

АННОТАЦИЯ

диссертации Исабекова Даурена Джамбуловича «Разработка герконовых ресурсосберегающих токовых защит с диагностикой неисправностей», представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071800 – «Электроэнергетика»

Актуальность

Одной из принципиально нерешенных проблем электроэнергетики считается построение релейной защиты высоковольтных установок без использования традиционных трансформаторов тока (ТТ), о чем не раз упоминалось на международных конференциях по большим энергетическим системам (CIGRE). Дело в том, что трансформаторы тока весьма металлоемки и громоздки, имеют дорогую изоляцию и другие недостатки. В ПГУ им. С. Торайгырова профессором Клецелем М.Я. и его многочисленными учениками, а также россиянами Горюновым В.Н., Гуревичем В.И. и Шоффов В.Н. в течение нескольких десятилетий разрабатывались защиты без использования ТТ на магнитоуправляемых контактах-герконах. Герконы были выбраны с связи с тем, что они обладают рядом важных для релейной защиты преимуществ по сравнению с другими магниточувствительными элементами. Уже разработаны принципы построения токовых, дифференциальных, дифференциально-фазных и дистанционных защит (получено более 100 патентов и 30 публикаций в московских журналах и в базах Scopus). Однако для целого ряда электроустановок не рассматривались вопросы, касающиеся самой возможности использования герконов для построения защит, их установки вблизи токоведущих шин на безопасном расстоянии, расчёта параметров реле и уставок срабатывания защит, оценки их чувствительности, работоспособности и обеспечения надежности. Да и разработанные устройства на герконах в подавляющем большинстве не оборудованы ни тестовой диагностикой неисправностей, ни функциональной, хотя в настоящее время такой способ повышения надежности в технике релейной защиты считается почти обязательным.

В настоящей работе сделана попытка решить затронутые вопросы при разработке герконовых токовых защит электроустановок, питающихся от комплектных распределительных устройств (КРУ) напряжением 6-10 кВ. Эти установки выбраны в связи с тем, что они очень широко распространены в электроэнергетике.

Объектом исследования является релейная защита электроустановок.

Предмет исследования – являются герконовые ресурсосберегающие токовые защиты с диагностикой неисправностей для электроустановок, питающихся от КРУ 6-10 кВ.

Связь темы диссертации с общенаучными (государственными) программами. Работа выполнялась в соответствии с научными направлениями международного (Европейского) исследовательского комитета В5 «Релейная защита и автоматика» международной организации CIGRE, а также в рамках

выполнения бюджетной программы «Развитие науки», по подпрограмме «Грантовое финансирование научных исследований» проекта «Создание глобально конкурентноспособной ресурсосберегающей релейной защиты систем электроснабжения», финансируемой АО «Фонд науки» Министерства образования и науки Республики Казахстан.

Цель работы – разработка герконовых ресурсосберегающих токовых защит с диагностикой неисправностей для электроустановок с КРУ 6-10 кВ.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

1 Построение помехоустойчивого реле максимального тока на герконах с тестовой диагностикой неисправностей, реле и фильтра тока обратной последовательности с функциональной диагностикой неисправностей.

2 Определение величины индукции магнитных полей внутри ячейки КРУ напряжением 6-10 кВ, коэффициента, необходимого для введения в формулу Био-Савара-Лапласа, чтобы использовать ее при расчётах.

3 Разработка методик выбора тока срабатывания герконовой максимальной токовой защиты, устанавливаемой в КРУ, и параметров фильтра тока обратной последовательности.

4 Разработка конструкций для крепления вблизи токоведущих шин КРУ 6-10 кВ, обеспечивающих дистанционное регулирование уставок МТЗ.

5 Оценка чувствительности, работоспособности и экономичности, предложенной максимальной токовой защиты на герконах.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается: грамотным использованием фундаментальных положений релейной защиты, теоретических основ электротехники и основ конструирования механизмов и машин, а также натурными экспериментами в КРУ 6-10 кВ. с разработанными реле максимального тока на герконах и апробацией в виде публикаций в журнале с импакт-фактором 4 по базе Scopus, 3 патентов Республики Казахстан, 3 патентов Российской Федерации и докладами на 3 конференциях, одна из которых зарубежная.

