламалы?
5. Неліктен синхронды машинаның қысқа тұйықталу сипаттамаларында түзу сызығы бар?
6. ЖҚТ дегеніміз не және синхронды генератор қасиеттерінің өлшеміне қалай әсер етеді?
7. Жүктеме түсіру кезінде кернеудің номиналды өзгерісі дегеніміз не және неліктен сыйымдылықты жүктеме кезінде оның көлемі теріс?
8. 20.2-мысалы үшін жүктемені түсірген кезде кернеудің өзгерісін анықтаңыз, егер генератор жүктемемен жұмыс істесе, номиналдының жартысына тең.
9. Синхронды машинада қандай шығын түрлері бар?

21 тарау

СИНХРОНДЫ МАШИНАЛАРДЫҢ ПАРАЛЛЕЛЬ ЖҰМЫСЫ

21.1. Синхронды генераторларды параллель

жұмысқа қосу

Электр станцияларында әдетте бірнеше синхронды генераторды орнатады, ола бірлескен жұмысы үшін параллель қосылады (21.1-сурет). Біреудің орнына бірнеше генератордың болуы жиынтық қуат үшін басымдық береді, сол түсініктермен түсіндіріледі, олар трансформатордың параллель жұмысына қатысты баяндалған (2.2-суретті қараңыз):

21.1-
сурет.Синхронды
генераторды параллель
жұмысқа қосу:

G1 — G4 —
синхронды
генераторлар; M1— M4
көрсеткі қозғалтқыштар



Жүктемеге



а) қандай да бір энергетикалық қондырғының апаты немесе оның жөндеуге өшіру үшін үздіксіз электрмен жабдықтауды қамтамасыз ету;

б) жүктеменің ауыспалы кестесі бар электрстанциясының жұмысы кезінде электр қондырғылардың бөлігін өшіру мүмкіндігі туындайды, қалған қондырғылар жоғары ПӘК номиналдыға жақын жүктемемен жұмыс жасайтындайды.

Синхронды генераторды желіге параллель жұмысына қосу кезінде келесі шарттарды ұстану керек: генератор ЭҚК E_0 оны желіге қосқан кезде тең және желі кернеуінің ($E_0 = -U_i$) фазасы бойынша қарама-қарсы болу керек, генератор ЭҚК I_r жиілігі желідегі ауыспалы токтың I_c жиілігіне тең болу керек, генератор шығысындағы фазалардың ілесу тәртібі желі қысықшытарындағыдай болу керек.

Параллель жұмысына қосылатын генераторды барлық аталған шарттарды қанағаттандыратын жағдайға келтіру синхрондау деп атайды. Синхрондаудың кез келген шартын орындамау статор орамында үлкен теңестіру тогына әкелуі мүмкін, олардың астам көлемі апаттың себебіне айналуы мүмкін.

Генераторды желіге параллель жұмыс жасайтын генераторлармен бірге нақты синхрондау немесе өздігінен синхрондау әдісімен қосуға болады.

Нақты синхрондау әдісі. Бұл әдістің болмысы ең алдымен генераторды желіге қосу, оны жоғарыда аталған шарттарды қанағаттандыратын жағдайға келтіреді, яғни синхрондайды. Бұл шарттарды ұстану мезеті, яғни синхрондау мезетін синхроноскоп деп атайтын құралмен анықтайды. Құрылымы бойынша синхроноскоп нұсқарлық және шамдық деп бөледі. Шамдық синхроноскопт қолданумен генераторды синхрондау процесін қарастырайық, ол үш лампадан тұрады, 1, 2, 3, олар тең бүйірлі үшбұрыш төбесінде орналасқан және «сөну» немесе «жарық айналуына» сызбасы бойынша қосылған.

«Сөну» сызбасы бойынша шамдарды қосу кезінде (21.2а-суреті) синхрондау мезеті барлық шамдардың біруақытта өшуіне сәйкес келеді. Генератордың $\vec{E}_A, E_B, E_C$ ЭҚК жұлдызы ш бұрыштық жылдамдығымен айналады деп шамалайық, ол желі кернеуі U_A, U_B, U_C айналуынан бұрыштық жылдамдығынан ω асып кетеді. Бұл жағдайда шамдардағы кернеу $\vec{E}_A + U_A; \vec{E}_B + U_B; \vec{E}_C + U_C$ геометриялық жиынтығымен анықталады (21.2в-суреті). Жұлдыз векторлары сәйкестенген мезетте ЭҚК кернеу жұлдыздарының векторларымен сәйкестену мезетінде бұл сомасы ең үлкен мәніне жетеді (21.2г-суреті), мұнда шамдар үлкен шынығумен жанады (шамдағы кернеу желідегі екі еселенген кернеуге тең). Ары қарай уақытта ЭҚК жұлдызы кернеу жұлдызынан озады және шамдағы кернеу азаяды. Синхрондау мезетінде (21.2д-суреті) ЭҚК векторлары мен кернеу сомасы нольге тең болатын қалыпта болады: $\vec{E}_A + U_A = 0; \vec{E}_B + U_B = 0; \vec{E}_C + U_C = 0$, т. е. $U_d = 0$, және барлық үш лампа бір уақытта сөнеді. Бұрыштық жылдамдық әр түрлі болған кезде ω_r және ω_c лампалары жанып, жиі сөнеді, ал бұрыштық айналу жылдамдықтағы ω_r және ω_c жақындаған сайын шамдардың жылтылдауы сирек болады. Жетекті қозғалтқыштың айналу жиілігін өзгерте отырып, $\omega_r = \omega_c$ теңдігіне қол жеткізеді, ол туралы шамдардың ұзақ уақытқа сөнуі куәландырады. Бұл кезде ажыратқышты тұйықтау керек, содан кейін генератор желіге қосылған болады.

а

б

г

д

е

21.2-суреті. Нақты синхрондау ұғымына

Синхроноскоп шамдарын «жарық айналуы» сызбасы бойынша қосқан кезде (21.2в-суреті) бұрыштық айналу жылдамдықтарының w_r және w_c тең еместігі жағдайында шамдары жанады және бірінен кейін бірі сөнеді, жарықтың айналу әсерін білдіреді. Мұнда егер $w_r < w_c$ болса, онда айналу бір жаққа, $w_r > w_c$ болса екінші жағына айналады. Синхрондау мезетіне екі шамның жануы сәйкес келеді (мысалы, 1 и 2), жарықтары бірдей және үшінші шамы сөнген (21.2е-суреті). Егер генератор фазаларының кезектесу тәртібі және желіде бірдей болмаса, онда «сөну» сызбасы бойынша қосылған шамдар синхрондау кезінде «жарықтың айналуы» сызбасындағыдай болады. Бұл жағдайда генераторға қосылған екі сызықтық сымның орнын ауыстыру керек. Нақты синхрондау процесі әдетте автоматтандырылады.

Өздігінін синхрондау әдісі. Қоздырылмаған генератор роторы жетекті қозғалтқышпен 2 — 5 % синхрондыдан ерекшеленетін айналу жиілігіне дейін айналуға келтіріледі, содан кейін генераторды желіге қосады. Ротор орамындағы артық жүктемені болдырмау үшін генераторды желіге қосу кезінде оны г резисторына тіркейді, ол сөндіретін деп аталады (22.3-суретте көрсетілген резисторға ұқсас). Генераторды желіге қосылу мезетінде оның ЭҚК нольге тең болғандықтан (генератор қоздырылмаған), желідегі кернеу әсерімен статор орамында токтың күрт берілуі байқалады, ол статор тізбегінің токтың номиналды мәнінен асады. Статор орамына қосылудан кейін қоздыру орамын сөндіру резистордан сөндіру және тұрақты ток көзіне қосады. Мұнда генератор роторында электромагнитті мезет туындайды, оның әсерімен генератор синхронизмге тартылады, яғни генератор роторының айналу жиілігі синхронды болады. Статор орамындағы ток жылдам азаяды.

Синхрондау кезінде генераторда күрделі электромеханикалық өтпелі процестер өтеді, олар статор орамының пазалық жақтарына елеулі күштік әсер береді, мойынтірек пен муфта генераторды турбинамен байланыстырады. Осы әсерлердің генератор сенімділіген әсері синхронды генераторларды жобалау кезінде пайдаланылады. Өздігінен синхрондау әдісі (дөрекі синхрондау) қарапайым бола отырып, әдетте генераторда жиі қосылуларда қолданылады.

21.2. Параллель жұмысқа қосылған синхронды генератор жүктемесі

Әдетте бір желіге бірлесіп бірнеше синхронды генератор жұмыс жасайды және олардың кез келгенінің қуаты барлық қалған генераторлардың жиынтық қуатынан аз. Синхронды генераторды басқа генераторлармен бірге желіге параллель жұмысқа қосты деп санайық, олардың жиынтық қуаты

Қосылатын генератордың қуатымен салыстырғанда соншалықты үлкен, кез келген өлшемдерінің өзгерісі кезінде желі кернеуі U_c мен оның жиілігі f_c өзгеріссіз қалады.

Генераторды желіге қосқаннан кейін синхрондаудың барлық шарттарын сақтау кезінде оның ЭҚК E_0 көлемі бойынша тең және желі кернеуінің U_c фазасы бойынша қарама-қарсы (21.3а-суреті), сондықтан генератор тізбегіндегі ток нольге тең, яғни генератор жүктемесіз жұмыс жасайды. Жетекті қозғалтқыштың механикалық қуаты P_1 бұл жағдайда толығымен бос жүріс шығынын жабуға шығындалады:

$$P_0 = P_{\text{мех}} + P_{\text{м1}} + P_{\text{в}} + P_{\text{п}}.$$

Синхронды генератордың статор орамында токтың болмауы нәтижесінде ($I_1 = 0$) статор орамы айналатын магнитті өрісті құрмайды және генераторда қоздырудың магнитті өрісі әрекет етеді, ол бұрыштық жылдамдығымен бірге роторымен бірге айналады, бірақ электромагнитті мезетті құрмайды.

Егер жетекті қозғалтқыштың M_1 айналу мезетін арттырса, онда машина роторы белгілі жылдамдатуды алып, айналу бағытында θ бұрышына бастапқы қалпына орналасады. Осындай θ бұрышы генератордың ЭҚК E_0 векторы ығысқан болады, өзінің қалпына қарай, генератордың бос жүріс режиміне сәйкес келеді (21.3б-суреті). Нәтижесінде статор тізбегінде нәтижеленуші ЭҚК $E = E_0 + U$ пайда болады, ол генератор статорының орамы тізбегінде ток I_1 құрады. Егер статор орамының белсенді кедергісін ескермесе, бұл орамның кедергісін таза индуктивті деп санау керек, онда ток I_1 фаза бойынша E -ден 90° бұрышына кейін қалады (21.3б-суреті) және фаза бойынша ЭҚК E_0 U бұрышына кейін қалады.

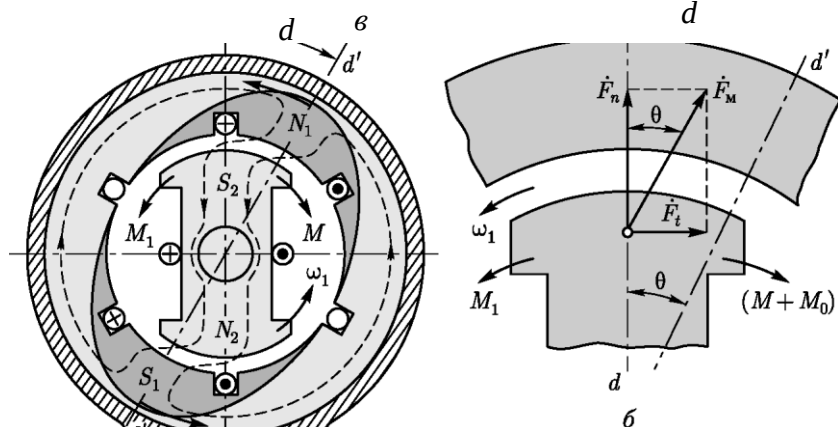
Ток I_1 магнитті өрісін құрады ол ротормен синхронды айналады және ротор өрісімен бірге синхронды машинаның магнитті өрісін құрады. Осы нәтижеленуші өрістің $d' - d'$ білігі роторының полюсі бойлық осімен сәйкес келмейді: синхронды

' I_1

21.3-сурет. Синхронды генератордың векторлық диаграммалары, үлкен қуаттағы желіге параллель қосылған:
 a — жүктемесіз жұмыс кезінде; b — жүктемемен.

a

b



21.4-сурет. Синхронды генератордың электромагнитті мезеті туралы ұғымына

Генераторда ротор полюстерінің осі d — d машинаның нәтижеленуші осінің 0 бұрышына, жүктеме $d' — d'$ бұрышы аталады (21.4а-суреті).

Атаулары әр түрлі магнитті өрістер полюстері өзара тартылатыны белгілі, сондықтан ротордың магниттелген өрістері және айқын берілмеген полюстері арасында айналатын статор өрісінде магнитті тартылыс күштері туындайды (21.4б-суреті). Бұл күштің векторы ротордың әр полюсінде полюс осіне 0 бұрышымен бағытталған, екі құраушысы бар: $F_n = F \cos \theta$ — полюстерінің осі бойынша бағытталған қалыпты құраушысы және $F_t = F \sin \theta$ — ротор полюсінің перпендикуляр бағытталған тангенцті құраушысы. Ротордың барлық полюстерінде құраушыларының тангенцті жиынтығы синхронды генератор роторында электромагнитті мезетті құрады, ол магнитті өріске қарсы бағытталған:

$$M = Ft \, 2p(D_2/2) = F_m D_2 p \sin \theta, \quad (21.1)$$

мұнда D_2 — ротор диаметрі.

Алынған өрнекке сәйкес, синхронды машинаның электромагнитті мезеті 0 жүктеме бұрышының синусоидалды қызметі болып табылады және келесі өрнекпен беріле алады:

$$M = M_{\max} \sin \theta, \quad (21.2)$$

мұнда $M_{\max}$ — электромагнитті мезеттің максималды мәні, $\theta = 90$ эл. Град бұрышының мәніне сәйкес келеді.

Генератор роторында пайда болатын M электромагнитті мезет жетекті қозғалтқыштың айналу мезетіне қарсы бағытталған,

яғни ол тежеуші мезет болып саналады. Осы мезетті еңсеруге жетекті қозғалтқыштың қуатының шығындалатын бөлігі электромагнитті қуатты білдіреді

$$P_{эм} = M w_1, \quad (21.3)$$

мұнда w_1 — ротордың айналудың бұрыштық жылдамдығы.

Осылайша, синхронды генератордың статор орамында токтың I_1 пайда болуымен желіге параллель қосылған, генератор электрлі жүктемені алады, ал жетекті қозғалтқыш (турбина, дизельді қозғалтқыш және т.с.с.) – қосымша механикалық жүктеме. Мұнда жетекті қозғалтқыштың механикалық қуаты P_1 генератордың бос жүрісінің шығынын жабуға ғана емес, генератордың электромагнитті қуатына $P_{эм}$ да жартылай түзіледі, яғни

$$P_i = P_0 + P_{эм}. \quad (21.4)$$

Яғни, синхронды генератордың электромагнитті қуаты белсенді электрлі қуатты білдіреді, ол жетекті қозғалтқыштың механикалық қуатының жартысына түзілген:

$$P_{эм} = P_1 - P_0.$$

Синхронды генератордың белсенді қуатына P_2 қатысты ол генератормен желіге беріледі, яғни

$$P_2 = m U_1 I_1 \cos \varphi \cdot 10^{-3},$$

Онда ол электромагнитті қуаттан $P_{эм}$ статор орамындағы электрлі шығындардың $P_{\sigma 1} = m_1 l 2 r_1$ сомасына тең көлемге және жүктеме кезінде қосалқы шығындар $P_{доб}$ көлеміне кем:

$$P_2 = P_{эм} - (P_{\sigma 1} + P_{доб}). \quad (21.5)$$

Яғни синхронды генератордың шығысындағы қуаты P_2 (белсенді жүктеме) желімен параллель жұмысы кезінде жетекті қозғалтқыштың айналу мезетін M_1 өзгертумен реттеледі:

$$P_2 = P_1 - EP = M_1 W_1 - EP,$$

мұнда $w_1 = 2\pi f_1/p = \text{const}$ — синхронды машинаның роторының бұрыштық синхронды айналу жиілігі, рад/с.

Егер барлық қосылған тендеулерді (21.4) $P_1/w_1 = P_0/w_1 + P_{эм}/w_1$ бұрыштық жылдамдығына бөлсе, онда мезеттерінің тендеуін аламыз:

$$M_1 = M_0 + M. \quad (21.6)$$

Осы тендеуге сәйкес, жетекті қозғалтқышпен генератор білігінде дамытылатын айналу мезеті M_1 қарсы әрекет ететін мезеттердің сомасына тең: бос жүріс мезеті M_0

бос жүріс шығындарымен P_0 және генератордың шартты жүктемесінің электромагнитті мезетімен M шартталған.

Бос жүріс мезеті M_0 бұл генератор үшін тұрақты ($M_0 = \text{const}$), сондықтан синхронды генератор жүктемесі жетекті қозғалтқыштың айналу мезетінің есебінен ғана мүмкін, онда оның мәні бос жүріс мезетінен асады, яғни $M_1 > M_0$.

21.3. Синхронды генератордың бұрыштық

сипаттамалары

Айқын емес полюсті синхронды генератордың электромагнитті қуаты оның желімен параллель жұмысы кезінде

$$P_{\text{эм.н}} = (m_1 U_1 E_0 \sin \theta) / x_c, \quad (21.7)$$

Мұнда θ — машинаның нәтижеленуші өрісінің бойлық осіне қатысты ротордың бойлық осі ығысқан (21.4-суреті).

Айқын полюсті синхронды генератордың электромагнитті қуаты

$$P_{\text{эм}} = \frac{1}{2} \frac{U_1 E_0}{x_d} \sin \theta + \frac{1}{2} \frac{U_1^2}{x_d} \sin 2\theta, \quad (21.8)$$

мұнда $x_d = x_{ad} + x_1$ и $x_q = x_{ad} + x_1$ — айқын полюсті синхронды машинаның бойлық және көлденең осьтері бойынша синхронды индуктивті кедергілері, Ом.

(21.7) және (21.8) өрнегін синхронды бұрыштық айналу жылдамдығына ш, бөліп, айқын емес полюсті синхронды машиналардың электромагнитті мезетінің келесі өрнегін аламыз:

$$M_H = \frac{m_1 U_1 E_0}{W_L x_c} \sin \theta; \quad (21.9)$$

Айқын полюсті

$$M_H = \frac{1}{2} \frac{U_1 E_0}{x_d} \sin \theta + \frac{1}{4} \frac{U_1^2}{x_d} \sin 2\theta, \quad (21.10)$$

Мұнда M — электромагнитті мезет, Нм.

(21.10) өрнегінің талдауы көрсеткендей, айқын полюсті синхронды машинаның электромагнитті мезеті екі құраушысы бар: олардың бірі электромагнитті мезеттің негізгі құраушысын білдіреді,

$$M_{oc} = \frac{1}{2} \frac{U_1 E_0}{x_d} \sin \theta, \quad (21.11)$$

екіншісі — мезеттің реактивті құраушысын

$$M_p = \frac{1}{2\psi_x x_q} | \sin 2\theta. \quad (21.12)$$

Айқын полюсті синхронды машинаның электромагнитті мезетінің M_{oc} негізгі құраушысы желі кернеуіне ($M_{ocn} = U$) ғана қатысты емес, статор орамында Φ айналатын ротордың магнитті ағынымен келтіріген ЭҚК E_0 де байланысты:

$$E_0 = 4,44f_1 F w_1 k_{об1}. \quad (21.13)$$

Электромагнитті мезетті негізгі құраушысы M_{ocn} ротордың магнитті ағынынан тәуелді екенін куәландырады: $M_{ocn} = \Phi$. Осыған сәйкес ротор қозбаған машинада ($\Phi = 0$) мезеттің негізгі құраушысы $M_{ocn} = 0$.

Электромагнитті мезеттің реактивті құраушысы ротор полюстерінің магнитті ағынына тәуелді емес. Осы құраушыны туындау үшін екі шарт жеткілікті: біріншіден, $(x_q \wedge x_d)$ машина роторының айқын полюсті режимдері болу керек және екіншіден статор орамында желі кернеуі ($M_p = \Psi^2$) келтірілген. Реактивті мезеттің физикалық болмысы 23.2-баяндалған.

Синхронды генератордың жүктемесін арттырған жағдайда, яғни токтың I_1 артуымен θ жүктеме бұрышы артады, ол генератордың электромагнитті қуатының өзгеруіне және оның электромагнитті мезетінің артуына әкеледі. $P_{эм} = f(\theta)$ және $M = f(\theta)$ тәуелділіктері графикалық берілген, синхронды машинаның бұрыштық сипаттамалары деп аталады.

Электромагнитті қуаттың $P_{эм} = f(\theta)$ және айқын емес полюсті синхронды генератордың электромагнитті мезетінің $M = f(\theta)$ бұрыштық сипаттамаларын қарастырайық (21.5-суреті). Бұл сипаттамалар желі кернеуінің ($U_c = \text{const}$) тұрақтылығы және қоздырудың магнитті ағынында құрылған.

Бұл сипаттамалар желі кернеуінің тұрақтылығы мен қоздыру магнитті ағынының тұрақтылығы кезінде құрылған, яғни $E_0 = \text{const}$. (21.8) және (21.11) өрнегіне сәйкес электромагнитті мезеттің M_{ocn} негізгі құраушысы және оның құраушы электромагнитті қуаты θ бұрышының синусына пропорционал өзгереді (1 кестесі), ал мезеттің реактивті құраушысы (21.12) және оның электромагнитті қуатына сәйкес келетін құраушысы 2θ бұрышына синусына пропорционал өзгереді (2 кесте). Нәтижеленуші мезеттінің тәуелділігі $M_\gamma = M_{ocn} + M_p$ және θ бұрышынан электромагнитті қуаты $P_{эм}$ 3 кестемен анықталады, ол мезет M_{ocn} және M_p мәндерінің немесе ордината бойынша қуат мәндеріне сәйкес келеді.

Электромагнитті мезеттің максималды $M_{тах}$ мәні жүктемесінің бұрышының шекті $\theta_{кр}$ мәніне сәйкес келеді.



Синхронды генератордың бұрыштық сипаттамасы

Нәтижеленуші бұрыштық сипаттамаға $M_{я} = f(0)$ сәйкес, $0 < 0_{кр}$ бұрыш мәніне сәйкес келетін мәніне дейін жүктемені арттырған кезде синхронды машинаны жұмыс жасайды. $0 < 0_{кр}$ кезінде генератор жүктемесінің өсуі (0 артуы) электромагнитті мезетің артуымен сипатталады. Бұл жағдайда кез келген бекітілген жүктемеге жетекті қозғалтқыштың айналу мезетінің M_1 қарсы әрекет ететін мезеттерге теңдігі сәйкес келеді, яғни $M_1 = M_{я} + M_0$. Нәтижесінде ротордың айналу жиілігі өзгеріссіз болып қалады, синхронды айналу жиілігіне тең.

Бұрышына $0 > 0_{кр}$ сәйкес келетін жүктеме кезінде электромагнитті мезет $M_{я}$ азаяды, ол айналушы және қарсы әрекет ететін мезеттердің теңдігін бұзады. Мұнда бірінші қозғалтқыштың айналу мезетінің артық (тенестірілмеген) бөлігі ротордың $DM = M_1 - (M_{я} + M_0)$ айналу жиілігінің артуына әкеледі, ол синхрондау шарттарын бұзады (машина синхронизмнен шығады).

Жүктеме бұрышының шекті мәніне ($0_{кр}$) сәйкес келетін электромагнитті мезет максималды $M_{тах}$ болып табылады. Айқын полюсті инхронды машиналар $0_{кр} = 60 — 80$ эл. Град. Жүктеме бұрышын $0_{кр}$ мына формуламен анықтауға болады:

$$\cos 0_{кр} = Vb^2 + 0,5 — b, \quad (21.14)$$

мұнда

$$b = \frac{E0}{4UI}(\alpha_d/\alpha_q - 1)]. \quad (21.15)$$

Айқын емес полюсті машиналарда $M_p = 0$, сондықтан бұрыштық сипаттама синусоиданы және $0_{кр} = 90^\circ$ бұрышын білдіреді.

Максималды $M_{тах}$ электромагнитті мезеттің номиналдыға $M_{ном}$ қатынасын синхронды машинаның артық жүктеме қабілеті немесе статистикалық артық жүктемелік коэффициенті деп атайды:

$$1 = M_{тах}/M_{ном} = 1,4 - 3,0. \quad (21.16)$$

Мезеттің реактивті құраушысын ескермей, жазуға болады:

$$X = I^{\sin} \quad (21.17)$$

яғни $\theta_{\text{ном}}$ бұрышы аз болған сайын, ол синхронды машинаның номиналды жүктемесіне сәйкес келеді. Мысалы, турбогенераторда $\theta_{\text{ном}} = 25^\circ$ 30° , ол $X = 2,35 \wedge 2,0$ сәйкес келеді.

21.1-мысал. Үшфазалы синхронды генератор айқын көрінетін полюстермен роторда ($2p = 10$) жегіне 6000 В және 50 Гц жиілікпен параллель жұмысқа қосылған. Статор орамы жұлдызға біріккен және әр фазада $w_1 = 310$ ретті иірімдері бар, орам коэффициенті $k_{\text{об1}} = 0,92$ орамды шашыратудың индуктивті кедергісі $x_1 = 10$ Ом. Статор өзегінің ұштама диаметрі $D_1 = 0,8$ м, статор өзегінің есептік ұзындығы $l_1 = 0,28$ м, әу саңылауы бірдей $d = 2$ мм, полюстік жабылу коэффициенті $a_p = 0,7$, әу саңылауының коэффициенті $k_d = 1,3$, магнитті қанығу коэффициенті- $k_m = 1,1$. Ротордың магнитті ағыны $\Phi = 0,058$ Вб

Электромагнитті мезеттердің мәнін есептеу және $M_{\text{осн}}$, M_p және $M_y = f(0)$ кестерелін құру керек.

Шешуі. (20.19) бойынша зәкір реакциясының толық индуктивті кедергісі

$$\begin{aligned} X_a &= 2,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{k_d k_u}{p} \cdot \frac{\Phi}{\omega} \\ &= 2,5 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 50 \cdot \frac{0,8 \cdot 0,28}{2 \cdot 10^{-3} \cdot 1,3 \cdot 1,1} \cdot \frac{0,310 \cdot 0,92}{1} = 96 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

$a_p = 0,7$ кезінде және саңылауы тегіс кезінде (20.7) және (20.8) бойынша өріс формаларының коэффициенттері: $k_d = 0,958$ и $k_q = 0,442$.

Зәкір реакциясының индуктивті кедергісі: бойлық осі бойынша [(20.24)-қараңыз]

$$x_{ai} = x_a k_s = 96 \cdot 0,958 = 91,5 \text{ Ом,}$$

[(20.25)-қараңыз] көлденең осі бойынша

$$X_{aq} = X_a k_q = 96 \cdot 0,442 = 42,4 \text{ Ом.}$$

Бойлық және көлденең осьтері бойынша синхронды индуктивті кедергілер:

$$x_d = x_{ai} + x_1 = 104,4 + 10 = 114,4 \text{ Ом;}$$

$$X_q = X_{aq} + x_1 = 48,2 + 10 = 58,2 \text{ Ом.}$$

(21.13) бойынша бос жүріс режимінде статор орамының ЭЖК

$$E_0 = 4,44 f_1 F w_1 k_{\text{об1}} = 4,44 \cdot 50 \cdot 0,058 \cdot 310 \cdot 0,92 = 3672 \text{ В.}$$

Статор орамының фазасының кернеуі

$$U_{\text{НОМ}} = 6000/\sqrt{3} = 3468 \text{ В.}$$

Ротордың бұрыштық айналу жылдамдығы

$$\omega_1 = 2 \pi f_1 / p = 2\pi 50 / 5 = 62,8 \text{ рад/с.}$$

Генератордың электромагнитті мезетінің негізгі құраушысының максималды мәні (21.11)

$$M_{0c} = \frac{1}{2} \frac{U_1 E_0}{\omega_1} = \frac{3 \cdot 3468 \cdot 3672}{2 \cdot 62,8} = 5897 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Электромагнитті мезеттің реактивті құраушысының максималды мәні (21.12)

$$M = \frac{m_1 U_2}{2 \omega_1} = \frac{1 \cdot 1}{2 \cdot 62,8} = 0,0079 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

9 бұрышының бірқатар мәндері үшін $M_{\text{осн}} = M_{\text{оснта}} \cdot \sin 9$, $M_p = M_{p, \text{max}} \sin 29$, $M_{\text{я}} = M_{\text{осн}} + M_p$ мезеттерін есептеу нәтижелері төменде келтірілген:

9, град.....	20	30	45	60	70	90
$\sin 9$	0,342	0,500	0,707	0,866	0,940	1,0
$M_{\text{осн}}$, Н-м	2036	2977	4209	5156	5596	5897
$\sin 29$	0,643	0,866	1,0	0,866	0,643	0
M_p , Н-м.	1698	2287	2642	2287	1698	0
$M_{\text{я}}$, Н-м.	3734	5264	6851	7443	7294	5954

$9_{\text{кр}}$ бұрышы тиісті максималды мезетіне сәйкес келеді $M_{\text{тах}}$ (21.14) бойынша

$$\cos 9_{\text{кр}} = \sqrt{3^2 + 0,5^2} / 3 = \sqrt{0,28^2 + 0,5^2} / 0,28 = 0,48,$$

$M_{\text{я}}$, Н-м

$8 \cdot 10^3$

7

6

5

4

3

2

21.6-сурет. Мезеттің бұрыштың сипаттамалары

(21.1-мысалына)

0 20

40

60

0, эл. град

мұнда

$$b = E_0 / [4U_1(x_g/x_g - 1)] = 3659 / [4 \cdot 3468(114,4/58,2 - 1)] = 0,28; \arccos 0,48 =$$

61,3°.

$\theta_{кр} = 61,3^\circ$ бұрышына мезеттері сәйкес келеді:

$$M_{осн} = M_{осн,ах3т\theta_{кр}} = 5897 \cdot 0,877 = 5172 \text{ Н-м};$$

$$MP = M_{рта}^{т29\theta_{кр}} = 2642 \cdot 0,842 = 2254 \text{ Н-м};$$

$$M_{max} = M_{осн}' + MP = 5172 + 2254 = 7426 \text{ Н-м}.$$

$M_{осн}$, M_p және $M_a = f(\theta)$ мезеттерінің кестелері 21.6-суретте келтірілген есептеу нәтижелері бойынша құрылған:

21.4. Синхронды генератордың тербелістері

Желіге параллель жұмысқа қосылған синхронды генератор артық жүктемемен жасайды деп шамалайық. Генераторға жүктеме беру үшін бірінші қозғалтқыштың айналу мезетін M_1 бұрышына θ_1 ротор полюсінің осінің айналуына және электромагнитті мезетіне M сәйкес келетін мәніне $M = M_p$ (21.7-сурет, 1-кесте) дейін арттырады. Алайда синхронды машинаның айналатын массаларының инерция күшінің әсерімен және жетекті қозғалтқыш $\theta_2 > \theta_1$ бұрышына айналады, онда генератордың электромагнитті мезеті $m > M$ мәніне жетеді. Мезеттердің теңдігінің бұзылуы нәтижесінде ротор θ бұрышының азаюы бағытында бұрыла бастайды, бірақ инерция күштері бұл жағдайда да θ_1 бұрышына сәйкес келетін қалыпта тоқтап қалуға бөгет жасайды, ол бұрышының θ_3 мәніне сәйкес келеді, онда генератордың электромагнитті мезеті M'' айналу мезетінен M_1' кем болады. Сондықтан ротор θ_3 қалпында қалмайды, θ бұрышы жағына айналатын болады.

Осылайша, синхронды генератордың роторы θ орташа қалпы шамасында тербелістер жасайтын болады (21.7-сурет, 2-кесте), ол айналу және электромагнитті мезеттердің теңдігіне сәйкес келеді. Егер ротор тербелістері энергия шығындарымен сүйемелденбесе, онда ұзақ жалғасатын еді, яғни сөнбейтін болатын еді. Алайда тербелістердің шынайы жағдайында ротор тербелістері энергия шығынын тудырады, одан үлкен мәнге магнитті шығындарды иеленеді. Бұл шығындар ротор өзегінде иірімді токтардың пайда болуымен шартталған, олар осы тербелістерімен түсіндіріледі. Тербелістер болмаған кезде ротордың айналу жиілігі тұрақты және нәтижеленуші магнитті өрістің айналу жиілігіне тең. Алайда роторда тербелістер туындаған кезде соңғының айналу жиілігі тегіс емес болады, яғни оның қозғалысы статордың магнитті өрісіне қатысты болады, ол ротор өзегінде иірімді токтар тудырады.

Осы токтардың статордың магнитті өрісімен өзара байланысы роторға «тыныштандыру» әсерін береді, ол оның тербелістерін азайтады. Яғни ротордың тербелістері сөну сипатында болады және сондықтан біршама уақыттан кейін ротор бұрышына θ_1 сәйкес келетін қалыпты иеленеді, онда мезеттердің теңдігі орнығады. Ротордың тербелістерін тудыратын себептері жетекті қозғалтқыштың айналу мезетінің M_1 өзгерістері немесе генератордың электрлі жүктемелері болады яғни M электромагнитті мезеттердің өзгерістері генератор роторында болады. Ротордың тербелістері аталған себептермен тудырылған, оларды өзіндік тербелістер деп атайды.

Ротордың бірдей емес айналуымен тудырылған мәжбүрлі тербелістері де мүмкін. Мысалы, поршенді қозғалтқыштармен айналдырылатын генераторларда өтеді (дизельдер, газды қозғалтқыштар). Өзіндік тербелістер мен мәжбүрлі тербелістердің жиіліктері сәйкесенетін жағдайлар қауіпті (тербелістер резонансы). Мұнда тербелістер лезде артады, генераторлардың параллель жұмысы мүмкін емес болады.

Ротордың металл бөліктеріндегі энергия шығындары машинаның қозғалмалы бөлігіне тежеуші әсер етеді және оның тербелістерін азайтады. Алайда тербелістердің елеулі азаюы синхронды машина роторында тыныштандыру (демпферлі) орамды тудырады.

21.7-суреті. Синхронды машиналардың тербелістері:
1 — бұрыштық сипаттама; 2 — сөнетін ротордың тербелістерінің кестесі;

21.8-сурет. Тыныштандыру (демп-
...)

Айқын полюсті машиналарда орамды тыныштандыруды өзек түрінде орындайды, олар полюсті ұштама пазаларына салынған және сыртқы жақтарында пластиналармен байланысқан (21.8-сурет). Айқын емес полюсті машиналарда тербелістер тек иірімді токтардың келтірілуімен жойылады, олар ротор өзегінде келтіріледі.

Айта кету керек, синхронды генераторлар туралы жоғарыда баяндалған тең дәрежеде синхронды қозғалтқыштарға да қатысты болады (22.1-сурет).

21.5. Синхронды машиналардың синхрондаушы қабілеті

Алдыңғы қарастырылған параграфтарға сәйкес бірнеше синхронды генераторлардың жұмысы кезінде олардың әрқайсысында генераторды тұрақты жұмысында ұстап тұратын күш туындайды, яғни осы генератор синхронизмнен шығуды жояды.

Басқа сөзбен айтқанда, параллель жұмысқа қосылған синхронды генератор синхрондау қабілетін ие. Синхронды генераторлардың синхрондау қабілетінің физикалық мәні келесіде. Синхронды генератордың жұмыс процесі кезінде онда екі айналатын магнитті өріс әрекет етеді: статор өрісі және ротор өрісі. Екі өріс те синхронды айналады және машинада нәтижеленуші айналатын магнитті өрісін тудырады. Себебі барлық генератордың статор орамдары параллель жұмысқа қосылған, өзара электрлі байланысқан, сонымен қатар барлық генераторлардың синхронды n_1 айналу жиілігімен айналатын нәтижеленуші магнитті өрістері бар.

Машинаның нәтижеленуші магнитті өрісі ротор өзегі арқылы тұйықталады. Сондықтан параллель жұмыс жасайтын машиналардың статорлары арасындағы магнитті байланыс түпкілікті түрде осы машиналардың магнитті байланысына өтеді, ол эластикалық механикалық байланысына ұқсас, ол роторларға бір біріне қатысты $0 < \theta_{кр}$ бұрышында ығысу мүмкіндігін береді. Мұнда роторлар синхронды жиілікпен айналуы жалғастырады. Тек қандай да бір параллель жұмыс жасайтын машиналардың роторының 0 бұрышына ығысқан, шекті мәніне $\theta_{кр}$ шығады, осы машинаның роторының өзге машинаның роторларымен байланысы бұзылады және машина синхронизмнен шығады.

Синхронды машинаның синхрондау қабілетін сандық бағалау үшін үлесті синхрондау қуаты P_c және үлесті синхрондау мезеті t_c ұғымдары енгізілген. Үлесті синхронды қуаты $DP_{эм}$ қуатының $D0$ бұрышына тиісті берілу қатынасына тең (21.9-суреті):

$$p_c = DP_{эм}/D0. (21.18)$$

Үлесті синхрондаушы мезет

$$t_c = DM/D0. (21.19)$$

p_c және m_c көлемдері үлкен болған сайын, $D0$ бұрышына сәйкес келетін учаскедегі бұрыштық сипаттаманың көтеріліс тік болады. Кейбір тұрақты салада p_c және t_c мәндерінің бұрыштық сипаттамалары теріс, яғни синхронды машинаның тұрақты жұмысы оң мәндеріне p_c және t_c сәйкес келеді.

21.9-сурет. Синхронды машинаның синхрондау қабілеті

Генератор жүктемесін өзгерткен кезде жетекті қозғалтқыш қуаты мен генератор қуаты арасында теңдік бұзылады. Қуаттардың теңгерімсіздігі синхрондаушы $DP_{эм} = p_c D0$ қуаты $DP_{эм}$ туындайды. Синхрондаушы қуат синхрондаушы мезетіне сәйкестенеді:

$$DM = DP_{эм} M = m_c D0. (21.20)$$

Бұл мезет генератордың электромагнитті мезетінің және жетекті қозғалтқыштың айналу мезеті әр түрлілігімен шартталған және генератор роторына машинаның синхронизмнен шығуын болдырмайтын әсер етеді.

Үлесті синхрондаушы мезеті $m_c = f(0)$ мен қуатының $p_c = f(0)$ кестелеріне сәйкес, машина $0 = 0$ кезінде ие. 0 бұрышының өсуімен машинаның синхрондау қабілеті төмендейді және $0 = 0_{кр}$ кезінде ($p_c = 0$; $m_c = 0$) жоғалады. Синхрондаушы қабілеттілікке те синхрондаушы генератор ғана емес, синхронды қозғалтқыштар да ие (22-бөлімді қараңыз).

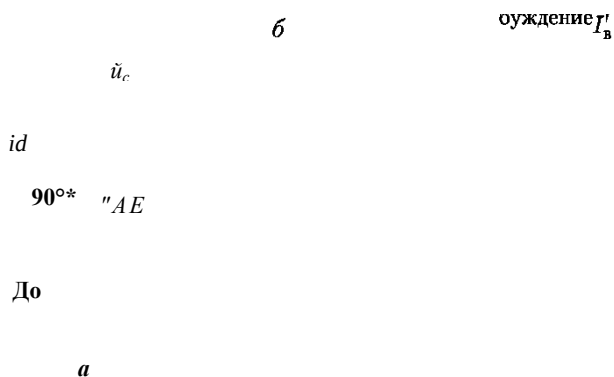
21.6. Синхронды генератордың U-тәрізді сипаттамалары

Синхронды генератордың қоздырудың өзгеріссіз тогының параллель жұмысы кезінде бұрын қарастырылған. Егер параллель жұмысқа қосылудан кейін қоздыру орамында токты өзгертсе, жетекті қозғалтқыштың айналу мезетін өзгеріссіз қалдырып, синхронды генераторда не болады? Генератор қосылудан кейін генератор жүктемесіз жұмыс жасайды делік және желі кернеуін U_c оның ЭҚК E_0 теңестіреді.

Егер қоздыру орамында тоқты арттырса, яғни машинаны қайта қоздырса, онда ЭҚК E E_0 мәніне дейін артады және генератор тізбегінде артық ЭҚК $DE = E_0' - \dot{y}_c$ туындайды (21.10а-суреті), оның векторы ЭҚК E_0 бағыты бойынша векторымен сәйкестенеді. ЭҚК DE құрылған ток I_d одан фаза бойынша 90° кейін қалады (себебі r_1 және 0). ЭҚК E_0 қатысты бұл ток кейін қалушы болады (индуктивті). Реактивті (индуктивті токтың) мәнін қайта қоздыруының артуымен артады.

Егер генератор желіген қосылған соң, қоздыру тогын азайтса, яғни машинаны қоздырмаса, онда ЭҚК E_0 E_0 мәніне дейін азаяды және генератор тізбегінде қайтадан артық жұмыс жасайтын болады. Енді ЭҚК $DE = \dot{y}_c - E'$ векторы бағыты бойынша желі векторымен б сәйкестенеді (21.10б-суреті) және сондықтан осы ЭҚК тудырылған ток I_d және одан 90° фаза бойынша кейін қалатын ЭҚК E_0 генераторына қатысты озатын (сыйымдылықты) болады.

Векторлық диаграммаларда көрсетілгенді келесідей түсіндіреміз. Генератор артық қозған кезде қоздыру $F_0 = 1 \wedge_\theta$ МҚК артады. Бұл статор орамында реактивті тогының I_d туындауымен сүйемелденеді, ол ЭҚК қатысты кейін қалатын (индуктивті) болады. Осы токпен тудырылған бойлықты-магнитсідендіру зәкір реакциясы қоздыру артық МҚК өтейді, мұнда генератор ЭҚК өзгеріссіз қалады. Қоздырылмаған генераторда да осы процес өтеді, айырмашылығы тек – орамда озатын (сыйымдылықты) ток I_d туындайды, ал осы токпен тудырылған бойлықты-магниттендіру зәкір реакциясы қоздырудың жетіспейтін МҚК өтейді.



21.10-сурет. Векторлық диаграммалар. 21.11-суреті. Синхронды генератордың U-тәрізді сипаттамалары, синхронды генераторды параллель жұмысқа қосу

Айта кету керек, ток I_d фаза бойынша ЭҚК E_0 кейін қалып, желі кернеуіне $\dot{U}_c$ қатысты озатын ток болып саналады және керісінше ЭҚК E_0 фаза бойынша озатын ток I_d кернеуге $\dot{U}_c$ қатысты кейін қалушы болып саналады.

Егер барлық өзгерістер кезінде жетекті қозғалтқыштың айналу мезетінің қоздыру тогы өзгеріссіз қалады, онда генератордың белсенді қуаты да өзгеріссіз қалады:

$$P_2 = m_i \dot{U}_c I_1 \cos j = \text{const.}$$

Осы өрнекке сәйкес, $\dot{U}_c = \text{const}$ кезінде статор тогының белсенді құраушысы $I_q = I_1 \cos j = \text{const}$.

Осылайша, синхронды генератордың қоздыру дәрежесі статор тогының реактивті құраушысына әсер етеді. Токтың $I = I_1 \cos j$ белсенді құраушысына қатысты онда ол өзгеріссіз болады.

Статор тогының I_1 қоздыру орамындағы $\dot{U}_b$ токтан тәуелділігі генератордың өзгеріссіз белсенді жүктемесі кезінде U-тәрізді сипаттамамен өрнектеледі. 21.11-суретте U-тәрізді сипаттамалар $I_1 = f(I_j)$ кезінде $P_2 = \text{const}$ берілген, олар белсенді жүктеменің түрлі мәндері үшін құрылған: $P_2 = 0$; $P_2 = 0,5P_{\text{ном}}$ және $P_2 = P_{\text{ном}}$. Синхронды генератордың U-тәрізді сипаттамалары көрсеткендей, генератордың кез келген жүктемесінде қоздыру тогының $\dot{U}_b$ осындай мәні сәйкес келеді, онда статор тогы I_1 минималды болады және өзінің белсенді құраушысына тең болады:

$$A_{\min} = \wedge 1^{\cos j} I = I_q.$$

Бұл жағдайда генератор қуатының коэффициенті $\cos j_1 = 1$ кезінде жұмыс жасайды. Қоздыру тогының мәндері генератордың түрлі жүктемесіне $\cos j_1 = 1$ сәйкес келеді, олар 21.11-суретте пунктирлі сызықпен көрсетілген. Осы қисығының кейбір ауытқуы қоздыру тогын арттырған кезде $\cos j_1 = 1$ сәйкестенетін біршама артады. Жүктеме артқан кезде қоздыру тогының біршама артуы кезінде синхронды генератордың статор орамында кернеудің белсенді құлауын өтейтін қоздыру тогын арттыру керек.

Есте ұстау керек, қоздыру тогын біртіндеп азайтқан кезде оның минималды мәні туындайды, онда қоздыру орамының магнитті ағыны соншалықты әлсірейді, синхронды генератор синхронизмнен шығып қалады – ротордың қоздырылған полюстері мен статордың айналатын өрісі арасында магнитті байланыс туындайды. Егер минималды қоздыру тогының жол берілетін мәндердің барлық нүктелерін біріктірсе, U-тәрізді сипаттамаларда (21.11-суреттің сол жақ бөлігінде дестеленген сызығы), онда синхронды генератордың тұрақты жұмысы шегінде қоздырылмаған сызығын аламыз.

Генератордың шығындарын азайту көзқарасы тұрғысынан статордың минималды тогына сәйкес келетін қоздырушы ең тиімді болады, яғни $\cos j = 1$. Бірақ көп жағдайда генератор жүтемесінің индуктивті сипаты бар және индуктивті токтардың компенсация үшін (фаза бойынша желі кернеуінен кері қалады) генераторды қайта қоздырып қана қоймай, жағдай жасап, статор тогы I_1 фаз бойынша желі кернеуін U_c озады. Айта кету керек, $\cos j$ сақтау үшін генератордың белсенді жүктемесінің өзгерісі кезінде сонымен бірге генератордың қоздыру тогының мәнін түзету керек.

21.7. Синхронды генераторлардың

өтпелі процестері

Синхронды генераторлардағы өтпелі процестердің алдында қаралғандарға қарағанда өзгешелігі генератордың бекітілген жұмыс процестерінде симметриялы жүктемемен өзекте және ротор орамында ешқандай токтар индуктелмейді. Сонымен бірге өтпелі процестер мен ротор мен статор арасында симметриялы емес жүктемеде байланыс трансформаторлары туындайды.

Синхронды генератордың үшфазалы қысқа тұйықталу кезінде өтпелі процес үлкен қызығушылық тудырады. Жүктеменің күрт өзгерістері кезінде өтпелі процесс 21.4-қарастырылды, онда синхронды машинаның тербелістері қарастырылады.

Синхронды генератордағы өтпелі процес кезінде оның орамдарының белсенді кедергісін елемейді, яғни бұл орамдар жоғары өткізгіштік болып саналады. Бұл жол берушілік елеулі түрде процестің игерілуін жеңілдетеді, елеулі ақау енгізеді, әсіресе ірі машиналар үшін, олардың орамдарының белсенді кедергісі тым аз. Осылайша, лездік қысқа тұйықталуды қарастырмас бұрын, жоғары өткізгішті контур туралы ұғым енгіземіз, ол үшін Кирхгофтың екінші заңы бойынша $d y/dt = 0$ сипаттауға болады. Кез келген уақытта жоғары өткізгіш контурдың ағындық тізбектелу уақыты

$$U = U_{\text{сырт}} + U_L = \text{const}, \quad (21.21)$$

мұнда $U_{\text{сырт}}$ және U_L — сыртқы себеп және сәйкесінше контурдың өздік индукциясымен шартталған ағын тіркесі.

Синхронды генератордың лездік үш фазалы қысқа тұйықталу қысылу кезінде қарастырамыз. Айта кету керек, бұл генератор алдын ала бос жүріс режимінде жұмыс жасаған, яғни онда қоздыру орамының жалғыз магнитті ағыны Φ_v әрекет етті,

онда тогы $I_{\theta 0}$ өтті. Қысқа тұйықталу кезінде ротормен синхронды айналатын статордың магнитті ағыны бойлық осімен (статор орамы таза индуктивті жүктемені білдіреді), F_{ad} ол қоздыру орамының ағынына Φ_B қарсы бағытталған (21.12а-суреті). Мұнда қоздыру орамында және тыныштандыру орамында $\Gamma_{дв}$ және i қосымша токтар индукстеледі, олар Ленц ережесіне сәйкес машинада нәтижеленуші магнитті ағынны өзгерісіне кедергі келтіреді. Бұл токтар $\Phi_{дв}$ және Φ өзіндік магнитті ағындарды тудырады, олар ротор өзегіне F_{ad} ағынның өтуіне қарсылық етеді, яғни оны полюсаралық кеңістікте әуе саңылауы ығыстырады. Нәтижесінде статор ағыны мәніне $F_{ad} < F_{ad}$ дейін елеулі азаяды. Сәйкесінше статор орамының индуктивті кедергі бойлық осімен төмендесе, $x'J < x_d$ мәніне жетеді. Сондықтан өтпелі процестің бастыпқы мезетінде, жоғары өткізгішті деп аталады, лездік қысқа тұйықталу тоқтың әрекет етуші мәні ең үлкен мәнді – қысқа тұйықталудың екпінді тогы болады:

$$4\gamma_{\text{үлкен}} = E_0/x'', \quad (21-22)$$

мұнда x_d — жоғары өткізгішті индуктивті кедергі.

Қоздыру орамы мен тыныштандыру орамы сол белсенді кедергісіне ие, сондықтан оларда индукстелетін $\Gamma_{дв}$ және $\Gamma_{д\cdot y}$ қосымша токтар біртіндеп сөнеді. Алайда бұл сөну процесі бірдей болмайды, себебі тыныштандыру орамы мен қоздыру орамының электромагнитті тұрақты уақыты $T_{эм}$ әр түрлі. Қоздыру орамының тыныштандыру орамымен салыстырғанда көп иірім санына ие, үлкен индуктивтілікті қамтиды, яғни $T_{эмв} > T_{эм\cdot y}$. Сондықтан қосымша ток $\Gamma_{д\cdot y}$ тыныштандыру орамында нольге дейін азайған кездегі қосымша ток болатын уақыт мезетіне қосымша ток $\Gamma_{дв}$ әлі де бірқатар мәнге ие болады.

Мұнда зәкір реакциясының магнитті ағыны ротордан өтеді, оның мәні мәніне $E_{a'd} > \Phi_a$ дейін біршама өседі. Тиісінше бойлық осінің статордың индуктивті кедерісі $x'_d > x'_J$ мәніне жетеді, өтпелік индуктивті кедергі деп аталады. Мұнда лездік қысқа тұйықтау біршама азаяды, яғни

$$4 = \xi_0 M? \quad \text{О)}$$

Біраз уақыттан кейін қоздыру орамындағы қосымша ток $I_{дв}$ та нольге дейін төмендейді. Мұнда статор тогы толығымен ротор арқылы тұйықталады және оның мәні $E_{ad} > E_{ad}$ артық болады. Тиісінше статордың индуктивті кедергісі де артады, ол $x_d > x'_d$ мәніне жетеді, ал қысқа тұйықталу тогы тең болады:

$$4 = E_0/x_d. \quad (21.24)$$

Генератордағы сипатталған процестердің әсерімен нәтижеленуші магнитті ағын бекітіледі (21.126-суреті)

$$\Phi_K = \Phi_B - F_{ad}.$$

Магнитті ағынның азаюымен, ол статор орамымен тоғысқан, статор ЭҚК дейін төмендейді, ол қысқа тұйықталу тогының бекітілген $E_K < E_0$ мәнге дейін азаюына әкеледі:

$$I_{к.уст} = E_K/x_d. \quad (21.25)$$

Осылайша, үшфазалы қысқа тұйықталу кезінде қысқа тұйықталу тогы біртіндеп сөнуі өтеді. Егер, мысалы ток шыңы (күшті ток) лездік қысқа тұйықталу кезінде статор орамындағы токтың номиналды мәнімен салыстырғанда 15 еселік мәніне жетеді, онда қысқа тұйықталудың бекітілген тогы 1,5 еселік (турбогенератор үшін) немесе 2,5 еселік (гидрогенератор үшін) мәндері қоздыру тогы кезінде номиналды жүктемеге сәйкес келеді. Кейбір жағдайларда ток номиналдан кем бола алады. Статордың осындай шағын тогында $I_{к.уст}$ бекітілген қысқа тұйықталу кезі зәкірдің реакция өрісі магнитсіздендіру болып табылады. 21.13-суретте қысқа тұйықталу кезіндегі синхронды генератор токтарының осциллограммалары берілген, онда үш тән учаске берілген: I – жоғары өтпелі процес; II – өтпелі процесс; III – қысқа тұйықталудың бекітілген режимі.

Қысқа тұйықталудың екпінді тогы статор орамына әсер ететін елеулі электромагнитті күштерді тудырады. Бұл күштер орамның алдыңғы бөлігі үшін үлкен қауіп тудырады, ол оларды бекітуде арнайы шараларды қолдануды қажете етеді, әсіресе турбогенераторларда, онда алдыңғы бөлігінде елеулі шығыс бар.

21.13-суреті. Лездік қысқа тұйықталу кезінде токтар осциллограммы

Синхронды генератордың лездік қысқа тұйықталу кезінде елеулі электромагнитті күштер туындайды, олар статор мен роторға әсер етеді. Анағұрлым қолайлы жағдайларда осындай мезеттің лездік мәні номиналды мезетпен салыстырғанда он есе көлемге жетеді. Мұны машинаның кейбір бөлшектерін механикалық есептеген кезде және оны фундаментті бекіту кезінде ескеру керек. Қысқа тұйықталу режимі синхронды генераторлардың жұмысын бұзатындықтан ұнамсыз.

Қысқа тұйықталу екпінді тогын азайту тұрғысынан статор орамының шашырату магнитті өрісі $\Phi_{ст}$ арттыру болып саналады, себебі бұл индуктивті кедергінің $x_d = x_{ad} + x_f$ өсуіне әкеледі. Алайда шашырату магнитті ағынының зиянды әсері туралы ұмытауымыз керек: магнитті ағынның азаюы және кернеудің ішкі құлауының артуы (орамның индуктивті кедергісінің артуы есебінен).

Бақылау сұрақтары

1. Параллель жұмысқа қосылатын генераторды синхрондау дегеніміз не?
2. Параллель жұмысқа қосылған генераторды қалай жүктеуге болады?
3. Неліктен генератор статорының тізбегінде жүктеме тогының пайда болуымен жетекті қозғалтқыш механикалық жүктемені алады?

4. Статикалық артық жүктеме коэффициенті дегеніміз не?
5. Синхронды генератордағы өзіндік тербелістерінің себебі қандай?
6. Ротор тербелісінің сөнуші сипаты қандай?
7. Тыныштандыру орамының арналымы мен құрылысы қандай?
8. Синхронды машинаның синхрондау қабілеті дегеніміз не және ол қандай өлшемдермен бағаланады?
9. Неге лездік қысқа тұйықталу кезінде статор орамының индуктивті кедергісі бойлық осінде азаяды?
10. Лездік қысқа тұйықталу кезінде сөнетін токтың сипаты қалай түсіндіріледі?
11. Синхронды генератор үшін лездік қысқа тұйықталу несімен қауіпті?

22 тарау

СИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШ ЖӘНЕ СИНХРОНДЫ ӨТЕМДЕУІШ

22.1. Синхронды қозғалтқышты іске қосу ұстанымы

Электрлі машиналардың қайтымдылық ұстанымына сәйкес синхронды машина тек генератор режимінде ғана емес, қозғалтқыш режимінде де жұмыс жасай алады, яғни желіден электр энергиясын тұтынып, оны механикалыққа түзеді.

Синхронды қозғалтқыштың жұмыс ұстанымын түсіндіру үшін үлкен қуаттағы желіге параллель жұмысқа қосылған синхронды генераторды елестетейік.

Айталық, жетекті қозғалтқыш генератор роторын 2 сағат тіліне қарсы шұбырыштық жылдамдығымен айналады. Мұнда генератор жүктемесі мынадай – ротор полюстерінің бойлық осі $d - d'$ айналатын өрісіне қатысты 0° бұрышына ығысқан ротордың айналу бағытында ығысқан (22.1-суреті, оң жақ). Жетекті қозғалтқыштың айналу мезеті M /генератордың электромагнитті мезетінің M' жиынтығымен және бос жүріс мезетімен M_0 теңестіріледі:

$$M = M' + M_0.$$

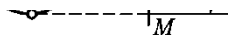
Бұрыштық сипаттамада генератордың осы режиміне Γ нүктесі сәйкестенеді.

Егер айналу мезетін M' азайтса, онда генератор жүктемесі төмендейді, мұнда бұрышы 0° азаяды, яғни статор тогы I_1 . Нәтижесінде электромагнитті мезеттің M' көлемі азаяды және айналу мезетінде $M = M_0$ $0^\circ = 0$ бұрышы, яғни генератор бос жүріс режимінде ($I_1 = 0$) жұмыс жасайды.

