

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, доцента,
Завьялова Валерия Михайловича на диссертацию Брамма Андрея Михайловича
«Система бесконтактного контроля функционирования воздушных линий электропередачи
6–10 кВ на основе анализа электрического и магнитного полей», представленную на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

Общая характеристика диссертационной работы: Диссертационная работа Брамма Андрея Михайловича посвящена разработке системы бесконтактного контроля функционирования воздушных линий электропередачи (ВЛ) 6–10 кВ на основе регистрации и анализа электрического и магнитного полей. Работа выполнена в рамках научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы и направлена на решение актуальной научно-технической задачи, связанной с повышением наблюдаемости и контроля функционирования компонентов распределительных электрических сетей среднего напряжения.

Работа имеет завершенную структуру и включает введение, четыре главы, заключение, список использованных источников и приложения. В диссертации последовательно рассмотрены: состояние проблемы контроля функционирования ВЛ 6–10 кВ; физико-математические модели формирования сигналов бесконтактных датчиков; методы спектральной обработки сигналов; структура аппаратно-программной системы; результаты исследований.

Актуальность и научно-техническая значимость темы: Распределительные сети 6–10 кВ характеризуются значительной протяженностью, разветвленной структурой, большим числом ответвлений, неоднородностью нагрузок. При этом именно ВЛ 6–10 кВ часто являются наиболее уязвимыми элементами распределительной сети, поскольку подвержены воздействию климатических факторов, однофазных замыканий на землю, несимметричных и неполнофазных режимов. Разработка новых, простых в установке технических средств, позволяющих оперативно определять аномальные режимы работы участков сети, позволит сократить время устранения аварий, обеспечивая гарантированное электроснабжение потребителей, что определяет актуальность представленного диссертационного исследования.

Существующие контактные средства измерения токов и напряжений, включая трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, реклоузеры с встроенными измерительными приборами и индикаторы короткого замыкания обладают высокой измерительной определенностью, но их применение ограничено требованиями к монтажу, подключению, размещению на токоведущих частях либо привязкой к конкретным узловым точкам сети. Для ВЛ 6–10 кВ этого часто недостаточно, поскольку эксплуатационная задача состоит не только в точном измерении параметров в одной точке, но и в создании распределенной системы наблюдения за изменениями режима.

В этом отношении сильной стороной диссертации является переход от задачи прямого измерения токов и напряжений к задаче контроля функционирования линии по косвенным, но физически обусловленным сигналам электрического и магнитного полей. Такой подход позволяет рассматривать бесконтактные датчики как элемент диагностической подсистемы электротехнического комплекса, а не только как измерительные преобразователи.

Особую значимость имеет то, что автор не ограничивается регистрацией сигналов, а решает полный цикл задачи: от физического описания формирования сигналов до разработки алгоритма детектирования момента изменения режима, расчета диагностических признаков и классификации повреждений. Это придает работе системный характер и отличает ее от

исследований, ориентированных только на отдельный измерительный принцип или отдельный алгоритм классификации.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности: Содержание диссертации соответствует научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы, область науки – технические науки.

Наиболее полно работа соответствует п. 1 и п. 4 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».

Данный пункт отражен в разработке физико-математических моделей формирования сигналов бесконтактных индуктивных и емкостных датчиков под действием магнитного и электрического полей ВЛ 6–10 кВ.

п. 4 «Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов, систем и их компонентов в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях, диагностика электротехнических комплексов».

Этот пункт является базовым для диссертации, поскольку основная цель работы связана с контролем функционирования ВЛ 6–10 кВ и диагностической интерпретацией изменений режима по данным бесконтактных датчиков.

Диссертационная работа не выходит в область общей электроэнергетики в отрыве от специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы, а рассматривает ВЛ 6–10 кВ как компонент электротехнического комплекса, для которого разработана специализированная диагностическая система.

Методы исследования: Научная идея диссертации состоит в том, что изменение режима ВЛ 6–10 кВ может быть выявлено и классифицировано не только по традиционным контактным измерениям токов и напряжений, но и по сигналам бесконтактных датчиков электрического и магнитного полей при условии предварительного выделения устойчивых диагностических признаков. Данная идея методически реализована логично и последовательно.

