

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Нижегородский
государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева»
(НГТУ)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе,
доктор технических наук, доцент

Н. Ю. Бабанов

«12» апреля 2018 г.

ПРОРЕКТОР ПО НАУЧНОЙ РАБОТЕ

Минина ул., 24, г. Нижний Новгород, 603950
Тел. (831) 436-63-12, факс (831) 436-23-11
E-mail: babanov@nntu.ru www.nntu.ru

ОКПО 02068137 ОГРН 1025203034537
ИНН / КПП 5260001439 / 526001001

12.04.2018 № 03-04/108

На № _____ от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева») на диссертационную работу Антонова Владислава Ивановича «Теория и приложения адаптивного структурного анализа сигналов в интеллектуальной электроэнергетике», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»

1. Актуальность темы

Представление сигналов в цифровой форме приводит к необходимости формирования методов их моделирования для повышения эффективности применения программных и аппаратных средств обработки. Сигналы токов и напряжений, используемые в интеллектуальных электронных устройствах (ИЭУ) защиты и управления электроэнергетических систем (ЭЭС), являются носителями информации о состоянии электротехнического оборудования и имеют специальные алгоритмы цифровой обработки. Учет специфики таких сигналов и их моделей позволяет разрабатывать адаптивные методы, основу которых может составлять соответствующая структурная модель. Причем применение структурного анализа создает предпосылки разработки новых методов цифровой обработки сигналов (ЦОС) защиты и управления ЭЭС, отличающихся высоким быстродействием и повышенной точностью оценки параметров токов и напряжений.

Поэтому диссертационная работа Антонова В.И., целью которой является разработка теории адаптивного структурного анализа электрических

сигналов и методических основ внедрения ее методов в современные приложения интеллектуальной электроэнергетики, является, несомненно, актуальной.

2. Структура работы

В первой главе диссертационной работы приведен анализ сигналов ЭЭС и выявлены особенности их структуры. Подробно рассмотрены принципы формирования цифровых сигналов ЭЭС на основе мгновенных значений, поступающих с цифровых (аналоговых) измерительных трансформаторов токов и напряжений. Определено понятие множества базисных сигналов (множество собственных мод реакции ЭЭС), шумов и тренда. Отмечено, что природа шума в цифровых сигналах релейной защиты и автоматики различна и, в основном, связана с погрешностями тракта измерения и аналого-цифрового преобразования. Исследована структура цифровых осциллограмм и сформулированы задачи структурного анализа, подробно раскрываемые в тексте диссертации.

Вторая глава посвящена изложению основ теории адаптивных структурных моделей сигналов электрической системы. Приведены исторические предпосылки и положения метода Прони, изначально применяемого для аппроксимации последовательности данных и последующего вычисления (интерполяции) аппроксимирующей функции в промежуточных точках. Обсуждаются адаптивные структурные модели с изменяемым масштабом времени, а также эффективные структурные модели сигналов. Исследуются фундаментальные свойства эффективных структурных моделей, и обосновывается вывод, что предельная разрешающая способность эффективных структурных моделей не зависит от методов настройки и обеспечивается их внутренними свойствами.

В третьей главе теория структурных моделей распространяется на неадаптивные и гибридные модели. Рассматриваются основы неадаптивных структурных моделей, реализуемых посредством ортогональных составляющих промышленной частоты, изучаются свойства этих моделей и особенности оценок параметров квадратур. Обсуждаются различные варианты цифровой фильтрации, а также анализируются их отдельные достоинства и недостатки. Исследуются гибридные модели, то есть структуры, имеющие наибольшую гибкость, так как они сочетают в себе универсальность адаптивных и эффективность неадаптивных моделей. Приводится пример распознавания сигнала гибридной моделью и отмечаются преимущества такой ЦОС.

Исследования четвертой главы диссертационной работы направлены на выявление методов построения эффективных структурных моделей.

