

## АННОТАЦИЯ

8D07103 – «Электр энергетикасы» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алу диссертациясына

**Жуматаев Нурлыбек Шакаевич**

### **ТОҚТЫ ҚОРҒАУ ҮШІН МАГНИТТІК ТОҚ ТҮРЛЕНДІРГІШТЕРІН ӘЗІРЛЕУ**

Ұсынылған диссертациялық жұмыс токтан қорғауға арналған магниттік ток түрлендіргіштерін әзірлеуге арналған және Қазақстан Республикасы Үкіметі жанындағы жоғары ғылыми-техникалық комиссия бекіткен «Энергетика және машина жасау» ғылымын дамытудың басым бағыттары шеңберінде орындалды.

**Өзектілігі:** Электр желілері мен электр қондырғыларын қалаларды, елді мекендерді және өнеркәсіптік кәсіпорындарды электрмен жабдықтауды қысқа тұйықталудан (ҚТ) қорғау үшін осы токтан қорғалатын электр объектісінің немесе магниттік өрістің шинасындағы токты өлшеуге негізделген қорғаныс пайдаланылады.

Жұмысы токты өлшеуге негізделген қорғаныстарда балқымалы сақтандырғыштар, автоматты ажыратқыштар, ток үлгісіндегі ең жоғары ток релелері РЕО-401, РЕО-402 немесе РЭВ-570 және де ток релелері бар ток трансформаторлары (ТТ) пайдаланылады. Алайда ток релесі бар ТТ-дан басқа барлық осы құрылғылар селективтілік, жылдам әрекет ету және сезімталдық талаптарын қанағаттандыратын токтық қорғауды іске асыруға әрдайым мүмкіндік бере бермейді. ТТ және ток релесін пайдаланылатын қорғаныстарда бұл кемшіліктер болмайды. Олардың негізгі кемшілігі ТТ-ның жоғары құны болып табылады, ол оның номиналды тогы мен кернеуінің ұлғаю шаршысына пропорционалды түрде өседі.

Жұмысы шинаның магниттік өрісін өлшеуге негізделген қорғаныстарда, өлшеу элементі ретінде Роговский катушкасы, магниттік ток трансформаторы (МТТ), Холл әсеріндегі оптикалық талшықты және гальваномагниттік ток түрлендіргіштері, магниторезистивті түрлендіргіш, сондай-ақ геркон пайдаланылуы мүмкін. Мұндай ток түрлендіргіштердегі қорғаныс құрылғыларын әзірлеуге байланысты релелік қорғаныс саласына И.М. Сирота, В.Е. Қазанский, А.А. Чунихин, А.Н. Новожилов, В.В. Гурин, М.Я. Клецель және басқа да көптеген ғалымдар елеулі үлес қосты.

Бұл ток түрлендіргіштердің барлығы арзан. Алайда оларды релелік қорғауда пайдалану кеңінен қолданылмады. Бұл негізінен ток қорғаныстарын пайдалану арқылы іске асырудың күрделілігінен және қымбаттығынан туындайды. Олар іс жүзінде нақты электр объектісіне осындай қорғауды орнату оның конструктивтік ерекшеліктеріне байланысты осы ток түрлендіргіштерді бекітудің жаңа конструкциясын және оның іске қосылу шегін қоюға арналған құрылғыны әзірлеуді талап ететіндігінде болып

табылады. Сонымен қатар, оның іске қосылу шегін анықтау үшін қатар орналасқан барлық ферромагниттік элементтердің, сондай-ақ пайдалану процесінде қатар пайда болуы мүмкін элементтердің әсерін ескере отырып, магниттік өрістерді есептеу қажет. Осының барлығы осындай өлшеуіш түрлендіргіштермен уақыттың едәуір көлемін, қосымша конструкциялық материалдар мен құрылғыларды қорғауды іске асыру үшін, сондай-ақ оған жоғары дәрежелі мамандардың қатысуын талап етеді.

