

АҢДАТПА
8D07103 – "Электрэнергетикасы" мамандығы бойынша PhD
диссертациясы

Сулейменов Нурлан Кайргельдинович

**ТҮРЛЕНДІРГІШ ҚОНДЫРҒЫЛАРДЫҢ ҚЫСҚА
ТҰЙЫҚТАЛУДАН РЕСУРСТАРДЫ ҮНЕМДЕЙТІН ҚОРҒАНЫСЫН
ЖАҚСARTУ**

Бұл диссертация түрлендіргіш қондырғыларды қысқа тұйықталудан қорғау жүйелерін жетілдіруге арналған. Ол Еуропа мен ТМД елдеріндегі электр энергетикасы жүйелері саласындағы ғалымдар мен мамандарды біріктіретін CIGRE халықаралық ұйымының B5 "Релелік қорғаныс және автоматика" зерттеу комитетінің зерттеу бағыттарына және "Энергетика, озық материалдар және көлік" басым ғылыми әзірлеме саласына сәйкес әзірленген.

Мәселенің өзектілігі. Түрлендіргіш қондырғыларды (ТҚ) қорғау дәстүрлі түрде ток қорғанысын пайдалану арқылы жүзеге асырылады, ал жоғары қуатты немесе өте маңызды қондырғылар үшін дифференциалды қорғаныс жүйелері де қолданылды. Екі түрі де ақпаратты ток трансформаторларынан (ТТ) алады, олардың құрамында қорғаныс құрылғыларының өзінен шамамен 50 есе көп болат пен мыс бар, мысалы, 110 кВ және жүздеген есе көп жоғары вольтты оқшаулау бар. ТТ-дан бас тарту мәселесі 1970 жылдары пайда болды және 2006 жылғы CIGRE сессиясында электр энергетикасы саласындағы түбегейлі шешілмеген мәселе ретінде анықталды. Торайғыров университеті бұл мәселені қамыс қосқыштарын пайдаланып шешуді ұсынды, ал түрлендіргіш қондырғыларды қоса алғанда, әртүрлі электр қондырғылары үшін ток және дифференциалды қорғаныс жүйелері қазірдің өзінде жасалған.

М. Я. Клецель және А. С. Барукин ТҚ үшін қамыс қосқышына негізделген қорғаныс жүйелерін әзірлеуге айтарлықтай үлес қосты. Дегенмен, көптеген мәселелер шешілмеген күйінде қалып отыр. Осылайша, жоғары қуатты қамыс қосқышына негізделген релелердің дифференциалды қорғанысы трансформатордың магниттелетін ток кернеулерін реттеудің болмауына байланысты түзеткіштегі қысқа тұйықталуға сезімтал емес. Тіпті бар болса да, ол кернеулер мен апериодты компоненті бар қысқа тұйықталуды ажырата алмауы мүмкін. Түзеткіштердегі диодты қорғаудың сезімталдығы мен сенімділігі төмен қуат деңгейлерінде жеткіліксіз болып шығады. Көптеген түзеткішті қорғау жобаларында функционалды диагностика жетіспейді және барлығында сынақтан өткізілмейді. А.С. Барукиннің диссертациясында ұсынған ТТ-сыз қамыс қосқышы қорғанысын мажорлау арқылы релелік қорғаудың (РҚ) сенімділігін арттыру қысқа тұйықталу өшіру сенімділігін арттырады, бірақ тек ТҚ автоматты ажыратқышы жақсы жұмыс істеп тұрған жағдайда ғана. Максималды әсерге

қол жеткізу үшін ТҚ-дағы қысқа тұйықталуды өшіру сенімділігін арттыру жолдарын іздеу қажет (қазіргі уақытта бұл автоматты ажыратқыштарды әзірленіп жатқан сенімдірек ажыратқыштармен ауыстыру арқылы жүзеге асырылады). Сонымен қатар, қамыс қосқышы қорғанысы, соның ішінде мажоритарлық қағидаты негізінде, тек ойша модельдеу арқылы расталды. Дегенмен, бұл ТТ-сыз қорғауды коммерцияландыру үшін жеткіліксіз екені анық. Жоғарыда айтылғандардан, бұл кемшіліктерді жою үшін қамыс қосқыштарын пайдаланып жүзеге асырылатын ТТ-сыз ТҚ қорғауды жақсарту өзекті мәселе екені шығады.

Бұл зерттеудің нысаны - түрлендіргіш қондырғылардың релелік қорғанысы.

Бұл зерттеудің тақырыбы - түрлендіргіш қондырғыларда ток трансформаторлары жоқ релелік қорғанысы.

