

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по науке Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», доктор физико-математических наук

ерманенко

г.

ОТЗЫВ

Ведущей организации Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» на диссертационную работу Гуломзода Анвари Хикмат «Новые технологии управления синхронизацией и восстановлением нормального режима электрических сетей с распределенной малой генерацией», представленную к защите в Диссертационном совете Д 212.173.01 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Актуальность темы

В настоящее время малая распределенная генерация становится основным источником питания для потребителей в локальных энергообъединениях. Переход к децентрализованной системе электроснабжения потребителей привело к появлению концепции активных электрических сетей с распределенной малой генерацией, на базе которой создаются Mini- и MicroGrid, являющиеся интеллектуальными автоматизированными системами электроснабжения.

Одной из важных задач обеспечения нормального функционирования электроэнергетических систем, в том числе энергосистем малой мощности, содержащих источники распределенной генерации, является синхронизация и их объединение с другими объектами с малой генерацией или с сетью большой мощности в нормальных и послеаварийных режимах.

Существующие способы и устройства синхронизации объектов с малой генерацией в активных распределительных электрических сетях недостаточно эффективны, как ввиду недоучета стохастичности параметров синхронизации и малой инерционности роторов, так и необходимости выполнения синхронизации на удаленных коммутационных аппаратах.

Таким образом, разработка способов и автоматики децентрализованного управления синхронизацией, восстановление целостности сети и ее нормального режима после распада на части является актуальной и востребованной.

Научная новизна

Результаты диссертационной работы соискателя обладают следующей новизной:

1. Предложен и исследован способ децентрализованной синхронизации и восстановления нормального режима аварийно разделенной электрической сети с генераторами;
2. Разработаны алгоритмы, осуществляющие специальное управление мощностью и возбуждением генераторов в процессе синхронизации;
3. Разработан прототип автоматики, которая без обмена данными осуществляет децентрализованное управление синхронизацией и восстановление целостности сети после ее распада на работоспособные части;
4. Разработан модифицированный алгоритм улавливания синхронизма для удаленной синхронизации частей сети с наличием источников малой генерации;
5. Экспериментально подтверждена работоспособность предложенных способов и алгоритмов децентрализованного управления синхронизацией на физической модели.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы» (исследования по связям и закономерностям при планировании развития, проектировании и эксплуатации электрических станций, электроэнергетических систем, электрических сетей и систем электроснабжения). Диссертационная работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»:

- пункту 6 – Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике;
- пункту 9 – Разработка методов анализа и синтеза систем автоматического регулирования, противоаварийной автоматики и релейной защиты в электроэнергетике.

Основные положения, выносимые на защиту

Соискателем сформулированы и вынесены на защиту следующие основные положения:

1. Предложенный способ децентрализованной удаленной синхронизации и восстановления целостности аварийно разделенной электрической сети с генераторами позволяет успешно синхронизировать MicroGrid с другими частями сети;

2. Специальное управление мощностью и возбуждением генераторов обеспечивает осуществимость удаленной синхронизации активных частей сети без использования средств передачи данных;

3. Модифицированные условия синхронизации позволяют минимизировать воздействие уравнивающих токов на генераторы MicroGrid при их включении на параллельную работу с мощной внешней электрической сетью.

Теоретическая значимость работы состоит в решении актуальной научно-технической задачей децентрализованной синхронизации активных частей сети, в том числе MicroGrid без обмена информацией между участвующими в ней устройствами.

Практическая ценность работы соискателя заключается в следующем:

1. Решена актуальная научно-техническая задача разработки технологии децентрализованной синхронизации активных частей сети, в том числе Мини и Микрогрид, без обмена информацией между участвующими в ней устройствами;

2. Запатентованный способ удаленной синхронизации реализован в прототипе автоматики децентрализованного управления синхронизацией;

3. Разработанный комплекс алгоритмов управления синхронизацией, реализованный в прототипе соответствующей автоматики, может использоваться для проведения научных исследований аспирантами и научными сотрудниками;

4. Техническая реализация способа в прототипе автоматики синхронизации и восстановления целостности и нормального режима электрической сети может служить основой создания опытного образца такой автоматики.

Методология и методы исследования. Соискателем, для достижения поставленных целей и решения задач были использованы методы математического моделирования на программно-вычислительном комплексе

«Rustab – RastrWin3», а также физического моделирования при испытаниях прототипа автоматики на электродинамической модели энергосистемы в лаборатории центра коллективного пользования «Центр испытаний устройств контроля и управления режимами электроэнергетических систем» Новосибирского государственного технического университета.

Личный вклад соискателя. Соискателем сформулированы задачи, разработана идея способа удаленной синхронизации и восстановления нормального режима аварийно разделенной электрической сети с генераторами, смоделированы процессы децентрализованной синхронизации распределительных электрических сетей с источником малой генерации, разработаны алгоритмы специального управления мощностью и возбуждением генераторов, подготовлена схема и проведены физические эксперименты, подготовлены статьи и доклады к опубликованию.

