



КГЭУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и
коммерциализации

Ившин И.В.

«26» декабря 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

Диссертация «Дифференциальная защита с повышенной чувствительностью при коротких замыканиях на линиях электропередачи с продольной компенсацией» выполнена на кафедре «Электроснабжение промышленных предприятий».

В 2007 году Новокрещенов Виталий Викторович окончил ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», получив степень бакалавра техники и технологии по направлению «Электроэнергетика».

В 2009 году Новокрещенов Виталий Викторович окончил ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», получив степень магистра техники и технологии по направлению «Электроэнергетика».

В 2023 году окончил заочную аспирантуру ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» по направлению 13.06.01 Электро- и теплотехника и получил диплом №101618 1306169 от 3 августа 2023 г.

Научный руководитель — Иванов Игорь Юрьевич, кандидат технических наук, ведущий эксперт Службы релейной защиты и автоматики Филиала АО «СО ЕЭС» «Региональное диспетчерское управление энергосистемы Республики Татарстан».

Диссертационная работа Новокрещенова Виталия Викторовича «Дифференциальная защита с повышенной чувствительностью при коротких замыканиях на линиях электропередачи с продольной компенсацией»

обсуждалась на расширенном заседании кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий». По итогам обсуждения принято следующее заключение.

1. Актуальность

Согласно принципам построения интеллектуальной электроэнергетической системы с активно адаптивной сетью (ИЭС ААС), ключевым способом оптимизации работы электросетей Единой энергетической системы России выступает интеграция в сеть активных компонентов на основе силовой электроники. Эти компоненты обеспечивают возможность динамической регулировки параметров электрической сети.

В то время как зарубежные страны активно используют различные FACTS-технологии (управляемые системы электропередачи переменного тока), специфика Российской энергосистемы, обусловленная обширными расстояниями между объектами электросетевого комплекса, определяет особую актуальность применения устройств продольной компенсации (УПК). Внедрение УПК на линиях электропередачи (ЛЭП) даёт целый ряд существенных преимуществ: существенное увеличение пропускной способности ЛЭП благодаря компенсации индуктивного сопротивления, улучшение статической и динамической устойчивости энергосистемы за счёт подавления электромеханических колебаний, возможность эффективного управления потоками активной мощности в параллельных ЛЭП. Несмотря на очевидные преимущества УПК, их практическое применение требует тщательной проработки вопросов адаптации функционирования систем защиты. Это связано как с переменным характером параметров защищаемого объекта, так и со спецификой работы продольно-компенсированных ЛЭП при степени компенсации реактивного сопротивления ЛЭП более 50 %, связанной с появлением явлений инверсий токов, напряжений, низкочастотных колебаний при коротких замыканиях (КЗ).

На сегодняшний день большинство исследований в области адаптации алгоритмов функционирования устройств защиты продольно компенсированных ЛЭП сосредоточено на совершенствовании алгоритмов работы дистанционной защиты. Однако остаётся нерешённой важная проблема: дифференциальная защита линий (ДЗЛ) демонстрирует недостаточную чувствительность при КЗ на ЛЭП, особенно в условиях повышенной компенсации.

С учётом сказанного выше, повышение чувствительности дифференциальной защиты при КЗ на ЛЭП с продольной компенсацией представляет собой значимую и актуальную научно техническую задачу.

2. Научная новизна результатов работы

1. Предложен способ оценки длины участка мёртвой зоны дифференциальной защиты продольно-компенсированной ЛЭП, основанный на проведении расчётов угла сдвига между векторами токов одноименных фаз по разным концам ЛЭП в зависимости от локации точки КЗ и степени продольной компенсации.

2. Получены результаты компьютерных экспериментов по оценке влияния величины падения напряжения в точке КЗ на снижение дифференциального тока ДЗЛ продольно-компенсированной ЛЭП, а также результаты исследования переходных и установившихся режимов КЗ на ЛЭП с продольной компенсацией, подтверждающие, что УПК влияют на снижение коэффициента чувствительности ДЗЛ только в установившихся режимах КЗ.

3. Предложен новый алгоритм функционирования ДЗЛ продольно-компенсированной ЛЭП, основанный на проведении расчётов активной составляющей токов по концам защищаемой ЛЭП. Контроль дифференциального значения активного тока позволяет обнаруживать КЗ на ЛЭП даже в режимах инверсии полного тока на одном из концов защищаемого участка.

