

АҢДАТПА

6D071800 – «Электрэнергетика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесіне ізденушілік диссертациясына

Ақаев Айбек Мұратбекұлы

ОРАМДЫҚ ТҰЙЫҚТАЛУЛАРДАН СИНХРОНДЫ ҚАРЫМТАЛАУЫШТЫҢ ҚОРҒАНЫСЫН ЖАСАУ

Ұсынылған диссертациялық жұмыс орамдық тұйықталулардан синхронды қарымталауыштың қорғанысын жасауға арналған.

Жұмыстың өзектілігі. Электрэнергетикадағы синхронды қарымталауыштар (СҚ) реактивті қуатты реттегіш ретінде кеңінен пайдаланылады. Оларды пайдалану жеткілікті қуатты синхронды қозғалтқыштары жоқ, тұтынушылық жүктемелері шоғырланған аудандарда кернеудің қалыпты деңгейін ұстап тұруға мүмкіндік береді, ал статикалық қарымталауыштарды пайдалану экономикалық және технологиялық тиімсіз. Нәтижесінде энергия жүйесі жұмысының тұрақтылығы мен тұтынушыларда электрэнергиясының сапасы артады.

СҚ пайдаланудың әлемдік тәжірибесінен белгілі, олардың статоры мен роторының орамаларындағы орамдық тұйықталуларға (ОТ) пайдалану шарттары мен қуатына байланысты СҚ барлық зақымдалуларының 20-25% және 8-10% дейін келетіні белгілі.

Синхронды машиналардың релелік қорғанысы аймағында Глебов И.А., Корогодский В.И., Кужеков С.А., Гимоян Г.Г., Андреев В.А., Данилевич Я.Б. Новожилов А.Н., Федосеев А.М., Ванин В.Н. және көптеген басқалары елеулі үлес қосты. Дегенмен бұл аймақтағы жұмысты келесі себептер бойынша аяқталған деп санауға болмайды.

Статор орамасын қысқа тұйықталулардан қорғау үшін СҚ шартты пайдаланылатын тоқтық қорғаныстар статор орамасындағы ОТ төмен сезімталдыққа ие. Сондықтан олар зақымдалған СҚ ОТ туындаған сәтте емес, зақымдану мөлшері бірнеше секцияға жеткен кезде ажыратады.

Кіріктірілген өлшеуіштік түрлендіргіштердегі статор орамасының қорғанысы ОТ аса сезімтал. Дегенмен кейде олардың бірқатары ротор орамасындағы ОТ кезінде де әрекет етуі мүмкін. Статор орамасындағы ОТ СҚ жылдам ажыратуды талап етуіне, ал СҚ роторы орамасындағы ОТ іс жүзінде зардапсыз едәуір уақыт тежелісімен ажыратуға болатынына байланысты осы қорғаныстардың жұмысы селективтіліктің талабына сай келмейді.

СҚ роторы орамасындағы орамдық тұйықталулар әдетте орамдардың жанында орналасқан тұйықталулардың салдарынан немесе ротор орамасының жерге екі рет тұйықталуының нәтижесінде туындайды. Егер қуатты СҚ синхронды генератор сияқты жерге тұйықталудан РҚК-3 типті қорғаныспен жабдықталған болса, онда екінші нүктедегі ротор орамасынан қорғаныс үшін РҚК-2 қорғанысының ауыспалы кешенін пайдаланады.

Сонымен қатар СҚ ротор орамасының ОТ қорғанысы орнатылмайды. Бұл сезімтал және селективті қорғанысты әзірлеуге мүмкіндік беретін жұмыстың болмауына байланысты шығар.

Олай болса, орамдық тұйықталулардан синхронды қарымталауыштың сезімтал және селективті қорғанысын жасау бойынша жұмыс өзекті болып табылады.

Жұмыстың мақсаты синхронды қарымталауыштардың статор мен роторы орамаларындағы ОТ селективті және сезімтал қорғанысын жасау болып табылады.

Мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды және шешілді:

- синхронды қарымталауыштардың эксплуатациялық және қалыптан тыс жұмыс режимдерін, статор мен ротордағы орамдық тұйықталулар кезіндегі олардың жұмыс режимдерін, сондай-ақ осы зақымдану түрлерінен қорғанысты үлгілеу, қоздыру түрлерін, құралымының ерекшеліктері сұрақтарын зерттеу;

- статор мен ротордың орамаларындағы орамдық тұйықталулар кезінде, сондай-ақ СҚ шықпаларындағы үшфазалы қысқа тұйықталулар мен іске қосулар кезінде, эксплуатациялық жұмыс режимдеріндегі синхронды қарымталауыштың статоры мен роторы орамаларындағы токтарды үлгілеу әдістерін әзірлеу;

- СҚ ішіндегі өлшеуіштік түрлендіргіштер параметрлері мен орналастыру орнын, пішінін анықтау мақсатымен, СҚ шеткі аумағындағы ротор мен статор орамалары шашырауының магниттік өрісін үлгілеу әдістерін әзірлеу;

- өлшеуіштік түрлендіргіштердің құралымын әзірлеу және оларды СҚ ішінде орналастыру мен бекіту бойынша ұсыныстар;

- бір нүктелі өлшеуіштік түрлендіргішті пайдаланумен ротор орамасындағы орамдық тұйықталулардан СҚ ротор орамасының селективті және сезімтал қорғанысының құрылғысы мен тәсілін ұсыну;

- екі С – тәрізді өлшеуіштік түрлендіргіштерді пайдаланумен статор мен ротор орамаларындағы орамдық тұйықталулардан СҚ селективті және сезімтал қорғанысының құрылғысы мен тәсілін ұсыну.

Зерттеу нысаны – СҚ статор мен ротор орамаларындағы орамдық тұйықталулардан жаңа селективті және сезімтал қорғанысты әзірлеу мен зерттеуге арналған релелік қорғаныс аймағы болып табылады. Бұл мұндай қорғанысты қорғаныстың селективті емес жұмысы едәуір материалдық және техникалық шығынға әкелуі мүмкін жерге орнатуға мүмкіндік береді.

Зерттеу құралы – статор мен ротор орамасындағы орамдық тұйықталулар кезінде және эксплуатациялық жұмыс режимдеріндегі СҚ болып жатқан процесстер, сондай-ақ осы зақымдалулардың ақпараттық белгілерін және синхронды қарымталауыштың орамдық тұйықталулардан сезімтал қорғанысын анықтау.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы анықталады:

1. Статор мен ротордың орамалары қорғанысының дәстүрлі құрылғыларының кемшіліктері зерттелді, өлшеуіштік түрлендіргіштердің

шеткі аумағын монтаждау мүмкіндіктері мен олардың параметрлерін анықтау әдістері орнатылған, сондай-ақ кіріктірілген өлшеуіштік түрлендіргіштердегі белгілі қорғаныс құрылғысының селективті емес жұмысы себептері мен оларды жою тәсілдері анықталды;

2. Статор мен ротор орамаларындағы орамдық тұйықталулар кезіндегі, сондай-ақ СҚ шықпаларындағы үшфазалы қысқа тұйықталулар кезіндегі, барлық эксплуатациялық режимдерде оның жұмысын үлгілеу үшін синхронды қарымталауыштың математикалық үлгісі ұсынылған;

3. Синхронды қарымталауыштың шеткі аумағындағы ротор мен статор орамалары шашырауының магниттік өрісін үлгілеу үшін математикалық үлгі ұсынылған;

4. СҚ орналастыру орнын, пішінін және кіріктірілген өлшеуіштік түрлендіргіштердің параметрлерін анықтау әдістемесі әзірленді;

5. Бір нүктелі өлшеуіштік түрлендіргіштің ЭҚК тұрақты құраушыларын өлшеуге негізделген, орамдық тұйықталулардан СҚ ротор орамаларының қорғанысы тәсілі әзірленді;

6. С – тәрізді өлшеуіштік түрлендіргіштердегі ЭҚК кернеу импульстерінің уақыт адымын зерттеуге негізделген, СҚ статор мен роторының орамаларының орамдық тұйықталулардан қорғанысы тәсілі әзірленді.

Жұмыстың практикалық құндылығы болып табылады, ол:

1. СҚ статор мен роторының орамалары қорғанысының дәстүрлі құрылғыларын, сондай-ақ кіріктірілген өлшеуіштік түрлендіргіштердегі қорғанысты талдау зерттеу бағытын анықтауға мүмкіндік берді, бұл синхронды қарымталауыштың орамдық тұйықталулардан жаңа селективті және сезімтал қорғанысын әзірлеуге мүмкіндік береді;

