



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО НПП «ЭКРА»

Дони К.Н.

« 25 » июня 2026 г.

Отзыв ведущей организации

Общества с ограниченной ответственностью научно-производственного предприятия «ЭКРА» на диссертационную работу Новокрещенова Виталия Викторовича **«Дифференциальная защита с повышенной чувствительностью при коротких замыканиях на линиях электропередачи с продольной компенсацией»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы

1. Общая характеристика работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 90 наименований и 3 приложений. Объем составляет 125 страниц и содержит 61 рисунок и 11 таблиц.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Цель, задачи и выводы в обоих документах идентичны.

Диссертация и автореферат соответствуют областям исследования паспорта научной специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы:

- п.1. «Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, анализ системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем, включая электромеханические, электромагнитные преобразователи энергии и электрические аппараты, системы электропривода, электроснабжения и электрооборудования»;

- п.3. «Разработка, структурный и параметрический синтез, оптимизация электротехнических комплексов, систем и их компонентов, разработка алгоритмов эффективного управления».

Основные научные результаты опубликованы в 13 научных работах, в т.ч. 4 статьях в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень рекомендуемых изданий ВАК РФ, 1 статье в журнале, входящем в международные системы цитирования (Scopus), 4 статьях в сборниках трудов, индексируемых в РИНЦ, 4 материалах докладов на международных и всероссийских конференциях, 1 свидетельстве о регистрации программы для ЭВМ.

2. Актуальность темы диссертации

Диссертационное исследование посвящено расширению алгоритмической базы релейной защиты и направленному на разработку защиты объектов линий электропередачи (ЛЭП) нетипичной конфигурации. В соответствии с концепцией развития электроэнергетической системы России на ряде ЛЭП планируется установка устройств продольной компенсации (УПК). Несмотря на преимущества, внедрению УПК сопутствует ряд проблем. Основными из них являются рентабельность внедрения, возникающие перенапряжения, а также проблемы функционирования устройств релейной защиты и автоматики (РЗА). На экономическую целесообразность напрямую влияет срок окупаемости проекта, который в свою очередь, зависит не только от его стоимости, но и от достигаемого экономического эффекта. При этом максимальный теоретический экономический эффект достигается в том случае, когда УПК компенсирует 100 % индуктивного сопротивления линии. На практике этот предел не достигнут, в частности и по выше обозначенным причинам. Следует отметить, что острота проблемы с перенапряжениями, а, следовательно, и стоимость мероприятий по борьбе с ними, тем меньше, чем ниже класс напряжения линии. Так, в отдельных случаях, на линиях классом напряжения 220 кВ при грамотном проектировании в сочетании с современными технологиями и несимметричным расположением УПК, проблемы с перенапряжениями сводятся к минимуму. Но перекрестно встает серьезная проблема функционирования устройств РЗА. Ограничения в их применимости не позволяют работать в режимах высоких степеней

продольной компенсации. Это отражается на рентабельности всего проекта. Указанное свидетельствует, что тема диссертационной работы безусловно является актуальной.

3. Анализ содержания и структуры диссертации

Название и содержание глав диссертационной работы объединены общей целью исследования и направлены на решение ряда задач, связанных с решением проблемы недостаточной чувствительности дифференциальной защиты линии (ДЗЛ) при коротких замыканиях (КЗ) на ЛЭП с продольной компенсацией.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель, определены задачи исследования. Изложены основные положения, выносимые на защиту, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Расписаны апробация результатов исследования, представлены степень достоверности результатов и разработанность данной темы.

В первой главе выполнен обзор литературы по тематике исследования, в том числе:

1. Рассмотрены основные элементы электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью. Показано текущее состояние дел по применению элементов активно-адаптивной сети в ЕЭС России, а также перспективы дальнейшего внедрения этих элементов в ЕЭС России. Показано, что для Российской Федерации одной из наиболее востребованных технологий является компенсация реактивного сопротивления линии.

2. Освещены проблемы функционирования различных видов защиты (токовой, дистанционной, дифференциальной) при применении их на ЛЭП с УПК. Выполнен анализ указанных проблем и их решений. Показано, что существующие научные наработки в основном направлены на совершенствование алгоритмов функционирования защит.

3. Обозначена актуальность совершенствования алгоритмов функционирования ДЗЛ, что связано, прежде всего, с повышением

чувствительности данной защиты при КЗ на ЛЭП с повышенной степенью продольной компенсации.

Во второй главе обосновываются методы исследования, в том числе:

1. Приводятся аналитические выражения, описывающие процессы, возникающие в аварийном режиме на ЛЭП с УПК.

