

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Осипова Дмитрия Сергеевича

на тему «Модели и методы вейвлет анализа несинусоидальных нестационарных режимов электрических сетей 0,4–110 кВ», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»

1. Актуальность темы исследования и её связь с запросами практики

Непрерывный рост установленной мощности нелинейных и резкопеременных нагрузок приводит к увеличению уровня технических потерь в электрических сетях. Особенно значительное влияние на снижение энергоэффективности режимов электрических сетей оказывает несинусоидальность напряжения, которая обусловлена интенсивным внедрением различного рода нелинейных нагрузок (частотно-регулируемый электропривод, вентильные преобразователи, дуговые сталеплавильные печи, светодиодные источники света, импульсные блоки питания, тяговые нагрузки железных дорог и др.). Искажение синусоидальности формы напряжения возникает не только у потребителя, но и во внешней сети, что приводит к возникновению дополнительных потерь, снижению коэффициента мощности, увеличению нагрева электрооборудования, ускоренному старению изоляции трансформаторов и т.д. Задачи обеспечения качества электроэнергии и создания программно-аппаратных комплексов управления качеством электроэнергии входят в перечень приоритетных направлений технологического и инновационного развития электроэнергетических систем. Разработанные в диссертации Осипова Д.С. модели и методы вейвлет анализа электроэнергетических систем позволяют заложить теоретическую основу для развития цифрового анализа нормальных и аварийных режимов электрических сетей при отклонении показателей качества электроэнергии от действующих нормативов.

Исходя из поставленных целей и решения приведенных задач, диссертационная работа Осипова Д.С., посвященная развитию теории и практики гармонического анализа нестационарных несинусоидальных режимов с помощью теории вейвлетов, является актуальной.

2. Анализ содержания диссертации и автореферата и их соответствия установленным требованиям

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Омский государственный технический университет». Работа состоит из введения, шести

глав, заключения, списка литературы, включающего в себя 353 библиографических ссылки и двух приложений. Диссертация изложена на 305 страницах машинописного текста, содержит 144 рисунка и 10 таблиц.

Во введении обосновывается актуальность проведенных в диссертации исследований, выбраны объект и предмет исследования. Сформулированы цели и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость. Перечислены положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации представлены основные элементы теории вейвлет преобразования и приводится обоснование перспективы применения данной теории при анализе режимов электрических сетей. Сформулированы основные теоретические положения непрерывного и дискретного вейвлет преобразования в сфере применимости для анализа нестационарных режимов электрических сетей.

Во второй главе сформулирован критерий выбора вейвлет функции для анализа качества электрической энергии на соответствие требованиям ГОСТ 32144–2013. Представлены разработанные рекурсивные алгоритмы расчета переходных процессов в электрических сетях 0,4–110 кВ и в цепях постоянного тока. Разработан метод расчета интегральных характеристик режимов электрических сетей с помощью теории вейвлетов. Разработана методика вейвлет разложения исследуемого сигнала, характеризующего режим работы электрической сети, представлена методика сжатия потока информации для реализации технологии «Цифровая подстанция».

В третьей главе разработан метод расчета активной, реактивной (по Фризе) и полной мощности при несинусоидальных нестационарных режимах электрических сетей. Доказано качественное совпадение результатов имитационного моделирования и данных, полученных в ходе физических измерений показателей качества электроэнергии с применением сертифицированного оборудования. Представлена методика идентификации и анализа интергармоник в электрических сетях с применением алгоритмов пакетного вейвлет преобразования.

В четвертой главе разработан алгоритм защиты и сигнализации при однофазных замыканиях на землю в сетях 6–35 кВ с компенсированной нейтралью для цифровых устройств релейной защиты относительного замера высших гармоник. Представлена методика программной фильтрации высокочастотных составляющих тока замыкания на землю, что повышает чувствительность максимальных адмитансных защит. Разработан способ управления дугогасящим реактором для компенсации ёмкостных токов замыкания на землю на основе определения частоты свободных колебаний

контура нулевой последовательности с помощью дискретного вейвлет преобразования.

В пятой главе производится разработка метода и алгоритма расчета дополнительных потерь в токоведущих частях при несинусоидальных нестационарных режимах электрических сетей с учетом зависимости сопротивления от фактической температуры жилы.