Научная новизна работы:

1. Развита теория построения защит на герконах: а) на основе измерения индукции магнитных полей в разных режимах и точках внутри КРУ 6-10 кВ. доказано, что их величины достаточны для выявления междуфазных коротких замыканий в электроустановках, питающихся от этих КРУ и найдены зависимости этих индукций от положения геркона внутри рассматриваемого КРУ; б) показано, что для их расчёта можно использовать простейшую формулу закона Био-Савара-Лапласа, если внести в нее коэффициент, полученный в результате экспериментов в этом КРУ; в) создана методика расчета параметров МТЗ на герконах для КРУ 6-10 кВ, отличающаяся от известных использованием этой формулы и учётом влияния помех от токов в металлических частях КРУ; г) разработан метод расчёта параметров для предложенного фильтра тока обратной последовательности на герконах; д) предложен способ тестового и функционального диагностирования токовых

защит на герконах, заключающийся в подаче тока в обмотку управления геркона с одновременной блокировкой выходной цепи.

2. Созданы и запатентованы одно максимальное реле с тестовой диагностикой, а другое с функциональной, а также два устройства, позволяющие крепить геркон вблизи шин КРУ с возможностью дистанционного регулирования уставок срабатывания токовых защит. Первое отличается от известных наличием обмотки управления и пусковой кнопки, а второе ещё и конденсаторами и промежуточными реле. Третье-наличием шагового электродвигателя с ременной передачей, четвертое коробками с герконами и пластинами, перемещающимися в двух направлениях.

Новые научные результаты работы:

1. Доказано, что величина индукции магнитного поля внутри КРУ 6-10 кВ. достаточна для выявления с помощью герконов междофазных коротких замыканий в электроустановках, питающихся от неё.

2. Для расчетов индукций магнитного поля внутри рассматриваемого КРУ можно пользоваться формулой записи закона Био-Савара-Лапласа в простейшей форме, если внести в нее поправочный коэффициент, полученный в результате экспериментов, проведенных в ней.

3. Разработаны методики выбора уставок МТЗ на герконах для электроустановок с КРУ и расчёта параметров упомянутого фильтра.

4. Созданы два выше указанных реле максимального тока с тестовой и функциональной диагностикой неисправностей и две конструкции для их крепления.

Практическая значимость научных результатов:

1. Разработано ресурсосберегающее токовое реле на герконах без использования трансформаторов тока с тестовой и реле с функциональной диагностикой неисправностей, что повысит надежность выполняемых с их помощью токовых защит.

2. Предложенное реле с тестовой диагностикой, способно не срабатывать при кратковременных помехах и залипании контактов, и фильтр тока обратной последовательности с функциональной диагностикой неисправностей, которые может служить для построения особо чувствительных и надежных токовых защит.

3. Созданы методика расчёта параметров МТЗ на герконах в КРУ напряжением 6-10 кВ, учитывающая влияние помех от токов в металлических частях в своем и соседнем КРУ, и методика расчета упомянутого фильтра.

4. Для КРУ создано устройство МТЗ на герконах с дистанционным регулированием уставок, что позволяет не отключая электроустановку перестраивать уставки срабатывания.

Практическая ценность работы.

1. Доказано, что индукции магнитных полей внутри КРУ 6-10 кВ. достаточны для срабатывания герконов в токовых защитах, а для расчета этих индукций можно пользоваться формулой закона Био-Савара-Лапласа, с введением в него полученного коэффициента.

2. Разработанные реле максимального тока на герконах более совершенны в сравнении с известными, так как они обладают преимуществами, одно из-за наличия простого тестового диагностирования при неисправностях, второе еще и не срабатыванием при кратковременных неисправностях, третье за счет наличия функциональной диагностики.

3. Созданная конструкция для крепления герконов позволяют дистанционно и без отключения электроустановки регулировать уставку срабатывания.

4. Предложенная методика расчета параметров МТЗ на разработанных реле позволяет учесть погрешности установки герконов внутри КРУ и влияние токов в фазах защищаемого и соседних присоединений, и, что очень важно, влияние наведенных токов в их металлических частях.