22.1-суреті. Синхронды машинаның генераторлық режимнен қозғалтқыштыға өтуі: 1 — статор; 2 — ротор

Және генератор ЭҚК E_0 желіде кернеуімен $\dot{E}_c$ қарсы фазада болады. Бұл режимге бұрыштық сипаттамад координата осьтерімен қиылысу нүктесі сәйкестенеді (О нүктесі 22.1-суреті). Егер синхронды машина білігін жетекті қозғалтқыштан ажыратса және осы білікте тежеу мезетін M_2 тудырса, яғни машина роторының айналуына қарсы бағытталған жүктеме мезеті болса, онда ЭҚК E_0 векторының оның бос жүріс режиміндегі кейін қалу жағына қарай α бұрышына ығысу болады (22.1-суреті, сол жақ). Мұнда статор орамындағы тізбекте нәтижеленуші ЭҚК $\dot{E} = E_0 + \dot{E}_c$ туындайды, ол статор орамында 90° бұрышына ЭҚК $\dot{E}$ фазасынан кейін қалатын ток I_1 тудырады (болжалды r_1 және 0) және фаза бойынша желі кернеуінен $\dot{E}_c$ бұрышына (генераторлық режимде ток I_1 фаза бойынша ЭҚК E_0 у₁ бұрышына кейін қалады).

Магнитті өріс тудыратын ток I_1 , ротормен синхронды айналады, оның осі d' — d' – ротор полюстерінің d — d бойлық осіне қатысты 0° бұрышына ығысқан. Айталық, қозғалтқыш жұмысы D нүктесінің режимінде бұрыштық сипаттамада орындалуда (22.1-суреті, сол жағы), 0° – бұрышына сәйкестенеді, мұнда туындаған тангенсті магнитті өзара әсерлесудің құраушы күштері ротор полюстердің барлық осінде



22.2-сурет.

Синхронды
қозғалтқыштың

$F_r = F_M \sin 0^\circ$ қозғалтқыш роторында электромагнитті мезет M'' туындайды, олар айналатын магнитті өріс пен синхронды шұжылдамдықпен айналатын роторға сәйкес бағытталған. Мұнда синхронды машина электр қуатын желіден тұтынады және оны айналудың механикалық энергиясына түзеді. Айналушы электромагнитті мезет M'' бос жүріс мезетін M_0 еңсереді және қозғалтқыш білігінде M_2 мезетін құрады, оның әсерінде жұмыс механизмі айналуға келтіріледі:

$$M'' = M_0 + M_2.$$

Мезеттің барлық мәндері синхронды қозғалтқыштың бұрыштық сипаттамасында ордината біліген теріс бағытта жіберіледі, себебі синхронды машинаның генераторлық режимнен қозғалтқыштың өткен кезде электромагнитті мезет өз бағытын өзгертеді. Сонымен қатар синхронды қозғалтқыштың қуаты теріс болады, ол желіден машинаға түседі, машинадан желіге түспейді, себебі генераторлық режимде болады. Қуат пен мезеттердің теріс мәндерімен жұмыс жасау ерекше ыңғайсыз, сондықтан синхронды қозғалтқыштарды қарастыру кезінде мезеттер мен қуатты шартты оң деп қабылдаймыз, мұнда осы өлшемдердің алдыңғы мәндерін есте ұстаймыз. Синхронды қозғалтқыштың электромагнитті қуаты (21.7) және (21.8) өрнектерімен анықталады, ал электромагнитті мезеті - (21.9) және (21.10).

Айқын полюсті синхронды қозғалтқыштың электромагнитті мезетінің бұрыштық сипаттамалары $M = f(\theta)$ және оның құраушылары $M_{осн} = f(\theta)$ және $M_p = f(\theta)$ 22.2-суретінде берілген. Бұл сипаттамалар генератордың бұрыштық сипаттамаларынан өзгешеленеді, (21.5-суретті қараңыз), тек координата осінің үшінші квадрантында орналасады, яғни 0 бұрышының және мезеттерінің M және $M_{осн}$ теріс мәндерімен, сонымен қатар $\theta = 0^\circ$ кезінде мезетінің M_1 мәндерімен анықталады (-90°).

Осылайша, жалпы көріністе синхронды машинаның бұрыштық сипаттама нәтижеленуші мезеттің екі жарты толқынын білдіреді: M : оң, генераторлық жұмыс режиміне сәйкес келеді

(21.5-суретті қараңыз), және теріс, жұмыстың қозғалтқышты режиміне сәйкес келетін теріс (22.2-суреті). Машинаның бір жұмыс режимінен екіншісіне өту кезінде $0 = 0$.

Синхронды қозғалтқыштың тұрақты жұмысы бұрыштық сипаттама учаскесіне сәйкес келеді (22.2- суреті), $0 = 0 \wedge (-0_{кр})$ кезінде.

Максималды M_{max} электромагнитті мезеттің номиналдыға $M_{ном}$ қатынасы (21.16-қараңыз) синхронды қозғалтқыштың артық жүктемелігін анықтайды

$$X_M = M_{таx}/M_{ном}.$$

Әдетте, синхронды қозғалтқыштардың артық жүктемелік қабілеті $X_M = 1,7 \wedge 3$ қозғалтқыштың номиналды жүктемесі кезінде $0_{ном} = 30 \wedge 20$ эл. град сәйкес келеді. Синхронды қозғалтқыш роторы тек синхронды $n_1 = 1_x 60/p$ жиілікпен ғана айнала алады. Бұған көз жеткізу үшін қозғалтқыш роторы жиілігімен $n_2 < n_x$ айнала бастайды деп болжау жеткілікті. Айналудың белгілі мезетінде ротордың магниттеуші полюстері статордың айналатын магнитті өрісінің біратты полюсіне қарсы орналасады, ротордың магниттелген полюсі мен статор өрісінің айналатын полюсі арасында магнитті байланыс бұзылады. Олардың біратты полюстері мұнда өзара тегіседі және ротор электромагнитті мезеттің айналатын тұрақты әрекетінен айырылып, тоқтайды.

Синхронды қозғалтқыштарының роторының айналуы синхронды жиілікпен осы қозғалтқыштар үшін тән ерекшелікті құрайды және жиі олардың қолданылу саласын анықтайды (мысалы, құралдар жетегі үшін, олар тұрақты айналу жиілігін қажет етеді).

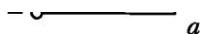
Жүктемені өзгерткен кезде синхронды қозғалтқыш білігінде 0 бұрышы өзгереді. Мұнда ротор агрегаттың айналатын массаларының инерциясы кезінде жаңа жүктемеге сәйкес жаңа қалыпты бірден қабылдамайды, ал біршама уақыт тербеліс қозғалыстарын жасайды. Осылайша, синхронды қозғалтқышта генератордағыдай тербелістер болады (бұл құбылыстың физикалық болмысы 21.4-баяндалған).

Өзінің құрылысы бойынша синхронды қозғалтқыштар негізінен синхронды генераторлардан ерекшеленбейді, бірақ кейбір ерекшеліктері бар. Оларды басым айқын полюсті етіп $2p = 6 \wedge 24$ полюстерімен дайындайды, әуе саңылауын кішірек етеді, осындай қуаттағы генераторларға қарағанда; ол қозғалтқыштың бірқатар өлшемдерін жақсарту мүмкіндігін береді, негізінен, іске қосу тогының азаюы; демпферлі (тыныштандыру) орамын үлкен қимадағы өзектермен орындалады, себебі қозғалтқышты іске қосқан кезде ол іске қосу орамы болып саналады (22.2-қараңыз); полюстік ұштаманың ені генераторлардағы $0,7$ т орнына $0,9$ қол жеткізеді. Сондықтан қайтымдылық қасиетіне қарамастан өнеркәсіппен шығарылатын синхронды машиналар әдетте мақсатты арналымы – немесе синхронды генераторлар, немесе синхронды қозғалтқыштар.

22.2. Синхронды қозғалтқыштарды іске қосу

Синхронды қозғалтқышты тікелей желіге қосу арқылы іске қосу мүмкін емес, себебі ротор өзінің елеулі инерциясынан статор өрісімен бірден тартыла алмайды, оның айналу жиілігі бірден орнатылады. Нәтижесінде тұрақты магнитті байланыс статор мен ротор арасында туындамайды. Синхронды қозғалтқышты іске қосу үшін арнайы әдістерді қолдану керек, олардың болмысы роторды синхронды немесе оған жақын жылдамдыққа алдын ала келтіруде, онда статор мен ротор арасында тұрақты магнитті байланыс орнатылады.

Қазіргі уақытта практикалық қолданыста асинхронды деп аталатын іске қосу әдісі бар. Іске қосудың бұл әдісі ротордың полюсті ұштамасында іске қосу орамының (торының) болуы жағдайында мүмкін, синхронды генератордың тыныштандыру орамына ұқсас (21.8-суретті қараңыз). Қозғалтқышты қосу сызбасы бұл іске қосу әдісінде 22.3а-суретте берілген. Қоздырылмаған синхронды қозғалтқыш желіге қосылды, мұнда туындаған айналатын статордың магнитті өрісі өзектерінде ЭҚК іске қосу торларын келтіреді, ол токтарын I_2 құрады. Осы токтардың статор өрісімен өзара әсерлесуі іске қосу торының өзектерінде электромагнитті күштерді E_m тудырады. Осы күштердің әсерімен ротор айналады (22.3б-суреті). Ротор айналу жиілігіне дейін оталғаннан кейін (n_2 және 0,95%), қоздыру орамын



-К.

б

22.3-суреті. Синхронды
қозғалтқыштың асинхронды іске қосылуы

Синхронды қозғалтқышты
іске қосқан кезде
асинхронды мезеттердің
мезеттері

тұрақты ток көзіне қосады. Мұнда түзілетін синхронды мезет (21.10-қараңыз), қозғалтқыш роторын синхронизмге тартады. Осыдан кейін қозғалтқыштың іске қосу орамы тыныштандыру орамының қызметін орындайды, роторды тербетуді шектейді (21.4-қараңыз).

Қозғалтқыш білігінде жүктеме аз болған сайын, оның синхронизмге енуі жеңіл болады. Айқын полюсті қозғалтқыштардың қуаты аз, білікте жүктемесіз іске қосылады, кейде синхронизмге тек реактивті мезет есебінен енеді, қоздыру орамын қосусыз.

Білікті жүктеме мезетін арттырумен қозғалтқышқа ену мезетінде синхронизм қиындатылады. Ең үлкен жүктеме мезеті, онда синхронды қозғалтқыш роторы синхронизмге әлі де тартылады, қозғалтқыштың $M_{вх}$ синхронизмге ену мезеті деп аталады. Асинхронды мезеттің M_a көлемі айналу n_2 және 0,95ш жиілігінде іске қосу торының белсенді кедергісіне байланысты, яғни олардың дайындалған өзектің қимасы мен металдың үлесті электрлі кедергісіне байланысты (13.7-суретті қараңыз).

Айта кету керек (22.4-сурет) іске қосу мезетіне (M_n) сәйкес келетін іске қосу торының кедергісін g_2 таңдау синхронизмге ($M^\wedge$) ену мезетінің азаюына және керісінде шағын іске қосу мезетіне g_2 сәйкес келетін кедергі кезінде синхронизмге (M_n') ену мезеті артады ($M_{вх}' > M_{вх}$).

Қоздыру орамының асинхронды іске қосу процесінде ашық қалдыруға болмайды, себебі статордың магнитті ағыны синхронды жылдамдықпен іске қосудың бастапқы мезетін қиылыстырып, оған ЭҚК келтіреді. Қоздыру орамының иірім сандарының нәтижесінде бұл ЭҚК орамды оқшаулау тұтастығы үшін қауіпті мәндерге қол жеткізеді, қызмет көрсетуші қызметкерлер үшін де қол жеткізеді. Осы қоздыру орамын алдын-алу үшін ротордың оталу мезетіне g белсенді кедергіге тұйықтайды, шамамен қоздыру орамының кедергісінен он есе аз. И1 және И2 қысқыштарын ауыстыру

г кедергіні сөндірумен қоздыру орамында қоздырушы қысқыштарында П ауыстырушысымен жүзеге асырылады (22.3а-суретін қараңыз).

Қоздыру орамын қысқа тұйықтау қозғалтқышты іске қосу мезетінде орынсыз, себебі мұнда ротор орамы бірфазалы тұйық кескін құрайды, оның статордың айналу өрісімен өзара әрекеттесуі қосымша асинхронды мезетті M_d тудырады. Алайда синхрондың жартысына тең айналу жиілігі кезінде бұл мезет тежеуші (22.4-сурет) болады және іске қосу (асинхронды) мезетінде (пунктрлі қисық) «құлдырау» болады.

Синхронды қозғалтқыштың асинхронды іске қосу кезінде елеулі іске қосу тогы туындайды. Сондықтан синхронды қозғалтқыштарды желіге тікелей іске қосу кезінде номиналды кернеуде желінің жеткілікті қуаты кезінде пайдаланады, ол кернеудің елеулі төмендеуіне бес және жеті есе мәніндегі іске қосу тогының лақтыруына төзеді (номиналды токпен салыстырғанда). Егер желі қуаты жеткілікті болса онда төмен кернеу кезінде қозғалтқышты іске қосудың автотрансформаторлық немесе реакторлық әдістерін қолдануға болады (15.2-қараңыз).

22.3. Синхронды қозғалтқыштың

U-тәрізді және жұмыс сипаттамалары

U-тәрізді сипаттамалар. Синхронды қозғалтқыштың жұмысы кезінде оның статор орамында ЭҚК келтіріледі, олардың SE жиынтығы (20.29-қараңыз), ол статор орамына келтірілген желі кернеуіне $\dot{y}_c$ тең болуына жақын. Бұл ЭҚК сомасы нәтижеленуші магнитті өріске баламалы, ол екі магнитті қозғаушы күштердің әрекетімен тудырылған: қоздыру $F_c = I_c$ және статор $F_l = I_l$.

Желі кернеуі өзгеріссіз $\dot{y}_c$ и $-SE = \text{const}$ болған кезде нәтижеленуші магнитті өріс тұрақты. Сондықтан қоздырудың МҚК F_c , өзгерту кезінде (I_c қоздыру тогын өзгерту) статор F_l МҚК олардың бірлескен әрекеті өзгеріссіз қалатындай өзгереді, яғни синхронды қозғалтқыштың нәтижеленуші магнитті өрісі өзгеріссіз қалады. Бұл МҚК F_l өзгерту статор Д тогының көлемі мен фазасын өзгерту есебінен болады, яғни статор тогының I_d реактивті құраушысы есебінен жүреді.

Мысалы, қоздыру тогын I_{c1} арттырған кезде оның кіші мәнінен бастап (I_{c1} және 0) ротордың МҚК өседі, мұнда статор МҚК төмендейді. Бұл МҚК азайту статор тогының I_d индуктивті құраушысының төмендеуінде (желі кернеуіне $\dot{y}_c$ қатысты), ол магнитті жүйеге магниттендіру әсерін тигізеді.

Мұнда статордың толық тогы $I_1 = I + I$ азаяды, ал қозғалтқыш қуатының коэффициенті $\cos \varphi$ артады. Қоздыру тогының кейбір мәні кезінде 4 статор тогының индуктивті құраушысы нольге дейін құлайды. Мұнда статор тогы минималды (осы жүктеме кезінде) мәніне жетеді, себебі ($I_1 = I$), таза белсенді, ал қуат коэффициенті $\cos \varphi = 1$ болады.

Қоздыру тогын мәніне I_n асыру, яғни қозғалтқышты астам қоздыру токтың I_n артуына әкеледі, бірақ енді бұл ток кернеуге U_n қатысты ілгері (сыйымдылықты) болады. Осылайша, қоздыру жетпеген жағдайда ($I_n < I_n$) синхронды қозғалтқыш фаза бойынша кейін қалатын статор тогымен жұмыс жасайды, ал астам қоздыру $I_n > I_n$ кезінде – статордың ілгері тогымен жұмыс жасайды. Статор тогының қоздыру тогына I_n' тәуелділігі синхронды қозғалтқыш үшін тәрізді сипаттамалармен берілген (22.5-суреті). Қоздыру тогы синхронды қозғалтқышының жұмысы кезінде қуат $\cos \varphi = 1$ коэффициентінде сәйкес келеді. Қозғалтқыш астам қозған кезде статор тізбегінде ілгерілемелі ток пайда болады.

Басқа сөзбен айтқанда, синхронды қозғалтқыш белсенді ток генераторы болып табылады: қоздыру жетпеген жағдайда желі кернеуіне қатысты индуктивті және астам қоздыру кезінде сыйымдылықты. Синхронды қозғалтқыштардың аталған қабілеті олардың құнды сапасы болып табылады, оны электрлі қондырғылардың қуат коэффициентін арттыруда пайдаланады.

Электр қуатының ең кең таралған тұтынушылары болып табылатын асинхронды қозғалтқыштар $\cos \varphi < 1$ жұмыс жасайды, желілерде елеулі индуктивті токтар құрайды. егер асинхронды қозғалтқыштардың тобына параллель бір немесе бірнеше синхронды қозғалтқышты қосса, онда осы желіде туындайтын токтың сыйымдылықты құраушысы жартылай немесе толығымен асинхронды қозғалтқыштың жұмысымен шартталған токтың индуктивті құраушысын өтейді. Мұнда реактивті токтардан босатылған электр жүйесі жұмыс жасайды, ол электр қуатының азаюына септігін тигізеді. Алайда айта кету керек, синхронды қозғалтқыш астам қозу кезінде статордың елеулі тогын тұтынады. Сондықтан астам қоздырумен жұмыс жасауға арналған синхронды қозғалтқыштар көлемі үлкен, ал ПЭК $\cos \varphi_1 = 1$ жұмыс жасауға арналған қозғалтқыштарға қарағанда кем және онда статор тогы мен қозғалтқыш шығындарының минималды мәндері бару

Желіге параллель жұмысқа қосылған синхронды генераторға ұқсас (21.6-сурет) синхронды қозғалтқыштың қоздырудың минималды тогы кезінде төзімділік шегі бар (22.5-суреттің сол жақ бөлігінде дестеленген сызығы бар).

Жұмыс сипаттамалар. Синхронды қозғалтқыштың жұмыс сипаттамалары 712 ротордың айналу жиілігінің тәуелділігін білдіреді,

22.5-сурет. Синхронды қозғалтқыштың U-тәрізді сипаттамасы

22.6-суреті . Синхронды қозғалтқыштардың жұмыс сипаттамалары

Пайдалы мезеттің M_2 тұтынылатын қуаты P_2 , қуат коэффициенті $\cos j$ және статор 1-орамындағы ток, қозғалтқыштың пайдалы қуаты P_2 (22.6-сурет). Ротордың айналу жиілігі n әрдайым синхронды жиілікке $n_s = f160/p$ тең, сондықтан кестесінде абцисса осіне $n_2 = f(P_2)$ параллель түзу сызығы бар. Синхронды қозғалтқыштың білігіндегі пайдалы мезеті $M_2 = P_2/\omega$. Жұмыс сипаттамалары $f = \text{const}$ шартында алатындықтан, онда кестенің $M_2 = f(P_2)$ түзу сызық түрінде болады, ол координата бастауынан шығады. Қозғалтқыш кірісіндегі қуат

$$P_i = P_2 + sP.$$

Жүктеме артқан сайын қозғалтқыш білігінде P_1 ЕР шығындар да артады, сондықтан тұтынылатын қуат пайдалы қуаттан P_2 жылдам артады және кестесінің $P_1 = f(P_2)$ бірнеше қисық сызығы бар.

Кесте түрі $\cos j = f(P_2)$ қоздыру тогын баптауға байланысты: егер бос жүріс режимінде қоздыру тогы $\cos j = 1$ болатындай орнатылса, онда жүктеменің артуымен қуат коэффициенті төмендейді. Егер номиналды жүктеме кезінде $\cos j_1 = 1$ орнатылса, онда жүктеме жетіспеген жағдайда қозғалтқыш желіден реактивті ілгері тогын алады, ал артық жүктемеде – кейін қалады. Әдетте қоздыру тогын орташа жүктемеде $\cos j_1 = 1$ болатындай орнатады (22.6-сурет). Бұл жағдайда қуат коэффициенті жүктеменің барлық ауқымында жеткілікті жоғары болады. Егер синхронды қозғалтқыштың қоздыру орамында тоқты номиналды жүктемеде $\cos j_1 = 1$ асатындай орнатса, онда номиналды жүктеме $\cos j_1$ және 0,8-кезінде қозғалтқыш та желіден желі кернеуіне қатысты ілгері тоқты тұтынады, ол желінің қуат коэффициентінен артынуына әкеледі.

Бұл қатынаста синхронды қозғалтқыштар ток фаза бойынша кейін қалып жұмыс жасайтын асинхрондыдан үнемді ерекшеленеді (әсіресе қозғалтқыш жүктемесі жетіспеген кезде) және қоректендіру желісінің энергетикалық көрсеткіштерін төмендетеді.

Қозғалтқыш статорының орамындағы ток

$$I_1 = P_1 / (m_1 U_1 \cos \varphi_1).$$

Осы өрнекке сәйкес, ток I_1 қозғалтқыш білігінде жүктемені арттырумен $\cos \varphi_1$ азайту нәтижесінде тұтынылатын қуаттан P_1 жылдам өседі. Синхронды қозғалтқыш роторы статор өрісі секілді бағытталып айналатындықтан, онда ротордың айналу бағытты сызықтық сымдардың фазаларының ілесу тәртібімен анықталады, ол статор орамына келтірілген және статор орамының фазаларының орналасу тәртібімен анықталады. Үшфазалы синхронды қозғалтқыштың бағытын өзгерту үшін екі сызықтық сымды статор орамының шығысына келтірілген желіден шығысына ауыстырып қосу керек (9.3.-қараңыз).

Қорыта келе айта кету керек, синхронды қозғалтқыштар асинхрондылармен салыстырғанда олар $\cos \varphi_1 = 1$ жұмыс істей алумен басымдығы бар, қоректендіру желісінде индуктивті токтары жоқ (қосымша шығындар тудырады). Тіпті, астам қоздырумен жұмыс жасаған кезде синхронды қозғалтқыштар желіде сыйымдылықты ток құрайды, ол жалы энерго жүйесінің коэффициентін арттыруға септігін тигізеді. Синхронды қозғалтқыштардың тағы бір артықшылығы (21.11) сәйкес электромагнитті мезеттің негізгі құраушысы желі кернеуіне U_1 пропорционал, ал асинхронды қозғалтқыштарда электромагнитті мезет $\propto I^2$ пропорционал (13.14-қараңыз). Осы себеппен желіде кернеудің азаюы кезінде синхронды қозғалтқыштар үлкен жүктемелілік қабілетін сақтайды, асинхрондыға қарағанда.

Синхронды қозғалтқыштарды үлкен қуатта – жүзден мыңдаған киловаттқа дейін. Кіші қуатта синхронды қозғалтқыштарды электр жетекте пайдалану техникалық-экономикалық көрсеткіштер бойынша тиімді емес. Әдетте СҚ 6000 және 10 000 кернеуіне дайындайды. Тек кейбір синхронды қозғалтқыштардың типтік көлемдерін СҚ2 және СҚ3 380 В кернеуінде дайындайды.

Әдетте синхронды қозғалтқыштардың топтамаларының мақсатты арналымы бар, яғни әр сериясы нақты жұмыс механизмдерінің жетегі үшін әзірленген және қолданылады. Мысалы СДК сериясы компрессорлар жетегі үшін арналған, СДМЗ сериясы – шарғылық диірменнің жетегіне арналған, ВДС сериясы – сорғы жетектеріне арналған. Бұған СДН-2 және СДН3-2 сериялары жатпайды, себебі олар 6000 және 10 000 В кернеуі мен 315-тен 1000 кВт қуатқа дейін құрайды, олардың жалпы өнеркәсіптік арналымы бар.

Іске қосу СҚ жұмысының ең кернеудегі элементі болып табылады, сондықтан СҚ серияларында әдетте осы операцияның жол берілетін шарттары айтылады. Мысалы СДН-2 және СДНЗ-2 сериялары үшін көрсетілгені, осы қозғалтқыштарды суық күйінде іске қосу 5 мин интервалымен екі реттен асырмай, ал ыстық күйінде – бір реттен асырмай қолдануға жол беріледі. Мұнда біліктегі жүктеме мезеті $0,4M_{ном}$ аспауы керек. Кейбір серияларда іске қосу тек жүктеменің болмауы кезінде ғана жол беріледі.

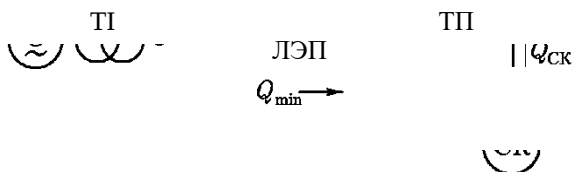
СҚ іске қосу тогын шектеу үшін қысқа тұйықталған роторы бар АҚ әдістері ғана қолданылады (15.2-сурет). СҚ артық жүктемелік қабілеті 1,7-3,0 құрайды.

Синхронды қозғалтқыштардың кемшіліктеріне олардың күрделі құрылымы мен қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды қозғалтқыштармен салыстырғанда қымбат бағасы жатады. Сонымен қатар синхронды қозғалтқыш жұмысы үшін қоздыру орамының тұрақты тогын қоректендіру бар.

22.4. Синхронды өтемдеуіш

Синхронды өтемдеуіш (СК) реактивті қуатты генерациялауға арналған синхронды машинаны білдіреді. Синхронды өтемдеуіш электр жүйесіне оған қуат коэффициентін арттыру мақсатында қосады. 22.7-суретте синхронды генератордан (Г) тұратын, Т! арттыратын және трансформатор ТП төмендететін жүйесі, ЭБЖ электр беріліс желісі, тұтынушыны z (мысалы, асинхронды қозғалтқыш тобы) және тікелей тұтынушы кірісінде қосылған синхронды өтемдеуіш СК қамтиды. Желіге қосылған синхронды өтемдеуіш жүктемесіз ($p_2 = 0$) синхронды қозғалтқыш ретінде жұмыс жасайды, яғни бос жүріс режимінде.

Болып жатқандардың ұстанымы келесіде. Асинхронды қозғалтқыштар, трансформаторлар мен электромагнитті жүктеменің өзге түрлері ауыспалы ток тізбегінде елеулі индуктивті токтарды құрайды.



22.7-сурет. Электрлі жүйеге синхронды өтемдеуішдың (СК) қосылу сызбасы

ол осы желінің тұтынушылар тогының индуктивті құраушысымен өтелмейді. Әдетте СК қоздыру дәрежесі автоматты құралдар арқылы реттеледі.

Синхронды компенсаторларды ұзын желілер бойынша энергияны беру кезінде желіде кернеуді тұрақтандыру үшін қолданады. Үлкен индуктивті жүктемеде кернеу желінің соңында (тұтынушыларда) бастапқыдан қарағанда көп болады; шағын жүктемеде керісінше желілердің сыйымдылықты кедергі кезінде кернеу желінің соңында бастапқы кернеуге қатысты артады. Егер желі соңында (тұтынушыларда) СК қосса, онда артық жүктемемен жұмыс жасауда және шағын жүктемеде қоздыру жүктемеген кезде, бұл кернеуді ұстап тұрып, желі соңында кернеуді ұстап тұру мүмкіндігін береді.

СК жылыту шарттары артатын токта (артық қоздыруда) кейін қалушыға қарағанда ауыр (қоздыру жетіспеген жағдайда), сондықтан өтемдеуішдың номиналды қуаты артық қоздыру кезінде қуатын санайды.

22.1-мысал. Желіге ауыспалы ток кернеуі бар тұтынушы $U_c = 6,3$ кВ, қуатын тұтынады 1500 кВ -А қуат коэффициенті кезінде $\cos j = 0,7$. Синхронды өтемдеуіш қуатын анықтау, желіде қуат коэффициентін арттыру үшін керек $\cos j' = 0,95$ ($\sin j' = 0,31$). Сонымен қатар компенсацияға дейін және кейін жүктеме тогының күшін анықтау.

Ш е ш ү і. Q желіге СК реактивті қуаты қосылғанға дейін

$$= S \sin j = 1500 \cdot 0,7 = 1050 \text{ квар},$$

желідегі ток жүктемесі

$$I_c = S / (\sqrt{3} U_c) = 1500 / (\sqrt{3} \cdot 6,3) = 138 \text{ А};$$

бұл токтың белсенді құраушысы

$$I_{ca} = I_c \cos j = 138 \cdot 0,7 = 97 \text{ А}.$$

СК қосқаннан кейін реактивті қуат азайды

$$Q' = S \sin j' = 1500 \cdot 0,31 = 450 \text{ квар.дейін.}$$

Осылайша, қондырғының қуат коэффициентін арттыру $\cos j = 0,7$ дейін $\cos j' = 0,95$ СК қуатымен қосу керек

$$Q^{\Delta} = 1050 - 450 = 600 \text{ квар.}$$

Мұнда желі тогының белсенді құраушысы өзгермейді, ал осы токтың реактивті құраушысы тең болады

$$(I_{ZR} = 97 \text{ А}),$$

Яғни, желідегі ток СК қосылғаннан кейін

$$I = \sqrt{I_{c.a}^2 + I_{c.p}^2} = \sqrt{97^2 + 42^2} = 104 \text{ А.}$$

Әдетте қуат коэффициенті дейін артады, себебі қуат коэффициентінен $0,92 \wedge 0,95$ алынатын үнем бірлікке дейін артатын шығындарды ақтамайды, ол синхронды өтемдеуішдың артқан қуатымен шартталған. Мәселен, егер қарастырылып отырған мысалда желіде қуат коэффициентін бірлікке дейін арттыру керек болса, онда қуаты 1050 квар синхронды өтемдеуішды қолдану керек болды, яғни $\cos j = 0,95$. қарағанда екі есе көп.

Синхронды өтемдеуішлар – бұл үлкен қуаттағы электрлі машиналар: 10-160 мың кВа. Оларды әдетте көлденең білікте орналастырады, 6,6-16 кВ, жиілігі 50 Гц. СК полюстер саны әдетте құрайды, ол 1000 және 750 айн/мин ротордың айналу жиілігіне сәйкес келеді. Заманауи сериялы синхронды өтемдеуішларда асинхронды іске қосу қолданылған, сондықтан СК роторы іске қосу торымен жабдықталған.

Өтемдеуішлар білігі айналу мезетін жібермейді, сондықтан оны есептеген кезде ротордың ауырлық күші мен магнитті тартылу күшін ескереді. Нәтижесінде СК білігі синхронды қозғалтқыш білігімен салыстырғанда кішірейтілген қимасын береді. Бұл СК көлемінің азаюы мен жеңілдеуіне, жеңіл сериялы мойынтіректің пайдалануына әкеледі. Себебі СК білігінің шығып тұрған ұшы болмағандықтан, онда СК салыстырмаы түрде жеңіл тұйықталады, осы мақсатта онда сутекті салқындату қолданылады (19.3-қараңыз).

СК ең маңызды сипаттамалары болып U-тәрізді сипаттамалар табылады, ол өтемдеуішдың негізгі анықтаушы өтемдеуішлары: статор орамындағы ток мәні және қоздыру орамындағы ток мәні. Негізінен бұл сипаттамалар бос жүріс режиміндегі синхронды қозғалтқыштың U-тәрізді сипаттамаларынан өзгеше емес ($P_2 = 0$). Көрсетілген сипаттамаларды түрлі кернеу желілері үшін құрады.

Синхронды өтемдеуішда белсенді жүктеме жоқ (электромагнитті қуаты $P_{эм}$ және 0) және $0 = 0$ бұрышы мәнінде жұмыс жасайды, ол СК үлкен артық жүктеме қабілетін қамтамасыз етеді.

Бақылау сұрақтары

1. Синхронды қозғалтқыштың тұрақты жұмысының саласы қалай шектеледі?
2. Синхронды қозғалтқышты іске қосу процесін түсіндіріңіз.
3. Синхронды қозғалтқыштың қуат коэффициенті қалай реттеледі?
4. Синхронды өтемдеуішдың арналымы қандай?
5. Синхронды қозғалтқыштардың асинхрондымен салыстырғанда артықшылықтары мен кемшіліктері қандай?

23.1. Тұрақты магниттері бар синхронды машиналар

Тұрақты магниттері бар синхронды машиналардың (магнитті электрлі) роторда қоздыру орамы жоқ, ал қоздырушы магнитті ағын роторда орналасқан тұрақты магниттермен құрылады. Бұл машиналардың статоры екі немесе үшфазалы орам бар кәдімгі құрылысты.

Бұл машиналар көп жағдайда шағын қуаттағы қозғалтқыштар есебінде қолданылады. Тұрақты магниттері бар синхронды генераторларды сирек қолданады, басты түрде дербес жұмыс жасайтын жоғары, орта және шағын қуаттағы генераторлар ретінде қолданады.

Синхронды магнитті электрлі қозғалтқыштар. Бұл қозғалтқыштар екі құрылымдық орындауда таралым тапты: тұрақты магниттердің радиальді және аксиальді орналасуы.

Тұрақты магниттің радиальді орналасуы кезінде қуыс цилиндр түрінде орындалғна іске қосу торы бар ротор пакетін тұрақты магнитті 3 айқын полюсті режимдерінің сыртқы бетінде бекітеді. Цилиндр ішінде полюсаралық саңылау жасайды, ол осы цилиндрде тұрақты ток ағынын тұйықтаудың алдын алады (23.1а-суреті).

Магниттердің аксиальді орналасуы кезінде ротордың құрылысы қысқа тұйықталған асинхронды қозғалтқыш роторының құрылысына ұқсас. Осы ротордың сыртына сақиналы тұрақты магниттер бекітілген (23.1 в-суреті).

a

б



23.1-сурет. Тұрақты магниттерідің радиальді (а) және аксиальді (б) орналасуы бар магнитті электрлі синхронды қозғалтқыштар: 1 — статор; 2 — қысқа тұйықталған ротор; 3 — тұрақты магнит

Магниттің аксиальді орналасуы бар құрылымды қуаты 100 Вт дейін диаметрі шағын қозғалтқыштарда, ал радиальді орналасумен – қуаты 500 Вт және одан артық қуаты бар үлкен диаметрдегі қозғалтқыштарда қолданады.

Осы қозғалтқыштардың асинхронды іске қосылуы кезінде өтетін физикалық процестердің кейбір ерекшелігі бар, ол магнитті электрлі қозғалтқыштарды қоздырылған күйінде іске қосатынымен шартталған.

Тұрақты магнит өрісі ротордың оталу мезетінде статор орамында ЭҚК E_{1n}

Келтіреді, оның жиілігі ротордың айналу жиілігіне пропорционал артады. Бұл ЭҚК статор орамында ток құрайды, ол тұрақты магниттер өрісімен өзара әсерлесіп, ротордың айналуына қарсы бағытталған тежеу мезетін M_T құрады.

Осылайша, тұрақты магниті бар қозғалтқыш оталған кезде оның роторына екі асинхронды мезет әсер етеді (23.2-сурет): айналушы M_a (желіден статор орамына келетін I_b токтан) және тежеуіш M_T (тұрақты магнит өрісімен статор орамында келтірілген I_n токтан).

Алайда бұл мезеттердің ротордың айналу жиілігіне (сырғу) тәуелдігі әр түрлі: айналу мезетінің M_a максимумы елеулі жиілікке (шағын сырғу) сәйкес келеді, ал тежеу M_T мезетінің максимумы – айналудің кіші жиілігіне (үлкен сырғу). Ротордың оталуы нәтижеленуші мезеттің әсерімен болады:

$$M_{рез} = M_a + M_T$$

оның шағын жиілік аймақтарында елеулі «құлдырауы» бар. 23.2-суретте берілгендерге сәйкес, мезеттің қозғалтқыштың M_T іске қосу қасиеттеріне зиянды әсері, негізінен синхронды кіру мезетіне $M_{вх}$ әсері елеулі.

Қозғалтқышты сенімді іске қосу үшін минималды нәтижеленуші мезет асинхронды режимде және синхронизмге ену мезеті жүктеменің статикалық мезетінен артық болу керек. Магнитті электрлі қозғалтқыштың асинхронды мезетінің кестесінің пішіні елеулі түрде іске қосу торының белсенді кедергісінен және $X_n = (E_0 / \omega)$, көлемімен сипатталатын қозғалтқыштың қоздыру дәрежесіне тәуелді,



23.2-сурет. Магнитті электрлі асинхронды қозғалтқыштардың асинхронды мезеттерінің кестелері

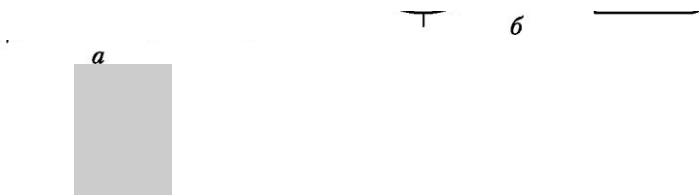
мұнда E_0 – синхронды жиілікті ротордың айналуы кезінде бос жүріс режимінде келтірілген статор фазасы. Кестедегі X_n «құлдырау» мезетте $M_{рез}$ артуда.

Магнитті электрлі синхронды қозғалтқыштарда электромагнитті процестер негізінен электромагнитті қоздыруы бар синхронды қозғалтқыштардағы процестерге ұқсас. Алайда келесіні ұстау керек, магнитті электрлі машиналардағы тұрақты токтар зәкір реакциясының магнитті ағынының әсерімен магнитсіздендіруге бейім. Іске қосу орамы біршама магнитсіздендіруді әлсіретеді, себебі тұрақты магниттерге экрандаушы әрекет етеді.

Магнитті электрлі синхронды қозғалтқыштардың артықшылықтары – байланыс сызбаларының қарапайымдылығы, қоздыру орамының болмауымен және қозғалтқышты қоздыру үшін тұрақты ток көзінің болмауымен шартталған, жоғары энергетикалық көрсеткіштер (ПӘК және $\cos \phi$) синхронды режимдегі жұмыс тұрақтылығы және айналу жиілігінің біркелкі еместігі, сонымен қатар бір желіге қосылған бірнеше қозғалтқыштардың синфазалық айналу қабілеті.

Магнитті электрлі синхронды қозғалтқыштардың кемшіліктері – өзге типтегі синхронды қозғалтқыштармен салыстырғанда бағасы қымбат, ол жоғары бағасымен және коэрцитивті күшке ие балқытпадан (ални, алнико, магнико және т.б. қорытпалар) орындалған тұрақты магниттерді өңдеу күрделілігімен шартталған.

Синхронды магнитоэлектрлі генераторлар. Мұндай генератордың роторы қуаты аз болған кездежұлдыз түрінде орындалады (23.3а-суреті), орташа қуатта – тырнақ тәрізді полюстермен және цилиндрлі тұрақты магнитпен (23.3б-суреті). Тырнақ тәрізді полюстері бар ротор полюстерінің шашырауымен генераторды алу мүмкіндігін береді, ол генератордың қысқа тұйықталу кезінде шектеуші екпінді токқа ие. Бұл ток тұрақты магнит үшін күшті магнитсіздендіру әрекетімен үлкен қауіп тудырады.



23.3-сурет. Магнитті электрлі синхронды генераторлардың роторлары: 1 — білік; 2 — тұрақты магнит; 3 — полюс; 4 — магнитті емес

Магнитті электрлі синхронды қозғалтқыштарды қарастыру кезінде аталған кемшіліктерден басқа, тұрақты магниттері бар генераторлардың тағы кемшілігі бар, ол қоздыру орамының болмауымен шартталған, одан магнитті электрлі генератордағы кернеуді реттеу дерлік мүмкін емес. Бұл жүктеме өзгерісі кезінде генератор кернеуінің тұрақтануын қиындатады.

23.2. Синхронды реактивті қозғалтқыштар

Синхронды реактивті қозғалтқыштардың (СРҚ) ерекшелігін өзгешелігі – ротор тарапынан қоздырудың болмауы. Бұл қозғалтқышта негізгі магнитті ағын статор орамының МҚК есебінен құралады. Екі және үшфазалы СРҚ бұл МҚК айналушы болады.

СРҚ әрекет ету ұстанымын анықтау үшін айқын полюсті синхронды машинаның электромагнитті мезетіне жүгінейік (21.10-қараңыз), оған сәйкес, ($E_0 = 0$) қоздыру орамын өшіріп тастаса, онда мезеттің негізгі құраушысы нольге теңеседі және машина роторына тек мезеттің реактивті құраушысы ғана әреке етеді (21.12-қараңыз).

$$M_p = mU_f I \sin 2\theta$$

СРҚ әрекет ету ұстанымы келесідей. Статор орамын желіге қосқан кезде магнитті өріс туындайды. Осы өрістің d' — d' осі кеңістікті статор ұштамасын алған соң, ол айналу жағына қарай 0 бұрышына ротордың қоздырылмаған полюстерінің d — d бойлық осіне қатысты ығысады (23.4а-суреті), осы өрістің полюсі және қоздырылмаған ротордың шығып тұрған полюстері арасында ротордың полюсінің магнитті статор өрісінің айналушы F_p өрісіне тартылысының реактивті күші F_p туындайды. Бұл F күштің векторы 0 бұрышына ротордың бойлық осіне қатысты ығысқан, сондықтан F_p күштің екі құраушысы бар: ротордың бойлық осі бойынша бағытталған қалыпты және ротор полюсінің бойлық осіне перпендикуляр бағытталған тангенсті F_{t_p} білдіреді. Қоздырылмаған ротордың барлық полюстерінде реактивті күштерінің тангенсті құраушысы айналатын реактивті мезетін тудырады, ол роторды синхронды бұрыштық шайылымдығымен айналдырады. Статикалық жүктеме мезетінің артуымен СРҚ білігінде 0 бұрышы арттырса, өседі.

Алайда бұрышы $0 = 90^\circ$ мәнінде реактивті $M_p = 0$ мезет. Мұндай тәуелділік 0 бұрышынан реактивті мезетінен M_p принципіалды болады (22.2 –суретті қараңыз, 3 кесте),

қоздырылған роторы бар синхронды қозғалтқыштың электромагнитті мезеттің негізгі құраушысынан ерекшелейді. (22.2-сурет, 1-график), онда $\theta = 90^\circ$ кезінде максималды мән берілген. 23.46-суретіне сәйкес, $\theta = 90^\circ$ кезінде магнитті тартылыстың E_r реактивті күштері қоздырылмаған ротордың әр полюсіне әсер етіп, өзара теңеседі және реактивті мезет $M_p = 0$. Реактивті мезеттің $M_{p \max}$ максималды мәні $\theta = 45^\circ$ мәнінде орнығады. Сондықтан реактивті мезеттің тәуелділігі M_p θ бұрышынан келесі өрнекпен анықталады:

$$M_p = M_{p\max} \sin 2\theta. (23.1)$$

Графикалық түрде бұл тәуелділік 22.2-суретінде 3-кестемен берілген. Реактивті мезетті құрудың сөзсіз шарты M_p – айқын полюсті ротор құрылысы, себебі бұл жағдайда $x_q \wedge x_d$.

СРҚ қуаты және оның дамытушы мезеті қоздырылған ротор полюсі бар синхронды қозғалтқышқа қарағанда кем. Бұл СРҚ ротордың магнитті ағынының ЭҚК $E_0 = 0$ болмауынан туындайды, сондықтан электромагнитті мезеттің негізгі құраушысы $M_{жн} = 0$ [(21.11)-қараңыз] және СРҚ электромагнитті мезеті тек реактивті құраушысымен ($M = M_p$) ғана анықталады. Сондықтан ротордың қоздырылған полюсі бар синхронды қозғалтқыштың бірдей көлемі кезінде және біліктегі СРҚ қуаты және дамытушы мезет СРҚ біршама аз.

СРҚ кемшіліктеріне қуат коэффициенті және ПЭК жоғары емес мәндерін жатқызуға болады. Бұл статор тогының елеулі магниттеу қасиетімен түсіндіріледі, себебі СРҚ қоздыру статордың магнитті өрісінің есебінен жүргізіледі.

СРҚ асинхронды іске қосу жүзеге асырылады. Ол үшін роторды қысқа тұйықталған іске қосу торымен қамтамасыз етеді. 23.5а-суретінде СРҚ роторының дәстүрлі құрылымы көрсетілген, ол роторды асинхронды қозғалтқыштан тек ойыстардың болуымен өзгешелейді,

a

б

23.5-
сурет. Синхронды
реактивті
қозғалтқыштың ротор
құрылысы

а

б

ол роторға айқын полюсті құрылымды қамтамасыз етеді. Бұл ойыстар үлкен болған сайын, x_d/x_q қатынасы үлкен болады, яғни реактивті мезеттен M_p үлкен. Алайда ойыстардың үлкеюімен әуе саңылауының орташа көлемі артады, ол статор тогының магниттелуіне әкеледі, яғни қозғалтқыштың онсыз да жоғары емес көрсеткіштері – қуат коэффициенті мен ПЭК төмендеуіне әкеледі. Сонымен қатар ойыстардың артуымен іске қосу торының көлемі кішірейеді, ол асинхронды мезетті азайтады, яғни іске қосу мезеті мен синхронизмге ену мезетін.

Ротордың көлемдерінің келісі қатынасы үздік нәтиже береді:

$$D_{\Pi}^{1/2} = u_{\Sigma} \wedge u_{\Sigma} \quad \text{и} \quad u_{\max}/u_{\min} = u_{\Sigma} \wedge u_{\Sigma}.$$

Бұл жағдайда қатынасына x_d/x_q және 2қол жеткізуге болады.

Цилиндр түрінде келген СРҚ роторының бөлінген құрылысы жетік, онда болат полюстер 2 алюминиймен 3 құйылған (23.56-суреті). Ротордың мұндай құрылысы қатынасын x_d/x_q және 4 ^ 5алуға мүмкіндік береді. Осының есебінен мезеті жол берілетін деңгейде тоқты магниттендіруді сақтау кезінде $M_{p \max}$ елеулі өседі.

Секцияланған ротордың сыртқы жақтарында түрлі құйылған сақиналар бар, олар қысқа тұйықталған іске қосу торын құра отырып, ротордың алюминий қабаттарын тұйықтайды.

Құрылыс қарапайымдылығы мен жоғары эксплуатациялық сенімділік шағын қуатты СРҚ өздігінен жазатын, дыбыс және бейне жазу құралдардың жетегі және айналу жиілігінің қатаң тұрақтылығын талап ететін өзге қондырғыларда үшін автоматикада шағын қуатты кең қолданысты берді.

23.3. Гистерезисті қозғалтқыштар

Гистерезист қозғалтқыштың жұмысы гистерезисті мезеттің әрекетіне негізделген. 23.6а-суретінде сыртқы магнитті өрістің екі полюсі (статордың магнитті өрісінің шартты суреті)

23.6-сурет.
б Гистерезисті мезет

олардың арасында магнитті қатты материалдан цилиндр (ротор) орналасқан. Сыртқы магнитті өрістің әсерімен ротор магниттеледі. Ротор жағында ол сыртқы магнитті өрістің солтүстік полюсіне қаратылған, оңтүстік полюс тудырылады, ал тұрақты магниттің оңтүстік полюсіне қаратылған ротордың жағында – солтүстік полюс. роторға оның бетіне радиальдібағытталған күштер F_m әсер ете бастайды. Егер сыртқы магнитті өрістің полюстерін ротор бойында айналдырса, онда магнитті кешігу (гистерезис) құбылысы әсеріне ротордың белсенді бөлігі сыртқы айналатын магнитті өрістің бағытының өзгеруіне қатысты уақытта біршама кешігумен магниттеледі. Нәтижесінде ротор өрісі мен сыртқы өріс осьтері арасында g бұрышы пайда болады. Роторға әсер ететін күштер F_u , де өз бағытын g бұрышына өзгертеді, ал бұл F_t күштердің тангенсті құраушылары гистерезисті мезетті M_t құрайды (23.6б-суреті).

Магнитті кешігу құбылысында элементарлы магнитті білдіретін ферромагнитті материалды бөлшектері (сыртқы магнитті өріске орналастыру) сыртқы магнитті өріске қатысты бағыттала алады. Егер сыртқы өріс өзінің бағытын өзгертсе, онда элементарлы бөлшектер өз бағытын өзгертеді. Алайда элементарлы бөлшектердің бұрылуына магнитті қатты заттарда молекулалық үйкелудің ішкі күштері әсер етеді. Осы бөлшектердің бағытын өзгерту үшін белгілі МҚК керек, оның нәтижесінде ротордың артық магниттелуі біршама сыртқы өріс бағытынан ауытқиды. Бұл кейін қалу (магнитті кешігу) ротордың магнитті ағыны Φ_2 векторы мен статор F_t орамының магнитті ағыны векторы арасында гистерезисті ығысу g бұрышымен сипатталады (23.6в-суреті). Бұл бұрыш ротор материалының магнитті қасиеттеріне байланысты.

$$n_2 = n_1 \quad n_2 = 0 \quad n_2$$

Молекулалық үйкелу күштерін еңсеруге қозғалтқышқа келтірілген қуаттың жартысы шығындалады, оның көлемі гистерезис шығындарын құрайды. Бұл шығындардың көлемі ротордың $f_2 = f_1 s$ магниттелу жиілігіне байланысты, яғни сырғуға

$$P_r = s P_{r-k}, \quad (23.2)$$

мұнда P_{r-k} —қозғалмайтын роторында гистерезис шығындар ($s = 1$ кезінде), яғни қысқа тұйықталу режимі.

23.7-сурет.
қозғалтқыштың
сипаттамалары

Гистерезисті
механикалық

Роторға берілетін электромагнитті қуаты сырғуға бөлінген ротордың шығындарына тең (13.5-сурет):

$$P_{ЭМ} = P_r / s = P_{r-k}, \quad (23.3)$$

Ал айналу мезеті синхронды бұрыштық жылдамдыққа бөлінген электромагнитті қуатқа тең:

$$M = P_{ЭМ} / \omega_i = P_{r-k} M, \quad (23.4)$$

онда, айқан көрінетіні, гистерезисті мезет көлемі ротордың (сырғу) айналу жиілігіне байланысты емес. $M_r = f(s)$ кестесі түзу, параллель абсцисса осін білдіреді (23.7-суреті).

Гистерезисті ығысу g бұрышы гистерезис ілмегінің еніне байланысты: магнитті материалдың гистерезис ілмегі кең болған сайын гистерезисті ығысу g бұрышынан артық. 23.8а-суреті екі гистерезис екі ілмегі берілген: кәдімгі болат (2- ілмек) және викалла қорытпасы (1-ілмегі).

Роторды дайындау үшін кәдімгі болатты пайдалану гистерезисті мезетке жеткілікті көлемін қамтамасыз етпейді. Тек магнитті қатты материалдар, мысалы, викалла секілді, үлкен гистерезисті мезетті алу мүмкіндігін береді.

—B|

23.8-суреті. Викалла
қорытпасы мен
электротехникалық
болаттан гистерезис
ілмектері(а)және
гистерезисті
қозғалтқыштың жиынтық
роторның құралы

а

б

Гистерезисті қозғалтқыш роторын әдетте жиынтық етіп жасайды. Магнитті қатты бөлігі дестеленген немесе массивті сақина 1 түрінде орындайды, ол білікке орналасқан 2 (23.86-суреті). Соңғысы 3 білікке қатты орналасқан.

Дестеленбеген роторы бар машиналарда (массивті) статордың айналатын өрісі роторда иірімді токтарды келтіреді. Осы токтардың гистерезисті қозғалтқыш роторда статор өрісімен иірімді токтардан M_{B-T} электромагнитті мезет туындайды, оның мәні сырғуға пропорционал:

$$M_{B-T} = v P_{B-T} K M, \quad (23.5)$$

мұнда $P_{B-T} = s = 1$ кезінде ротордағы иірімді токтардың шығындары, яғни қысқа тұйықталу режимінде, B_T ; w_1 — айналудың бұрыштық синхронды жылдамдығы, рад/с.

M_{B-T} мезетінің ең үлкен мәні қозғалмайтын роторда ($s = 1$) қол жеткізіледі, яғни гистерезисті қозғалтқыштың іске қосылуы кезінде. Содан кейін айналу жиілігінің (сырғудың азаюы) өсу шамасы бойынша мезеті M_{B-T} азаяды, (23.7-суретін қараңыз), синхронды жиілікте ол нольге тең болады.

Осылайша, электромагнитті айналу мезеті гистерезисті қозғалтқышта иірімді токтар M_{B-T} мен гистерезисті мезеттерінің M_T бірлескен әрекетінен туындайды.

$$M = M_{B-T} + M_T = s P_{B-T} K / W_i + P_{T-K} / W_i. \quad (23.6)$$

23.7-суретте гистерезисті қозғалтқыштың сырғудан нәтижеленуші мезетінің тәуелділігі берілген: $M = f(s)$. Бұл тәуелділіктің сипаты мезеттерінің қатынасымен анықталады.

Гистерезисті қозғалтқыш синхронды және асинхронды айналу жиіліктерімен жұмыс жасай алады. Алайда қозғалтқыштың асинхронды режимдегі жұмысы үнемді емес, себеі ротордың артық магниттелуіне елеулі шығындармен байланысты, олардың көлемі сырғудың артуымен көбейеді.

Гистерезисті қозғалтқыштардың артықшылықтары – құрылым қарапайымдылығы, шулы еместігі және жұмысының сенімділігі, үлкен іске қосу мезеті, синхронизмнің баяулығы, салыстырмалы жоғары ПӘК, номиналды жүктемеден іске қосу тогының еселігін өзгерту. $\alpha_m = i,3 \wedge i,4$.

Гистерезисті қозғалтқыштардың кемшіліктері – қуаттың төмен коэффициенті ($\cos j = 0,4 \wedge 0,5$) және магнитті қатты материалдардың жоғары бағасы мен оларды өңдеу қиындылығынан жоғары. Сонымен қатар гистерезисті қозғалтқыштың жүктемесінің тербелістері кезінде тербелістерге бейім, ол жүрістің (айналу) біркелкі еместігін құрайды. гистерезисті қозғалтқыштарда іске қосу торының болмауымен түсіндіріледі, әдетте жүктеменің лездік өзгерістері кезінде роторға тыныштандыру (демпфирлейтін) әрекетін береді.

Ең үлкен тербелістері дестеленген роторда үлкен, онда иірім токтары қатты шектеулі. Тербелістермен тудырылатын айналуларды гистерезисті қозғалтқыштардың қолданылу саласын шектейді.

23.4. Қадамдық қозғалтқыштар

Қадамдық (импульсті) қозғалтқыштар (КҚ) әдетте атқару қозғалтқыштары ретінде қолданады, олар электр сигналдарын (импульсті кернеу) бұрыштық немесе желілік дискретті (секіріс тәрізді) орын ауыстыру (қадам). КҚ кең қолданысты бағдарламалық басқару жетектерінде қолданылады.

Қадамдық қозғалтқыштар белсенді (қоздырылған) және реактивті ротор болып бөлінеді. Белсенді роторы бар қадамдық қозғалтқыштардың қоздыру орамы бар және роторда тұрақты магниттермен орындалған; реактивті роторы бар қадамдық қозғалтқыштардың қоздыру орамы жоқ, ал олардың роторы магнитті қатты материалдан жасалған. КҚ басқару орамын статорда орналастырады және бір немесе көп фазалы (жиі жағдайда үш немесе төрт фазалы) етіп жасайды.

Қадамдық қозғалтқыштың әрекет ету ұстанымын реактивті үшфазалы КҚ мысалында қарастырайық, оның статорында алты айқын полюсі бар (фазаға бір полюстен), ал роторда – екі полюс (23.9-суреті).

Басқару роторы фазасында 1 импульсты ток өткен кезде ротор электромагнитті күштерге сәйкес келетін қалыпты алады, яғни полюстер осі бойынша 1-1. Уақыт мезетінде 2 фазада ток импульсі пайда болады. Мұнда роторға екі МКК біруақыттағы әсерімен шартталған күштер әсер етеді, (1-1 және 2-2). Нәтижесінде ротор сағат тілімен айналып, 1-1 және 2-2 полюстері арасында аралық қалыпты алады, яғни $\alpha_{ш} = 30^\circ$ қадамына бұрылады. Мезетінде t_2 фазада 1 импульс тогы тоқтатылады және ротор $\alpha_{ш} = 30^\circ$ тағы бір қадам жасап, полюстер осі 2-2 бойынша қалпын игереді. Мезетінде t_3 фазада 3 импульс тогы және ротор туындайды, тағы 30° айналып, 2-2 және 3-3 статор полюстері арасында орналасады. Уақыт мезетінде t_4 , t_5 және t_6 ротор бойынша қадамдар жасайды және цикл соңында (t_6 мезеті) 1-1 статор полюсінің осі 30° бойынша қалып алып, 180° бұрышына бүл циклды жасайды.

Келесі циклдарда КҚ процестері қайталанатын. Осылайша, қарастырылып отырған реактивті үшфазалы КҚ басқарудың фазалық орамдарын бөлек - бірге қосумен жұмыс жасайды: $1 \wedge 12 \wedge 2 \wedge 23 \wedge 3 \wedge 31 \wedge \dots$

Реактивті ҚҚ бір полярлы импульсті кернеу жұмыс жасайды, себебі осы импульстардың полярлығын өзгерту реактивті мезеттің бағытын өзгертпейді. Ротордың айналу бағытын өзгерту үшін қарастырылып отырған ҚҚ оған орам коммутациясының сызбасын өзгерту керек, мысалы: $1 \wedge 13 \wedge 3 \wedge 32 \wedge 2 \wedge 21 \wedge$

Егер осы қозғалтқышта орамдарды бөлек қосуды қолданса, яғни $1 \wedge 2 \wedge 3 \wedge \dots$ коммутация сызбасын қолданса, онда қозғалтқыш қадамы $a_{\text{ш}} = 60^\circ$. Қозғалтқыш қадам өрнекпен анықталады:

$$a_{\text{ш}} = 360^\circ / (2p_z m_y k). \quad (23.7)$$

мұнда $2 p_z$ — ротордағы полюсті шығыстарының саны; m_y — басқарудың фазалық орамдарының саны, бір-біріне қатысты кеңістікте орналасқан; k — басқарудың фазалық орамдарын қосу әдісімен анықталатын коэффициент (бөлек қосқан кезде $k=1$, бөлек-бірге қосқан кезде $k=2$).