Шестая глава посвящена разработке теоретических положений анализа динамической устойчивости узла нагрузок (самозапуска асинхронных двигателей) при несинусоидальных режимах электрических сетей. Представлены результаты проведения активного эксперимента по определению статических характеристик узлов электрических нагрузок. Представлены результаты анализа резонансных режимов в электрических сетях.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты по диссертационной работе.

Приложения содержат акты внедрения результатов, полученных автором, патент и свидетельства о регистрации электронных ресурсов.

Автореферат в целом достаточно полно отражает выполненные исследования и полученные результаты. В диссертации подробно раскрыты положения, вынесенные на защиту, предложенные решения новы и хорошо аргументированы. Структура диссертации обладает внутренним единством, текст написан грамотным языком и качественно оформлен.

3. Соответствие работы паспорту специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

На основании анализа содержания диссертационной работы можно сделать вывод, что диссертация соответствует п. 6 «Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике», п. 7 «Разработка методов расчета установившихся режимов, переходных процессов и устойчивости электроэнергетических систем», и п. 12 «Разработка методов контроля и анализа качества электроэнергии и мер по его обеспечению» паспорта специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

4. Научная новизна результатов и выводов, сформулированных в диссертации

Научная новизна основных положений и результатов работы заключается в следующем:

1. Предложен практический критерий выбора оптимального типа вейвлет функции для расчета и анализа несинусоидальных режимов электрических сетей 0,4–110 кВ. Предложена идея совмещения полосы пропускания вейвлет фильтра с

шириной гармонической (интергармонической) группы, установленной действующим ГОСТ 30804.4.7–2013.

2. Разработаны методы анализа качества электроэнергии с применением алгоритмов непрерывного, дискретного и пакетного вейвлет преобразования. Представлены методы расчета действующих значений токов и напряжений отдельных гармоник при нестационарных режимах работы электрических сетей. Для каждой частоты предложенный метод позволяет определить активную, реактивную мощность и мощность искажения. Подтверждена эффективность применения вейвлет преобразования для сжатия потока оцифрованных данных, характеризующих режим работы электроэнергетической системы.

3. Предложена методика численного расчета переходных процессов в электрических цепях. Предложенный метод позволяет по известному ряду коэффициентов дискретного вейвлет преобразования вынуждающей силы (напряжения, ЭДС) получить дискретные вейвлет коэффициенты тока цепи переходного процесса. Обратное вейвлет преобразование позволяет получить искомую функцию тока в виде матрицы дискретных значений.

4. Предложен нетрадиционный подход для анализа, идентификации интергармоник в электрических сетях 0,4–110 кВ на основе вейвлет преобразования. Разработан алгоритм для расчета дополнительных потерь в токоведущих частях от интергармоник.

5. Практическая значимость работы

1. Разработаны алгоритмы, повышающие точность расчета дополнительных потерь в электрических сетях от высших гармоник и интергармоник с учетом фактического нагрева токоведущих частей. Применение предложенных алгоритмов повысит точность технико-экономической оценки установки в сетях фильтрокомпенсирующих устройств для подавления гармоник.

2. Предложены алгоритмы цифровой фильтрации и сжатия потока данных, характеризующих режим электроэнергетических систем с помощью вейвлет преобразования, что является методической основой для реализации систем непрерывного мониторинга и развития технологии «Цифровая подстанция».

3. Разработан алгоритм определения поврежденного присоединения на основе вейвлет преобразования и способ настройки компенсации ёмкостных токов замыкания на землю в сетях 6–35 кВ с компенсированной нейтралью.

6. Степень достоверности результатов и обоснованности выводов исследования

Достоверность и обоснованность выводов диссертационной работы обеспечивается корректным использованием методов математического

моделирования, теории электромагнитных переходных процессов и устойчивости узлов нагрузки, совпадением результатов моделирования с экспериментальными данными, полученными с использованием сертифицированного оборудования.

7. Рекомендации по использованию результатов

Результаты работы, сформулированные в вынесенных на защиту положениях, могут быть рекомендованы к использованию в электросетевых организациях, на электрических станциях при организации систем мониторинга качества электроэнергии и развития технологии «Цифровая подстанция».