5. Разработанная методика расчета фильтра тока обратной последовательности с диагностикой неисправностей позволяет достаточно просто их реализовать.

К защите представляются:

1. Два реле максимального тока с тестовой и функциональной диагностикой неисправностей.

2. Формула для расчёта индукций магнитных полей с зависимостями этих индукций от положения геркона внутри ячейки КРУ.

3. Методика расчета параметров: а) максимальной токовой защиты КРУ 6-10 кВ. с использованием формулы расчёта индукции и учётом влияния помех от соседних ячеек; б) фильтра тока обратной последовательности с диагностикой неисправностей.

4. Способ тестового и функционального диагностирования токовых защит на герконах, а также два устройства крепления геркона вблизи шин ячейки КРУ.

Реализация результатов работы. Получено согласие на внедрение устройства токовой защиты в ячейке КРУ на АО ПРЭК (Павлодар).

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на Международной научной конференции «XVIII Сатпаевские чтения» (Павлодар, 2017), «X Торайгыровские чтения» (Павлодар, 2018), 47-я Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы науки» (Москва, 2019).

Публикации. Результаты исследований опубликованы в 11 научных трудах: одна статья в журнале входящим в базу Scopus: 7 публикаций в изданиях, рекомендуемых ККСОН, среди которых 3 патента на изобретение Республики Казахстан, 3 патента на изобретение Российской Федерации, из них 2 вошедших в базу «Web of Science»; 3 публикации в материалах международных конференций, в том числе 1 в материалах зарубежной конференции. В публикациях в соавторстве личный вклад соискателя составляет 80%, а в статье [55] – 30%.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трёх разделов, заключения и четырех приложений. Работа изложена на 95 страницах

компьютерного текста, включает 45 рисунков. Список использованных источников состоит из 73 наименований.

В первой главе «Анализ существующих токовых защит» рассмотрены традиционные защиты, получающие информацию от трансформаторов тока с ферромагнитными сердечниками, токовые защиты на различных преобразователях без трансформаторов тока: на магнитных трансформаторах тока, датчиков Роговского, на магниторезисторах, на магнитодиодах и магнитотранзисторах, на датчиках Холла и на катушках индуктивности. Подробно описаны токовые защиты элементов электрических систем на герконах. Указаны важнейшие достоинства геркона для релейной защиты. Даны их преимущества в сравнении с другими магниточувствительными элементами. Показано, что они обладают достаточной чувствительностью для использования в релейной защите электроустановок 6-110 кВ. Представлено выполнение максимальной токовой защиты на герконах с выбором уставок, обращено внимание на отстройку от самозапуска и различных помех. Указаны способы выполнения защит на герконах, включая схемы реле и конструкции для их крепления. Подчеркнуто значение тестовой и функциональной диагностики неисправностей для релейной защиты. Проанализированы некоторые схемы с диагностикой неисправностей. В выводах главы указывается, что особое внимание при исследованиях должно быть уделено разработке простых устройств токовых защит на герконах с тестовой и функциональной диагностикой неисправностей и определению распределения магнитных полей внутри ячейки КРУ.

Во второй главе «Разработка схем токовых защит на герконах с диагностированием неисправностей и конструкций для их крепления в КРУ 6-10 кВ» рассмотрены ресурсосберегающие реле тока на герконах с тестовым диагностированием: схема реле со счетчиком импульсов и тестовой диагностикой, схема реле с тестовой диагностикой не работающая излишне при кратковременных помехах и залипании контактов. Тестовая диагностика осуществляется нажатием кнопки и подачей переменного тока в обмотку геркона (установленного под шиной электроустановки).

Представлены результаты экспериментальной проверки на разработанной лабораторной установке предлагаемого помехоустойчивого реле с осциллограммами напряжений при срабатывании геркона и других реле. Проанализированы схемы устройств токовой защиты на герконах с функциональной диагностикой. Особенностью схемы является то, что она подает тестирующий сигнал, через каждые 2 минуты. Предлагается схема с функциональной диагностикой фильтра токов обратной последовательности на герконах и катушках индуктивности. Схема известного фильтра дублируется и с помощью одного геркона с двумя обмотками контролирует напряжение на обмотках управления двух герконов фильтра, установленных под шинами электроустановки.