Бұл кемшіліктердің едәуір мөлшерінде арзан және іске асыруда қарапайым ток қорғанысы жоқ, оларда ағымдағы ток релесінің элементтеріне негізделген РТ-40 дайындалатын магниттік ток (ток) түрлендіргіші пайдаланылады. Мұндай МТТ шинаға эпоксидті шайырмен сіңірілген шыны матаның көмегімен орнатылады. Мұндай МТТ іске қосылу шегін бірқалыпты реттеуді жүзеге асыру үшін кіріктірілген элементі болады. Бұл іске қосылу шегі осы үшін есептелген бірыңғай МТТ кестелер бойынша анықталады. Бұл ретте контактілер олардың дірілінің болмауынан ажыратқыштың басқару тізбектеріне тікелей қосылуы мүмкін. Осылайша, МТТ-мен қорғауды жүзеге асыру қызмет көрсету персоналының мүмкіндіктеріне сәйкес келеді.

Бірақ мұндай МТТ-тер оқшауланған шиналар мөлшері РТ-40 ток релесі магниттік өзек терезесінің өлшемінен аспайтын төмен вольтты электр желілерін және электр қондырғыларын қорғауға арналған. Осыған байланысты бұл МТТ жоғары вольтті электр қондырғыларын, сондай-ақ қоректендіретін шиналардың көлденең қимасы үлкен электр қондырғыларын және 700-800 амперден астам токты қорғау үшін пайдалануға болмайды. Бұдан басқа, үш фазалы электр қондырғысын қорғау үш МТТ пайдалану талап етіледі. Мұның барлығы МТТ қолдану аясын шектейді. Осыған байланысты токты қорғауға арналған МТТ әзірлеу жөніндегі жұмысты аяқталды деп санауға болмайды. Сондықтан оларды одан әрі әзірлеу **өзекті болып табылады.**

**Зерттеу объектісі:** Төмен вольтты және жоғары вольтты электр желілерін және электр қондырғыларын токтан қорғауға арналған МТТ болып табылады.

**Зерттеу пәні** – РТ-40 ток релесі мен геркон элементтері негізінде жасалған магниттік және контактілі жүйелері токтан қорғауға арналған МТТ болып табылады.

**Жұмыстың мақсаты:** Еркін өлшемдері мен пішіндері бар оқшауланған шиналардың өлшемдері, төмен вольтты және жоғары вольтты электр желілері мен электр қондырғыларын токтан қорғау үшін бір фазалы және үш фазалы МТТ әзірлеу болып табылады. Осы мақсатқа жету үшін **келесі міндеттер қойылды және шешілді:**

1. Реленің магниттік жүйесінің ауа саңылауындағы магниттік индукция шамасының шина түріндегі орамасы бар РТ-40 реленің іске қосылу шегінің әртүрлі шамасы кезінде осы шинадағы токқа тәуелділігін эксперименттік жолмен анықтау.

2. ELCUT бағдарламалық пакетінің пайдалана отырып, РТ-40 релесі магниттік жүйесінің ауа саңылауындағы магниттік индукция шамасының осы

шинадағы токқа шина түріндегі орамасы бар тәуелділігін модельдеу, белгіленген жұмыс шегінің әртүрлі мәндері, сондай-ақ осы модельдеу қателігін бағалау.

3. Төмен вольтты және жоғары вольтты электр желілері мен электр қондырғыларын бір фазалы токтан қорғау үшін еркін пішіндегі екі магниттік өзегі бар және РТ-40 типті ток релесі контактілі жүйесі бар МТТ әзірлеу.

4. Төмен вольтты электр желілері мен электр қондырғыларын үш фазалы токтан қорғау үшін МТТ әзірлеу, оның контакт жүйесі РТ-40 релелік элементтері негізінде жасалған.

5. Магниттік жүйесі РТ-40 реле элементтерінің базасында орындалған, ал байланыс жүйесі геркон болып табылатын бір фазалы ток қорғанысына арналған МТТ әзірлеу.

#### **Зерттеу материалдарын алу құралы:**

- математиканың іргелі ережелері және математикалық модельдеу;
- электротехника мен релелік қорғаудың теориялық негіздері;
- ELCUT бағдарламалық кешенінің көмегімен теориялық зерттеулер;
- физикалық модельдеу және заттай эксперимент.