2. Синхронды қарымталауыштың ұсынылған математикалық үлгісі статор мен ротор орамаларындағы орамдық тұйықталулар кезінде, сондай-ақ 5-20% аспайтын қателігімен СҚ шықпаларындағы үшфазалы қысқа тұйықталулар кезінде, барлық эксплуатациялық режимдердегі статор мен ротор орамаларындағы токтарды үлгілеуге мүмкіндік береді, бұл релелік қорғаныс құрылғысын әзірлеу үшін жеткілікті;

3. Ұсынылған математикалық үлгі кіріктірілген өлшеуіштік түрлендіргіштерді сенімді анықтауды қамтамасыз ету үшін жеткілікті дәлдікпен синхронды қарымталауыштың шеткі аумағындағы ротор мен статор орамалары шашырауының магниттік өрісін үлгілеуге мүмкіндік береді;

4. Кіріктірілген өлшеуіштік түрлендіргіштердің параметрлерін анықтаудың әзірленген әдістемесі жеткілікті дәлдікпен СҚ орналастыру орнын, пішінін және статор мен ротор орамаларындағы орамдық тұйықталулардан СҚ қорғаныс құрылғысын жасау үшін қажетті параметрлерді анықтауға мүмкіндік береді;

5. Жұмысы бір нүктелі өлшеуіштік түрлендіргіштің ЭҚК тұрақты құраушыларын өлшеуге негізделген, орамдық тұйықталулардан СҚ ротор орамалары қорғанысының құрылғысы селективті болып табылады және

орамдық тұйықталуларға аса сезімталдыққа ие;

6. Жұмысы екі С – тәрізді өлшегіштік түрлендіргіштің ЭҚК кернеуі импульстерінің уақыт адымын өлшеуге негізделген СҚ статоры мен роторы орамаларының қорғаныс құрылғысы селективті болып табылады және орамдық тұйықталуларға статор орамасында, сондай-ақ ротор орамасында да жоғары сезімталдыққа ие;

7. Синхронды қарымталағыштың және «Елена-2012» бағдарламалық камтамасыз етілген дербес компьютердің базасында әзірленген эксперименттік кешен мен оны пайдалану бойынша әдістеме сенімді және жоғары дәлдікпен эксперименттік зерттеулерді өткізуге мүмкіндік береді, олар жұмыстың теориялық ережелерін тексеру үшін және синхронды қарымталағыштың релелік қорғанысының әзірленген құрылғыларын эксперименттік зерттеу үшін қажет.

Жұмыстың нәтижелері синхронды қарымталағыштың статоры мен роторы орамаларында эксплуатациялық жұмыс режимдерінде, статор мен ротор орамаларындағы орамдық тұйықталу кезінде, сондай ақ СҚ іске қосу мен оның шықпаларындағы үш фазалы қысқа тұйықталулар кезінде токтарды үлгілеу әдістері; СҚ шеткі аумағындағы ротор мен статор орамаларының шашырауының магниттік өрісін үлгілеу әдісі; өлшегіштік түрлендіргіштердің құрылысы және оларды СҚ ішінде орналастыру мен бекіту бойынша ұсыныстар; бір нүктелі өлшеуіштік түрлендіргішті пайдаланумен ротор орамасындағы орамдық тұйықталулардан СҚ роторы орамасының селективті және сезімтал қорғаныс тәсілі мен құрылғысы; екі С – тәрізді өлшегіштік түрлендіргіштерді пайдаланумен статор мен ротор орамаларындағы орамдық тұйықталулардан СҚ селективті және сезімтал қорғаныс тәсілі мен құрылғысы болып табылады.

Жұмыстың негізгі мазмұны.

Кіріспеде жұмыстың мақсаты, өзектілігі және осы мақсатқа жету тәсілдері негізделген. Оның ғылыми жаңалығы және практикалық құндылығы кескінделген. Қорғауға шығарылған зерттеулер мен ережелер әдістері көрсетілген. Зерттеу нәтижелерінің апробациясы келтірілген. Синхронды қарымталауыштың орамдық тұйықталулардан қорғанысын жасау қажеттілігі туралы тұжырым жасалған.

Бірінші тарауда синхронды қарымталауыш құралымының ерекшеліктері, оның қоздыру түрлері, эксплуатациялық және қалыпты емес жұмыс режимдері, сондай-ақ статор мен ротордың орамаларындағы орамдық тұйықталулар кезіндегі синхронды қарымталауыштың жұмысы сұрақтары қарастырылған. Одан басқа, статор мен ротор орамаларының орамдық тұйықталулардан қорғанысына талдау жасалған.