8. Замечания по диссертационной работе

В целом, содержание диссертационной работы Осипова Д.С., её основные положения, выводы и результаты возражений не вызывают. Однако, можно сделать следующие замечания:

1. Во второй главе диссертации произведен анализ эффективности применения вейвлетов для анализа показателей качества электроэнергии. В систему Matlab интегрировано более 50 вейвлет функций. Необходимо пояснить, почему в диссертации рассматривается только 10 функций. Возможно, следовало бы предложить собственную функцию.

2. В главе 2 представлена методика анализа режимов электрических сетей с применением непрерывного вейвлет преобразования. Данный тип вейвлет преобразования является избыточным и не подходящим для систем цифровой обработки сигналов в действующих технических системах.

3. Требуется уточнить целесообразность учета интергармоник при расчете потерь мощности в токоведущих частях. Интергармоники, как показатель качества электроэнергии в действующем ГОСТ 32144–2013 не нормируются, а как показали исследования, амплитуды интергармоник не превышают 3% от основной частоты.

4. Необходимо пояснить производилась ли оценка влияния несинусоидальности напряжения на режимы пуска (самозапуска) асинхронного двигателя при питании узла нагрузки от источника ограниченной мощности (системы с распределенной генерацией, питание от дизель-генератора).

5. В диссертации следует детализировать вопросы применения вейвлет анализа для развития цифровых устройств релейной защиты и автоматики в рамках концепции «цифровая подстанция».

6. В главе 5 фактический нагрев токоведущих частей оценивается только для кабеля и трансформатора. Не учтены дополнительные потери от высших гармоник и температура нагрева обмоток асинхронного двигателя. В режиме

пуска и самозапуска температура нагрева обмоток может достигать существенных значений.

7. По тексту диссертации имеются опечатки, стилистические ошибки. В ряде случаев встречаются аббревиатуры без расшифровки. Дважды встречаются страницы с номерами 59, 60.

Отмеченные замечания **не снижают значение и ценность полученных в диссертации основных научных и практических результатов.**

9. Общее заключение о соответствии диссертационной работы требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук

Диссертационная работа Осипова Д.С. «Модели и методы вейвлет анализа несинусоидальных нестационарных режимов электрических сетей 0,4–110 кВ», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук в соответствии с п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», является законченной научно-квалифицированной работой, в которой на основании выполненных автором исследований, предложены новые научно обоснованные технические решения в области разработки, алгоритмического и методологического обеспечения процессов обработки информативных параметров нестационарных режимов электрических сетей для цифровизации электроэнергетических систем с целью обеспечения надёжного и экономичного функционирования, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

В соответствии с п. 10 «Положения о присуждении ученых степеней» диссертация подготовлена в виде рукописи, написана автором самостоятельно, структурирована и обладает внутренним единством, содержит научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку – разработку методов и моделей, развивающих теорию и практику гармонического анализа нестационарных несинусоидальных режимов работы электрических сетей и систем.

В соответствии с п. 11, 12 и 13 «Положения о присуждении учёных степеней», основные научные результаты диссертации достаточно полно отражены в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК России, а именно – 29 публикаций в изданиях, рекомендованных ВАК; 15 работ, индексируемых в базе данных Scopus, что соответствует требованиям на соискание ученой степени доктора технических наук.

В соответствии с п. 14 «Положения о присуждении ученых степеней» диссертационная работа содержит ссылки на источники использованных материалов и на работы других авторов.

На основании вышеизложенного можно заключить, что диссертационная работа Осипова Д.С. **соответствует требованиям** пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 в редакции Постановлений Правительства РФ от 21.04.2016 № 335, 02.08.2016 № 748, от 29.05.2017 № 650, от 28.08.2017 № 1024, от 01.10.2018 № 1168., а ее автор Осипов Дмитрий Сергеевич, **заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук** по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры электроэнергетики и
электромеханики
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
горный университет»



Абрамович

Борис Николаевич

«16» сентября 2019 г.



Б.Н. Абрамовича

зам. зав. отдела
производства

Е.Р. Яновицкая

"16" 09 2019 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

Юридический адрес: Россия, 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., дом 2.

Телефон (факс): +7 (812) 328-86-36

Сайт организации: <https://www.spmi.ru>

E-mail: Abramovich_BN@pers.spmi.ru