#### **Жұмыстың ғылыми жаңалығы:**

1. Эксперименттік жолмен реленің магниттік жүйесінің ауа саңылауындағы магнит өрісінің индукциясы шамасының шина түріндегі орамасы бар РТ-40 реленің іске қосылу шегінің әртүрлі шамасы кезінде осы шинадағы токқа тәуелділігі алынды.

2. ELCUT бағдарламалық кешенінің студенттік нұсқасын токқа шина түріндегі орамасы бар РТ-40 релесінің магниттік жүйесінің ауа саңылауындағы магнит өрісі индукциясының шамасына тәуелділігін модельдеу үшін пайдалану мүмкіндігі бұл шинада орнатылған жұмыс шегінің әртүрлі мәндерінде зерттелді және осы модельдеу қателігіне баға берілді.

3. Төмен вольтты және жоғары вольтты электр желілерін және электр қондырғыларын токтан қорғау үшін еркін пішіндегі екі магниттік өзегі бар және РТ-40 типті ток релесінен контактілі жүйесі бар бір фазалы МТТ-ның үш конструкциясы әзірленді.

4. Төмен вольтты электр желілері мен электр қондырғыларын токтан қорғау үшін үш фазалы МТТ әзірленді, оның контакт жүйесі РТ-40 релелік элементтері негізінде жасалған.

5. Токтан қорғау үшін бір фазалы МТТ әзірленді, оның магниттік жүйесі РТ-40 релелік элементтерінің негізінде жасалған, ал контактілер жүйесі геркон түрінде жасалған.

#### **Жұмыстың практикалық құндылығы:**

1. Орама түріндегі РТ-40 релесі магниттік жүйесінің ауа саңылауындағы магнит өрісінің магниттік индукция шамасының осы шинадағы токқа әртүрлі мәндердегі эксперименталды түрде алынған тәуелділігі, релелік операцияның белгіленген шекті мәні ұқсас магниттік жүйесі бар МТТ әзірлеуге және осы тәуелділіктердің модельдеу қателерін ерікті түрде бағалауға мүмкіндік береді.

2. Ток күшіне байланысты шина түріндегі орамасы бар РТ-40 релесі магниттік жүйесінің ауа саңылауындағы магнит өрісінің индукциясын модельдеу үшін ELCUT бағдарламалық кешенінің студенттік нұсқасын пайдалану мүмкіндігін зерттеу, бұл шинада белгіленген жұмыс шегінің әртүрлі мәндерінде, оны модельдеудегі қателік бұл жағдайда 15,5% аспайды. Бұл релелік қорғаныс талаптарын толығымен қанағаттандырады.

3. Ерікті пішіндегі екі магниттік өзегі бар және РТ-40 типті ток релесі контактілі жүйесі бар әзірленген бір фазалы МТТ төмен вольтты және электр желілерін және электр қондырғыларын электр тогынан қорғай алатын ток қорғанысын орындауға мүмкіндік береді, осы МТТ-ның жұмыс токтары 200-750А тең қысқа тұйықталулар, сондай-ақ жоғары вольтты электр желілері мен кернеуі 10 кВ дейінгі электр қондырғылары осы МТТ-ның жұмыс токтары 4400-30000А тең.

4. Байланыс жүйесі РТ-40 ток релесі элементтері негізінде жасалған әзірленген үш фазалы МТТ осы жұмыс токтарында төмен вольтты электр желілерін немесе электр қондырғыларын қысқа тұйықталудан қорғауға қабілетті токтан МТТ 500А дейін қорғауға мүмкіндік береді.

5. Магниттік жүйесінде екі параллель магниттік тізбектері бар және түйіспелі жүйесі тісті ажыратқыш түрінде жасалған әзірленген бір фазалы МТТ төмен вольтты электр желілерін және электр желілерін қорғауға қабілетті 127-733А осы қорғаныстың жұмыс токтарында қысқа тұйықталудан электр қондырғылары ток қорғанысын жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

**Диссертация тақырыбының жалпы ғылыми (мемлекеттік) бағдарламалармен байланысы:** Диссертация тақырыбы бойынша зерттеулер Қазақстан Республикасы Үкіметінің жанындағы жоғары ғылыми-техникалық комиссия бекіткен «Энергетика және машина жасау» ғылымын дамытудың басым бағыттары шеңберінде жүзеге асырылды.

