

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07103 – «Электроэнергетика»

Жуматаев Нурлыбек Шакаевич

РАЗРАБОТКА МАГНИТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТОКА ДЛЯ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ

Предложенная диссертационная работа посвящена разработке магнитных преобразователей тока для токовых защит и осуществлялись в рамках приоритетных направлений развития науки «Энергетика и машиностроение», утвержденных высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан.

Актуальность. В соответствии с ПУЭ для защиты электрических сетей и электроустановок, обеспечивающих электроснабжение городов, населенных пунктов и промышленных предприятий от коротких замыканий (КЗ) используются защиты, работа которых основана на измерении тока в шине защищаемого электрического объекта или магнитного поля от этого тока.

В защитах, работа которых основана на измерении тока, используются плавкие предохранители, автоматические выключатели, максимальные токовые реле типа РЕО-401, РЕО-402 или РЭВ-570, а также трансформаторы тока (ТТ) с токовыми реле. Однако все эти устройства, кроме ТТ с токовым реле, не всегда позволяют реализовать токовую защиту, удовлетворяющую требованиям селективности, быстродействия и чувствительности. Защиты, в которых используются ТТ и токовое реле лишены этого недостатка. Их основным недостатком является высокая стоимость ТТ, которая возрастает пропорционально квадрату увеличения его номинального тока и напряжения.

В защитах, работа которых основана на измерении магнитного поля шины, в качестве измерительного элемента может использоваться катушка Роговского, магнитный трансформатор тока (МТТ), оптоволоконный и гальваномагнитный преобразователи тока на эффекте Холла, магниторезистивный преобразователь, а также геркон. Значительный вклад в область релейной защиты, связанную разработкой устройств защит на таких преобразователях тока внесли И.М. Сирота, В.Е. Казанский, А.А. Чунихин, В.А. Новожилов, В.В. Гурин, М.Я. Клецель и многие другие ученые.

Все эти преобразователи тока дешевы. Однако их использование в релейной защите широкого применения не получило. Это в основном вызвано сложностью и дороговизной реализации токовых защит с их использованием. Они заключается в том, что практически всегда установка такой защиты на конкретный электрический объект из-за его конструктивных особенностей требует разработку новой конструкции крепления этих преобразователей тока и устройства для выставления ее порога срабатывания. Кроме того, для определения ее порога срабатывания

необходим расчет магнитных полей с учетом влияния всех расположенных рядом ферромагнитных элементов, а также тех, которые могут появиться рядом в процессе эксплуатации. Все это требует для реализации защит с такими измерительными преобразователями значительного объема времени, дополнительных конструкционных материалов и устройств, а также участия в этом высококлассных специалистов.

В значительной мере этих недостатков лишены дешевые и простые в реализации токовые защиты, в которых используется магнитный преобразователь тока (МПТ), изготавливаемый на базе элементов токового реле РТ-40. Установка такого МПТ осуществляется на шину с помощью стеклоткани пропитанной эпоксидной смолой. Такой МПТ имеет встроенный элемент для осуществления плавной регулировки порога срабатывания. Этот порог срабатывания определяется по единым рассчитанным для этого МПТ таблицам. При этом контакты МПТ из-за отсутствия их вибрации могут подключаться непосредственно к цепям управления выключателя. Таким образом, реализация защиты с МПТ вполне по силам обслуживающему персоналу.

Однако такие МПТ предназначены для защиты низковольтных электрических сетей и электроустановок, размер токоведущих шин с изоляцией которых не превышает размера окна магнитопровода токового реле РТ-40. В связи с этим эти МПТ нельзя использовать для защит высоковольтных электрических установок, а также электрических установок с большим поперечным сечением питающих шин и токами более 700-800 ампер. Кроме того, защита трехфазной электрической установки требует использования трех МПТ. Все это ограничивает область применения МПТ. В связи с этим работу по разработке МПТ для токовых защит нельзя считать завершенной. Поэтому дальнейшая их разработка **является актуальной**.

Объектом исследования являются МПТ для токовых защит низковольтных и высоковольтных электрических сетей и электроустановок.

Предмет исследования – МПТ для токовых защит, магнитная и контактная системы которых изготавливаются на базе элементов токового реле РТ-40 и геркона.

Целью работы разработка однофазных и трехфазных МПТ для токовых защит низковольтных и высоковольтных электрических сетей и электроустановок, размер токоведущих шин с изоляцией, которых имеет произвольные размеры и форму. Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Экспериментальным путем определить зависимость величины магнитной индукции в воздушном зазоре магнитной системы реле РТ-40 с обмоткой в виде шины, от тока в этой шине при различной величине выставяемого порога срабатывания реле.

2. Путем использования программного комплекса ELCUT осуществить моделирование зависимости величины магнитной индукции в воздушном зазоре магнитной системы реле РТ-40 с обмоткой в виде шины, от тока в этой

шине при различной величине выставяемого порога срабатывания, а также оценить погрешность этого моделирования.

