

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Д. С. Осипова «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

Представленная диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка использованной литературы. Работа изложена на 305 страницах, содержит 144 рисунка и 10 таблиц, список литературы из 353 наименований. К работе прилагается официально разосланный в установленные сроки автореферат диссертации на 40 страницах.

1. Актуальность темы исследования и ее связь с запросами практики. Соответствие работы избранной специальности 05.14.02 - Электрические станции и электроэнергетические системы.

Развитие электроэнергетических систем сопровождается существенным увеличением числа и мощности нелинейных электроприемников. Это происходит в силу того, что в различных промышленных производствах, а также в административно-хозяйственных зданиях все в больше используются вентильные преобразователи, частотно-регулируемые электроприводы, импульсные блоки питания, светодиодные источники света и иные устройства, которые ведут к возникновению несинусоидальных режимов которые, в свою очередь, оказывают негативное влияние на надежность и эффективность функционирования как отдельных электроприемников, так и систем электроснабжения в целом.

Диссертационная работа Д.С. Осипова посвящена исследованию и решению научных задач, связанных с влиянием несинусоидальности формы кривых напряжения и тока на режимы работы распределительных электрических сетей 0,4- 110 кВ. Особого внимания заслуживает рассмотрение автором проблем разработки простых, надежных и прямых способов контроля с помощью метода вейвлет преобразования значений напряжений и токов, а также практических рекомендаций по их использованию для расчета интегральных характеристик электрических режимов и анализа качества напряжения трёхфазной сети.

Поставленные цели и результаты решения научных задач работы указывают на несомненную актуальность диссертационной работы Д.С. Осипов, что она соответствует п. 6 и п. 12, паспорта специальности - 05.14.02 - Электрические станции и электроэнергетические системы.

2. Достоверность и научная новизна результатов и выводов, сформулированных в диссертации.

Достоверность и обоснованность результатов работы обеспечена использованием методов и методологий системного и структурного анализа, соответствием результатов исследований современным физическим представлениям, широкой апробацией результатов исследований в российской и зарубежной научной среде. Научные положения, предложенные методы, выводы и рекомендации, содержащиеся в диссертации, аргументированы и в основном подтверждаются условиями и правомерностью допущений, принимаемых при формулировке математических моделей процессов, устройств и их элементов. Достоверность основных научных положений подтверждена экспериментальной проверкой при внедрении результатов диссертации.

Новизна научных результатов представлена следующими разработками автора:

- Предложены и обоснованы методы применения вейвлет преобразования для расчета, анализа и моделирования нестационарных нелинейных режимов электроэнергетических систем и сетей 0,4–110 кВ. Определен критерий оптимального типа вейвлета базирующийся на определении локальной энергетической плотности исследуемой гармонической группы и позволяющий провести обратное вейвлет преобразование с наименьшей погрешностью. Создан метод применения вейвлет преобразования для обработки и передачи цифрового потока мгновенных значений токов и напряжений.

- Выполнена разработка методов математического моделирования ЭЭС при несинусоидальных режимах работы, которые создают методическую основу для совершенствования методов расчета дополнительных потерь от искажения формы кривых напряжения и тока и анализа динамической устойчивости узлов нагрузки.

- Разработан метод обеспечивающий эффективность применения вейвлет преобразования для сжатия потока оцифрованных данных, характеризующих режимы работы электрических сетей и показано, что высокочастотные детализирующие вейвлет коэффициенты возможно использовать в устройствах релейной защиты и автоматики для сигнализации об изменениях в режимах работы электрической сети.

- Проведена модернизация существующих математических алгоритмов определения поврежденной отходящей линии при однофазных замыканиях на землю в сетях 6 - 35 кВ.

3. Значимость для науки и практики полученных автором результатов определяется тем, что автором:

- Разработан метод, который позволяет существенно сократить трафик информации о характеристиках режима электрической сети при реализации задач мониторинга и развитии технологий Smart Grid и «Цифровая подстанция».

- Реализован алгоритм идентификации интергармоник в электрических сетях 0,4-110 кВ на основе вейвлет преобразования для анализа, и расчета дополнительных потерь в токоведущих частях.

- Разработаны алгоритмы, позволяющие улучшить точность расчетов и анализа высших гармоник, что позволило выполнять выбор фильтрокомпенсирующих устройств и стать инструментом для анализа параметров режима электроэнергетических систем и сетей.

- Представленные в диссертации алгоритмы и методы анализа электромагнитных переходных процессов при коротких замыканиях, и однофазных замыканиях на землю с применением коэффициентов пакетного вейвлет преобразования использованы при разработке мероприятий по управлению энергетическим режимом и обеспечению динамической устойчивости сетей ООО «РН- Юганскнефтегаз» на подстанциях 110/35/6 кВ.

Использование результатов диссертационной работы на предприятиях подтверждается соответствующими актами внедрения.

4. Структура работы и основные научные результаты разделов

Во введении обосновывается актуальность работы, приведены её цель и задачи работы, научная и практическая значимости.

