

ОТЗЫВ

официального оппонента – кандидата технических наук, доцента, доцента
кафедры электроснабжения промышленных предприятий
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет
имени Г.И. Носова» Малафеева Алексей Вячеславовича
на диссертационную работу Мухлынина Никиты Дмитриевича
на тему «Управление распределительными сетями с использованием
поточковой модели установившегося режима», представленную на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

1. Актуальность темы

В настоящее время в условиях развития и распространения микропроцессорных средств измерения и защиты, распределенной потребительской генерации, быстродействующих устройств компенсации реактивной мощности и регулирования напряжения, усовершенствованной коммутационной аппаратуры с высоким коммутационным ресурсом распределительные электрические сети средних классов напряжения во многом приобретают черты, присущие сетям более высоких уровней иерархии. В связи с этим задачи управления режимами таких сетей также переходят на качественно иной уровень, поскольку появляются новые возможности по экономичному ведению режима как исключительно оперативно-диспетчерским персоналом, так и с привлечением средств автоматики нормального режима. И тот, и другой способ предъявляют существенно более высокие требования к информационной обеспеченности процесса управления режимом без существенных дополнительных вложений в системы телеизмерения, задействуя по возможности информацию, получаемую от систем учета электроэнергии и от устройств релейной защиты. Специфика наблюдаемости распределительных сетей, кроме того, требует разработки новой математической модели установившегося режима, позволяющей решать задачи оценивания состояния, расчета и оптимизации режима, формирования управляющих воздействий на устройства управления режимом с учетом их быстродействия и способа воздействия на режим. Учитывая тот факт, что распределительные сети принадлежат разным собственникам, преследующим различные интересы, необходим подход, позволяющий при выявлении оптимального режима учесть интересы каждой заинтересованной стороны.

При обосновании выбранной темы исследования соискателем показано, что возможности управления режимами современных распределительных сетей в условиях внедрения концепций активно-адаптивной электрической сети и «интеллектуальных» измерений в сочетании с развитием генерирующей базы потребителей и, в перспективе, перехода к сетям замкнутой конфигурации, полностью не изучены, исходя из чего Мухлыниным Н.Д. осуществлена постановка целей и задач исследования.

2. Новизна исследований и полученных результатов

Новизна представленной на отзыв диссертационной работы определяется в первую очередь тем, что впервые разработана новая модель установившегося режима распределительных электрических сетей напряжением 6–35 кВ, учитывающая их схемно-режимные особенности и степень развития средств измерения и учета и предназначенная для использования в оперативно-информационных комплексах и системах управления участками сетей.

Наиболее значимыми новыми результатами, полученными в диссертации, являются:

– обоснование использования для условий распределительных сетей потоковой режимной модели, вектор состояния которой содержит потоки мощности или энергии по элементам сети. Модель отличается слабой чувствительностью к неоднородности параметров схемы замещения сети и простотой эквивалентирования расчетной схемы;

– подход к решению задачи оценивания состояния на основе предложенной режимной модели, позволяющий выполнять оценку режимных параметров в условиях преобладания измерений модулей тока и напряжения, а также измерений электроэнергии от счетчиков. Подход позволяет проводить оценку режимов на различных интервалах времени, а также в полной мере использовать все измерения в схемах подстанций, включая измерения в ветвях с нулевым сопротивлением;

– подход к снижению затрат на приобретение, производство, передачу электроэнергии для различных собственников распределительных сетей и устройств управления режимом, основанный на решении оптимизационной задачи на основе разработанного набора составляющих целевой функции в рамках потоковой модели, учитывающих особенности того или иного субъекта рынка электроэнергии;

– принцип раздельного управления активными устройствами с дискретным и непрерывным характером воздействия на режим распределительной сети, предусматривающий расчет управляющих воздействий на различных интервалах времени на основе аппарата разработанной режимной модели;

– информационная среда и алгоритмическая модель устройства управления процессом электроснабжения, предназначенного для различных собственников распределительных сетей.

Представленные результаты являются новыми и в известных разработках и публикациях не встречаются.

3. Практическая значимость и реализация результатов

Представленная работа имеет конкретную практическую направленность, заключающуюся в том, что в результате внедрения результатов работы созданы технические предпосылки для снижения суммарных затрат на приобретение, выработку и передачу электроэнергии субъектов розничного рынка электроэнергии в границах распределительных сетей при соблюдении требований к надежности электроснабжения потребителей электроэнергией заданного качества.

Основные итоги и перспективы промышленного внедрения результатов:

– осуществлено промышленное внедрение алгоритма расчета режимных параметров для объектов электроэнергетики в программно-технический комплекс ARIS-SCADA;

– предложенная в работе потоковая режимная модель может быть использована в системах мониторинга режимов работы сетей напряжением 6–35 кВ и отдельных энергообъектов;

– основные результаты работы могут быть использованы для реализации функций оценивания состояния и оптимизации в программных комплексах и микропроцессорных системах управления режимами.