2. Анализируются методы исследования электротехнических комплексов и систем применительно к задачам релейной защиты. Обосновывается перспективность использования метода компьютерного моделирования, обладающего рядом важных достоинств: высокой наглядностью математической модели; динамическим отражением состояний моделируемой системы; возможностью осуществлять анализ и математическое моделирование отдельных компонентов электротехнической системы.

3. Разрабатывается методика компьютерного моделирования электротехнического комплекса ЛЭП с продольной компенсацией для исследования функционирования ДЗЛ в различных режимах.

В третьей главе выполнены исследования системных свойств и связей электротехнического комплекса ЛЭП с продольной компенсацией, влияющих на чувствительность ДЗЛ в аварийном режиме продольно-компенсированной ЛЭП.

В результате исследования влияния степени компенсации УПК на чувствительность ДЗЛ выявлено появление мёртвых зон у ДЗЛ при применении одного УПК со степенью компенсации более 50 %.

В результате исследования влияния расположения точки КЗ на чувствительность ДЗЛ на ЛЭП с УПК показано, что наименьшей чувствительностью ДЗЛ с существующими алгоритмами функционирования обладает при КЗ в непосредственной близости от УПК.

Проведены исследования, доказывающие, что увеличение количества УПК вдоль линии приводит к более равномерному распределению компенсирующей ёмкости, что снижает степень инверсии токов при КЗ, либо полностью исключает её.

Показано, что момент возникновения КЗ больше оказывает влияние на апериодическую составляющую токов КЗ со стороны некомпенсированного участка линии и меньше влияет на апериодическую составляющую токов КЗ со стороны УПК.

В ходе исследования было установлено, что в определённых режимах и направлении активной мощности от УПК к точке КЗ, идентифицировать внутреннее КЗ на линии, оперируя существующими общепринятыми алгоритмами, используемыми ДЗЛ крайне затруднительно, так как дифференциальный ток в этих режимах будет стремиться к малым значениям.

Четвёртая глава посвящена разработке нового алгоритма функционирования ДЗЛ для повышения чувствительности защиты при КЗ на ЛЭП с продольной компенсацией, и включает в себя:

1. Обоснование необходимости совершенствования дифференциальной защиты, установленной на ЛЭП с продольной компенсацией.

2. Описание нового алгоритма функционирования ДЗЛ продольно-компенсированной ЛЭП, основанного на проведении расчётов активной составляющей токов по концам защищаемой линии.

3. Оценку эффективности предложенного алгоритма функционирования ДЗЛ продольно-компенсированной ЛЭП.

Показано, что предлагаемая ДЗЛ обладает более высокими значениями коэффициента чувствительности (≥ 2) в сравнении с ранее известными видами ДЗЛ, что позволяет обеспечить соответствие требованиям, предъявляемым Правилами устройства электроустановок к таким защитам при их установке на ЛЭП с продольной компенсацией.

В заключении сформулированы выводы к диссертационной работе на основные полученных результатов.

В приложениях приведены акты о внедрении результатов работы и свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

4. Обоснованность и достоверность полученных результатов

Соискателем использованы современные известные методы и методики компьютерного моделирования и цифровой обработки сигналов (цифровая фильтрация, спектральный анализ, оконные функции). Адекватность математической модели, используемой при компьютерном моделировании аварийных режимов на ЛЭП с УПК, подтверждается сходимостью полученных результатов с данными аварийных осциллограмм, записанными на действующих энергообъектах с продольной компенсацией отходящих ЛЭП. Результаты достаточно полно опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

5. Новизна научных результатов исследования

Новизна результатов исследования, полученных в диссертационной работе состоит в том, что разработан способ оценки длины участка мёртвой зоны дифференциальной защиты продольно-компенсированной ЛЭП; предложен новый алгоритм ДЗЛ для применения на объектах ЛЭП с продольной компенсацией, основанный на вычислении активной составляющей токов по концам линии; разработана функциональная схема защиты, реализуемая на дифференциальном принципе с контролем дифференциального значения активного тока, которая обладает более высокими значениями коэффициента чувствительности в сравнении с ранее известными видами ДЗЛ.

6. Значимость полученных автором диссертации результатов для развития отрасли

Полученные результаты диссертационной работы имеют существенное значение для практики электротехнических комплексов ЛЭП с УПК и их устройств защиты. Во-первых, представленные теоретическая исследования могут служить основой для принятия решений в части быстродействующей защиты линии с достаточной чувствительностью в условиях внедрения устройств продольной компенсации. Во-вторых, предлагаемая ДЗЛ, позволяет снизить ограничения по степени компенсации продольного сопротивления ЛЭП, что является особо актуальным для нашей страны ввиду большой

протяжённости электрических сетей в России, и должно способствовать повышению рентабельности применения УПК на ЛЭП.