В первой главе приведены основные элементы теории вейвлет анализа и обоснование возможности ее применения к анализу электроэнергетических систем. Указано отличие вейвлет преобразования и оконного преобразования Фурье. Функция вейвлет преобразования имеет переменную ширину во времени, зависящую от частоты и позволяет анализировать высокочастотные возмущения, имеющие короткую продолжительность, а также получить трехмерную интерпретацию сигнала в осях амплитуда — частота — время.

Для расчета высших гармоник и коэффициента гармонических искажений в работе предложено использовать дискретное вейвлет преобразование.

Вторая глава содержит материалы по выбору критерия выбора типа вейвлет функции и разработке методов расчета действующих значений токов и напряжений в электрических цепях по вейвлет коэффициентам. В ней также представлены разработанные рекурсивные алгоритмы расчета переходных

процессов в электрических сетях 0,4-110 кВ и в цепях постоянного тока, а также методы анализа качества электроэнергии, цифрового сжатия потока данных, характеризующих режим электрических сетей.

Наибольший интерес представляет выполненный анализ трехфазного короткого замыкания, бросков тока при коммутации батареи конденсаторов, импульсных напряжений, несинусоидальных режимов, провалов и прерываний напряжения, а также методика сжатия потока информации для реализации технологии «Цифровая подстанция» в от 12 до 16 раз.

В третьей главе рассмотрены проблемы нормирования и обеспечения качества электроэнергии. Приведены результаты экспериментальных исследований высших гармоник системы электроснабжения предприятия Роснефть-Юганскнефтегаз. Приведен метода идентификации и определения характеристик интергармонических составляющих по вейвлет коэффициентам что важно для формирования единых подходов к вопросам стандартизации искажения формы кривых тока и напряжения.

Представленный алгоритм дает возможность уточнения расчета потерь при несинусоидальных режимах работы систем электроснабжения.

В четвертой главе выполнено усовершенствование применяемых алгоритмов защиты и сигнализации однофазного замыкания на землю для цифровых устройств релейной защиты в части измерения высших гармоник.

Автор показывает, что вейвлет преобразование может быть использовано как расширение существующих методов идентификации однофазных замыканий на землю.

Разработан и протестирован алгоритм управления дугогасящим реактором для автоматической компенсации ёмкостных токов. Алгоритм предусматривает фильтрацию измерений напряжения от возникающего искажения формы кривой на основе вейвлет преобразования.

В пятой главе приведена методика расчета дополнительных потерь мощности в токоведущих частях с учетом дополнительного нагрева при несинусоидальных нестационарных режимах, что позволяет при выборе сечения проводников на стадии проектирования учесть возможное увеличение токовой нагрузки, дополнительных потерь мощности и энергии, а также произвести предварительную оценку рабочей температуры жилы кабельной линии.

Шестая глава посвящена разработке методики анализа устойчивости узлов нагрузки с учётом несинусоидальности напряжения источника питания. Обсуждаются результаты анализа режима сетей ООО «РН-ЮНГ», выявлены и обоснованы резонансные перенапряжения. Выполнена оценка максимально возможной кратности перенапряжений: для сетей 35 кВ кратность составила

2,905; для сетей 6 кВ - 2,1, для сетей 0,4 кВ - 1,97 о.е. и установлены резонансные частоты.

Каждая из глав содержит краткие и содержательные выводы. Содержание диссертационной работы в части ее структуры и последовательности изложения позволяет констатировать, что она является в достаточной мере законченным научным исследованием обладающим внутренним единством, целостностью и практической направленностью работы.

5. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Достоверность и обоснованность выводов диссертационной работы подтверждаются широким использованием теоретических основ электротехники, теории электромагнитных процессов и устойчивости узлов нагрузки, которые хорошо апробированы и подтверждены экспериментально, а также достаточно хорошим совпадением результатов численного и имитационного моделирования с экспериментальными данными на физических объектах. При этом автор корректно использует передовой опыт применения математического аппарата вейвлет преобразования для частотного анализа нестационарных систем, в частности для электроэнергетических систем.

6. Апробация работы и подтверждение опубликования ее основных положений и результатов

Результаты исследований широко апробированы участием автора в многочисленных международных и российских научно-технических конференциях, в отраслевых научно-технических совещаниях, в научных семинарах профильных кафедр российских и зарубежных технических и федеральных университетов.

Основные положения диссертации достаточно полно опубликованы в 61 печатной работе, в том числе 29 из них в рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ и 15 работ, индексируемых в базе Scopus.

Автореферат диссертации и публикации достаточно полно отражают основное содержание диссертационной работы и полученные автором научные результаты.