4. Разработана функциональная схема защиты, реализуемая на дифференциальном принципе с контролем дифференциального значения активного тока. 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.

3. Научная и практическая значимость результатов

Предлагаемая ДЗЛ с контролем дифференциального значения активного тока:

1. Позволяет выполнить быстродействующую защиту линии, правильно функционирующую при всех видах КЗ на защищаемой ЛЭП с продольной компенсацией. Максимальное собственное время срабатывания предлагаемого алгоритма ДЗЛ при внутренних КЗ не превышает 25 мс.

2. Исключает наличие мёртвой зоны ДЗЛ на ЛЭП со степенью продольной компенсации более 50 %. Тем самым снимаются ограничения по степени компенсации продольного сопротивления ЛЭП, что является особо актуальным для нашей страны ввиду большой протяжённости электрических сетей.

3. Открывает перспективы внедрения управляемых УПК в составе активно-адаптивной электрической сети России. На ЛЭП с большим соотношением активного сопротивления провода к индуктивному, использование неуправляемых УПК является экономически

нецелесообразным: одиночное неуправляемое УПК не обеспечивает существенное увеличение пропускной способности, использование двух УПК (одно из которых управляемое), приводит к снижению коэффициента чувствительности ДЗЛ ниже допустимого, что вынуждает эксплуатировать УПК в режиме существенной недокомпенсации, что тоже значительно удлинит срок окупаемости УПК.

4. Личное участие автора в получении результатов научных исследований, изложенных в диссертации

Результаты, представленные в диссертации и отраженные в публикациях, получены при непосредственном участии соискателя. Автор принимал участие в разработке алгоритма функционирования продольной дифференциальной защиты линии, основанный на сравнении значений активных токов. Автор принимал участие в обработке экспериментальных данных, обсуждении результатов, написания статей и представлении докладов на конференциях, под руководством к.т.н., доцента Иванова Игоря Юрьевича

5. Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность и обоснованность результатов исследования подтверждается корректностью поставленных задач, обоснованностью принятых допущений, корректным применением апробированных математических методов, полученные результаты не противоречат известным решениям других исследователей, а также экспериментальным подтверждением основных теоретических выводов при достаточном для инженерной практики совпадении результатов теории и физического эксперимента.

6. Соответствие диссертации научной специальности

Тема диссертационного исследования соответствует следующим пунктам паспорта 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 промышленного назначения»;

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

7. Полнота изложения результатов диссертации в работах, опубликованных автором

По результатам исследований опубликовано 13 научных работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень рекомендуемых изданий ВАК РФ, 1 статья в журналах, входящих в международные системы цитирования (Scopus), 4 статьи в сборнике трудов, индексируемом в РИНЦ, 4 тезиса конференций. Имеется 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Научная статья, опубликованная в международной базе цитирования SCOPUS

1. I. Yu. Ivanov, V. R. Ivanova and V. V. Novokreshenov, "Investigation of System Properties and Connections of Electrical Engineering Systems for Assessment of Selectivity of Power Line Differential Protection with a Series Compensation Device," 2022 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), Magnitogorsk, Russian Federation, 2022, pp. 423-429, doi: 10.1109/UralCon54942.2022.9906681. (вклад соискателя — 20%).

Статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России по группе научных специальностей диссертации:

2. Иванов И.Ю., Новокрещенов В.В., Иванова В.Р. Моделирование участка электрической сети с устройством продольной компенсации для исследования параметров, влияющих на чувствительность дифференциальной защиты // Вестник ИГЭУ. – 2025. – №. 4. – С. 57-65. DOI: 10.17588/2072-2672.2025.4.057-065. (вклад соискателя — 70%)

3. Иванов И.Ю., Новокрещенов В.В., Иванова В.Р. Современное состояние проблем функционирования комплексов релейной защиты и автоматики, применяемых в активно-адаптивной сети // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022. Т.24. № 6. С. 102-123. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-6-102-123. (вклад соискателя — 80%)