Қадамын $a_{\text{ш}}$ азайту ҚҚ жұмысының төзімділігі мен нақтылығының артуына септігін тигізеді. Қадамын $a_{\text{ш}}$ азайту үшін роторда $2p$ полюсті шығыстардың санын арттырады. Мәселен, қарастырылып отырған

қозғалтқышта крест тәрізді кима роторы ($2 p_2 = 4$) қолданылады, онда алты контактілі коммутация $\alpha_{ш} = 15^\circ$.

Белсенді роторы бар қадамдық қозғалтқыштар (қоздыру орамы мен ротордағы тұрақты магниттері бар) айналу мезетінің үлкен мәнін алу мүмкіндігін, береді, сонымен қатар басқару сигналы болмаған кезде ротордың бекітілуін қамтамасыз етеді.

ҚҚ маңызды өлшемдерінің бірі – қабылдағыштық жиілігі – басқару импульстарының ілесуінің максималды жиілігі, онда ротор қадам жоғалтусыз синхронизмге тартылады. Қадамдық қозғалтқыштарда реактивті түрінде қабылдағыштық жиілігі номиналды жүктеме кезінде 1000-1300 Гц қол жеткізеді. Қадамын арттырумен қабылдағыштық азаяды. Қозғалтқыштың қадамы коммутатор-құрылғымен топтамада жұмыс жасайды, ол басқаратын импульстердің берілген ретін кернеуді тікбұрышты импульстерінің m -фазалы жүйесіне түзеді.

Қадамдық қозғалтқыштың жұмыс жасау принципін қарастыру кезінде жүктеме мезетінің M_c қозғалтқыш білігіне әсері ескерілмеген. Егер қадамдық қозғалтқыш білігіне статикалық жүктеме мезеті әсер етсе, лгжа бір фазалы басқару импульсін өзгесіне ауыстырған кезде статор МҚК $\alpha_{ш}$, бұрышына айналады, ал қозғалтқыш роторы МҚК векторының соңынан айналып, одан $D0_c$ бұрышына кейін қалады, қадамдық қозғалтқыштың статикалық қателік бұрышы деп аталады (эл. град):

$$D0_c = \arcsin(M_n/M_{\max}),$$

мұнда $M_{\max}$ — максималды статикалық мезет, статор МҚК векторына қатысты ротордың ысығу $0 = 90$ эл. град. бұрышына сәйкес келеді.

Қадамдық қозғалтқыштардың жылдам әсері кернеудің басқару импульстерін бір статор фазасынан екіншісіне ауыстырған кезде электромагнитті процестердің өту жылдамдығымен анықталады. Осы процестердің өту жылдамдығы уақыттың электромагнитті тұрақтысымен анықталады (с):

$$T_3 = b\phi/\wedge$$

мұнда $b\phi$ — статордың бір фазасының орам индуктивтілігі; G_n ; $G\phi$ — статордың бір фазасының белсенді кедергісі, Ом.

Қадамдық қозғалтқышты арттыру үшін статор фазасының орамында резисторларды $L_{доб}$ ретімен қосады,

$$T_3 = b\phi/(r\phi + \wedge_{доб}).$$

Қадамдық қозғалтқыштың энергетикалық көрсеткіші болып тұтынылатын қуаттың P_1 көлемі табылады. Қадамдық қозғалтқыштың айналу жиілігі статор орамының фазасында кернеудің басқарылатын импульсті жіберу жиілігін өзгертумен реттеледі.

23.5. Синхронды толқынды қозғалтқыштар

Біліктің айналу жиілігі шағын қозғалтқышты алуға ұмтылу елеулі айналу мезетінде толқынды қозғалтқышты құруға әкелді, ол толқынды механикалық беріліспен синхронды қозғалтқышпен үйлесімін береді.

Үшфазалы немесе екіфазалы орамы бар толқынды қозғалтқыш статоры айналатын симметриялы магнитті өрісін құрады, ол шағын көлемі мен массасының елеулі берілісті қатынасын (100 және одан артық) қамтамасыз ететін толқынды берілістің икемді элементінің механикалық деформациясын тудырады.

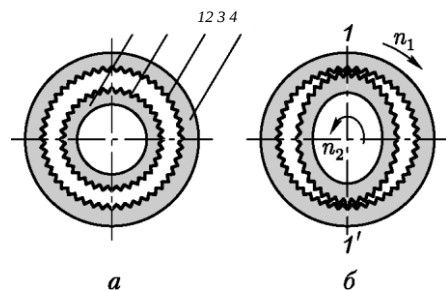
Толқынды берілістің негізгі элементтері – сыртқы (қозғалмайтын) цилиндрі 4 ішкі тісті бетімен 3 (23.10а-суреті), және Z_1 тістер санымен, олардың ішінде икемді жұқа қабырғалы цилиндр 1 тісті сыртқы бетімен 2, $Z_2 < Z_1$ тістерінің саны бар.

Егер ішкі икемді цилиндрін 1-1 осі бойынша радиальді бағытта деформациялау керек (23.10б-суреті), онда цилиндрдің ішкі және сыртқы тісті беттері тіркесіп, ал содан кейін n_1 жиілігімен сағат тілі бойынша 1-1 деформация осімен айналдыру керек, онда ішкі цилиндрдің жұқа қабатын орау 1 сыртқы цилиндрдің 2 ішкі бетімен жүреді. Мұнда жұқа қабатты ішкі цилиндр жиілігімен 1-1 айналу білігіне қарсы бағытта айналатын болады (айн/мин),

$$\Pi_2 = n i k_p, \quad (23.8)$$

мұнда $k_p = (Z_1 - Z_2)/Z_1$ — толқынды қозғалтқыштың жылдамдық редукциясының коэффициенті.

Толқынды қозғалтқышта (қозғалмайтын) цилиндр статорда орналасқан, ал икемді (айналатын) цилиндр- роторда. Ішкі цилиндрдің радиальді өзгерістері статор полюстеріне осы цилиндрдің магнитті тартылыс күштерімен құрылады.



23.10-суреті. Синхронды толқынды қозғалтқыштың әрекет ет ұстанымына

23.11-сурет. Синхронды толқынды қозғалтқышты құрылысы

Ішкі цилиндрдің 1-1 деформация осімен айналу статордың айналатын магнитті өрісімен құрылады.

Толқынды қозғалтқыш құрылысын қарастырайық (23.11-сурет). Оның алюминий шанағында 1 статордың дестеленген өзегі 2 көп фазалы орамасымен 3 орналасқан, ол ауыспалы ток желісіне қосылған кезде u айналу жиілігімен магнитті өріс тудырады. Статор жүрекшесінің орталық бөлігінде Z_y тістері бар 4 қозғалмайтын сақинасы бар, ішкі бетін орналасқан. Ротор жұқа қабатты икемді стақаннан жасалған 6, онда сыртқы жағында Z_2 тістері бар икемді 5 сақинасы бар. 5 икемді сақина мен қозғалмайтын 4 сақина толқынды берілісті түзеді. Бос стақанның 6 ішкі бетінің бойымен ферромагнитті материалдар өзге секторларда 7 бір-біріне қатысты қозғалмалы орналасқан. Статордың айналатын өрісімен құрылатын магнитті тартылыс күшінің әсерімен секторлар радиальді бағытта орын ауыстырал алады, ол икемді сақинаның 5 радиальді деформациясын тудырады. ротор стақанының ішкі бетінде секторлар икемді цилиндрлі 8 сақиналармен қысылады.

Статор орамын 3 желіге қосу кезінде қозғалтқыштың магнитті жүйесінде айналатын магнитті өріс туындайды, ол магнитті кернеудің кезектескен күштерін тудыратын ферромагнитті секторларға 7 әсер етеді. Нәтижесінде 8 және 5 икемді сақиналарының деформациясын тудыратын n_1 жиілігімен айналатын магнитті өрісімен синхронды айналатын деформация толқыны тудырылады, ол 23.10 б-суретінде көрсетілген. Мұнда қозғалтқыш роторы n_2 жиілігімен статор өрісінің айналу бағытына қарсы айналады (23.8-сурет). Себебі статордың айналатын магнитті өрісі қоздырылмаған роторымен өзара әрекеттеседі, онда қарастырылған толқынды қозғалтқыш реактивті түріндегі синхронды қозғалтқыш болып табылады.

Егер статордың екі полюсті және айналатын өрістің магнитті индукциясы B_d синусоидалды заңымен үлестірілсе (23.10 в-суретін қараңыз), онда ферромагнитті секторлардың магнитті тартылыс күші 7 статор өзегіне 2 (23.11-суретті қараңыз), онда 23.10 в-суретінде көрсетілген кестеге F_{ω} сәйкес ротор ауқымы бойынша үлестіріледі. Бұл күштердің максимумы диаметральді ротордың учаскелерінде орналасқан, икемді сақинаның деформациясын тудырады (23.10 б-суретті қараңыз).

Қорыта айта келеміз, ол толқынды қозғалтқышты қолдану олардың құрылыстарының кейбір күрделілігімен шектеледі, ол ротордың осы элементін дайындау қиындығымен шартталған.

23.6. Тырнақ тәрізді полюсі және электромагнитті қоздыруы бар синхронды генератор

Мұндай синхронды генераторлар автотракторлы электр қондырғысында кеңінен қолданылады. Генератор шығысында жартылай өткізгішті түзетушіні пайдаланады (23.12 а-суреті), сондықтан генератор тұрақты ток көзінің қызметін орындайды. Генератордың роторы тырнақ тәрізді құрылымды білдіреді, ол 23.3 в-суретіне ұқсас, ол тұрақты магниттің қоздыру орамының болуынан ерекшеленеді. Ротордың тырнақ тәрізді құрылымы қоздырудың бір шарғысы арқылы көп полюсті роторын қоздыру мүмкіндігін береді, тұрақты ток көзіне қосылатын кернеумен u_e түйіспелі сақиналары мен қылшақтар арқылы қосылады. Мұндай роторда аксиальді бағытталған қоздырудың магнитті ағыны әуе саңылауында өз бағытын өзгертеді және радиальдібағытталған болады (23.12 б-суреті). Генератор шығысында тұрақты кернеуді U_d алу қажеттілігі туындаған кезде оның шығыстарын үшфазалы статор орамын алты жартылай өткізгіш диодтан тұратын түзеуішкеқосады, олар көпірлі сызбамен байланысқан. Қарастырылып отырған генератор құрылыс қарапайымдылығыме, топтамалылығымен, сенімділігімен және жоғары технологиялығымен ерекшеленеді.

а

б

23.12-сурет. Тырнақ тәрізді полюстері бар синхронды генератордың қосылудың (а) және магнитті жүйесінің негізгі сызбасы (б)

23.13-сурет. Тырнақ тәрізді полюстері бар синхронды генератор

Соңғы артықшылығы тырнақ тәрізді полюстері бар синхронды генератордың көпшілік өндірісі шарттарында үлкен мәнге ие. Әдетте бұл генераторларды үлкен қуатпен дайындайды (1 кВ-А аспайды). Электр қондырғы сызбасында генераторды аккумуляторлы батаерямен қатар параллель қосады, және ол буферлік режимде жұмыс жасайды, яғни энергетикалық тұрғыдан бір-бірін толықтырады, тұтынушыларды электрлі жабдықтауды бірлесіп қамтиды.

23.12-суретте Г-250 түріндегі автомобильді синхронды генератордың құрылысы көрсетілген. Осы генератордың статоры 8 дестеленген пакетті білдіреді, ал 18 тісінде 7 шарғылар орналасқан, олар жұлдызға біріккен үшфазалы орамды түзеді. Ротор біліктен құралады, онда екі болат шайба сығымдалған, ол тырнақ тәрізді 2 полюсі бар (әр шайбада алты полюс бар). Болат білікке 10 коздырудың цилиндр 9 шарғысы киілген, оның ұштары түйіспелі сақиналарымен 5 байланысқан. Сақиналарға мыс-графитті қылшақтары 6 салынған. Артқы мойынтірек қалқанда 4 алты кремний диодтарынан 3 тұратын түзету блогы орналасқан, көпірлі сызба бойынша біріккен (23.12а-суретті қараңыз). Мойынтіректі қалқандар 1 және 4 және статор өзегі үш бұрандамен тартылған. Генератор білігінде орталық желдеткіш 11 және тегершік 12 орналасқан, ол арқылы генератор роторы айналады.

23.7. Индукторлы синхронды машиналар

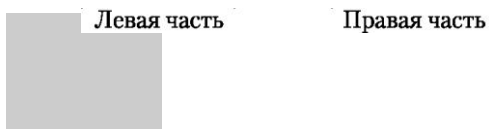
Кейбір құралдар, мысалы индукциялық жылыту қондырғысы, гироскопиялық және радиолокациялық құралдар, олар жүздеген және мыңдаған герцтермен білдірілген жоғары жиілікті ауыспалы тоқты өз жұмысында қажет етеді. Кәдімгі құрылысты синхронды генератор арқылы ауыспалы токтарды алу немесе айналу жиілігінің артуымен (3000 айн/мин) немесе полюстерінің саны астам немесе екі шараны біруақытта қолданумен байланысты қиындықтармен тоғысқан. Алайда айналу жиілігін арттыру роторда орталық күштердің қауіпті мәндерге дейін өсуіне әкеледі, ал полюстер санын арттыру полюсті бөлудің азаюына әкеледі, онда статордың орамын орналастыру дерлік мүмкін емес болады.

Жоғары жиілікті ауыспалы тоқты алу үшін (30 кГц дейін) индукторлы генераторларды қолданады, оның ерекшелік белгісі – бір магнитті ағын мерзімінде өз белгісін қалыпты синхронды генераторларда секілді өзгертпейді, тек $F_{\max} - F_{\min}$ мәндерінде өзгереді, яғни өтеді (23.14а-суреті).

a

5

4



23.14. Екіленген түрлегі индукторлы генератор:

a — магнитті ағын кестесі; *b* — генератор құрылғысы; *c* — статор мен ротор тістерінің өзара орналасуы

Өтетін ток екі құраушыдан тұрады: тұрақты Φ_{cp} және ауыспалы $\Phi_{пер}$, ол көлемі және бағыты бойынша мерзімді өзгертін магнитті ағынды білдіреді, амплитудасы $\Phi_{пер} = 0,5(F_{max} - F_{min})$. Ағынның тұрақты құраушысы орамдарында ЭҚК келтірмейді, ал ауыспалы құраушысы генератордың жұмыс орамымен бірігіп, онда ЭҚК келтіреді.

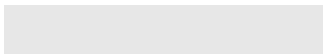
Индукторлық генераторлардың бірнеше құрылымдық сызбасы бар. Олардың барлығы магнитті тізбектің өткізгіштігі есебінен магнитті ағынның пульсациясы негізінде құрылған, яғни магнитті ағынның тісті пульсациясы есебінен. Ол үшін генератор статоры мен роторына тісті құрылым береді. Ротор тісі статор тісіне қарсы орналасқан кезде, онда статор тісіндегі магнитті ағын үлкен мәнді иеленеді, онда статор тісіне қарсы ротор пазы орналасса, онда осы статор тісіндегі магнитті ағын кем болады. Мұнда магнитті ағынның ауыспалы өзгерістері, яғни ЭҚК тазалығы, осы ағынмен жұмыс орамында келтірілген, ротордағы Z_2 тістер санына пропорционал:

$$f_i = Z_2 V_6 \Omega. \quad (23.9)$$

Индукторлы генератордың құрылыстарының бірін қарастырайық, ол екіленген деп аталады (23.14б-суреті). Генератордың роторы 5 мен статоры екіленіп орындалған. Статорда орналасқан қоздыру орамы 2 тұрақты ток көзіне қосылған және магнитті ағын тудырады, ол ротор білігінің 4 бойымен тұйықталады, мұнда ротордың әр бөлігінде (статордың) бір полярлықтың полюстері тудырылады. Статор мен ротордағы тістер саны бірдей. Магнитті ағынның пульсациясы статор тістеріне қатысты айналатын ротордың тістерінің ығысуы есебінен орындалады. Статордың әр тісінде шарты 3 орналасқан, онда магнитті ағынның ауыспалы құраушысында ЭҚК келтіріледі.

Индукторлы генераторларда маңыздысы – ротордың айналуы кезінде жалпы магнитті ағынның тұрақтылығын қамтамасыз ету, себебі кері жағдайда қоздыру орамында 2 жоғары жиілікті ЭҚК индуктеледі. Қарастырылып отырған индукторлы генераторда қоздыру орамының жалпы магнитті тұрақтылығы ротордың бір пакеті екінші пакетке қатысты тісті бөлінудің жартысына қарай ығысқан (23.14в-суреті). Осының арқасында магнитті кедергі қоздырудың жиынтық ағынында ротордың кез келген қалпында өзгеріссіз қалады. Бұл генератор роторын болат монолитті (дестеленген емес) фрезерленген пазаларымен жасау мүмкіндігін береді.

Индукторлық түрдегі генератордың пайдалы коэффициенті өнеркәсіптік жиіліктегі генераторларға қарағанда төмен (50 Гц), статор орамында электрлі шығындардың жоғары болуы себебінен,



23.15-суреті. 2700 кВ-А қуатында индукторлық типіндегі қоздырушы:

орамның белсенді кедергісінің артуын тудыратын тоқты ығыстыру әсерімен шартталған. Роторда орамдардың болмауы индукторлық генераторда түйіспелі сақиналарын алып тастау мүмкіндігін береді. Бұл генератор құрылымын қарапайым етіп, сенімділігін арттырады.

Индукторлық типіндегі генераторлар ТВВ сериялы турбогенераторлар ретінде қолданылады (19.15-суретті қараңыз). 23.15-суретте қуаты 2700 кВ-А индукторлық түріндегі қоздырушы-генератор құралы көрсетілген. Екіленген түріндегі индукторлық генератордан өзгешелігі (23.14-суретті қараңыз) қоздырушы роторы дестеленген құрылысы бар. Генератордың желдетуі газды салқындатуды қолданумен тұйықталған цикл бойынша орындалған (18.2-суреті).

Индукторлық синхронды машина қайтымды, яғни ол тек генераторлық емес, қозғалтқышты режимде де жұмыс жасайды. Индукторлық синхронды қозғалтқыштар механикалық редукторды қолданусыз кіші айналу жиілігімен алу мүмкіндігін береді. Осындай қозғалтқыштың синхронды айналу жиілігі қоректендіру ротор өзегінің кернеу f_1 жиілігінде тістерінің Z_2 санына тәуелді: $n_1 = f_1 \cdot 60 / Z_2$. Мысалы $f_1 = 50$ Гц және $Z_2 = 100$ $n_1 = 50 \cdot 60 / 100 = 30$ айн/мин кезінде аламыз.

Индуктивті қозғалтқыштың статор орамының айналатын магнитті өрісін құру үшін не үшфазалы, не бірфазалы етеді. Соңғы жағдайда статорда жұмыстан бөлек іске қосу орамы болады, ол іске қосу конденсаторы арқылы желіге қосылады.

Бақылау сұрақтары

- 1. Неге синхронды қозғалтқышты тұрақты магниттермен іске қосқан кезде тежелу мезеті туындайды?**
- 2. Реактивті мезеттің болмысын түсіндір.**
- 3. Ротордың полюсаралық ойыс тереңдігі реактивті қозғалтқыштың жұмыс іске қосу мезеттерге қалай әсер етеді?**
- 4. Гистерезисті мезеттің физикалық болмысын түсіндіріңіз.**
- 5. Белсенді және реактивті роторлары бар қадамдық қозғалтқыштардың айырмашылығы неде?**
- 6. Орамдарды бөлек қосудан бөлек-бірлескен қосуға өткен кезде қозғалтқыш қадамы қалай өзгереді?**
- 7. Қадамдық қозғалтқыштың қабылдағышы дегеніміз не?**
- 8. Индукторлы генераторда магнитті ағынның пульсация үлкен жиілігі қалай қол жеткізіледі?**
- 9. Неге 23.12-суретте бейнеленген индукторлы генератордың монолитті құрылысы бар, ал 23.15-суретте дестеленген құрылысты?**

Бесінші бөлім

КОЛЛЕКТОРЛЫ МАШИНАЛАР

Тұрақты ток электрлі машиналарды генератор ретінде де, қозғалтқыш үшін де пайдаланады. Тұрақты ток қозғалтқыштары кең қолданылады, олардың қуат ауқымы кең: ватт үлесінен (автоматика құралдарының жетегі үшін) бірнеше мың киловаттқа дейін (илемдік орнак, шатха көтергіштері мен өзге механизмдер). Тұрақты ток қозғалтқыштары кран қозғалтқыштары мен тартық қозғалтқыштар ретінде көліктерінің құралдарының жетегі ретінде көтергіш құралдарының жетегі үшін пайдаланылады.

Тұрақты ток қозғалтқыштарының негізгі басымдықтары ауыспалы токтың коллекторсыз қозғалтқыштарымен салыстырғанда жақсы іске қосу және реттеу қасиеттері, 3000 айн/мин айналу жиілігін алу мүмкіндігі болып табылады. Осы типтегі қозғалтқыштың кемшіліктеріне жоғары бағасы (қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды қозғалтқышынан екі-үш есе қымбат), дайындаудағы қиындығы мен жеткіліксіз сенімділігі жатады.

Тұрақты ток машиналарының барлық кемшіліктері онда қылшақты-коллекторлы тораптың болуымен шартталған, сонымен қатар олардың қолданысын шектейтін радио кедергі мен өрт қауіптілігінің көзі болып табылады.

Алайда тұрақты ток қозғалтқыштары кейбір жағдайларда әлі алмастырыла алмайды, себебі артық жүктемелік қасиетіне, жақсы іске қосу қасиеттеріне, айналу жиілігін реттеу тереңдігі қасиеттеріне ие, заманауи электр жетектің талаптарының кешенін қанағаттандыратын механикалық сипаттамалары бар.

Бұл бөлімде жалпы арналымдағы тұрақты ток машиналарынан басқа арнайы арналымдағы машиналардың кейбір түрлері қарастырылған. Соңғы жылдары тұрақты тоқтың желдету қозғалтқыштары әзірленген, онда коллекторлық торап тиристорлық түзуші болады.

Қазіргі уақытта тұрақты ток машиналары генераторлар ретінде қолданысы шектеулі. Бұл тұрақты токтың коллекторлық генераторларымен салыстырғанда жоғары техникалық-экономикалық көрсеткіштері бар жартылай өткізгіш түзету құралдарының тұрақты тоғы ретінде кеңінен пайдаланылады.

24 тарау

ТҰРАҚТЫ ТОК КОЛЛЕКТОРЛЫҚ МАШИНАЛАРЫНЫҢ ӘРЕКЕТ ЕТУ ҰСТАНЫМЫ МЕН ҚҰРЫЛЫСЫ

24.1. Тұрақты ток генератор мен қозғалтқышының әрекет ету ұстанымы

Коллекторлық машиналардың тән сипаты – оларды коллектордың болуы – ауыспалы токтың тұрақтыға түзуші және керісінше. Осындай түзушідегі қажеттілік коллекторлық машиналардың зәкір орамындағы ауыспалы токтың болуымен түсіндіріледі, себебі бұл жағдайда машинада энергияның электрлі механикалық түзушінің үздіксіз процесі өтеді.

Тұрақты ток коллекторлық генератордың әрекет ету ұстанымын қарастырамыз. 24.1-суретте осындай генератордың қарапайым үлгісі берілген: тұрақты токтың N және S полюстері арасында генератордың айналу жиілігі – зәкір өтеді, оның білігі тегершік және белдікті жіберіліс арқылы жетекті қозғалтқышпен механикалық байланысқан (суретте көрсетілмеген) – механикалық энергия көзін. Зәкірдің өзегінің екі бойлық пазаларында *abcd*, бір иірім түріндегі орам орналасқан, олардың ұштары бір-бірінен оқшауланған мыс жартылай сакиналармен байланысқан, қарапайым коллектор түзеді. Коллектор бетіне A және B қылшақтары берілген, олар коллектормен сырғымалы байланыс орнатып, сыртқы тізбегімен генераторн байланыстырады., онда $I_{\text{сд}}$ кедергісінің жүктемесі қосылған.

Жетекті қозғалтқыш генератордың зәкірін сағат тіліне қарсы айналады деп болжайық, онда тұрақты магнит магнитті өрісінде айналатын зәкір иірімінде ЭҚК келтіреді,



I

24.1-сурет.
Коллекторлық машинаның

B

$$e = 2 Blv,$$

зәкір қалпы үшін бағыты, 24.1-суретінде бейнеленіп, тілшелермен көрсетілген.

Генератордың жұмыс процесінде зәкір айналады және $abcd$ иірімі кеңістікті қалыпта болады, сондықтан зәкір орамында ауыспалы ЭҚК келтіріледі. Егер машинада коллектор болмаса, онда сыртқы тізбекте (R жүктемеде) ауыспалы болатын еді, бірақ коллектор және ауыспалы ток қылшағы арқылы зәкір орамы генератордың сыртқы тізбегіндегі пульстейтін токқа айналады, яғни бағыты бойынша өзгеріссіз. 24.1-суретте көрсетілген зәкір иірімі қалпында сыртқы тізбекте ток (жүктемеде) A щеткасынан B щеткасына бағытталған. Электрлі тізбектің сыртқы бөлігінде ток плюстен минусқа бағытталған, сондықтан A қылшағы оң болатынын, ал қылшақ B – теріс болатынын анықтау қиын емес. Зәкірдің 180° бұрылған соң (24.2а-суреті) зәкір иіріміндегі ток бағыты керісіншеге ауысады, себебі 1 және 2 өткізгіштер орын ауыстырады. Алайда қылшақтың полярлығы, яғни токтың сыртқы тізбекте бағыты (жүктемеде) өзгеріссіз қалады (24.2 б-суреті).

7 ($a = 0$) II ($a = 90^\circ$) III ($a = 180^\circ$) IV ($a = 270^\circ$) V ($a = 360^\circ$)



6



24.2-сурет. Тұрақты ток генераторының әрекет ету ұстанымына:

ЭҚК зәкір орамындағы ток; генератордың сыртқы

Ток зәкір иірімінде өз бағытын өзгертсе де, қылшақтарда коллекторлық пластиналардың ауысымы өтеді. Осылайша, А қылшағында әрдайым пластина болады, ол N солтүстік магнитті полюсте орналасады, ал В қылшағында – жетекпен байланысқан пластина, S оңтүстік полюсінде орналасқан. Осының арқасында генератордың қылшақтарының полярлығы зәкір иірімінің қалпына қарамастан кеңістікте өзгеріссіз қалады. Сыртқы тізбектегі ток пульсациясына қатысты олар біршама тегіс әлсіретеді, зәкір орамының иірімі қатарын артқан кезде коллекторда пластиналар саны тиісінше артады.

Электрлі машиналардың қайтымдылығы ұстанымына сәйкес тұрақты ток машинасының қарапайымдылығы тұрақты ток қозғалтқышы ретінде пайдаланыла алады. Ол үшін генератор R жүктемесін өшіріп, машина қылшақтарына тұрақты ток көзінен кернеу беріледі. Мысалы егер А қылшағына қосу қысқышын қосса, ал В қылшағын алу қосса, онда зәкір орамында I тогы пайда болады, оның бағыты 24.3-суретінде көрсетілген. Осы токтың магнитті тұрақты ток өрісімен өзара әсерлесу нәтижесінде (қоздыру өрісімен) электромагнитті күштер пайда болады. Бұл күштердің жиынтығы зәкірде электромагнитті M мезетін тудырады, ол зәкірді сағат тіліне қарсы айналымға келтіреді. Зәкір айналған соң, электромагнитті күштер өз бағытын өзгертпейді, себебі әр өткізгіштің зәкірінің аймағынан бір магнитті полюсінен екіншісіне өткен кезде бұл өткізгіштерде ток бағыты өзгереді. Осылайша, тұрақты ток қозғалтқышында коллектор мен қылшақты тағайындау бұл – зәкір орамының өткізгіштерінде бір магнитті полюс аймағынан басқа полярлық аймағына өткен кезде ток бағытын өзгерту.

Қарастырылған машинаның қарапайым үлгісі қозғалтқышта тұрақты жұмысын қамтамасыз етпейді, себебі өткізгіштер геометриялық бейтараптықта зәкір орамынан π өткен кезде (24.3-суреті) электромагнитті күштер $\hat{\alpha}_{\text{эл}} = 0$ (полусаралық кеңістік ортасындағы магнитті индукция нольге тең). Алайда зәкір орамында өткізгіш санының артуымен (зәкір бетінде орналастыру кезінде)



24.3-сурет. Тұрақты ток қозғалтқышының әрекет ету ұстанымына

және коллектор пластиналарының саны қозғалтқыш әкiрiнiң айналуы тұрақты және тегiс.

Айтылғанды жалпылай отырып, ток түзушiнiң қызметiн орындайтын қылшақты-коллекторлық торап (коммутатор) тұрақты ток машинасының мiндеттi элементi болып табылады. Қарастырылып отырған машиналарды тұрақты ток машинасы деп атаса да, энергия электромеханикалық түзудiң үздiксiз процесi үшiн әкiр орамында бұл машиналардың ауыспалы тогы өтуi керек.

24.2. Тұрақты ток коллекторлық машинасының құрылысы

Қазiргi уақытта электрлi машина құрылысының зауыттары тұрақты ток электрлi машиналарын әзiрлеуде, олар өнеркәсiптiң түрлi салаларындағы жұмысқа арналған, сондықтан осы машиналардың жеке тораптары түрлi құрылымда бола алады, бiрақ машиналардың ортақ құрылымдық сызбасы бiрдей емес. Тұрақты ток машинасының қозғалмайтын бөлiгi статор, айналатын бөлiгiн – әкiр деп атайды (24.4-суретi).

Статор тұғыр 6 мен басты полюстерден 4 тұрады. Тұғырполюстер мен мойынтірек қалқандарын бекiту үшiн қызмет етедi және магниттi жетектiң бөлiгi болып табылады, себебi ол арқылы машинаның магниттi ағыны тұйықталады. Орнақ ны болаттан, жеткiлiктi механикалық төзiмдiлiгi бар және үлкен магниттi өткiзгiштiкке ие материал. Орнақ ның төменгi бөлiгiнде машинаны негiзгi плитаға бекiту табандары 11 бар, орнақ ның айналасында басты полюстердiң 4 өзеклерiн бекiту үшiн саңылаулар орналасады. Әдетте орнақ ны тұтас болат құбырдан немесе табақты болаттан жасалған пісірілген құбырдан жасайд, сыртқы диаметрі үлкен машиналарды қоспағанда, олардың орнақ сын ажырағыш етiп жасайды, ол машинаның тасымалдануы мен орнатылатын жерiнде құрастырылуын жеңiлдетедi.

Басты полюстер машинада қоздыру магниттi өрiсiн тудыру үшiн керек. Басты полюс өзекден4 және шарғыдан 5 жасалған. Әкiрге қараған жағынан полюс өзегiнiң полюстi ұштамасы бар, ол машина саңылауында магниттi индукцияның үлестiрiлуiн қамтамасыз етедi. Басты полюстердiң өзеклерiн табақты құрылыстан 1-2 мм қалыңдықтағы болаттан дестелеп жасайды немесе жұқа табақты электро техникалық анизотропты суық илемделген болаттан жасайды, мысалы, 34111 маркасынан. Басты полюстердiң штамптелген пластиналарын арнайы окшауламайды, себебi оксидтiң жұқа үлдiрi бетiнде иiрiмдi токтарды әлсiрету үшiн жеткiлiктi,

Олар зәкір өзегінің тісті болуымен тудырылған магнитті ағын пульсациясы есебінен полюсті ұштамамен келтіріледі. Анизотропты болат прокат бойынша жоғары магнитті өткізгіштікке ие, ол пластиналарды штамптау және пакетке жинау кезінде ескерілу керек. Төмен магнитті өткізгіштік прокат бойында зәкір реакциясының төмендеуіне әкеледі (26.2-қараңыз) және басты және қосымша полюстердің шашырату ағынын азайтады (26.1-қараңыз).

Шағын қуаттағы тұрақты ток машиналарында полюсті шарғыларды қаңқасыз – мыс орамды сымның орамасымен тікелей полюс өзегінде алдын ала оған оқшаулау төсемесін салып жасайды (24.5a-суреті). Көпшілік машиналарда (1 кВт және одан артық қуат) полюсті шарғыны қаңқалы етеді: орама сым қаңқасына орайды (әдетте қаңқасы пластмассадан жасайды), содан кейін полюс өзегіне тағады (24.5б-суреті). Кейбір құрылыстарда машиналардың полюсті шарғысын қарқынды салқындату үшін биіктігі бойынша бөліктерге бөледі, олардың арасында желдету арналарын қалдырады.

12



24.4-суреті. Тұрақты ток машинаның құрылысы:

1 — коллектор; 2 — қылшақ; 3 — зәкір өзегі; 4 — полюс өзегі; 5 — қоздыру шарғысы; 6 — тұғыр; 7, 12 — мойынтірек қалқаны; 8 — желдету; 9 — зәкір орамы; 10 — білік; 11 — табан

*a**б*

24.5-суреті. Қаңқалы (а) және қаңқасыз (б) полюстік шарғылары бар басты полюстер: 1 — орнақ; 2 — полюс өзегі; 3 — полюсті шарғы

Тұрақты ток машинасының зәкірі (24.4.-суретті қараңыз) біліктен 10, өзекден 3 орам мен коллектордан 1 құралады. Зәкір өзегінің дестеленген құрылысы бар және жұқа табақты электротехникалық болаттан штамптелген пластинадан жасалған. Табақтарын оқшаулау лағымен жабады, пакетке жинап, пісіреді. Дайын өзекні зәкір білігіне сығымдайды. Зәкір өзегінің мұндай құрылысы онда иірімді токтарды әлсіретеді, олар магнитті өрістің айналу процесінде магниттендіру нәтжесінде туындайды. Зәкір өзегінің бетінде бойлық пазалар бар, оған зәкір орамын жатқызады.

Орамды мыс айналма немесе тік бұрышты қиманың сымынан орындайды. Зәкір пазалары оларды орам сымдарымен толтырудан кейін әдетте сыналармен жабады (мәтіндік табақты немесе гетинаксты). Кейбір машиналарда пазаларды сынамен жаппайды, ал зәкір бетіне сымнан жасалған бандаж немесе алдын ала тартылған шыны ленталар салады. Зәкір орамының алдыңғы бөліктерін орам ұстауыштарына бандажпен бекітеді.

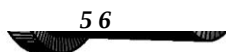
Коллектор 1 тұрақты ток машинасының күрделі тораптарының бірі болып табылады. Коллектордың негізгі элементтері коллектор цилиндр пішінін қабылдайтындай жиналған қатты тартылған мыстың трапеция қимасынан жасалған. Коллекторлы пластиналарды бекіту әдісіне байланысты коллекторлардың екі негізгі түрі бар: болат конусты шайбалар мен пластмасса. 24.6а-суретінде болат конус шайбалары бар коллектор құралы көрсетілген. Коллекторлық пластиналардың төменгі бөлігі 6 «қарлығаштың құйрығы» пішінін алады. Коллекторды жинаған соң пластиналарды бұл бөлігі 1 және 3 болат шайбаларыарасында қысылады, олар сым пластиналарынан миканитті манжеттермен 4 оқшауланған. Конус шайбалары 2 бұрандалармен тартылған. Мыс пластиналары арасында миканитті төсемелер пайдаланылған.

Машинаның жұмыс процесінде коллектордың беті біртіндеп қылшақтармен тозады. Мұнда миканитті төсемелер коллектордың жұмыс бетінде шықпаған, ол қылшақтардың дірілі мен машина жұмысының бұзылуына әкеледі, коллектор пластиналардың арасында 1,5 мм тереңдікте пазаларды фрезерлейді (24.63-суреті). Коллекторлы пластиналардың үстіңгі бөлігі 5 (24.6в-суреті), айдар деп аталады, оның тар ұзынша пазасы бар, онда зәкір орамының өткізгіштерін салып, толығымен сіндіреді.

Қуаты аз тұрақты ток машиналарында пластамассадағы коллекторларды жиі қолданады, ол дайындау қарапайымдығымен ерекшеленеді. Осында коллектордағы мыс және миканитті пластиналардың жиынтығы пластмассамен ұстатылады, ол пластиналар жинағы мен болат білік 4 арасында кеңістікте сығымдалып, коллектор корпусын түзеді. Кейде коллектор төзімділігін арттыру мақсатында бұл пластмассаны 2 болат сакиналармен армерлейді 3 (24.7-сурет). Бұл жағдайда магнитті төсемелердің көлемі үлкен болу керек, мыс пластиналарына қарағанда 1, ол пластиналардың болат сакиналармен тұйықталуын болдырмайды 3.

Коллектормен электрлі байланыс қылшақ ұстағыштарда орнатылған қылшақтар 4 арқылы жүзеге асырылады (24.4-суретті қараңыз).

Қылшақ ұстағыш (24.8-сурет) құрсаудан 4 тұрады, оны қылшаққа 3 орналастырады, шүріппеден 1, ол артқа лақтырылатын бөлшек, қылшақ қысым беретін серіппелер 2. Қылшақ ұстағышты 5 қысқыш саусағына бекітеді. Қылшақ 6 машинаның электрлі тізбегіне қосылу үшін икемді таяқпен жабдықталады. Бір полярлы бардық қылшақ ұстағыштар өзара жиынтық шиналармен байланысқан, ол машина шығыстарына қосылған. Машинаның үздіксіз жұмысының негізгі шарттарының бірі - қылшақ пен коллектор арасындағы тығыз және сенімді байланыс. Қылшаққа қысым реттелуі керек,



a

24.6-суреті. Конустық шайбалары бар коллектор құрылысы



24.7-сурет. Пластмассадағы коллектор

24.8-сурет. Тұрақты ток машинасының қылшақ ұстауышы (екіленген)

себебі астам басу қылшақтың мерзімінен бұрын тозуы мен коллектордың қыздырылуын тудырады, ал жеткіліксіз басу – коллекторда ұшқын тудырады.

Көрсетілген бөлшектерінен басқа тұрақты ток машинасының екі мойынтірек қалқаны бар: алдыңғы 12 (коллектор жағынан) және артқы 7 (24.4-суретті қараңыз). Қалқанның орталық бөлігінде мойынтірек ұштамасы бар. Алдыңғы мойынтірек қалқанда қақағы бар қарау терезесі (люк), ол арқылы коллектор мен қылшақтарды машинаны бөлшектемей көруге болады. Орамдардың ұштары шығарылыс қорабының қысқыштарына шығарылған. Желдеткіш машинаның өздігінен желдетілуіне қызмет етеді: ауа машинаға әдетте коллектор жағынан түседі, ол жылыған бөліктерін жуып (коллектор, орам мен өзеклер) және тор арқылы қарсы жаққа лақтырылады.

Тұрақты ток коллекторлық машинасының әрекет ету ұстанымы мен құрылысын қарауға сәйкес, осы машинаның міндетті элементі болып қылшақты-коллекторлық торап – ток түрінің механикалық түзушісі табылады, ол әкір орамы мен сыртқы желі арасында қосылған. Осылайша, коллекторлы машиналар ауыспалы тоқтың коллекторсыз машинасынан күрделі (асинхронды және синхронды) және яғни олардың сенімділігіне жетпейді (әсіресе асинхронды машинада) және бағасы қымбат.

Бақылау сұрақтары

- 1. Генератор мен қозғалтқыштағы коллектордың арналымы қандай?**
- 2. Неліктен тұрақты ток машинасының тұғырболаттан жасайды?**
- 3. Коллектордағы конусты шайбалардың арналымы қандай?**
- 4. Пластмассадағы коллекторда армирлейтін сақиналарды қалай қолданады?**

25 тауа КОЛЛЕКТОРЛЫҚ МАШИНА ЗӘКІРІНІҢ ОРАМДАРЫ

25.1. Зәкірдің ілмекті орамдары

Негізгі ұғымдар. Тұрақты ток машинасының зәкір орамы зәкір өзегінде белгілі түрде салынған және коллекторға байланысқан өткізгіштердің тұйықталу жүйесін білдіреді.

Зәкір орамының элементі секция (шарғы) болып табылады, ол екі коллекторлы пластиналарға біріккен. Секцияның пазалық бөліктері арасындағы қашықтық тең немесе полюстік бөлуден шамалы ерекшелену керек (7.1-сурет) (25.1-сурет):

$$t = pD_g / (2 p), \quad (25.1)$$

мұнда D_g — зәкір өзегінің диаметрі, мм.

Зәкір орамдары әдетте екі қабатты етіп орындайды. Олар келесі өлшемдермен сипатталады: S секциялар саны; Z пазалар (шынайы) саны: $S_n = S/Z$ бір пазада өтетін секциялар саны; секцияның иірімдер саны; N орамдағы пазалық жақтардың саны; $n_p = N/Z = 2 w_c S_n$ бір пазадағы пазалық жақтардың санымен сипатталады.

Үстінгі пазалық жағы бір секцияның және екінші секцияның төменгі пазалық жағы бір пазада жатып, элементарлы пазаны құрайды. Шынайы пазадағы Z_{II} элементарлы пазаларының саны бір пазада $S_{II} = S/Z$ өтетін секциялар санымен анықталады (25.2-суреті).

Зәкірдің орамдарының сызбаларын ашық етіп жасайды, мұнда барлық секциялар бір иірімді болады. Бұл жағдайда әр секцияда, ол екі пазалық жақты қамтиды, олар бір элементарлы пазаға тең. Секция ұштарын коллекторлы пластиналарға қосады,



$$Z = Z_g \quad Z = 2Z_g \quad Z = 3Z_g$$

25.1-сурет. Зәкір өзегінде 25.2-сурет. Пазаның элементті жақтары секциялар

Мұнда әр пластинаға бір секцияның басы мен екіншісінің ұшы қосылады, яғни әр секцияға бір коллекторлық пластинадан келеді. Осылайша, зәкір орамы үшін әділетті $S = Z_b = K$, мұнда $Z_{..}$ — элементарлы пазалардың саны; K — коллектордағы коллекторлы пластиналар саны. Бір шынайы пазаға келетін секциялар саны Z/YZ қатынасымен анықталады.

Зәкірдік қарапайым ілмекті орамы. Зәкірдің қарапайым ілмекті орамы әр секция екі қатар жатқан коллекторды пластиналарға байланыстырылады. Зәкір өзегіндегі секцияларды салу кезінде әр келесі секцияның басы алдыңғының ұшымен байланысады, біртіндеп зәкір бетімен (және коллектор) орын ауыстырып, зәкірдің бір айналымына орамның барлық секциялары сәйкес келеді. Нәтижесінде соңғы секцияның ұшы бірінші секция басына қосылған, яғни зәкір орамы тұйықталады.

25.3а-суретінде қарапайым ілмекті орамның ашық сызбалары берілген, онда орамның қадамдары көрсетілген – зәкір бойынша пазалық бөліктердің арасындағы қашықтық көрсетілген: бірінші жартылай қадам зәкір бойынша, екінші жартылай қадам Y_2 зәкір бойынша және y зәкірі бойынша нәтижеленуші қадам.

Егер орам секциясын салу зәкір бойынша сол жақтан оң жаққа жүргізіледі, онда орам оң жүрісті деп аталады (25.3а-суреті), ал егер секцияларды төсеу сол жақтан оң жаққа жүргізілсе, онда орам сол жүрісті деп аталады (25.3б-суреті). Оң жүрісті орам үшін нәтижеленуші қадамы

$$Y = y_1 \cdot Y_2. \quad (25.2)$$

Екі коллекторлық пластиналар арасындағы қашықтық, оған бір секцияның басы мен соңы байланысқан, оны Y_k коллекторы бойынша орам қадамы деп аталады. Зәкір бойыншай орам қадамдары элементарлы пазаларда білдіріледі, ал коллектор бойынша қадам – коллекторлық бөліністерде (пластиналарда).

a

б

в

25.3-сурет. Қарапайым ілмекті орам:
a — оң жүрісті; *б* — сол жүрісті; *в* — ашық сызба

Қарапайым ілмекті орамда басы мен соңы қатар жатқан коллекторлық пластиналарға қосылған, яғни $y_{-y_0} = \pm 1$, онда қосу белгісі оң жақты жүріс орамына сәйкес, ал алу белгісі – сол жақты жүріс. Қарапайым ілмекті орамның барлық қадамдарын анықтау үшін зәкір бойынша бірінші жартылай қадамды есептеу жеткілікті:

$$y_2 = [Z / (2p)] m e, \quad (25.3)$$

мұнда e — бірліктен кем бірқатар көлемі, олардың мәнін қосып немесе алып бүтін санға тең қадамды y_1 алады.

Зәкір бойынша орамның жартылай екінші қадам

$$y_2 = y_1 m y = y_1 m 1 (25.4)$$

25.1-мысал. Қадамдарды орындап, тұрақты ток машинасының төрт полюсті машинаның зәкірінің қарапайым ілмекті орамының ашық сызбасын орындау ($2p = 4$). Оң жүрісті орамы 12 секцияны қамтиды.

Шешуі. (25.3) бойынша зәкір бойынша бірінші жартылай қадам

$$y_1 = [Z_3 / (2p)] m e = (12/4) m 0 = 3 \text{ паза.}$$

(25.4) бойынша екінші жартылай қадам

$$y_2 = y_1 - y = 3 - 1 = 2 \text{ паза.}$$

Орам сызбасын орындау кірісу алдында барлық пазалар мен секцияларды белгілеп және нөмірлеп, болжалды сызбасына магнитті полюстердің кескінін салып, полярлығын көрсету керек (25.3в-суреті). Бұл кезде ескеру керек, кескін сызбасында белгіленген полюс емес, зәкір астында орналасқан полюстің айнадағы келбеті. Содан кейін коллекторлы пластиналарды көрсетеді және сызбаға бірінші бөлігін салады, оның пазалық бөліктері 1 және 4 пазаларда орналасқан. Осы секцияның басы мен ұштары байланысқан коллекторлық пластиналар 1 және 2 деп белгілейді. Содан кейін қалған пластиналарды нөмірлеп, сызбаға қалған секцияларды салады (2,3,4 және т.б.). соңғы секция 12 орамды тұйықтау керек, ол сызбаның дұрыс орындалуын куәландырады.

Ары қарай сызбада қылшақтарды көрсетеді. А және В қылшақтары арасындағы қашықтық ол тең болу керек, яғни полюстік бөлініске сәйкес келу керек. Коллектордағы қылшақтардың орналасуына қатысты айтсақ, онда келесіні басшылыққа алу керек. Мәселен, зәкір орамының сыртқы тізбекпен электрлі байланысы коллектор арқылы емес, орамның пазалық бөліктері арқылы тікелей жүзеге асырылады, оған шартты қылшақтар салынған (25.4 а-суреті). Бұл жағдайда машинаның ең үлкен ЭҚК геометриялық бейтараптағы шартты қылшақтардың қалпына сәйкес келеді. (25.4-қараңыз).

Бірақ коллекторлық пластиналар олармен байланысқан секциялардың пазалық жақтарына қатысты 0,5 т ығысқан (25.4б-суреті), онда шынайы қылшақтарға көшкенде, оларды коллекторда 25.3в-суретінде көрсетілгендей басты полюстердің осі бойынша орналастыру керек.

Қылшақтардың полярлығын анықтау кезінде машина генераторлық режимде жұмыс жасайды және зәкір тілше бағытында айналады (25.3в-суретті қараңыз). «Оң жақ қолы» ережесін пайдаланып, секцияларда келтірілген ЭКК (ток) бағытын келтіреді. Нәтижесінде келесіні аламыз, A_1 және A_2 қылшақтары, одан ток сыртқы тізбекке өтеді, оң болып табылады, ал B_1 және B_2 қылшақтары – теріс. Бірдей полярлық қылшақтар тиісті полярлықтың шығыстарына параллель байланыстырады.

Зәкір орамының параллель тармақтары. Егер зәкір орамының секцияларындағы токтың өтуін бақыласа (25.3в-суреті), онда бір-біріне параллель байланысқан және параллель тармақтар деп аталатын төрт учаскеден тұратынын байқауға болады. Әр параллель тармақ бірдей бағыттағы тогы бар ретімен байланысқан секцияларды қамтиды. Параллель тармақтарда секцияларды үлестіру орамның электрлі сызбасында көрсетілген (25.5-сурет). Бұл сызбаны орамның ашық сызбасынан (25.3в-суреті) келесідей алады. Қағаз парағында қылшақтар мен олармен байланысы бар коллекторлық пластиналарды орналастырады, бұл 25.5-суретінде көрсетілген. Содан кейін 1 секциясынан басталған орам айналамын жүргізеді, ол B_1 қылшағымен қысқа тұйықталған. Ары қарай 2 және 3 секциялары өтеді, олар параллель тармақты түзеді. Осылайша барлық қалған секциялардан өтеді, нәтижесінде төрт параллель тармағы бар сызбаны аламыз, әр тармақта екі секциядан.

Алынған сызбаларға сәйкес, зәкір орамының ЭКК бір параллель тармақтың ЭКК көлемімен анықталады, онда орам тогының көлемі орамның барлық токтарының жиынтығымен анықталады:

25.5-сурет. 25.3в-суретінде бейнеленген орамның электрлі сызбасы

$$I_a = 2a i_a \quad (25.5)$$

мұнда $2a$ — зәкір орамдарының параллель тармақтарының саны; i_a — бір параллель тармақтың тогы.

Қарапайым ілмекті орамда параллель тармақардың саны машинаның басты полюстерінің санына тең: $2a = 2p$.

Зәкір орамындағы параллель тармақтардың санын машинаның негізгі өлшемдерінің мәні — ток пен кернеу анықтайтынын байқау қиын емес.

25.2-мысал. Тұрақты токтың алты полюсті машинаның зәкірінде 36 секциядан тұратын қарапайым ілмекті орамы бар. Машинаның зәкір орамында ЭҚК және ток күшін анықтау егер әр секцияда ЭҚК 10 В келтірілсе, сымның қимасы 15 А аспайтын токқа есептелген.

Шешуі. Орамдағы параллель тармақтардың саны $2a = 2p = 6$, мұнда әр параллель тармақта $\mathcal{E}_a = S/(2a) = 36/6 = 6$ секциялар болады. Яғни зәкір орамының ЭҚК $\mathcal{E}_a = 6 \cdot 10 = 60$ В, ал машинаның жол берілетін тогы $I_a = 6 \cdot 15 = 90$ А.

Егер машинаның өзге өзгеріссіз жағдайларында сегіз полюсі болса, онда оның ЭҚК 40 В дейін азаятын еді, ал ток күші 120 А дейін артатын еді.

Күрделі ілмекті орам. Тұрақты токтың төмен вольтті машиналарында қажет болатындай параллель тармақтарының саны көп ілмекті орамды алу кезінде күрделі ілмекті орамды қолданады. Мұндай орамның бірнеше (әдетте екі) қарапайым ілмекті орамы бар, олар бір зәкірде орналасып, бір коллекторға біріктіреді. Күрделі ілмекті орамдағы параллель тармақтардың саны $2a = 2pm$,

мұнда m — қарапайым ілмекті орамдар саны, одан күрделі орам құрылған (әдетте $m = 2$). Күрделі ілмекті орамда қылшақтардың ені әр қылшақ біруақытта коллекторлы пластиналарды жапты, яғни күрделіде қарапайым орам қанша болса, сонша пластина. Мұнда қарапайым орамдар бір-біріне параллель байланысқан болады. 25.6-суретте екі қарапайымнан құралған күрделі ілмекті орамның ашық сызбасы берілген: ($m = 2$): $2p = 4$; $Z_0 = 16$. Зәкір бойынша орамның нәтижеленуші қадамы және коллектор бойынша қадамы күрделі ілмекті орамда тең болып қабылданады: $y = y_k = m$. Бірінші ішінара қадам зәкір бойынша (25.3) бойынша анықталады.

25.3-мысал. Төрт полюсті машинаның зәкірдің күрделі ілмекті орамы бар, 16 секциядан тұрады. Осы орамның ашық сызбасын орындау, $m = 2$ қабылданады.

Шешуі. Орам қадамы: $y_1 = Z_0/(2p) = 16/4 = 4$ паза; $y = y_k = 2$ паза; $Y_2 = y_1 - y = 4 - 2 = 2$ паза.

Алдымен барлық секцияларды қарапайым орамның бірінде орналастырады (тақ нөмірлері бар секциялар: 1,3,5 және т.б.), ал осы секциялардың ұштары коллектордың тақ пластиналарына байланысқан (25.6-сурет). Содан кейін секция зәкірінде 2,4,6 нөмірлерімен өзге ілмекті орамда орналастырады. Сызбада ені екі коллекторлық бөлінісіне тең қылшақтарды бейнелейміз. Орамның параллель тармақтарының саны $2p = 2pm = 4 \cdot 2 = 8$.

25.2. Зәкірдің толқынды орамдары

Қарапайым толқынды орам. Қарапайым толқынды орам секцияларды ретімен байланыстырған кезде полюстердің әр түрлі жұптарында (25.7-сурет). Қарапайым толқынды орам секцияларының ұштары

жаңа орамда коллекторлық пластиналарға байланысқан, олар бір-бірінен $y_k = y$ коллектор бойынша орамның қадам қашықтығына алыс орналасқан. Зәкір бойынша бір айналымда машинада қанша полюстер жұбы бар болса соншалықты секцияға бөлінеді, мұнда секцияның соңғы айналымының ұшы пластинаға байланыстырады, ол бастапқының қасында орналасқан.

Қарапайым толқынды орамды сол жүрісті деп атайды, егер секцияларды айналу бойынша соңғының ұшы бастапқыдан сол жақтан орналасқан пластинаға байланысқан (25.7а-суреті). Егер бұл пластина бастапқыдан оң жақта орналасса, онда оны оң жақты деп атайды (25.7 б-суреті). Толқынды орам секциялары бір иірімді және көп иірімді бола алады. Коллектор бойынша қарапайым толқынды орам қадамы

$$y_k = y = (K m 1) / p. \quad (25.6)$$

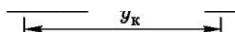
алу белгісі сол жақты орамға, ал қосу белгісі – оң жақтағы орамға сәйкес. Оң жақты орам практикалық қолданыс таппаған, себебі оны орындау алдыңғы бөліктерін қиылыстыру үшін мыстың қосымша шығынымен байланысты.

Орамның бірінші жартылай қадамы (25.3) бойынша, ал екінші жартылай қадам $y_2 = y$ — y_x бойынша анықталады.

25.4-мысал. Тұрақты токтың төрт полюсті машинасының 13 секциядан тұратын қарапайым толқынды зәкір орамы бар. Толық сызба мен осы орамның параллель тармақтарының сызбасын құру.

Шешуі. Орам қадамы: $y_k = y = (K m 1) / p = (13 - 1) / 2 = 6$ паз; $y_1 = [Z_a / (2p)] m$
 $e = 13 / 4 = 0,25 = 3$ паз; $y_2 = y = y_1 = 6 - 3 = 3$ паз.

Бірінші айналым кезінде зәкір бойынша 1 және 7 секцияларын саламыз (25.7в-суреті). Екінші айналым кезінде 13 және 6 секцияларын саламыз, барлық секциялар салынбайынша орам тұйықталмайды.

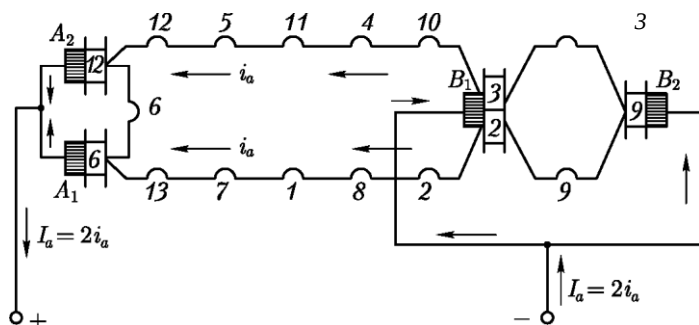


б

в

25.7-сурет. Қарапайым толқынды орамы:

a — сол жақ жүрісті; ***б*** — оң жақ жүрісті; ***в*** — ашық сызба



25.8-сүрет. 25.7в-сүретінде бейнеленген орамның электрлі сызбасы

Қарастырылып отырған уақыт мезетінде 3,6 және 9 секциялары бірдей полярлық пен олардың байланыстыратын жетектің қылшағы арқылы қысқа тұйықталады. Содан кейін қылшақтардың полярлығын анықтаймыз. Ары қарай электрлі сызбаларды орындаймыз (параллель тармақтардың сызбасы), оларға сәйкес (25.8-сүрет) орам екі параллель тармақтан құралған ($2a = 2$). Бұл қарапайым толқынды орамдарға тән, олардың параллель тармақтарының саны полюстер санына байланысты емес және әрдайым екіге тең.

