

ОТЗЫВ

официального оппонента Наумова В.А. на диссертацию
Атнйшкина Александра Борисовича

«АДАПТИВНЫЕ МОДИФИКАЦИИ АЛГОРИТМА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»

1. Структура и объём диссертации

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова». Состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 126 наименований, и одного приложения. Диссертация изложена на 137 страницах, содержит 60 рисунков и 4 таблицы.

2. Актуальность темы диссертационной работы

Применяемая в энергосистемах России дифференциальная защита силовых трансформаторов, основанная на классическом алгоритме противопоставления дифференциального тока тормозному току, обеспечивает необходимое быстродействие и селективность действия, надёжно выявляя и разграничивая внутренние короткие замыкания от аномальных режимов работы силового трансформатора – режимов броска тока намагничивания, перевозбуждения и внешних коротких замыканий. Однако несовершенство измерительных трансформаторов, проявляющееся в основном в виде насыщения их магнитных сердечников при высоком уровне токов как внешних, так и внутренних КЗ, сопровождающихся медленно затухающими апериодическими составляющими, часто служит причиной ложных срабатываний дифзащиты, снижения чувствительности к внутренним повреждениям с малым током и замедления срабатывания защиты. Поэтому научная и техническая задачи разработки алгоритмов дифзащиты, обладающих повышенной устойчивостью функционирования в условиях искажения входных токов защиты и высокой чувствительностью к внутренним повреждениям, особенно к витковым замыканиям в обмотках, все еще остаются важными и нужными.

В связи с этим тема оппонируемой диссертационной работы актуальна.

3. Оценка содержания диссертации

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы, поставлены задачи исследования, дан краткий анализ разработанности темы исследований, обоснованы методы исследований, даны основные положения, определяющие научную новизну и практическую ценность полученных результатов, приведены сведения об апробации и реализации результатов работы.

В **главе 1** развивается метод локализации альтернативных режимов на основе алгоритмической модели защищаемого энергетического объекта в неповрежденном состоянии. Вводятся в рассмотрение понятия о полном и неполном наблюдении защищаемого объекта, акцентируя внимание на свойстве алгоритмической модели к

однозначной локализации альтернативных режимов при полном наблюдении. Формулируется подход к выбору целевой функции адаптивной защиты, интегрирующий в себе вектор контролируемых параметров (в работе «двухкоординатный замер»), характеризующий состояние защищаемого энергообъекта и позволяющий разграничить отслеживаемые и альтернативные режимы.

В **главе 2** рассматриваются существующие методы отстройки дифференциальной защиты силового трансформатора от режимов броска токов намагничивания, формулируются основные уравнения трехфазного трансформатора, используя представление трансформатора группой однофазных трансформаторов. Излагаются алгоритмы формирования двумерного вектора измерений контролируемых параметров а) без привлечения информации о ветви намагничивания, б) с моделью ветви намагничивания и в) моделью с известной индуктивностью намагничивания. Особое внимание обращается на важный аспект применения алгоритмических моделей и формирования векторов контролируемых параметров, заключающийся в учете особенностей предназначения моделей, полагая, что одни из них специфичны для внешних замыканий, а другие – для внутренних.

В **главе 3** излагаются адаптивные алгоритмы дифзащиты, обладающие повышенной чувствительностью к витковым замыканиям. Важной особенностью предлагаемых алгоритмов является линейное преобразование токов плеч дифференциальной защиты, локализирующее отслеживаемые и альтернативные режимы работы силового трансформатора в различных областях уставочной плоскости. Сформулирован классический алгоритм дифференциальной защиты в терминах предлагаемого автором подхода. Предложены адаптивные алгоритмы локализации альтернативных режимов на основе адаптивного масштабирования и адаптивного преобразования тока в случае двухобмоточного трансформатора. Предложенные алгоритмы сравниваются с традиционными алгоритмами при применении их в дифференциальной защите автотрансформаторов, и делается вывод о преимуществе первых перед вторыми.

Глава 4 посвящена задаче восстановления нелинейно искаженного тока измерительных трансформаторов тока – одной из важнейших мер в обеспечении надежного функционирования и быстродействия не только дифференциальной защиты, но и многих устройств релейной защиты. Решены задачи сегментации и выявления интервалов правильной трансформации тока и адаптивного восстановления тока насыщенного измерительного трансформатора тока. Рассматриваются различные алгоритмы неадаптивного и адаптивного восстановления нелинейно искаженного тока, демонстрируются возможности предлагаемых методов на примерах осциллограмм искаженных токов КЗ.

В **главе 5** рассматриваются вопросы практической реализации результатов диссертационной работы в дифференциальной защите на основе терминала TOP 300 ДЗТ 512. Приводятся результаты исследований корректора искаженного тока в среде Simulink и испытаний в аппаратно-программной среде цифрового моделирования реального времени RTDS, подтверждающие заявленные характеристики предлагаемых методов восстановления искаженного тока.