Описаны предлагаемые конструкции для крепления герконов в КРУ 6-10 кВ. Особенностью одной из конструкций является то, что с ее помощью можно

автоматически регулировать уставки защиты, а второй- перемещать герконы относительно шин электроустановки в двух направлениях. Представлена фотография расположения опытного образца фильтра токов обратной последовательности вблизи шин КРУ. В выводах указывается, что разработанные реле на герконах с диагностикой неисправностей просты, работоспособны и обладают достаточным быстродействием.

В третьей главе «Параметры защит с разработанным реле и фильтром тока обратной последовательности» представлены особенности расчета магнитных полей в КРУ 6-10 кВ. Показано, что предпочтительней для этих целей использовать закон Био-Савара-Лапласа в простейшей форме с введением полученных экспериментально коэффициентов. Проанализированы результаты экспериментов по использованию закона Био-Савара-Лапласа для расчетов магнитных полей в КРУ, проведенных в Самарском государственном техническом университете. Описаны широко применяемые ячейки КРУ в Казахстане, на которых проводились эксперименты по определению распределения индукции магнитных полей внутри КРУ.

Показано, что они (индукции) имеют достаточную величину для построения релейной защиты. Рассмотрена схема экспериментальной установки. Определены коэффициенты, оценивающие влияние различных помех, в том числе создаваемых токами в соседних КРУ.

Представлена рекомендуемая методика проведения натуральных экспериментов в комплектных распределительных устройствах. Дана методика выбора уставок МТЗ с разработанным реле на герконах и пример выбора. Особое внимание уделено определению величины индукции магнитных полей в исследованиях, при различных коротких замыканиях в соседних ячейках.

Дан расчет параметров фильтра токов обратной последовательности при расположении фаз защищаемой электроустановки по вершинам треугольника и при горизонтальном расположении. При этом особое внимание уделено выбору координат, обеспечивающих отсутствие токов нулевой последовательности. Описаны экспериментальные исследования представленного фильтра токов обратной последовательности при горизонтальном расположении фаз, подтверждающий осциллограммами свою работоспособность. Показано, что внедрение устройства токовой защиты с реле со счетчиком импульсов и автоматическим регулированием уставок может принести экономический эффект 902 т. тенге в год. В выводах отмечается, что поправочные коэффициенты необходимо определять экспериментально для каждого КРУ, а разработанную методику определения распределения магнитных полей можно рекомендовать для любых КРУ.

Результаты работы сводятся к следующему:

В работе решены задачи: разработки реле тока с диагностикой неисправностей, новых устройств и конструкций токовых защит и методов расчёта фильтра токов обратной последовательностей на герконах, а также экспериментального исследования распределения магнитного поля внутри

ячейки для электроустановок с КРУ 6-10 кВ. Результаты работы сводятся к следующему:

1 Развита теория построения защит на герконах:

а) на основе измерения индукции магнитных полей в разных режимах и точках внутри КРУ 6-10 кВ. доказано, что их величины достаточны для выявления междуфазных коротких замыканий в электроустановках, питающихся от этих КРУ и найдены зависимости этих индукций от положения геркона внутри рассматриваемого КРУ;

б) показано, что для их расчёта можно использовать простейшую формулу закона Био-Савара-Лапласа, если внести в нее коэффициент, полученный в результате экспериментов в этом КРУ;

в) создана методика расчета параметров МТЗ на герконах для КРУ 6-10 кВ, отличающаяся от известных использованием этой формулы и учётом влияния помех от токов в металлических частях КРУ;

г) разработан метод расчёта параметров для предложенного фильтра тока обратной последовательности на герконах;

д) предложен способ тестового и функционального диагностирования токовых защит на герконах, заключающийся в подаче тока в обмотку управления геркона с одновременной блокировкой выходной цепи.

2 Созданы и запатентованы одно максимальное реле с тестовой диагностикой, а другое с функциональной, а также два устройства, позволяющие крепить геркон вблизи шин КРУ с возможностью дистанционного регулирования уставок срабатывания токовых защит.