

ОТЗЫВ

официального оппонента – на диссертационную работу **Ибрагимова Бахтиёра Фатхуллоевича** на тему «Моделирование и оценка состояния электроэнергетической системы в условиях аварийного дефицита активной мощности (на примере энергосистемы Таджикистана)», представленную к защите на соискание ученой степени доктора философии (PhD) – доктора по специальности 6D071800 – Электроэнергетика (6D071804 – Энергетические системы и комплексы).

1. Актуальность темы исследования и ее связь с запросами практики

Очень важным в области современной электроэнергетики являются моделирование и анализ динамических процессов, связанных с аварийным дефицитом активной мощности, требующие обработки больших объемов данных с целью достижения высокой технической эффективности, а также с последующим отображением результатов пользователю. Почти во всех вычислительных комплексах, в том числе ведущих, отсутствуют компоненты и функции некоторых устройств. Одним из них является устройство автоматической частотной разгрузки (АЧР), которое предназначено для устранения дефицита активной мощности в энергосистеме (ЭС), и ни в одном из ведущих вычислительных комплексов оно не предусмотрено как отдельный компонент.

В современных ведущих вычислительных комплексах используются одноузловые модели ЭС с устройствами АЧР. На практике АЧР включает множество отдельных устройств, которые размещаются в десятках и более узлах ЭС в соответствии с объемом и прогнозом дефицита активной мощности, и по расчету эти устройства требуют особенной настройки.

Зарубежные разработчики вычислительных комплексов исключительно полагаются на нормативно-технические требования, актуальные в западных странах. Их работа опирается на стандарты, разработанные Институтом инженеров электротехники и электроники (ИЭЕЕ) и Международной электротехнической комиссией (ИЕС). В этих стандартах не присутствуют такие понятия, как АЧР-1, АЧР-2 и частотное автоматическое повторное включение (ЧАПВ). Соответственно, разработанные программы в этом смысле малопригодны для научных исследований и эксплуатационных расчетов. Анализ объема разгрузки и корректировка требуемых настроек в модели должны соответствовать условиям реальной ЭС. За счет работы устройств АЧР без вмешательства человека обеспечивается предотвращение и ликвидация аварийных ситуаций, а также восстановление нормального режима работы ЭС.

Возникновение крупных аварий в энергосистемах развитых стран (США - 1977 г., Франция - 1978 г., Швеция и СССР - 1983 г., Канада - 1996 г., Россия 2005 г.) стимулировало развитие систем и технологии совершенствования в области противоаварийной автоматики. Крупные аварии произошли и в ЭС РТ в последние годы (09.11.2009 и 28.10.2016 г.), в результате которых 70 % страны остались без электроэнергии в течение нескольких часов, что привело к большому экономическому ущербу. Данные обстоятельства требуют исследования и систематического изучения проблемы потенциальных отключений электроэнергии в энергосистеме Таджикистана.

Эти факторы определяют актуальность темы данной работы, в которой разрабатывается компонент для моделирования процессов аварийного снижения частоты в ЭС и работы системы АЧР, который позволяет применять его на вычислительных комплексах и компилятором которого служат языки программирования высокого уровня.

2. Научная новизна результатов и выводов, сформулированных в диссертации

Научная новизна основных положений и результатов работы заключается в следующем:

2.1. Разработан программный компонент АЧР (АЧР-1, АЧР-2 и ЧАПВ) для предотвращения аварийного снижения частоты в ЭС.

2.2. Разработана методика проверки микропроцессорного терминала (МПТ) путем экспериментального моделирования применительно к устройствам АЧР.

2.3. Впервые на базе вычислительного комплекса PSCAD разработана расчетная модель ЭС РТ с учетом ввода новых объектов для анализа и расчета установившихся и переходных режимов.

3. Практическая значимость работы

3.1. Разработанный программный компонент используется при проектировании системы АЧР в энергодефицитных ЭС и для исследования переходных процессов, связанных с аварийным снижением частоты в ЭС.

3.2. Разработанная методика проверки АЧР с использованием компьютерно-управляемой испытательной системы, позволяющая выполнять тестирование МПТ, реализующего функции АЧР, может быть использована при проверке вводимых в эксплуатацию новых объектов и проведении плановых профилактических испытаний.

3.3. Разработаны научно-подтвержденные технические рекомендации и требования по применению компонента АЧР в среде программных комплексов для проведения исследования изменения частоты в ЭС.

3.4. Результаты разработок успешно внедрены в учебный процесс по курсу «Спецвопросы противоаварийной автоматики» и «Автоматика энергосистем» для выполнения научных работ магистрантов в ТГУ имени академика М.С. Осими и Департаменте выработки гидро и тепловых станций ОАО «Барки Точик».