#### **Нәтижелерді енгізу:**

Жұмыстың теориялық және практикалық нәтижелері тоқтық қорғаныстарды жобалау кезінде, өндірісте және бакалаврлар, магистрлер мен PhD докторларының оқу процесінде табысты пайдаланылуы мүмкін.

#### **Зерттеу нәтижелерін апробациялау:**

Диссертацияның негізгі ережелері мен ғылыми нәтижелері LXXVI «Техникалық ғылымдар: проблемалар мен шешімдер / Ғылымаралық, Мәскеу 2023» халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясында баяндалып, талқыланды.

**Жарияланымдар.** Жұмыс бойынша сегіз баспа жұмысы жарияланған, оның ішінде КОКСОН ұсынған журналдарда екеуі, Ресей Федерациясының екі патенті, Қазақстан Республикасының екі патенті. Сондай-ақ «Вестник машиностроения» журналында бір мақала және SCOPUS деректер базасында индекстелген «Ресей инженерлік зерттеулер» журналында (№6, 2022 ж.) бір мақала жарияланды.

**Диссертацияның құрылымы мен көлемі:** Диссертация кіріспеден, үш бөлімнен және қорытындыдан тұрады. Жұмыс компьютерлік мәтіннің 88

бетінде ұсынылған және 60 сызбаны қамтиды. Пайдаланылған көздер тізімі 49 элементті қамтиды.

**Кіріспеде** диссертация тақырыбының өзектілігі негізделді, зерттеудің мақсаты мен міндеттері айқындалды, алынған нәтижелердің ғылыми жаңалығы мен практикалық маңыздылығы нақтыланды, диссертацияда тұжырымдалған міндеттерді жүзеге асыру жолдары көрсетілді.

**Бірінші тарауда** электрмен жабдықтаудың барлық дерлік мәселелерін шешуде және өнеркәсіптік кәсіпорындардың авариялық жұмыс жағдайларынан қорғау кезінде әртүрлі кернеу кластарын пайдалану қарастырылады. Қалыпты жұмыс және авариялық жұмыс режимдерінде оқшауланған және жерге тұйықталған бейтарапты үш фазалы желілердің жұмысы қарастырылады, оның ерекшелігі барлық апаттық және кейбір қалыпты эксплуатация режимінде токтардың айтарлықтай өсуі болып табылады.

Электр объектілерін төтенше жағдайлардан қорғау үшін жұмысы қорғалатын электр объектісінің шинасында ток күшін немесе осы токтан магнит өрісін өлшеуге негізделген қорғаныс құралдары қолданылатыны анықталды. Біріншісіне сақтандырғыштар, автоматты ажыратқыштар және ток релесі бар ток трансформаторлары (ТТ) жатады. Дегенмен, ток релесі бар ТТ қорғанысы оның номиналды кернеуінің квадратына пропорционалды өсетін ТТ жоғары құнына байланысты қымбатқа түседі. Басқа құрылғылармен қорғаныс селективтілік, жылдамдық және сезімталдық талаптарына сәйкес келетін ток қорғанысын жүзеге асыруға әр кезде мүмкіндік бере бермейді.

Басқа құрылғылармен қорғау жұмысы шинаның магниттік өрісін өлшеуге негізделген қорғаныстарда, өлшеу элементі ретінде Роговский катушкасы, ток магниттік трансформаторы (МТТ), Холл әсеріндегі оптикалық талшықты және гальваномагниттік ток түрлендіргіштері, магниторезистивті түрлендіргіш, сондай-ақ геркон пайдаланылуы мүмкін. Бұл ток түрлендіргіштердің барлығы арзан. Алайда оларды релелік қорғауда пайдалану негізінен күрделілігі мен қымбаттығына байланысты, сондай-ақ сыртқы магнит өрістерінің әсерін есепке алу қажеттілігіне байланысты кең қолданылмады. Осының барлығы осы кемшіліктерден айырылған токты қорғауға арналған жаңа құрылғыны әзірлеу қажеттілігіне әкелді.

**Екінші тарауда** РТ-40 сериялы ток релесінің магниттік жүйесінің параметрлері, магниттік контурдың ұштары арасындағы ауа саңылауындағы магниттік индукция шамасының эксперименталды түрде алынған тәуелділігі және осы арматура зерттеледі, шинаның ток күші бойынша реленің жұмыс істеуіне себепші болатын магниттік жүйе салынған.