К достоинствам работы нужно отнести большой объем сравнительного анализа существующих в настоящее время научных исследований и технических решений в

дифференциальной защите и предлагаемых автором научных и технических разработок, а также исследование научных задач моделирования режимов работы защищаемого объекта – силового трансформатора, что позволило реализовать цельный подход к достижению цели диссертационного исследования.

4. Соответствие диссертации и автореферата паспорту специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

Диссертационная работа соответствует следующим пунктам Паспорта научной специальности 05.14.02:

п. 6 «Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике»;

п. 9 «Разработка методов анализа и синтеза систем автоматического регулирования, противоаварийной автоматики и релейной защиты в электроэнергетике»;

п. 13 «Разработка методов использования ЭВМ для решения задач в электроэнергетике».

5. Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

6. Методы исследования

Исследования проводились с использованием положений теоретических основ электротехники, теоретических основ релейной защиты, методов математического моделирования. Моделирование процессов производилось в среде имитационного моделирования Simulink и аппаратно-программной среде цифрового моделирования реального времени RTDS. Разработка программных модулей велась в среде программирования MATLAB.

7. Степень обоснованности научных положений и достоверности полученных результатов.

Анализ содержания диссертационной работы показывает, что сформулированные в ней научные положения, выводы и рекомендации в достаточной мере обоснованы. Основные положения диссертации, выносимые на защиту, а именно:

1) разработка новых положений метода локализации альтернативных режимов применительно к разработке защиты трансформатора;

2) способы адаптивной защиты трансформатора с использованием алгоритмической модели;

3) адаптивные алгоритмы дифференциальной защиты трансформатора на основе двумерного вектора измерений контролируемых параметров;

4) новые способы сегментации и восстановления тока при насыщении измерительных трансформаторов тока,

позволяет заключить, что диссертация решает задачу совершенствования дифференциальной защиты, актуальной для развития электроэнергетики.

Обоснованность научных положений и выводов диссертационной работы подтверждается согласованностью результатов моделирования с общей картиной физических процессов в силовых трансформаторах и результатами испытаний в

общепризнанной аппаратно-программной среде цифрового моделирования реального времени RTDS и не вызывают сомнений.

Достоверность полученных результатов и выводов работы подтверждается сопоставлением результатов вычислительных экспериментов, основанных на применении разработанных математических моделей, с результатами экспериментов, приведенных в научной литературе, а также испытаниями терминала дифференциальной защиты силового трансформатора TOP 300 ДЗТ 512 в аппаратно-программной среде цифрового моделирования реального времени RTDS.

8. Уровень новизны научных положений, выводов и рекомендаций

Научную новизну представляют следующие результаты работы:

1) развитие метода локализации альтернативных режимов и его приложений в задаче дифференциальной защиты силовых трансформаторов;

2) разработка адаптивных алгоритмов формирования двумерного вектора измерений контролируемых параметров с применением алгоритмической модели силового трансформатора, обеспечивающих быстроедействие отстройку защиты при БНТ и повышенную распознающую способность по отношению к режимам витковых замыканий в обмотках;

3) разработка способов сегментации нелинейно искаженного электрического сигнала с использованием опорного сигнала и фильтра постоянной составляющей, позволяющие выделить участки правильной трансформации тока КЗ;

4) разработка способов коррекции вторичного тока при насыщении ТТ с использованием информации о токе на участках правильной трансформации и участков насыщения, имеющие высокое быстроедействие.

9. Ценность для науки и практики результатов исследования

Теоретическую ценность работы представляют:

1) математическая модель силового трансформатора в базе мгновенных значений;

2) новые представления о наблюдениях электроэнергетического объекта и алгоритмах их использования в релейной защите;

3) адаптивные алгоритмы локализации альтернативных режимов для дифференциальных защит силовых трансформаторов, позволяющих повысить устойчивость их функционирования.

Практическую ценность работы определяют:

1. Алгоритмическая модель двухобмоточного трансформатора с соединением обмоток $Y0/\Delta$ в базе мгновенных значений, позволяющий повысить технический уровень организации испытаний дифференциальной защиты.

2. Адаптивный способ защиты трансформатора с использованием алгоритмической модели, повышающий надежность функционирования устройств защиты в режимах броска намагничивающего тока (БНТ) силового трансформатора и быстроедействие защиты.

3. Корректор вторичного тока, обеспечивающий правильную работу релейной защиты в режимах, сопровождающихся насыщением ТТ.

Результаты работы используются в разработках Общества с ограниченной ответственностью «Релематика (г. Чебоксары).

10. Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати

Публикации автора полностью отражают результаты, полученные в диссертации. Автореферат раскрывает содержание диссертации, ее основные положения, выводы и рекомендации.

11. Соответствие полученных результатов поставленной цели и задачам

Полученные результаты соответствуют поставленной цели и задачам исследования.