4. Оценка внутреннего единства и направленности полученных результатов на решение поставленных задач

Для достижения поставленных целей автором решен сложный комплекс взаимосвязанных задач. Текст диссертационной работы написан грамотным техническим языком. Работа содержит введение, три главы, выводы и заключение, изложена на 157 страницах, а также содержит 81 иллюстрацию, 10 таблиц, библиографический список на 129 наименований и приложение.

Введение является фундаментальной частью научной работы, где обосновывается актуальность выбранной темы, сформулирована цель и поставлены задачи, показана структура диссертации, охарактеризованы научная новизна и практическая ценность итогов исследования.

В первой главе проведен исследовательский анализ новейших вычислительных комплексов, которые широко используются для анализа и решения различных задач ЭС. Рассмотрены динамика снижения частоты в ЭС при дефиците генерации, причины возникновения аварий и принципы реализации частотной разгрузки в ЭС. Также рассмотрена разработка компонента АЧР, который ни в одном из ведущих вычислительных комплексов не предусмотрен как отдельный компонент. Компонент разрабатывается с учетом всех действующих нормативных требований по установке и настройке системы АЧР.

Во второй главе рассмотрены состояние, особенности, структура и иерархия, основные индикаторы развития ЭС РТ. Так как ЭС РТ в основном состоит из ГЭС, соответственно были рассмотрены особенности ЭС с гидравлическими источниками генерации. Были рассмотрены причины возникновения аварий, приведена статистика возникновения аварий в ЭС РТ. Использовались модели элементов ЭС и устройств ПА для анализа переходных процессов, а также была разработана компьютерная модель ЭС РТ с учетом ввода новых объектов, позволяющая выполнить расчет и анализ установившихся и переходных режимов. Верификация работы модели

выполнена путем сравнения ее работы с реальными данными режима работы ЭС.

В третьей главе была произведена проверка работоспособности устройства АЧР путем математического моделирования, проведена верификации разработанного программного компонента устройства АЧР с использованием метода физико-математического моделирования.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные при решении поставленных задач и обеспечившие достижение цели диссертационной работы.

Анализ поставленных задач и алгоритмов их решения свидетельствует о единстве структуры и содержания работы.

5. Соответствие работы избранной специальности 6D071800 – Электроэнергетика (6D071804 – Энергетические системы и комплексы)

Исходя из анализа тематики выполненных исследований, поставленных и решенных автором задач, касающихся разработанного программного компонента для определения значения частоты и применение соответствующих мер по предотвращению ее дальнейшего снижения, а также созданной программной модели ЭС и разработанного метода апробации АЧР с помощью цифровых и физических испытательных систем, диссертация по своему содержанию соответствуют п.2, п.6, п.7 и п.9 паспорта научной специальности 6D071800 – Электроэнергетика (6D071804 – Энергетические системы и комплексы).

6. Степень достоверности результатов и обоснованности выводов исследования

Достоверность результатов данной работы определяется несколькими факторами. Прежде всего, это правильное использование математического аппарата, который является основой для проведения аналитических расчетов и моделирования. Для обеспечения более точных результатов, в работе использовались моделирующие комплексы, которые были предварительно апробированы и протестированы признанными научными центрами. Это позволяет гарантировать надежность и достоверность полученных результатов. Кроме того, основные результаты работы обсуждались на международных конференциях с участием автора.

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

Основные материалы и результаты исследований диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных конференциях и научных семинарах. По результатам исследований работы опубликовано 11 печатных работ, в том числе 4 работы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан и ВАК Российской Федерации, получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Автореферат диссертации и публикации полностью отражают содержание и научные результаты, полученные автором в работе.

8. Замечания по диссертации

1. В главе 2 на стр. 84 представлены формулы (2.20) и (2.21) для моделирования активной и реактивной мощности нагрузки. Требуется разъяснить, где автор взял эти формулы, так как ссылки на литературу отсутствуют. Или автор получил эти выражения самостоятельно?
2. В российских энергосистемах давно созданы системы автоматического ограничения снижения частоты (АОСЧ). Какие особенности имеет разработанная диссертантом система АОСЧ по сравнению с российскими?
3. На стр. 39 приведено некорректное выражение для функции Delay, которое следовало бы записать

$$e^{-sT} F(s) \doteq \begin{cases} 0 & \text{при } t < T \\ f(t-T) & \text{при } t > T, \end{cases}$$

где $F(s)$ есть изображение функции $f(t)$.