4. Иванов И.Ю., Новокрещенов В.В. Оценка селективности дифференциальной защиты линии электропередачи напряжением 220 кВ с устройством продольной компенсации // Изв. вузов. Электромеханика. 2023. Т. 66. № 2. С. 68-75. <https://doi.org/10.17213/0136-3360-2023-2-68-75>. (вклад соискателя — 90%)

5. Иванов И.Ю., Новокрещенов В.В., Иванова В.Р. Защита с повышенной чувствительностью при коротких замыканиях на линиях электропередачи 220 кВ с произвольной степенью продольной компенсации // Релейная защита и автоматизация. 2024. № 01 (54). С. 16-23. (вклад соискателя — 50%)

Статьи в рецензируемых научных изданиях РИНЦ по группе научных специальностей диссертации:

6. Иванова В.Р., Новокрещенов В.В. «Исследование функциональных возможностей систем релейной защиты и автоматики для применения их в интеллектуальных энергосистемах с активно-адаптивной сетью» // Материалы IV Национальной научно-практической конференции «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве», Казань 6-7 декабря 2018 г. - с. 138-140. (вклад соискателя — 50%)

7. Новокрещенов В.В., Иванова В.Р. «Обзор современных устройств релейной защиты и автоматики и измерительных преобразователей, используемых при модернизации электротехнических комплексов и систем». // Материалы XIV Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения», Казань 23-26 апреля 2019 г. том I, – с. 81-85. (вклад соискателя — 50%)

8. Новокрещенов В.В., Иванова В.Р. «Обзор устройств релейной защиты и автоматики и измерительных преобразователей электрического тока, применяемых при проектировании интеллектуальных и активно-адаптивных сетей». // Сборник трудов V Всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов «Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов (ЭЭПП-2019)», Тольятти 12 — 13 ноября 2019 г. – с. 313-317. (вклад соискателя — 60%)

9. Иванова В.Р., Новокрещенов В.В., Семенова О.Д. «Анализ основных элементов интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью». // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники», Казань, 20-21 марта 2019 г. – с. 12-16. (вклад соискателя — 33%)

10. Иванов И.Ю., Новокрещенов В.В. «Защита линии электропередачи с любой степенью продольной компенсации». // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники», Казань 18–19 марта 2020 г. - с. 54-59. (вклад соискателя — 70%)

11. Новокрещенов В. В. «Алгоритм защиты линии электропередачи с продольной компенсацией» // В сборнике материалов Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения - 2020 "Энергетика и цифровая трансформация"», Казань, 28-29 апреля 2020 г. – с. 416-419.

12. Новокрещенов В.В., Иванов И. Ю. «Моделирование линий электропередачи с устройством продольной компенсации» // Сборник докладов 51-й Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для молодёжи «Фёдоровские чтения - 2021», Москва, 17-19 ноября 2021 г. – с. 218-224. (вклад соискателя — 90%)

13. Новокрещенов В. В. «Компьютерное моделирование аварийных режимов на линиях электропередачи с устройством продольной компенсации» // В сборнике материалов Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения - 2022 "Энергетика и цифровая трансформация"», Казань, 27-29 апреля 2022 г. – с. 428-430.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:

14. Свидетельство № 2022612490 Рос. Федерация. Программа для реализации алгоритма защиты ЛЭП с произвольной степенью продольной компенсации. /Иванов Игорь Юрьевич (RU), Новокрещенов Виталий Викторович (RU), Иванова Виля Равильевна. — № 2022612490; заявл. 26.01.2022; зарегистр. 28.02.2022; опубл. 11.03.2022. — 1 с. (вклад соискателя — 40%)

Все основные положения и результаты, выносимые на защиту, отражены в публикациях автора: по главе 1 – в [3, 6, 7, 8, 9], по главе 2 – в [2, 12], по главе 3 – в [1, 4, 13], по главе 4 – в [5, 10, 11].

В диссертационной работе не выявлено использования материалов или отдельных результатов без ссылок на автора или источник заимствования, включая работы, выполненных соискателем лично и/или в соавторстве.