3. Разработать МПТ с двумя магнитопроводами произвольной формы и с контактной системой от токового реле типа РТ-40 для однофазной токовой защиты низковольтных и высоковольтных электрических сетей и электроустановок.

4. Разработать МПТ для трехфазной токовой защиты низковольтных электрических сетей и электроустановок, контактная система которого выполнена на базе элементов реле РТ-40.

5. Разработать МПТ для однофазной токовой защиты, магнитная система которого выполнена на базе элементов реле РТ-40, а контактная система представляет собой геркон.

Инструментом в получении материалов исследования являются:

- фундаментальные положения математики и математическое моделирование;
- теоретические основы электротехники и релейной защиты;
- теоретические исследования с помощью программного комплекса ELCUT;
- физическое моделирование и натурный эксперимент.

Научная новизна работы определена тем, что:

1. Экспериментальным путем получена зависимость величины индукции магнитного поля в воздушном зазоре магнитной системы реле РТ-40 с обмоткой в виде шины, от тока в этой шине при различной величине выставяемого порога срабатывания реле.

2. Исследована возможность использования студенческой версии программного комплекса ELCUT для моделирования зависимости величины индукции магнитного поля в воздушном зазоре магнитной системы реле РТ-40 с обмоткой в виде шины, от тока в этой шине при различной величине выставяемого порога срабатывания, а также дана оценка погрешности этого моделирования.

3. Разработаны три конструкции однофазных МПТ с двумя магнитопроводами произвольной формы и с контактной системой от токового реле типа РТ-40 для токовой защиты низковольтных и высоковольтных электрических сетей и электроустановок.

4. Разработан трехфазный МПТ для токовой защиты низковольтных электрических сетей и электроустановок, контактная система которого выполнена на базе элементов реле РТ-40.

5. Разработан однофазный МПТ для токовой защиты, магнитная система которого выполнена на базе элементов реле РТ-40, а контактная система выполнена в виде геркона.

Практическая ценность работы заключается в том, что:

1. Полученная экспериментальным путем зависимость величины магнитной индукции магнитного поля в воздушном зазоре магнитной системы реле РТ-40 с обмоткой в виде шины, от тока в этой шине при различной величине выставяемого порога срабатывания реле позволяет

разрабатывать МПТ с аналогичной магнитной системой и оценивать погрешности моделирования этой зависимости произвольным способом.

2. Исследование возможности использования студенческой версии программного комплекса ELCUT для моделирования индукции магнитного поля в воздушном зазоре магнитной системы реле РТ-40 с обмоткой в виде шины, в зависимости от тока в этой шине при различной величине выставяемого порога срабатывания, что погрешность ее моделирования в этом случае не превышает 15,5%. Что вполне удовлетворяет требования релейной защиты.

3. Разработанные однофазные МПТ с двумя магнитопроводами произвольной формы и с контактной системой от токового реле типа РТ-40, позволяют выполнять токовые защиты, которые способны защищать от КЗ низковольтные и электрические сети и электроустановки при токах срабатывания этого МПТ равных 200-750А, а также высоковольтные электрические сети и электроустановки с напряжением до 10кВ при токах срабатывания этого МПТ равных 4400-30000А.

4. Разработанный трехфазный МПТ, контактная система которого изготовлена на базе элементов токового реле РТ-40, позволяет выполнить токовую защиту способную защищать от КЗ низковольтные электрические сети или электроустановки при токах срабатывания этого МПТ до 500А.

5. Разработанный однофазный МПТ, магнитная система которого имеет два расположенных параллельно магнитопровода, а контактная система выполнена в виде геркона, позволяет реализовывать токовую защиту, способную защищать от КЗ низковольтные электрические сети и электроустановки при токах срабатывания этой защиты 127-733А.

Связь темы диссертации с общенаучными (государственными) программами. Исследования по теме диссертации осуществлялись в рамках приоритетных направлений развития науки «Энергетика и машиностроение», утвержденных высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан.

Внедрение результатов.

Теоретические и практические результаты работ могут с успехом использоваться при проектировании токовых защит, на производстве и в учебном процессе бакалавров, магистров и докторов PhD.

Апробация результатов исследования:

Основные положения и научные результаты диссертации докладывались и обсуждались на LXXVI международной научной – практической конференции «Технические науки: проблемы и решения/ Интернаука, Москва 2023».

Публикации. По работе опубликовано 8 печатных работ, в том числе в журналах, рекомендованных КОКСОН – две, патентов РФ – два, патентов РК - два. Также одна статья опубликована в журнале Вестник машиностроения и одна статья в журнале «Russian Engineering Research» (№6, 2022), которая проиндексирована в базе SCOPUS.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения. Работа изложена на 88 страницах компьютерного текста, включает 60 рисунков. Список использованных источников включает 49 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цели и задачи исследования, отражена научная новизна и практическое значение полученных результатов, указаны пути реализации сформулированных в диссертации задач.