Сначала автор обосновывает применимость квазистатического приближения для анализа электрического и магнитного полей ВЛ 6–10 кВ в ближней зоне. Далее рассматривается формирование сигналов индуктивных и емкостных датчиков с учетом геометрии подвеса проводов, пространственного положения датчиков, ориентации чувствительных осей и суперпозиции полей трех фаз. На основании этого делается важный вывод: сигналы бесконтактных датчиков не могут непосредственно трактоваться как токи и напряжения фаз, поскольку они зависят не только от режима линии, но и от условий установки и геометрии объекта.

Указанный вывод является принципиальным для всей работы. Он показывает, что основная задача заключается не в прямом восстановлении режимных параметров, а в построении диагностических признаков, устойчивых к части внешних и установочных факторов. Для этого автор использует спектральные характеристики сигналов, включая изменения амплитуды и фазы основной гармоники, коэффициента нелинейных искажений, содержания четных и нечетных высших гармоник.

Научная новизна полученных результатов: К основным результатам диссертационной работы, обладающим признаками научной новизны, следует отнести следующие.

1. Разработан алгоритм определения момента изменения режима ВЛ 6–10 кВ по сигналам бесконтактных индуктивных и емкостных датчиков. Отличительной особенностью алгоритма является использование изменения энергии основной гармонической составляющей

суммарного сигнала группы датчиков в скользящем временном окне на основе кратковременного преобразования Фурье.

2. Предложен состав спектральных диагностических признаков, позволяющий формализовать изменение режима ВЛ 6–10 кВ по сигналам бесконтактных датчиков. Вектор признаков включает относительные изменения амплитуды основной гармоники, фазового сдвига, коэффициента нелинейных искажений, а также содержания четных и нечетных высших гармонических составляющих.

3. Разработана структура системы бесконтактного контроля функционирования ВЛ 6–10 кВ, основанная на совместной обработке сигналов индуктивного и емкостного каналов. Важным является то, что в системе объединены два физических источника информации – датчики магнитного и электрического поля, что повышает информативность анализа по сравнению с использованием одного типа датчиков.

Научная новизна работы состоит не в использовании самих по себе известных преобразований Фурье или моделей машинного обучения, а в их обоснованном применении в составе единой системы бесконтактного контроля, построенной с учетом физики формирования сигналов датчиков и диагностических задач ВЛ 6–10 кВ.

Практическая значимость и использование результатов диссертационной работы: Практическая значимость диссертации заключается в возможности применения разработанной системы для повышения наблюдаемости ВЛ 6–10 кВ без непосредственного подключения к токоведущим частям и без вывода линии из эксплуатации. Это особенно важно для распределительных сетей, где установка традиционных измерительных устройств во всех необходимых точках может быть технически, организационно или экономически затруднена.

Практически ценным является то, что предложенная система ориентирована на обработку сигналов. Она не ограничивается накоплением осциллограмм, а выполняет определение момента изменения режима, расчет диагностических признаков и классификацию события. Это позволяет рассматривать результаты работы как основу для создания прикладных средств мониторинга и диагностики распределительных сетей.

Значимым является и то, что автором выполнена экспериментальная проверка предложенных решений. В диссертации приведены результаты тестирования алгоритмов на модельных сигналах, лабораторных экспериментов и испытаний на находящейся в эксплуатации ВЛ 10 кВ. Наличие апробации в условиях реальной эксплуатации повышает практическую ценность работы, поскольку подтверждает применимость предложенного подхода не только в расчетной или лабораторной постановке, но и в условиях реального объекта.

Результаты диссертационного исследования внедрены в ООО «Система» и используются в учебном процессе ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

Обоснованность и достоверность результатов: Обоснованность научных положений диссертации обеспечивается применением известных физических законов, включая закон Био-Савара-Лапласа, закон электромагнитной индукции Фарадея и метод зеркальных отражений, а также корректным использованием квазистатического приближения для рассматриваемых расстояний и частот.

Достоверность результатов подтверждается следующим:

- Во-первых, автором выполнено математическое и физическое обоснование формирования сигналов бесконтактных датчиков с учетом геометрических и установочных факторов.

- Во-вторых, алгоритмы обработки проверены на модельных сигналах с контролируемыми характеристиками, что позволяет оценить корректность детектирования событий при известных параметрах изменения режима.

