

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата технических наук, доцента
Кашина Якова Михайловича
на диссертационную работу Султонова Оламафруза Олимовича
«Симметрирование выходного напряжения малых ГЭС в автономном режиме»,
представленную на соискание степени кандидата технических наук
по специальности 2.4.2. – «Электротехнические комплексы и системы»

1. Актуальность работы

В Республике Таджикистан (РТ) большая часть населения сосредоточена в условиях удалённости от централизованного электроснабжения, что приводит, особенно в зимние периоды, к нехватке электроэнергии. Несмотря на то, что РТ располагает 4% от мирового и около 69% гидроэнергетического потенциала в Центральной Азии из-за сложности рельефа местности подвод электроэнергии централизованного электроснабжения с технической точки зрения не всегда целесообразен. При этом имеется возможность и оказывается целесообразным строительство малых ГЭС (МГЭС) на горных реках, обеспечивая потребителей небольших населённых пунктов электроэнергией от автономных источников.

При создании таких источников прежде всего возникают задачи обеспечения надёжности электроснабжения и качества вырабатываемой электроэнергии. В своей диссертационной работе О. Султонов предлагает для повышения надёжности автономных МГЭС упростить их структуру. Из условия упрощения структуры МГЭС, с целью обеспечения их работы в автономном необслуживаемом режиме, предлагается использовать неуправляемые простейшие элементы: турбину в виде центробежного насоса и генератор на основе синхронной машины с возбуждением от постоянных магнитов. Тогда качество энергии будет обеспечиваться полупроводниковым преобразователем напряжения. Очевидно, что надёжность работы таких МГЭС в автономном режиме будет определяться не только надёжностью её функциональных элементов, но также сложностью и объёмом электронных управляющих устройств. Поэтому, чем проще алгоритмы управления и функционирования МГЭС, тем меньше объём электронных управляющих устройств и тем проще обеспечить бесперебойность работы и регламентное обслуживание. Одной из проблем, возникающих при использовании полупроводниковых преобразователей в составе МГЭС, является симметрирование напряжения при несимметричной нагрузке. При решении этой проблемы традиционными методами резко возрастает требуемый объём вычислительных ресурсов, приводящий к усложнению схем и снижению их надёжности.

В связи с этим комплекс исследований и решенных задач, выполненных Султоновым О.О. и представленных в диссертационной работе, направленный на разработку нового метода симметрирования напряжения на выходе полупроводникового преобразователя, структуры необслуживаемой надёжной МГЭС и обеспечение простейшими средствами необходимого качества электроэнергии являются весьма актуальными.

2. Структура и содержание диссертации

Диссертационная работа О.О. Султонова включает в себя введение, пять глав, заключение, список литературы и шесть приложений. Объем диссертации – 190 страниц, включая список литературы из 184 наименований и приложения

Во введении дано обоснование актуальности темы, сформулированы цели, задачи и методы исследования, показан объект и предмет исследований, научная новизна, практическая и теоретическая значимость работы. Сформулированы положения, выносимые на защиту, а также сведения о степени достоверности апробации результатов работы.

В первой главе описан выполненный автором анализ состояния развития возобновляемых источников энергии в мире и гидроэнергетических ресурсов, особенности организации проблемы и технико-экономическое обоснование структур электроснабжения отдаленных и труднодоступных районов Республики Таджикистан. Показано, что наиболее рациональным путём решения задач электроснабжения высокогорных труднодоступных районов Таджикистана и устранения дефицита электрической энергии в энергосистеме является строительство и эксплуатация автономных МГЭС для каждого населённого пункта. Для этого автором предложена упрощенная функциональная схема МГЭС, состоящая из высоконадёжных функциональных элементов, в которой осуществляют стабилизацию амплитуды и частоты выходного напряжения МГЭС с помощью электронного преобразователя напряжения, а возбуждение генератора осуществлять от постоянных магнитов.