Диссертация тақырыбының жалпы ғылыми (мемлекеттік) бағдарламалармен байланысы. Жұмыс ғылыми дамудың басым бағыты «Энергетика, озық материалдар және көлік» және Еуропа мен ТМД елдеріндегі электрэнергетикалық жүйелер саласындағы ғалымдар мен мамандарды біріктіретін CIGRE халықаралық ұйымының В5 «Релелік қорғаныс және автоматика» зерттеу комитетінің ғылыми бағыттарына сәйкес жүргізілді.

Бұл зерттеудің мақсаты - жоғарыда аталған кемшіліктерден айырылған, ток трансформаторлары жоқ ТҚ үшін қорғаныс модельдерін жасау.

Бұл мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылып, шешілді:

1. Қамыс қосқыштарын пайдаланып ТҚ қорғауға арналған сынақ және функционалды диагностикалық құрылғыларды құру;
2. Қорғаныс тізбектерін күрделендіру арқылы қамыс қосқыштарын пайдаланып ТҚ қорғаудың сезімталдығы мен сенімділігін арттыру.
3. Қамыс қосқыштары мен ток трансформаторларын пайдаланып ТҚ қорғаудың сезімталдығын арттыру үшін, ТҚ қуат трансформаторларының кіріс тогын блоктау жүйесін әзірлеу.
4. Қуатты түрлендіргіштердің түзеткіштеріндегі диодтың зақымдануын анықтайтын, қолданыстағыларына қарағанда сезімтал және сенімді құрылғыларды әзірлеу.
5. Мажоритарлық схемасы бар қуат түрлендіргіштері үшін дифференциалды қорғанысты жақсарту: қуат түрлендіргішіне арналған блоктау жүйесін әзірлеу және қамыс қосқыштарындағы диагностиканы тексеру, параметрлерді таңдауды нақтылау және модельдеу арқылы жұмысқа қабілеттілікті растау.
6. Қысқа тұйықталу кезінде түрлендіргіш қондығыны электр жүйесінен ажыратудың сенімділігін арттыру.

Зерттеу әдістері. Берілген есептерді шешуде электротехниканың теориялық негіздерінің, релелік қорғаныс пен автоматиканың, сенімділік теориясы мен ұқсастық теориясының, механизмдер мен машиналарды

жобалау теориясының негіздері және толық көлемді эксперимент қолданылды.

Ғылыми қағидалардың, қорытындылардың және ұсыныстардың жарамдылығы мен сенімділігі келесілермен расталады: сенімділік теориясы, өтпелі процестер мен релелік қорғаныс негіздерін дұрыс қолдану; тәжірибелік зерттеулерді сауатты жүргізу; Electrical Engineering журналда мақала жариялау; халықаралық конференциядағы баяндама түрінде мақұлдау. Қазақстан Республикасында 4 патент, Ресей Федерациясында 1 патент және 1 еуразиялық патент (А қосымшасы).

Жұмыстың ғылыми жаңалығы:

1. Орамалары бар қамыс қосқыштарын пайдалана отырып, ТТ-сыз ТҚ қорғаныс сезімталдығын келесі жолдармен арттыру ұсынылады: а) екі диодты қорғау құрылғысын әзірлеу: біреуі қамыс қосқыштары, екіншісі индукциялық катушкалар негізінде; б) ТҚ түзеткіші үшін дифференциалды қорғанысты құру; в) диссертация авторының шешуші қатысуымен әзірленген ТҚ қуат трансформаторының магниттелетін кіріс тогын блоктауға арналған құрылғыны дифференциалды қорғанысқа енгізу.

2. ТТ-сыз ТҚ үшін дифференциалды қорғаныс параметрлерін таңдау кезінде қорғаныстың өшіру және өшірмеу шарттары дәлірек анықталды.

3. А.С. Барукинмен бірлесіп әзірленген математикалық модельді қолдана отырып, қамыс қосқыштары мен магниторезисторды пайдаланатын ТҚ қорғанысы зерттелді.

Жұмыстың жаңа ғылыми нәтижелері:

1. ТҚ түзеткіш диодтары үшін екі қорғаныс тізбегі әзірленді;

2. а) ТҚ қорғау үшін ТҚ қуат трансформаторының магниттелетін токтың асқын кернеуінен блоктау құрылғыларына арналған қамыс қосқыштарында негізделген жаңа тізбек; б) ТТ-сыз түзеткіштерге арналған дифференциалды қорғаныс тізбектері.