Қарастырылған сызбаларға сәйкес бір параллель тармаққа енген секциялар машинаның барлық полюстерімен тең үлестірілген. Айта кету керек, қарапайым толқынды орамда қарапайым толқынды орамда екі қылшақ жететін еді, мысалы B_2 және A_2 қылшақтары. Бірақ бұл жағдайда орам симметриясы сақталмай мен параллель тармақтардағы секциялар саны бірдей болмайтын еді: бір тармақта жеті секция, ал екіншісінде – алты. Сондықтан қарапайым толқынды орамы бар машиналарда қылшақтардың толық топтамасын орнатады, басты полюстер қанша болса, сонша, бұл әр қылшаққа келетін ток мәнін азайтуға, яғни коллектор мөлшерін азайтуға мүмкіндік береді.

Күрделі толқынды орам (25.9-сүрет). Бірнеше қарапайым толқынды орам (әдетте екі) бір зәкірде орналастырып, күрделі толқынды орамды түзеді. Күрделі толқынды орамда параллель тармақтардың саны $2a = 2m$ (әдетте $2a = 4$), мұнда m — күрделідегі қарапайым орамдардың саны (әдетте $m = 2$).

Күрделіге енетін қарапайым орамдарды параллель қылшақтар арқылы байланыстырады. Коллектор бойынша қадам, яғни зәкір бойынша нәтижеленуші қадам

$$y_K = y = (K m m) / p. \quad (25.7)$$

(25.3) бойынша зәкір бойынша бірінші жартылай қадамды анықтайды.

25.5-мысал. Күрделі толқынды орам с $m = 2$ 18 секциядан тұрады. Осы орамның толық сызбасын орындау, егер $2p = 4$.

—о

о+



25.9-сурет. Күрделі толқынды орамның толық сызбасы

Шешуі. Орам қадамы: $y_1 = [Z_3 / (2p)] m e = 18/4 = 0,5 = 4$ паза;

$Y_K = y = (K m m) / p = (18 - 2) / 2 = 8$ паза; $y_2 = 8 - 4 = 4$ паза.

Орам сызбасын орындау тәртібі күрделі ілмекті орамға ұқсас: алдымен зәкір пазасына бір қарапайым орамды орнатады, ол тақ секциялардан тұрады, содан кейін жұп секциялардан тұратын екіншісі (25.9-сурет). Орамдағы параллель тармақтардың саны $2a = 4$.

25.3. Теңестіру байланыстары мен

зәкірдің құрамдастырылған орамдары

Зәкір орамының симметрия шарттары. Зәкір орамларын симметриялы деп атайды, егер оның параллель тармақтары бірдей электрлі қасиеттерге ие болса: бірдей электрлі қасиеттерге ие және бірдей ЭҚК индукстеледі. Зәкірдің симметриялы емес орамында зәкір тоғы параллель тармақтарда бірдей үлестірілмейді, ол орамның барлық параллель тармақтарында тегіс ток жүктемесін қамтамасыз етпейді. Ол бір тармақтардың артық жүктемесінің есебінен кейбіреулерінің жүктемесі жетіспейді. Нәтижесінде зәкір орамындағы электрлі шығындар артады, ал машинаның пайдалы қуаты азаяды.

Зәкір орамы симметрия шарттары деп аталатын белгілі шарттарды орындау кезінде ғана симметриялы болады.

Бірінші шарт. Орамның параллель тармақтарының әр жұбы бірдей секциялар санынан құралады. Бұл шарт орындалады, егер параллель тармақтардың әр жұбына секциялардың S бірдей саны келсе, яғни секциялары санының параллель тармақтардың a жұп санына қатынасы зәкір орамында бүтін санға тең (б.с.):

$$S/a = \text{ц.ч.} \quad (25.8)$$

Осы шарттарды ұстану кезінде параллель тармақтардың электр кедергісінің шарттары, сонымен қатар олардың ЭҚК бірдей болмайтынына көз жеткізу қиын емес. Бұл параллель тармақтарда барлық қажетсіз шығындары токтардың тең үлестірілмеуіне әкеледі.

Екінші шарт. Параллель тармақтардың әр жұбының секциялары экірде пазалардың бірдей санына ие болуы керек:

$$Z/a = \text{ц.ч.} \quad (25.9)$$

Ү ш і н ш і ш а р т . Орамның параллель тармақтарының әр жұбы басты полюстерінің жүйесіне қатысты бірдей қалыпта орналасады, ол кезінде орындалады.

$$2 p/a = \text{ц.ч.} \quad (25.10)$$

Күрделі ілмекті орам үшін $2 a = 2pm$. (25.10) қойып аламыз:

$$2 p/a = 2 p/(pm) = 2/m = \text{ц.ч.}$$

Осыған сәйкес, күрделі ілмекті орам $m = 2$ кезінде ғана симметриялы болады.

Теңестіру байланыстары. Көп полюсті машиналарда экір орамының параллель тармақтарының ЭҚК симметриялы орамдарының барлық шарттарын ұстану кезінде бірдей болмауы мүмкін. Оның себебі – магнитті симметрия еместігі, оның есебінен бір атты полюстердің магнитті ағыны бірдей болмайды. Бұл машинаны дайындау кезіндегі ақаулардан болады: тұғырқұйған кезде раковина болуы, полюстерді сапасыз жинау, экірді дұрыс орталықтандырмау, яғни қисық орнату, одан әуе саңылауы полюстерде бірдей болмайды.

Машина жұмысына магнитті симметриялы еместіктің әсері экір орамының түріне тәуелді. Толқынды орамдарда әр параллель тармақтардың секциялары машинаның барлық полюстерінде бірдей үлестірілген, сондықтан магнитті симметриялы еместігі параллель тармақтарда теңсіздікке әкелмейді, себебі ол орамның параллель тармақтарына бірдей әсер етеді.

Параллель тармақты құрайтын секция экірінің ілмекті орамдарында полюстердің аралық жұбында орналасқан. Сондықтан $2p > 2$ кезінде магнитті симметрия еместігі параллель тармақтардың ЭҚК теңсіздігінің себебі болады, ол экір орамында теңестіру токтарының туындауына әкеледі.



25.10-сурет. Магнитті симметриялы еместігі кезінде зәкірдің қарапайым параллель тармақтарының теңестіру токтары

Мысалы, зәкірді дұрыс орнатпаған кезде (25.10а-суреті) бірінші және төртінші параллель тармақтардың ЭҚК екінші және үшінші тармақтардың ЭҚК кем болады (төменгі полюстегі саңылау үстінгіге қарағанда кем). Мұнда B_1 және B_2 қылшақтарының потенциалдары бірдей болмайды және орамның параллель тармақтарында теңестіру γ_{yp} ток туындайды (25.10б-суреттері).

Бұл токтар аталған B_1 және B_2 қылшақтарды байланыстыратын шина арқылы тұйықталады және машинаның сыртқы тізбегіне өтпейді. Айта кету керек, қылшақтары арасында потенциалдардың u_{12} кішкентай айырмашылығы кезінде ток i_{yp} біршама елеулі бола алады, себебі параллель тармақтардың электрлі кедергісі $r_{\text{пв}}$ үлкен емес. Мысалы, $u_{12} = 2 \text{ В}$ және $r_{\text{пв}} = 0,01 \text{ Ом}$ кезінде теңестіру тогы $\gamma_{\text{yp}} = u_{12} / (2r_{\text{пв}}) = 2 / (2 \cdot 0,01) = 100 \text{ А}$.

Егер мұнда параллель тармақтың жүктеме тогы $\gamma_{\text{н}} = 200 \text{ А}$, онда орамның параллель тармақтарының токтары бірдей емес:

$$i_{a \text{ I}} = i_{a \text{ IV}} = \gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{yp}} = 200 - 100 = 100 \text{ А};$$

$$i_{a \text{ I}} + i_{a \text{ III}} = 4 \cdot 100 = 200 + 100 = 300 \text{ А}.$$

Параллель тармақтардың бірдей емес жүктемесі орамның қызып кетуіне және онда шығындардың артуына әкеледі. Аталған құбылыстар машинаның қалыпты жұмысын бұзады. Мысалы, кейбір қылшақтар жүктеме артық болады (қарастырылып отырған жағдайда - B_2 қылшағы), ол коллекторда қарқынды ұшқындауды тудырады (27.3-қараңыз). Қарапайым ілмекті орамдарда қылшақтың жүктемесінің теңсіздігін азайту үшін келесідей жасаймыз: теориялық тұрғыдан бірдей болуы керек зәкір орамдарының нүктелері бір-бірімен электрлі байланысады. Бұл жағдайда орамда туындайтын теңестіру токтары орам ішінде қылшаққа шыға алмайы тұйықталады.

Көрсетілген байланыстар мыс сымдармен орындалады және бірінші қатардағы теңестіру байланыстары деп аталады (теңестірушілер).

Тең потенциалды нүктелерімен байланыстыру үшін дерлік қолжетімді болып секция ұштары табылады, олар коллекторлық пластиналарға байланысқан немесе орамның алдыңғы бөліктерімен коллекторға қарсы жағынан байланысады.

Орамдағы потенциалы бірдей нүктелерінің саны машинадағы полюстер санына тең. Тең потенциалды көрші нүктелері арасындағы қашықтық $u_{\text{ур}}$ потенциалды қадамы деп аталады. Коллектор жағынан теңестіру байланыстарының орналасуы кезінде потенциалды қадам полюстер жұбына коллекторлық бөліністердің санымен білдіріледі

$$U_{\text{ур}} = K/a = K/p. \quad (25.11)$$

Экір орамында анықтала алатын бірінші қатардағы теңестірушілердің толық саны тең

$$N_{\text{ур}} = K/a. \quad (25.12)$$

Алайда теңестіру байланыстарының осындай саны үлкен қуаттағы машиналарда ғана емес, мысалы илемдік орнақ қозғалтқыштарында қолданады. Мысты үнемдеу және машина құрылысын жеңілдету мақсатында әдетте теңестірулердің толық емес саны қолданылады. Мысалы, төрт полюсті қозғалтқыштар 3-4 теңестіру байланыстарын жасайды. Теңестіру байланыстарын сыммен орындалады, олардың қимасы экір орамы сымның 25 — 50 % қимасын құрайды.

25.6-мысалы. 2 $p = 4$ машинада және 12 секциядан тұратын экірдің қарапайым ілмекті орамында бірінші қатардағы теңестірушілері орнатылады, ол әр екінші пластинаны жабдыктайды.

Ш е ш ү і. Потенциалды қадам $u_{\text{ур}} = K/p = 12/2 = 6$. Теңестірушілердің толық саны $U_{\text{ур}} = u_{\text{ур}} = K/a = 12/2 = 6$.

Тапсырманың шарттарына сәйкес 0,5 $N_{\text{ур}} = 3$ сызбада теңеушіні көрсетеміз, оны коллектор жағынан орналастырып (25.11-сурет) және пластиналармен келесідей байланыстырады: бірінші теңестірушіні 1 және 7, екінші 3-9, үшінші 5-11 пластиналармен байланыстырамыз.,

Күрделі ілмекті және толқынды орамдарда қарапайым орамдар күрделіні түзіп, қылшақты байланыс арқылы параллель байланысқан. Бірақ қылшақтардың барлық қарапайым орамдарымен бірдей байланысын қамтамасыз ету мүмкін емес, сондықтан қарапайым орамдары арасындағы ток күрделіні құрап, бірдей таралмайды, ол коллектор бойынша бірдей таралуын бұзады және ұшқын тудыруы мүмкін. Осы қажетсіз құбылысты жою үшін екінші қатардағы теңестіру байланыстарын қолданады, олардың көмегімен күрделіге түзілетін қарапайым орамдар тең потенциал нүктелерінде өзара электрлі байланысады. Осылайша, егер бірінші қатардағы теңестірулерді магнитті асимметрияның қажетсіз салдарын жойса, онда екінші қатардағы теңестірушілер коллектор бойынша және экірдің күрделі орамдары кезінде потенциалды үлестіру біркелкі еместігін бірден жояды.

25.11-сурет. Бірінші қатардың теңестіру байланыстары: a — орамның ашық сызбасы; b —

25.9-суретте екінші қатардағы теңестірушілері бар күрделі толқынды орамның сызбасы берілген, олар коллекторға қарсы жағынан орамның алдыңғы бөліктерінің тең потенциалының нүктелерін байланыстырады. Бұл нүктелер бір-бірінен потенциалды қадам қашықтығында орналасқан

$$Уур = K/a = 18/2 = 9.$$

2 секциясын 11 секциясымен, 3 секциясын 12 секциясымен байланыстырады (сызбада тек екі теңестіруші көрсетілген). Теңестірушілердің толық саны (25.12) бойынша анықталады, бірақ мысты үнемдеу тұрғысынан екінші қатардағы теңестірушілердің толымсызсанын жасайды.

Күрделі ілмекті орамдарда екінші қатардағы теңестірушілер 25.12-суретте көрсетілгендей орындалады. Бұл орамда қарапайым орамның әр секциясын коллектор пластиналарына байланыстырады, олар біреу арқылы орналасқан (мысалы, тақ пластиналар), онда олардың арасында орналасқан пластиналар (мысалы тақ) әр секцияның кернеуі екі бөлікке бөледі. Пластиналар арасында кернеуді тең үлестіру мақсатында бұл бөліктер бірдей болуы керек, яғни қатар жатқан пластиналар арасындағы кернеу (мысалы 1 және 2) секцияның кернеуінің жартысына тең болуы керек. Осы мақсатта орамда екінші қатардағы теңестірушілерді пайдаланады, олардың көмегімен коллекторға қарсы жақтан секция ортасын аралық пластинамен байланыстырады, аралық пластинамен байланыстырады (мысалы, 1 және 3 пластиналарға байланысқан секция ортасын 25.12-суретте көрсетілгендей 2 пластинамен байланыстырады). Мұндай теңестірушіні білік пен зәкір өзегі арасында арнайы тесік арқылы тарту керек болады.



Осылайша, егер күрделі толқынды орамдарда тек екінші қатардағы теңестірушілер қолданылса, онда күрделі ілмекті орамдарда бірінші және екінші қатардағы теңестірушілер пайдаланылады.

Құрамдастырылған орам.

Құрамдастырылған орам бір пазада орналасқан және ортақ коллекторға байланысқан ілмекті және толқынды орамдардың үйлесімін білдіреді. Осы орамның секциялары 25.13 а-суретінде көрсетілген. Орамдардың әрқайсысы екі қабатты болғандықтан, онда құрамдастырылған орамды зәкір пазаларында төрт қабаттап төсейді, ал коллектордың әр пластинасына төрт өткізгіштен жапсырады.

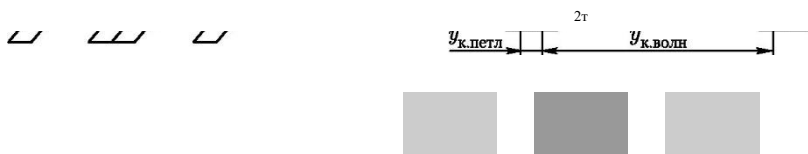
25.12-сурет.

Зәкірдің күрделі ілмекті орамында екінші қатардағы теңестіру байланыстары

Құрамдастырылған орамның артықшылығы – теңестіру байланыстары болмаған кезде параллель тармақтардың болуы. Алайда құрамдастырылған орамлы орындаудағы кейбір технологиялық қиындық олардың қолданысын шектейді. Әдетте бұл орамдар үлкен қуаттағы тұрақты ток машиналарында пайдаланылады, сонымен қатар теңестірулерді орындау күрделендірілген жылдам жүрісті машиналарда қолданылады.

25.13а-суретте зәкірдің құрамдастырылған орамының толық сызбасы берілген. Құрамдастырылған орамның секция қадамдарн бірдей етіп қабылдайды ($y_{1\text{петл}} = y_{1\text{волн}}$). Құрамдастырылған орамның зәкір қадамдарын орамды құрайтын қадамдар санына тең болып алынады:

$$y_{1\text{петл}} + y_{1\text{волн}} = \frac{Z_3 + Z_2 + Z_1}{2p} + y_{\text{ур}}$$



$y_{\text{ур}}$

а **б**
25.13-сурет. Зәкірдің құрамдастырылған

яғни зәкір бойынша құрамдастырылған орам қадамы потенциалды қадамға тең болады (25.11-қараңыз). Сондықтан құрамдастырылған орамда теңестірушілерге байланысуы керек пластина коллекторлары секциямен байланысқан болады.

Айта кетукерек, құрамдастырылған орам толқынды және ілмекті орамның құраушыларында параллель тармақтардың сандарының тең болуы шартында ғана орындала алады. Мұнда орамның параллель тармақтарының ЭҚК бірдей болуы керек. Ілмекті орамда параллель тармақтардың саны

$2a = 2p$, толқынды орамда $2a = 2$. Орамдарда параллель тармақтардың бірдей санын алу үшін толқынды орам $T_{\text{толн}} = p$. күрделі санымен орындалады. Құрамдастырылған орамда параллель тармақтардың саны

$$2a \text{ 2a : ілмек} + 2a \text{ Толқ. 4a іл мек}$$

25.4. Тұрақты ток машинасының электр қозғаушы күші мен электромагнитті мезеті

Электр қозғаушы күш. Ол зәкір орамында негізгі магнитті ағынмен индукстеледі. Осы ағынның өрнегін алу үшін машина саңылауындағы индукцияны үлестіру кестесіне жүгіну керек (көлденең қимасында), ол әр полюс шегінде саңылауы бірдей болған кезде қысық сызықты трапеция түрінде болады (25.14а-суреті, 1-сызба). Саңылаудағы индукцияны шынайы үлестіруді тік бұрыштыға ауыстырамыз (2-сызба), мұнда тік бұрыштың биіктігі B_d индукцияның максималды мәніне тең, ал ені – b , көлеміне тең болу керек, онда тік бұрыштың ауданы қысық сызықты трапециямен шектелген. b көлемі есептік полюсті доға деп аталады. Тұрақты ток машиналарында есептік полюсті доға B_p полюсті доғасынан ерекшеленеді

$$B_p \ll B_m + 2d, \quad (25.13)$$

немесе полюсті жабындаудың коэффициентін пайдаланып, $a = B/t$, аламыз

$$B = a, t. \quad (25.14)$$

(25.14) ескере отырып, негізгі магнитті ағын (B_0)

$$\Phi = B_d b, l, 10^{-6} = B_d l, a, t. 10^{-6}, \quad (25.15)$$

мұнда t — полюстік бөлу, мм; l , — зәкірдің есептік ұзындығы, мм.

Полюстік жабу a коэффициентінің тұрақты ток машина қасиеттеріне әсер етеді. Бірінші қарағанда a , үлкен мәнін таңдау тиімді, себебі бұл Φ магнитті ағынның артуына септігін тигізеді, яғни машина қуатының артуына (белгіленген көлемде). Алайда

25.14-сурет. Тұрақты ток машинасының әуе саңылауында магнитті индукцияны үлестіру

a тым үлкен мәні аралық полюстердің ұштамаларының жақындауына әкеледі, ол шашырату магнитті ағынының өсуіне септігін тигізеді және машинаның өзге қасиеттерінде қолайсыз көрініс табады. Мұнда машинаның пайдалы ағыны болжалды мәнінен кем болуы мүмкін (26.1-қараңыз). Әдетте, $\beta = 0,6 \div 0,8$, мұнда a мәнінен аз, қуаты шағын машиналарға сәйкес келеді.

25.14б-суретінде басты полюстің бойлық қимасы мен радиальді желдету арналары бар зәкір көрсетілген (18.2-қараңыз). Әуе саңылауында магнитті индукцияны үлестіру кестесі машинаның бойлық кесіндісі бойынша тісті қисықтың түрі бар (1-сызба). Бұл тікбұрыштың қисығын биіктігімен B_d және көлем негізімен l , алмастырамыз, тік бұрыштың ауданы шектелген тісті қисығынның ауданына тең. Бұл негіздеме зәкірдің есептік ұзындығын білдіреді (мм):

$$l_s = 0,5 (l_m + l), \quad (25.16)$$

мұнда l_m — полюс ұзындығы, мм;

$$l = l_a - n_K b_K \quad (25.17)$$

— радиальді желдету арналарынсыз зәкір ұзындығы, мм; l_a — зәкірдің жалпы ұзындығы, соның ішінде желдету арналары; мм; b_K — желдету арнасының ені (әдетте 10 мм), мм.

ЭҚК формуласын шығарған кезде саңылауда индукцияны тік бұрышты үлестіруден шығамыз, мұнда есептік полюстік b доғасының учаскесінде магнитті индукция $= a/t B_d$ тең, ал оның шегінен тыс нольге тең және b_s , шегінен тыс орналасқан өткізгіштерде ЭҚК келтірілмейді. Бұл зәкір орамындағы пазалық өткізгіштердің жалпы санының $N_t = a \cdot N$ мәніне дейін азаюына баламалы.

Осыған байланысты және орамның ЭҚК ескере отырып, бір параллель тармаққа енген секциялардың ЭҚК сомасында өткізгіштердің пазалық санымен анықталады $N/(20)$, аламыз:

$$E_a = E_{np} \wedge (2a)] a, \quad (25.18)$$

мұнда

$$E_{np} = Bit \ v \quad (25.19)$$

— орам бір пазалық өткізгішінің ЭҚК, оның белсенді ұзындығы l_r .

Айналатын зәкірдің (м/с) айналма жылдамдығы айналу жиілігімен алмастырамыз (айн/мин):

$$v = p D_a n / 60 = 2 \ p \ \text{тп} / 60,$$

мұндар $D_a = 2 \ p \ \text{т}$.

(25.18) және (25.19) ескере отырып аламыз

$$E_a = III_c \ \text{та}, \frac{2}{\text{рп } N \ 60 \ 2a}$$

Немесе $B_d, \ \text{та}, = \Phi$ өрнегін ескере отырып, тұрақты ток машинасының өрнегін (В):

$$E_a = \frac{\Phi}{60a} = c_c \Phi n, \quad (25.20)$$

мұнда

$$c_c = pN / (60a) \quad (25.21)$$

— осы машина үшін тұрақты көлем;; Φ — негізгі магнитті ағын, Вб; n — зәкірдің айналу жиілігі, айн/мин.

Зәкір орамының ЭҚК y_1 секцияның еніне байланысты. ЭҚК ең үлкен мәні толық (диаметральді) $y_1 = \tau$ қадамына сәйкес келеді, себебі бұл жағдайда орамның әр секциясымен бар негізгі магнитті Φ ағыны байланысады. Егер секция ($y < \tau$) қысқартылса, онда әр секция негізгі ағынның бөлігімен ғана бірігеді, сондықтан зәкір орамы азаяды. Секцияның қадамы ұзартылған кезде ($y > \tau$) әсері сондай, себебі бұл жағдайда орамның әр сериясы бір полюстер жұбының негізгі ағынымен байланысады және жартылай көрші жұппен байланысады, оның бағыты қарама-қарсы, сондықтан әр секциямен байланысқан нәтижеленуші ағын полюстердің бір жұбының ағынынан кем болады. Осы себеппен тұрақты ток машиналарында толық және қысқартылған қадамы бар секциялар кең қолданыс тапты.

Зәкір орамының ЭҚК көлемі қылшақтың қалпына әсер етеді: қылшақтың геометриялық бейтарапқа орналасуы үлкен ЭҚК,

себебі бұл жағдайда орамның әр параллель тармағында барлық секциялардың ЭҚК бағыты бірдей; егер қылшақтарды раптан ығыстырса, онда параллель тармақтарда ЭҚК қарсы бағыты бар секциялар орналасады, нәтижесінде зәкір орамының ЭҚК азайтылады.

Коллекторлық пластиналардың саны жеткілікті болған кезде машиналар қылшақтарды бейтараптан ығысуы кезінде $\cos b$ көбейткішімен ескеріледі:

25.15. b бұрышына геометриялық бйтарабы бар қылшақтардың ығысуы кезінде зәкір орамында ЭҚК келтіру

$$E_a = c_e F n \cos b, \quad (25.22)$$

мұнда b — бейтарапқа қатысты қылшақ білігін ығыстыру бұрышы (25.15-сурет).

угол смещения оси щеток отно-

Электромагнитті мезет. Зәкір орамыны пазалық өткізгіштері бойынша ток өткен кезде әр өткізгіште электромагнитті күш пайда болады:

$$F^* = B d l i_a. \quad (25.23)$$

Барлық электромагнитті күштердің жиынтығы зәкірде Y_{zm} , ол зәкір өзегінің радиусына тең иыққа ($D_d/2$), әсер етіп, зәкірде M электромагнитті мезетін тудырады.

Саңылауда магнитті индукцияны үлестірудің тікбұрышты кестесіне (25.14а-суреті, 2-сызбасы) байланысты күші Y_{zm} пазалық өткізгіштердің санына $N_i = a_i N$ біруақытта әсер етеді. Яғни тұрақты ток машинасының электромагнитті мезеті ($N \text{ м}$)

$$M = B_z M^p K^{(2)}.$$

$Y_{zm} = B_z l i_a$, ескере отырып, сонымен қатар параллель тармақтың тогы $i_a = I_a / (2a)$, аламыз

$$M = B_z k [I_a / (2a)] a_i N (D_d / 2).$$

Негізгі магнитті ағынның (25.15) өрнегін пайдалана отырып, сонымен қатар $D_a = 2pt/p$ ескере отырып, электромагнитті мезеттің өрнегін аламыз ($H\text{-}m$):

$$M = F I_a = c_m F I_a, \quad (25.24)$$

мұнда I_a — зәкір орамындағы ток, А;

$$c_m = pN / (2pa) \quad (25.25)$$

— осы машина үшін тұрақты көлем (c_e [см. (25.21) көлеміне сәйкес]).

Тұрақты көлемдер арасында өзара байланыс бар: $c_m / c_e = 60 \text{ apN} / (pN \text{ } 2 \text{ pa}) = 30/p = 9,55$

немесе

$$c_m = 9,55c_e. \quad (25.25a)$$

Машинаның электромагнитті мезеті қозғалтқышты режимде жұмыс жасаған кезде айналатын болады, ал генераторлық режимде – жетекті қозғалтқыштың айналатын мезетіне қатысты тежелуші.

(25.20) –ден (25.24)-ге қойып негізгі магнитті ағынның өрнегін аламыз

$$\Phi = Ea/(c_e n),$$

электромагнитті мезеттің тағы бір өрнегін аламыз:

$$M = [60/(2 \text{ } pn)]EaIa = 9,55 \text{ Рэм}/n = \text{Рэм}/w, \quad (25.26)$$

мұнда

$$w = 2\pi n/60 = 0,105n$$

—Зәкірдің бұрыштық айналу жылдамдығы, рад/с,

$$\text{Рэм} = EaIa \quad (25.27)$$

—тұрақты ток машинасының электромагнитті қуаты, Вт.

(25.26) сәйкес, қуаты тең машиналарда электромагнитті мезет зәкірдің айналу жиілігі аз машинада артық.

25.5. Зәкір орамының түрін таңдау

Тұрақты ток машинасында белгілібір зәкір орамының түрін қолдау техникалық-экономикалық талаптармен анықталады. Орамның таңдалған түрі берілген токта машинадақажетті ЭҚК қамтамасыз етеді. Мұнда теңестіру сандарының минималды санына ұмтылады. Экономикалық сипаттағы талаптар орамның түрін таңдаған кезде зәкір өзегінің пазаларын үздік пайдалануға саяды, ол пазаны мыспен толтыру коэффициентінің мәнімен анықталады (8.4.-қараңыз).

Орамның таңдалған түрі пазалық өткізгіштердің N кем санын қамтуы керек, себебі кері жағдайда паза ауданының елеулі бөлігі осы өткізгіштердің оқшаулануымен қамтылаалады. (25.20) өрнегін түрлендіре отырып, аламыз

$$N = 60aE_a/(pFn). \quad (25.28)$$

Осыған сәйкес E_a , p , Φ және n берілген кезінде орамдағы өткізгіштер саны параллель тармақтардың жұбы санына тура пропорционал.

Полюстер саны 2р	Зәкір тогының күші I_a, A	Зәкір орамының түрі
2	-	Қарапайым ілмекті
4	700 дейін	» толқынды
4	700 артық дейін 1400	» ілмекті немесе құрамдастырылған
4	1400 артық	Күрделі ілмекті ($m = 2$) немесе құрамдастырылған

Сондықтан орам түрін таңдау кезінде параллель тармақтарының минималды саны бар зәкір орамдары көп таңдалады, мысалы, $2a = 2$ бар қарапайым толқынды орам, ол теңестіру байланыстарын талап етпейді. 25.1-кестеде жалпы қолданыстық арналымдағы тұрақты ток қозғалтқыштары үшін зәкір орамының түрін полюстер саны мен зәкір тогының күшіне байланысты таңдау кеңестері берілен.

Зәкірдің қарапайым толқынды орамын қолдануды шектейтін шарттарға біріншіден параллель тармақтағы токтың жол берілетін мәні ($300 — 400 A$) мен аралық коллекторлық пластиналар $i_{к,ср} = 2pU/K$ арасындағы орташа мәні жатқызылады, ол аспауы керек (B):

Қуаты 1 кВт дейінгі қуат.....	25 — 30
Орамды өтеусіз 1 кВт қуаты бар машина.....	16
Өтемдеуіш орамы бар машина.....	20

Көрсетілген шекті мәндері $i_{к,ср}$ өзге түрдегі зәкір орамдарына таралады. Көрсетілген шектеулерден асқан кезде машинада жол берілмейтін құбылыстардың туындауы қауіп тудырады, ол шеңбер от деп аталады (27.4-сурет).

Бақылау сұрақтары:

1. Зәкір орамының ауыспалы ток коллекторсыз машинаның статор орамдарына қарағанда негізгі ерекшелігі қандай?
2. Зәкір орамы қандай сипаттамалармен сипатталады?
3. Қарапайым ілмекті және қарапайым толқынды орамдар жағдайында алты полюсті зәкір орамының параллель тармақтары қанша?
4. Егер қарапайым толқынды орамды қарапайым ілмектіге ауыстырған кезде секциялар саны өзгеріссіз қалған кезде алты полюсті машина зәкірінің орамы ЭҚК неше рет өзгереді?
5. Магнитті асимметрия дегеніміз не және оның салдары қандай?

6. Зәкірдің қандай орамдарында бірінші және екінші қатардағы теңестірушілерді қолданады?
7. Құрамдастырылған орамның артықшылықтары қандай?
8. Машиның ЭҚК секция кендігі мен қылшақтардың орналасуына қалай әсер етеді?
9. Зәкір орамының түрін таңдаған кезде қандай пайымдауларды басшылыққа алады?

26 тарау

ТҰРАҚТЫ ТОК МАШИНАСЫНЫҢ МАГНИТТІ ӨРІСІ

26.1. Тұрақты ток машинасының магнитті тізбегі

Тұрақты ток машинасының магнитті жүйесі тұғырдан (бұғау), полюсті ұштамалары бар басты полюстерінің өзеклерінен, әуе саңылауы мен зәкір өзегінен тұрады.

26.1-суретте төрт полюсті машинаның магнитті өрісінің бейнесі берілген. Мұнда бос жүріс режимінде жұмыс жасаған машина ескеріледі, МҚК қоздыру орамымен ғана құрылады, ал зәкір орамында және қосалқы полюстердің орамында ток жоқ және оның аздығы сонша оның бейнеге беретін магнитті өрісіне әсерін ескермеуге болады. Жеңілдету мақсатында суретте қосалқы полюстер көрсетілмеген, себебі бос жүріс режимінде олардың магнитті өріс бейнесіне әсері елеусіз. 26.1-суретіне сәйкес басты полюстердің магнитті ағын екі тең емес бөліктерден тұрады: үлкен бөлігі негізгі Φ магнитті ағынын түзеді, ал кішісі – $\Phi_{ст}$ шашырату полюстерінің магнитті ағыны. Шашырату ағыны шашырату коэффициентімен ескеріледі s_m

(20.1-қараңыз).



26.1-суреті. Бос жүрісті режиміндегі тұрақты ток машинасының магнитті өрісі



26.2- сурет. Тұрақты ток төрт полюсті машинасының магнитті тізбегінің есептік бөлігі

Қоздыру орамының магнитті қозғаушы күші бос жүріс режимінде полюстер жұбында магнитті тізбек бөліктерінде магнитті кернеу жиынтығымен анықталады (26.2-сурет):

$$\begin{aligned} \sum F = 2F_d + 2F_m + F_a + F_{\text{я}} &= 2F_d + \end{aligned} \quad (26.1)$$

мұнда F_d , F_m , F_a , $F_{\text{я}}$ — әуе саңылауының, зәкірдің тісті қабатының, басты полюстің, зәкір арқасының, тұғыр (бұғау) магнитті кернеуі сәйкесінше.

Егер машинаның өтемдеуіш орамы болса (26.4-қараңыз), онда (26.1) тағы F_m бір қосылғышты енгізу керек, ол басты полюстің тісті қабатының магнитті кернеуін білдіреді.

Тұрақты ток машинасының магнитті тізбегі учаскелерінде магнитті кернеуді есептеу тәртібі асинхронды машинаға ұқсас (11-бөлімді қараңыз). Мұнда F_m басты полюс тұғыры мен өзегінің магнитті кернеулерін есептеу кезінде басты полюстің магнитті ағынымен жүргізеді, ол Φ негізгі ағыннан $\Phi_{\text{ст}}$ шашырату ағынының мәніне артық:

$$F_m = \Phi + \Phi_a = \Phi (1 + \sigma),$$

мұнда σ және $10^{-3}/\tau = 0,10 \div 0,25$ — магнитті шашырату коэффициенті.

ЭҚК берілген мәнінде машинаның негізгі магнитті ағынның қажетті мәнін анықтайды ($B\delta$) (25.20-қараңыз):

Бұдан әрі магнитті тізбектің әр учаскесі үшін магнитті индукцияны есептейді:

$$B_x = \Phi_x / B_{\delta}, \quad (26.3)$$

мұнда Φ_x — магнитті тізбектің берілген учаскесіндегі магнитті ағын, $B\delta$; S_x — осы учаскенің көлденең қимасының ауданы, м^2 .

Кестелер немесе ферромагнитті материалдарға сәйкес келетін магниттендіру қисығы бойынша H_x , магнитті тізбегінің учаскелерінде магнитті өріс кернеуін табады, содан кейін магнитті кернеуді (A):

$$F = H \cdot l$$

$$X^{xx} X^{yy} X^{zz}$$

және полюстер жұбына қоздыру орамының МҚК (26.1) бойынша анықтайды.

Магнитті тізбектің түрлі учаскелеріндегі магнитті кернеу мәндері бірдей емес және осы учаскелердің магнитті кедергісіне байланысты. Ең үлкен магнитті кедергіге әуе саңылауы ие, сондықтан магнитті кернеу F_d қосылатын өрнектердің кез келгенінен артық (26.1).

Магнитті тізбектің өзге учаскелері ферромагнитті материалдардан орындайды. Тұрақты ток машиналарда магнитті тізбектің түрлі элементтерін дайындау үшін келесі материалдарды қолданады.

Зәкірдің өзегі – қалыңдығы 0,5 мм 2013, 2312 және 2411 маркасындағы жұқа табакты электротехникалық болат.

Басты полюстің өзегі - қалыңдығы 1 мм 3411 маркалы табакты анизотропты (суық илемделген) болат, пластинаны оқшауламайды.

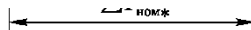
Тұғыр – қуаты шағын машиналарда тұғырды болат тұтас тартылған құбырлардан орындайды, ал орташа және үлкен қуаттағы машиналар үшін тұғырды Ст3 маркалы болаттан табакты құрылыстан пісіріп жасайды. Әуе саңылауының магнитті кернеуі (А)

$$F_b = (0,8 B_b k_b) 10^3, \quad (26.4)$$

мұнда d — әуе саңылауы, мм; k_d — әуе саңылауының коэффициенті, зәкірдің тісті болуына байланысты саңылаудың магнитті кедергісін арттыруын ескереді ($k_d > 1$).

Магнитті индукция әуе саңылауында B_d (Тл) Φ негізгі магнитті ағынға пропорционал. Тұрақты ток машиналарында жалпы арналым тогы $B_d = 0,6 \wedge 1,0$ Тл (үлкен мәндері B_d ірі машиналарға сәйкес келеді).

Әдетте МҚК SF есептеуді магнитті ағынның ($0,5\Phi_{ном}$, $0,75\Phi_{тм}$, $\Phi_{ном}$ және $1,2\Phi_{ном}$), бірқатар мәндері үшін жүргізеді, содан кейін машинаның магнитті сипаттамасын құрады $\Phi^* = f(SF^*)$, онда $\Phi^* = \Phi/\Phi_{ном}$ – магнитті ағынның шартты мәні; $SF^* = EF/EF_n$ —бос жүріс режимінде полюстер жұбына қоздыру орамының шартты МҚК мәні.



$\Phi_{\text{ном}}$ және $SF_{\text{ном}}$ — бос жүріс режиміндегі магнитті ағынының номиналды мәндері мен МҚК, Еа ЭҚК номиналды мәніне сәйкес келеді (26.2-қараңыз).

Бастапқы бөлігінде магнитті сипаттама түзу (26.3-суреті). Бұл шағын мәндері SF^* кезінде магнитті тізбек әлі қанықпаған және қоздыру МҚК негізінен SF және $2F_d$ әуе саңылауының магнитті кернеуімен анықталады. Содан кейін SF^* өсуімен магнитті тізбектің қанығуы орын алады және магнитті сипаттама түзу сызықты болады. Тұрақты ток машинасының магнитті тізбегінің қанығу коэффициенті

$$k_m = \frac{E_{\text{КОМ}}}{U_{\text{Л}} \cdot I} = \frac{ba}{bc} = \frac{V}{V(2F_d^*)}. \quad (26.5)$$

Тұрақты ток машиналары үшін $k_m = 1,2 \text{ } ^\wedge \text{ } 1,7$.

26.2. Тұрақты ток машинасының зәкір реакциясы

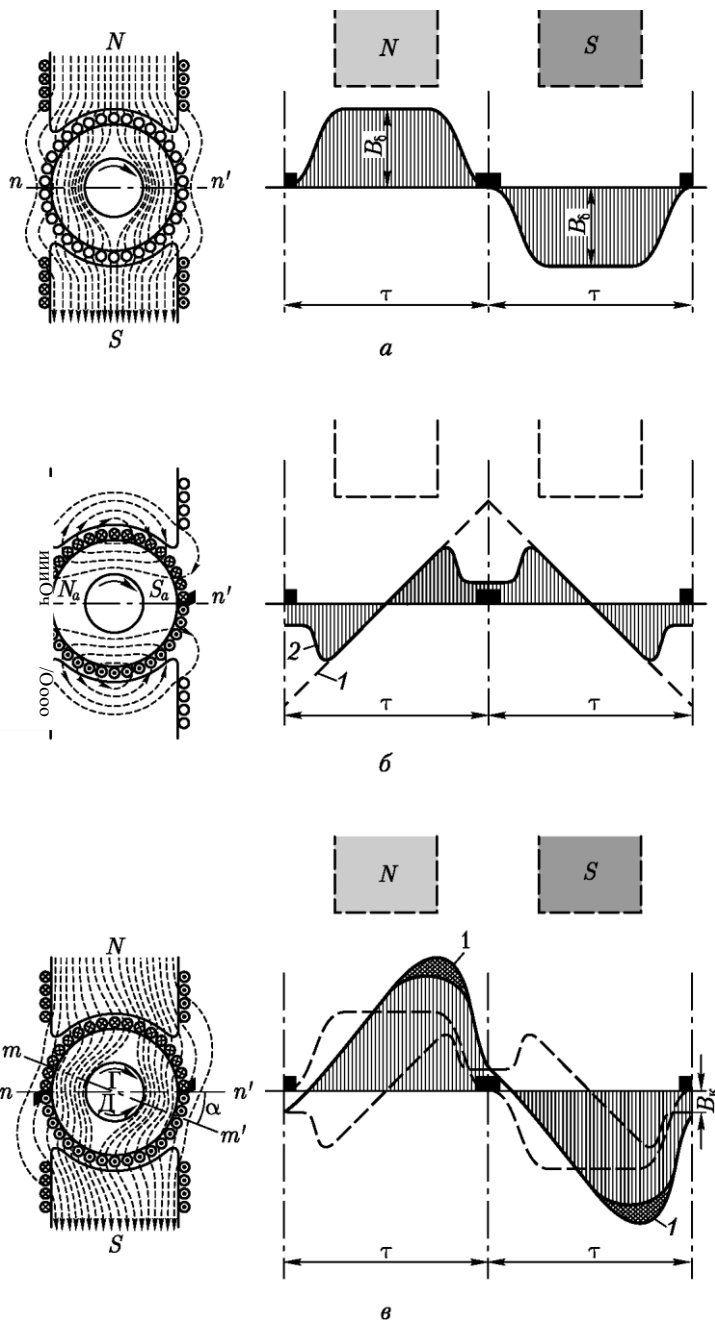
Бос жүріс режиміндегі машина жұмысы кезінде зәкір орамындағы ток дерлік жоқ, сондықтан машинада тек қоздыру орамының МҚК $F_{a,0}$ әрекет етеді. Машинаның магнитті өрісі бұл жағдайда полюстерінің өсіне қатысты симметриялы (26.4а-суреті). Әуе саңылауында магнитті индукцияны үлестіру трапецияға жақын қисықты білдіреді.

Егер машинаға жүктеме берсе, онда зәкір орамында ток пайда болады, ол машинаның магнитті жүйесінде зәкірдің F_a МҚК туындайды. Айталық, қоздыру МҚК нольге тең және зәкір МҚК ғана әсер етеді. Онда осы МҚК құрылған магнитті өріс 26.4б-суретінде ұсынылған түрді иеленеді. Суретке сәйкес зәкір орамының МҚК қылшақ сызықтарымен бағытталған (бұл жағдайда геометриялық бейтарапта). Зәкір айналатынына қарамастан, зәкір орамының МҚК кеңістікті қалпы өзгеріссіз қалады, себебі осы МҚК бағыты қылшақтардың қалпымен анықталады.

Зәкірдің МҚК ең үлкен мәні – қылшақ желісімен (264.-сурет, 1-сызба), ал полюстер өсі бойынша МҚК нольге тең. Алайда саңылауда магнитті индукцияны зәкір ағынынан үлестіру МҚК кестесімен тек толықты ұштама аясында ғана сәйкес келеді. Полюсаралық кеңістікте магнитті индукция бірден әлсірейді (26.4 б-суреті, 2-сызба). Бұл полюсаралық кеңістікте зәкір ағынына магнитті кедергісінің артуымен түсіндіріледі. Зәкір орамының МҚК полюстер жұбына орамдағы N тізбектер мен зәкір I_a тогына пропорционал.

$$F_a = N I_a / (4 \text{ ap}). \quad (26.6)$$

Желілік жүктеме ұғымын енгіземіз (A/m), зәкірдің сыртқы диаметрі D_a бойынша айналасының ұзындық бірлігіне келетін зәкірдің жиынтық тоқты білдіреді.



26.4-сурет. Өзе саңылауында машинаның магнитті өрісі және магнитті индукцияны үлестіру

$$A = Ni_{\alpha}/(pD_{\alpha}), \quad (26.7)$$

мұнда $i_{\alpha} = I_{\alpha}/(2a)$ — орамның бір параллель өткізгішінің тогы, яғни орамның параллель тармағының тогы, A .

Жалпы арналымдағы тұрақты ток машиналары үшін желілік жүктеме мәні олардың қуатына байланысты $(100 \wedge \wedge 500) 10^2$ А/м бола алады. Желілік жүктемені пайдаланып, зәкір МҚК үшін өрнектерін жазамыз: $F_a = At$.

Осылайша, тұрақты токтың жүктелген машинасында екі МҚК әрекет етеді: $\pi \wedge v_0$ қоздыру және F_a зәкір.

Зәкір орамының МҚК машинаның магнитті өрісіне әсері зәкір реакциясы деп аталады. Зәкір реакциясы машинаның магнитті өрісін бұрмалайды, оны полюстер осіне қатысты симметриялы емес етеді.

26.4в-суретінде зәкір сағат тілімен айналған кезде жұмыс жасайтын машинаның нәтижеленуші өрісінің магнитті күштік желілерінің бөлінуі көрсетілген. Магнитті желілердің осындай бөлінуі қозғалтқыш режиміндегі машина жұмысына сәйкес келеді, алайда зәкір сағат тіліне қарсы айналады.

Егер машинаның магнитті жүйесі қанықпаған деп қабылданса, онда зәкір реакциясы оны өзгертпей нәтижеленуші магнитті ағынын бұрмалайды: полюс шегі және онда орналасқан зәкірдің тісті қабаты, онда зәкір МҚК бағыты бойынша қоздыру МҚК бағытымен сәйкес келеді, магниттеледі; полюс шегі мен зәкірдің тісті қабаты, онда МҚК қоздыру МҚК қарсы бағытталған, онда магнитеіздендіріледі.

Мұнда нәтижеленуші магнитті ағын кейбір бұрышқа басты полюстердің осіне қатысты бұрылады, ал физикалық бейтарап $mm!$ (индукциясы нольге тең зәкірдегі нүкте арқылы өтетін желі) а бұрышына геометриялық бейтарапқа $nn!$ ығысады. Машина жүктемесі үлкен болған сайын нәтижеленуші өрістің бұрмалануы, яғни физикалық бейтарап ығысу бұрышы үлкен болады. Генератор режимінде жұмыс істеген кезде физикалық бейтарап зәкірдің айналу бағытымен ығысады, ал қозғалтқышта жұмыс жасаған кезде – зәкірге қарсы айналады.

Машинаның нәтижелену өрісінің бұрмалануы оның жұмыс қасиеттеріне теріс әсер етеді. Біріншіден, физикалық бейтарап ығысуы геометриялыққа қатысты қылшақты байланыстың анағұрлым ауыр және коллекторда ұшқындауды күшейту себебі бола алады (27.1-қараңыз). Екіншіден, машинаның нәтижеленуші өрістің бұрмалануы машинаның әуе саңылауында магнитті индукцияны қайта бөлуге әкеледі. 26.4в-суретте саңылаудағы нәтижеленуші өрісті қайта бөлу кестесі көрсетілген, ол 26.4а,б-суреттерінде бейнеленген қисықтарды үйлестірумен алынған. Осы кестеге сәйкес машинаның саңылауындағы магнитті индукция полюстер осіне қатысты симметриялы емес бөлінеді, полюстердің магниттелген шеттерімен жылдам өседі.

Нәтижесінде зәкір орамының секцияларындағы ЭҚК лездік мәндері пазалық жақтардан магнитті индукцияның максималды мәні аймағына жеткен кезде (полюстік ұштамалардың магниттелген шеттері) лезде көтеріледі. Ары қарай аралық n_k коллекторлық пластиналар арасындағы кернеу өседі. Машинаның елеулі жүктемесі кезінде кернеу жол берілетін мәндерінен асып кете алады (25.5-қараңыз) және миканитті төсеме аралық пластиналар арасында электр доғасымен жабылады. Коллекторда бар графит бөлшектері электр доғасының дамуына септігін тигізеді, ол бар коллекторды жабатын немесе оның елеулі бөлігін жабатын қуатты электр доғасының туындауына әкеледі – аса қауіпті құбылыстар (27.5-қараңыз).

Зәкірдің қанықпаған магнитті жүйесі бар тұрақты ток машинасына әсерінің салдары осындай. Егер машинаның магнитті жүйесі қанықса, онда тұрақты токтың машиналардың көпшілігінде орын алады, онда полюсті ұштамасының бір шетінен магниттелу және оның астында орналасқан зәкірдің магнитті қабаты зәкірдің тісті қабатының астында орналасқан полюсті ұштамасының өзге шетінің магнитсізденуіне қарағанда кем.

Бұл саңылауда магнитті индукцияның бөлінуіне жағымды әсер етеді, ол анағұрлым тегіс болады, себебі индукцияның максималды мәні полюстік ұштаманың шетін магниттелуде 26.4 в-суретіндегі 1 учаскенің биіктігімен анықталатын көлемге азаяды. Алайда машинаның нәтижеленуші магнитті ағыны мұнда азаяды. Осылайша қаныққан магнитті жүйесі бар машинаның зәкірінің реакциясы машинаны магнитсіздендіреді (белсенді жүктемедегі синхронды машинаныкі секілді). Нәтижесінде машинаның жұмыс қасиеттері нашарланады: генераторларда ЭҚК төмендейді, қозғалтқыштардың айналу мезеті азаяды.

Зәкірдің машина жұмысы әсері геометриялық бейтараптан қылшақтардың ығысуы кезінде күшейеді. Яғни қылшақтармен бірге зәкірдің МҚК векторы ығысады (26.5а-суреті). Мұнда зәкір МҚК F_a көлденең $F_{aq} = F_a \cos b$ құраушыдан бөлек бойлық құраушыны $F_{ad} = F_a \sin b$ да иеленеді, ол полюстердің осі бойынша бағытталған. Егер машина генераторлық режимде жұмыс жасаса, онда қылшақтар зәкірдің айналу бағытында ығысқан кезде зәкірдің бойлық МҚК қоздыру орамына $\wedge v0$ қарама-қарсы әсер етеді, ол машинаның негізгі ағынын әлсіретеді; қылшақтар зәкірдің айналу бағытына қарсы ығысқан кезде зәкірдің F_{ad} МҚК құраушысы МҚК $\wedge v0$ сәйкес әрекет етеді; ол машинаның бірқатар магниттелуін тудырып, коллекторда ұшқындаудың себебі бола алады (27-бөлімді қараңыз). Егер машина қозғалтқышты режимде жұмыс жасаса, онда қылшақтардың зәкірдің айналу бағытында ығысса, онда зәкірдің бойлық МҚК F_{ad} құраушысы машинаны магниттендіреді;

26.5-сурет. Зәкір орамының бойлық және көлденең құраушыларға МҚК бөлінуі

кылшақтар зәкірдің бойлық құраушысының F_{ai} айналуына қарсы ығысқан кезде машинаны магниттендіреді. Зәкірдің МҚК бойлық құраушысының әрекетімен байланысты мәселелерді қарастыру кезінде оның магниттендіру әсері ғана пайымдалады, себебі жалпы арналымдағы тұрақты токтың машиналарында F_{ad} магниттеуші әсері кылшақты байланыстың жұмысының бұзылуы салдарынан жол берілмейді.

Кылшақтар геометриялық бейтараптан ығысқан кезде зәкірдің МҚК көлденең құраушысына да әсер ететінін есте ұстау керек, - b бұрышына тәуелді көлемі, оның өсуімен ол азаяды ($F_{aq} = F_a \cos b$). Осылайша, коллекторлық машиналарда екі жағдай болуы мүмкін:

- 1) Кылшақтар геометриялық бейтарапта орналасқан және зәкір реакциясы тек көлденең;
- 2) Кылшақтар геометриялық бейтарапта орналасқан және зәкір реакциясы екі құраушысы бар – көлденең және бойлық (магнитсіздендіру).

Сонымен қатар зәкір бойынша реакция көлденеңбілікте болмайтын жағдайы бар. Кылшақтар геометриялық бейтарапқа перпендикуляр осі бойынша орналасқанда орын алады, яғни $b = 90^\circ$ (26.5, б-суреті). Алайда бұл жағдайдың практикалық қолданысы жоқ, себебі магина жұмысқа қабілетсіз болады: генераторлық режимде машина ЭҚК нольге тең, себебі орамның параллель тармағы қарсы бағыттағы ЭҚК бр секциялардың тең саны енеді, ал қозғалтқышты режимде зәкірдің орамдарының белсенді электромагниті жақтары кылшақтардың осінен сол жақ және оң жақтан әрекет етіп теңеседі және қарсы бағытталған, сондықтан айналатын мезетін құрмайды.

26.3. Зәкір реакциясының магнитсіздендіру әсерін есепке алу

Тұрақты ток машинасының жүктеме кезінде зәкір бойынша магнитсіздендіру әсерін қоздыру полюсті шарғысының иірімдер санын есептеу кезінде қолданады. Осы мақсатта осындай шарғының иірімдер $m_{\text{ш}}$ санын есептеу кезінде қоздыру орамының МҚК $F^{\wedge}$ мәнін пайдаланады., ол машинаның номиналды жүктемесіне әсер етеді:

$$= P_{\text{сн}}/(2I\phi), \quad (26.8)$$

мұнда $I_{\text{в}}$ — қоздыру орамындағы ток, А.

Қоздыру орамының МҚК мәні полюстер жұбында $F_{\text{өп}}$ зәкірдің ЭҚК E_d машина номиналды жүктемемен жұмыс жасаған кезде бос жүрісті режимдегідей болатындай болуы керек, онда қоздыру МҚК $F_{\text{сд}} = E^{\wedge}_{\text{ном}}$ [(26.1)-қараңыз].

Тұрақты токтың заманауи машиналарында қылшақтарды геометриялық бейтарапта орналастырады. Бұл жағдайда қоздыру орамы МҚК машина жүктемесі кезінде:

$$E_{\text{з.н}} = E^{\wedge}_{\text{в0}} + F_{\text{сд}} \quad (26.9)$$

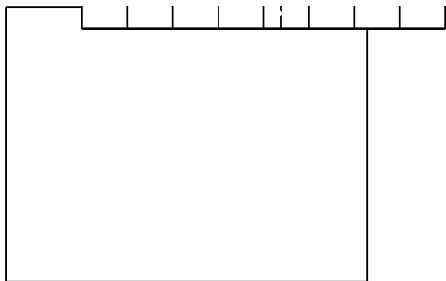
Мұнда $F_{\text{сд}}$ полюстер жұбына көлденең осі бойынш зәкір реакциясының магнитсіздендіру әсерін өтемдейтін қоздыру орамының МҚК үстемеленуін білдіреді (А).

Зәкір реакциясының магнитсіздендірудің сандық есебі зәкірдің көлденең реакциясының МҚК басты полюстердің осіне перпендикуляр әсер етеді және қоздыру орамының магнитті ағынының бұрмалануын тудырады. Мұнда туындайтын машинаның магнитсізденуі машинаның магнитті тізбегінің элементтерінің магнитті қанығуы салдарынан болады, біріншіден, зәкір өзегінің тістері.

Зәкірдің магнитсізденіру әрекеті көлденең осі бойынша зәкір реакциясының $k_{\text{рз}}$ коэффициентін ескереді. Бұл коэффициент зәкір тістеріндегі B_z -магнитті индукцияда 0,16 түрлі мәндері кезінде тұрақты ток машиналарының өтемделмеген үлкен санын зерттеу нәтижесінде алынды.

МҚК үстемелеу зәкір бойынша өтемдеуіш әсері көлденең осі бойынша 0,08

$$F_{\text{сд}} = k^{\wedge} F_{\text{а}}, \quad (26.10)$$



мұнда $F_{\text{а}}$ — зәкір орамының полюстер жұбына [(26.6)-қараңыз], А.

26.6-суреті. $k_{\text{рз}} = f(F_d/F_{\text{сд}})$ кестесі

Тұрақты тоқтың көпшілік машиналары үшін зәкір тістеріндегі магнитті индукция $B_z = 1,7 \wedge 2,3$ Тл. МКК үстемелеуін $F_{q1} k_{pa} = f(F_a / F_{H0})$ кестесі бойынша анықтайды, (26.6-суреті), онда кестенің төменгі шеті $B_z = 1,7$ Тл сәйкес келеді, ал үстінгісі - $B_z = 2,3$ Тл.

Қоздыру орамындағы ток мәні (26.8-қараңыз) тұрақты ток машинасының оздыру түріне байланысты қабылдайды: параллель қоздыру кезінде машина қуаты 10-1000 кВт тоғы кезінде сәйкесінше машина тогының номиналды мәнінен 4,0-1,0%, ал қуаты 1-10 кВт машиналарда сәйкесінше – 0,8-4,0%; ретті қоздыру машиналарында қоздыру тоғын зәкір тоғына тең етіп қабылдайды (29.6-қараңыз).

Өтемдеуіш орамы бар тұрақты ток машиналарында (26.4-қараңыз) яғни полюсті шарғының иірімдер санын есептеу (26.8-қараңыз) көлемі $\wedge v0$ $5 \wedge$ бойынша жүргізеді.

26.1-мысал. Параллель қоздыру тұрақты тогының қозғалтқышы қуаты $P_{ном} = 75$ кернеуі $U = 220$ В желісінен жұмыс жасайды. Номиналды жүктемеде қозғалтқыш ПӘК $\eta_{ном} = 0,89$. Төрт полюсті қозғалтқыш, қарапайым толқынды зәкір орамы ($2a = 2$), қарапайым толқынды зәкір орамында орамында тиімді өткізгіштерінің саны $N = 164$, қоздыру тоғы $i_{>k,v}$ қозғалтқыштың номиналды тұтынатын тоғынан 1,3 %. Қоздырудың полюстік шарғыда иірімдер санын анықтау егер олардың барлығы ретімен байланысса, онда әуе саңылауы $d = 2,0$ мм, әуе саңылауының коэффициенті $k_d = 1,3$; саңылаудағы магнитті индукция $B_d = 0,76$ Тл зәкір тістерінде $B_z = 1,8$ Тл, ал машинаның магнитті тізбегіндегі қанығу коэффициенті $k_m = 1,35$.