В первой главе рассмотрены вопросы использования разных классов напряжения при решении практически всех вопросов по электроснабжению и защите от аварийных режимов работы промышленных предприятий. Рассмотрена работа трехфазных сетей с изолированной и заземленной нейтралью в нормальных эксплуатационных и аварийных режимах работы, характерной особенностью которых является значительное повышение токов при всех аварийных и некоторых нормальных эксплуатационных режимах.

Выяснено, что для защиты электрических объектов от аварийных режимов используются защиты, работа которых основана на измерении тока в шине защищаемого электрического объекта или магнитного поля от этого тока. К первым относятся плавкие предохранители, автоматические выключатели, а также трансформаторы тока (ТТ) с токовыми реле. Однако защиты с ТТ с токовым реле дороги, из-за высокой стоимости ТТ, которая возрастает пропорционально квадрату увеличения его номинального напряжения. Защиты с остальными устройствами не всегда позволяют реализовать токовую защиту, удовлетворяющую требованиям селективности, быстродействия и чувствительности.

В защитах, работа которых основана на измерении магнитного поля шины, в качестве измерительного элемента может использоваться катушка Роговского, магнитный трансформатор тока (МТТ), оптоволоконный и гальваномагнитный преобразователи тока на эффекте Холла, магниторезистивный преобразователь, а также геркон. Все эти преобразователи тока дешевы. Однако их использование в релейной защите широкого применения не получило в основном из-за сложности и дороговизны, а также из-за необходимости учета влияния внешних магнитных полей.

Все это привело к необходимости разработки нового устройства для токовых защит, лишённого этих недостатков.

Во второй главе исследованы параметры магнитной системы токового реле серии РТ-40, построена полученная экспериментальным путем зависимость величины магнитной индукции в воздушном зазоре между торцами магнитопровода и якорем этой магнитной системы, которая вызывает срабатывания реле, от величины тока в шине.

На основе этого разработаны конструкции пяти магнитных преобразователей тока (МПТ), которые выполняются на базе магнитной и контактной систем токового реле РТ-40. Эти магнитного преобразователя тока различаются способами их крепления и выставления порога

срабатывания, а также способами защиты от напряжения в токоведущей шине. Это дает возможность реализовывать простые и дешевые, однофазные и трехфазные токовые защиты для низковольтных электрических сетей и электроустановок, а также высоковольтных электроустановок напряжением до 10кВ.

С целью упрощения определения порога срабатывания разработанных исследована возможность использования студенческой версии программного комплекса ELCUT для моделирования индукции магнитного поля в воздушном зазоре между торцами магнитопровода и якорем магнитного преобразователя тока в зависимости от величины тока в шине, которая показала, что этот программный комплекс позволяет рассчитывать эту магнитную индукцию с погрешностью, не превышающей 15,5%. Такая погрешность вполне удовлетворяет требования релейной защиты.

В третьей главе посвящена построению четырех токовых защит на магнитных преобразователях тока, которые способны обеспечить требуемые быстродействие, чувствительность и селективность.

Построение токовой защиты на напряжение до 1000В при токах срабатывания равных 160 – 320А основано на использовании однофазного МПТ, магнитная и контактная системы которого выполнены на базе элементов токового реле РТ-40. Для реализации защиты с таким МПТ разработаны схемы, в которых совместно с этим МПТ используется автоматический выключатель, а также метод для определения и выставления порога срабатывания.

Построение токовой защиты низковольтных и высоковольтных электрических сетей и электроустановок с напряжением до 10кВ и с токами срабатывания до 10кА основано на использовании однофазного МПТ с двумя магнитопроводами произвольной формы и контактной системой от токового реле типа РТ-40. Такой МПТ устанавливается на электрической установке с помощью системы специальных стоек. Для реализации этой защиты разработаны ее схемы по оперативному переменному и постоянному току, а также метод определения и выставления порога.

Построение трехфазной токовой защиты на напряжение до 1000В при токах срабатывания равных 160 – 320А основано на использовании трехфазного МПТ, магнитная и контактная системы которого выполнены на базе элементов токового реле РТ-40. Для реализации трехфазной токовой защиты с таким МПТ разработаны схемы, в которых совместно с этим МПТ используется автоматический выключатель, а также метод для определения и выставления порога срабатывания.

Построение токовой защиты низковольтных и высоковольтных электрических сетей и электроустановок с напряжением до 10кВ и с токами срабатывания от 130А до 700А до 10кА основано на использовании однофазного МПТ с двумя магнитопроводами и контактной системы в виде геркона. Такой МПТ закрепляется на электрической установке также с помощью системы специальных стоек. Для реализации этой защиты

разработаны схемы по оперативному переменному и постоянному току, а также метод определения и выставления порога.