4. Обоснованность и достоверность научных выводов, положений и рекомендаций

Выполнение требований достоверности и обоснованности выводов и рекомендаций обеспечивается корректным применением теории электрических цепей, методов комбинаторного анализа и нелинейного

программирования, а также проведением вычислительного эксперимента с использованием апробированного программного обеспечения.

5. Заключение о соответствии диссертации установленным критериям

Диссертационная работа Мухлынина Н.Д. в полном объеме отвечает критериям, которые установлены «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842. В ней соблюдены следующие принципы соответствия:

5.1. Указанная диссертантом *цель работы* – использование новой – потоковой модели установившегося режима работы сетей 6–35 кВ, адекватной их технологическому и информационному развитию для последующего решения на ее основе задач оценивания состояния и оптимизации с целью снижения затрат на энергообеспечение различных участников и организаторов энергообмена при наличии в их распоряжении устройств управления режимом работы сети, – *реализована в рамках представленной диссертационной работы.*

5.2. *Автореферат* диссертации Мухлынина Н.Д. соответствует *диссертационной работе* по всем квалификационным признакам: по цели, задачам исследования, основным положениям, определению актуальности, научной значимости, новизны, практической ценности и др.

5.3. *Основные выводы и результаты* диссертационной работы *соответствуют поставленным задачам* исследований и сформулированы автором структурно-содержательно.

5.4. *Научные публикации* Мухлынина Н.Д., изданные в период с 2012 г. по 2017 г., *соответствуют диссертационной работе* и с достаточной полнотой отражают ее суть, основные результаты и выводы.

5.5. *Тема и содержание* диссертации Мухлынина Н.Д. *соответствует паспорту* специальности 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы» (далее курсивом по тексту паспорта):

– по направлению исследования, связанному с совершенствованием математического моделирования распределительных электрических сетей 6–35 кВ в условиях приближения их по возможности управления режимами к сетям электроэнергетических систем как «*исследования по развитию и совершенствованию теоретической и технической базы электроэнергетики с целью обеспечения экономичного и надежного ... снабжения потребителей электроэнергией в необходимом для потребителей количестве и требуемого качества*».

– по области исследования как «разработка методов расчета установившихся режимов ... электроэнергетических систем», «разработка методов ... оптимизации для решения задач в электроэнергетике»;

– по объектам исследования – распределительным сетям напряжением 6–35 кВ электросетевых компаний и промышленных потребителей, в отношении которых в диссертационной работе проведены «исследования по связям и закономерностям при ... эксплуатации ... электрических сетей и систем электроснабжения».

Диссертационная работа Мухлынина Н.Д. написана доступным языком, корректным в научном и техническом отношении. Материалы и результаты исследований изложены в объеме, достаточном для понимания, четко, доступно и репрезентативно. Результаты, полученные диссертантом, являются вкладом в теорию, разработку и реализацию математических методов и программно-технических средств управления режимами распределительных электрических сетей.

6. Анализ содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка из 146 наименований и 2 приложений, совокупный объем 218 страниц, включая 55 рисунков и 21 таблицу.

В первой главе рассмотрено современное состояние дел в области управления распределительными сетями; отмечены основные тенденции, связанные с внедрением информационных технологий, такие, как внедрение концепций Smart Grid и Smart Metering, связанные в настоящий момент с модернизацией технического оснащения электросетевого комплекса. Показано, что одним из наиболее распространенных способов повышения надежности электроснабжения сейчас является сооружение потребителями установок распределенной генерации, включая электростанции на основе возобновляемых источников энергии. Сделан вывод о том, что наряду с развитием быстродействующих средств компенсации реактивной мощности и традиционными устройствами регулирования это создает предпосылки к автоматизированному управлению режимами распределительных сетей. Проанализированы отечественные и мировые тенденции в развитии структуры распределительных сетей, обусловленные развитием распределенной генерации и совершенствованием коммутационной аппаратуры, выражающиеся в переходе к сетям замкнутой конфигурации. Отмечено, что для эффективного оперативно-диспетчерского управления

такими сетями необходимо улучшение наблюдаемости в режиме реального времени, возможное за счет использования информации от микропроцессорных счетчиков электроэнергии и терминалов релейной защиты. В качестве основного вывода отмечено, что для этого необходимо создание математической модели, ориентированной на современные особенности и перспективные тенденции в функционировании распределительных сетей.

Вторая глава посвящена разработке потоковой модели установившегося режима электрической сети и оценке ее эффективности для решения различных режимных задач. Рассмотрены недостатки классической режимной модели, основанной на системе уравнений узловых напряжений в форме баланса токов либо мощностей, в результате чего сформулированы требования к альтернативной модели. Представлена блочно-матричная структура модели. Выполнено подробное сопоставление результатов, получаемых при использовании классической и потоковой моделей. Проанализированы существующие подходы к оцениванию состояния, сформулированы проблемы, связанные с оценкой параметров режима в распределительных сетях. Рассмотрено решение задачи оценивания состояния на основе потоковой модели, показаны ее преимущества, включая ее использование при частичном отсутствии измерений, что весьма актуально для распределительных сетей. Сделан вывод о возможности использования потоковой модели как математического обеспечения программно-аппаратных комплексов управления режимами.