Шешуі. Номиналды жүктеме кезінде қозғалтқыштың тұтынатын тоғы.

$$I_{НОМ} = \frac{P_{НОМ}}{U \cdot \eta_{НОМ}} = \frac{75}{220 \cdot 0,89} \approx 383 \text{ А.}$$

Қоздыру орамындағы ток

$$I_B = 0,0131 I_{НОМ} = 0,0131 \cdot 383 \approx 5 \text{ А.}$$

Зәкір орамындағы ток

$$I_a = I_{НОМ} - I_B = 383 - 5 = 378 \text{ (26.4)}$$

бойынша әуе саңылауының магнитті кернеу

$$F_d = 0,8 B_d k_d i_a = 0,8 \cdot 0,76 \cdot 1,3 \cdot 10^3 \cdot 378 \approx 1580 \text{ А.}$$

Полюстер жұбына бос жүріс режимінде қоздыру МКК

$$F_{b0} = 2 F_d k_m = 2 \cdot 1580 \cdot 1,35 \approx 4266 \text{ А.}$$

(26.6) бойынша жұбына зәкір орамының МКК

$$F_a = N_a / (4ap) = 164 \cdot 378 / (4 \cdot 1 \cdot 2) = 7749 \text{ А.}$$

26.6 –суреті бойынша зәкір реакциясының коэффициенті $F_a / F_{bQ} = 7749 / 4266 = 1,8$ және $B_z = 1,8$ Тл кезінде $k_{pa} = 0,19$ тең

(26.10) бойынша көлденең осі бойынша зәкір реакциясын өтемдейтін МКҚ үстемелеу

$$F_{qd} = \kappa_p \mathcal{K} = 0,19 \cdot 7749 = 1472 \text{ A.}$$

Қозғалтқыштың номиналды жүктеме кезінде ққоздыру МҚК (26.9)

$$F_{>.,,} = F_{B0} + F_{qd} = 4266 + 1472 = 5738 \text{ A.}$$

Қоздырудың полюсті шарғылардың ірімдер саны (26.8)

$$w_{K-B} = F_{>.,,} / (2 / \beta) = 5738 / (2 \cdot 5) = 574.$$

26.4. Зәкір реакциясының зиянды әсерін жою

Зәкір реакциясы тұрақты ток машинасының жұмыс қасиеттеріне қолайсыз әсер етеді, машинаны жобалау кезінде зәкір реакциясын жоюға шаралары қабылданады немесе шекті мәндеріне дейін әлсірейді.

Өтемдеуіш орамы. Көлденең осі бойынша зәкір реакциясының әсерін басудың анағұрлым тиімді әдісі машинада өтемдеуіш орамын қолдану. Бұл орамды полюсті ұштамалардың пазаларына салады (26.7-суреті). Және зәкір орамдарын ретімен өтемдеуіш орам F_ж, МҚК зәкір орамының F_а. МҚК бағытына қарсы орналастырады. Өтемдеуіш орамын машинаның барлық басты полюстерінің полюсті ұштамаларының беті бойынша үлестіріп жасайды. Мұнда өтемдеуіш орамы үшін желілік жүктемесі кезінде зәкір орамының желілік жүктемесіне тең етіп қабылдайды.

Өтемдеуіш орамын зәкір тізбегіне ретімен қосу үшін зәкір МҚК өтемдеуінің автоматтылығы кез келген машина жүктемесінде қамтамасыз етіледі (номиналды шегінде). Осылайша өтемдеуіш орамы бар тұрақты ток машинасында бос жүрістің жүктеме режиміне өткен кезде басты полюстің саңылауында магнитті индукцияны үлестіру заңы дерлік өзгеріссіз қалады. Алайда полюс аралық кеңістікте зәкір МҚК жартысы өтемделмей қалады. Осы МҚК қылшақты байланысқа жағымсыз әсері машинада қосалқы полюстерді қолданумен жояды (27.4-қараңыз).

Өтемдеуіш орамы орта және үлкен қуаттағы (150-500Квт) машиналарда қолданылады, жүктеменің лездік тербелістерімен жұмыс жасайды, мысалы илемдік орнақ қозғалтқыштарында. Бұл өтемдеуіш орам қымбаттайды және машинаны күрделеніреді, және кей жағдайларда оның қолданысы экономикалық үнемсіздігімен түсіндіріледі.

¹ **Тұрақты ток машиналары ерекшелік етеді, себебі зәкірдің көлденең қимасы пайдалы қолданылады, мысалы көлденең қимадағы электр машиналы күшейткіштері (30.1-қараңыз).**



Басты полюстердегі әуе саңылауын арттыру. Өтемдеуіш орамы жоқ шағын және орта қуаттағы машиналарда зәкір реакциясының зиянды әсері көлденең осі бойынша басты полюстерде әуе саңылауын таңдаумен әлсіздендіреді. Мұнда келесіні есте ұстау керек, жеткілікті шағын әуе саңылауында және жеткілікті желілік жүктеме кезінде зәкір реакциясы көлденең осі бойынша басты полюстің бөліктерінне магнитті өрісті әлсірету ғана емес, бірақ оны артық магниттеу де мүмкін, яғни полярлығын өзгертіп, «өрісті төңкеру». Басты полюстерде әуе саңылауын біршама арттыру, әсіресе шеттерінде, әуе саңылауын арттыру басты полюстердің орамының МҚК арттыру қажеттігіне өтеді, яғни шарғы полюстерінің көлемін, полюстерінің және жалпы машинаның көлемінің артуына өтеді.

Дәл осы ұстанымда зәкірдің көлденең реакциясын МҚК азайту оның жолындағы жоғары магнитті кедергі есебіне негізделген және зәкір реакциясының әрекетін әлсіретудің тағы бір әдісі. Бұл әдіс мынада – басты полюстердің өзектері табакты анизотропты (суық жайылған) болаттан жасалады (әдетте 3411 маркалы болатты қолданады). Бұл болат орнақ бағытында жоғары магнитті өткізгіштікке иеленеді, ал «орнаққа көлденең» - шағын магнитті өткізгіштік. Полюс пластиналарын осындай болаттан жасау – полюс осі болат табакты орнақ бағытымен сәйкес келуі керек.

26.5. Тұрақты ток машинасының қоздыру әдістері

Электрлі машина жұмысы үшін қоздырудың магнитті өрісі болу керек. Көп жағдайда тұрақты ток машиналарында бұл өріс тұрақты токпен қоректенетін қоздыру орамымен құрылады. Тұрақты ток машиналарының қасиеттері елеулі дәрежеде зәкір орамына қатысты қоздыру орамын қосу сызбасымен анықталады, яғни қоздыру әдісімен.



a

б

в

г

д

26.8-сурет. Тұрақты ток машиналарын қоздыру әдістері

Тұрақты ток машиналарын қоздыру әдістері бойынша келесідей жіктеуге болады:

Тәуелсіз қоздыру машиналары, онда қоздыру орамы $\wedge$ В зәкір орамымен электрлі байланысты емес көзінен тұрақты токпен қоректенеді (26.8а-суреті);

Параллель қоздыру машиналары, онда қоздыру орамы және зәкір орамы параллель байланысқан (26.8б-суреті);

Ретімен қоздыру машиналары (әдетте қозғалтқыштар ретінде қолданылады), онда қоздыру орамы мен зәкір орамы ретімен байланысқан (26.8в-суреті);

Аралас қоздыру машиналары, онда қоздырудың екі орамы бар – параллель ҚО1 және ретті ҚО2 (26.8 г-суреті);

Тұрақты магниттері бар машиналар (26.8 д-суреті). Көрсетілген барлық машиналар (соңғылардан басқасы) электромагнитті қоздыруы бар машиналарға жатады, себебі оларда магнитті өріс қоздыру орамында болатын электр тогымен құрылады.

Тұрақты ток машиналарының орамдарының басы мен ұштары келесідей белгіленеді: зәкір орамы – 31 және 32, қосалқы полюстер орамы – Қ1 және Қ2, өтемдеуіш орамы – Ө1 және Ө2, тәуелсіз қоздыру орамы – Т1 және Т2, параллель қоздыру орамы (шунтты) – Ш1 және Ш2, ретті қоздыру орамы (сериесті) – С1 және С2.

Бақылау сұрақтары

1. Тұрақты ток машинасының магнитті тізбегін қандай бөліктерден құралады?
2. Тұрақты ток машинасының зәкір реакциясы құбылысының болмысы неде?
3. Көлденең осі бойынша әрекет ететін зәкір МҚК бойлық осі бойынша машинаның магнитсізденуін неге тудырады?

4. Қоздыру орамының полюсті шарғысында ірімдер санын есептеу кезінде әкір реакциясының магнитсіздендіру әсері қалай ескеріледі?
5. Өтемдеуіш орамды ретімен әкір орамымен қандай мақсатта қосады?
6. Неге әуе саңылауының артуымен әкір реакциясының магнитсіздендіру әсері әлсірейді?
7. Тұрақты ток машиналарында қандай қоздыру әдістерін пайдаланады?

27 бөлім

КОЛЛЕКТОРЛЫ МАШИНАЛАРДАҒЫ ТҰРАҚТЫ ТОҚТЫҢ КОММУТАЦИЯСЫ

27.1. Коллекторда ұшқындауды тудыратын себептер

Тұрақт тоқтың машинасының жұмысы кезінде коллектор және қылшақ тайғанақты байланыс туғызады. Қылшақтың байланыс ауданын бір қылшаққа келетін, таңдалған қылшақ маркасының рұқсат етілген тығыздығына сай машинаның жұмыс тоғының көлемімен таңдайды. Егер белгілі бір себептен қылшақ коллекторға барлық бетімен жатпаса, онда коллекторда ұшқындауды туғызатын шамадан тыс аймақтық тоқ тығыздығы пайда болады.

Коллекторда ұшқындауды туғызатын себептерді механикалық, потенциалдық және коммутациондық деп бөледі.

Ұшқындаудың механикалық себептері — коллекторға қылшақтың әлсіз қысымы, коллектор соғысы, оның эллипстік немесе тегіс емес беті, коллектор бетінің ластануы, миканитті оқшаулаудың мыс пластинасынан күдіренуі, траверстың, саусақтардың немесе қылшақтағыштардың тығыз емес бекітілуі, сонымен қатар қылшақ пен коллектор арасындағы электрлік контакттың бұзылуына әкелетін басқа да себептер.

Ұшқындаудың потенциалды себептері көршілес коллекторлы пластиналар арасында рұқсат етілген шаманы (25,5см) арттыратын кернеу болғанда пайда болады. Бұндай жағдайда ұшқындау анағұрлым қауіпті, себебі ол әдетте коллектордағы электрлік доғаның пайда болуымен жалғасады.

Ұшқындаудың коммутационды себептері әкірді байлау секциясының бір параллельді бұтақтан екіншісіне көшкенде машинада пайда болатын, физикалық процесстермен пайда болады.

Кейде ұшқындау себептер кешенінің тұтастығына пайда болады. Ұшқындаудың себептерін анықтауды механикалықтан бастау керек, себебі оларды коллекторды және қылшақты құрылғыны карауда табады. Қиыны коммутационды ұшқындау себептерін тауып және жою.

Зауыттан дайын машина шығару кезінде оған қандай да бір ұшқындауды шектейтін қара коммутацияны баптайды. Алайда машинаны енгізу кезінде, коллектор және қылшақтың тозуын қарай ұшқындау пайда болуы мүмкін. Кейбір жағдайларда ол мағыналы және қауіпті болуы мүмкін, онда машинаны ұшқындау себептерін анықтап және жою үшін тоқтату керек. Алайда машиналарда үлкен емес ұшқындаудың жалпы тағайындалуы рұқсат етілген.

Өрекет етуші стандартқа сай коллектордағы ұшқындау қылшақ шетінің жүгіртпесі астының ұшқындау деңгейімен (коммутация класы) бағаланады.

1 деңгей — ұшқындау жоқ (қара коммутация).

$1\frac{1}{4}$ деңгей — коллекторда қара дақты және қылшақтарда күйе туғызбайтын, қылшақтың біраз бөлігіндегі әлсіз ұшқындау.

$1\frac{1}{2}$ деңгей — коллектор бетін жанармаймен сүрткенде оңай жойылатын, коллекторда қара дақ іздерінің және қылшақтарда күйе іздерінің пайда болуына әкелетін, қылшақтың үлкен бөлігіндегі әлсіз ұшқындау.

2 деңгей — қылшақтың барлық жақтарындағы ұшқындау. Тек қысқа уақытты жүк немесе асқынжүк соққысы кезінде рұқсат етіледі. Коллектор бетін жанармаймен сүрткенде оңай жойылмайтын, коллекторда қара дақ іздерінің және қылшақтарда күйе іздерінің пайда болуына әкеледі.

3 деңгей — коллектор бетін жанармаймен сүрткенде оңай жойылмайтын, коллекторда қара дақ іздерінің пайда болуына, сонымен қатар қылшақтың жануына және жойылуына әкелетін, ірі ұшатын жарықшақтар болатын қылшақтың барлық жағындағы мәнді ұшқындау. Тура қосу кезінде (реостатсыз) немесе машинаны керікімылдатқанда рұқсат етіледі, егер де коллектор және қылшақ осыдан кейін де ары қарайғы жұмысқа жарамды жағдайда қалса.

Егер ұшқындаудың рұқсат етілген деңгейі электрлік машина құжатында көрсетілмесе, онда номиналды қысым кезінде ол $1\frac{1}{2}$ аспау керек.

Тұрақты тоқ машинасы әкiрiнiң айналуы кезiнде коллекторлық пластиналар кезекпен қылшақпен қатынасқа түсiп отырады. Соның өзiнде қылшақтың бiр пластинадан (жүгiртпелi) екiншiсiне (жүгiрiп өтушi) өтуi бiр паралелдi бұтақтан келесiсiне орау секциясының қайта қосылумен және мәнiнiң өзгеруiмен қатар осы секциядағы тоқ бағытының өзгеруiмен тасымалданады. Секцияның бiр паралелдi бұтақтан екiншiсiне қайта қосылуы және оның пайда болуын тасымалдауды *коммутация* деп атайды..

Коммутация болатын секцияны **коммутациялаушы**, ал коммутация процесiн— **коммутация кезеңi** деп атайды:

;

$$T_k = [60/(K_u)]/(b_u/b_k),$$

27.1.сур. Коммутациялаушы секцияның бір параллельді бұтақтан екіншісіне ауысуы

K — коллекторлық пластина саны; n — зәкірдің айналу жиілігі, айн/мин; $B_{\text{ш}}$ — қылшақ ені; B_K — көршілес коллекторлы пластиналардың орталарының ара қашықтығы (коллекторлық бөлініс).

Коммутация процестерінің күрделілігі коммутацияны жалпылама түрде қарауға мүмкіндік бермейді. Сондықтан коммутацияны анықтайтын аналитикалық және графикалық тәуелділіктерді алу үшін, қылшақ ені коллекторлық бөлініске тең деп есептеледі; қылшақтар геометриялық бейтарапта орналасқан; коммутациялаушы секцияның электрлік қарсыласуы және оның коллектормен байланысар жері «қылшақ-коллектор» ауыспалы контактісімен салыстырғанда әлдеқайда аз (әдетте бұндай көрсетілген қарсыластардың өзара қатынастары шын мәнісіне сай болады).

Коммутацияның бастапқы сәтінде (27.1, *a* сур.) қылшақтың контактілі беті 1 пластинаны ғана жанап өтеді, ал коммутациялаушы секция сол жақ параллельді бұтақ орамасына жатады және ондағы ток i_a тең. Содан кейін 1 пластина ақырындап қылшақтан таяды және орнына 2 пластина келеді. Нәтижесінде коммутациялаушы секция тұйық қылшақ болып қалады да және ондағы ток ақырындап азаяды. Коммутация процесінің ортасында ($t = 0,5 T_k$) қылшақтың контактілі беті екі коллекторлы пластиналарды бірдей жабады (27.1, *б* сур.). Коммутация соңында ($t = T_k$) қылшақ толығымен 2 пластинаға ауысады және 1 пластинамен контакт жоғалтады (27.1, *в* сур.), ал коммутациялы секциядағы ток — i_a тең болады, яғни мағынасы бойынша коммутация бастапқысындай, ал бағыты бойынша — қарама-қарсы. Соның өзінде коммутациялаушы секция ораманың оң жақ параллельді бұтағында пайда болды.

27.2. Түзу сызықты коммутация

Егер коммутация процесі кезінде коммутациялы секцияда ЭҚК енгізілмесе немесе, одан нақтырақ, ЭҚК соммасы нөлге тең болса, коммутацияның бұл түрі машинада орын алады. Бұл жағдайда коммутациялы секцияға, тұйық қылшақпен (27.1, б сур.),

$$\text{Кирхгофтың екінші заңына сай былай жазуға болады} \sum_{i=1}^n i - N_0 = 0, \quad (27.1)$$

мұнда i_1 және i_2 — қылшақ пен 1 жүгіртпелі және 2 жүгіріп өтуші пластиналары арасындағы ауыспалы кереғарыстар; i_1 және i_2 — зәкір орамасына 1 және 2 пластиналар арқылы өтетін токтар:

$$i_1 = i_a + i; \quad i_2 = i_a - i, \quad (27.2)$$

мұнда i — коммутациялы секциядағы ток.

(27.2) қолданып, аламыз

$$(i_a + i)^{r_1} - (i_a - i)^{r_2} = 0$$

Осыдан коммутациялы секциядағы ток

$$i = \frac{i_a (r_2 - r_1)^{r_2}}{(r_2 + r_1)}. \quad (27.3)$$

Коммутациялы секциядағы токтың өзгеру заңы уақыт функциясында келесі теңдікпен анықталады .

Бұл теңдік сызықтық болып табылады, сондықтан $i = f(t)$ графигі

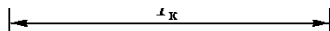
Абцисса осі $t = 0,5 T_k$ қиылысатын (27.2

сур) тура сызықты болып саналады. Ком-

мутациялы секциядағы ток i тура сызықты заң бойынша өзгереді коммутацияны *турасызықты (мінсіз) коммутация* деп атайды.

Коммутация сапасын анықтайтын маңызды фактор болып, «қылшақ-пластина» ауыспалы контактідегі ток тығыздығы болып табылады: j_1 — қылшақтың жүгіртпелі шетіндегі ток тығыздығы; j_2 — қылшақтың жүгіріп өтетін шетіндегі ток тығыздығы.

Қылшақ астындағы ток тығыздығы абцисса өсі мен коммутация графигі арасындағы бұрыштың тангенсіне тура пропорционал



27.2. сур. Турасызықты коммутация ток графигі

Яғни, $j_1 = \text{tga}_1$ және $j_2 = \text{tga}_2$. Турасызықты (мінсіз) коммутация графигі тура сызықты түрде болады. Соның өзінде $a_1 = a_2$, ал кезегінде, «кылшақ-коллектор» ауыспалы контактісінде токтың тығыздығы коммутацияның барлық кезеңінде өзгеріссіз қалады ($j_1 = j_2 = \text{const}$). Физикалық түрде бұл коллектордың жүгіртпелі пластинасы арқылы өтетін, турасызықты коммутациядағы токтың азаюы кезінде, осы пластинамен қылшақ контактісі ауданының азаюына пропорционал, ал жүгіріп өтетін пластина арқылы токтың өсуі осы пластиналы қылшақ контактісі ауданының өсуіне пропорционал. 27.2, суретте жасалған құрылыстан қылшақ жүгіртпелі пластинадан контакт жоғалтқан кезде, сол уақыт мезетінде, ток осы пластина арқылы нөлге дейін азаяды. Сол себептен, *турасызықты коммутация кезінде коллектор пластинасы қылшақтан ток үзіліссіздігі арқылы шығады.*

Турасызықты коммутацияның айтылған қасиеттері — қылшақ астындағы ток тығыздығының тұрақтылығы және қылшақ астынан пластинаның ток үзіліссіздігі арқылы шығуы — негізгі болып табылады, және соның арқасында коммутацияның осы түрі коллектордағы ұшқындауды туғызбайды.

27.3 Қисық сызықты тежелген коммутация

Тұрақты токтың заманауи машиналарындағы коммутация кезеңі аз және шамамен 10^{-3} — 10^{-5} с құрайды. Соның өзінде коммутациялаушы секциядағы ток жылдамдығының орташа өзгерісі $(di/dt)_{\text{ср}} = 2i_0 / T_k$ өте үлкен, коммутациялаушы секцияда ЭҚК өзіндік индукцияның пайда болуына әкеледі

$$e_L = -L_c(di/dt), \quad (27.5)$$

мұнда L_c — секция индуктивтілігі; i — коммутациялаушы секциядағы ток.

Әдетте зәкірдің әрбір саңылауында түрлі секциялаға жататын, бірнеше саңылаулы жақтаулар бар (екеуден кем емес). Сонымен қатар, орама қадамы толық болса ($y_1 = \tau$), онда осы секциялардың барлығы бір уақытта коммутация жағдайында болады, болашақта тұйық түрлі қылшақтармен (27.3, а сур.). Әдетте қылшақ ені коллекторлық бөліністен көп және әрбір қылшақ бірдей уақытта бірнеше секцияларды тұйықтайды. Себебі коммутациялаушы секциялардың саңылаулы бөліктері бір саңылауда жатады, онда осы бөліктердегі әрбір магниттік ағыс басқа секциялардың саңылаулы бөліктерінде ЭҚК өзіндік индукциясын туғызады:

$$e_M = -M_c(di/dt), \quad (27.6)$$

мұнда M_c — біруақыттағы коммутациялаушы секциялардың өзара индуктивтілігі.

Екі ЭҚК коммутациялаушы секцияларда *реактивті (нәтижелік)* коммутациялаушы секцияларда токтың өзгеруіне қарсы тұратын ЭҚК құрады

$$e_p = e_L + e_M = -(L_c + M_c)(di/dt), \quad (27.7)$$

$$e_M = -M_c(di/dt), \quad (27.6)$$

27.3. сур. Біруақыттағы коммутациялаушы секциялардың магниттік байланысы:

a — толық кадамда ($y_1 = \tau$); b — зәкір айналымының қысқартылған қадамында ($y_1 < \tau$)

мұнда l — секцияның саңылаулы бөліктерінің ұзындығы; w_G — секциялардағы орама саны; v — секция қозғалысының сызықтық жылдамдығы.

Айналымның электрқозғаушы күші ЭҚК реактивіне қарағанда коммутация аумағында сыртқы магниттік өрістің атағына байланысты бірнеше бағытта болуы мүмкін. Егер машинада қосымша полюстер болмаса, онда ЭҚК айналым реактивті ЭҚК сай бағытталған. Бұл жағдайда коммутациялаушы секция контурында ЭҚК соммасы әсер етеді

$$E_e = e_p + e_{вр}. \quad (27.9)$$

Тұйық қылшақтың коммутациялаушы секциясына Кирхгофтың екінші заңы бойынша алынған теңдікті ескеріп келесі түрге келеді

$$h r - \mathcal{U} \Gamma = E_e, \quad (27.10)$$

немесе (27.3) есеппен қисықсызықты тежелген коммутация кезіндегі коммутациялаушы секциядағы токтың шығуын жазайық:

$$i = [i_0(r - \eta)^{1/2} + i_1] + [E^{e(r)} 2 + i_1]. \quad (27.11)$$

Бірінші оң жақтан алынған мағына турасызықты коммутация тогын ұсынады [(27.3) қараң.]

$$V = i_0(r - \eta)^{1/2} 2 + i_1. \quad (27.12)$$

Екінші оң жақтан алынған мағына (27.11) ЭҚК Se әсерінен коммутациялаушы секция контурында туындайтын, коммутацияның қосымша тогын анықтайды:

Сол себептен, коммутациялаушы секциядағы ток қисықсыздықты тежелшен коммутация кезінде екі құраушының соммасына тең:

$$i = i_{np} + V \quad (27.14)$$

Токтың өзгеру қасиеті i_p 27.2 суретте көрсетілген графикпен анықталады. Ал коммутацияның қосымша тогы болса i_a , онда оның коммутация кезеңіндегі қасиетінің өзгеруін анықтау үшін, коммутация кезінде токты анықтаушы шама, нақтырақ айтқанда ЭҚК $\mathcal{E}_e$ және $(r_2 + r_1)$ қарсылас соммасының өзгеруін алдын-ала анықтау керек.

Егер машинада қосымша полюстер жоқ болса және магниттік индукция B_k коммутация аймағында үлкен болмаса, онда ЭҚК $\mathcal{E}_e$ реактивті ЭҚК басты келбетімен анықталады $\mathcal{E}_p = -(b_c + M_c)(di/dt)$.

Ток өзгерісінің тұрасыздықты заңында $di/dt = \text{const}$, сәйкесінше, $\mathcal{E}_e = \text{const}$.

Қарсыласу соммасының өзгеу заңы $(r_1 + r_2)$ мағынасымен анықталады

$$r_2 + r_1 = \frac{R_{\Sigma}}{V_K I_{\Sigma} T_K - t} = R \frac{T_K}{T_K - t} \quad (27.15)$$

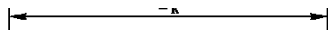
мұнда R — «қылшақ-пластина» ауыспалы контактісінің қарсыласуы, егер коллектор пластинасы қылшақпен толық жасбылса және оның ауыспалы контакт ауданы $S_{K_{\text{к}}}$ тең.

Басында ($t = 0$) және соңында ($t = T_k$) коммутациясы $r_1 + r_2 = \text{те}$; $t = 0,5 T_k$ кезінде қарсыласу соммасы $r_2 + r_1 = 4R_{\Sigma}$. 27.4 а суретте $(r_2 + r_1) = f(t)$ графигі ұсынылған. Бұл заңға қарсыласу соммасының өзгеруіне және ЭҚК $\mathcal{E}_e$ тұрақтылығына 1 график сәйкес келеді коммутацияның қосымша тогының өзгерісі $i_d = f(t)$, 27.4, б. суретте ұсынылған.

$i_{np} = f(t)$ (27.2 сур.қараң.) тұрасыздықты коммутация тогының ордината графиктерінің және $i_a = f(t)$ (27.4, б сур., 1 график қараң.) коммутацияның қосымша тогының қосылыстарымен алынған, коммутацияның нәтижелік тогының өзгеру графигі 27.5 суретте көрсетілген. Осы графиктің қисықсыздықты түрі $i_a = f(t)$ графигінің қисық-сызықтылығына негізделген. Физикалық тұрғыдан бұл коммутациялаушы секцияға кіргізілетін, осы секцияда коммутация басында i_a бастап аяғында — i_a дейінгі, суммарлы ЭҚК $\mathcal{E}_e$ реактивті әрекеті болып түсіндіріледі. Со себептен коммутация кезеңінің ортасында (a нүктесі) коммутациялаушы секциядағы ток $i_a = i_a$, яғни ол нөлге тең емес, тұзусыздықты коммутация кезінде қалай орын алғанын (27.2 сур.қараң.), ал ол ($t = 0,5 T_k$) уақыт мезетінде көбірек мағына беретін (27.4, б, сурет, 1 график қараң.), коммутацияның қосымша тогына тең.

$$\Gamma_1 + \Gamma_2$$

6



27.4.сур. $(\Gamma_1 + \Gamma_2)$ қарсыласуларының және токтың $\wedge$ өзгеріс

27.5.сур. Қисықсызқты тежелген коммутацияның ток графигі

Токтың нөлге дейінгі азаюы ϑ_a және оның бағытының өзгеруі коммутацияның екінші жарты кезеңінде $t > 0,5 T_k$ (b нүктесі) уақытында басталады, яғни коммутацияның қарастырылып отырған түрінде тұзусызықтымен салыстырғанда коммутациялаушы секциядағы ток бағытының өзгеру бағыты уақытпен созылады. Нәтижесінде коммутация графигі қисықсызқты түр алады. Сол себепті бұндай коммутацияны *қисықсызқты тежелген* деп атайды. Коммутацияның осы түріне тән қасиет – қылшақ астындағы ток тығыздығының коммутацияның бастапқы және соңғы кезеңдерінде бірдей еместігі. Оған $t = 0,5 T_k$ уақыт мезетіндегі, 27.5 суретте көрсетілген сызбаны қолданып көз жеткізуге болады.

2 пластинамен контактісі бар (27.6 а сур.), қылшақтың жүгіртпелі қыр астындағы ток тығыздығының орташа мағынасы j_2 , 1 пластинамен контактісі бар қылшақтың жүгіртпелі қыры астындағы ток тығыздығының орташа мағынасынан j_1 кем. Бір жағынан, бұл $\operatorname{tg} a_2 < \operatorname{tg} a_1$ (27.5 сур.қараң.), ал екінші жағынан $t = 0,5 T_k$ кезінде 1 және 2 пластина арқылы зәкір орамасына өтетін токтар $\vartheta_2 < \Gamma_1$ тең еместігімен түсіндіріледі. Қисықсызқты тежелген коммутация кезінде S_2 ауданы 1 пластина мен қылшақтың жанасуы $i_1 = \vartheta_a + \Gamma_d$ тоғына қарағанда, тезірек азаяды, сол себепті қылшақтың жүгіртпелі қыры астындағы ток тығыздығы көбейеді. Коммутацияның аяқ кезеңінде токтың бұл тығыздығы $j_1 = \operatorname{tga} /$ шағын мағынаға жетеді, мұнда a / t және T_k сәйкес келеді (27.5 сур.қараңыз).

27.6. сур. Қылшақ астындағы ток тығыздығының қисықсыздығы тежелген (а) және жеделтетілген (б) коммутация түрлерінің бөлінісі

Машинаның мағыналық қысымында қылшақтың асырмалы қыры астындағы ток тығыздығы шамадан тыс үлкен мағынаға жетіп және коллекторда ұшқындау туғызуы мүмкін. Алайда, тәжірибе көрсеткендей зәкір шынжырының шағын қысымды токтарында да ұшқындаудың пайда болуы мүмкін. Бұл қылшақтың асырмалы қыры астындағы ток тығыздығының өсуі, коллектордағы ұшқынның жалғыз себебі еместігін куәландырады. Сонымен қатар ұшқындау қылшақ астынан коллектордың жүгірпелі пластинасы шығарда, коммутациялаушы секция шынжырынан тұйық қысқа қылшақты ажырату кезінде де пайда болуы мүмкін. Коммутациялаушы секцияны ажырату кезінде L_c индуктивтілікпен коммутацияның қосымша тогымен I_d ондағы магниттік өрістің жинақталған энергиясы (Дж)

$$W = 0,5 L^2 \quad (27.16)$$

қылшақтың асырмалы қыры мен асырмалы коллекторлы пластина арасында электрлік доғаны құруға жұмсалады.

Жоғарыда аталған қисықсыздықты тежелген коммутацияның қасиеттері — қылшақтың асырмалы қыры астындағы ток тығыздығының жоғарлауы және асырмалы пластинаның қылшақтан коммутация ток шынжырының үзілуімен шығуы – қылшақтың асырмалы қыры астында коллекторда ұшқындаудың тууына жағдайлар жасайды. .

27.4. Коммутацияны жетілдіру әдістері

Тұрақты ток машиналарындағы қанағаттандырылғысыз коммутацияның негізгі себептері – коммутацияның қосымша тогы

$$I_d^* = Se/S I_k, \quad (27.17)$$

Мұнда I_k — I_d коммутацияның қосымша тогына электрлік қарсыласу соммасы: коллекторлы ток пластиналары мен қылшақ және нағыз қылшақ арасындағы ауыспалы контакттың, айдарлардағы қоспалар орнының қарсыласулары.

Алайда аталған қарсыласулардан, S_{K_0} кіретін ең көп мағынаға ие қылшақ пен ауыспалы контактің қарсыласулары, сондықтан, оларды $t_{щ}$ белгілеп, жуық түрде былай жазуға болады

$$*d = Se/T_{щ} \quad (27.18)$$

Алынған теңдеуден g_d тоғын азайту, ал кезегінде, коммутацияны жақсарту $t_{щ}$ қарсыласуын жақсартумен немесе коммутациялаушы секциядағы суммарлы ЭҚК Se азайтумен болатындығын бөлуге болады. Осыдан коммутацияны жақсарту әдістері шығады, негізгілері төменде қарастырылған.

Қылшақты таңдау. Қарау тұрғысынан қанағаттанарлық коммутацияны қамтамасыз ету үшін ауыспалы контактіде үлкен ауыспалы кернеулік қылшақтарды қолдану және нағыз қылшақты, яғни үлкен қарсыласулы қылшақты $t_{щ}$ қолдану мақсатты болып саналады. Алайда қылшақтық контактіде бұл қылшақтардағы токтың рұқсат етілген тығыздығы көп емес, сондықтан оларды мағыналы жұмыс тоғымен машиналарда қолдану қылшақтық контакті ауданының өсуіне әкеледі, ол оның ұзындығы есебінен коллектор ауданының өсуін талап етеді. Бұл машина габариттерінің өсуіне және мыстың қосымша шығынына әкелетін еді. Сондықтан үлкен $t_{щ}$ қылшақтарды сәйкесінше жоғары кернеулі машиналарға қатысты қолданады, кезегінде, шағын жұмыс тоғымен.

Электрлік машина қылшақтары құрамына, дайындалу әдісіне және сипаттамасына қарай төрт топқа бөлінеді (27.1 кес.). Қылшақтарды жобалаудың көпжылдық тәжірбиесі негізінде және электрлік машиналарды енгізумен жинақталған, ұсыныстарға сай таңдайды. Тұрақты ток машиналарындағы 110 — 440 В кернеумен ең көп қолданылатын электрографиттелген қылшақтар.

Қылшақ контактісінің ауыспалы қарсыласуының өсуіне, кезегінде, коммутацияны жақсартуға, коллектор п о л и т у р а с ы — жоғары электрлі қарсыласуға ие, коллектор бетіндегі жұқа оксидті жабын әрекет етеді.

ЭҚК реактивті азаюы. Коммутациялаушы секциядағы суммарлы ЭҚК заттық әсерді реактивті ЭҚК $e_r = e_L + e_M$ көрсетеді. Өзіндік индукция e_M ЭҚК белгілі деңгейінде қылшақ еніне тәуелді болады: қылшақ ені неғұрлым үлкен болған сайын, коллекторлы пластина оны бірдей уақтта жабады, кезегінде, неғұрлым көп секция бір уақытта коммутацияланса, ол ЭҚК өзіндік индукциясының e_M жоғарлауын туғызады. Алайда тым жіңішке қылшақтар механикалық тұйқылықтың жеткіліксіздігінен қажетті емес, сонымен қатар жіңішке қылшақтың контактілі бетінің қажетті ауданы үшін оның ұзындығын арттыру керек болушы еді, ал ол коллектор ұзындығын үлкейтуді қажет ететін еді.

ҚЫЛШАҚ ТОПТАРЫ, МАҒЫНАЛАРЫ	НОМИНАЛ ДЫ ТОК КЕЗІНДЕ БІРНЕШЕ ҚЫЛШАҚҚА КЕРНЕУДІҢ АУЫСПАЛЫ	ТОКТЫҢ НОМИНАЛДЫ ТЫҒЫЗДЫҒЫ, А/ММ ²	ҚОЛДАНЫЛУ АУМАҒЫ
ГРАФИТТІ К Г, 611М	1,9—2,0	0,11 — 0,12	ЖЕҢІЛДЕТІЛГЕН КОММУТАЦИЯ ШАРТТАРЫ БАР МАШИНАЛАРҒА
ЭЛЕКТРОГ РА- ФИТТЕЛГЕ Н	2,0—2,7	0,10—0,15	ЖӘНЕ ДЕ ОРТАША ЖӘНЕ КҮРДЕЛІ КОММУТАЦИЯ ШАРТТАРЫНА ЖӘНЕ КОНТАКТІЛІ САҚИНАЛАРҒА
Ж КӨМІРЛІГР АФИТТЕЛГЕН КГ; Т	2,0	0,06—0,07	ЖӘНЕ ДЕ ОРТАША КОММУТАЦИЯ ШАРТТАРЫМЕН
МЫСТЫ- ГРАФИТТЕЛГЕН М, МГ	0,2—1,5	0,15—0,20	ТӨМЕНВОЛЬТТІ МАШИНАЛАРҒА (48 В ДЕЙІН) ЖӘНЕ КОНТАКТІЛІ

Ені 2-3 коллекторлық бөліністі қылшақтар анағұрлым мақсатты.

Реактивті ЭҚК зәкір орама типі едәуір әсер етеді. Егер зәкір орамасын жетелдетілген қадаммен орындаса, ($\gamma_1 < \tau$), онда, бір уақытта коммутациялаушы секцияның белсенді жақтары түрлі саңылауда қалады (27.3, 6 сур.қараң.), ол өзіндік индукциядағы ЭҚК азаюына әкеледі. Реактивті ЭҚК L_c индуктивті секциясының азаюымен әлсіреуі мүмкін. Ол үшін зәкір орамасында көп санды орама секцияларын ($L_c = w^2$) және жартылай жабық саңылауларды қолдану керек. Алайда бұл шаралардың жүзеге асырылуы қолайсыз және ысырапшыл машиналардың пайда болуына әкелер еді. Сондықтан тұрақты ток машиналарын жобалау кезінде көрсетілген параметрлерді таңдау шағын және үнемді машина алуға деген құлшыныспен байланыстырылады. Сонымен қатар реактивті ЭҚК белгілі деңгейде азайтылуы мүмкін немесе анықталған полярлылық және шаманы құруда коммутациялаушы өрісінің коммутация аумағында (қылшақ өсі бойынша) толығымен жойылуы мүмкін. Бұндай өріс қосалқы өрістермен немесе геометриялық бейтараптан қылшақты жылжыту арқылы құрылады.

Қосалқы өрістер. Қосалқы өрістерді тағайындау — коммутация аумағында коммутациялаушы секцияда осы өріспен жүргізілген айналым ЭҚК $e_{\text{ер}}$ реактивті ЭҚК e_p компенсирлеу үшін, осындай шама және бағытты магнитті өріс құру. Тұрақты ток машинасында ЭҚК ер және $e_{\text{ер}}$ коммутацияларын жақсарту бойынша шешім қабылданбай бір бағытта бағытталды, яғни мынаған сәйкес әрекет етеді:

$$Se = e_p + e_{\text{вр.}}$$

Se коммутациялаушы секциясында суммарлы ЭКК нөлге тең болады, егер айналым ЭКК $e^\wedge$ өз бағытын кері ауыстыру үшін [(27.8) сур.қараң.], коммутация аумағында қосымша өрістерді қатыстырып осындай шама және бағыттағы B_k магнитті индукциялы магнитті өріс құрса, ал оның мағынасы реактивті ЭКК e_p тең болатын еді. Бұл жағдайда

$$Se = e_p + e_{\text{вр.}} = 0$$

Және коммутация турасызықты (мінсіз) болады. Қосымша өрістерді бастылардың арасына орналастырады. Сонда да қылшақтарды геометриялық бейтарапта бекітеді.

Қуаты 1кВт жоғары барлық тұрақты ток машиналары сандары басты өрістер санына тең немесе екі есе аз санды қосымша өрістермен жабдықталады. Қосымша полюстер машинаның сызықтық қысымын арттыруға және тапсырылған қуатында аз массалы және габаритті машина алуға жағдай жасайды.

Қосымша өріс орама орамалар санын, B_k индукциялы коммутациялаушы өріс құруға қажетті, зәкір реакциясы өрісіне қарама-қарсы бағытталған (27.7 сур.), қосымша полюс МКК зәкір МКК коммутация аумағында қиылысу өсі бойынша компенсирлеу және кейбір артықшылықтарын алу үшін таңдайды. Осыдан, тұрақты тоқтың компенсирлеуші емес машиналары үшін қосымша өріс МКК теңдей қабылдайды (А)

$$P_\partial = kL, \quad (27.19)$$

Мұнда, $k_\partial = P_\partial / F_a$ — қосымша өрістің P_∂ зәкір МКК F_a [(26.6) қараң.] орама МКК қажетті жоғарлауын есептейтін коэффициент. Заманауи сериялы тұрақты ток машиналары үшін бұл коэффициент $k_\partial = 1,20 \wedge 1,45$ тең деп саналады.

Егер машина компенсациялаушы орамамен жабдықталса, онда қосымша өрістер МКК компенсациялаушы орама МКК $P_{k,0}$ шамасына азайту керек. Әдетте тұрақты тоқтың компенсирлеуші машиналарында қосымша өріс МКК зәкір МКК 15 — 30 % артық.

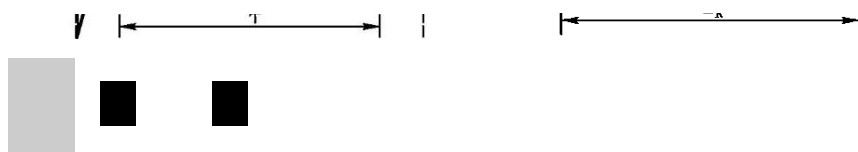
Егер қосымша өріс МКК қажетті мағынадан артық қылса [(27.19) сур.қараң.], онда айналым ЭКК $e^\wedge$ реактивті ЭКК артық болады. Бұл жағдайда суммарлы ЭКК Se өз белгісін өзгертеді, ал коммутацияның қосымша тоғы — өз бағытын қисықсызықты тежелген коммутация кезіндегімен салыстырғанда қарама-қарсы бағытқа өзгертеді (27.4, б сур. 2 графикті қараң.). График изменения результирующего тока коммутации $i_2 = i_a + e_\partial$ коммутацияның нәтижелі ток графикінің өзгерісі, 27.8 суретте көрсетілген түрге келеді, яғни коммутация *қисықсызықты жеделдетілген* болады, себебі коммутациялаушы секцияда

$T < 0,5 T_k$ (b нүктесі) уақытта нөлдік мағынаға жетеді. Қысықсыздықты жеделдетілген коммутацияға қылшақтың асырмалы қыры астында ток тығыздығының жоғарлауы тән (27.6, б сур.қараң.). Бұл коммутацияның осы түрінде 2 пластинаның қылшақпен жанасу ауданы асықпай өседі, нәтижесінде $i_2 = i_a + i_d$ ток өседі. Ток тығыздығының көбірек мағынасы $2 = \operatorname{tg} \alpha_2$ коммутацияның бстапқы кезеңіне сәйкес келеді (t және 0). Мағыналы қысым кезінде бұл қылшақтың асырмалы қыр астында ұшқындауға әкелуі мүмкін. Бұл жеделдетілген коммутация кезінде қылшақ астынан асырмалы пластинаның шығуы, тежелген коммутация тоғына қарама-қарсы бағытқа ие қосымша ток коммутациясының шынжырының үзілуімен болатындығымен түсіндіріледі.

Реактивті ЭҚК компенсациясын қамтамасыз ету үшін машинаның түрлі қысымы кезінде қосымша өріс орамасын зәкір орамасына ретімен қосады. Бұл жағдайда қосымша өрістер МКК F_d машинаның түрлі қысымдары кезінде зәкір тоғына I_d пропорционалды өзгереді, яғни зәкір МКК F_a пропорционал.

Генератордағы қосымша өріс полярлығы келесі басты өріс айналу бағытындағыдай бойынша, ал қозғалтқышта – алдыңғы полюстегідей болуы керек. (27.9 сур.).

Қосымша өрістер машинада номиналды қысым шегінде ғана қанағаттанарлық коммутацияны қамтамасыз етеді. Машинаны қайта жүктеуде қосымша өрістің магнитті шынжырының қанықтығы жүзеге асады. Бұл жағдайда реактивті ЭҚК e_p ток қысымына пропорционал өзгереді, ал ішкі өріс ЭҚК e_k магнитті шынжырдың қанықтығынан біршама кешігеді (27.10 сур.).



27.7.сур. Генераторлы (Г) және қозғалтқышты (Қ) режимдердегі қосымша өрістермен әуе машинасындағы нәтижелі магнитті өріс

Рис. 27.8. Қысықсыздықты жеделдетілген коммутация тоғының

$$\overbrace{S \quad N} \quad \overbrace{S \quad N} \quad 0 \quad \overbrace{\quad I_{ном} \quad} \quad I$$



Генератор Қозғалтқыш

27.9.сур. Генераторлық және қозғалтқыш режимдерінде коллекторлы машинаның қосымша өрісінің полярлылығы

27.10. сур. ЭҚК коммутациялаушы секцияда ток қысымына тәуелділік графигі

Коммутациялаушы секцияда нәтижесінде суммарлы ЭҚК $Se = e_p$ — e_k пайда болады, яғни коммутация тежелген болады.

Қосымша өрістер жүрекшелерінің қанықтығына аралас

басты полюстер жүрекшелері және тұғыр арқылы тұйықталатын (27.11 сур.),

магнитті тарау ағысы $\Phi_{дст}$ әсер етеді. Тараудың магниттік ағысын азайту, кезегінде, қосымша өрістің ток қысымынан сызықтық тәуелділігін қамтамасыз ету мақсатында қосымша өрістің әуе саңылауын δ_d екіге бөледі: біреуі — өріс жүрекшесі мен зәкір арасында δ_{d1} , ал басқасы — өріс жүрекшесі мен тұғыр арасында δ_{d2} (27.7 сур. қараң.). Бұл жағдайда саңылау δ_{d2} $\Phi_{дст}$ ағыс мағынасын шектейді. Саңылау δ_{d2} өріс жүрекшесі мен тұғыр арасына салынатын, магниттік емес төсеме пакеттерінен құрылады

Қылшақтарды араластырумен коммутациялаушы өріс алу.

Қуаты 1 кВт дейінгі қосымша өріссіз орындалатын тұрақты ток машиналарында, коммутация аумағында коммутациялаушы өріс қылшақтың геометриялық бейтараппен араласқанда құрылады.

Егер қылшақ геометриялық бейтарапта орнатылса (27.12, а сур.), онда зәкірдің магниттік индукциямен B_{aq} қиылысқан магниттік өрісі коммутация аумағында индукцияны B_k (27.12, б сур.) туғызады. Нәтижесінде коммутациялаушы секцияда айналым ЭҚК $e_{вр}$ енгізіледі, бағыты реактивті ЭҚК e_p келісілген және тежелген коммутацияға әрекеттелген. Қылшақтың физикалық бейтарапқа mm' қозғалысында коммутациялаушы өріс индукциямен B_k жоғалады және айналым ЭҚК $e_{вр} = 0$. Соның өзінде коммутациялаушы секцияларда тек реактивті

Рис. 27.11. К понятию

27.11-сурет. Қосымша өрістер бөлініс ағысы туралы

27.12.сур. Қылшақ қозғалысымен коммутациялаушы өріс құру

ЭҚК ер енгізіледі. Егер де қылшақтар b бұрышына жылжыса, яғни физикалық бейтарапқа mm' (cc' сызығы), онда коммутациялаушы өріс D' индукциямен геометриялық бейтараптағы қылшақтың бағыты жағдайына қатысты бағытын өзгертеді. Бұл өріс коммутациялаушы секцияда реактивті ЭҚК тең және оған қарам-қарсы бағыттағы ($e_{ap} - e_p = 0$) ЭҚК айналымын туғызады, яғни, реактивті ЭҚК компенсирленген болады және коммутация турасызықты (мінсіз) болады. Қылшақтың қажетті әсерін алу үшін генераторда зәкір айналым бағытын араластыру немесе қозғалтқышта зәкір айналымына қарсы араластыру керек.

Аталған коммутацияны жақсарту әдістерінің келесі кемшіліктері бар:

а) коммутациялаушы өріс машина қысымына пропорционалды емес өзгереді, ол барлық қысым диапазонында реактивті ЭҚК толық компенсациясын шектейді, яғни ол үшін қысымның әрбір өзгерісі кезінде қылшақ жағдайларын ауыстыру керек болушы еді (әдетте қылшақтарды қалыпты қысымдағы реактивті ЭҚК толық компенсациясына сай көрінетін жағдайда орнатады)

б) қылшақты геометриялық бейтараппен араластыру кезінде зәкірдің магниттемеуші реакция әсері күшейеді (26.5 сур. қараң);

в) керіқимыл машиналар үшін қылшақтарды геометриялық бейтараппен араластыруға жол берілмейді, себебі физикалық бейтараптың талап етілген араласу бағыты зәкірдің айналым бағытының өзгерісімен ауысып отырады.

27.5. Коллектор бойынша айналма от

Тұрақты ток машинасында маңызды қайтажүктеу немесе беймезгіл қысқа тұйықталу кезінде коммутация бірден тежелген сипатқа ие болады. Бұл жағдайда асырмалы коллекторлы пластина мен қылшақтың асырмалы қыры арасында электрлік доға құрылады. Себебі, коллектор айналғанда, доға механикалық созылады (27.13, а). Сонымен қоса машинаны қайта жүктеу машинаның әуе саңылауында индукцияның таралуы біртекті болатын әрекеті астында, зәкір реакциясы күшеюімен тасымалданады (26.4, в сур.қараң.). Нәтижесінде көрші коллекторлы пластиналар арасындағы кернеу рұқсат етілген шектерден шығып артады (25.5 қараң.). Бұл, бір жағынан, аралас пластиналар арасында электрлік доғалардың пайда болуына әкелуі мүмкін, ал басқа жағынан – кейбір пластиналарда жоғары потенциалдың пайда болуы қылшақ пен коллекторлы пластиналар арасындағы олардың қылшақтың асырмалы қыр астынан өшірілу шарасы бойынша кернеудің бірден көтерілуін туғызады. Бұның бәрі қылшақ пен коллекторлы пластина арасында электрлік доғаның пайда болуына жағдай жасайды.

Сол себепті, тұрақты ток машиналарының белгілі қайта жүктеу шарттарында коллекторда электрлік доғаның пайда болуына коммутациялы және потенциалды себептер пайда болады. Сол жағдайда коммутациялық себептермен туған электрлік доғалар, потенциалды себептермен пайда болған доғалармен бірігеді, және машина корпусына ауысуы мүмкін коллектор маңында қуатты электрлік доға құрады. Баяндалған құбылыстар *коллектор бойынша айналма от* деп аталады. Дөңгелек алаң өте қауіпті, себебі машинада өрт тудырумен қатар, машинаның ауыр апатына әкелуі мүмкін.

Қосымша өрістер және компенсациялаушы орам дөңгелек алау тудыратын қауіпті әлсіретсе де, толығымен оны жоймайды. Сондықтан зәкір орамасын электрлік машиналарда дөңгелек алау туған жағдайда электрлік доғаның зақымдануынан қорғау үшін, жеке қайта жүктеу шарттарындағы жұмысшыларды, коллектор мен зәкір орамасы арасында бөлуші экран орнатады.

6



27.13.сур. Айналым
коллекторында (а) электрлік
доғаның созылуы және
қылшақ араларындағы
кедергілердің орналасуы(б)

а

Кейбір машиналарда доғаны мойынтірек жаққа үрлейтін, жылусактағыш бөлуші қалқамен қорғалған, әуе үрлеулерін қолданады. Түрлі полярлылықты қылшақтар арасындағы доғаның таралу жолында кедергілер құру үшін бөлуші материалдардан кедергілер орнатады (27.13, б сур.).

27.6. Коллекторлық машиналардың радиокедергілері

Қанағаттанарлықсыз коммутация кезінде коллекторлы

машина радиоқабылдағыштың сапасын төмендететін, кейде оны мүмкін етпейтін радиоақаулардың көзі болып саналады, себебі индустриалды ақаулар деңгейі әрекет етуші нормалармен анықталатын мағыналардан аспау керек.

Радиоақаулар екі жолмен таралады: эфир арқылы

(электромагниттік сәулелену) және электрлікжелі арқылы.

Эфир бойынша таралатын, ақаулардың берілуі үшін

электрлік машиналарды экрандайды. Эcran ретінде машинаның

жерлендірілген корпусы қолданылады. Егер машинада коллектор

жақтан терезе бар болса, онда оларды машина корпусымен сенімді байланыс

қамтамасыз етіп металл қалпақпен немесе тормен жабу керек.

Машинадан желіге өтетін ақауларды басу үшін, *орамаларды симметрлеу және сүзгілерді қосу* қоланылады. Орамаларды симметрлеу кезекпе-кезек зәкір шынжырына қосылатын әрбір орамадан тұрады, оларды екі бірдей бөлікке бөледі және түрлі полярлы қылшақтарғасимметриялы жалғайды. Сүзгілерді қолдану – радиоақауларды басудың ...ізгі әдісі. Көпшілік машина үшін әрбір токтасымалдаушы сымдар мен машина корпусы арасында қосылатын, конденсатор түріндегі сыйымдылықты сүзгі орнату жеткілікті (27.14сур.). Конденсатор сыйымдылығы мағынасын тәжірибелі жолмен таңдайды, сонымен қоса олар машинаның жұмыс кернеуіне сай есептелу керек. Сүзгілерге БІБ типіндегі өтпелі конденсаторлар тиімді, олардың қысқыштарының бірі болып машина корпусына тәуелсіз бекітілген металл жабын табылады.



27.14. сур. Ақауқорғаушы
сүзгіні қосу сызбасы

Бақылау сұрақтары

1. Коллекторда ұшқындауды қандай себептер тудыру мүмкін?
2. МЕМСТпен ұшқындаудың қандай деңгейлері қарастырылған? Олардың әрқайсына сипаттама беріңіз және рұқсаттық шарттарын көрсетіңіз.
3. Неге тұзусызықты коммутация ұшқындаумен жадғаспайды?
4. Тежелген коммутация кезінде қандай себептер ұшқындауды туғызады?
5. Қосымша өрістердің тағайындалуын және құрылғысын түсіндіріңіз.
6. Қандай себептер коллектор бойынша дөңгелек алау туғызуға бейім?
7. Коллекторлы машинада радиоақаулар деңгейін қалай төмендетуге болады?

28 тарау

ТҰРАҚТЫ ТОК КОЛЛЕКТОРЛЫҚ ГЕНЕРАТОРЛАРЫ

28.1. Негізгі ұғымдар

Тұрақты токтың генератордың жұмыс процесінде зәкір орамында ЭҚК индукстеледі E_a (25.20-қараңыз). Генераторға жүктемені қосқан кезде зәкір тізбегінде ток туындайды, ал генератор шығыстарында генератор зәкір тізбегі үшін кернеу теңестіруімен анықталатын кернеу бекітіледі:

$$U = E_a - I_a S_r. \quad (28.1)$$

Мұнда

$$S_r = I_a + I_d + I_{K-0} + I_c + I_{ш} \quad (28.2)$$

— зәкір тізбегінің барлық қатысушыларының кедергілерінің жиынтығы: зәкір орамы I_a , қосалқы полюстердің орамдары I_d , өтемдеуіш орамдар I_{K-0} , қоздырудың ретті орамы I_c және өтпелі қылшақты байланыс $I_{ш}$.

Машинада қандай да бір көрсетілген орамдар болмаса (28.2) тиісті қосылғыштары түсіріледі.

Генератор зәкірі жетекті қозғалтқышпен айналдырылады, ол генератор білігінде айналу M_i мезетін тудырады. Егер генератор бос жүріс режимінде жұмыс жасаса ($I_a = 0$), онда оның зәкірінің айналуы үшін бос жүрістің салыстырмалы кіші мезеті керек. Бұл мезет тежеуіш қарсы әрекет ететін M_0 мезеттермен шартталған, олар генераторда бос жүріс режимінде жұмыс кезінде туындайды: үйкеліс күші мезеттері мен зәкірде ток иірімдері.

Сыртқы генератордың жұмысы кезінде зәкір орамының сымдарында ток I_a туындайды, ол Φ қоздыру магнитті ағынымен өзара әсерлеседі, ол зәкірде M электромагнитті мезетін тудырады.

(25.24) -қараңыз. Генераторда бұл мезет жетекті қозғалтқыштың ЖҚ айналу мезетіне M_1 қарсы бағытталған. (28.1-сурет), яғни ол жүктемелік болып табылады (тежеуші).

Өзгеріссіз айналу жиілігінде ($n = \text{const}$) жетекті қозғалтқыштың айналу мезеті қарсы әрекет ететін M_1 мезеттердің жинтығымен теңестіріледі:

28.1-сурет. Тұрақты ток генераторына әрекет ететін мезеттер

$$M_1 = M_0 + M. \quad (28.3)$$

(28.3) өрнегі $n = \text{const}$ кезінде генератор үшін мезеттерді теңестіру. (28.3) теңестіру мүшелерін көбейтіп, әзірдің ω айналу жиілігінің бұрыштық жылдамдығы қуаттың теңдеулерін аламыз:

$$P_i = P_0 + P_{эм}, \quad (28.4)$$

мұнда $P_1 = M_1 \omega$ — генератордың жетекті қозғалтқышына келетін қуат (механикалық); $P_0 = M_0 \omega$ — бос жүріс қуаты, яғни бос жүріс режимінде генераторға келтірілетін қуат (өшірілген жүктеме кезінде); $P_{эм} = M \omega$ — генератордың электромагнитті қуаты.

(25.27) сәйкес аламыз:

$$P = EI$$

ЭМ
а а

немесе (28.1) ескерумен

$$P_{эм} = UI_a + I_2 S r = P_2 + P_{эа}, \quad (28.5)$$

мұнда P_2 — генератордың пайдалы қуаты (электрлі), яғни генератормен жүктемеге берілетін қуаты; $P_{эа}$ — орамдарды жылыту және әзір тізбегінде қышпақты байланыс шығындарының қуаты (29.8-қараңыз).

Генераторды $P_{эв}$ қоздыруға кеткен шығындарды ескере отырып, тұрақты ток генераторы үшін қуат теңдеулерін аламыз:

$$P_i = P_2 + P_0 + P_{эа} + P_{эв} \quad (28.6)$$

Сәйкесінше жетекті қозғалтқышпен P_1 дамытылатын механикалық қуат генераторда пайдалы электрлі қуат P_2 түзіледі, ол шығындарды жабуға шығындалатын жүктеме мен қуат ($P_0 + P_{эа} + P_{эв}$).

Генераторлар, әдетте, өзгеріссіз айналу жиілігінде жұмыс жасайтындықтан, онда олардың сипаттамалары $n = \text{const}$ шартында қарастырылады. Тұрақты ток генераторларының негізгі сипаттамаларын қарастырайық.

