

## ОТЗЫВ

официального оппонента по диссертационной работе Зырина Дмитрия Владимировича на тему «Исследование и разработка алгоритмов функционирования систем электроснабжения с гексагональной конфигурацией и распределенной генерацией», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Диссертация Зырина Д.В. посвящена задачам повышения эффективности систем электроснабжения мегаполисов 6-20 кВ, в работе рассматриваются вопросы применения гибкой гексагональной топологии сети и адаптивных алгоритмов управления режимами, приводятся принципы уменьшения аварийных токов при внедрение в распределительную сеть устройств регулирования потоков мощности.

### **Актуальность темы диссертации**

Вопросы интеллектуализации распределительных сетей среднего напряжения находятся в постоянном внимании ученых. Принятая концепция развития интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью сопровождается внедрением инновационных технологий, как в силовой части энергосистемы, так и в системах технологического управления. Существующие сети 6-10 кВ на сегодняшний день работают на пределе пропускной способности и не способны удовлетворять требованиям принятой концепции, в связи с этим возникает задача внедрения сетей, обладающих повышенной пропускной способностью и гибкой топологией. Предложенный способ формирования систем электроснабжения 6-20 кВ по гексагональному принципу позволит изменять конфигурацию сети в зависимости от текущего режима и управлять потоками мощности в распределительных сетях. Однако остаются нерешенными вопросы управления режимами гексагональных сетей в нормальных и аварийных режимах, а также при формировании послеаварийной топологии.

## **Анализ содержания диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемых источников и приложений.

Во **введении** изложена общая характеристика работы, показана ее актуальность, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость.

В **первой главе** отражены особенности построения интеллектуальных распределительных сетей 6-20 кВ, предложены принципы формирования комплексов электроснабжения на основе формализованной гексагональной структуры, а также выполнен сравнительный анализ достоинств и недостатков гексагональных распределительных сетей, выделен спектр требующих дополнительной проработки вопросов. Важными направлениями исследований гексагональных сетей мегаполисов являются вопросы реконфигурации и функционирования гексагональных распределительных сетей с источниками распределенной генерации (ГРС с ИРГ) в нормальных и послеаварийных режимах, применение устройств управления потоками мощности.

Во **второй главе** рассмотрены принципы функционирования ГРС с ИРГ после аварийного отключения источника за счет реконфигурации схемы сети.

Предложен новый балансно-зонный алгоритм реконфигурации сети (БЗАРС) в послеаварийном режиме, учитывающий категоричность потребителей. Алгоритм позволяет перестроить конфигурацию гексагональной сети, путем формирования изолированных районов, с учетом оставшихся в работе источников. Функционал алгоритма реализован в программном обеспечении Matlab с возможностью интеграции в другие программные комплексы.

В **третьей главе** исследованы вопросы функционирования гексагональной сети на разработанных имитационных моделях. Результаты гармонического анализа ГРС с источниками распределенной генерации показали повышение доли высших гармоник при увеличении источников малой генерации, выдающих мощность через инверторы. По результатам имитационного моделирования алгоритма БЗАРС на разработанных моделях,

сделаны рекомендации по его применению в сетях электроснабжения с гексагональной конфигурацией в качестве автоматики ввода резерва.

**Четвертая глава** посвящена исследованию нормальных и аварийных режимов работы гексагональных сетей с устройствами регулирования потоков мощности. Предложенный способ ограничения аварийного тока в системе электроснабжения гексагональной конфигурации показал, что применение интеллектуальных устройств управления потоками мощности положительно сказывается на координации токов короткого замыкания в сети. Также применение устройств автоматики управления регулирования потоков мощности в ГРС позволяет контролировать перераспределение потоков мощности от разных источников.

**В заключении** приведены выводы и основные результаты работы.

**Достоверность** исследования подтверждается опытами имитационного моделирования ГРС с ИРГ. Результаты имитационного моделирования сопоставлялись с известными данными, полученными в этой области другими авторами, а также результатами расчета режимов классическими методами (метод контурных токов, методы узловых потенциалов).

**Научная новизна** заключается в следующем:

1. Предложен способ комбинированного автоматического управления топологией гексагональной распределительной сети в послеаварийных режимах с применением интеллектуальных устройств управления потоками мощности для распределительной сети, что позволяет в перспективе использовать ресурс коммутационного оборудования распределительных электрических сетей наиболее эффективно с сохранением требуемой надежности электроснабжения.

2. Разработан новый алгоритм для управления в нормальных, аварийных и послеаварийных режимах в системах электроснабжения гексагональной конфигурации с ИРГ и накопителями электроэнергии.

3. Предложен новый балансно-зонный принцип реконфигурации гексагональной распределительной сети с ИРГ, который позволяет формировать гибкую распределительную сеть в зависимости от величин генерации и потребления.

4. Исследован способ применения устройств автоматики управления регулирования потоков мощности в ГРС для обеспечения возможности параллельной работы ИРГ с допустимыми значениями аварийных токов.

#### **Теоретическая и практическая значимость результатов работы**

Значимость определяется вкладом автора диссертационной работы в развитие принципов функционирования распределительных сетей гексагональной конфигурации, разработкой способов построения ГРС, принципов послеаварийной конфигурации и ограничения аварийных токов при применении устройств регулирования потоков мощности.