Апробация результатов исследования выполнялись и обсуждались на: II Всероссийской научно – практической конференции аспирантов и магистрантов (г. Новосибирск, 2018 г.), VIII международной научно – практической конференции аспирантов и магистрантов (г. Новосибирск, 2019 г.), международной научно – практической конференции: «Энергетика региона: Состояние и перспективы развития» (г. Душанбе, 2019 г.), Международной научный семинар имени Ю.Н. Руденко «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики» (г. Волжский, 2021 г.), международной научно – практической конференции «Энергетика: Состояние и перспективы развития» (г. Душанбе, 2021 г.), а также на научных семинарах кафедры Автоматизированных электроэнергетических систем Новосибирского государственного технического университета. В ходе проведения исследований, соискателем получены гранты на проведение научно – исследовательской работы, а именно: Грант аспиранта факультета Энергетики НГТУ (2020 г.), Грант РФФИ на лучшие проекты фундаментальных научных исследований, выполняемые молодыми учеными, обучающимися в аспирантуре «Аспиранты» (2020 г.). Также, по научным достижениям в ходе конкурсных отборов соискателем получена стипендия Правительства Российской Федерации аспирантам организации, осуществляющих образовательную деятельность, обучающихся по образовательным программам высшего образования по очной форме по специальностям или направлениям подготовки, соответствующим приоритетным направлениям модернизации и технологического развития российской экономики (2021, 2022 г.).

Публикации. Основные результаты диссертационного исследования соискателя опубликованы в 12 научных работах, в том числе, в 4-х статьях в изданиях согласно перечню российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты

диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (перечень ВАК РФ), в 2-х статьях в научных изданиях, индексируемых в первом и втором квартилях наукометрических баз данных Scopus и Web of Science и в 5-и публикациях в сборниках материалов и трудов научных конференций. Получен 1 патент на изобретение Российской Федерации. Внедрение результатов диссертационного исследования подтверждено 2-я актами.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа Гуломзода А.Х. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, словаря терминов, списка литературы, включающего 109 наименований, и семи приложений. Общий объем работы составляет 186 страниц и включает 23 таблиц и 103 рисунков.

Во **введении** обосновывается актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** проанализированы существующие способы синхронизации, возможные пути восстановления целостности активной сети с малой генерацией и ее нормального режима после распада на части. Приведены определения понятиям MiniGrid, являющихся локальными системами энергоснабжения (ЛЭС) на базе синхронной генерации мощностью до 25 МВт и напряжением внутренней сети 10 кВ и MicroGrid на базе синхронной генерации мощностью до 1 МВт и напряжением внутренней сети 0,4 кВ. Представлен обзор литературы отечественных и зарубежных ученых по тематике исследования, а именно: способам децентрализованной синхронизации в активных электрических сетях; децентрализованному управлению восстановлением сетей с MicroGrid на реклоузерах; технологическим возможностям источников генерации при осуществлении восстановления сети.

Во **второй главе** рассмотрен и предложен способ децентрализованной синхронизации MicroGrid с мощной внешней электрической сетью и частей активной электрической сети с малой генерацией между собой как одной из основных задач обеспечения нормального функционирования объектов с малой генерацией в электрических сетях. Отмечается, что основными негативными факторами при осуществлении синхронизации объектов с малой генерацией являются малая инерционность роторов генераторов и высокая стохастичность нагрузок потребителей в MiniGrid. Предложены дополнительные условия синхронизации, учитывающие знак взаимного скольжения векторов напряжений.

В главе предложен и исследован специальный способ децентрализованной синхронизации аварийно или противоаварийно

разделившихся частей сети – способ удаленной синхронизации и восстановления нормального режима аварийно разделенной электрической сети с генераторами. Способ позволяет успешно синхронизировать активные части сети при осуществлении определенных действий, для чего определяется класс баланса мощностей, осуществляется гармонизация частоты и напряжения и специальное управление мощностью и возбуждением генераторов в разделившихся частях сети.

Во второй части главы представлены результаты экспериментального исследования рассмотренного способа синхронизации на физической модели энергосистем. Результаты эксперимента подтверждают работоспособность теоретически обоснованного способа и алгоритма децентрализованной синхронизации.

Третья глава посвящена разработке и испытанию прототипа автоматики децентрализованного восстановления целостности и нормального режима электрической сети с множеством распределенных MiniGrid после аварийно или противоаварийного разделения сети на части. Проведены экспериментальные исследования с целью подтверждения работоспособности предложенного способа управления восстановлением целостности и нормального режима сети при его реализации в прототипе автоматики с отладкой и совершенствованием разработанных алгоритмов управления и идентификации событий.

В четвертой главе представлены результаты анализа текущего состояния малой энергетики Таджикистана для оценки перспективности формирования активных электрических сетей с распределенной малой генерации, основу которой составляют малые гидроэлектростанции.