Анализируются группы методов, основанные на решении задачи методом наименьших квадратов, с применением сингулярного разложения, TLS – решение с минимальной нормой и другие. Прорабатываются варианты применения указанных методов построения моделей с учетом особенностей сигналов токов и напряжений ЭСС. Показаны возможности настройки моделей и получены их характеристики в условиях воздействия шума. Предлагается новый метод настройки моделей, основанный на наложении фильтров-прототипов и обеспечивающий быстрое распознавание структуры сигнала.

Положения общей теории структурного анализа изложены в пятой главе диссертационной работы. Рассматриваются основные принципы и инструменты анализа цифровых осциллограмм аварийных событий, решаются такие задачи ЦОС, как сегментация осциллограмм, выявление их интервалов однородности и ряд других. Представляет интерес подход к оценке частоты электрической сети и практические алгоритмы оценки частоты. Прорабатываются вопросы предварительной обработки цифровых сигналов токов и напряжений в части локализации и коррекции выбросов в осциллограмме и удаления трендов (дрейфа нуля аналого-цифрового преобразователя).

Вопросам практического приложения методов адаптивного структурного анализа посвящена шестая глава диссертации. Рассматривается интерактивная среда адаптивного структурного анализа сигналов ЭСС, разработанная автором и реализованная в программном комплексе Matlab Simulink. Приложения методов структурного анализа реализуются в задачах: релейной защиты, в том числе высоковольтных сетей постоянного тока; устойчивости ЭСС, в части оценки параметров низкочастотных колебаний; сжатия и передачи сигналов токов и напряжений; диагностики и определения технического состояния электрической сети и оборудования и других. Приводятся численные показатели выигрыша, обосновывающие использование разработанных методов в составе ИЭУ различного функционального назначения.

3. Значимость полученных автором диссертации результатов для релейной защиты и автоматики электроэнергетических систем

Значимость для теории заключается в следующем:

- 1) Разработаны положения теории адаптивных структурных моделей сигналов, направленной на совершенствование алгоритмов систем мониторинга, управления и релейной защиты ЭСС.
- 2) Предложены новые методы компонентного анализа сигналов, позволяющие реализовать более точные их структурные модели.

3) Сформирован комплекс алгоритмов обработки осциллограмм аварийных событий, отличающийся повышенной точностью оценки параметров токов и напряжений.

4) Исследованы и разработаны новые методы ЦОС релейной защиты и автоматики, позволяющие обеспечить функционирование устройств в условиях воздействия шумов и помех.

Значимость для практики заключается в следующем:

1) Разработано специальное программное обеспечение в среде Matlab Simulink использующее структурный анализ, позволяющее реализовать новые методы ЦОС и оценить перспективы применения таких методов в устройствах релейной защиты, мониторинга и управления ЭЭС.

2) Внедрены в ИЭУ различного функционального назначения авторские алгоритмы ЦОС токов и напряжений: удаление тренда аналого-цифрового преобразования, оценки частоты, локализации и коррекции отсчетов сигналов с выбросами и другие.

3) Получено 19 патентов и авторских свидетельств на результаты интеллектуальной деятельности, связанные с разработкой адаптивных алгоритмов структурного анализа.

4) Положения адаптивного структурного анализа, а также соответствующая интерактивная программная среда используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. Н.И. Ульянова», ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова» и ряде других организаций.

4. Вопросы и замечания к работе

1) В пятом положении, выносимом на защиту, говорится о «...повышении достоверности оценок структурного анализа сигналов». Что понимается под этим термином и какие показатели (критерии) повышения достоверности используются в работе?

2) В диссертации для обоснования преимуществ разработанных алгоритмов часто используются амплитудно-частотные характеристики. Однако по оси абсцисс в ряде случаев откладывается фаза (безразмерная величина) (например, рисунок 3(а), 4(а), 5(а), стр. 11, 12 автореферата и др.). Может следовало откорректировать или ввести новые названия?

3) К сожалению, по ходу изложения исследований, на наш взгляд, недостаточно внимания уделено оценкам вычислительной сложности реализации предлагаемых алгоритмов. Для цифровой обработки осциллограмм в режиме отложенного времени такие оценки не столь актуальны. Однако при реализации алгоритмов релейной защиты и

автоматики в реальном масштабе времени такие оценки крайне важны, чтобы соотнести с вычислительными возможностями терминала защиты.