Бос жүріс сипаттамасы — бос жүріс U_0 генератордың шығысында кернеудің қоздыру тогынан тәуелділігі I_a :

$$U_0 = I(4) \quad I = 0 \text{ және } n = \text{const кезінде}$$

Жүктемелік сипаттама — генератор шығысында U қоздыру тогының жүктемесіне жұмыс жасау кезінде I_a :

$$U = I(1_a) \quad I \wedge 0 \text{ және } n = \text{const кезінде}$$

Сыртқы сипаттама — генератор шығысындағы U кернеудің жүктеме тогына I тәуелділігі

$$U = I(I) \quad r_{\text{ре}} = \text{const және } n = \text{const кезінде}$$

мұнда $r_{\text{ре}}$ — қоздыру орамының тізбегіндегі реттеудің кедергісі.

Реттеуші сипаттама — қоздыру тогының I_a генератор шығысында өзгеріссіз кернеу кезінде I жүктеме тогына тәуелділігі:

$$I_a = I(I) \quad U = \text{const және } n = \text{const кезінде}$$

Аталған сипаттамалар тұрақты ток генераторларының жұмыс қасиеттерін анықтайды.

28.2. Тәуелсіз қоздыру генераторы

Тәуелсіз қоздырудың генераторын қосу сызбасы 28.2а-суретінде көрсетілген. Қоздыру тогына қосылған реостат $r_{\text{ре}}$ қоздыру орамына тоқты 4 реттеу мүмкіндігін береді, яғни машинаның негізгі магнитті ағыны. Қоздыру орамы тұрақты ток көзінен қоректенеді: аккумулятор, түзеуіштер немесе тұрақты тоқтың өзге генераторы бұл жағдайда қоздырушы деп аталады.

Бос жүріс сипаттамасы. Сипаттамасын $U_0 = I(4)$ шешкен кезде генератор бос жүріс режимінде жұмыс жасайды ($4 = 0$). Номиналды айналу жиілігін ұстап, оны өзгеріссіз етіп ұстап, ауыспалы резистор $r_{\text{ре}}$ арқылы қоздыру орамында тоқты I_a біртіндеп арттырады, нольдік мәнінен $+4 = Oa$ дейін, онда бос жүріс кернеуі $U_0 = 1,15 U^\wedge$. 1 кестені құру үшін мәліметтерді алады (28.2б-суреті). 1-кестенің бастапқы ординатасы нольге тең емес, ол қалдық магнетизмнің шағын магнитті ағынның әрекетімен түсіндіріледі, ол машинаны алдыңғы магниттеуден туындайды. Қоздыру тогын нольге дейін азайтп, оның бағытын өзгертіп, біртіндеп қоздыру тізбегінің тогында — $4 = Ob$ дейін арттырады. Осылайша алынған 2-кесте сипаттаманың азаймалы тармағы деп аталады.

28.2-сурет. Қоздыруға тәуелсіз генератордың принципияльді сызбасы (a) және бос жүріс сипаттамасы

Бірінші квадрантында 2-сызба 1-сызбадан жоғары тұрады. Бұл 1-сызба мәліметтерін алу кезінде қалдық магниттелудің магнитті ағынын күшейту болды. Ары қарай тәжірибені кері бағытта жүргізеді, яғни қоздыру тоғын — $I_a = Ob - 1_a = 0$ азайтып, содан кейін $+I_a = Oa$ мәніне дейін арттырады. Нәтижесінде 3-сызба алынады, ол бос жүрістің өршімелі тармағы деп аталады. Бос жүрістің азаймалы және өршімелі тармақтарының сипаттамалары магниттендіру ілмегін түзеді. 2 және 3 қисықтары арасында 4 сызығы – бос жүрістің есептік сипаттамасын құрайды.

Бос жүрістің түзу сызықты сипаттамалары машина жүйесінің қанықпаған магнитіне сәйкес келеді. Қоздыру тоғын ары қарай арттырған кезде машина болаты қанығады және сипаттамасы қисық сызықты сипатын алады. $U_0 = f(I_a)$ тәуелділігі өзге масштабта машинаның магнитті сипаттамасын қайталайды (26.1-қараңыз) және машинаның магнитті қасиеттері туралы пайымдау мүмкіндігін береді.

Генератордың жүктемелік сипаттамасы. Бұл сипаттама генератор шығысында қоздыру тоғынан 4 кернеу U тәуелділігін жүктеменің өзгеріссіз тоғында білдіреді, мысалы, номиналды және айналу жиілігі. Көрсетілген шарттарда генератор шығысында ЭҚК (28.1-қараңыз) кем, сондықтан жүктемелік сипаттамасы 1 бос жүріс сипаттамасынан 2 төмен орналасады (28.3-қараңыз). Егер a нүктесін, ол номиналды кернеуге $U_{ном}$ сәйкес келеді, жоғары ab кесіндісін қоямыз ол $I_a Sg$ тең және бос жүріс сипаттамасымен қиылысқанға дейін bc кесіндісін көлденең сызық жүргіземіз.

Содан кейін a және c нүктелерін байланыстырып, abc аламыз – реактивті үшбұрыш (сипаттамалық.).

Мәселен, $I_{b1} = I_{\text{ном}}$ қоздыру тогында бос жүріс режимде генератордың жұмысында шығысындағы кернеу $U_0 = de$; жүктемені қосудан (қоздыру тогы өзгеріссіз болғанда генератор кернеуі $I_{\text{ном}} = ae$ мәніне дейін азаяды. Осылайша, da кесіндісі кернеу көлемі $AU = U_0 - I_{\text{ном}}$ кезінде $I_{b1} = I_{\text{ном}}$ білдіріледі. Генератор шығысындағы кернеу бұл жағдайда екі себеп әсерінен азайған: экір тізбегінде кернеу азаяы (28.1-қараңыз) және экір тізбегінің реакциясы магнитсізденеді. Экірдің кедергісін өлшеп, кернеудің I_a Sг төмендеуін есептеп, генератордың ЭҚК жүктеменің белгіленген тогында $E_a = U + I_a Sг$ анықтауға болады.

$$0 \quad I_{a3} \quad I_{a2} \quad I_{a1} \quad I_a$$

28.3-сурет. Қоздыруға тәуелсіз генератордың жүктеме сипаттамасы

28.3-суретте бұл ЭҚК be кесіндісімен берілген. Генератордың бос жүріс режиміндегі ($be < de$) қарағанда жүктемесі кезінде электр қозғаушы күші кем, ол экір әсерінің магнитсіздендіру әсерімен түсіндіріледі. Осы әсердің сандық бақылау үшін c нүктесінен абцисса осіне перпендикуляр түсіреміз. Алынған cf кесіндісі генератордың жүктемесі кезінде ЭҚК білдіреді; бос жүріс режимінде осы ЭҚК құру үшін $I_{b2} < I_{b1}$ қоздыру тогы керек. Яғни fe кесіндісі қоздыру тогының алуан түрлілігіне тең, ол экір реакциясының магнитсіздендіру әсерін өтемдейтін қоздыру тогын $A1_b = I_{b1} - I_{b2}$ білдіреді.

Реактивті (сипаттамалық) үшбұрыштың катеттері жүктеме кезінде генератордың кернеуінің азаюына әкелетін себептерін анықтайды: экір тізбегінде кернеудің азаюы қоздыру тогының катеті $A1_b = I_{b1} - I_{b2}$, анықтайды, ол экір реакциясының магнитсіздендіру әсерін өтемдейді, катетін анықтайды:

$$ab = I_a Sг; \quad (28.7)$$

$$bc = I_b i - I_b 2. \quad (28.8)$$

$a'b'c'$ реактивті үшбұрышы қоздыру тогының 4з өзге мәні (кем) құрылған. Үшбұрыштың $a'b'$ жағы ($a'b' = ab$) өзгеріссіз қалдырылған, ол жүктеме тогының өзгеріссіз болуымен түсіндіріледі, бірақ $b'c'$ жағы азайған, себебі қоздыру тогы аз болғанда генератордың магнитті тізбегінің қанығуы ($b'c' < bc$) азайған, яғни экір тізбегінің магнитсіздендіру әсері де әлсіреген

Генератордың сыртқы сипаттамасы. Бұл сипаттама генератор шығысында кернеудің U жүктеме тогынан I тәуелділігін білдіреді. Генератордың сыртқы сипаттамасын құру үшін мәліметтерді алу кезінде номиналды жылдамдықпен айналдырады және номиналды кернеу кезіндегі номиналды тогына дейін жүктейді. Ары қарай жүктемені бос жүрісін ($I = 0$) дейін біртіндеп азайтып, құралдардың көрсеткіштерін алады. Қоздыру тізбегінің Y_e кедергісі және айналу жиілігі тәжірибе барысында өзгеріссіз қалдырады.

28.4а-суретінде генератордың қоздырудан тәуелсіз сыртқы сипаттамасы берілген, оған сәйкес жүктеме тогын I арттырғанға дейін генератор шығысында кернеу төмендейді; бұл зәкір реакциясының магнитсіздендіру әсерімен және зәкір тізбегінде кернеудің азаюымен түсіндіріледі. Сыртқы сипаттаманың абцисса осіне қиғаштануы (сыртқы сипаттаманың қаттылығы) жүктемені түсірген кезде генератордың кернеуінің номиналды өзгерісімен бағаланады:

$$D U_{\text{НОМ}} = U_0 \frac{U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}} = 100. \quad (28.9)$$

Әдетте тәуелсіз қоздыру генераторы $D_{\text{ином}} = 5 \div 10 \%$.

Генератордың реттеуші сипаттамасы. $1_a = f(I)$ сипаттамасы көрсеткендей, қоздыру тізбегінің тогын өзгерту керек, ол генератор жүктемесінің өзгертулері кезінде оның шығыстарында өзгеріссіз, номиналдыға тең болады. Мұнда айналу жиілігі тұрақты ($n = \text{const}$) болып қалады. Генератордың бос жүріс режимінде жұмыс жасаған кезде қоздыру тізбегінде $r_{\text{дг}}$ резисторы арқылы токты 4 орнатады, онда генератор шығысындағы кернеу номиналдыға тең болады. Мәселен

а

б

**28.4-
сурет. Қоздыруға
тәуелсіз генератордың
сыртқы (а) және
реттеуші (б)**

Сипаттаманың өршімелі тармағын алады (28.4 б-суреті, 1-сызба). Генератордың жүктемесін бос жүріске дейін азайта отырып, қоздыру тоғын тиісінше азайтқан кезде, сипаттаманың азаймалы тармағын алады (28.4б-суреті, 2-сызба). Реттеу сипаттамасының азаймалы тармағы өршімеліге қарағанда төмен орналасқан, ол өршімелі тармақты алу кезінде машинаның магнитті тізбегінің магниттендіру әсерімен түсіндіріледі. Орта сызығын 3, ол азаймалы және өршімелі тармақтар арасында орналасқан, генератордың тәжірибелік реттеуші сипаттамасы деп аталады.

Тәуелсіз қоздыру генераторларының негізгі кемшілігі – ол бөгде тұрақты көзі – қоздырушының қажеттілігі. Алайда кернеуді кең ауқымда реттеу мүмкіндігі, сонымен қатар қатты сыртқы сипаттама осы генератордың артықшылықтары болып табылады.

28.3. Параллель қоздыру генераторы

Тұрақты ток генераторының өздігінен қоздыру ұстанымы магнитті жүйенің магнитті жүйесі магниттеліп, полюстер өзегі мен $\Phi_{\text{ост}}$ тұғырдың қалдық магнетизмнің магнитті ағыны кезінде ұзақ уақыт бойы сақталады (толық ағынның шамамен 2 — 3 %). Зәкір айналған кезде $\Phi_{\text{ост}}$ ағыны ЭҚК $E_{\text{ост}}$ зәкір орамында индуктеледі, оның әсерімен қоздыру орамында шағын ток $I_{\text{в-ост}}$ туындайды. Егер қоздыру орамының МҚК дәл осындай бағытта болса, $\Phi_{\text{ост}}$ ағыны секілді, онда ол басты полюстердің ағынын арттырады. Бұл, өз кезегінде, генератор ЭҚК арттыруды тудырады, одан қоздыру тоғын қайта артады, Генератор кернеуі қоздыру тізбегінде кернеу төмендеуі теңеспейінше осылай жалғаса береді, яғни

$$I_{\text{в}} U_0,$$

мұнда $I_{\text{в}} = I_{\text{с}} + I_{\text{пр}}$ — қоздыру тізбегінің жалпы кедергісі; $I_{\text{в}}$ — қоздыру орамының кедергісі.

28.5а-суретінде параллель қоздырудың генераторын қосу сызбасы көрсетілген, 28.5б-суретінде генератордың бос жүріс сипаттамасы берілген (1-сызба) және қоздыру тоғынан кернеудің азаю тәуелділігі $I_{\text{в}} I_{\text{с}} = I_0 (I_{\text{с}})$ (2-сызба). А қиылысу нүктесі өздігінен қоздыру процесінің аяқталуына сәйкес келеді, себебі онда $U = U_0$.

Абцисса осіне ОА түзу қиғашының бұрышы ОАВ үшбұрышымен анықталады.

$$\text{— } \tan \alpha = \frac{U}{I_{\text{с}}} = \frac{I_{\text{в}}}{I_{\text{с}}}, \quad (28.10)$$

28.5-сурет. Параллель қоздыру генераторының тәртіптік сызбасы (a) және бос жүріс сипаттамасы (б)

мұнда m , — ток масштабы (абцисса осі бойынша), A/мм; m_u — кернеу масштабы (ордината осі бойынша), В/мм.

(28.10) сәйкес, абцисса осіне түзудің $I_{\phi\phi} = I_d$ қиғаштану бұрышы қоздыру тізбегінің кедергісіне тура пропорционал. Алайда реостат кедергісінің r_{re} кей мәнінде кедергі r_{ϕ} тәуелділігі $I_{\phi\phi} = I_d$ бос жүріс сипаттамасының түзу сызықтыға қатысты болатын мәнге жетеді (түзу 3). Бұл жағдайда генератор өздігінен қозбайды. Қоздыру тізбегінің кедергісі, ол кезде генератордың өздігінен қозуы тоқтатылады, шекті деп атайды.

Айта кету керек, генератордың өздігінен қозуы $p_{кр}$ шектіден асастын айналу жиілігінде ғана мүмкін. Бұл шарт генератордың өздігінен қоздыру сипаттамасына сәйкес (28.6-сурет), ол бос жүріс режимінде генератор кернеуінің қоздырудың айналу жиілігі өзгеріссіз кезінде тәуелділігін білдіреді, яғни $r_{\phi} = \text{const}$ кезінде $U_0 = I_d/n$.

Өздігінен қоздыру сипаттамасының талдауына сәйкес, $n > p_{кр}$ кезінде генератор зәкірінің айналу жиілігі кернеудің елеусіз артуымен сүйемелденеді, себебі өздігінен қоздыру процесі жоқ және генератор шығысында кернеудің пайда болуы генератордың магнитті тізбегінің қалдықты магниттендіруімен шартталған.

Өздігінен қоздыру процесін $n < p_{кр}$ кезінде басталады. Бұл жағдайда айналу жиілігін арттыру кернеудің U_0 күрт өсуімен сүйемелденеді.

Алайда номиналдыға жақын айналу жиілігінде кернеудің артуы біршама баяулайды, ол генератордың магнитті қанығуымен түсіндіріледі. Шекті айну жиілігі қоздыру тізбегінің кедергісіне байланысты және соңғының өсуі артады.

Осылайша, тұрақты ток генераторының өздігінен қозуы келесі шарттарды орындау кезінде мүмкін:

- а) машинаның магнитті жүйесі қалдық магнетизмге ие болады;
- б) қоздыру орамын қосу орам МҚК $\Phi_{ост}$ қалдықты магнетизм ағынының бағытымен сәйкес келеді;
- в) қоздыру тізбегінің кедергісі шектіден кем болуы керек;
- г) экірінің айналу жиілігі шектіден артық болу керек.

Қоздырудың генераторы бір бағытта ғана өздігінен қоздырылатындықтан, онда бұл генератордың бос жүрісінің сипаттамасы координата осінің бір квадранты ғана шешіледі.

Параллель қоздырудың жүктемелік және реттеуші сипаттамасы қоздыруға тәуелсіз генератордың тиісті сипаттамасынан дерлік ерекшеленбейді.

Параллель қоздырудың генераторының сыртқы сипаттамасы 1 (28.7-сурет) қаттылығы біршама аз, тәуелсіз қоздыру жүктемесіне қарағанда. Бұл параллель қоздыру генераторында тәуелсіз қоздыру генераторында кернеуді азайтуды тудыратын себептерден бөлек (экірі реакциясы мен экірі тізбегінде кернеудің құлауы) тағы үшінші себебі бар – қоздыру тогының азаюы, а ол бірінші екі себептің әсерінен кернеудің төмендеуімен тудырылған. Бұл сонымен қатар жүктеме кедергісін біртіндеп азайтқан кезде ток $I_{н}$ шекті $I_{кр}$ мәніне дейін артатынымен түсіндіріледі,



28.6-сурет. Өздігінен қозу сипаттамасы

28.7-сурет. Параллель қоздырудың генератордың сыртқы сипаттамасы

ары қарай жүктеме кедергісінің азаюы кезінде ток азая бастайды. Соңында, жүктеме тогы қысқа тұйықталу кезінде $I_k < I_{кр}$. Токтың артуымен генератордың магнитсіздендіру күшейеді (зәкір реакциясын арттыру және қоздыру тогын азайту), машина қанықпаған күйіне келеді, онда жүктеме кедергісін шамалы азайту машинаның ЭҚК лезде азайтуын туындайды (28.56-суреті). Ток генератор шығысында U кернеуімен және жүктеме $G_{шт}$ яғни $I = U / G_{шт}$ жүктеме тогы кезінде, онда генератор кернеуі баяу азаяды, ол жүктеме тогы $I < I_{кр}$ өскен кезде жүктеме кедергісі азаяды. Жүктеме тогы I шекті мәніне $I_{кр}$ жеткен соң, ары қарай азаюы жүктеме тогының азаюымен сүйемелденеді, себебі бұл жағдайда кернеу U жүктеме кедергісі $G_{шт}$ азайғаннан жылдам азаяды.

Осылайша, жүктеме кедергісінің баяу азаюымен тудырылған қысқа тұйықталу параллель қоздыру генератор үшін қауіпті, себебі генератор магнитсіздендіріліп үлгереді және зәкір тізбегіндегі ток жол берілмейтін қауіпті мәндеріне жетпейді. Бірақ лезде қысқа тұйықталу кезінде генератордың магнитті жүйесі магнитсізденіп үлгермейді және ток I_k машина үшін $I_k = (8 \wedge 12)I_{ном}$ қауіпті мәндерге жетеді (2-қиғашы). Бірақ жылдам қысқа тұйықталу кезінде генератордың магнитті жүйесі магнитсізденіп үлгермейді және машина үшін қауіпті мәндерге жетеді (2-қиғашы). Жүктеме тогының лезде өсуі кезінде генератор білігінде елеулі тежелуші мезеті туындайды (25.24-қараңыз), ал коллекторда айналмаотқа өтетін күшті ұшқындау туындайды. Осы қауіпті құбылысқа жол бермеу үшін генератордың зәкір тізбегін балқымалы сақтандырғыштармен немесе автоматты сөндірушілермен қорғау керек.

Параллель қоздыру генераторлары тұрақты ток қондырғыларында қолданады, себебі қоздырушының болмауы бұл генераторларды тәуелсіз қоздыру генераторларынан ерекшелендіреді. Параллель қоздыру генераторының кернеуінің номиналды өзгеруі (28.9-қараңыз) 10 — 30% құрайды.

28.4. Аралас қоздыру генераторы

Аралас қоздыру генераторы (28.8а-суреті) қоздырудың параллель және ретті орамдары бар. Қоздыру ағыны негізінен параллель орамда тудырылады. Ретті орам әдетте параллельге сәйкес қосылады (орам МҚК құрылатындай),

Бос жүріс режимінде генераторда тек параллель қоздыру ғана бар, себебі қоздырудың ретті орамындағы ток жоқ.

28.8-сурет. Аралас қоздырудың генераторын қосу сызбасы (а) және оның сыртқы сипаттамалары (б)

Жүктеменің пайда болуымен қоздырудың ретті орамының МҚК туындайды, машинаны магниттендіріп, зәкір реакциясының магнитсіздендіру әсерін өтемдейді және зәкірдегі кернеудің төмендеуі.

Сыртқы сипаттамасы бұл жағдайда анағұрлым қатты болады (28.8б-суреті, 2-сызбасы), яғни генератор қысқышындағы кернеу жүктеме тоғын арттырған кезде дерлік өзгеріссіз қалады. Егер тұтынушы қысқыштарында кернеу (желі соңында) дерлік өзгеріссіз қалуы қажет болса, онда ретті орамдағы иірімдер саны осы орам МҚК өтемдейтіндей және желі сымдарындағы кернеу төмендеуі шамасына арттырады (1-сызба).

Қоздыру орамын қарсы қосқан кезде генератор кернеуі жүктеме тоғын өсуімен бірге лезде азаяды (3-сызба), ол қоздыру ретті орамының магнитсіздендіру әсерімен түсіндіріледі, оның МҚК параллель орамның МҚК қарсы бағытталған. Орамды қарсы қосу арнайы арналымдағы генераторларда ғана қолданылады, мысалы, дәнекерлеуде, онда күшті сыртқы сипаттамасын төмендеуіне қажет.

Аралас қоздыру генераторлары қоздыру орамын қосуға сәйкес желіде кернеу тұрақтылығы керек болған кезде күштік жүктемесінің қоректендіру үшін қолданады.

Бақылау сұрақтары

1. Тұрақты ток генераторларын қандай сипаттамалар анықтайды?
2. Неге параллель қоздыру генераторында жүктемені түсірген кезде кернеудің өзгеруі тәуелсіз қоздыру генераторына қарағанда артық?
3. Тұрақты ток генераторларының өздігінен қоздыру шарттары қандай?
4. Аралас қоздырудың генераторын қоздыру орамын қалай қосқан кезде тұтынушы қысқыштарында кернеу дерлік өзгеріссіз болып сақталады?

29 бөлім

КОЛЛЕКТОРЛЫҚ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАР

29.1. Негізгі ұғымдар

Коллекторлық машиналар қайтымдылық қасиетін иелене отырып, генератор режимінде де, қозғалтқыш режимінде де жұмыс жасай алады. Сондықтан егер тұрақты ток машинасын тұрақты ток көзіне қосса, онда қоздыру орамында және зәкірдің орамында токтар пайда болады. Зәкір тогының қоздыру магнитті өрісімен өзара әсерлесуі зәкірде электромагнитті мезет тудырады

$$M = C_m I_a \Phi,$$

ол генератордағыдай тежеуші емес, айналушы болады. М электромагнитті мезеттің әрекетімен машина зәкірі айнала бастайды, яғни желіден электр энергиясын тұтынып, оны механикалыққа түзіп, қозғалтқыш режимінде жұмыс жасайды. Жұмыс процесінде қозғалтқыштың зәкірі магнитті өрісте айналады, мұнда зәкір орамында ЭҚК E_a индуктеледі, оның бағыты «оң жақ қол» ережесі бойынша анықтауға болады. Өзінің табиғаты бойынша ол генератор зәкір орамында келтірілген ЭҚК өзгешеленбейді. Қозғалтқышта бұл ЭҚК зәкір тогына I_a қарсы бағытталған және сондықтан оны зәкірдің қарсы электр қозғаушы күші (қарсы ЭҚК) деп атайды (29.1-сурет).

Тұрақты айналу жиілігінде жұмыс жасайтын қозғалтқыш үшін

$$U = E_a + I_a R_r. \quad (29.1)$$

(29.1) сәйкес қозғалтқышқа келтірілген кернеу зәкір орамының қарсы ЭҚК және зәкір тізбегінің кернеуінің төмендеуімен теңестіріледі. (29.1) негізінде зәкір тогы

$$I_a = (U - E_a) / R_r. \quad (29.2)$$



(29.1) теңдеудің екі бөлігінде I_a тогына I_a көбейтіп, тұрақты ток қозғалтқышы I_a тізбегі үшін қуат теңдеуін аламыз:

$$UI_a = I_a^2 R + E_a I_a, \quad (29.3)$$

мұнда UI_a — I_a орамының тізбегіндегі қуат;

$I_a^2 R$ — I_a тізбегінде электрлі шығындардың қуаты.

$E_a I_a$ өрнегінің мәнін анықтау үшін, учитывая (25.20) және (25.25) ескере отырып, келесіні жасаймыз:

29.1-бөлім. Қозғалтқыш
 I_a тізбегі орамында ЭҚК қарсы бағыты

немесе

$$E_a I_a = \frac{pN}{2\pi a} \Phi W = C_M \Phi I_a W = M W.$$

Түпкілікті аламыз

$$E_a I_a = MW = P_{эм}, \quad (29.4)$$

мұнда $w = 2\pi n/60$ — I_a тізбегінің бұрыштық айналу жылдамдығы; $P_{эм}$ — қозғалтқыштың электромагнитті қуаты.

Яғни, $E_a I_a$ өрнегі қозғалтқыштың электромагнитті мезетін білдіреді.

(29.3) түрлендіріп, (29.4) ескере отырып, аламыз:

$$UI_a = MW + I_a^2 R,$$

Бұл теңдеудің талдауы көрсеткендей, қозғалтқыш білігіне жүктеменің артуымен, яғни электромагнитті мезеттің M артуымен I_a тізбегіндегі қуат UI_a артады, яғни қозғалтқыш кірісіндегі қуат. Бірақ қозғалтқышқа келтірілетін кернеу ($U = \text{const}$) өзгеріссіз ұсталып тұрғандықтан, онда қозғалтқыш жүктемесін арттыру I_a тоқтың артуымен сүйемелденеді. ЭҚК формуласына сәйкес

$$E_a = \Phi \omega,$$

қозғалтқыштың айналу жиілігі (айн/мин)

(29.1) E_a мәніне қойып, аламыз

яғни қозғалтқыштың айналу жиілігі кернеуге тура пропорционал және қоздыру магнитті ағынына кері пропорционал. Физикалық тұрғыдан кернеудің U артуы немесе Φ ағынның азаюына әр түрліліктің ($U - E_a$) артуын тудырады, ол өз кезегінде токтың I_a өсуіне әкеледі (29.2-қараңыз). Осының нәтижесінде көбейген ток айналу мезетін арттырады және егер мұнда жүктеме мезеті өзгеріссіз қалса, онда қозғалтқыштың айналу жиілігі артады.

Байланысу сызбасына қарай қоздыру орамы зәкір орамына қатысты тұрақты ток қозғалтқыштарын тәуелсіз, параллель, ретті және аралас қоздыру қозғалтқыштары деп бөлінеді.

Зәкір айналуының бағыты Φ қоздырудың магнитті ағынының бағыттарына және зәкір орамының тогына I_a байланысты. сондықтан қандай да бір көрсетілген көлемдердің бағытын өзгертіп, қозғалтқыштың реверстеуге болады, яғни оның зәкірінің айналу бағытын өзгерту. Айта кету керек, ток бағытын зәкір тізбегінде де және қоздыру орамында да біруақытта өзгерту кезінде қозғалтқыш зәкірінің айналу бағыты бұрынғыдай қалады.

29.2. Тәуелсіз және параллель қоздырудың тұрақты ток қозғалтқыштары

Егер қоздыру кернеуі U_a зәкір тізбегіне келтірілген кернеуінен U ерекшеленсе, онда тәуелсіз қоздыруды қолданады. Бұл жағдайда қоздыру орамына ҚО зәкір орамымен электрлі байланысы жоқ (29.2а-суреті).

а

б

29.2-сурет. Тәуелсіз (а) және параллель (б) қоздырудың тұрақты ток қозғалтқыштарын қосудың негізгі сызбалары

Егер бұл кернеулер тең болса, онда параллель қоздыруды қолданады, яғни қоздыру орамын ҚО зәкірдің параллель орамына қосады (29.2 б-суреті). Тәуелсіз немесе параллель қоздырудың қозғалтқышында қолдау электр жетек сызбасымен анықталады. Тұрақты ток қозғалтқышының қасиеттері тәуелсіз немесе параллель қоздыру кезінде бірдей. Тұрақты ток қозғалтқыштарының эксплуатациялық қасиеттері олардың жұмыс және механикалық қасиеттерімен анықталады.

Жұмыс сипаттамалары. П Қоректендірудің механикалық кернеуі U мен қоздыру орамындағы токтың I_a өзгеріссіз мәндерінде айналу жиілігі n , зәкір орамының тоғын I_a , қозғалтқыштың пайдалану қуатының P_2 пайдалы мезеті M_2 тәуелділігін білдіреді (29.3-суреті).

Абцисса осіне қиғашталған түрі бар сипаттамасы $n = f(P_2)$. Сипаттаманың мұндай түрі қозғалтқыш жүктемесінің P_2 өсуімен зәкір тоғы I_a артады, яғни зәкір тізбегінде кернеудің $I_a S_g$ төмендеуімен өседі. Нәтижесінде белгіш азаяды (29.5), ол айналу жиілігінің төмендеуіне әкеледі. Жүктеменің өсуімен бірге зәкір реакциясы артады (26.2-қараңыз); бұл Φ магнитті ағынын азайтады, ол айналу жиілігін арттырады. Қуаты аз қозғалтқыштарда магнитті қанығуы шағын, ол зәкірдің магнитсіздендіру қанығуы үлкен емес және сипаттамасы $n = f(P_2)$ абцисса осіне шамалы қиғашталған қисық түрі бар. Бірнеше киловатт қуаты бар қозғалтқыштарда зәкір реакциясы жақсы танылады, және белгілі ауқымда жүктеменің артуымен қозғалтқыштың айналу жиілігі өсетін болады және қозғалтқыш тұрақсыз жұмыс жасай бастайды. Қозғалтқыштың осы кемшілігін жою мақсатында қозғалтқыштар жеңіл (бірнеше иірім) тұрақты орамымен жабдықталады, ол МКҚ $C_{ст}$ қоздыру орамының F_B МКҚ сәйкес бағытталатындай зәкір тізбегіне ретімен қосылады.

Жүктемені арттыру кезінде зәкір реакциясын арттырумен бірге тұрақтандырушы орамның $C_{ст}$, МКҚ артады, ол зәкірдің магнитсіздендіру әсерін өтемдейді.

Сипаттама мезеті $M_2 = f(P_2)$ пайдалы мезет өрнегімен анықталады (біліктегі мезет) (Нм):

$$M_2 = P_2 / \omega = 9,55 P_2 / n, \quad (29.6)$$

мұнда n — зәкірдің айналу жиілігі,
айн/мин.

0

$P_{ном}$ P_2

29.3-сурет. Тәуелсіз және параллель қоздырушылардың тұрақты ток қозғалтқышының жұмыс сипаттамалары

Егер $n = \text{const}$, онда $M_2 = f(P_2)$ кестесі координата басынан шығатын түзу сызықты білдіреді. Алайда қозғалтқыш жүктемесін арттырумен айналу жиілігі азаяды, он қарастырылған сипаттаманың түзу сызықтығына әкеледі.

Зәкір тогының сипаттамасы. $I_0 = f(P_2)$ координата осінен шықпайды, себебі бос жүріс режимінде қозғалтқыш бос жүріс режимінде ($P_2 = 0$) тогын I_0 тұтынады және бос жүріс мезетін M_0 дамытады, ол механикалық және магнитті шығғындар қозғалтқыштарда шартталған.

Механикалық сипаттама. Қозғалтқыштың механикалық сипаттамасы зәкірдің айналу жиілігінің өзгермейтін қоректендіру кернеуі ($U = \text{const}$) мен қоздыру тізбегінің ($\Gamma_{\text{пер}} = \text{const}$) реостатын кедергісінің электромагнитті мезетіне тәуелділігін білдіреді

(29.5) зәкір тогының мәнін қойып, $I_a = M/(c_a \Phi)$, аламыз:

$$U = I_a R_a + E = n_0 \omega - A n, \quad (29.7)$$

где

$$U = \\ C e \Phi$$

— мінсіз бос жүрісте қозғалтқыштың айналу жиілігі ($M = 0$,

$I_a = 0$);

$$\frac{A n}{C}$$

C

— жұмыс машинасының статикалық жүктеме мезетінің әрекетімен тудырылған зәкірдің айналу жиілігінің тербелістері M_c .

a

б

в

29.4-сурет. Тәуелсіз (параллель) қоздырудың тұрақты ток қозғалтқышының механикалық сипаттамалары

Егер зәкірдің магнитсіздендіру әсерін ескермесек және қозғалтқышта магнитті ағынды өзгеріссіз етіп алсақ, онда тәуелсіз (параллель) қоздыру қозғалтқышының механикалық сипаттамасында абцисса білігіне қиғашталған түзуі түрінде берілген (29.4а-суреті, 1-сызба). Бұл сипаттама табиғи деп аталады.

Тәуелсіз (параллель) қоздырудың қозғалтқышының табиғи механикалық сипаттамасы «қатты», себебі қозғалтқыш білігінде жүктеме номиналды айналу жиілігіне дейін артқан кезде зәкір тізбегінде кернеудің салыстырмалы шағын түскені кезінде шамалы ғана өзгереді (5—10 %).

Егер қозғалтқыштың зәкір тізбегінде қосалқы кедергіні енгізсе $L_{доб}$ (29.2а-суретін қараңыз), онда тәуелсіз (параллель) қоздырудың тұрақты ток қозғалтқышының механикалық сипаттамасының теңдеудің аламыз:

$$-\frac{U}{C_e F} + \frac{M}{\omega} (Sr) = p_0 - An. \quad (29.8)$$

Осы теңдеуге сәйкес, қозғалтқыш білігінде жүктеменің артуымен M мінсіз бос жүрістің айналу жиілігі p_0 (29.7-қараңыз) өзгеріссіз қалады, себебі оның көлемі қозғалтқыш жүктемесіне тәуелді емес, ал An көлемі артады, ол (29.8) сәйкес, p айналу жиілігінің азаюына әкеледі. Мұнда абцисса осіне механикалық сипаттамасының қиғаштану бұрышы артады (29.4а-суреті, 2 және 3-сызбалары). Осылайша алынған механикалық сипаттамалары жасанды деп аталады. Мұнда резистор $L_{доб}$ кедергісі артқан сайын, механикалық сипаттамалары аз болады.

Механикалық сипаттамалардың пішініне F негізгі магнитті ағыны әсер етеді, мұнда оны азайтқан кезде мінсіз бос жүрістің айналу жиілігі p_0 артады, қозғалтқыш жүктемесімен тудырылған An айналу жиілігінің тербелістері болады. Мұнда p_0 егер магнитті ағынына F , кері пропорционал болса, онда $An F^2$ кері пропорционал. Қосылатын өрнектердің (29.8) магнитті ағынынан F тәуелділігі механикалық сипаттаманың қаттылығын лездік өзгертуге әкеледі (29.4б-суреті).

Зәкір тізбегіне келетін кернеуді U өзгерту кезінде мінсіз бос жүрістің айналу жиілігі p_0 осы кернеудің U өзгеруіне пропорционал өзгереді. Айналу жиілігінен An көлемі ауысқан кезде, онда кернеуге тәуелді емес және өзгерткен кезде өзгеріссіз қалды. Нәтижесінде механикалық сипаттамалардың қиғаштығы («қаттылығы») өзгермейді, олар ордината осімен ығысады, дегенмен бір-біріне параллель қалады (29.4в-суреті).

29.3. Тұрақты ток қозғалтқыштарын іске қосу

Қозғалтқыштың зәкір тогы мына өрнекпен анықталады (29.2)

$$I_a = (U - E_a)/S_r.$$

Егер U және S_r өзгеріссіз қабылдаса, ол қозғалтқыш жұмысының шынайы шарттарына сәйкес келеді, онда ток I_a тек қарсы ЭҚК тәуелді

$$E_a = \Phi \Pi.$$

Ток I_a қозғалтқыш іске қосылған кезде үлкен мәніне жетті. Яғни іске қосудың бастапқы мезетінде қозғалтқыш зәкірі қозғалыссыз ($n = 0$) және оның орамында ЭҚК ($E_a = 0$) индуктелмейді. Сондықтан қозғалтқышты тікелей желіге қосқан кезде оның зәкірінде іске қосу тогы туындайды:

$$I = U/S_r. \quad (29.9)$$

Әдетте зәкір тізбегінің кедергісі S_r үлкен емес, сондықтан іске қосу тогының мәні жол берілмейтін үлкен мәндеріне жетеді, қозғалтқыш номиналды тогынан 10-40 есе артады.

Осындай іске қосу тогы қозғалтқыш үшін біршама қауіпті. Біріншіден, ол коллекторда «айналмаот» тудырады, екіншіден, мұндай токта қозғалтқышта астам іске қосу мезеті дамиды, ол қозғалтқыштың айналатын бөлігіне және жұмыс механизмзіне екпінді күш түсіріп, механикалық тұрғыдан бұзады. Соңында, бұл ток желідегі кернеудің бірдінтеп құлауын тудырады, ол осы желіге қосылған өзге тұтынушылардың жұмысына кері әсерін тигізеді.

Аталған қажетсіз салдар зәкір тізбегіндегі елеулі токтан осы токтың мәндеріне дейінн шектеу шараларын қолдануға мәжбүрлейді $I_f = (1,5 \wedge 2,0)I_{ном}$. Қуаты аз қозғалтқыштар жол берілетін іске қосу тогының үлкен еселігіне сәйкес келеді. Қуаты 5 кВт дейінгі қозғалтқыштар үшін ол 2,5 дейін артуы мүмкін.

Іске қосу тогының тым кіші мәні ұнамсыз, себебі бұл іске қосу мезетінің төмендеуіне әкеледі және, яғни іске қосу процесін созады, ал елеулі жүктеме кезінде қозғалтқыш білігінде оның іске қосылуы болмауы мүмкін.

(25.24) өрнегіне сәйкес қозғалтқыштың электромагнитті мезеті зәкір тогына I_a ғана емес, қоздырудың магнитті ағынына Φ пропорционал. Сондықтан қозғалтқышты іске қосуды жеңілдету үшін іске қосу мезетінде орам тізбегіндегі барлық резисторларды шығарып, шунттеу керек, ол қоздыру тізбегінде кедергі минималды болуы үшін керек.

(29.2) өрнегіне сәйкес іске қосу тогын азайту екі әдіспен жасалуы мүмкін: зәкір тізбегіне келетін кернеудің U төмендеуіне

немесе зәкір тізбегінің S_r кедергісінің артуымен қол жеткізіледі. Бірінші әдіс кернеу қозғалтқышына келтірілетін реттеуге жол беретін электр қуатының жеке көзінен қозғалтқышты қуаттандыру кезінде ғана мүмкін, мысалы «түзуші-қозғалтқыш» жүйесі. Бұл әдіс дерлік орта және үлкен қуаттағы қозғалтқыштар үшін пайдаланылады. Екінші әдіске толығырақ тоқталайық (зәкір тізбегінің кедергісін арттыру), ол 10 кВт және одан артық қуаты бар тұрақты ток қозғалтқыштары үшін қолданылады (қоректендіру желісіне байланысты).

Зәкір тізбегіне сыртқы кедергіні резистор түрінде L_{IP} енгізген кезде бастапқы іске қосу тоғы мынаған тең

$$I_i = \frac{U}{S_r + R_{np}} \quad (29.10)$$

Кедергі резисторын L_{IP} бастапқы іске қосу тоғы 1 жол беретін мәндерінен асу керек. Алайда таңдалған кедергі іске қосу бастамасын қанағаттандырады. Бірақ зәкір айнала бастаған кезде оның орамында ЭҚК индукстеледі, ол зәкір тогының көлемін шектейді, яғни бастапқы іске қосу мезетін азайтады.

Іске қосу тогын ұстап тұру үшін, яғни іске қосу мезетін де бұрынғы деңгейде ұстап тұру үшін резистордың кедергісін L_{IP} азайту керек.

Осы мақсатта зәкір тізбегіне ауысалы кедергі резисторын L_{IP} қосады, ол іске қосу реостаты IP деп аталады. Іске қосу реостатының сатылы реттелетін кедергісі бар (29.5а-суреті) және зәкір тізбегіне енгізілетін кедергіні бастапқы іске қосудағы ең үлкен мәнінен іске қосу процесі аяқталған соң нольдік мәнге дейін өзгерту мүмкіндігін береді,

а **б**

29.5-сурет. Тұрақты ток қозғалтқышын іске қосу әдістері кезінде қол (а) және автоматты (б) іске қосу реостатының қосу сызбалары

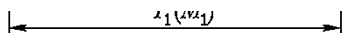
ІР кедергілерінің сатыларын зәкірдің оталу шамасы бойынша баяу шығару керек, себебі кедергіні лезде азайтқан кезде іске қосу тоғын елеулі болады, ол коммутацияның бұзылуына әкеледі. Сонымен қатар іске қосу реостаттары олардың көлемі мен бағасын азайту мақсатында қысқа мерзімді қосылуға есептелген және оларды ұзақ уақыт бойы қосылған күйінде қалдыруға болмайды, себебі ол ІР элементтерін жағып жіберу (балқыту) мүмкін.

Егер қозғалтқыштың қоздыру орамы ҚО зәкір орамына параллель қосылса, онда оның коректендірілуі арнайы шина арқылы жүзеге асырылады, ол Р ажыратқышымен сенімді байланысы бар және ол арқылы ІР сатыларын қосып ауыстыру орындалады. ІР бастапқы қалпында (Р ажыратқышы 0 клеммасында орналасқан) қоздыру орамы ҚО қозғалтқыш зәкірінің тізбегінде секілді желіден ажыратылған.

Қозғалтқышты іске қосу операциясы автоматтандырылады. Бұл жағдайда іске қосу реостатының сатыларын ауыстырып қосу байланыстырғыштар арқылы жүзеге асырады, ол өзінің байланыстарымен қозғалтқыш зәкірінің оталу шамасына қарай ІР сатыларын ауыстырып қосқан кезде іске қосу реостаттарын элементтерін шунттейді (29.56-суреті).

Іске қосу процесін іске қосу диаграммасымен көрнекілендіруге болады (29.6-суреті). 29.5 а-суретінде бейнеленген іске қосу реостаты ІР үш секциялардан r_1 , r_2 , r_3 және іске қосудың төрт сатысынан тұрады.

Айталық, қозғалтқыш номиналды жүктемеде табиғи сипаттамасында 4 (29.6-суретті қараңыз), p_n , M_n және $I_{ан}$ өлшемдерімен А номиналды режим нүктесінде жұмыс жасайды. Іске қосу диаграммасын алу үшін үш механикалық сипаттама құрылған: 1-сызба – бірінші сатының кедергісі кезінде - $L_{ІР1} = r_1 + r_2 + r_3$; 2-сызба – екінші сатының кедергісі кезінде $L_{ІР2} = r_2 + r_3$ және 3-сызба — үшінші сатының кедергісі кезінде $L_{ІР3} = r_3$. ІР төртінші сатысы жұмыс, ол толық өшіруге сәйкес келеді $ІР^{(ΔІР4)} = 0$.



29.6-сурет. Тұрақты ток қозғалтқышының іске қосу диаграммасы

Бастапқы іске қосу кезінде ІР бірінші сатыда $J_{\text{ІР1}}$ болады, ол үлкен кедергіге сәйкес келеді. Іске қосу жасанды сипаттама 1 бойынша басталады. Мұнда зәкір тізбегінде іске қосу тогы I_1 , туындайды, ол бастапқы іске қосу мезетін M_1 құрады, оның әсерінде зәкір айналады. Зәкірдің айналу жиілігі зәкір тогына I_2 (ауыстырып қосу тогы) және мезетіне M_2 (ауыстыру мезеті) сәйкес келетін мәнге n_1 , жеткен кезде реостатты екінші сатыға $J_{\text{ІР2}}$ ауыстырып қосады. Мұнда іске қосу тогы мен іске қосу мезетінің мәндері бұрынғы I_1 және M_1 мәндеріне дейін қалпына келеді және іске қосуды жалғастыру жасанды сипаттама 2 бойынша өтеді. ІР іске қосу реостатын үшінші сатыға $J_{\text{ІР3}}$ өткен кезде іске қосу процесі 3 сипаттамада жалғасадығ ал ІР төртінші сатыға $J_{\text{ІР4}} = 0$ ауыстырып қосқан кезде іске қосу процесі жасанды сипаттамада 4 аяқталады. Мұнда айналу жиілігі, ток және мезет бекітілген мәндеріне жетеді, ол қозғалтқыш жүктемеге сәйкес келеді, мысалы, номиналды. Қозғалтқыш жұмысы соңғы сатыда болу керек, яғни ІР толығымен шығарылған кезде ($J_{\text{ІР}} = 0$).

Осылайша, тұрақты токтың іске қосу процесінде қозғалтқыштың іске қосу мезеттері мен тогы $I_1(M_1) - I_2(M_2)$, ауқымда өзгереді, мұнда іске қосу тогының (мезетінің) көлемі орта арифметикалық мәнін қабылдайды: іске қосу тогы

$$I_{\text{п.ср}} = 0,5(I_1 + I_2)$$

және іске қосу мезеті

$$M_{\text{п.ср}} = 0,5(M_1 + M_2).$$

Тұрақты ток қозғалтқышының іске қосуы желіге тікелей қосылады (реостатсыз іске қосу), әдетте қуаты 0,7 — 1,0 кВт қозғалтқыштар үшін білікте жүктемесіз қосу шартында қолданады. Бұл қозғалтқыштарда зәкір орамының жоғары кедергісі мен айналатын массасының шағын болуына байланысты токтың іске қосу тогы номиналдан 3-5 есе артық, ол қозғалтқыш үшін қауіп тудырайды, сонымен қатар осы әсердің ұзақтығы осы ток үшін шамалы үлкен емес, себебі қозғалтқыш бекітілген айналу жиілігіне дейін оталады.

29.4. Тәуелсіз (параллель) қоздыру қозғалтқышының айналу жиілігін реттеу

Қозғалтқыштың айналу жиілігін реттеу әдістері келесі көрсеткіштермен бағаланады: реттеу баяулығы; үлкен айналу жиілігінің кіші айналу жиілігіне қатынасымен реттеу ауқымымен;

аппаратураны реттеу бағасымен және ондағы электр қуатының шығындарымен реттелетін үнемділігі.

(29.5) сәйкес параллель қоздыру қозғалтқыштың айналу жиілігін реттеу зәкір тізбегінің кедергісін өзгерту, негізгі магнитті ағынын Φ өзгерту, зәкір тізбегінде кернеуді өзгерту арқылы орындалуы мүмкін.

Зәкір тізбегіне қосалқы резисторды енгізу. Қосалқы кедергіні ($J_{\text{доб}}$ реостаты) зәкір тізбегіне іске қосу реостаты (РР) ұқсас қосылу керек. Алайда соңғыдан өзгешелігі тоқтың ұзақ уақыт өтуіне есептелген.

Резисторды зәкір тізбегіне кедергісімен $J_{\text{доб}}$ қосқан кезде жиілік өрнегі келесі түрді (29.5) қабылдайды.

$$n = \frac{U - I_a (\xi r + J_{\text{доб}})}{C_{\text{еF}}} = n_0 - \Delta n, \quad (29.11)$$

мұнда

$$n_n = \frac{U}{C_{\text{еF}}}$$

— мінсіз бос жүрістің айналу жиілігі

$$\Delta J_{\text{доб}} = \frac{I_a (\xi r + J_{\text{доб}})}{C_{\text{еF}}} \quad (29.12)$$

— зәкір тізбегінде кернеудің төмендеуімен тудырылған айналу жиілігін өзгерту.

$J_{\text{доб}}$ арттырумен Δn өседі, ол айналу жиілігін азайтуға әкеледі. $n = J_{\text{доб}} / (I_{\text{доб}})$ тәуелділігі сонымен қатар параллель қоздырудың қозғалтқыштың механикалық сипаттамаларымен көрнекілендіреді (29.4а-суреті): арттырумен $J_{\text{доб}}$ механикалық сипаттамалардың қиғашы артады, ал айналу жиілігі n біліктегі жүктемеде ($M = M_{\text{ном}}$) азаяды. Бұл әдіс кең ауқымда айналу жиілігін номиналдықдан айналуға қарай айналу жиілігін баяу немесе сатылы реттеу ($J_{\text{доб}}$ кедергіні реттеу әдісіне байланысты). Кемшілігі — реттеу реостатында елеулі шығындардың үнемсіздігі ($a^2 J_{\text{доб}}$), олардың қарқындылығы қозғалтқыштың қуатын арттырумен өседі.

Магнитті қоздыру ағынын өзгерту. Қозғалтқышты реттеу әдісі тәуелсіз (параллель) қоздыруда қоздыру орамының тізбегіндегі реостат арқылы жүзеге асырылады (29.2-суретті қараңыз). Мәселен осы реостаттың кедергісін арттыру қоздыру магнитті ағыны F азаяды, ол айналу жиілігінің артуымен сүйемелденеді (29.5-суреті).

Қоздыру ағынының айналу жиілігінің тәуелділігі қозғалтқыштың реттеу сипаттамасымен білдіріледі, қозғалтқыш білігіндегі $n = f(\Phi)$ жүктемінің өзгеріссіз мәндерінде $M_c = \text{const}$ және қоректендіру кернеуі $U = \text{const}$.

Тәуелсіз (параллель) қоздырудың қозғалтқышының механикалық сипаттамасының теңдеуіне сәйкес:

(29.7):

$$\frac{U}{rM_{ce\Phi}} = n_0 - An$$

Яғни айналу жиілігін $n = n_0 - An$ анықтайтын екі қосылғыш та Φ магнитті ағынның гиперболикалық қызметтері болып табылады. $n = f(\Phi)$ кестесіне қатысты айтатын болсақ, онда $n_0 = D(\Phi)$ и $An = D(\Phi)$ кестелердің құраушыларын ординатасын қосумен алады (29.7а-суреті). Егер қоздырудың магнитті ағынын Φ азайтсақ, онда резистордың $r_{\text{рег}}$ кедергісін арттырады (29.2-суретті қараңыз, онда n_0 және An қосылғыштары артады. Бірақ $An = D(\Phi^2)$ $n_0 = D(\Phi)$ қосылғыштары қарағанда жылдам өседі. Сондықтан $\Phi = \Phi'$ ағынының кейбір мәнінде, ол n_{max} максималды айналу жиілігіне сәйкес келеді, қосылғыштың өсуі n қосылғыштың өсуінен артатын болады. Нәтижесінде $\Phi < \Phi'$ ағынды ары қарай азайту кезінде, қозғалтқыштың айналу жиілігі кеми бастайды (29.7а-суреті, $n = n_0 - An$ сызбасы).

Айналу жиілігіне n_{max} сәйкес келетін магнитті ағын Φ' өрнегімен анықталады:

$$\Phi' = (2M_c Sr) / (9,55 c_e U). \quad (29.13)$$

Қоздырудың магнитті ағынның $\Phi_0 = 0,5\Phi'$ мәнінде жүктелген қозғалтқыштың зәкірі тоқтатылады.

($n = 0$). Бұл ағынның кіші мәнінде зәкір тоғы зәкір тізбегі төмендеуі карсы ЭҚК $E_{\text{а}}$ асатын мәнге жетеді.

a

б

29.7-сурет. Тәуелсіз (параллель) қоздыру қозғалтқышының негізгі магнитті ағынының айналу жиілігін реттеу

Осылайша, қозғалтқыш қоздыруының Φ магнитті ағынын біртіндеп арттыру кезінде, ол жүктелген статикалық мезеті M_c , бар, $\Phi < \Phi_0$ магнитті ағынында, қозғалтқыш зәкірі қозғалыссыз қалады және $\Phi > \Phi_0$ ағынында қозғалтқыш айналуын бастайды, зәкірде қарсы ЭҚК келтіріледі және қозғалтқыштағы процестер (29.9) өрнегінің тәуелділіктеріне сәйкес келеді. Мұнда зәкірдің айналу жиілігі $n_{\max}$ мәніне дейін артады, онда зәкірдің кернеуі төмендеген кезде зәкірге келтірілген кернеудің жартысын құрайды:

$$I_{Sr} = 0,5 U,$$

Яғни желі кернеуі зәкірдің тізбегіндегі кернеудің төмендеуімен және қарсы ЭҚК E_d арасында тең бөлінеді. Содан кейін Φ ағыны ары қарай өскен кезде айналу жиілігі кемиді.

Максималды айналу жиілігінің көлемі және оған сәйкес келетін Φ ағынның көлемі жүктеме мезетіне M_c тәуелді, жүктеме M_c , артық болған сайын $n_{\max}$ аз және Φ көп (29.76-суреті).

Бос жүріс режимінде немесе шағын статикалық жүктеме мезетінде M_c қозғалтқыш білігінде және Φ қоздыру ағымы шағын болған кезде айналудың максималды жиілігі қозғалтқыштың номиналды $P_{\text{доп}}$ айналу жиілігінен $n_{\max}$ көп есе артық, ол қозғалтқыштың механикалық беріктік шарттары бойынша жол берілмейді, себебі оны «бөлшектенуге» әкеледі. Осыны ескере отырып, реостатты $r_{\text{рег}}$ таңдау кезінде кедергі ($r_{\text{рег}} = r_{\max}$) толық енгізілген кезде қозғалтқышта айналу жиілігі шекті мәнінен аспаған.

Сонымен қатар қозғалтқыштың қоздыру орамының тізбегінде электрлі байланыстардың сенімділігін бақылау, себебі магнитті ағынның осы тізбегін үзген кезде қалдық магнетизмнің ағынының $\Phi_{\text{ост}}$ мәніне дейін азаяды, онда айналу жиілігі жол берілмейтін мәніне жетеді.

Қоздыру тогының реттеу реостат арқылы күштік тізбекте емес (зәкір тізбегі), ал қоздыру тізбегінде өтеді, онда ток зәкірдің номиналды тогынан 10 — 20 % аспайды, онда осы реостаттағы шығындар елеусіз, ол айналу жиілігін реттеудің қарастырылған әдісінің үнемділігі туралы куәландырады. Бұл әдістің кемшілігі – Φ магнитті ағынды өзгерту кезінде қозғалтқыштың механикалық сипаттамасының қиғаштану бұрышына өзгерген кезде, яғни оның қаттылығы өзгереді (29.46-суретін қараңыз), ол электр жетектің жұмыс процесінде қиындықтар тудыру мүмкін.

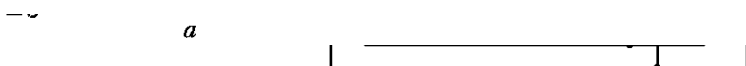
Айналу жиілігін реттеудің қарастырылған әдісі жүзеге асыруда қарапайым және тұрақты ток қозғалтқыштарын айналу жиілігін номиналдыдан жоғары реттеу үшін керек. Алайда қоздыру тогын елеулі азайту шектеулі, біріншіден, айтып өткендей, қозғалтқыштың механикалық төзімділігінің шарттары бойынша шекті жол берілетін айналу жиілігі мен коммутацияны мүмкін бұзумен шектелген,

Екіншіден, қозғалтқыштың елеулі магнитсіздендіру қоздыру тогын азайту кезінде машинаның магнитті өрісінің «төңкерілуіне» әкелуі мүмкін, яғни оның полюсттерінің магниттенуіне. Осы құбылыстың себебі көлденең осі бойынша зәкір реакциясының магнитсіздендіру әдісі қызмет етеді (26.4-қараңыз). Әдетте қоздыру тогын өзгертумен айналу жиілігін реттеудің жол берілетін ауқымы номиналдыдадн жоғары нақты қозғалтқыш түріне көрсетіледі.

Зәкір тізбегінде кернеудің өзгеруі. Қозғалтқыштың айналу жиілігін кернеуді коректендіруді өзгертумен реттелуі $-+ u_e = \text{const}$ кезінде қолданылады, яғни зәкір орамының тізбегінің бөлек коректендіру кезінде және қоздыру орамы (тәуелсіз қоздыру кезінде).

Бос жүріс режимінде щ айналу жиілігі кернеуге пропорционал, ал A_n кернеуіне тәуелді емес (29.7-қараңыз), сондықтан қозғалтқыштың механикалық сипаттамалары кернеуді өзгерту кезінде абсисса осіне қиғаштану бұрышын өзгертпейді, бір-біріне параллель қалып, биіктігімен ығысады (29.4в-суретті қараңыз). Реттеудің осы әдсін жүзеге асыру үшін қозғалтқыш зәкірінің тізбегін кернеуі реттелетін коректендіру көзіне қосу керек. Үлкен қуаттағы қозғалтқыштарды басқару үшін осындай көзі ретінде реттелетін түзеушіні қолдануға болады, онда тұрақты ток кернеуі реттелуші автотрансформатормен өзгереді, ол түзеуші кірісінде қосылған (29.8а-суреті).

Елеулі қуаттағы қозғалтқыштарды басқару үшін басқарылатын түзушіні қолдану тиімді, оның шығысындағы кернеуді кең ауқымда реттеуге болады. Соңғы уақытқа дейін ол үшін әдетте электромашиналық түрдегі түзушілер қолданылған. Мұндай түзуші тәуелсіз қоздырудың тұрақты ток генераторын білдіреді,



29.8-суреті. Зәкір тізбегінде кернеуді өзгертумен айналу жиілігін реттеу кезінде тұрақты ток қозғалтқыштарын қосу сызбалары

ол үшфазалы асинхронды немесе синхронды қозғалтқышпен айналдырылады. Генератордың G және $M2$ басқарылатын қозғалтқыштың қоздыру тізбектерінің тұрақты тогын қоректендіру үшін не статикалық түзеушіні, не B қоздырушы – тұрақты ток генераторын қолданады, шығысындағы кернеу өзгеріссіз қалады. Тұрақты ток қозғалтқышын басқарудың көрсетілген сызбасы $M2$ (29.86-суреті) «генератор-қозғалтқыш» атауымен белгілі (Γ -Қ). Генератордың G және $M2$ басқарылатын қозғалтқыштың зәкір тізбектері қандай да бір құралдар немесе құрылғыларсыз «тікелей» байланысқан.