3. ТТ-сыз түзеткіштерге арналған дифференциалды қорғаныс параметрлерін таңдау жетілдірілді;

4. Имитациялық модельдеу ТҚ қорғанысының мажорлаумен жұмыс істеу және оның жылдам істеу қабілетін жетекші әлемдік компаниялардың деңгейінде екенін растады.

Жұмыстың практикалық құндылығы.

1. Әзірленген екі диодты қорғаныс құрылғысы олардың зақымдануын анықтауға ғана емес, сонымен қатар қай диодтың зақымдалғанын және құрылғының өзі зақымдалғанын анықтауға мүмкіндік береді.

2. Қамыс қосқыштарын пайдаланатын түзеткіш үшін жасалған дифференциалды қорғаныс түзеткіштегі қысқа тұйықталу кезінде жалпы дифференциалды қорғанысқа қарағанда жоғары жауап беру жылдамдығы мен сезімталдығына ие және мұндай қысқа тұйықталуды өшіру сенімділігін арттырады.

3. Параметрлерді дәлірек таңдау түзеткіш үшін дифференциалды қорғаныстың жұмыс істемеу немесе жалған өшу ықтималдығын азайтады.

4. Имитациялық модельдеу нәтижелері көпшілік принципіне сәйкес жүзеге асырылған түрлендіргіш қондырғының дифференциалды қорғанысының жұмыс қабілеттілігін растайды.

5. ТҚ үшін дифференциалды және шамадан тыс ток қорғаныс функцияларын орындау үшін орамдары бар қамыс қосқыштарын пайдалану іске асыруды жеңілдетеді.

Қорғауға келесілер ұсынылады:

1. Қамыс қосқыштары негізінде магниттелетін токтың асқын кернеуінен блоктауы бар қуат трансформаторын қысқа тұйықталудан қорғау әдісі.

2. Резервтеу және мажоризацияны пайдаланатын түзеткіш үшін бөлек дифференциалды қорғаныс құрылғысы, қамыс қосқыштар мен индукциялық катушкаларын пайдалана отырып түзеткішті қорғауға арналған екі құрылғы.

3. Функционалдық және сынақ диагностикасы бар қамыс қосқыштары негізіндегі қорғау құрылғылары.

4. Қамыс қосқыштар мен магнитрезисторда негізделген ТҚ үшін дифференциалды қорғаныс моделі, сынақ диагностикасы және қуат трансформаторының кіріс тогына қарсы бірегей блоктау құрылғысы.

5. Имитациялық модельдеуі көпшілік принципіне сәйкес жүзеге асырылатын қамыс қосқыштарындағы түрлендіргіш қондырғысының дифференциалды қорғанысының жұмыс қабілеттілігін растайды..

Жұмысты бекіту. Диссертацияның негізгі ережелері «2024 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon)» және НАО Торайғыров атындағы университеттің «Электрэнергетика» кафедрасының кеңейтілген отырысында ұсынылды.

Басылымдар. Зерттеу нәтижелері 8 ғылыми мақалада, оның ішінде: Комитет ұсынған 7 басылымда, оның ішінде Қазақстан Республикасының 4 патентінде, Ресей Федерациясының 1 патентінде, 1 еуразиялық патентте, Scopus дерекқорына кіретін журналының 1 мақалада және халықаралық конференция материалдарында 1 басылымда жарияланды. Бірлескен авторлық басылымдарда автордың жеке үлесі кемінде 60% құрайды.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертация кіріспеден, үш бөлімнен және қорытындыдан тұрады. Жұмыс 87 беттік компьютерлік мәтінде ұсынылған және 6 кесте мен 30 суреттен тұрады. Әдебиеттер тізіміне 71 атау кіреді.

Кіріспеде диссертация тақырыбының өзектілігі негізделеді, зерттеудің мақсаттары мен міндеттері анықталады, алынған нәтижелердің ғылыми жаңалығы мен практикалық маңыздылығы атап өтіледі және диссертацияда тұжырымдалған мақсаттарды жүзеге асыру жолдары көрсетіледі.

Бірінші тарауда түрлендіргіш блоктарға арналған дәстүрлі қорғаныс жүйелері және оларды енгізу принциптері қарастырылады. Мақалада электромеханикалық және заманауи микропроцессорлық релелерді пайдаланып жүзеге асырылған түрлендіргіш блоктарға арналған қорғаныс жүйелері ұсынылған. Түрлендіргіш құрылғыларға арналған белгілі ресурстарды үнемдейтін қысқа тұйықталудан қорғау жүйелеріне шолу жасалған.