12. Основные замечания и вопросы по диссертационной работе

12.1. Формулировки основных результатов в Заключение и выводах к главам диссертации носят пространственный характер, преимущества предложенных технических решений не подкрепляются конкретными данными, в связи с чем затрудняют однозначную трактовку полученных соискателем научных и практических достижений. В качестве примера можно привести вывод под номером 5 к главе 3, в которой утверждается превосходство разработанных автором адаптивных алгоритмов над традиционными, хотя сведения или результаты экспериментов, подтверждающие этот вывод не приводятся.

12.2. На странице 14 диссертационной работы соискатель вводит в рассмотрение понятие наблюдения, очень важное, с точки зрения соискателя, для обеспечения селективности релейной защиты. Не оспаривая важность использования этого понятия для теории распознаваемости режимов защищаемого энергообъекта, считаю важным отметить, что используемое соискателем понятие является редуцированной формой понятия наблюдаемости, введенной в теорию управления Рудольфом Калманом.

12.3 Автор оппонируемой работы часто заменяет изложение методов и методик, так или иначе связанных с темой работы, множественными ссылками на научные работы других исследователей, не приведя своей трактовки их применимости и особенностей использования. Это в значительной мере усложняет экспертизу проводимых автором экспериментов, часто заставляя читателя додумывать за автора условия эксперимента. Например, на с. 30 работы идет ссылка на зарубежный источник вместо изложения методики моделирования витковых замыканий в силовом трансформаторе. В качестве иллюстрации этого замечания можно привести и использование понятия «замер», являющегося отправным моментом всей диссертации: понятие широко используется, но сколь-нибудь конкретное определение понятия в работе не дается.

12.4. Работа богато иллюстрирована различными рисунками, однако, многие из них (например, рис. 39-42) содержат элементы, совершенно не отраженные ни в тексте, ни в подрисуночных подписях. В итоге рисунки теряют свое предназначение и не дополняют текст.

12.5. Некоторые модификации предлагаемых алгоритмов локализации, рассмотренные с акцентом на приложение в дифференциальной защите (с. 51 диссертации), излагаются слишком обще и затрудняют восприятие их идей и целей.

12.6. В главе 2 рассматриваются различные алгоритмы локализации режимов броска тока намагничивания, витковых и внешних замыканий. Поскольку в работе предлагается

использовать для этих режимов различные модификации адаптивных алгоритмов дифференциальной защиты (с. 35), то работа значительно выиграла бы в качестве изложения предлагаемых идей, если бы в работе было бы показано объединение этих модификаций в единство защиты, указав схему их объединения.

13. Соответствие диссертации критериям «Положением о присуждении учёных степеней»

Диссертационная работа А.Б. Агнишкина соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, установленным действующей редакцией Положения о присуждении учёных степеней:

13.1 Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития электроэнергетики как отрасли знаний (п. 9 Положения).

13.2 Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. В диссертации приведены сведения о практическом использовании полученных автором научных результатов. Предложенные решения в достаточной степени аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями (п. 10 Положения).

13.3 Основные научные результаты диссертации опубликованы в 4 рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК, 2 из которых индексируются в международных базах данных и цитирования (SCOPUS и др.), на 4 из предложенных в диссертации технических решений получены патенты на изобретение (п. 11 и 13 Положения).

13.4. В диссертации корректно и в полном объёме приведены ссылки на авторов и источники заимствованных материалов (п. 14 Положения).

14. Заключение

В целом, диссертация Агнишкина Александра Борисовича «Адаптивные модификации алгоритма дифференциальной защиты трансформатора» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решается научная задача совершенствования дифференциальной защиты, имеющей значение для развития электроэнергетики.

Автореферат и публикации автора в должной степени отражают полученные и представленные в диссертации результаты; автореферат раскрывает суть работы, её научные положения, выводы и рекомендации. Содержание диссертационной работы соответствует формуле и областям исследования научной специальности 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы» (п.6: разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике; п.9: разработка методов анализа и синтеза систем автоматического регулирования, противоаварийной автоматики и релейной защиты в электроэнергетике).

Диссертация соответствует критериям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., № 842.

На основании вышеизложенного считаю, что Атнишкин Александр Борисович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы».

Официальный оппонент

Заслуженный изобретатель Чувашской Республики, заместитель генерального директора – технический директор Общества с ограниченной ответственностью Научно-производственного предприятия «ЭКРА» (ООО НПП «ЭКРА»),

кандидат технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

**Наумов Владимир
Александрович**

26.03.2019г.

Сведения:

Полное наименование организации: Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное предприятие «ЭКРА»

Юридический адрес: Чувашская республика – Чувашия, г. Чебоксары, пр-кт И.Я. Яковлева, 3, помещение 541, 428020

Телефон: 8-917-650-17-69

Эл. адрес: naumov_va@ekra.ru

Должность: Заместитель генерального директора – технический директор

Ф.И.О.: Наумов Владимир Александрович

Подпись Наумова В.А. удостоверяю



*заместитель заведующего отделом
кадрового и организационного обеспечения
Владимир Петровна*