Зәкір тізбектерінің кернеуін өзгерту қозғалтқыштың айналу жиілігін номиналдыдан төмен қарай реттеуге мүмкіндік береді, себебі кернеу номиналдыдан жоғары. Қажет жағдайда айналу жиілігін номиналдыдан жоғары реттеу қажет болғанда қозғалтқыштың қоздыру тогын өзгертудің пайдалануға болады.

Γ -Қ жүйесі бойынша жұмыс жасайтын қозғалтқыштың айналуын өзгерту (реверс) A ауыстырғышпен генераторды қоздыру тізбегінде ток бағытын өзгертумен жүзеге асырылады, яғни оның қысқыштарында кернеудің полярлығының ауысалығымен. Егер тұрақты ток қозғалтқышы лезде ауысатын жүктеме жағдайында жұмыс жасайтын болса, онда $M1$ жетекті қозғалтқышпен үш фазалық желіден қуат тербелістерін жеңілдету үшін $M1$ қозғалтқыш білігіне MX маховик орнатады және оның осы қозғалтқыштың қарқынды жүктеме кезінде береді.

Зәкір тізбегінде кернеуді өзгертудің айналу жиілігін реттеу $n_{\max}/n_{\min} > 25$ кең ауқымда баяу үнемді реттеуді қамтамасыз етеді. Ең үлкен айналу жиілігі мұнда коммутация шарттарымен шектеледі, ал ең кішісі – қозғалтқышты салқындату шарттарымен (18.1-қараңыз).

Қарастырылған реттеу әдісінің тағы бір артықшылығы ол төмен кернеу кезінде реостатсыз іске қосуға жол береді. Электромашиналық түзушінің кемшіліктері болып қондырғының үлкендігі, оған қызмет көрсету күрделілігі, шудың көптігі, төмен ПЭК (70 % аспайтын).

Сондықтан соңғы уақытта электрмашиналы түзушілер басқарылатын тиристорлы кернеу түзушілерімен ТКТ басқарылады. ТКТ автоматты басқару мүмкіндігі оларға электр жетектермен автоматты басқару жүйелерінде кең қолданысын қамтамасыз етеді. Тиристорлық түзушілер қозғалтқышта желілік механикалық сипаттамаларды реттеудің бар ауқымында қамтамасыз етеді, яғни іске қосу тогының қауіпті берілістерінсіз баяу реостатсыз іске қосу, реверстеу, тежеу. 29.9-суретте реверсті (шығысында кернеудің полярлығын өзгертуге жол беретін) тиристорлы кернеуді түзуші M тәуелсіз қоздыру қозғалтқышымен бейнеленген.

Элементі ТКТ болып табылатын автоматты реттеу жүйесіне (АРЖ) сәйкес, ИФБЖ (импульсты-фазалық басқару жүйесі) басқару блогының кірісінде басқару сигналы u_{α} келеді және оған сәйкес VS1... VS6 тиристорлардың басқару электродтарына қажетті фазалық ығысумен ашуға импульстар келеді. Тиристорлар әрқайсысында үш тиристордан бар екі топтаманы түзеді. Әр топтама белгілі полярлықтағы топтамалар арасында теңестіру токтарын шектеу үшін зәкір тізбегінің түзетілген кернеуін тудырады. Қозғалтқышты реверстеу қажеттігі кезінде ТКТ шығысындағы кернеу полярлығы өзгермейді. L_1 және L_2 дроссельдері тиристорлар топтамасы арасында теңестіру токтарын шектеу үшін арналған, ал дросселі қозғалтқыштың зәкір тізбегінде түзетуші токтарының пульсациясын әлсірету үшін қызмет етеді. Қоздыру орамы ҚО өзге (реттелмейтін) түзеушіге қосылған. Осындай тиристорлы түзушілер өнеркәсіпте сериямен бірнеше киловаттан 10000кВт дейін қуатпен дайындалады.

Тиристорлы кернеу түзушілерінің артықшылықтарына қозғалтқыштың айналу жиілігін реттеудің кең ауқымын, желілік пен механикалық сипаттамаларының қаттылығы, жоғары ПӘК, орнату оңтайлығы мен жоғары сенімділігі, қызмет көрсету қарапайымдығын жатқызуға болады.

Жүйенің кемшіліктеріне кернеу пульсациясы мен зәкір тогы болып табылады (әсіресе бір фазалық қоректену кезінде), ол қозғалтқыштың қылшақты байланысының жұмысына қолайсыз әсер етеді. Өзінің жылдам тиристорлық түзушісі бойынша электромашиналық түзушілерден артады. Мәселен, егер электромашиналық түзушілердің уақытының электромагнитті тұрақтысы оннан бір секундасынан бірнеше секундаға дейін құрайды,



T



29.9-сурет. Тәуелсіз

қоздырудың тұрақты ток
қозғалтқышымен реверсивті
тиристорлы кернеу түзушісі

ҚО

29.10-суреті. Тұрақты ток қозғалтқышының айналу жиілігін импульсті реттеу

ол генератордың G қоздыру орамның үлкен индуктивтілігімен түсіндіріледі (29.86-суретті қараңыз), онда ТКТ бірнеше жүздеген секунда үлесінен аспайды.

Айналу жиілігін импульсты реттеу. Осы реттеу әдісінің болмысы асинхронды қозғалтқыштардың айналу жиілігін импульсті реттеуден ерекшеленбейді (15.4-қараңыз) және 29.10а-суретінде бейнеленген сызбамен көрнекілендіріледі. Параллель (тәуелсіз) қоздыру қозғалтқышының зәкір орамының тізбегі мерзімді K кілтімен үзіледі. Зәкір тізбегінде тұйықталу кезінде t_H уақытында зәкір орамында кернеу u_H жүргізіледі және ондағы ток $I_{a \max}$ мәніне жетеді. Содан кейін K кілтімен зәкір тізбегі тұйықталады және ондағы ток азаяды, тізбектің келесі тұйықталу мезетінде мәніне жетеді (зәкір орамында токтың K кілтін ашқан кезде VD диоды арқылы тұйықталады). Ток K кілтін тұйықталу кезінде $I_{a \max}$ мәніне жетеді. Осылайша, зәкір орамында кейбір орта кернеу жүргізіледі:

$$u_{cp} = u_H / T = a U, \quad (29.14)$$

мұнда T — екі бірінен кейін бірі жүретін кернеу импульстері арасындағы уақыт кескіні; (29.10, б-суреті); $a = u_H / U$ — басқару коэффициенті.

Мұнда зәкір орамында ток өтеді, оның орташа мәні

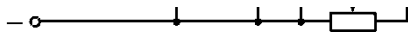
$$I_{a \text{ cp}} = \frac{0,5a}{\pi} (I_{a \max} + I_{a \min}).$$

Импульсті реттеу кезінде қозғалтқыштың айналу жиілігі

$$\Pi = \frac{a U I_{a \text{ cp}} E_r}{C e F}.$$

Осылайша, айналу жиілігін импульсті реттеу кернеу зәкірінің келтірілетін реттеу өзгертуге ұқсас. Ток пульсациясын азайту мақсатында зәкір тізбегінде L -дроссель қосылған,

Ал импульстерді беру жиілігі 200-400 Гц құрай алады.



29.11-суретте импульсті реттеудің мүмкін сызбаларының бірі берілген, онда кілті ретінде басқарылатын диод– VS тиристоры пайдаланылады. Тиристор импульстер генераторынан (ИГ) қысқа мерзімді импульсті беру арқылы ашылады, тиристордың басқарушы электроды арқылы басқару сигналдарымен U_g келетін ГИ сәйкес болады. Тиристорды тұйықтаушы тиристор L_2C , тізбегі кі басқарушы импульстері арасындағы соңғы мерзімді бекіту үшін қызмет етеді, яғни E_n үзілісі кезінде. Ол келесідей болады: тиристорды ашқан кезде C конденсаторы L_2 контуры арқылы қайта қуаттандырылады және тиристордың күштік электродтарында кернеу құрайды, желідегі кернеуге қарсы, ол тиристор арқылы токтың өтуін тоқтатады.

29.11-сурет. Тиристорды VS пайдаланумен тұрақты ток қозғалтқышының айналу жиілігін импульсті реттеу сызбасы

L_2C тізбектердің өлшемдерімен тиристордың ашық жағдайының (с) уақытын анықтайды: $t = p/L_2C$. Мұнда L_2 генримен (Гн) білдіріледі; C – фарадпен (Ф). Орташа кернеу басқаратын импульстердің ілесудің жиілігін өзгертумен ИГ VS тиристорға өзгертумен реттеледі.

Қатты механикалық сипаттамалар жжәне айналу жиілігін бау реттеу мүмкіндігі кең ауқымда тұрақты ток қозғалтқыштарының айналу жиілігін импульсті реттеудің артықшылығы болып табылады.

29.5. Ретті қоздыру қозғалтқышы

Бұл қозғалтқышта қоздыру орамы зәкір тізбегіне ретімен қосылған (), сондықтан ондағы магнитті ағын Φ онда жүктеме тогына $I = I_a = I_r$ байланысты. Шағын жүктемелері кезінде машинаның магнитті жүйесі қанықпаған және магнитті ағынның тәуелділігі жүктеме тогына тура пропорционал, яғни $\Phi = k \cdot I_a$. Бұл жағдайда (25.24) электромагнитті қозғалтқышы тең.

$$M = C_m k \phi I_a I_a = c M^1_a \cdot 2.$$

Айналу жиілігінің формуласы (29.5) келесі түрде болады

$$n = \frac{U - I_a R_r}{C_e \phi^1_a} = \frac{U - I_a R_r}{C_e I_a},$$

мұнда $k\phi$ — пропорционалдық коэффициенті.

(2)
9.15)

(2)

 $\approx 0,25 I_{\text{ном}}$ $I_{\text{ном}}$

0

 $M_{\text{ном}}$ M a b b

29.12-сурет. Ретті қоздыру қозғалтқышы: a — негізгі сызба; b — жұмыс сипаттамалары; b — механикалық сипаттамалар; l — табиғи сипаттама; 2 — жасанды сипаттама.

Осылайша, қозғалтқыштың айналу мезеті магнитті жүйенің қанықпаған жағдайында эәкір тогының квадратын пропорционал, ал айналу жиілігі осы токка кері пропорционал.

29.126-суретте ретті қоздыру қозғалтқышының $M = f(I)$ және $n = f(I)$ жұмыс сипаттамалары берілген. Қозғалтқыш жүктемесінің артуымен магнитті жүйе қанығады. Бұл жағдайда магнитті ағын жүктеме артқан кезде дерлік өзгермейді және қозғалтқыш сипаттамалары дерлік түзу сызықты сипатта болады. Ретті қоздыру қозғалтқышының айналу жиілігінің сипаттамасы $n = f(I)$ көрсеткендей, қозғалтқыштың айналу жиілігі жүктеме тербелісі кезінде елеулі өзгереді, әсіресе үлкен жүктемелер аймағында, онда қозғалтқыштың магнитті жүйесі әлі қанықпаған. Осындай сипаттаманы жұмсақ деп атау қабылданған. Ретті қоздырудың қозғалтқыш жүктемесін азайту кезінде айналу жиілігі бірден артады және номиналдыдан 25 % аз жүктемеде қозғалтқыш үшін қауіпті мәндерге жете алады («істен шығу»). Сондықтан ретті қоздырудың қозғалтқыштарын немесе оны жүктеме кезінде білікке жүктеме кезінде номиналды шектіден 25 % аз. Ретті қоздыру қозғалтқыштарын механизм жетектері үшін пайдалануға болмайды, онда бос жүріс немесе шамалы жүктеме болуы мүмкін (станоктар, транспортерлер және т.с.с). анағұрлым сенімді жұмыс үшін ретті қоздыру қозғалтқышының білігі муфта немесе тісті беріліс арқылы жұмыс механизмімен қатты байланысу керек. Белдікті берілістерді немесе фрикциялық муфталарды ретті қоздыру қозғалтқыштарымен келтірілген механизмдерде қолдануға жол берілмейді, себебі белдікті үзген немесе алған кезде немесе фрикциялық муфта элементтері арасында бірігуді бұзу кезінде қозғалтқыштың «істен шығу» болуы керек. Айналу жиілігі жоғары қозғалтқыштардың жұмысын ескере отырып,

ретті қоздыру қозғалтқыштары стандартқа сәйкес 2 мин бойы айналу жиілігі максималдыдан 20 % артық сынайды, ол тізімдеме көрсетілген, бірақ номиналдан 50 % аз емес.

Ретті қоздыру қозғалтқышының механикалық сипаттамалары $n = f(M)$ 29.12в-суретінде берілген. Жұмсақ механикалық сипаттамалардың лезде төмендейтін кестелері (табиғи 1 және жасанды 2) ретті қоздыру қозғалтқышына кез келген механикалық жүктемеде тұрақты жұмысын қамтамасыз етеді. Осы қозғалтқыштардың қасиеті жүктеме тогының квадратына пропорционал үлкен айналу мезетінің қозғалтқыштарын дамыту, оның маңызы зор, әсіресе, іске қосу, артық жүктеме мезеттерінде, себебі қозғалтқыш жүктемесін арттырумен қуат оның кірісінде айналу мезетіне қарағанда жай өтеді. Ретті қоздыру қозғалтқыштарының бұл ерекшелігі көлікті тартқыш қозғалтқыштар ретінде кең қолданылуының себебі болады, сонымен қатар көтергіш қондырғыларда қранды қозғалтқыш ретінде пайдалану, яғни іске қосу шарттары ауыр электр жетектердің барлығында кіші айналу жиілігімен қозғалтқыш білігінде үйлеседі.

Ретті қоздыру қозғалтқышының айналу жиілігін номиналды өзгерту

$$Dn_{ном} = \frac{P_{Гл ос 1} P_{ном}}{P_{ном}} \cdot 100, \quad (29.17)$$

мұнда n^* —номиналдан 25 % құрайтын қозғалтқыш жүктемесінің айналу жиілігі.

Ретті қоздыру қозғалтқыштарының айналу жиілігін келтірілетін кернеу U немесе қоздыру орамының магнитті ағынын өзгертумен реттеуге болады. Бірінші жағдайда зәкір тізбегіне ретімен реттеу реостатын $L_{р}$ қосады (29.13а-суреті). Осы реостаттың кедергісін арттырумен қозғалтқыш кірісіндегі кернеу мен оның айналу жиілігі азаяды. Реттеудің бұл әдісі ең басты түрде қуаты аз қозғалтқыштарда пайдаланылады. Қозғалтқыштың қуаты көп болған кезде бұл әдіс үнемсіз, себебі энергия шығыны $L_{р}$ орын алады. Сонымен қатар реостаты $D_{р}$ қозғалтқыштың жұмыс тогына есептеледі, ол үлкен әрі қымбат болады.

Бір типті бірнеше қозғалтқыштардың бірлескен жұмысы кезінде айналу жиілігін бір-біріне қатысты қосылу сызбаларын өзгерту арқылы реттейді (29.13б-суреті). Мәселен, қозғалтқыштарды параллель қосқан кезде әр қозғалтқышқа желі кернеуінің жартысы келеді. Көп қозғалтқыш бір уақытта жұмыс жасаған кезде қосылуудың көп нұсқасы бар. Бұл айналу жиілігін реттеу әдісі электр жетектерінде қолданады, онда бірнеше бірдей тартқыш қозғалтқышы орналасқан.

29.13-сурет. Ретті қоздыру қозғалтқыштарының айналу жиілігін реттеу

Қозғалтқышқа берілген кернеуді өзгерту сонымен қатар қозғалтқыштың тұрақты ток көзінен реттелуші кернеумен жасалуы мүмкін (мысалы, 29.8а-суретіне ұқсас). Қозғалтқышқа берілген кернеуді азайтқан кезде оның механикалық сипаттамалары өз қисығын дерлік өзгертпей төмен ығысады (29.14-суреті). Ретті қоздыру қозғалтқышының механикалық сипаттамалары ордината осімен қиылыспайды, яғни, бұл қозғалтқыштардың шекаралық айналу жиілігі жоқ және генераторлық режимге өте алмайды.

Қозғалтқыштың айналу жиілігін үш әдіспен магнитті ағынды өзгерту арқылы жасауға болады: қоздыру орамын реостатпен $r_{\text{рг}}$, тұйықтау, қоздыру орамын секциялау және зәкір орамын реостатпен $r_{\text{ш-тұйықтау}}$. Қоздыру орамын тұйықтайтын реостатқа қосу $r_{\text{рг}}$, (29.13а-суреті), сонымен қатар осы реостаттың кедергісін азайту қоздыру тоғын $I_e = I_a - 1_{\text{рг}}$ азайтуға әкеледі, яғни айналу жиілігі артады. Бұл әдіс алдыңғысына қарағанда үнемді (29.13а-суреті), жиі қолданылады және реттеу коэффициентімен бағаланады $k_{\text{рг}} = (1_{\text{рг}}/1_a)100$. Әдетте кедергі реостаты $r_{\text{рг}}$ $k_{\text{рг}} > 50 \%$ болатындай қабылданады.

$$U \quad M_{\text{ном}} \quad \searrow \quad U = 0,25 U_{\text{ном}}$$

**29.14-сурет. Ретті
қоздыру
қозғалтқышының
механикалық
сипаттамалары**

Қоздыру орамын секциялау кезінде (29.13 г -суреті) орам иірімдерін сөндіру қоздырудың магнитті ағынын азайтумен сүйемелденеді, яғни айналу жиілігі өседі. Зәкір орамын реостатпен $\Gamma_{\text{ш}}$ тұйықтау кезінде (29.13в-суреті), қоздыру тогы $I_a = I_a + 1_{\text{ш}}$ артады, ол айналу жиілігін азайтуын тудырады. Реттеудің бұл әдісі терең реттеуді қамтамасыз етсе де, үнемсіз және сирек қолданылады

29.6. Аралас қоздыру қозғалтқышы

Аралас қоздыру қозғалтқышының екі қоздыру орамы бар: параллель және ретті (29.15а-суреті). Бұл қозғалтқыштың айналу жиілігі:

$$\frac{U - I_a R_r}{C_e (F_1 \pm F_2)} \quad (29.18)$$

Мұнда F_1 және F_2 — параллель және ретті қоздыру орамының ағындары.

Қосу белгісі қоздыру орамының келісімді қосылуына сәйкес келеді (орам МҚК қосылады). Бұл жағдайда жүктемені арттырған кезде жалпы магнитті ағын өседі (ретті орам F_2 ағыны есебінен), ол қозғалтқыштың айналу жиілігінің азаюына әкеледі. Орамдарды қарсы қосу кезінде ағын F_2 жүктемені арттырған кезде машинаны магнитсіздендіреді (алу белгісі 29.18-суреті)

 'pr

a

б

в

29.15-сурет. Аралас қоздыру қозғалтқышын қосу сызбасы (а), оның жұмыс (б) және механикалық (в) сипаттамалары

ол керісінше айналу жиілігін арттырады. Қозғалтқыштың жұмысы мұнда тұрақты емес, себебі қозғалтқыш жүктемесін арттырумен магнитсізделеді және айналу жиілігінде шексіз өседі. Алайда ретті орамның иірімдер саны шағын болған кезде айналу жиілігі өспейді, тұрақтандырады және барлық ауқымда жүктеме дерлік өзгеріссіз қалады.

29.156-суретінде қоздыру орамлары келісіліп қосылған аралас қоздыру қозғалтқышының жұмыс сипаттамалары берілген, ал 29.15 в-суретінде – механикалық сипаттамалары берілген. Ретті қоздыру қозғалтқыштың механикалық сипаттамаларына қарағанда соңғылардың іші қуыс. Бұл сипаттамалар U_Q мінсіз бос жүріс нүктесінде ординат осінде қиылысады, яғни аралас қоздыру қозғалтқышы генераторлық режимде жұмыс жасай алады, ол құбырлық тежелу кезінде қолданылады (29.7-қараңыз).

Айта кету керек, аралас қоздыру қозғалтқышы сипаттамасы өзінің пішіні бойынша параллель және ретті қоздыру қозғалтқыштарының тиісті сипаттамалары арасында аралық қалыпты алады, ол қай қоздыру орамының МҚК басым болатынына байланысты (параллель және ретті).

Аралас қоздыру қозғалтқышының ретті қоздыру қозғалтқышымен салыстырылғанда артықшылықтары бар. Бұл қозғалтқыш бос жүрісте, сонымен қатар параллель орамында Φ , жұмыс жасай алады, ол бос жүріс режимінде айналу жиілігін шектейді және «істен шығуы» қаупін жояды. Осы қозғалтқыштың айналу жиілігін қоздыру параллель орамының тізбегінде реостат арқылы жүзеге асырылады. Алайда екі қоздыру орамының болуы аралас қоздыру қозғалтқышын жоғарыда қарастырылған қозғалтқыштармен салыстырғанда анағұрлым қымбат етеді, ол оның қолданысын біршама шектейді. Аралас қоздыру қозғалтқыштарын, әдетте елеулі іске қосу мезеттері қолданылатын жерде қажет болады, оталу кезінде лезде жылдамдату, тұрақты жұмыс және білікке жүктеме артқан кезде айналу жиілігі шамалы ғана төмендейді (илемдік орнақтар, жүк көтергіштері, сорғылар, компрессоры).

29.7. Тежеу режимінде тұрақты ток қозғалтқыштары

Тұрақты ток қозғалтқыштарында тежелу режимдерін қолданады: құбырлық, динамикалық және қарсы қосылумен.

Құбырлық тежелу. Бұл режим тәуелсіз (параллель) немесе аралас қоздыру қозғалтқыштарында ғана мүмкін, онда зәкірдің айналу жиілігі мінсіз жүріс айналу жиілігінен n_0 асады.

Бұл негізінен мүмкін емес, егер қозғалтқыш білігіне әсер ететін сыртқы мезеттің әсерімен айналу жиілігі $n > n_0$ мәніне дейін артады. Бұл жағдайда машинаның ЭҚК артады және желіні ($E_d > U$) қоректендіру кернеуінен асады, мұнда зәкір тогы, яғни электромагнитті мезет өзінің бағытын өзгертеді. Нәтижесінде тұрақты ток машинасы генераторлық режимге өтеді және электр қуатын желіге ереді. Қозғалтқыштың М электромагнитті мезеті тежеуіш болады және сыртқы айналу мезетіне қарсы әрекет етеді (29.16а-сурет). Тежелудің бұл процесі зәкірдегі айналу жиілігіне азайып, щ мәніне жеткен соң жалғасатын болады.

Құбырлы тежелу режимінде қозғалтқыштың келтірілуі айналу жиілігі бекітілген кезде де мүмкін. Ол үшін қоздыру магнитті ағынын арттыру керек, яғни қоздыру орамындағы токты арттыру керек. Бізге белгілі болғандай, қозғалтқыштың айналу жиілігінің азаюына әкеледі, яғни мінсіз бос жүрістің айналу жиілігі n_0 азаяды. Мұнда айналу жиілігінің бекітілген мәні щ айналу жиілігінен артады, яғни құбырлық тежелу режимі орын алады.

Осылайша, қозғалтқыштың құбырлық тежелу режиміне өту үшін ешқандай сызбалық өзгерістер керек емес. Ретті қоздыру қозғалтқыштары ғана ерекшелік етеді, олар генераторлық режимде жұмыс жасай алмайды, себебі олардың механикалық сипаттамалары ордината осімен қиылыспайды. (29.14-суретті қараңыз). Егер бұл қозғалтқышта құбырлық тежелу режимін қолданса, онда осы қозғалтқыш сызбасын өзгерту керек, оның қоздыру орамын тәуелсіз қоздыруға өзгертіп, тиісті кернеуді келтіру арқылы жасайды.

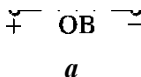
Құбырлық тежелу анағұрлым үнемді болады, себебі энергияның желіге қайтарылуымен сүйемелденеді. Тежелудің бұл түрі электрлі көлік құралдарында анағұрлым тиімді, олардың жұмысы жиі тоқталу және қиғаштанып қозғалумен байланысты. Бұл жағдайда қозғалыстың көлік құралының (трамвай, троллейбус, электрлі поезд) кинетикалық энергиясы электр қуатына түрленеді және желіге қайтарылады.



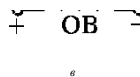
29.16-сурет.

Тәуелсіз қоздыру
тұрақты ток

қозғалтқышының тежеу



б



Динамикалық тежелу. Мұнда қозғалтқыш зәкірінің тежелуін желіден ажыратып, резисторға z_m түйықтайды (29.16 б-суреті). Қоздыру орамы ҚО мұнда бұрынғыдай қосулы қалдырады. Бұл жағдайда зәкір орамындағы ток зәкір орамының ЭКК есебінен құрылады, ол зәкір айналуында индукстеледі және онымен жұмыс машинасының айналу бөліктерімен байланысқан. Сондықтан зәкір тогы I_a және электромагнитті мезет M өз бағытын өзгертелі және электромагнитті мезет тежеуші болады. Мұнда өндірілетін электр тогы резисторда r , шығындалады, жылуға айналады. Зәкірдің баяулау шамасына қарай тежелу мезеті азаяды.

Ретті қоздыру қозғалтқышы да динамикалық тежелу мезетінде жұмыс жасай алады, бірақ оны осы режимге ауыстырған кезде ретті қоздыру орамына қосылған сымдарды ауыстыру керек. Ол зәкір тізбегінде ток бағытын өзгерткен кезде қозғалтқыштың қоздыру ағыны өз бағытын өзгертпеу үшін керек. Егер осыны жасамасаң, онда қоздыру орамының магнитті ағыны өз бағытын өзгертеті және машинаның қалдық магнетизмінің магнитті ағынын басады, ол генераторлық режимде өздігінен қозу процесі үшін керек.

Қарсы қосылумен тежеу. Это Бұл режим анағұрлым тежелу үшін тиімді, себебі бұл мезеттегі тежелу мезеті қозғалтқыштың толық тоқтауына дейін әрекет етеді. Тұрақты ток қозғалтқышын бұл режимге ауыстыру үшін зәкір орамына қосылған сымдардың орындарын ауыстыру керек, мұнда қоздыру орамындағы полярлық өзгеріссіз қалу керек (29.16 в-суреті). Басқа сөзбен айтқанда, қозғалтқышты реверстеу кезіндегі ауыстырып қосуларды орындайды. Бұл жағдайда қозғалтқыштың электромагнитті мезеті өз бағытын өзгертеті және айналаушыдан тежелушіге өтеді. Зәкір тізбегіндегі токты шектеу үшін бұл режимде астам үлкен мәндерге жеткен, зәкір тізбегіне r резистор қосады, оның кедергісі зәкір тогын шекті мәніне дейін шектеу үшін жеткілікті болу керек. Келесіні есте ұстау керек, қозғалтқыштың зәкірі тоқтаған кезде желіден ажырату керек, кері жағдайда қозғалтқыштың реверстелуі болуы керек, яғни қарсы бағытта зәкір айналуын бастайды.

Айта кету керек, қарсы қосылу тежелу режиміне өту үшін ток бағытын зәкір орамында өзгерту керек (немесе қоздыру орамы). Егер бір уақытта екі орамдағы полярлықты өзгертсе, онда электромагнитті мезет өз бағытын өзгертпейді және тежелу болмайды.

Қарсы қосылумен тежелу электр қуатының шығыны тұрғысынан анағұрлым үнемсіз, себебі механикалық энергиясын «сөндіру» қозғалтқыш бөліктерінің инерциясы бойынша және жұмыс механизмі қоректендіру желісінің электрлі қуаты есебінен болады.

29.8. Тұрақты ток коллекторлық машинасының шығындары мен пайдалы әрекет коэффициенті

Тұрақты ток машиналарында, басқа электрлі машиналарында секілді магнитті, электрлі және механикалық шығындар (негізгі шығындар тобын құраушы) және қосалқы шығындар орын алады. Магнитті шығындар. Магнитті шығындар P_m зәкір өзегінде ғана болады, себебі тұрақты ток машинасының магнитті жетегі элементі магнитсіздендіріледі. Гистерезис шығындары мен иірімді токтар шығындарынан құралатын магнитті шығындардың көлемі магниттеуіне жиілігіне (зәкірдің айналу жиілігі), зәкір тізбегі мен арқасындағы магнитті индукция мәндерінен, электротехникалық болаттың табақтарының қалыңдығына, оның магнитті қасиеттері мен зәкір пакетіндегі бұл табақтардан оқшаулауға байланысты.

Электрлі шығындар. Тұрақты ток коллекторлық машинасының электрлі шығындары орамдарды жылытумен және қылшақты байланыспен шартталған. Қоздыру тізбегінде шығындары қоздыру орамы мен реостаттағы шығындармен анықталады, ол қоздыру тізбегіне қосылған:

$$P_{э.в} = I_{э}^2 R_{э.в}, \quad (29.19)$$

мұнда $u_{э}$ — қоздыру тізбегінің қысқаштарындағы кернеу.
Зәкір тізбегінің орамындағы шығындар

$$P_{э.а} = I_{э}^2 R_{э.а}, \quad (29.20)$$

мұнда зәкір тізбегінің орамындағы $R_{э.а}$ кедергі, ол есептік жұмыс температурасына $\theta_{раб}$ келтірілген, 18.1-келтірілген мәліметтерді ескере отырып, (13.4) бойынша анықталады.

Электрлі шығындар сонымен қатар қылшақтар байланысында да орын алады:

$$P_{э.щ} = D_{э.щ} I_{э}^2, \quad (29.21)$$

мұнда $D_{э.щ}$ — кернеудің өтпелі құлдырауы, 27.1-кесте бойынша қылшақтар маркасына сәйкес қабылданатын екі полярлы қылшақтар.

Зәкір тізбегіндегі электрлі шығындар және қылшақты байланыста машина жүктемесіне байланысты, сондықтан бұл шығындар ауыспалы деп аталады.

Механикалық шығындар. Тұрақты ток машинасында механикалық шығындар O коллекторлық қылшақтардың үйкелісіндегі шығындарынан құралады:

$$P_k = k_{тр} M \omega, \quad (29.22)$$

Мойынтіректі үйкеліс P_n және желдету шығындары $P_{вн}$:

$$P_{мех} = P_k + P_n + P_{вн}, \quad (29.23)$$

мұнда $\kappa_{тр}$ — О коллектордың қылшақтарының үйкелу коэффициенті; ($\kappa_{тр} = 0,2 \wedge 0,3$); 5Щ — барлық қылшақтардың коллектормен үйкелу беті, m^2 ; $f_{щ}$ — үлесті қысымы, N/m^2 , қылшақтар [жалпы арналым машиналары үшін $f_{щ} = (2 \wedge 3)10^4 N/m^2$];

коллекторді айналма жылдамдығы (м/с) диаметрі B_c (м)

$$y_k = p B_c n / 60. \quad (29.24)$$

механикалық және магнитті шығындар айналу жиілігінің тұрақтылығында ($n = \text{const}$) тұрақты деп санауға болады.

Магнитті және механикалық шығындар жиынтығы бос жүріс шығындарын құрайды:

$$P_0 = P_M + P_{мех}. \quad (29.25)$$

Егер машина тәуелсіз немесе параллель қоздыру қозғалтқышы ретінде бос жүріс режимінде жұмыс жасаса, онда ол желіден қуат тұтынады:

$$P_{10} = U_{a0} I_a + u_{a0} I_a = \frac{P_M + P_{мех}}{\eta_{в4.}} + I_a^2 R_a + D_0 \quad (29.26)$$

Алайда ток мәндерінің шығынына байланысты токтың I_{a0} электрлі шығындары $I_{a0}^2 R_a$ және D_0 біршама аз және әдетте аспайды, шығындары $P_0 = P_M + P_{мех} 3\%$ аспайды. Сондықтан елеулі қателік жібермей келесідей жазуға болады:

$$P_{10} = U_{a0} I_a + u_{a0} I_a = P_0 + u_{a0} I_a,$$

бос жүріс шығындары

$$P_0 = P_{10} - u_{a0} I_a. \quad (29.27)$$

Осылайша, бос жүріс шығыстары (магнитті және механикалық) тәжірибелік анықтала алады.

Тұрақты ток машиналарында бірқатар шығындарын қосалқы шығындары деп аталады. Бұл шығындар мыс орамдағы иірім токтарының, теңестіру байланыстарындағы шығындары, машина жүктеме кезінде біркелкі емес теңестіруден зәкір болатының, зәкір тістерінің болуынан негізгі ағын пульсациясымен шартталған полюсті ұштамалардағы шығындардан құралған және т.б. Қосалқы шығындар P_d шағын, бірақ нақты есептеуге берілмейтін көлемді құрайды. Сондықтан қолданыстағы стандартқа сәйкес, өтемдеуіш орамы жоқ машиналарда қосалқы шығындар генератор үшін пайдалы қуаттан 1% тең ретінде қабылданады немесе қозғалтқыш үшін келтірілетін қуаттан 1% құрайды; өтемдеуіш орамы бар машиналарда қосалқы шығындар көлемі сәйкесінше $0,5\%$ тең болып алынады.

Тұрақты ток машинасының шығысындағы қуат (Вт) (келтірілетін қуат):

Генератор үшін (механикалық қуат)

$$P_{1\text{ген}} = M\omega = 0,105M_1n, \quad (29.28)$$

мұнда M_1 — жетекті қозғалтқыштың айналу мезеті, Н-м; қозғалтқыш үшін (электрлі қуат)

$$P_{\text{дв}} = UI. \quad (29.29)$$

Қуат (Вт) машина шығысында (пайдалы қуат): генератор үшін (электрлі қуат)

$$P_{2\text{ген}} = UI; \quad (29.30)$$

Қозғалтқыш үшін (механикалық қуат)

$$P_{2\text{дв}} = 0,105M_2n, \quad (29.31)$$

мұнда M_2 — қозғалтқыш зәкір білігіндегі мезет; Н-м; n — зәкірдің айналу жиілігі, айн/мин.

Пайдалы әрекет коэффициенті. Электрлі машинаның ПӘК қуаттардың P_2 қатынасын білдіреді: берілетін (пайдалы) келтірілетінге (тұтынылатын) P_1 :

$$\eta = P_2/P_1.$$

Жоғарыда аталған шығындардың жиынтық қуатының сомасын анықтау

$$E P = P_M + P_{\text{мех}} + P_{\text{э.в}} + P_{\text{э.а}} + P_{\text{э.щ}} + P_{\text{д}}, \quad (29.32)$$

келесі формулалар бойынша машинаның ПӘК есептеуге болады: генератор үшін

$$\eta_{\text{ген}} = \frac{UI_1}{E_P} \quad (29.33)$$

$$P_{\text{ген}} = UI + E_P UI + E_P P'$$

Қозғалтқыш үшін

$$\eta = P_{\text{м}} = \frac{UI - EP}{UI} = \frac{UI - EP}{UI} \quad (29.34)$$

Әдетте тұрақты ток машина ПӘК қуаты 1-100 кВт қуаты бар машиналар үшін 0,75 — 0,90 және қуаты 100 кВт артық 0,90-0,95 құрайды. Тұрақты ток машинасының ПӘК қуаттан тоғы аз. Мысалы, 5-50 Вт η қуаты машиналар үшін $\eta = 0,15 \wedge 0,50$.

ПӘК аталған мәндері машинаның номиналды жүктемесіне сәйкес келеді. Тұрақты ток машинасының ПӘК жүктеме $\eta = f(P_2)$ тәуелділігі кестесімен беріледі, оның пішіні электрлі машиналарға тән (29.17-суреті).

а) келтірілген P_1 және берілген P_2 өлшеу нәтижелері бойынша тікелей жүктеме әдісімен;

б) шығындарды өлшеу және кейінгі есептеулер нәтижелері бойынша жанама әдісімен.

Тікелей жүктеме әдісі шағын қуаты бар машиналарға арналған, қалған жағдайларда нақты әрі ыңғайлы ретінде жанама әдісі пайдаланылады.

29.17-сурет. $h = f(P_2)$ тәуелділігі

Анықталғаны, $h > 80\%$ кезінде ПЭК тікелей жүктеме әдісімен өлшеу тиімді емес, себебі ол жанама әдіске қарағанда, жанама әдісті береді.

ПЭК анықтаудың бірнеше жанама әдістері бар. Қозғалтқыштың бос жүріс әдісі анағұрлым қарапайым, онда тұтынылатын тұрақты ток машинасы шығын бос жүріске ғана шығындалады (29.25-қараңыз). Электрлі шығындарға қатысты олар есептік жолмен орамның электр кедергілерін өлшеу арқылы және оларды жұмыс температурасына келтіру арқылы анықталады.

29.1-мысалы. Параллель қоздырудың тұрақты ток қозғалтқышы (29.26-суретін қараңыз) 220 В кернеумен желіге қосылған. Номиналды жүктеме мен айналу жиілігі $n_{\text{ном}} = 1500$ айн/мин кезінде ол $I_{\text{ном}} = 43$ А тоқты тұтынады. Номиналды жүктемеде қозғалтқыш ПЭК анықталады, егер бос жүріс тогы $I_0 = 4$ А зәкір тізбегінің кедергісі $Sr = 0,25$ Ом және қоздыру $r_b = 150$ Ом. Зәкір тізбегіне қосылған қандай қосалқы кедергі $r_{\text{доб}}$ кезінде қозғалтқыштың айналу жиілігі болады $n = 1000$ айн/мин (жүктеме мезеті $M_2 = \text{const}$)?

Шешуі. Қоздыру тогы $I_e = U/c_e = 220/150 = 1,47$ А. Бос жүріс режимінде зәкір тогы $I_{a0} = I_0 - I_e = 4 - 1,47 = 2,53$ А. Номиналды зәкір тогы $I_{a\text{ном}} = I_{\text{ном}} - I_e = 43 - 1,47 = 41,53$ А.

Магнитті және механикалық шығындар сомасы:

$P = P_m + P_{\text{мех}} = U I_{a0} - I_a^2 c S r = 220 \cdot 2,53 - 2,53^2 \cdot 0,25 = 555$ Вт. Қоздыру тізбегіндегі электрлі шығындар (29.19)

$$P_{\text{э.в}} = I_e^2 r_b = 220 \cdot 1,47 = 323,4 \text{ Вт.}$$

(29.20) бойынша зәкір тізбегіндегі электрлі шығындар

$$P_{\text{э.а}} = I_a^2 r_{\text{ном}} = 41,53^2 \cdot 0,25 = 431 \text{ Вт.} \quad (29.21)$$

бойынша қылшақты байланыстағы электрлі шығындар

$$P_{\text{э.щ}} = D U_{\text{щ}} / a_{\text{ном}} = 2 \cdot 41,53 = 83 \text{ Вт.}$$

(29.29) бойынша қозғалтқышқа берілетін қуат

$$P_{\text{НОМ}} = U / n_{\text{НОМ}} = 220 \cdot 43 = 9460 \text{ Вт.}$$

Қосалқы шығындар

$$P_{\text{до6}} = 0,01 P_{\text{НОМ}} = 0,01 \cdot 9460 = 94,6 \text{ Вт.}$$

Жиынтық шығындар (29.32)

$$SP = 555 + 323,4 + 431 + 83 + 94,6 = 1487 \text{ Вт.}$$

Қозғалтқыштың пайдалы қуаты

$$P_{\text{НОМ}} = P_{\text{НОМ}} - SP = 9460 - 1487 = 7973 \text{ Вт. КПД}$$

Номиналды жүктемеде қозғалтқыштың ПӘК

$$\eta_{\text{НОМ}} = P_{\text{НОМ}} / P_{\text{НОМ}} = 7973 / 9460 = 0,843.$$

(29.5) өрнегінен аламыз

$$\Phi = \frac{U - S_r}{n_{\text{НОМ}}} = \frac{220 - 41,53 \cdot 0,25}{1500},$$

1000 айн/мин (25.22) бойынша айналу жиілігіндегі зәкір ЭҚК

$$E_0 = c \phi n = 0,14 \cdot 1000 = 140 \text{ В.}$$

Зәкір тогы мезетіне $I_a = m$ 25.24-қараңыз тура пропорционал, онда $M = \text{const}$ кезінде ток күші I_a $\Gamma_{\text{доб}}$ қосылудан кейін $I_a = I_{\text{НОМ}} = 41,53 \text{ А}$ бұрынғыша қалған.

(29.2) өрнегінен аламыз:

$$\Gamma_{\text{доб}} = \frac{U - E_a}{S_r} = \frac{220}{0 - 140} - 0,25 = 1,68 \text{ Ом.}$$

Қосалқы кедергідегі электрлі шығындар

$$P_{\text{до6}} = I_a^2 \Gamma_{\text{доб}} = 41,53^2 \cdot 1,68 = 2897 \text{ Вт.}$$

1000 айн/мин айналу жиілігіндегі қозғалтқыштың пайдалы қуаты

$$P_2 \ll P_{\text{НОМ}} - P_{\text{зю6}} = 7973 - 2897 = 5076 \text{ Вт.}$$

Пайдалы қуатты есептеу P_2 анағұрлым жақын болады, себебі қозғалтқыштың механикалық шығындарды кем айналу жиілігіне өткен кезде азайтуды ескермейді.

29.9. Тұрақты ток машиналарының сериясы

4П сериясы. Өндірістің автоматтандырудың лезде дамуы айналу жиілігін реттеудің кең ауқымы бар (1:1000 дейін) және жақсы динамикалық қасиеттері бар тұрақты ток қозғалтқышын құру қажеттігіне әкелді.

Осы талаптарды қанағаттандыру үшін 4П тұрақы ток қозғалтқыштарының сериясы әзірленген. Серия келесі түрленімдегі қозғалтқыштарды қамтиды.

4ПО және 4ПБ түріндегі қозғалтқыштар 0,126-5,5 кВт аралығындағы қуат ауқымын қамтиды, номиналды айналу жиілігі 750-300 айн/мин. Қозғалтқыштар айналу жиілігін номиналдықтан төмен зәкір орамында кернеуді азайтумен тоқты дейін төмендеген кезде, сонымен қатар номиналдықтан жоғары (қоздыру тогын азайтумен) максималды айналу жиілігі шегінде реттеуге жол береді, ол номиналдықтан орташа 1,35-1,8 сес артады.

Бұл қозғалтқыштардың құрылысы 4А асинхронды қозғалтқыштармен бірегейлендірілген. Бұл 4ПО және 4ПБ түріндегі қозғалтқыштардың кейбір тораптарының өндірісі үшін технологиялық жабдықты қолдануға мүмкіндік берді, 4 А асинхронды қозғалтқыштар үшін пайдаланылады. Осы қозғалтқыштардың бірегей құрылымы үшін айқын емес полюсті статоры бар магнитті жетекте пазаларда үлестірілген орамдары бар (29.18-сурет). Мәселен, (тәуелсіз) қоздыру орамы екі пазада әр полюсті бөлу шегінде орналасады, қалған пазаларды өтемдеуіш орамы алады. 4ПО және ПБ түріндегі қозғалтқыштарда және бірдей габаритті 4А сериялы қозғалтқыштарда бірдей тұғрлар, артқы мойынтірек қалқандары, шығару қораптары, мойынтіректер қолданыла алады.

4ПО және 4ПБ түріндегі қозғалтқыш статорында үлестірілген орамдарды қолдану салқындату процесін жақсартты және ол қоздыру орамы мен өтемдеуіштік ток жүктемелерін арттыру мүмкіндігін бердім. Сонымен қатар статордың үлестірілген орамы зәкір реакциясының өтемдеуін жақсартып, коммутацияны жақсартты.



29.18-сурет. Бірегей құрылысы бар 4ПО түріндегі тұрақты ток қозғалтқышы: 1 – желдеткіш; 2 – желдеткіш қаптамасы; 3 – алдыңғы мойынтіректі қалқан; 4 – траверс; 5 – қылшақтар; 6 – корпус; 7 – үлестірілген орамы бар магнитті жетекті статор; 8 – шығарылыс қорабы; 9 –зәкір өзегі.

4ПО және 4ПБ түріндегі қозғалтқыштардың 4ПО түріндегі қозғалтқыштарда (29.18-суретті қараңыз) және IC0041 (табиғи салқындату) 4ПБ түріндегі қозғалтқыштарда IC0141 (сыртқы үрлеу) салқындатту әдістерімен IP44 қорғану дәрежесі бар.

4ПФ түріндегі кеңінен реттелетін қозғалтқыштар бағдарламалық басқарудағы, роботты өндірістік кешендерде орнақтардың жетегіне арналған. IP23 (қорғалған) қорғаныс дәрежесі бойынша қозғалтқыштарды орындау, салқындату әдісі IC06 (тәуелсіз желдету). Қозғалтқыштар 2,0-250 кВт номиналды қуаты бар ауқымын қамтиды, айналу осінің биіктігі 112-250 мм. Қоректендіру кернеуі 220-440 В. Айналу жиілігін реттеу зәкір орамында келтіретін кернеуді 0-460 В өзгерту арқылы мүмкін. Сонымен қатар айналу жиілігін қоздыру өрісін азайтумен реттеуге жол береді (қоздыру орамында тоқтың азаюы).

Қозғалтқыш статоры – сегіз қырлы дестеленген айқын полюсті (29.19-сурет). Статор пакеті қалыңдығы 10 мм қысқыш плиталары арасында сығымдалған. Мойынтіректі қалқанда құйылған шойыннан.

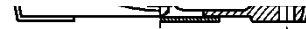
Қоздыру орамының шарғылары басты полюстерге оралған, қосалқы полюстердің орам шарғылары қосалқы полюстерге киілген, өтемдеуіш орам полюсті ұштама пазаларында орналасқан.

Сыртқы желдеткіш ауаны шаң мен ұсақ бөлшектерден тазарту үшін сүзгімен жабдықталуы мүмкін. Желдеткіш коллектор жағынан бүйір немесе сыртқы жағында орналасқан.

Ауыр жұмыс шарттарына арналған 4П ірі қозғалтқыштар жиі іске қосылулары, тоқтаулары, реверстері мен жүктеменің біркелкі еместігі бар ірі металл кесетін станоктар, металлургиялық өндіріс механизмдерінің жетектеріне арналған. Қозғалтқыштарды айналу осінің биіктігі 335-450 мм, қуаты 110-800 кВт, қоректендіру кернеуі 440 және 600 В. Тәуелсіз қоздыру кернеуі 220 В. Желдету бөгде желдеткіштен. Қозғалтқыштардың қорғану деңгейі IP44 және IP23.

2П-сериясы. Бұл серия тұрақты ток қозғалтқыштары мен генераторларын қамтиды. Осы серияның қозғалтқыштары П, ПС, ПБС және ПР сериялы тұрақты ток қозғалтқыштарын алмастырады, ол өндірістен алынған, себебі жоғары жүктемелік қабілеті, жақсартылған динамикалық қасиеттері мен айналу жиілігін реттеудің кең ауқымы бар. 2П сериялы қозғалтқыштарды айналу осінің биіктігі 90-315 мм дайындайды.

Белгіленуінде Г әрпі бар қозғалтқыштар кіріктірілген тахогенератормен жабдықталған, (30.2-қараңыз), ол айналу жиілігін автоматты реттеу немесе тұрақтандыру сызбасында пайдаланыла алады.



29.19-суреті. 4ПФ180 түріндегі тұрақты ток қозғалтқышы:

1 - траверс; 2 - желдеткіш 3 - коллектор; 4 – орам ұстауыш; 5 - қысқыш плита; 6 – мойынтіректі қалқан; 7 – теңгерімдік сақина;;
8 – өтемдеуіш орамы; 9 - статор; 10 - қосымша полюс; 11 - параллель қоздыру орамы;

Қозғалтқыштар 110, 220 және 440 В кернеуімен желіге қосуға арналған.

2П сериялы генераторлар номиналды кернеуі 115, 230 және 460 В, 1000, 1500 и 3000 айн/мин номиналды айналу жиіліктерінде қуаты 100-315, қуаты 0,37-180 кВт болатын айналу осінің биіктігімен дайындайды. Олардың аралас, параллель және тәуелсіз қоздыру әдістері бар. Тәуелсіз қоздыру кезінде номиналдыдан нольге дейінгі, параллель қоздыру кезінде номиналдыдан 0,5 $I_{ном}$ және аралас қоздыру кезінде номиналдыдан 0,8 $I_{ном}$ шығыста кернеуді реттеуге жол беріледі.

Д сериялы тұрақты ток қозғалтқыштары кранды және экскаваторлы механизмдердің электр жетегінде, жұмыс шарттары ауыр металлургиялық өндіріс механизмдері үшін (жиі іске қосу, реверстер, тежелулер) қолдануға арналған. Қозғалтқыштарды 2,5-185 кВт қуатымен дайындайды. Қоздыру әдістері: ретті, аралас немесе тәуелсіз; қоректендіру кернеуі 220 және 440 В.

Д сериялы қозғалтқыштар инерцияның кіші мезетіне ие және кең ауқымда айналу жиілігіне жол береді. Мұнда айналу жиілігінің шекте мәні номиналдыдан үш есе артық. Д сериялы қозғалтқыштардың орамдарын окшаулау Н жылыту төзімділік санатына ие (18.2-қараңыз).

29.10. Әмбебап коллекторлық қозғалтқыштар

Әмбебап деп тұрақты ток және бір фазалы ауыспалы ток желісінен жұмыс жасайтын коллекторлық қозғалтқыштарды атайды.

Тұрақты ток коллекторлық қозғалтқыштары негізінен ауыспалы ток желісінен деп жұмыс жасай алады, ауыспалы кернеудің оң жартылай мерзімнен электромагнитті мезеттің теріс бағытында өзгеріссіз қалады. Теріс жартылай мерзімге өткен кезде зәкір орамында ток бағытын өзгертумен бірге қоздыру орамындағы ток бағыты өзгереді, яғни полюстердің полярлығы өзгереді.

Бір фазалы коллекторлық қозғалтқыштардың артық ретті қоздыруы бар. Бұл жағдайда параллель қоздыруды қолдану (29.20а-суреті) параллель қоздыру орамының елеулі индуктивтілігімен шектеледі, оның иірімдер саны көп. Бұл зәкір тогы мен қоздыру тогы арасында у бұрышына елеулі фазалық ығысуды тудырады (29.20 б-суреті). Электромагнитті мезеттің орташа мәні бұл жағдайда (25.24) өрнегіне ұқсас анықталады, бірақ зәкір тогы мен магнитті өріс арасында фазаның ығысу бұрышын ескереді:

$$M_{\text{пар}} = C_{\text{,}} (F_{\text{max}} / J2) I_a \cos(\gamma + \delta), \quad (29.35)$$

мұнда F_{max} — магнитті ағынның максималды мәні; γ — зәкір тогының және қоздыру тогының арасындағы фазалық ығысу бұрышы; δ — машинада магнитті шығындардың болуымен шартталған қоздыру тогы мен магнитті ағын арасында фазалық ығысу бұрышы; $[(\gamma + \delta) \text{ және } 90^\circ, \text{ яғни, } \cos(\gamma + \delta) \approx 0]$.

Ретті қоздыру қозғалтқышында (29.20в-суреті) зәкір тогының I_a және қоздыру тогында $I_a \gamma = 0$ фаза бойынша үйлеседі (29.20г-қараңыз). Сондықтан ретті қоздыру $M_{\text{посл}}$ электр қозғалтқышындағы электромагнитті айналу мезетінің орташа мәні артық, параллель қоздыру қозғалтқышына қарағанда артық:

$$M_{\text{посл}} = C_{\text{,}} (F_{\text{max}} / J2) I_a \cos \delta. \quad (29.36)$$

Ретті қоздыру қозғалтқышының электромагнитті мезеті ауыспалы ток желісінде жұмыс жасайды және тұрақты (29.20 д) $M_{\text{посл}}$ және желінің екіленген жиілігіне f тең жиілігімен өзгертін $M_{\text{пер}}$ ауыспалы құраушысы бар (29.20 а-суреті). Осы қозғалтқыштың нәтижеленуші мезеті өтеді $M \sim = M_{\text{посл}}$ (29.20, ж-суреті): $M \sim = M_{\text{посл}} + (-M_{\text{пер}})$. $M = f(t)$ кестенің шағын учаскелері теріс (тежеуші) мезетінің магнитті ағыны F_{max} мен ток I_a арасында векторлық ығысумен шартталған: (29.20, г-суреті).



М мезетін пульсациясы қозғалтқыштың жұмысын дерлік бұзбайды, ол ауыспалы ток желісіне қосылған, себебі айналу мезетінің инерциясы мезеті есебінен реттеледі.

Өзінің құрылысы бойынша әмбебап коллекторлық қозғалтқыштар тұрақты ток қозғалтқыштарынан ерекшеленеді, олардың басты полюстерінің тұғырлары табақты электротехникалық болаттан жасалады. Бұл магнитті шығындарды қысқарту мүмкіндігін береді, қозғалтқыш ауыспалы ток желісінен жұмыс жасауынан артады, себебі қоздыру орамындағы ауыспалы ток бар магнитті тізбектің артық магниттелуін тудырады, соның ішінде тұғыр мен полюстер өзегі.

Бір фазалы коллекторлық қозғалтқыштардың негізгі кемшілігі – коммутацияның ауыр шарттары. Мәселен, коммутациялайтын секцияларда реактивті ЭҚК мен сыртқы өріс ЭҚК басқа (27.9-қараңыз) трансформаторлық ЭҚК е^а келтіріледі, оның қолданыстағы мәні

$$.E_{\text{тр}} = 4,44 f W_c F_{\text{max}}, \quad (29.37)$$

мұнда w_c — зәкір орамының коммутациялайтын секциясының иірімдер саны.

Трансформаторлық ЭҚК коммутациялық секциялармен біріккен қоздырудың ауыспалы магнитті ағынымен келтіріледі. Трансформаторлық ЭҚК азайту үшін ағынын F_{max} азайту керек, ол қозғалтқыш қуаты бұрынғыдай қалып, қозғалтқышта полюстер санын арттыру керек.

Бір иірімді секциялар қозғалтқышының зәкір орамында қолдану ($w = 1$) сонымен қатар шектелуіне $E_{\text{тр}}$ септігін тигізеді, бірақ мұнда коллектордағы пластиналар саны артады, яғни оның көлемі өседі. Зәкір тізбегін қосылған орамы бар қосалқы полюстерді қолдану зәкір тоғының белгілі мәндерінде және айналу жиілігі кезін трансформациялық ЭҚК өзара толық өтемделуіне мүмкіндік береді. Қозғалтқыш жұмыс режимдері кезінде коммутация шарттары ауыр болып қалады. Айналу жиілігін реттеу және бірфазалы коллекторлық қозғалтқышты реверстеу ретті қоздырудың тұрақты тоғының қозғалтқыштарында орындалады.

Әмбебап коллекторлық қозғалтқышта тұрақты және ауыспалы токтарда номиналды жүктеме кезінде бірдей айналу жиілігін бірдей етіп алуға ұмтылады. Қозғалтқыш қоздыру орамын тармақтарымен орындалады: тұрақты ток орамы желісінен қозғалтқыш жұмысы толығымен пайдаланылады ал ауыспалы ток желісіндегі жұмысы кезінде – жартылай (29.21а-суреті).

Тұрақты және ауыспалы ток қозғалтқыштарында сипаттамаларындағы айырмашылық ауыспалы ток желісі жұмысы кезінде ток көлемі мен фазасына зәкір орамы мен қоздырудың индуктивті кедергілер әсер етеді.

29.21-суреті. Әмбебап коллекторлық қозғалтқыштың байланыс сызбасы мен жұмыс сипаттамалары:

----- тұрақты ток; ауыспалы ток

алайда қоздыру орамының иірімдерін азайту номиналдыға жақын жүктеме кезінде сипаттамасына жақындату қамтамасыз етеді. 29.21a-суретінде УМТ-22 (55 Вт, 2 000 айн/мин, 110/127 В) түріндегі әмбебап коллекторлық қозғалтқыштың жұмыс сипаттамалары берілген. Осы қозғалтқыштың номиналды мезеті:

$$M_{ном} = 9,55 P_{ном} / n_{ном} = 9,55 \cdot 55 / 2000 = 0,26 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ауыспалы ток желісінен жұмыс кезінде қозғалтқыштың тұтынатын тогы осы электр қозғалтқышының тұрақты ток желісінен жасайтын жұмысына қарағанда көп, себебі ауыспалы токтың белсендіге қарағанда реактивті құраушысы бар. Әмбебап қозғалтқыштардың ПӘК тұрақты токқа қарағанда ауыспалы токқа төмен, себебі онда магнитті шығындар көп.

Әмбебаптармен қатар өнеркәсіппен ауыспалы токтың коллекторлық қозғалтқыштары дайындалады, олар ауыспалы ток желісінен жұмыс жасауға арналған. Бірфазалы асинхронды қозғалтқыштарға қарағанда мұндай қозғалтқыштар анағұрлым елеулі мезеттерді құруға қабілетті, ал олардың айналу жиілігі 3000 айн/мин көп есе артық болу керек (асинхронды қозғалтқыштарда ауыспалы ток жиілігі 50 Гц ол мүмкін емес). Осы қасиеттерге байланысты бір фазалы коллекторлық қозғалтқыштар электрлі құралда (электр бұрғылары, электр аралары, электрлі сүргі) және тұрмыстық құралдарда (сорғыштар, кофе уатқыш, миксерлер) кең қолданыс тапты. Алайда есте ұстау керек, бұл қозғалтқыштарға кемшіліктер тән, олар коллектордың – өрт және жарылу қауіптілігі, радио кедергілермен, коллектор және қылшақтардың жағдайын қарастыру қажеттілігімен шартталған.