4. Из приведённой формулы на стр. 40 непонятно, как проводится расчёт шести временных интервалов. Почему в этой формуле присутствует цифра 6 и в числителе, и в знаменателе?
5. Режимы с изменяющейся частотой характеризуются параметрами элементов энергосистемы, зависящими от частоты. Учитывается ли это обстоятельство при расчёте режимов энергосистем при изменении частоты?
6. В работе имеются отдельные стилистические погрешности и опечатки, связанные в основном с окончаниями слов, например, фразу на стр. 5 «В практике АЧР включается множество отдельных устройств», следовало бы написать «На практике АЧР включается в виде множества отдельных устройств».

Высказанные замечания не снижают достоинств диссертационной работы Ибрагимова Б.Ф., её основные положения достаточно полно раскрыты в автореферате и публикациях диссертанта.

9. Общее заключение о соответствии диссертационной работы требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям

В целом результаты научных исследований и выводы, полученные Б.Ф. Ибрагимовым, свидетельствуют о том, что соискателем выполнена актуальная и современная работа, направленная на решение важной практической задачи в электроэнергетике, а именно предотвращение и эффективная ликвидация возникающих аварийных ситуаций, связанных с дефицитом активной мощности и аварийным снижением частоты в энергосистеме. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой и имеет существенное значение для улучшения технических и экономических показателей электроэнергетических систем.

Диссертационная работа вполне отвечает требованиям согласно Приложению 2 к Пункту 40 Постановления Правительства Республики Таджикистан «О порядке присуждения ученых степеней» №267 от 30 июня 2021 года. Её автор Ибрагимов Бахтиёр Фатхуллоевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора философии (PhD) – доктора по специальности 6D071800 – Электроэнергетика (6D071804 – Энергетические системы и комплексы).

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор кафедры
Автоматизированных электроэнергетических
систем Новосибирского государственного
технического университета, доцент
г. Новосибирск РФ

Красильникова
Татьяна Германовна

Подпись д.т.н. Красильниковой Т.Г. заверяю:
начальник отдела кадров



О.К. Пустовалова

Дата: «30» января 2024 г.

ОТЗЫВ

официального оппонента – на диссертационную работу **Ибрагимова Бахтиёра Фатхуллоевича** на тему «Моделирование и оценка состояния электроэнергетической системы в условиях аварийного дефицита активной мощности (на примере энергосистемы Таджикистана)», представленную к защите на соискание ученой степени доктора философии (PhD) – доктора по специальности 6D071800 – Электроэнергетика (6D071804 – Энергетические системы и комплексы).

1. Актуальность работы

Переходные процессы в энергосистеме (ЭС) возникают при нарушении нормального режима в результате коротких замыканий в элементах сети, нарушения устойчивости, выделения районов с дефицитом активной мощности на изолированную работу.

Для предотвращения и ликвидации аварийных ситуаций с возникновением опасного дефицита активной мощности и снижения частоты в отделившемся районе служат устройства автоматического ограничения снижения частоты (АОСЧ).

Действие систем противоаварийной автоматики, в том числе средств предотвращения снижения частоты в ЭС, в основном изучают на моделях, так как проведение натуральных экспериментов весьма затруднено в реальных условиях. Удобство при моделировании и применение готового компонента, моделируемого устройства или системы, способствует сокращению работы пользователя. При моделировании необходим компонент, который мог бы реализовать свойство адаптивности устройство АЧР при любом сценарии изменения частоты.

Поэтому предотвращения и ликвидации возникающих аварийных ситуаций, связанных с дефицитом активной мощности и аварийным снижением частоты, требуют исследования и систематического изучения проблемы потенциального отключения электроэнергии в энергосистемах.

Перечисленные выше факторы определяют актуальность темы данной работы, в которой разрабатывается компонент для моделирования процессов аварийного снижения частоты в ЭС и поведение системы АЧР.

2. Степень обоснованности научных положений, полученных результатов и выводов подтверждается корректным использованием метода системной оценки математического моделирования электромеханических переходных процессов, а также теоретические основы релейной защиты и

автоматики. Для проведения расчетов и моделирования использовался вычислительный комплекс ЭС Power Systems Computer Aided Design (PSCAD).

3. Новизна научных положений, выводов и рекомендации их достоверности:

К научной новизне результатов диссертационной работы можно отнести следующие результаты:

3.1. Разработан программный компонент АЧР (АЧР-1, АЧР-2 и ЧАПВ) для предотвращения аварийного снижения частоты в ЭС.

3.2. Разработана методика проверки микропроцессорного терминала (МПТ) путем экспериментального моделирования применительно к устройствам АЧР.

3.3. Впервые на базе вычислительного комплекса PSCAD разработана расчетная модель ЭС РТ с учетом ввода новых объектов для анализа и расчета установившихся и переходных режимов.