Осының негізінде РТ-40 ток релесінің магниттік және контактілі жүйелеріне негізделген бес магниттік ток түрлендіргіштерінің (МТТ) конструкциялары әзірленді. Бұл магниттік ток түрлендіргіштері оларды бекіту әдістерімен және жауап табалдырығын орнатумен, сондай-ақ тогы бар шиналардағы кернеуден қорғау әдістерімен ерекшеленеді. Бұл төмен вольтты электр желілері мен электр қондырғыларын, сондай-ақ кернеуі 10 кВ дейінгі

жоғары вольтты электр қондырғыларын қарапайым және арзан, бір фазалы және үш фазалы токтан қорғауды жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Әзірленген жүйелердің жауап беру шегін анықтауды жеңілдету үшін магниттік тізбектің ұштары мен арматура арасындағы ауа саңылауындағы магнит өрісінің индукциясын модельдеу үшін ELCUT бағдарламалық пакетінің студенттік нұсқасын пайдалану мүмкіндігі зерттелді. Шинадағы токтың шамасына байланысты магниттік ток түрлендіргіші, бұл бағдарламалық пакет осы магниттік индукцияны 15,5% -дан аспайтын қателікпен есептеуге мүмкіндік беретінін көрсетті. Бұл қате релелік қорғаныс талаптарын толығымен қанағаттандырады.

**Үшінші тарауда** қажетті жылдамдықты, сезімталдықты және селективтілікті қамтамасыз етуге қабілетті магниттік ток түрлендіргіштеріндегі төрт ток қорғанысының құрылысына арналған. Жұмыс токтары 160 - 320А тең 1000В-қа дейінгі кернеулер үшін ток қорғанысының құрылысы магниттік және контактілі жүйелері РТ-40 реле тоғының элементтері негізінде жасалған бір фазалы МТТ-ны қолдануға негізделген. Осындай МТТ-мен қорғауды жүзеге асыру үшін осы МТТ-мен бірге автоматты ажыратқыш қолданылатын схемалар сонымен қатар жұмыс шегін анықтау және орнату әдісі әзірленді.

Кернеуі 10 кВ-қа дейінгі және жұмыс токтары 10 кА-ға дейінгі төмен вольтты және жоғары вольтты электр желілері мен электр қондырғыларының ток қорғанысының құрылысы еркін пішіндегі екі магниттік өзегі бар бір фазалы МТТ-ны қолдануға және РТ-40 типті ток релесінен контакт жүйесі негізделген.

Мұндай МТТ арнайы тіректер жүйесін пайдаланып электр қондырғысына орнатылады. Бұл қорғанысты жүзеге асыру үшін операциялық айнымалы және тұрақты ток тізбектері, сондай-ақ шекті анықтау және орнату әдісі әзірленді.

Жұмыс токтары 160 - 320А тең 1000В-қа дейінгі кернеулер үшін үш фазалы ток қорғанысының құрылысы үш фазалы МТТ-ны қолдануға негізделген, оның магниттік және контактілі жүйелері РТ-40 ток релесі элементтерінің негізінде жасалған. Осындай МТТ-мен үш фазалы токтан қорғауды жүзеге асыру үшін осы МТТ-мен бірге автоматты ажыратқыш қолданылатын тізбектер, сондай-ақ жұмыс шегін анықтау және орнату әдісі әзірленді.

Кернеуі 10 кВ-қа дейінгі және жұмыс токтары 130А-дан 700А-ға дейін 10 кА-ға дейінгі төмен вольтты және жоғары вольтты электр желілері мен электр қондырғыларының ток қорғанысының құрылысы екі магниттік өзегі бар бір фазалы МТТ-ны қолдануға және геркон түріндегі байланыс жүйесі негізделген. Мұндай МТТ арнайы тіректер жүйесін пайдаланып электр қондырғысына да бекітіледі. Бұл қорғанысты жүзеге асыру үшін операциялық айнымалы және тұрақты ток тізбектері, сондай-ақ шекті анықтау және орнату әдісі әзірленді.