Жоғарыда талқыланған дәстүрлі түзеткіш диодты қорғау құрылғыларының бірнеше кемшіліктері бар, соның ішінде: баяу жауап беру уақыты, рұқсат етілген шамадан тыс жүктемелерді түзету қажеттілігі, жұмыс істегеннен кейін сақтандырғыш буынының істен шығуы, шамадан тыс ток қорғанысы болған кезде төмен сезімталдық және дифференциалды қорғаныс болған кезде көлемді және металлды көп қажет ететін ТТ. Сонымен қатар, жасанды қысқа тұйықталуды жасау үшін ажыратқышты пайдалану ТҚ қорғау жүйесінің сенімділігін төмендетеді. Сондықтан түзеткіштегі диодтың зақымдануын анықтайтын қорғаныс жүйелерінің сезімталдығы мен сенімділігін арттыру маңызды болып қала береді.

Зерттеуде қуат трансформаторын қорғамайтын және сынақ пен функционалдық диагностикасы жоқ кейбір ресурстарды үнемдейтін қорғаныс құрылғылары анықталды, бұл елеулі кемшілік болып табылады. Сондықтан, трансформатордың да, ТҚ түзеткіштің де қорғанысының сезімталдығы мен сенімділігін арттыру (сынақ және функционалдық диагностиканы енгізу арқылы) өзекті мәселе болып қала береді.

Қуат трансформаторын қуаттандыру кезінде магниттелетін кіріс тогы $5-8I_n$ мәнге жетеді, бұл түрлендіргіш құрылғының трансформаторы қуатталған кезде және сыртқы қысқа тұйықталудан кейін кернеу қалпына келтірілген кезде пайда болатын қысқа тұйықталу ақауларына төтеп беру үшін қорғанысты реттеуді қажет етеді, бұл сезімталдықты айтарлықтай төмендетеді. Қамыс қосқыштарын пайдаланатын қолданыстағы қуат трансформаторын қорғау жүйелерінде қысқа тұйықталу ақаулары кезінде блоктау не жүзеге асырылмайды, не фазалық токтардың магниттік ағынымен индукцияланған ЭҚК көзі ретінде қызмет ететін қамыс қосқыш орамасының шығысына қосылған екінші гармоникалы сүзгіні пайдалану арқылы жүзеге асырылады. Дегенмен, бұл әдіс жеткілікті сенімді емес, себебі екінші гармоника апериодты компонентті қамтыса, қысқа тұйықталу тогында пайда болуы мүмкін. Сондықтан, ТҚ трансформаторының магниттелетін токтың асқын кернеуінен блоктауды дамыту өзекті.

Екінші тарауда түрлендіруші құрылғының дифференциалды қорғаныс құрылғысының сезімталдығы мен сенімділігі ТҚ трансформаторының жоғары вольтты жағында үш фазаның ток өткізгіш шиналарынан қауіпсіз қашықтықта орнатылған орамдары бар үш қамыс қосқышын және тұрақты ток шинасының жанындағы төртінші қосқышты пайдалану арқылы арттырылды. Сезімталдық әрбір фаза үшін екінші гармоникалық сүзгілерді енгізу арқылы арттырылды, бұл магниттелетін ток кернеулерін реттеу қажеттілігін болдырмады. Сенімділік функционалдық және сынақ диагностикасын әзірлеу және төртінші қосқыштың жанындағы екі қамыс қосқышын қосымша орнату және бірінші (екінші және үшінші) және төртінші (бесінші және алтыншы) қамыс қосқыштарының орамдарын қосу арқылы да жақсарды.

Алдыңғы әзірлемеге (жоғарыда сипатталған) сүйене отырып, ТҚ түзеткішінде қысқа тұйықталуға сезімталдығы жоғары кешенді ТҚ қорғаныс моделі ТҚ трансформаторының төмен вольтты жағында және тұрақты ток

жағында үш орамдары бар үш қамыс қосқышын енгізу арқылы жасалды, олардың орамдары жоғарыда сипатталған қорғаныстағыдай жалғанған. ТҚ дифференциалды қорғаныс жүйесінде трансформатордың төмен вольтты жағындағы қамыс қосқыштары жоғары вольтты жағындағыларға қарағанда жоғары сезімталдыққа ие (олар шиналарға жақын орналасқан). Сонымен қатар, қуат трансформаторының магниттелетін кіріс тогын блоктау енгізілді. Екінші гармоникті блоктаудан айырмашылығы, бұл қысқа тұйықталу токтағы апериодты компоненті үлкен болған кезде ТҚ қорғанысының блокталуына жол бермейді, осылайша түзеткіштің сенімділігін арттырады.