Во второй главе предложен новый метод симметрирования напряжения на выходе полупроводникового преобразователя с дискретной коммутацией ключей. При этом вместо сложных и дорогостоящих синусоидальных преобразователей напряжения автором предложено использовать более простые устройства с дискретным управлением, например, на основе трёхфазного мостового инвертора напряжения. Несмотря на существенно несинусоидальную форму напряжения, содержание высших гармоник в нём оказалось незначительным, и действующее значение первой гармоники напряжения составило 0,955 от действующего значения полного напряжения. Таким образом, такой простейший преобразователь с успехом может быть использован там, где требования по содержанию высших гармоник в фазном напряжении не очень жёсткие, например, для электроснабжения небольших сельских поселений. При наличии несимметрии нагрузки форма фазного напряжения искажается. Следовательно, в состав преобразователя необходимо вводить дополнительные устройства симметрирования, позволяющие сохранять форму фазного напряжения. Известные схемы таких устройств сложны и реализуются с привлечением большого объёма вычислительных ресурсов. В диссертации предложено новое достаточно эффективное устройство, построенное на принципе дискретного потактового симметрирования. Доказана работоспособность и эффективность такого устройства при любой несимметрии нагрузки.

В третьей главе рассмотрены динамические процессы работы системы в режиме дискретного потактового симметрирования. При этом все элементы системы представлены в виде стандартных известных в теории управления динамических звеньев. В результате анализа сделан вывод, что использование простого линейного регулятора невозможно. Между тем, использование релейного регулятора существенно может упростить алгоритмы работы системы и обеспечить характерное для таких регуляторов высокое быстродействие. Проведён расчёт релейной системы в режиме вибрационного регулирования напряжения и представлена инженерная методика его проектирования. Показано, что релейной системе устанавливается устойчивый предельный цикл заданной амплитуды и частоты, а задание по напряжению общей точки сети отрабатывается без перерегулирования за 0,4мс.

В четвертой главе для проверки работоспособности предложенного принципа симметрирования в разных режимах работы реализована имитационная модель полупроводникового преобразователя напряжения в среде MATLAB/Simulink. В процессе моделирования нагрузки были взяты те же, что и при имитационном моделировании. Результаты моделирования на имитационной модели для случаев симметричной и несимметричной нагрузок подтвердили результаты аналитических расчётов режима симметрирования. Результаты моделирования подтвердили, что путём использования дискретного потактового симметрирования с применением релейного регулятора напряжения общей точки сети можно осуществить симметрирование напряжения при несимметричной активной и активно-индуктивной нагрузке.

В пятой главе представлены результаты экспериментальных исследований и практические результаты работы. Также представлена проведенная сравнительная оценка традиционных и предложенных схем симметрирования и показано, что предложенная схема оказывается дешевле традиционной на 10% и реализуется на российской элементной базе на основе простейших восьмиразрядных процессоров.

3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Степень обоснованности выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечена использованием известных теоретических положений из теоретических основ электротехники, теории полупроводниковой преобразовательной техники и др. Обоснованность научных положений подтверждается проведением всесторонней и глубокой оценки научных публикаций российских и зарубежных авторов по теме работы. Корректность результатов и выводов согласуется с аналогичными результатами и выводами, опубликованными другими авторами.

4. Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректностью поставленных задач, применением известных методов структурного и параметрического синтеза, математических методов матричных уравнений, метода дискретных систем автоматического управления, имитационного моделирования с применением пакета MATLAB/Simulink, метода физического моделирования на основе экспериментальных исследований, а также положительными результатами испытаний изготовленного диссертантом экспериментального образца полупроводникового преобразователя с дополнительным транзисторным полумостом.

В процессе диссертационных исследований автором получены являющиеся дальнейшим развитием теории и практики электротехнических систем новые научные результаты:

- упрощенная структурная схема МГЭС на основе высоконадёжных функциональных узлов;
- теоретическое обоснование и схемотехнические решения для устройства потактового дискретного симметрирования напряжения на выходе трёхфазного полупроводникового преобразователя напряжения;
- теоретическое обоснование, схемотехническое решение и методика расчёта релейного регулятора напряжения общей точки трёхфазной сети в процессе симметрирования напряжения.
- имитационная модель МГЭС с полупроводниковым преобразователем с нулевым проводом.

5. Значимость для науки и практики полученных автором результатов

Теоретическая значимость работы заключается в следующем:

1. Проведенный гармонический анализ напряжения дискретного преобразователя при различных способах коммутации позволил установить, что содержание высших гармоник для стандартных способов коммутации ключей инвертора (120,150,180 градусов) входит допустимую для бытовых электросетей норму 8%.

2. Теоретически обоснована возможность использования в МГЭС дискретного преобразователя постоянного напряжения в трёхфазное переменное..

3. Впервые предложено, теоретически исследовано и практически реализовано устройство потактового дискретного симметрирования напряжения на выходе

трёхфазного полупроводникового преобразователя напряжения, что является вкладом в развитие общей теории электротехнических комплексов.