В главе при помощи ПВК Rustab – RastrWin3 проведено моделирование и исследование распределенной синхронизации частей электрической сети с наличием местного источника малой генерации с использованием реклоузеров в качестве удаленного коммутационного аппарата для синхронизации, а также исследован модифицированный алгоритм синхронизации по мягкому включению MiniGrid на параллельную работу с внешней сетью в одной из существующих сетей Таджикистана.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы, в том числе, по разработанному прототипу автоматики децентрализованного управления синхронизацией и восстановлением целостности сети после ее распада на работоспособные части; экспериментальному подтверждению работоспособности предложенных способов и алгоритмов децентрализованного управления синхронизацией на физической модели.

В приложениях к диссертации приведены параметры модельных энергоблоков, уставки программно-технического комплекса КПА-М,

осциллограммы децентрализованной синхронизации MicroGrid на микроконтроллерах, сведения о малых гидроэлектростанциях Таджикистана, карта настроек защит энергоблоков Caterpillar, патент на изобретение и акты о внедрении результатов диссертационной работы.

Автореферат соответствует содержанию диссертации, опубликованные статьи полно отражают основные положения и результаты диссертационного исследования.

Автореферат и диссертация по структуре и оформлению полностью соответствуют требованиям ВАК.

Замечания и вопросы по диссертационной работе

1. Для каких типов выключателей и с каким временем включения предусматривается использовать дополнительные условия по углу и знаку скольжения (уравнения 2.1 и 2.2, стр. 42) при синхронизации активных частей сети?

2. В тексте диссертации в одних местах используется термин «локальная система энергоснабжения», а в других – «MiniGrid».

3. Возможно ли использование предлагаемого способа удаленной синхронизации и восстановления нормального режима аварийно разделенной электрической сети с генераторами (Глава 2, стр. 56) не только в сетях с MiniGrid? Если да, то на каком классе напряжения?

4. Существует ли опасность многократных повторных синхронизаций с помощью автоматики децентрализованной синхронизации, когда одна автоматика делит энергосистему, а другая синхронизирует.

5. В Главе 2, следовало бы поменять местами раздел 2.9 с 2.8.

6. Из текста диссертации не ясно, какие требования предъявляются к объединяемым частям сети.

7. Возможно ли возникновение дегармонизации при изменениях нагрузки потребителей в MiniGrid?

8. В Главе 3, на рис. 3.9-3.12 (стр. 109-111) отсутствуют пояснения.

9. В Главе 4, на рис. 4.1 (стр. 131) приведен график динамики строительства МГЭС в Таджикистане в количестве более 50 шт., однако на рис. 4.2-4.5, а также в Приложении «Г» приводятся сведения только для 16 шт.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы и не подвергают сомнению достоверность полученных и представленных в диссертации результатов.

Общее заключение

Диссертационная работа Гуломзода Анвари Хикмат «Новые технологии управления синхронизацией и восстановлением нормального режима электрических сетей с распределенной малой генерацией», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, соответствует паспорту научной специальности 05.14.02 – «Электрические станции и

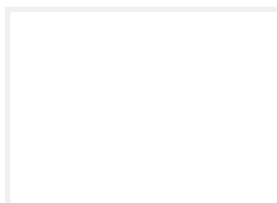
электроэнергетические системы» является актуальной, обладает научной новизной и практической значимости, и является законченной научно-квалификационной работой. Диссертационная работа отвечает требованиям, установленным в пп. 9 - 14 Положения «О присуждении учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (с изменениями от 11.09.2021 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Автор диссертации, Гуломзода Анвари Хикмат, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Отзыв на диссертацию обсужден и одобрен на заседании кафедры «Автоматизированные электрические системы» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», протокол заседания №5 от 29.08.2022 г.

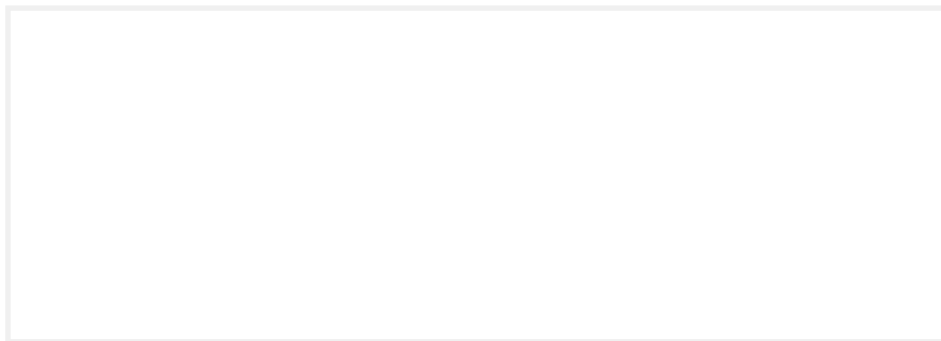
Отзыв подготовлен доктором технических наук, заведующим кафедрой «Автоматизированные электрические системы», профессором Паздериним Андреем Владимировичем.

Заведующий кафедрой
«Автоматизированные
электрические системы»,
доктор технических
наук, профессор



Андрей Владимирович Паздерин

Тел. +7 (343) 375 48 75
Эл. почта: a.v.pazderin@urfu.ru



Отзыв получен 05.09.2022 г. / Осенцев А.А. /
С отзывом ознакомлен 05.09.2022 г. / Гуломзода А.Х. /