Достоверность научных положений и результатов работы подтверждена представленными в диссертации результатами.

4. Практическая значимость работы

4.1. Разработанный программный компонент используется при проектировании системы АЧР в энергодефицитных ЭС и для исследования переходных процессов, связанных с аварийным снижением частоты в ЭС.

4.2. Разработанная методика проверки АЧР с использованием компьютерно-управляемой испытательной системы, позволяющая выполнять тестирование МПТ, реализующего функции АЧР может быть использована при проверке вводимых в эксплуатацию новых объектов и проведении плановых профилактических испытаний.

4.3. Разработаны научно-подтвержденные технические рекомендации и требования по применению компонента АЧР в среде программных комплексов для проведения исследования изменения частоты в ЭС.

4.4. Результаты разработок успешно внедрены в учебный процесс по курсу «Спецвопросы противоаварийной автоматики» и «Автоматика энергосистем» для выполнения научных работ магистрантов в ТТУ имени академика М.С. Осими и Департаменте выработки гидро и тепловых станций ОАО «Барки Точик».

5. Апробация работы и публикации

Основные материалы и результаты исследований диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных конференциях и научных семинарах.

Материалы диссертации были доложены и обсуждены на Международные научно-практические конференции: «Перспектива развития науки и образования» (Душанбе, 2019 г.); «Электроэнергетика Таджикистана: Актуальные проблемы и пути их решения» (Душанбе, 2019 г.), «Электроэнергетика региона: Состояние и перспективы развития» (Душанбе, 2019 г.), «Энергетика: Состояние и перспективы развития» (Душанбе, 2021 г., 2022 г.), на двадцать девятой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиотехника, Электротехника и Энергетика» (Москва, 2023 г.).

Публикации: По результатам исследований работы опубликовано 11 печатных работ, в том числе 4 работы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан и Российской Федерации, получен свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Личный вклад автора в диссертационную работу заключается на работах автора как ведущего специалиста по релейной защите и противоаварийной автоматике в энергетической компании «Барки Точик», при преподавании предмета релейной защиты и автоматики в филиале Национального исследовательского университета «МЭИ» в городе Душанбе, а также при постановлении цели и задач исследования, изучении путей их решения, разработке программного компонента и методике экспериментов и компьютерное моделирование, при проведении экспериментов с использованием программно-аппаратного комплекса, при оценке, обобщении, получении научных результатов и решений по работе.

6. Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом

Диссертация содержит введение, три главы, выводы и заключение, изложенных на 157 страницах, а также содержит 81 иллюстрации, 10 таблиц, библиографический список на 129 наименований и приложение.

Анализ поставленных задач, методов и алгоритмов их решения, свидетельствует о единстве структуры и содержания работы.

7. Замечания по диссертации

7.1. На взгляд оппонента вторая глава диссертации перенасыщена известными фактами, которые можно было бы не включать в итоговую версию работы.

7.2. Выводы по второй главе не отражают в полной мере значимость полученных результатов, а являются их констатацией.

7.3. В чем заключается метод экспериментального моделирования и чем подтверждается результат?

В диссертации и автореферате встречаются отдельные технические и стилистические ошибки. Однако, вышеприведенные замечания и существующие технические недостатки не уменьшают научную и практическую значимость полученных в работе результатов.

Заключение

Диссертационная работа Ибрагимова Бахтиёра Фатхуллоевича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научно-техническом уровне, представляющей собой завершённое исследование на конкретную актуальную тему. Выводы и предложения аргументированы, полученные результаты новые и достоверные.

Содержание диссертационной работы и автореферата соответствует паспорту научной специальности 6D071800 – Электроэнергетика (6D071804 – Энергетические системы и комплексы).

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Ибрагимова Бахтиёра Фатхуллоевича «Моделирование и оценка состояния электроэнергетической системы в условиях аварийного дефицита активной мощности (на примере энергосистемы Таджикистана)» удовлетворяет требования «Положения о присуждении учёных степеней» ВАК при Президенте Республики Таджикистан к кандидатским и докторским диссертациям, а её автор Ибрагимов Б.Ф. заслуживает присуждения ему искомой ученой степени доктора философии (PhD) – доктора по специальности 6D071800 – Электроэнергетика (6D071804 – Энергетические системы и комплексы).

Официальный оппонент

кандидат технических наук, начальник отдела «распределения и потерь электроэнергии» филиала ОАО «Распределительные электрические сети», г. Бохтар

А.З. Рахматулов

Подпись к.т.н., Рахматулова А.З. заверяю:

Начальник отдела кадров

Х.Н. Одинаев

Дата: «13» 02 2024 г.