В третьей главе сформулирована задача оптимизации режима работы различных участников обмена электроэнергией, являющихся собственниками распределительных сетей, местной генерации, средств управления режимом. Проанализированы существующие финансовые взаимоотношения между участниками рынка электроэнергии. Осуществлен выбор критериев оптимальности, позволяющих учесть интересы различных субъектов рынка, на основе которых сформирована синтетическая целевая функция. Описан подход к оптимизации управления устройствами, различающимися по маневренности. Выбраны методы оптимизации применительно к устройствам с дискретным и с непрерывным управлением. Рассмотрены способы учета ограничений в задаче оптимизации, показана взаимосвязь с решением задачи оценивания состояния. Приведен подробный пример управления потребительской генерирующей установкой.

Четвертая глава работы посвящена повышению эффективности распределительных сетей, принадлежащих различным собственникам, за счет решения задач оптимизации и оценивания состояния на основе потоковой модели режима. Предлагается автоматизировать процесс управления электроснабжением за счет внедрения соответствующего вида режимной автоматики – АУУПЭ; приведена подробная характеристика информационной среды функционирования системы. Рассмотрены вопросы повышения эффективности управления режимами на примере промышленного объекта за счет разработанного устройства автоматики.

7. Вопросы и замечания по содержанию диссертации

7.1. В работе предлагается в условиях недостаточного объема телеизмерений использовать информацию, получаемую от счетчиков электроэнергии и терминалов релейной защиты. Однако при этом возникает ряд проблем. Так, АСКУЭ являются собственностью коммерческого оператора, в связи с чем доступ к таким данным чрезвычайно затруднен. Программное обеспечение терминалов защиты обеспечивает запись параметров режима только при срабатывании какого-либо из пусковых органов. Из работы не ясно, как такого рода проблемы предлагается решать.

7.2. Не слишком понятно, по какому принципу критерии оптимальности отнесены к техническим или к экономическим. Так, критерий экономического характера – затраты на производство электроэнергии объектами распределенной генерации – отнесен к техническим. При этом на дальнейших рассуждениях такое разделение никак не отражается.

7.3. Не понятно, как в различных режимных ситуациях должно осуществляться задание электрических нагрузок в потоковой модели – только неизменной мощностью, статическими характеристиками по напряжению и частоте или как-либо еще.

7.4. В описании автоматики АУУПЭ говорится о том, что желательно наличие канала связи с Интернетом для использования актуальной информации о ценах оптового рынка на электроэнергию и ценах на первичные энергоносители. В связи с этим при широком внедрении таких систем возможно возникновение серьезных проблем, связанных с кибербезопасностью объектов энергетики.

7.5. Отсутствует какая-либо экономическая оценка ожидаемой эффективности внедрения систем управления электроснабжением – затраты

на внедрение, срок окупаемости, оценка производственных рисков, связанных с ошибочной работой автоматики.

8. Общее заключение

Представленная диссертационная работа Мухлынина Н.Д. является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, обладающей признаками актуальности, новизны и практической значимости. В ней решена важная научно-техническая задача, непосредственно затрагивающая современные распределительные сети напряжением от 6 кВ до 35 кВ, а именно, предложено использование потоковой режимной модели для оценки режимных параметров и оптимизации режимов работы различных участников и организаторов энергообмена в распределительных сетях в соответствии с их интересами и доступными в их распоряжении устройствами управления.

Задачи, решаемые в работе, объединены общей научной идеей применения для их решения единого математического алгоритма потоковой режимной модели. Конечной целью является использование данной модели для управления распределительными сетями и, как следствие, повышения эффективности работы различных участников и организаторов энергообмена за счет снижения суммарных затрат на их энергообеспечение.

Основные научные выводы сделаны на основе глубокого анализа функционирования электротехнических комплексов и систем, в связи с чем содержание представляемой работы полностью соответствует паспорту специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Содержание диссертации полностью соответствует поставленным задачам и подробно отражает последовательность их решения. Диссертация написана логичным, понятным языком, выводы и рекомендации изложены аргументировано.

Основные научные результаты диссертации подробно изложены в публикациях; диссертантом опубликованы 2 статьи в русскоязычных рецензируемых научных изданиях из списка ВАК, 5 статей в зарубежных изданиях, входящих в систему цитирования Scopus и Web of Science, 8 статей в других изданиях и трудах конференций. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на 11 международных и всероссийских конференциях.

Диссертационная работа Мухлынина Никиты Дмитриевича полностью отвечает требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, а соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Официальный оппонент

Доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий института энергетики и автоматизированных систем ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет», кандидат технических наук (специальность 05.09.03), доцент

Малафеев Алексей Вячеславович

Дата: «30» апреля 2018 г.

Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38, ауд. 342-а.

Тел.: +7 (3519) 29-85-81

Адрес электронной почты: malafeev.av@magtu.ru