СҚ демпферлік орамасы жоқ роторы мен білігінің құралымыс жеңілдетілген синхронды қозғалтқыш екені, ал статор мен ротор орамаларындағы токтардың ең үлкен мәніне шықпалардағы үш фазалы қысқа тұйықталу, іске қосу мен ротордың магниттік өрісін сөндіру кезінде жететіні айқындалды. СҚ статор орамаларындағы ОТ туындауының негізгі себептері бір фазалы корпусқа тұйықталу мен екі қарапайым өткізгіштердің

тұйықталуы болып табылатыны көрсетілді. Статор мен ротор орамаларының қорғанысы туралы белгілі техникалық шешімдердің талдауы жасалған. Статор мен ротор орамаларындағы орамдық тұйықталулардан СҚ сезімтал және селективті қорғанысы жоқ екені анықталды, ал сезімталдық мәселесін шешу тек индукциялық өлшеуіштік түрлендіргіштердің жаңа түрлерінің көмегімен беттік шашырайтын магнитті өрістің өзгеруін өлшеу жолымен шешуге болады.

Екінші тарауда эксплуатациялық және қалыпты емес жұмыс режимдерін, сондай-ақ шықпалардағы іске қосылу мен қысқа тұйықталу кезіндегі статор мен ротор орамаларындағы орамдық тұйықталулар кезіндегі СҚ жұмысын үлгілеу үшін СҚ математикалық үлгісі әзірленді.

Осы режимдердегі СҚ жұмысын үлгілеу нәтижесінде ұсынылған математикалық үлгілер 5-10% аспайтын қателігі бар статор орамасындағы токтарды үлгілеуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар математикалық үлгінің баламалылығы ротордың сырғымасының анықталған мәніне s_f дейінгі іске қосылу уақыты $t_{ic.косу}$ бойынша, сондай-ақ бастапқы және соңғы іске қосылудағы статор токтарының шамаларының қатынасы бойынша анықталды. Солай бола тұра эксперименттер мен үлгілеу нәтижелері арасындағы айырмашылық $15 \div 20\%$ аспады. Үшфазалы қысқа тұйықталуды үлгілеу кезіндегі интегралдау аралығын Δt 0,001-0,006с деп, ал орамалардағы статорлы және іске қосылу тогын токтардың периодты және периодты емес құраушыларының жиынтығы ретінде қабылдауға ұсынылады деп табылған. Бұл ретте эксперименттер мен үлгілеу нәтижелері арасындағы айырмашылық $10 \div 15\%$ аспады.

Үшінші тарауда СҚ шеткі аумағындағы магнитті өрістерді үлгілеу әдістері қарастырылған, ары қарай бірлікке тең тогы бар ротор полюсы мен статор орамаларының бір орамы шашырауының магнитті өрісін үлгілеу жүзеге асырылды. Содан соң статор секциялары мен ротор полюстерінің белгілі орналасуы бойынша, сондай-ақ олардағы токтарға барлық аталған режимдерде олардың магнитті өрісі үлгіленеді. Содан кейін, осы магниттік өрістерді талдау негізінде жаңа өлшегіштік С – тәрізді түрлендіргіштің құрылысы мен бекітілуі әзірленді, оның біржақты артықшылығы ЭҚК кез-келген режимде статор мен ротор орамаларында тұйықталулар болмаған кезде әрқашан нөлге тең болып табылады. Шеткі аумақтағы ротор мен статордың орамалары шашырауының магнитті өрісін үлгілеудің осы жетілдірілген әдісі осы түрлендіргіштің параметрлерін анықтау әдістемесін әзірлеуге, сондай-ақ осы базада статор мен ротор орамаларындағы орамдық тұйықталулардан селективті және сезімтал құрылғысы мен тәсілдерін әзірлеуге мүмкіндік берді.

Басылымдар туралы мәлімет. Жұмыс бойынша 9 баспа еңбектер жарияланған, оның ішінде: ол мақалалардың бірі Scopus компаниясының дерекқорына енетін журналда, үшеуі – ҚР БҒМ білім және ғылым саласында бақылау және аттестаттау туралы Комитетпен ұсынылған журналдарда, 4 мақала халықаралық конференция материалдарында, оның ішінде 2 шетел

конференцияларында, сондай-ақ 1 Қазақстан Республикасының инновациялық патенті алынды.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертация кіріспеден, 3 тараудан, қорытынды және 2 қосымшадан тұрады. Жұмыс 99 бетте баяндалған, 48 суреттер және 10 кестелерді құрайды. Пайдаланылған әдебиеттер тізімі 87 атаулардан құралады.