ТҚ мен оның түзеткіші үшін дифференциалды және шамадан тыс токтан қорғау функцияларын бір уақытта орындайтын орамдары бар қамыс қосқыштарын пайдалану арқылы қосымша ресурстарды үнемдеуге қол жеткізіледі. Оның параметрлерінің ұсынылған таңдауы білікті реле инженері үшін қиындық тудырмайды.

Түрлендіруші құрылғысына арналған диодты қорғаныс құрылғыларының екі нұсқасы әзірленді (олардың инновациясы патенттермен қорғалған). Қорғаныс құрылғылары индукциялық катушкасын пайдалануға байланысты жоғары сезімталдыққа және ақауларына функционалды диагностиканың қолжетімділігіне байланысты жоғары сенімділікке ие.

Үшінші тарауда көпшілік принципіне сәйкес қамыс қосқыштары мен магниторезисторлар пайдалана отырып, сыйымдылығы 6,3-160 МВА түрлендіруші құрылғылары үшін дифференциалды қорғаныс жақсартылған. Бұрынғыдай, бұл жаңа қорғаныс ток трансформаторларын пайдаланбайтындықтан, релелік қорғаныс үшін мысты, болатты және оқшаулағыш материалдарды бұрын-соңды болмаған деңгейде үнемдей алады. Қорғаныстың жұмыс істеу не істемеу жағдайларын дәлірек анықтау, сондай-ақ жүктемені $0,1I_n$ дейін төмендету мүмкіндігін ескеру арқылы оның сезімталдығы артты. Қамыс қосқыштарына сынақ диагностикасы және қамыс қосқыштарын пайдаланып қуат трансформаторының магниттелуінің кіріс тогына қарсы бірегей блоктау жүйесі енгізілді. Қосымша ажыратқыштарды енгізу ТҚ-ның негізгі ажыратқышы істен шыққан жағдайда қуат жүйесінен ажыратудың сенімділігін $1/\lambda_B$ -ге (λ_B - автоматты ажыратқыштың істен шығу жиілігі) арттырады, ал апаттық жөндеу кезінде үздіксіз қуатпен қамтамасыз етеді, сондай-ақ автоматты түрде қайта қосу кезінде қосылмаған кезде. Жақсартылған қорғанысының имитациялық модельдеуі оның ақауларды 25 мс-тан аспайтын уақытта анықтайтынын, жетекші әлемдік компаниялардың өнімділік талаптарына сай келетінін және кез келген құрамдас бөліктеріндегі ақаулар кезінде де жұмыс істейтінін көрсетті. Қорғаныс жүйесі параметрлерін анықтау үшін MathCad көмегімен стандартталған (оны әртүрлі қуаттағы ТҚ үшін пайдалану тұрғысынан).

Зерттеу нәтижелері келесідей:

Осы зерттеуде басылымдар мен патенттерде анықталған, қамыс қосқыштарда негізделген 6-160 МВА қуаттылығы бар түрлендіруші қондырғыларына (ТҚ) арналған ресурстарды үнемдейтін қорғаныс кемшіліктері жойылды:

1. Кейбір қорғаныс жүйелерінің жеткіліксіз сезімталдығы қамыс қосқыштарында магниттелу кезіндегі кіріс тоғын блоктауды дамыту, ТҚ түзеткіші үшін бөлек дифференциалды қорғаныс жүйесін құру және индукциялық катушкаларын пайдалану арқылы шешіледі.

2. Күмәнді сенімділік – қарапайым көшірмелеу және мажорлау арқылы, функционалдық және сынақ диагностикасын әзірлеу және жетілдіру, қосымша автоматты ажыратқыштарды енгізу арқылы, бұл әдісті негіздеу, қысқа тұйықталу кезінде және апаттық жөндеу кезінде ТҚ-ны электр желісінен ажыратудың сенімділігін екі есе арттыруға мүмкіндік береді, ТҚ-ға үздіксіз электр қуатын беруді қамтамасыз етеді.

3. Қамыс қосқыштарын пайдалана отырып, ТҚ қорғаныстарының жұмыс істеу қабілетін имитациялық модельдеу арқылы растау.

4. Параметрлерді шамамен таңдау – қорғаныстардың істен шығу және істен шықпау жағдайларын терең талдау арқылы, сондай-ақ жүктемені $0, I_{ном}$ дейін төмендетуді ескере отырып.

5. Қорғаныстарды біріктіру бойынша ұсыныстардың болмауы – MathCad қолдану арқылы.