4) На стр. 29 автореферата (подраздел 6.4 диссертации) обсуждаются алгоритмы структурного анализа низкочастотных колебаний при оценке устойчивости ЭЭС. Известно, что точность оценки частоты определяется, в основном, длительностью анализируемого сигнала и отношением сигнал/шум. Может было бы проще, без потери точности обрабатывать выборки сигнала на очень большом интервале времени с последующим быстрым преобразованием Фурье (БПФ), чем использовать модельные алгоритмы структурного анализа? Какие показатели выигрыша за счет структурного анализа могут быть достигнуты по сравнению с ЦОС на основе БПФ?

5) Несмотря на большое количество актов внедрения положений диссертационных исследований, на наш взгляд, в работе не в полной мере раскрыты варианты программно-аппаратного исполнения интеллектуальных электронных устройств, включающих авторские разработки новых алгоритмов ЦОС.

6) Редакционные замечания по содержательной части диссертационной работы и автореферата:

- сочетание «Автономный ОМП. Если ОМП реализуется как автономное интеллектуальное устройство (терминал) ...» (например, стр. 33 автореферата), поскольку определение места повреждения (ОМП) – это процесс;

- не совсем удачные обороты, например, «Возможности локального структурного анализа полностью определяются субстантивными свойствами адаптивных структурных моделей» (стр. 9 автореферата);

- не в полной мере соблюдены требования ГОСТ Р 7.0.11-2011 (п.5.3.6) в части оформления текстовой части автореферата. Объем автореферата превышает два авторских листа (требования ВАК).

5. Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при проведении моделирования и разработке новых ИЭУ защиты и управления, обладающих повышенными быстродействием и точностью оценки параметров токов и напряжений. Целесообразно прикладное применение теоретических результатов исследований при создании устройств: определения места повреждения в электрических сетях; защиты электрических генераторов; мониторинга низкочастотных колебаний в ЭЭС; релейной защиты электрических систем с высоковольтными передачами

постоянного тока; интеллектуального автоматического повторного включения ЛЭП; оценки технического состояния энергооборудования; структурной компрессии осциллограмм и других.

Положения теории структурного анализа сигналов, изложенные в диссертационной работе, также целесообразно использовать в учебном процессе по дисциплинам «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем», «Цифровая обработка сигналов в системах защиты и управления».

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., №482.

В соответствии с п. 9 диссертационная работа является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании проведенных исследований разрабатываются теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, развивающее теорию и практику интеллектуальной электроэнергетики, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие электроэнергетической области.

В соответствии с п. 10 диссертационная работа обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты.

В соответствии с п. 11, 12, 13 основные научные результаты исследований опубликованы в 103 работах, из них 29 в рецензируемых научных изданиях, их количество соответствует требованиям на соискание ученой степени доктора технических наук.

В соответствии с п. 14 диссертационная работа содержит ссылки на источники заимствования материалов и на работы других авторов.

Заключение

Диссертационная работа Антонова Владислава Ивановича «Теория и приложения адаптивного структурного анализа сигналов в интеллектуальной электроэнергетике», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук, является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разрабатываются теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, развивающее теорию и практику интеллектуальной электроэнергетики, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие электроэнергетической области.

Диссертация соответствует критериям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., №842.

На основании вышеизложенного считаем, что Антонов Владислав Иванович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Отзыв на диссертацию Антонова В.И. «Теория и приложения адаптивного структурного анализа сигналов в интеллектуальной электроэнергетике» обсуждён и одобрен на заседании кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева», протокол № 6 от «12» апреля 2018 г.

Профессор кафедры «Электроэнергетика,
электроснабжение и силовая электроника»
ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»

д.т.н., доцент

Соснина
Елена Николаевна

Заведующий кафедрой «Электроэнергетика,
электроснабжение и силовая электроника»
ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»

канд. техн. наук, доцент

Севастьянов
Александр Александрович

603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24
Тел.: 8 (831) 432-91-85, Тел/факс (831) 436-01-27.
e-mail: sosnyna@yandex.ru
e-mail: sevosaa@gmail.com