Предложенный новый алгоритм реконфигурации гексагональных распределительных сетей с ИРГ может быть использован для внедрения в разрабатываемые устройства и системы управления распределительными сетями.

Разработанные программы для расчета режимов распределительной сети адаптированы для использования при проектировании и эксплуатации комплексов электроснабжения гексагональной конфигурации, а также для расчета токов, напряжений и фаз нормальных и аварийных режимов районной ГРС.

Сформированные имитационные модели в программном комплексе PSCAD позволяют исследовать дополнительные вопросы, связанные с функционированием сетей гексагональной конфигурации, что дает возможность апробировать сценарии работы предлагаемых гексагональных сетей.

Материалы диссертационной работы используются в учебном процессе кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» при чтении лекций для студентов электроэнергетических специальностей НГТУ им. Р.Е. Алексеева; реализованы в прикладном научном исследовании (ПНИ) «Разработка интеллектуального устройства управления параметрами и конфигурацией распределительной электрической сети 6-20 кВ на базе твердотельного регулятора с ШИМ на частоте сети».

По материалам исследований опубликовано более 15 печатных работ; из них три - в рецензируемых журналах ВАК, четыре - в изданиях,

индексируемых в Scopus и Web of Science. Выдано два свидетельства о регистрации программы для ЭВМ. Автореферат диссертации полностью отражает содержание диссертационной работы.

### **Замечания по работе:**

1. Адаптивность гексагональной распределительной сети связана с возможностью несколько раз в сутки переключения ее элементов при изменении нагрузки. Даже при утверждении о высокой надежности современных коммутационных аппаратов важно дать оценку процессам, происходящим в данной сети при отказе выключателей.

2. Во второй главе предлагается алгоритм реконфигурации при аварийном выходе источника с восстановлением рабочей схемы с нагрузками до аварийного режима, но при этом не рассмотрено возможные режимы увеличения или снижения нагрузки потребителей в сети 0,4 кВ, которые могут совпасть с моментом аварии. Учет данного фактора позволил бы расширить, либо сузить размерность балансных районов и соответственно число оставшихся в работе потребителей.

3. Из текста диссертации не ясно, как осуществляется управление потоками мощности в аварийном режиме: централизованно или децентрализованно? Какой канал связи используется для управления выключателями?

4. В главе 4 при рассмотрении вопросов применения устройств регулирования потоков мощности для гексагональных сетей не рассмотрены вопросы выбора числа и мест установки данных устройств в зависимости от количества и мощности источников распределенной генерации. Выделение данных вопросов обогатит представляемую работу и существенно расширит круг решаемых задач.

5. При анализе токоограничения рассматривались различные временные задержки при переходе устройств автоматики управления регулирования потоков мощности в режим «закоротки», но остались без внимания вопросы влияния ошибок измерения и цифровой обработки измеряемых параметров режима на работу силового комплекса.

б. Редакционные замечания. На ст.24 во втором абзаце вместо МВА напечатано МВ. На стр.60 в третьем абзаце пропущена буква в слове матрицы и т.п.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., №842**

В соответствии с п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. Диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании проведенных исследований изложены научно-обоснованные технические решения, направленные на повышение эффективности систем электроснабжения мегаполисов 6-20 кВ. Разработки позволяют реализовать функционирование ГРС в послеаварийных режимах за счет предложенных алгоритмов, уменьшить величину аварийных токов при использовании устройств автоматики управления регулирования потоков мощности.

В соответствии с п. 10 работа написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора в диссертацию. Решения, приведенные в диссертации, аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями.

В соответствии с п.п. 11-13, основные научные результаты опубликованы в трех рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК.

В соответствии с п. 14 в диссертационной работе имеются ссылки на источники заимствования и ссылки на работы других авторов.

**Заключение**

Диссертационная работа Зырина Дмитрия Владимировича «Исследование и разработка алгоритмов функционирования систем электроснабжения с гексагональной конфигурацией и распределенной генерацией» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых

степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. Диссертация соответствует формуле и области исследований по паспорту специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы» по пп.1,2 и 4.

На основании вышесказанного считаю, что соискатель Зырин Дмитрий Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент  
кандидат технических наук,  
Диспетчер Центра Управления  
Сетями филиала ПАО «ФСК ЕЭС»  
- Нижегородское Предприятие  
Магистральных Электрических Сетей



*М.Д. Обалин*

Обалин

Михаил Дмитриевич

«14» декабря 2017 г.

Адрес: 603950, г. Нижний Новгород, Московское шоссе, 30

Филиал ПАО «ФСК ЕЭС» - Нижегородское Предприятие Магистральных  
Электрических Сетей

Телефон: +7 (908) 230-76-15

T-mail: obalin\_misha@mail.ru

Подпись Обалина М.Д. заверяю  
Главный специалист  
Группы корпоративных сервисов  
филиала ПАО «ФСК ЕЭС»

- Нижегородское Предприятие  
Магистральных Электрических Сетей



*Н.А. Николаевна*

Александрова

Наталья Николаевна