Бақылау сұрақтары

1. Тұрақты ток қозғалтқыштарында іске қосу тогын шектеудің қандай әдістері қолданылған?
2. Параллель қоздырудың іске қосу қозғалтқышы кезінде реостат кедергісі қоздыру тізбегінде қандай мақсатта минималды болып қалады?
3. Параллель және ретті қоздыру қозғалтқыштарын олардың реттеу қасиеттері бойынша салыстырыңыз.
4. Тұрақты ток қозғалтқышында құбырлы тежелу қандай шарттарда туындайды?
5. Тұрақты ток қозғалтқыштарын үнемділік тұрғысынан әдістерін салыстырыңыз.
6. Тұрақты және ауыспалы токтың коллекторлық қозғалтқыштарының құрылысында қандай айырмашылық бар?

30 тарау АРНАЙЫ АРНАЛЫМДАҒЫ ТҰРАҚТЫ ТОК МАШИНАЛАРЫ

30.1. Электрлі машиналық күшейткіш

Электрлі машиналық күшейткіш (ЭМК) генераторлық режимде жұмыс жасайтын және электр сигналдарын күшейтуге арналған электрлі машинаны білдіреді. Электрлі машиналық күшейткіштер автоматика жүйесінде қолданылады. Қарапайым ЭМК - бұл тәуелсіз қоздыру тұрақты тогының генераторы (28.2а-суретін қараңыз). Себебі генератор шығысындағы кернеу қоздыру тогына тәуелді емес. Яғни қоздыру орамындағы тізбектің салыстырмалы шағын қуатын зәкір тізбегіндегі қуат арқылы басқаруға болады.

Тәуелсіз қоздырудың генератор принципі бойынша орындалған электрлі машиналық күшейткіштер кең қолданыс таппаған, себебі олар күшейткіш шығысындағы қуат пен басқару орамындағы қуатқа қатынасын білдіретін қуат бойынша үлкен күшейту коэффициентін қамтамасыз ете алмайды (80-100 аспайтын).

Автоматикада көлденең кимадағы электрлі машиналы күшейткіштер алған. Тұрақты токтың кәдімгі генераторына қарағанда бұл ЭМК негізгі жұмыс ағыны болып зәкір орамының тогында құрылатын магнитті ағыны болып табылады – зәкірдің көлденең реакциясы (26.4б-суретін қараңыз).

30.1-сурет. Көлденең өрісті ЭМК:
а — негізгі сызба; б — сыртқы
сипаттама

ЭМК коллекторында екі қышақ топтамасы анықталған: бір топтама q_1, q_2 (30.1а-суреті) – басты полюстердің көлденең осінде орналасқан, яғни геометриялық бейтарапта, ал d_1, d_2 басқасы – басты полюстердің бойлық полюсі бойыша. q_1, q_2 қылшақтары қысқа тұйықталған, ал d_1, d_2 қылшақтарына ЭМК жұмыс тізбегі қосылған.

Зәкір орамынан бөлек күшейткіштің бір немесе бірнеше басқару орамы бар ($y_1; y_2$), өтемдеуіш орамын (ӨО), көлденең магниттеуші орам (КМО) және қосалқы полюстердің орамы (ҚПО) қосылған.

Күшейту зәкірі электр қозғалтқышымен айналады. Егер басқару орамдарының біріне кернеуін U_y берсе, онда бұл орамда басқару тогы I_y пайда болады, ол басқару орамының $F_y = I_y \omega_y$. МҚК құрады. бұл МҚК өз кезегінде магнитті ағынын Φ_y тудырады, ол зәкір орамында q_1, q_2 қылшақтар тізбегін ЭҚК E_q береді. Электр қозғаушы күші E_q үлкен емес, бірақ q_1, q_2 қылшақтары қысқа тұйықталғандықтан, онда ЭҚК E_q елеулі ток I құрады. Зәкір орамындағы ток I МДС F_q және магнитті ағынын F_q құрады, ол басты полюстердің көлденең осі бойынша бағытталған, яғни геометриялық бейтарап бойынша кеңістікте қозғалыссыз. Қозғалмайтын ағында F_q зәкір орамында ЭҚК E_d келтіріледі, ол бойлық $d_1 — d_2$ қылшақтарынан алынады. Егер ЭМК жүктемесіне γ_n қосса, онда ЭҚК $E_d d_1 — d_2$ қылшақтар тізбегінде жұмыс тогын I_d тудырады.

Осылайша, басқару орамының шағын қуаты күшейтудің екі сатысынан өтеді: алдымен қуат «басқару тізбегі – көлденең тізбек» сатысында күшейеді, содан кейін «көлденең тізбек – бойлық (жұмыс) тізбегі» сатыларында күшейеді.

Әр сатыда күшті арттыру күшейту коэффициентімен сипатталады, ол сатынысында көлденең «басқару тізбегі – көлденең тізбек» тізбектегі қуаттың $P_q = E_q I_q$ басқару қуатына $P_y = n_y I_y$ қатынасымен анықталады:

$$k_y 1 = P_q / P_y. \quad (30.1)$$

«Көлденең тізбек – бойлық (жұмыс) тізбегі» сатысында күшейту коэффициенті осы тізбектердегі қуат қатынасымен анықталады:

$$k_y 2 = P_d / P_q, \quad (30.2)$$

мұнда $P_d = U_d I_d$ — күшейткіш жұмыс тізбегіндегі қуат, яғни d_1 — d_2 қылшақтар тізбегінде. ЭМК күшейтудәі жалпы коэффициенті жеке күшейту коэффициенттерінің туындысына тең:

$$k_y = k_y 1 k_y 2 = (P_q / P_y) (P_d / P_q) = P_d / P_y. \quad (30.3)$$

Электрлі машиналық күшейткіштердің күшейту коэффициенті 10 000 дейін жете алады.

Есте ұстау керек, ЭКМ шығысындағы қуат P_d жетекті электр қозғалтқышының түзілген механикалық қуатын білдіреді. Осы қуаттың мәні 10 кВт дейін жете алады, басқару орамының тізбегінде шағын қуатпен басқарылады.

Қосалқы полюстердің орамы (КО) d_1 — d_2 бойлық қылшақтарында коммутацияны жақсарту үшін қызмет етеді. Көлденең магниттеу орамы (КО) көлденең осі бойынша магнитті ағынын күшейтеді, ол q_1 — q_2 , қылшақтар тізбегінде тоқты азайтады, яғни осы қылшақтардағы коммутацияны жақсартады (шағын қуаты бар ЭМК бұл орам жоқ).

Өтемдеуіш орамы (ӨО), оның болуы ЭМК міндетті, бойлық осі бойынша зәкір реакциясының магнитсіздендіруін жояды. Мәселен, ЭМК F_y жұмыс тізбегінің тогы I_d (жүктеме тогы) бойлық осі F_d бойынша МҚК құрады, ол басқару орамының МҚК қарсы бағытталған. Бұл МҚК F_d МҚК біршама аз, з күшейткіштің шамалы жүктемесі кезінде зәкірдің бойлық осі бойынша магнитсіздендіру әсері үлкендігі соншалық — күшейткіш магнитсіздендіріледі және оның шығысындағы кернеу нольге дейін төмендейді. Бұл құбылысты жою үшін ЭМК статорында өтемдеуіш орамы орналасқан, ол зәкірдің жұмыс тізбегіне ретімен қосылған. Жұмыс тізбегінде токтың I_d пайда болуымен өтемдеуіш орамының F_K МҚК бойлық осі бойынша зәкір реакциясының F_d қарсы бағытталады.

Онымен бойлық осі бойынша зәкір реакциясының магнитсіздендіру әдісі жойылады (өтеледі). Толық өтеу үшін F_d және F_j , тең болуы керек, себебі жеткіліксіз өтеу ($F_s < F_d$) немесе артығымен өтеу ($F_s > F_d$) магнитті ағынына Φ_y елеулі әсер етеді, яғни ЭМК қасиеттеріне.

Алайда қажетті нақтылықпен өтемдеуіш орамын есептеу мүмкін емес, ол өтемдеуіш орамын тұйықтайтын реостат r_k арқылы МҚК F_s қажетті мәнін баптаудың қажеттілігіне әкеледі.

30.2-сурет. Статорда ЭМК орамдарының орналасуы

Көлденең өрітін электрлі машиналық күшейткіштер екі полюсті болып орындалады, мұнда басты полюстердің әрқайсысы екі бөлікке 1 бөлінеді, олардың арасында қосалқы полюстер 2 орналасады (30.2-суреті). Басқару орамдары 4 полюсті шарғы түрінде шоғырланып орындалады, ол басты полюстердің полюстік ұштамаларындағы пазаларға арналған. Осы арқылы статордың бар аумағы бойынша зәкір бойлық реакциясын өтемдеу арқылы қол жеткізіледі.

Бірнеше киловатт ЭМК қуаты кезінде тұрақты немесе ауыспалы ток жетекті қозғалтқышымен жалпы корпуста орындайды. ЭМК елеулі қуатында және қозғалтқыш жалпы жиектемеде құралатын бөлек машиналар.

ЭМК жұмыс қасиеттері $U_d = f(I_d)$ елеулі түрде сыртқы сипаттамасымен анықталады, $n = \text{const}$ және $1_y = \text{const}$ кезінде. Күшейткіш шығысындағы кернеу

$$U_d = E_d - I_d S_{rd}, \quad (30.4)$$

мұнда S_{rd} — зәкірдің бойлық тізбегіндегі электрлі кедергілердің жиынтығы; Ом, зәкір орамының кедергісін r_{ra} , қосалқы полюстерді r_d , өтемдеуіш орамын r_k және қылшақты байланысты $r_{ш}$ қамтиды.

Күшейткіштің магнитті тізбегі қанықпағандықтан, кернеу U_d жүктеме тогының I_d желілік қызметі болып табылады, яғни сыртқы сипаттамасы ЭМК дерлік түзу сызықты білдіреді (30.16-суреті).

Сыртқы сипаттаманың абцисса осіне қиғаштау бұрышы (сипаттама қаттылығы) зәкір реакциясының өтемдеуіне байланысты.

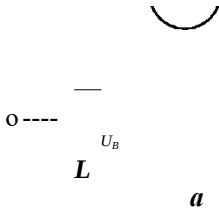
Өтемдеу орамының F_K МҚК толық өтеуі кезінде бойлық осі F_d бойынша зәкір реакциясының МҚК тең. Бұл жағдайда сыртқы сипаттама жеткілікті қатты болады (2-сызба), себебі жүктеме тогының I_d өсуі кезінде кернеудің U_d азаюы бойлық осі бойынша зәкір тізбегінде кернеудің ішкі төмендеуін арттыру I_d St_d есебінен болады. Компенсация жеткіліксіз $F_s < F_d$ болса, сыртқы сипаттама қаттылығы соншалықты болмайды (4-сызба). Яғни компенсациясы жетпеген кезде МҚК F_d токтың I_d -артуымен өсе отырып, басқару орамының Φ_u -магнитті ағынын әлсіретеді, ол ЭМК шығысында кернеудің елеулі азаюына әкеледі. Егер күшейткіште шамалы артық өтемдеуді ($F_K > F_d$) баптаса, МҚК F_s зәкір реакциясының МҚК F_d ғана емес, күшейткіштің сыртқы сипаттамасының төмендеуі I_d St_d -онда күшейткіштің сипаттамасы дерлік қатты болып, абциссаның осі параллель орналасады (2 -сызба). Бұл жағдайда кернеу ЭМК шығысында жүктеме өзгеруінің барлық ауқымында өзгеріссіз қалады.

Елеулі артық өтемдеудің сыртқы сипаттамасы (1-сызба) өршімелі сипатты иеленеді, себебі МҚК F_j ғана F_d өтемдемейді, бірақ қосымша бойлық ағынын Φ_u -құрады, ол басқарудың магнитті ағынына салынып, ЭҚК E_d -артуын қажет етеді. Артық өтемделуі бар күшейткіш жұмысы тұрақсыз болады, себебі ерікті өздігінен қозу ЭМК қауіптігі туындайды, онда күшейткіш шығысында кернеудің артуы жүктеме тогының артуын тудырады, ол кернеудің артуына әкеледі, яғни жүктеме тогының шектеусіз өсуі орын алады әдетте күшейткіште шағын өтем жетіспеушілігі болады, онда кернеудің U_d өсуі токтың I_d номиналды мәнінен нольге дейін азаюы кезінде 12 — 20 % құрайтын еді.

30.2. Тұрақты ток тахогенераторы

Тұрақты ток тахогенераторлары тахогенератор шығысында кернеу көлемі бойынша айналу жиілігін өлшеу үшін, сонымен қатар автоматты реттеу сызбаларында біліктегі айналу жиілігіне пропорционал, электрлі сигналдарды алу үшін қызмет етеді. Тұрақты ток тахогенераторы тәуелсіз электромагнитті қоздыруы бар кіші қуаттағы генераторды (30.3а-суреті) немесе тұрақты магниттері бар қоздыруды білдіреді.

Қоздырудың өзгеріссіз тогында магнитті ағын Φ дерлік жүктемеге тәуелді емес, тахогенератордың шығысындағы ЭҚК $E_{\text{вых}}$ айналу жиілігіне тура пропорционал.



$$E_{\text{вых}} = c_e F n = c'_e n, \quad (30.5)$$

мұнда

$$c'_e = c_e F = \text{const.}$$

(30.5) формуласы тұрақты магнитті қоздыруы бар тахогенератор үшін орынды, мұнда $\Phi = \text{const.}$ Тахогенератормен айналу жиілігін өлшеу үшін соңғының білігі механизм білігімен механикалық байланысқан, оның айналу жиілігін өлшеу керек. Тахогенератор шығысында шкаласы бар өлшеу құралын қосады, ол айналу жиілігінің бірлігінде басылған (айн/мин).

Тахогенератордың жұмыс нақтылығы оның шығыс сипаттамасымен анықталады, ол жүктеме кедергісінің өзгеріссіз мәнінде айналу жиілігі n шығысында кернеу тәуелділігін білдіреді. Тахогенератордың нақты жұмысы түзу сызықты шығыс сипаттамасына сәйкес келеді (30.3 б-суреті, 1-сызбасы).

Алайда шынайы тахогенераторларда шығыс сипаттамасы түзу сызықты емес (2-сызба) және координата осінің бастауынан шықпайды. Зәкір реакциясының сипаттамасының түзу сызықты болуының негізгі себебі, сондықтан осы сипаттаманың түзу сызықтығын азайтумен үлкен ішкі кедергісі бар құралдардың тахогенераторының шығысына септігін тигізеді, себебі зәкір тогын азайтқан кезде зәкір реакциясының әсері азаяды. Заманауи тахогенераторларда шығыс сипаттамалардың түзу сызықтан ауытқуы 0,5 -3 % құрайды.

Қылшақты байланыста A и кернеудің құлдырауы тахогенераторда сезімтал емес аймақты құрайды. бұл айналу жиілігінің ауқымы $0 - n_{\text{min}}$ онда генератордың шығысындағы кернеу нольге тең. Сезімталдық емес аймағының шекарасы өрнегімен анықталады.

$$n_{\text{min}} = A \text{ шү} / (c_e F). \quad (30.6)$$

Тұрақты ток тахогенераторлары кең қолданысын тапты, олар тұрақты магниттермен қоздырылады. Бұл тахогенераторлардың қоздыру орамы жоқ және сондықтан олар құрылысы бойынша қарапайым және кіші габариттері бар.

30.3. Тұрақты ток шұралы қозғалтқыштары

Қылшақт-коллекторлық тораптың болуымен шартталған тұрақты ток қозғалтқышының кемшіліктері, нақты айтқанда сенімсіздігі, дайындау мен пайдаланудағы жоғары бағасы, өрт және жарылу қаупі бар ортада жұмыс жасауға болмайтындығы коллекторы және қылшағы жоқ тұрақты ток қозғалтқышын жасау мүмкіндігін берді. Тұрақты ток машинасының бұл элементтері механикалық ток түрлендіргішін қызметін атқарады: генераторларда – түзеуші, ал қозғалтқыштарда- инвертор.

Басқарылатын жартылай өткізгіш құралдары – тиристорлар мен транзисторларды пайдалану – осы элементтерде жартылай өткізгіш коммутаторын құрады, ол тұрақты ток машиналарында қылшақты-коллекторлық торабын алмастыруға қабілетті. Бұл құралдар кілт режимінде коммутаторды жұмыс жасайды, яғни олардың екі тұрақты қалпы бар: ток өтуі үшін ашық және жабық.

Жалпы жағдайда тұрақты ток шұралы машинасы синхронды машинаның жартылай өткізгіш коммутаторымен байланысын білдіреді. Егер шұралы машина генератор режимінде жұмыс жасаса, онда ауыспалы ЭҚК статор орамында индукстеліп, коммутатор арқылы тұрақты ЭҚК түрленеді, яғни бұл жағдайда коммутатор түзеуші болып табылады. Егер шұралы машина қозғалтқыш режимінде жұмыс жасаса және тұрақты ток желісіне қосылса, онда коммутатор инвертор – желідегі тұрақты тоқты экірдің ауыспалы тоғына түрлендірушінің ролін атқарады. Осындай қозғалтқыштың қасиеттеріне қатысты, онда ол инвертордың жартылай өткізгіш басқару әдісіне байланысты. Егер инверторды басқару тәуелсіз болса, онда инвертор жұмысы қозғалтқыш роторының кеңістікті қалпынан ерекшеленбейді, онда шұралы қозғалтқыш өзінің сипаттамалары бойынша негізінен синхронды қозғалтқыштан ерекшеленбейді. Ондай қозғалтқышта басқарылатын дербес генератор арқылы жиілікті басқару қолданылуы мүмкін, ол коректендіру желісі мен синхронды қозғалтқыштың статор орамы арасында қосылған.

Тұрақты токтың коллектор қозғалтқыштарының қасиеттерімен шұралы қозғалтқышты алу үшін, ал бұл коммутатор жұмысын тәуелді басқару кезінде ғана мүмкін, онда инвертордың жартылай өткізгіштің шығатын ашық жағдайдан жабық жаққа өтуге және керісінше қозғалтқыш роторының кеңістікті қалпына өтеді. Мұндай басқару тек ротор қалпының тетігі РҚТ қозғалтқышта мүмкін. [2].

Осылайша, шұралы қозғалтқыштың статорының шарғылық орамдарында тоқты ауыстырып қосу тұрақты ток коллекторлық қозғалтқышындағы коммутация процесіне ұқсас.



30.4-сурет. Шұралы қозғалтқыштың блок-сызбасы

30.4-суретінде шұралы қозғалтқыштың блок-сызбасы берілген. Өзіндік қозғалтқыш (электромеханикалық түрлендіруші) – бұл синхронды қозғалтқыш СҚ, оның электромагнитті немесе магнитті электрлі қоздыруы бар. Қуаты аз шұралы қозғалтқыштарда роторда орналасқан тұрақты магниттерін қоздыру кең қолданыс тапты. СҚ статор орамы электронды коммутатордан қоректендіру алады, ол ретінде И инверторды пайдаланады, инверторды басқару блогы ИББ арқылы РҚТ-дан электр сигналдарымен басқарылады. Мұнда ротордың әр қалпына статор орамының пазалық жақтарына қатысты белгілі бір жартылай өткізгіш элемент – инвертор кілтін ашу немесе жабуға белгілі бір сигналына сәйкес келеді (транзистор немесе тиристор). Осылайша, шұралы қозғалтқышта инверторды И позициялық басқару қолданылған.

Тұрақты токпен қоректендірілетін өзіндік шұралы қозғалтқыш аталған элементтерді ғана қамтиды. Егер қозғалтқышты қоректендіру ауыспалы ток желісінен болса, онда сызба Т түзеуші және С Сүзгімен толықтырылады (30.4-суретінің сызбасында пунктирлі сызықтармен көрсетілген).

Ротордың кеңістікті орналасуына жауап қайтаратын сезімтал элементтер ретінде және тиісті сигналды өндіруші ретінде әдетте Холл ЭҚК тетіктерін қолданады (30.5-сурет). Мұндай тетік жұқа жартылай өткізгішті пластинаны оған келтірілген байланыс алаңдарымен білдіріледі, оған 1-2 шығыстары жапсырылған, кернеу көзіне U_b қосылу және 3-4 шығыстары, одан шығыс сигналын U_2 алады. Егер 1-2 тізбегінде ток I өтсе, ал тетік магнитті өрісте орналасса, индукция векторы B ол тетік пластинасының z осьіне перпендикуляр, онда тетікте ЭҚК келтіріледі және



30.5-суреті. Холл ЭҚК тетігі

3-4 шығыстарында кернеу U_2 туындайды. ЭҚК мәні ток I және B магнитті индукция мәніне байланысты, ал полярлығы – 1-2 тізбегіндегі I ток бағытына және B магнитті индукция векторының бағытына байланысты.

30.6-суретте тұрақты ток шұралығ қозғалтқышының функционалдық сызбасы берілген. Бұл қозғалтқыш электромагнитті қоздырумен синхронды қозғалтқышын білдіретін M өзіндік қозғалтқыштан, РҚТ роторы қалпының тетігінен және И инвертордан тұрады. РҚТ ротор қалпының тетігі ИББ инверторды басқару блогына сигналдар береді. Бұл сигналдар тиристорлардың басқару электродтарына түседі, қозғалтқыш роторының кеңістікті қалпына сәйкес ашылуын тудырады. Инвертор алты тиристорда орындалған, үшфазалы көпірлі сызбамен байланысқан. 1,3 және 5 тиристорлар анодты топты құрайды, себебі оларға «плюс» кернеуі U келтірілген, ал 2, 4 және 6 тиристорлары катодты топты құрайды – оларға коректендіру кернеуіне «минус» келтірілген.

Ротордың айналу процесінде оның айналатын магнитті өрісі статордың фазалық орамдарында ЭҚК индукстеледі, олардың лездік мәндері e_a , e_b және e_c . Өзінің табиғаты бойынша олар қарсы ЭҚК болып табылады және желі кернеуіне қарсы бағытталған. Статор орамында ток өтуі үшін коректендіру кернеуін статор орамының ЭҚК желілік мәндерін еңсеру керек. Бұл ұстаным шұралы қозғалтқыш негізіне алыну керек, себебі жеке уақыт мезеттерінде лездік желілік мәндер статор (зәкір) орамының қарсы – ЭҚК желі кернеуін еңсереді, ол тиристорлардың анодты тізбегінде тоқтың тоқтауына әкеледі және олар белгілі реттілікте жабылады.

ДПР

•

~

T

~



Заманауи шұралы қозғалтқыштарда әдетте инветорлар – жартылай өткізгіш коммутаторларды қолданады, олар биополярлық транзисторларда орындалады (р-п-р өтумен). Бұл жағдайда басқарушы сигналдар оң полярлықтан РҚТ-дан басқару блогы арқылы транзисторлар базасына келеді. Осындай сигнал түскен кезде транзистор ашылады, ал токтатқан кезде- жабылады

Осылайша, шұралы қозғалтқыш негізінде қозғалтқыштың және инвертордың органикалық байланысы жатады, яғни инвертор автономды болып табылмайды, ол ЖТТ жиілікті түрлендіру тиристорларында орын алған, ал жартылай өткізгішті элементтерін ауыстырып қосқан кезде басқару жүйесінен ротордың кеңістікті қалпына тәуелді.

Баяндалғанды жалпылай отырып, айту керек, қарастырылған шұралы қозғалтқыштарда ротор қалпының тетігінде жартылай өткізгіш коммутаторымен бірге тұрақты ток дәстүрлі (коллекторлы) қозғалтқышында қылшақты-коллекторлық тораптың қызметін атқарады. Алайда соңғыға қарағанда шұралы қозғалтқыштың сырғымалы байланыстары жоқ, онда коммутацияның күрделі процестері болмайды, ол ұшқындау, «айналу оты» және өзге қажетсіз салдармен сүйемелденеді, олар жарылу және өрт қауіптілігін тудырады және тұрақты ток коллекторлық қозғалтқыштарының қолданысын шектейді.

30.4. Тұрақты токтың атқарушы қозғалтқыштары

Тұрақты токтың атқару қозғалтқыштары, орындаушы асинхронды қозғалтқыштар секілді (17.4-қараңыз) электр сигналын механикалық ауыстыруға түрлендіру үшін автоматика жүйелерінде қолданылады. Атқарушы қозғалтқыштарына бірқатар ерекше талаптар ұсынылады, олардың ішінен өздігінен жүру мен шағын инертіліктің болмауы негіз болады (17.4-қараңыз). Барлығы дерлік асинхронды қозғалтқыштардың (тұрақты ток магниттері бар қозғалтқыштар ғана жатпайды) екі орамы бар. Олардың ішінен біреуі тұрақты желіге қосылған және қоздыру орамы деп аталады, ал екіншісі – басқару орамы – электр сигналы қозғалтқышты айналдыру керек болған кезде беріледі. Басқару кернеуінің көлеміне байланысты айналу жиілігі мен атқарушы қозғалтқыштың айналу мезеті, яғни олармен дамытылатын механикалық қуат тәуелді.

Тұрақты ток атқарушылық қозғалтқыштары құрылысы бойынша жалпы арналымдағы тұрақты ток қозғалтқыштарынан ерекшелігі – дестеленген зәкірі (электротехникалық болат табағынан жасалған),

тұғыр, полюстен тұрады, ол өтпелі режимдегі атқару қозғалтқыштарының жұмысына байланысты. Атқару қозғалтқыштарының магнитті тізбегі әлі қанықпаған, сондықтан зәкір реакциясы (26.2-қараңыз) дерлік олардың жұмыс сипаттамаларына әсер етпейді.

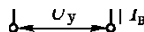
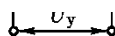
Тұрақты ток атқарушы қозғалтқыштары ретінде қазіргі уақытта тәуелсіз қоздыру қозғалтқыштарын жиі, ал тұрақты магниттері бар қозғалтқыштарды сирек қолданады. Тәуелсіз қоздыруы бар қозғалтқыштарда басқару орамы ретінде не зәкір орамын – зәкірлік басқару қозғалтқыштары, не полюстер орамы – полюстік басқару қозғалтқыштары қолданылады.

Зәкірлік басқаруы бар атқару қозғалтқыштарына қоздыру орамы болып полюстер орамы, ал басқару орамы болып – зәкір орамы табылады (30.9а-суреті). Қоздыру орамын тұрақты кернеуі u_e бар желіге қосады, автоматты құралдың барлық жұмысының уақытына. Басқару орамына сигналды (кернеуді басқару) қозғалтқыш зәкірін айналдыру қажет болғанда ғана қосады. Басқару кернеуінен айналу мезеті және қозғалтқыштың айналу жиілігі байланысты. Басқару кернеуінің полярлығы өзгерген жағдайда қозғалтқыш зәкірінің айналу бағыты өзгереді.

Полюстік басқаруы бар атқарушылық қозғалтқыштарда басқару орамы болып полюстер орамы, ал қоздыру орамы болып – зәкір орамы табылады (30.9б-суретін қараңыз). Қозғалтқыш зәкірі үнемі кернеуіндегі $u_e = \text{const}$ желіге қосылған. Токты шектеу үшін кейде зәкірмен бірге кедергінің J_o қосалқы резисторын қосады. Полюстер орамына басқару кернеуін U_y (сигнал) зәкірді айналдыру керек болғанда береді. Қалыпты құрылыстағы тұрақты токтың атқару қозғалтқышының елеулі кемшілігі бар – өтпелі процестердің баяулығы, яғни шағын инерттіліктің болмауы. Бұл екі себеппен түсіндіріледі:

1. болат өзегі бар массивный зәкірдің болуы, үлкен инерция мезетіне J_2 ие; бұл себеп электромеханикалық тұрақты уақыттың артуын $T_{эв}$ и $0,105 \text{ J}^{\wedge}/\text{M}^{\wedge}\text{к}$ тудырады;

2. зәкір орамының елеулі индуктивтілігі $L_{э}$, олардың белсенді жақтары зәкір өзбегінің пазаларына салынған;



а

б

**30.9-сурет. Тұрақты ток
атқару қозғалтқыштарын қосу
сызбасы**

бұл себеп электромагнитті тұрақты уақыттың $T = L_0 / S \sigma$ артуына септігін тигізеді.

Аталған кемшіліктер тегіс (қуыс) зәкірі бар қозғалтқыштарда жоқ (30.10-суреті). Осы қозғалтқыштың тұғыры 1 мен полюстері 3 кәдімгі. Қозғалтқышты қоздыру не қоздыру орамы 2 арқылы не тұрақты магниттермен жүзеге асырылады.

Зәкірдің инерция мезетін азайту үшін оның орамы массивті ферромагнитті өзектен ерекшеленеді, соңғысы қозғалыссыз (ішкі статор 5) ретінде орындалған және 6 мойынтіректі қалқанның цилиндрлі шығысында орналасқан.

Зәкір орамы дайындау процесінде цилиндр қаңқаға салынады, содан кейін пластмассамен құйылады. Дайын зәкір 4 қуыс стакан секілді, орам өткізгіштерінен пластмассамен біріккен. Орам секциясының ұштары кәдімгі қозғалтқышта секілді коллектор пластиналарымен бірігеді, ол зәкірдің қуыс стаканының бөлігі 4 болып табылады. Тегіс зәкірі бар қозғалтқыштың айналатын торабы біліктен, коллектордан және пластмассамен құйылған зәкір орамынан тұрады.

Қуыс зәкірдің инерция мезеті кәдімгі зәкірдің инерция мезетінен елеулі кіші, ол қозғалтқыштың жақсы лездік әрекетін қамтамасыз етеді. Сонымен қатар зәкір орамының индуктивтілігі төмендейді, ол қозғалтқыштың жылдам әрекет етуіне септігін тигізеді. Сонымен қатар орам индуктивтілігінің төмендеу реактивті ЭҚК азайту есебінен қозғалтқыш коммутациясын жақсартыды (27,4-қараңыз).

Қарастырылған шағын инертті қуыс зәкірі бар қозғалтқыштың кемшілігі – статор полюстері және қозғалмайтын ферромагнитті өзегі – ішкі статор арасында магнитті емес аралықтың үлкен болуы.

A



30.10-сурет. Қуыс зәкірі бар тұрақты токтың шағын инерциялық атқарушы қозғалтқышы

Бұл аралық екі әуе саңылауынан және қуыс стақан қалыңдығынан тұрады (зәкір орамының қабат қалыңдығы). Магнитті ағынның жолында магнитті емес аралықтың үлкен болуы қоздыру МҚК елеулі арттыруын талап етеді, ол біріншіден, қоздыру орамының көлемінің артуынан қозғалтқыш көлемінің көбеюіне әкеледі, ал екіншіден, қоздыру орамын жылыту шығындарының артуына әкеледі. Алайда қуыс зәкірі бар қозғалтқыштың ПӨК зәкір өзегінің болатында шығындардың болмауынан дерлік кәдімгі қозғалтқыштардың деңгейінде қалады, ал қоздыру үшін тұрақты магниттерді қолдану соңғылардың ПӨК асып кетеді.

Бақылау сұрақтары

- 1. ЭМК өтемдеуіш орамының арналымы қандай?**
- 2. Тахогенератордың шығыс сипаттамасы неге қисық сызықты?**
- 3. Шұралы қозғалтқышта ротор қалпы тетігінің арналымы қандай?**
- 4. Кернеу полярлығын оның кірісінде өзгертсе ТТКҚ жұмыс жасайды ма?**
- 5. Атқару қозғалтқыштарын басқарудың зәкірлік және полюстік әдістерінің тәртібін түсіндіріңіз.**
- 6. Тұрақты токтың шағын инертті қозғалтқышының артықшылықтары мен кемшіліктері қандай?**

1. Брускин Д.Э. Электрические машины и микромашины / Д.Э. Брускин, А. Е.Зорохович, В. С. Хвостов. — М.: Высшая школа, 1981.
2. Вольдек А.И. Электрические машины / А.И.Вольдек. — Л.: Энергия, 1978.
3. Кайман М.М. Лабораторные работы по электрическим машинам и электроприводу / М.М. Кацман. — М.: изд. центр «Академия», 2003.
4. Кайман М.М. Электрический привод / М. М. Кацман. — М.: изд. центр «Академия», 2005.
5. Кайман М.М. Справочник по электрическим машинам. / М. М. Кацман. — М.: изд. центр «Академия», 2005.
6. КайманМ.М. Сборник задач по электрическим машинам / М.М.Кацман. — М.: изд. центр «Академия», 2003.
7. Кацман М.М. Электрические машины приборных устройств и средств автоматизации / М. М. Кацман. — М.: изд. центр «Академия», 2005.
8. Келим Ю.И. Типовые элементы систем автоматического управления / Ю.М.Келим. — М.: Форум, 2004.
9. Копылов И.П. Электрические машины / И. П. Копылов. — М.: Высшая школа, 2002.
10. КостенкоГ.Н.,ПиотровскийЛ.М. Электрические машины / Г. Н. Костенко, Л. М. Пиотровский. — Л.: Энергия, 1973.
11. Осин И.Л., Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств / И.Л.Осин, Ф.М.Юферов — М.: изд-во МЭИ, 2003.
12. Справочник по электрическим машинам / под ред. И.П.Копылова, Б. К. Клокова. — М.: Энергоатомиздат, 1988.

ПӘНДІК КӨРСЕТКІШ

Автотрансформатор 77	параллель қоздырудың
— реттеуші 78	коллекторлық қозғалтқышы 434
— үшфазалы 80	ретті қоздыру 449
	аралас қоздыру 453
Фазаның	- әмбебап 465
орамының тармақтары 124	— синхронды
зәкірдің 374	гистерезисті 347
Тұрақты магниттермен	үшфазалы 328
қоздыру 342, 403	магнитоэлектрлі 342
— электромагнитті	— реактивті 345
275, 403	— қадамдық 351
Айналу осінің биіктігі 264	Асинхронды қозғалтқыш
	векторлық диаграммасы 165
Тісті ЭҚК гармоникасы 120	синхронды генератор 296
Индукторлы генератор 358	трансформатор 34
— тәуелсіз қоздыру	қарапайым 54
423	— асинхронды
— параллель қоздыру	қозғалтқыштың шеңбері 195
427	— практикалық ЭҚК
— тырнақ тәрізді	302 Дизель-генератор 279
полюстері 356	
— синхронды жұмыс	магнитті кешігу 348
ұстанымы 105	Сәйкессіздік аймағы 19
магнитоэлектрлі 343	Тахогенератордың сезімтал емес
аралас қоздыру 430	аймағы 474
Гидрогенератор 277	
Трансформаторлық топ 66	Трансформатордың екінші
— статордың	кернеуін өзгерту 55
шарғылық орамы 115	— тұрақты ток
Трансформаторларды	генераторының кернеуі 426
байланыстыру топтары 66	— синхронды
	генератор 301
Холл ЭҚК тетігі 476	Статор орамын
Асинхронды атқарушылық	оқшаулау 130
қозғалтқышы 249	Импидорлар 88
— толқынды 354	Коллектордағы ұшқындау
конденсаторлық 235	404
желілік 252	
бір фазалы 231	Желдеткіш аксиальді арналар
жұмыс тәртібі 107	261
құрал 147	радиальді 262
— ротордағы терең	Полюстік қаңқасыз шарғы
пазаларымен 213	368 қаңқалы 368
Ротордағы екі төрмен 214	Оқшаулаудың жылуға
— үшфазалы	төзімділік санаты 257
	Синхронды
	машиналардың тербелістері 318
	Сыйымдылықты сақиналар 88

Конустық шайбалары бар
 коллектор 369
 Баяу коммутация 408
 — Түзу сызықты 407
 — Жылдамдатылған
 411 Синхронды өтемеуіш 338 Әуе
 саңылауының коэффициенті 154
 — Толтырылған
 паза 131
 — Магнитті қанығу
 156 шашырату 392
 — Асинхронды
 қозғалтқыш қуаты 184
 — орамды 118
 Асинхронды
 қозғалтқыштың пайдалы әрекет
 коэффициенті 168
 — тұрақты ток
 машиналары 457
 — — синхронды
 машина 304
 — —
 трансформатора 58
 — Полюстік
 жабындау 288, 385
 — Орамды үлестіру
 117
 — Тұрақты ток
 машинасы экірінің реакциясы
 399
 — Статикалық
 артық жүктемелік 315
 — типтік қуат 92
 — трансформацияла
 р 25 кернеу 164
 — токтар 164
 — орамның
 қысқартылған қадамы 113
 471 — қуаттың артуы
 — қозждыру өрісінің
 пішіні 288 статор 287
 Брондық
 трансформаторының магнитті
 жетегі 17 жапсарлы 18
 — — дестеленген 18
 Шағын инерттілік 249 Электрлі
 синхронды байланыс машиналары
 245
 Үлестірілген статор
 орамының МҚК 134
 — — шоғырланған
 132 үшфазалы 137
 — фазалар 136

Синхрондаушы мезет 320
 — — үлесті 320
 — Тұрақты токтың
 электромагнитті машиналары
 388
 — Синхронды
 машинаның негізгісі 312
 — Синхронды
 машина реактивтісі 313
 синхронды машина 313
 Паразитті асинхронды
 қозғалтқыш мезет 187
 Пайдалы қуат 168
 — өтпелі 79
 — есептік 79
 — типтік 92
 — үлесті
 синхрондаушы 321
 — электромагнитті
 асинхронды қозғалтқыш 169
 — — тұрақты ток
 машиналары 457
 синхронды машиналар 312
 Электрлі машиналарды
 жылыту 255 Желілік жүктеме 394
 Геометриялық бейтарап 374
 — физикалық 398
 Магнитті симметриялы еместік
 380
 Электрлі машиналардың
 қайтмдылығы 9
 Қоздыру орамы 106, 273, 368
 — құрамдастырылға
 н 384
 — өтемеуіш 401
 — қарапайым
 толқынды 376 ілмекті 372
 — іске қосушылық
 332
 — қысқа тұйықталу
 роторы 148
 — күрделі толқынды
 378 ілмекті 375
 — екі қабатты статор
 121
 полюс пен фазаға
 пазалардың бөлшекті санымен
 126
 бір қабатты концентрлі
 128
 шаблонды 129
 бір фазалы 130

Электрлі машиналарды
 салқындату 260
 — сутекті 282
 — табиғи 260
 жасанды 260
 тікелей 283
 Синхронды индикаторлы
 беріліс 246 Тармақты орамның
 ауыстырып қосқышы 62
 Трансформаторлардағы
 артық кернеу 85 Гистерезис ілмегі
 349 Пик-трансформатор 94
 Магнитті жүгірмелі өріс 252
 Айналатын шеңбер 137
 эллипстік 140
 пульстейтін 140
 Қосалқы полюстер 414
 Қосалқы шығындар 170, 305, 458
 Жүктеме кезінде 305
 пульсациялық 305
 — магнитті 170, 304,
 458
 — механикалық 169,
 305, 457
 — қоздыруға 304, 457
 — гистерезис 349
 — электрлі 170, 304,
 457 Мәжбүрлі магниттеу ағыны 92
 — магнитті
 шоғырландыру 25, 157, 285, 391
 Жиілік түрлендіргіші 243
 Өтпелі процестер 82, 324
 Ұшқындау себептері 404
 Қарсы-ЭҚК 433 Асинхронды
 қозғалтқышты іске қосу 205
 — тұрақты ток
 қозғалтқышы 438
 — синхронды
 қозғалтқыш 332
 — Параллель
 синхронды қозғалтқыш
 генераторының жұмысы 306
 трансформатордың 70
 Коллекторлы
 машиналардың радиокедергілері
 420
 Тұрақты ток машинасының
 зәкір реакциясы 394
 синхронды генератор 289
 Асинхронды қозғалтқышты
 реттеу жиілігі 216
 -----Параллель қоздыру
 қозғалтқышы 441
 Ретті қоздыру 451
 Индукциялық реттеу 241
 Тұрақты ток машинасы 324

Қысқа мерзімді жұмыс
 режимі 258
 Қайталама-қысқа мерзімді
 258
 ұзақ 258
 Асинхронды машинаның
 жұмыс режимі 144
 — тұрақты ток
 машинасы 365 Іске қосу реостаты
 439
 Қысқа тұйықталған ротор
 149
 — Айқын полюсті
 емес 277
 — жиынтық 349
 — тырнақ тәрізді
 полюспен 357
 — айқын полюсті 277
 Электрлі машиналардың
 өздігінен желдетуі 260
 Генератордың өздігінен
 қоздыруы 276, 428
 Өздігінен жүру 250
 Асинхронды
 қозғалтқыштың іске қосу
 қасиеттері 205
 Зәкір орамының
 секциясы 371
 Байланыссыз
 сельсин 248
 — бай
 ланысты 248 Ротор
 өзегі 148
 — статор 148
 Асинхронды
 қозғалтқыштар топтамасы 267
 — Тұрақты ток
 машиналары 461 Нақты
 синхрондау 307 Пондеромоторлы
 күштер 158 Байланыссыз қоздыру
 жүйесі 275
 Сырғу 144
 — ш
 екті 174
 Пазалардың
 қиғаштануы 120
 Орамдарды zigzакка
 байланыстыру 39 Екінші қатарлы
 теңестіру байланыстары 382
 Бірінші қатар 379
 Басты индуктивті кедергі
 293
 шашырату 295
 артықжүрісті 325

- Тұрақты ток
тахогенераторы 473
- Коммутация тогы 409
- асинхронды
қозғалтыш қысқа тұйықталу 192
- трансформатор 48
- асинхронды
қозғалтқыш бос жүрісі 190
- трансформатор 31
- Қысқа тұйықталу
екпіні 84 Асинхронды қозғалтқыш
тежелуі 227
- Тұрақты ток
қозғалтқышы 454 Транспозиция
21 Трансформатор 13
- түзе
туші үшін 91
- доғалық
дәнекерлеу 98
- қозғалмалы өзегі
бар 90
- үш орамды 75
- Треугольник короткого
замыкания трансформатора 51
- Турбогенератор 277
- Гистерезисті ығысу бұрышы
348
- келісілмеген 247
- Орам қадамын шартты қысқарту
114
- Амплитудалық-фазалық
басқару 250 Трансформатор МҚК
тенестіру 30
- тұрақты ток
генераторының мезеттері 422
- тұрақты ток
генераторының қуаты 422
- тұрақты ток ток
қозғалтқышы 433
- асинхронды
қозғалтқыш кернеуі 161
- тұрақты ток генераторы
422
- синхронды генератор 294
- трансформатор 31
- асинхронды
қозғалтқыш тогы 163
- трансформатордың 33
- Зәкір орамының симметрия
шарттары 379 Тиристорлы
қоздыру құралдары 275
- Фазореттеуші 243
- Сыртқы трансформатор
- Қысқа тұйықталу
299
- Механикалық
асинхронды қозғалтқыш 175
- Тұрақты ток
генераторының жүктемесі 424, 425
- Тұрақты ток
генераторының реттеушісі 426
- Синхронды генератор 301
- Өздігінен
қоздыру 429
- Тұрақты ток
генераторының бос жүрісі 424, 428
- синхронды генератордың
301
- Тұрақты ток
қозғалтқышының механикалық
сипаттамалары 436
- Асинхронды
қозғалтқыштың жұмыс
сипаттамалары 183
- Тұрақты ток
қозғалтқышы 435
- синхронды 335
- әмбебап коллекторлық
қозғалтқыш 467
- Бұрыштық синхро
нды генератор 316
- қозғалтқыш 329
- Синхронды генератордың
U-тәрізді сипаттамалары 321
- қозғалтқыш
334
- Асинхронды айналу жиілігі
108
- шекті 428
- синхронды 107
- Қабылдағыштық
353
- сырғу 144
- Полюс пен фазаға пазалар
саны 122
- Екінші жартылай орам
қадамы 373
- бірінші 373
- шартты 114
- пазалар бойынша 110
- коллектор
бойынша 372
- потенциалды 382
- Шарғы ЭҚК 111
- ротор орамы 161
- статордың 160

МАЗМҰНЫ

Алғысөз	3
Кіріспе	4
В.1. Электрлі машиналар мен трансформаторлардың арналымы	4
В.2. Электрлі машиналар — электромеханикалық энергия түрлендірушілер.....	6
В.3. Электрлі машиналардың жіктелуі.....	10
Бірінші бөлім. ТРАНСФОРМАТОРЛАР	
1-тарау. Трансформатордың жұмыс процесі	13
Трансформатордың арналымы мен қолданылу аясы	13
Трансформатордың әрекет ету ұстанымы	14
Трансформатор құрылысы	16
Трансформатор кернеуінің теңдеуі	24
Магнитті қозғаушы күштер мен токтардың теңдеулері	28
1.1. Екінші орам өлшемдерін келтіру және келтірілген трансформатордың алмастыру сызбасы.....	32
Трансформатордың векторлық диаграммасы	34
1.2. Үшфазалы тоқты және үшфазалы трансформатордың орамдарын байланыстыру сызбасы трансформациялау	37
1.3. Трансформаторлардың магнитті жетегін магниттендіру құбылысы	40
1.4. Бос жүріс режимінде үшфазалы трансформатордың жұмысына орам байланыстары сызбасының әсері	41
1.5. Трансформаторды алмастыру сызбасының тәжірибелік өлшемдері.....	45
Трансформатордың қарапайым векторлық диаграммасы	54
Трансформатордың сыртқы сипаттамасы	55
Трансформатор шығындары және ПӘК	58
Трансформатор кернеуін реттеу	62
2-тарау. Орамдарды байланыстыру топтары мен трансформатордың параллель жұмысы	65
Трансформатордың орамдарын байланыстыру топтары	65
Трансформатордың параллель жұмысы	70
3.-тарау Үш орамды трансформаторлар және автотрансформаторлар	75
Үшорамды трансформаторлар.....	75
Автотрансформаторлар	77
4-бөлім. Трансформатордағы өтпелі процестер	82
4.1. Қосқан кезде және трансформатор қысқа тұйықталған кездегі өтпелі процестер.....	82

4.2. Трансформатордағы артық кернеу	85
5-тарау. Арнайы трансформаторлық құралдар.....	90
5.1.Қозғалмалы өзегі бар трансформаторлар	90
5.2.Түзеуші құралдардың трансформаторлары	91
5.3.Пик-трансформаторлар.....	94
5.4.Жиілік көбейткіштері	95
5.5.Доғалы электрлі балқыту трансформаторлары	98
5.6. Жалпы арналым күштік трансформаторлары	99
5.7.Трансформаторларды салқындату	101
Екінші бөлім. КОЛЛЕКТОРСЫЗ МАШИНАЛАР ТЕОРИЯСЫНЫҢ ЖАЛПЫ СҰРАҚТАРЫ	
6-тарау. Ауыспалы ток коллекторсыз машиналардың әрекет ету ұстанымы	105
6.1.Синхронды генератордың әрекет ету ұстанымы	105
6.2. Асинхронды қозғалтқыштың әрекет ету ұстанымы	107
7-тарау. Ауыспалы ток машиналарының орамдарын орындау ұстанымдары	109
7.1.Коллекторсыз машинаның статор құралы және статор орамы туралы негізгі ұғымдар	109
7.2. Шарғының электр қозғаушы күштері	111
7.3.Шарғылық топтың электр қозғаушы күші	115
7.4.Статор орамының электр қозғаушы күші	118
7.5.ЭҚК тісті гармоникалары	120
8-тарау. Статор орамының негізгі түрлері.....	121
8.1.Полус пен фазаға пазалардың бүтін саны бар үшфазалы екі қабатты орамдар.....	121
8.2.Полус пен фазаға пазалардың бөлшекті саны бар үшфазалы екі қабатты орамы	126
8.3. Статордың бір қабатты орамы	127
8.4.Статор орамыны оқшаулау.....	130
9-тарау. Статор орамының магнитті қозғаушы күші	132
9.1.Шоғырланған орамның магнитті қозғаушы күші	132
9.2. Үлестірілген орамның магнитті қозғаушы	134
9.3.Статордың үшфазалы орамның магнитті қозғаушы күші	137
9.4.Домалақ, эллиптикалық және өтетін магнитті өрістер	140
9.5.Үшфазалы орамның магнитті қозғаушы күшінің жоғары кеңістікті гармоникалары.....	141
Үшінші бөлім. АСИНХРОНДЫ МАШИНАЛАР	
10-тарау.Асинхронды машиналардың жұмыс жасау режимі	144

12-тарау.Асинхронды қозғалтқышты алмастыру сызбасы.....	160
12.1. Асинхронды қозғалтқыштың кернеуін теңестіру	160
12.2. Асинхронды қозғалтқыштың МҚК және токтарын теңестіру	162
12.3.Ротор орамының өлшемдерін келтіру және асинхронды қозғалтқыштың векторлық диаграммасы	164
13-тарау. Асинхронды қозғалтқыштың электромагнитті мезеті және жұмыс сипаттамалары	168
13.1. Асинхронды қозғалтқыштың шығындары мен ПӘК	168
13.2.Қозғалтқыш және жұмыс механизмдері туралы ұғымдар	172
13.3. Асинхронды қозғалтқыштың электромагнитті мезеті және жұмыс сипаттамалары	173
13.4. Ротор орамының желі кернеуі мен белсенді кедергісі өзгерген кезде асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамалары	181
13.5. Асинхронды қозғалтқыштың жұмыс сипаттамалары	183
13.6.Асинхронды қозғалтқыштың магнитті өрісінің жоғары кеңістікті гармоникасының электромагнитті мезеттері.....	186
14-тарау.Асинхронды қозғалтқыштың жұмыс сипаттамаларын есептеу және тәжірибелік анықтау	189
14.1.Негізгі ұғымдар	189
14.2.Бос жүріс тәжірибесі	190
14.3.Қысқа тұйықталу тәжірибесі	192
14.4.Асинхронды қозғалтқыштың айналма диаграммасы	195
14.5.Асинхронды қозғалтқыштың айналма диаграмма бойынша жұмыс сипаттамаларын құру	198
14.6.Асинхронды қозғалтқыштың жұмыс сипаттамаларын есептеудің аналитикалық әдісі	201
15-тарау. Үшфазалы асинхронды қозғалтқыштарды іске қосу, айналу жиілігін реттеу және тежелуі	205
15.1.Асинхронды қозғалтқышты фазалық ротормен іске қосу	205
15.2.Қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды қозғалтқыштарды іске қосу	209
15.3.Жетілдірілген іске қосу сипаттамалары бар қысқа тұйықталған асинхронды қозғалтқыштар	212
15.4.Асинхронды қозғалтқыштың айналу жиілігін реттеу	216
15.5.Асинхронды қозғалтқыштың тежелу режимдері	227
16-тарау.Бірфазалы және конденсаторлы асинхронды қозғалтқыштар	231
16.1.Бірфазалы асинхронды қозғалтқыштың әрекет ету ұстанымы мен іске қосылуы	231
16.2.Асинхронды конденсаторлық қозғалтқыштар.....	236
16.3.Бірфазалық желіден үшфазалы асинхронды қозғалтқыштың жұмысы	238
16.4.Экрандалған полюсі бар бірфазалы асинхронды қозғалтқыш	240
17-тарау.Арнайы арналымдағы асинхронды машиналар.....	241
17.1. Кернеудің индукциялық реттеушісі мен фазалық реттеуші	241
17.2.Асинхронды жиілік түрлендірушісі	243

17.3.Синхронды байланыс электрлі машиналары.....	
17.4.Асинхронды атқарушы қозғалтқыштар.....	45
17.5.Желлік асинхронды қозғалтқыштар.....	
18-тарау.Электрлі машиналарды орындаудың құрылымдық пішіндері.....	49
18.1.	Э 51
лектрлі машиналарды жылыту және салқындату.....	
18.2.	Э 55
лектрлі машиналарды салқындату әдістері	
18.3.Электрлі машиналарды орындаудың құрылымдық пішіндері	55
18.4.	У 60
шфазалы асинхронды қозғалтқыш топтамалары	
Төртінші тарау. СИНХРОНДЫ МАШИНАЛАР	
19-тарау.Қоздыру әдістері мен синхронды машиналардың құрылысы	
19.1.	С 63
инхронды машиналарды қоздыру	
19.2.	С 67
инхронды машиналардың түрлері мен олардың құрылысы	
19.3.	І 67
рі синхронды машиналарды салқындату	
20-тарау. Синхронды генераторлардың магниті өрісі мен сипаттамалары	73
20.1.	С 73
инхронды машинаның магнитті тізбегі	
20.2.	С 76
инхронды машинаның магнитті өрісі.....	
20.3.	С 82
инхронды машинаның зәкір реакциясы	
20.4.	С 84
инхронды генератордың кернеулерін теңестіру	
20.5.	С 84
инхронды генератордың векторлық диаграммалары	
20.6.	С 86
инхронды генератордың сипаттамалары	
20.7.Синхронды генератордың тәжірибелік диаграммасы	89
20.8.	С 94
инхронды машиналардың шығындары мен ПӘК.....	
21-тарау.Синхронды машиналардың параллель жұмысы	
21.1.Синхронды генераторларды параллель жұмысқа қосу	96
21.2.Параллель жұмысқа қосылған синхронды генератордың жүктемесі	98
21.3.	С 02
инхронды генератордың бұрыштық сипаттамалары.....	
21.4.	С 04
инхронды генератордың тербелістері	
21 5. Синхронды машиналардың синхрондаушы қабілеті	
21.6.	С 06
инхронды генератордың U-тәрізді сипаттамалары	
21.7.	С 06
инхронды генераторлардың өтпелі процестері	
22-тарау.Синхронды қозғалтқыш және синхронды өтемдеуіш	

24-тарау.Тұрақты ток коллекторлық машиналарының әрекет ету ұстанымы мен құрылысы.....	363
24.1.Тұрақты ток генераторы мен қозғалтқышының әрекет ету ұстанымы	363
24.2.Тұрақты ток коллекторлық машинасының құрылысы	366
25-тарау. Коллекторлық машиналар зәкірінің орамдары	371
25.1.Зәкірдің ілмекті орамдары	371
25.2.Зәкірдің толқынды орамдары	376
25.3.Теңестіру байланыстары мен зәкірдің құрамдастырылған орамдары	379
25.4.Тұрақты ток машинасының электр қозғаушы күші мен электромагнитті мезеті.....	385
25.5.Зәкір орамының түрін таңдау	389
26-тарау.Тұрақты ток машинасының магнитті өрісі	391
26.1.Тұрақты ток машинасының магнитті тізбегі	391
26.2.Тұрақты ток машинасының зәкір реакциясы	394
26.3.Зәкір реакциясының магнитсіздендіру әсерін есепке алу	399
26.4.Зәкір реакциясының зиянды әсерін жою	401
26.5.Тұрақты ток машинасының қоздыру әдістері	402
27-тарау. Коллекторлық машиналардағы тұрақты токтың коммутациясы	404
27.1. Коллекторда ұшқындауды тудыратын себептер	404
27.2.Түзу сызықты коммутация	407
27.3.Қисық сызықты баяу коммутациясы	408
27.4.Коммутацияны жетілдіру әдістері	412
27.5.Коллектор бойынша айналма от	419
27.6.Коллекторлық машиналардың радиокедергілері	420
28-тарау.Тұрақты ток коллекторлық генераторлары	421
28.1.Негізгі ұғымдар	421
28.2.Тәуелсіз қоздыру генераторы	423
28.3.Параллель қоздыру генераторы	427
28.4.Аралас қоздыру генераторы	430
29-тарау.Коллекторлық қозғалтқыштар.....	432
29.1.Негізгі ұғымдар	432
29.2. Тәуелсіз және параллель қоздырудың тұрақты ток қозғалтқыштары	434
29.3.Тұрақты ток қозғалтқыштарын іске қосу	438
29.4.Тәуелсіз (параллель) қоздыру қозғалтқышының айналу жиілігін реттеу	441
29.5.Ретті қоздыру қозғалтқышы	449
29.6.Аралас қоздыру қозғалтқышы	453
29.7.Тежеу режимдерінде тұрақты ток қозғалтқыштары	454
29.8.Тұрақты ток коллекторлық машинасының пайдалы әрекет шығындары мен коэффициенті	457
29.9.Тұрақты ток машиналарының топтамасы	461
29.10.Әмбебап коллекторлық қозғалтқыштар	465
30-бөлім.Арнайы арналымдағы тұрақты ток машиналары	469
30.1.Электромашиналық күшейткіш.....	469

30.3. Тұрақты токтың шұралы қозғалтқыштары	475
30.4.Тұрақты токтың атқару қозғалтқыштары	478
Әдебиеттер тізімі	482
Пәндік көрсеткіш	483

Оқулық басылымы

Кацман Марк Михайлович

Электрлі машиналар

Оқулық

Редактор Ж.Ж.Сыдықова

Техникалық редактор Н. И. Горбачева

Компьютерлік беттеу: Т.А.Клименко

Корректорлар В.А.Жилкина, В.В.Кожуткина, А. П. Сизова

№ 112100583 басылымы. Баспаға қол қойылды 28.12.2012. 60 x 90/16 форматы.

«Петербург» гарнитурасы. Офсеттік қағаз № 1. Офсеттік баспа. 31,0 б.шартты баспа беттері.

Таралымы 1 500 дана. Тапсырыс № «Академия» баспа орталығы» ЖШС. www.academia-moscow.ru 129085, Мәскеу, Бейбітшілік даңғылы, 101В, 1 бет.

Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарлы-эпидемиологиялық қорытынды № РОСС RU. АЕ51. Н 16067 06.03.2012 жылғы

«Идел-Пресс» типографиясында басылды