7. Основные замечания по работе

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

1. При сравнительном анализе методов частотно-временного анализа рассматриваются методы применительно к характеристике процесса (линейный стационарный, линейный нестационарный и нелинейный нестационарный). Для процессов первого типа безусловно предпочтительно преобразование Фурье. Для процессов второго типа разработана группа методов с априорным заданием базиса это Вейвлет-анализ, Вигнер-Вилл, метод Прони и др., и адаптивным определением базиса - Singular Spectral Analysis (SSA) – метод «Гусеница». Для процессов третьего типа метод Empirical Mode Decomposition не требующий задания базиса и Гильберта – Хуанга. **Автор же, к сожалению, ограничился только анализом Вейвлет преобразований, что требует пояснений.**

2. Автор в не везде указывает частоту дискретизации обрабатываемых осциллограмм, оперируя при этом количеством точек, что затрудняет анализ результатов расчетов (стр. 36, 82, 116, 123...).

3. В главе 1 представляется излишне подробным изложение материала по различию непрерывного (1.6), дискретного (1.7) и пакетного вейвлет преобразования (стр. 41)

4. Выводы Гл. 1 – *«Доказана перспективность применения алгоритмов вейвлет преобразования для анализа режимов электроэнергетических систем, где необходима фиксация локальных особенностей нестационарных сигналов (внутренние и внешние перенапряжения, коммутационные броски тока и др.).»* - Известно, что эффективность применение алгоритмов в указанных сильно зависит от дискретизации первичного сигнала и ширины окна, какая величина задержек во времени при идентификации таких нестационарных сигналов?

5. В выводах гл. 1 указано, что - *«Определены пределы и перспективы практического использования вейвлет преобразования при расчете переходных процессов, организации алгоритмов релейной защиты, анализа показателей качества электроэнергии».* Явно (конкретно) пределы не указаны! Хотелось

бы это услышать, а также оценить достижимые погрешности определения параметров режима и реальные задержки их получения во времени.

7. Стр. 76 «для ортогональных вейвлетов, действующее значение может быть определено по формуле:

$$I = N^{-\frac{1}{2}} \sqrt{\sum_{k \in Z} (i_{j_0, k}^A)^2 + \sum_{k \in Z} \sum_{j=J_0}^{J-1} (i_{j, k}^D)^2}$$

Пример для подтверждения этого не убедителен т. к. заданный сигнал тока синусоидален. Далее на стр.80 приводится : «Действующее значение **несинусоидального** тока (напряжения) определяется по общеизвестной формуле 2.9

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_{n-1}^2 + I_n^2},$$

Но иллюстрирующего примера нет. Кроме того, когда речь идет о переходных процессах, то там не являются постоянными ни амплитуда, ни частота сигнала. Как тут будет определяться действующее значение в этом случае.

8. Стр. 73 автор указывает, что «... в диссертации был сформулирован критерий оптимального выбора материнского вейвлета (2.1) – среднеквадратичное отклонение значений исходного сигнала i_k должно иметь минимальное значение по сравнению с восстановленным по вейвлет коэффициентам сигналом \hat{i}_k и локальная энергия спектра выбранной гармонической группы, заданной глубины разложения должна быть максимально полно представлена в границах исследуемого частотного диапазона». Необходимы пояснения каким образом обеспечивается выполнение этих критериев для различных сигналов (алгоритм).

9. Требуется пояснить для каких технологических задач применяются предложенные в г. 2 методы разложения исследуемого сигнала и сжатия потока информации и определения времени изменения режима электрической сети по высокочастотным детализирующим вейвлет коэффициентам для передачи данных в режиме on-line и привести их времена задержки.

10. В тексте работы замечены отдельные стилистические погрешности и опечатки. На пример: обозначение ЭДС: «ЭДС» (страница 236), «Э.Д.С.» (страницы 75, 87), «э.д.с.» (страницы 16, 92, 93, 95, 132, 236, 247); и кроме того, формулировка «наиболее оптимальные» (стр. 72 и 203), является некорректной и пр.

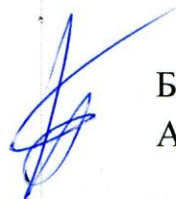
8. Общее заключение о соответствии диссертационной работы требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям

В целом диссертационная работа по актуальности темы и объему выполненных автором исследований является законченной научно-квалификационной, работой направленной на решение актуальной практической задачи, а именно - анализ частотных параметров нормальных, аварийных и послеаварийных несинусоидальных режимов в электрических сетях 0,4-110 кВ ЭЭС на основе вейвлет преобразования. Диссертация базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчётов; написана грамотно и аккуратно оформлена; по каждой главе и работе в целом, сделаны чёткие выводы. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации и разработанным теоретическим положениям, научной новизне полученных результатов и их практической значимости с учетом сведений об апробации, публикациях и внедрении.

Следует отметить, что работа написана в хорошем стиле и аккуратно оформлена.

Диссертационная работа вполне отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 а её 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 «Автоматизированных
электрических систем»
Уральский энергетический институт
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Уральский федеральный
университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина»
Тел. +7 9122008045
E-mail: asberdin@mail.ru



Бердин
Александр Сергеевич

16.09.2019

Подпись А.С. Бердина заверяю

УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
УРФУ
МОРОЗОВА В. А.



620002, Уральский
федеральный округ,
Свердловская область,
Екатеринбург, ул. Мира, 19