8. Апробация работы

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных и научно-технических конференциях: Приборостроение и автоматизированный электропривод в ТЭК и ЖКХ, IV Национальная научно-практическая конференция (Казань, 6-7 декабря 2018 г.); Тинчуринские чтения, XIV Международная молодёжная научная конференция (Казань, 23-26 апреля 2019 г.); Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов, V Всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов (Тольятти, 12-13 ноября 2019 г.); XXIV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвящённый дню энергетика (Казань, 8-9 декабря 2020 г.); Устойчивая энергетика и энергомашиностроение – 2021: SUSE–2021, Международный симпозиум (Казань, 18-20 февраля 2021 г.); Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники, III Всероссийская научно-практическая конференция (Казань, 17-18 марта 2021 г.); Системные исследования в энергетике – 2021, Всероссийская молодёжная конференция с международным участием (Иркутск, 25 — 28 мая 2021 г.); Фёдоровские чтения – 2021, 51-я Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы для молодёжи (Москва, 16-18 ноября 2021 г.); Энергетика и цифровая трансформация, Международная молодёжная научная конференция Тинчуринские чтения – 2022 (Казань, 27-

29 апреля 2022 г.); Электротехнические комплексы и системы, Международная научно-техническая конференция (Челябинск, 23-25 сентября 2022 г.).

9. Ценность научных работ соискателя

1. Повышение надежности и селективности защиты. Разработанный метод оценки протяженности мертвой зоны, учитывающий угол сдвига между векторами токов, позволяет еще на этапе проектирования точно определять «слепые» участки дифференциальной защиты линии. Это исключает отказы защиты на линиях с продольной компенсацией, повышая устойчивость энергосистемы.

2. Углубление теории функционирования релейной защиты. Выявлены факторы, влияющие на значение дифференциального тока во время короткого замыкания на линии содержащей устройства продольной компенсации: уровень продольной компенсации, расположение короткого замыкания, число УПК на линии электропередачи, величина транспортного угла, переходное сопротивление в зоне повреждения, характер распределения напряжения по длине линии электропередачи.

3. Решение проблемы инверсии тока. Ценность предложенного алгоритма расчета активной составляющей токов заключается в преодолении критического недостатка классических дифференциальных защит линии. Алгоритм гарантирует надежное выявление коротких замыканий даже при инверсии фазы тока на одном из концов ЛЭП.

4. Соблюдение нормативов. Разработанная функциональная схема с контролем активного тока является не теоретической абстракцией, а готовым техническим решением. Её основная эксплуатационная ценность — достижение коэффициента чувствительности не ниже 2, что напрямую обеспечивает выполнение жестких требований Правил устройства электроустановок и позволяет устанавливать такую защиту на объектах с УПК без дополнительных мер доработки.

10. Характер результатов

Характер результатов диссертации соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней ВАК Министерства образования и науки РФ.

11. ВЫВОДЫ

Диссертация Новокрещенова Виталия Викторовича «Дифференциальная защита с повышенной чувствительностью при коротких замыканиях на линиях электропередачи с продольной компенсацией» является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой содержится

решение задачи повышения чувствительности дифференциальной защиты продольно компенсированной линии электропередачи. Диссертация обобщает самостоятельные исследования автора, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые на защиту, свидетельствует о личном вкладе автора в науку. При выполнении диссертационной работы Новокрещенов В.В. проявил себя зрелым научным работником, способным ставить и решать сложные теоретические и практические задачи.

Работа соответствует критериям п. 9 — 14 Положения о присуждении ученых степеней, принятого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Диссертация «Дифференциальная защита с повышенной чувствительностью при коротких замыканиях на линиях электропередачи с продольной компенсацией» Новокрещенова Виталия Викторовича рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. — Электротехнические комплексы и системы.

Заключение принято на заседании кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет».

Присутствовало на заседании 23 чел. Результаты голосования: «за» — 23 чел., «против» — 0 чел., «воздержалось» — 0 чел., протокол № 20 от «10» декабря 2025 г.

Петров Тимур Игоревич,
канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой
«Электроснабжение промышленных
предприятий» ФГБОУ ВО «КГЭУ»,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», 420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, 51.

Тел. (843)519-42-73, e-mail: epp.kgeu@mail.ru

Сведения о лице, утвердившем заключение:

Ившин Игорь Владимирович: доктор технических наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», проректор по науке и коммерциализации, 420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, 51.
Тел. (843)519-43-72, e-mail: ivshin.iv@kgeu.ru

9



Handwritten signature in blue ink: И.И. Кадырханов