– В-третьих, проведены лабораторные исследования и испытания в условиях реальной эксплуатации, включая сопоставление результатов бесконтактной регистрации с данными анализатора качества электрической энергии.

– В-четвертых, результаты классификации представлены количественно – через метрики качества, матрицы ошибок и показатели точности, что позволяет оценить не только качественную, но и численную сторону работоспособности системы.

В целом степень достоверности результатов можно признать достаточной для кандидатской диссертации по научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Вопросы и замечания по содержанию диссертационной работы:

1. Показания индуктивного и емкостного датчика будут сильно зависеть от их расположения относительно линии электропередач, в частности от расстояния до линии и симметрии относительно фаз. Целесообразно разработать рекомендации по месту установки разрабатываемой системы. Помимо этого, целесообразно провести исследования на допустимый уровень напряженности электрического и магнитного полей от внешних источников, превышение которых может исказить интерпретацию обработки полезного сигнала.

2. В уравнении определения порогового значения изменения энергии основной гармонической составляющей сигнала (44), стр. 67, присутствует коэффициент чувствительности. Не понятно, из каких соображений выбиралась его величина, и почему для емкостных и индуктивных датчиков он разный.

3. При формировании диагностических признаков используются изменения спектральных характеристик до и после события. Следовало бы подробнее пояснить, как выбирается длительность анализируемых окон и насколько чувствительны результаты классификации к изменению этого параметра при разных частотах дискретизации.

4. В качестве модели классификации применено неглубокое дерево решений, что обеспечивает интерпретируемость результата. Вместе с тем в работе было бы полезно подробнее раскрыть, каким образом выбирался баланс между интерпретируемостью и точностью классификации, особенно с учетом возможности применения ансамблевых моделей.

5. В работе приведены результаты классификации для ограниченного набора состояний, включая нормальный режим и ОЗЗ до/после точки установки датчиков. Возникает вопрос о масштабируемости предложенного подхода: какие классы событий могут быть добавлены в дальнейшем без принципиального изменения структуры алгоритма?

6. В диссертации обоснована возможность размещения бесконтактных датчиков в различных контролируемых точках распределительной сети. Однако недостаточно подробно рассмотрен вопрос выбора рационального числа и мест установки терминалов для обеспечения требуемой наблюдаемости распределительных сетей 6–10 кВ.

Указанные вопросы и замечания носят уточняющий характер, направлены на развитие результатов исследования и не снижают научной и практической значимости диссертационной работы.

Оценка автореферата и публикаций: Автореферат в достаточной степени отражает содержание диссертации, основные научные положения, выносимые на защиту, научную новизну, практическую значимость, результаты апробации и внедрения. Основные положения диссертационной работы опубликованы в научных изданиях, включая издания, определенные ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, а также представлены на научных конференциях.

Публикационная активность автора соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук. Наличие

свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ дополнительно подтверждает прикладную направленность исследования.

Закключение: Диссертация Брамма Андрея Михайловича «Система бесконтактного контроля функционирования воздушных линий электропередачи 6–10 кВ на основе анализа электрического и магнитного полей» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научно-техническая задача, имеющая значение для развития методов контроля функционирования и диагностики компонентов электротехнических комплексов и систем.

Работа содержит новые научные результаты, связанные с моделированием формирования сигналов бесконтактных датчиков, разработкой диагностических признаков, алгоритмом определения момента изменения режима и структурой системы бесконтактного контроля ВЛ 6–10 кВ.

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы, в том числе пунктам 1 и 4 паспорта специальности, и отрасли науки, по которой она представлена к защите, – технические науки.

По актуальности, научной новизне, обоснованности, достоверности и практической значимости диссертационная работа соответствует требованиям п. 9–14 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а ее автор, Брамм Андрей Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры «Электроэнергетика»
Севастопольского государственного университета



Завьялов
Валерий
Михайлович

Подпись Завьялова В.М. заверяю:
Ученый секретарь СевГУ




Мирянова В.Н.

«22» мая 2026

Сведения об оппоненте:

Телефон: +7(900) 

Адрес электронной почты: VMZavyalov@sevsu.ru.

Полное наименование организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет».

Почтовый адрес организации: 299053, Российская Федерация, г. Севастополь, ул. Университетская, 33.