7. Практическая ценность и рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в производственной и инжиниринговой деятельности предприятий, занимающихся разработкой и производством микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики. Следует отметить, что результаты диссертационной работы могут представлять интерес и для специалистов топливно-энергетического комплекса, так как появляется возможность увеличить пропускную способность линий электропередачи, а также открываются перспективы внедрения управляемых устройств продольной компенсации в электрических сетях России.

8. Замечания и пожелания по теме диссертации

1. В гл. 1 при рассмотрении ДФЗ описывается влияние УПК на ДФЗ как на защиту, однако ни слова не говорится о влиянии УПК на ВЧ канал связи, как на основной элемент ДФЗ. Возможны изменения затухания, появления неравномерностей в АЧХ, возникновения паразитных частот и т.п.

2. На стр. 55 сказано, что ток КЗ в начальный момент времени содержит бесконечное число гармоник, что не совсем корректно.

3. В гл. 3 много материала посвящено переходному сопротивлению в месте КЗ и электрической дуге. Отмечено использование модели дуги на основе нелинейной ВАХ, однако ни слова не говорится о параметрах дуги (параметрах ВАХ), что на практике является значительной трудностью. Какие параметры ВАХ были использованы, и как и на основе чего (на основе каких расчетов или справочных данных) они были приняты?

4. Блок-схема алгоритма ДЗЛ на рис. 4.1 является некорректной:

- у блока условного оператора не может быть только один выход;
- на схеме не показан канал обмена информацией;

- алгоритм посвящен вычислению активной составляющей дифференциального тока, при этом ни в тексте описания ни на самой блок-схеме нет алгоритма вычисления этого тока. Какой смысл несет блок-схема, если основной блок показан в виде «черного ящика»? Этот вопрос относится и ко всему исследованию, так как он связан с целями и задачами исследования.

5. На стр. 95 написано: «Так как ток короткого замыкания, в частности активная составляющая, в ряде случаев характеризуется малыми значениями, для обеспечения погрешности по дифференциальному значению активных токов в пределах 20 % во всём диапазоне возможных режимов ЛЭП, в каждом из полуккомплектов производится ограничение рассчитанных значений активного тока.» Каким образом ограничение тока плеча ограничивает погрешность дифференциального тока в заданных пределах?

6. В диссертационной работе сказано, что « ... для правильной работы описанного в разделе 4.2 и 4.3 алгоритма защиты компенсированной линии электропередачи, вычисляющей активную составляющую тока повреждения, также необходимо использование трансформаторов тока без насыщения» (стр. 100), тем самым был исключён из рассмотрения огромный ряд основополагающих вопросов, касающихся любых дифференциальных защит. При этом далее в расчётных формулах присутствует такой параметр, как погрешность переходного режима. Как эти два факта между собой согласуются, и почему не рассматривался вопрос насыщения ТТ в условиях повышенных токов КЗ?

Отмеченные недостатки существенно не влияют на положительную оценку диссертации.

Заключение

В целом диссертация представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные соискателем, позволяют квалифицировать их как самостоятельное решение задачи, имеющей существенное значение для

практики в области разработки алгоритмов функционирования дифференциальной защиты. Результаты и выводы, полученные с использованием современных методов моделирования, являются достоверными и достаточно обоснованными.

По глубине проработки вопросов, их практической значимости работа соответствует критериям установленным «Положением о присуждении ученых степеней», в т.ч. пунктов 9-11, 13-14, а её автор Новокрещенов Виталий Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы.

Диссертационная работа, автореферат Новокрещенова Виталия Викторовича и основные пункты отзыва обсуждены на семинар-совещании департамента систем релейной защиты и автоматики ООО НПП «ЭКРА», протокол №1 от 18.06.2026.

Директор департамента систем релейной защиты и автоматики - Директор по науке, к.т.н, старший научный сотрудник

Николай Анатольевич Дони

*подпись Дони Николая Анатольевича заверяю
руководитель группы кадрового учета по Карякову А.В.*

Руководитель группы научного сопровождения продукции департамента систем релейной защиты и автоматики, к.т.н.

Анатолий Владимирович Бычков

*подпись Бычкова Анатолия Владимировича заверяю,
руководитель группы кадрового учета по Карякову А.В.*

Общество с ограниченной ответственностью
научно-производственное предприятие «ЭКРА»

Россия, 428020, Чувашская Республика, г. Чебоксары, пр. И.Я. Яковлева, д. 3

Телефон: (8352) 22-01-10; факс: (8352) 57-00-35

E-mail: ekra@ekra.ru;

Web-сайт: <http://www.ekra.ru/>