Практическая значимость проведенных исследований заключается в следующем:

1. Разработана структурная схема МГЭС, которая позволяет обеспечить качество выходного электроэнергии напряжения выходным инвертором напряжения.

2. Разработана методика расчёта релейного регулятора для устройства симметрирования, доведенная до уровня инженерной методики, которая позволяет проектировать устройства данного типа для автономной МГЭС.

3. Разработаны электрические схемы устройства симметрирования, которые позволяют реализовать МГЭС при работе в различных режимах

Практическая значимость проведенных исследований подтверждена тем, что результаты исследований внедрены в Открытое акционерное общество «Барки Точик», ООО «Южно-Уральский Электромеханический завод», а также в учебный процесс на кафедрах «Электрические станции» Института энергетики Таджикистана и «Электроснабжения» Горно-металлургического института Таджикистана.

6. Соответствие паспорту научной специальности

Результатами диссертационного исследования являются функциональная схема, имитационные, математические и физические модели, методики проектирования, схемотехнические решения, что соответствует паспорту научной специальности 2.4.2. – «Электротехнические комплексы и системы».

7. Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации и автореферата

В диссертации Султонова Оламафруза Олимовича представлены все основные компоненты исследования, которые необходимы при формировании кандидатской диссертации, представлена хорошая апробация работы, как на международном уровне, так и всероссийском.

Содержание автореферата диссертации в полной мере соответствует тексту диссертационной работы и отражает все основные её положения.

Диссертация и автореферат выполнены на хорошем научном, методическом и техническом уровне, написаны технически грамотно, изложение материала методически выдержано, логически последовательно.

Предложенные автором решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями.

Графический материал в диссертации и в автореферате хорошо дополняет текстовую часть и выполнен аккуратно, без ошибок и нарушений действующих стандартов.

Однако по работе имеются следующие вопросы:

1. Допустимо ли в предлагаемой схеме автономного электроснабжения населённых пунктов заземление общей точки сети и как это скажется на работе автономного инвертора.

2. Как осуществляется регулирование амплитуды выходного напряжения инвертора – непосредственно силовыми ключами или по шинам постоянного тока?

3. Какая практическая частота работы релейного регулятора ожидается в реальной системе электроснабжения?

4. Как скажется на работоспособности автономного инвертора с симметрированием выход из строя одного из силовых ключей инвертора или дополнительной стойки симметрирования?

5. Возможно ли использование предлагаемого принципа симметрирования при синусоидальном фазном напряжении.

К недостаткам работы следует отнести избыточную вводную часть с анализом существующих систем электроснабжения Таджикистана. Было бы полезней сравнить стоимость организации системы электроснабжения определённого пункта путём строительства к нему ЛЭП и строительства автономной МГЭС.

8. Заключение

Указанные замечания не снижают научной и практической ценности проведенных автором исследований.

Диссертационная работа Султонова Оламафруза Олимовича на тему «Симметрирование выходного напряжения малых ГЭС в автономном режиме» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные положения и технические решения по проектированию и исследованию электротехнических комплексов для альтернативной энергетики. По содержанию, объекту и направлению исследований диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.4.2. – Электротехнические комплексы и системы.

Полученные решения и выводы хорошо аргументированы и подтверждены результатами практического внедрения. Совокупность теоретических положений, разработанных в диссертации автором и подтвержденных результатами выполненных исследований, является решением актуальной научно-технической задачи, имеющей важное значение для совершенствования автономных ГЭС и вносит существенный вклад в развитие малой и средней распределенной энергетики.

Полученные в ходе диссертационного исследования результаты отражены в 17 научных работах, в том числе: 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, 6 статей в материалах конференций IEEE, индексируемых международных базах данных Scopus/Web of Science, 6 статей в сборниках докладов и трудах российских и международных конференций РИНЦ, 2 патента на изобретение: 1 патент РФ, 1 патент ЕАПО, что соответствует п. 11-13 действующего Положения о присуждении ученых степеней.

Таким образом, диссертация удовлетворяет критериям Положения о присуждении ученых степеней, которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор Султонов Оламафруз Олимович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент –
заведующий кафедрой
электротехники и электрических машин
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Кубанский государственный технологический
университет»,
кандидат технических наук, доцент
(научная специальность 05.09.03 –
Электротехнические комплексы и системы)

17.02.2025

Я.М. Кашин

Ученый секретарь Ученого совета
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
технологический университет»

В.В. Гончар

350058, г. Краснодар, ул. Старокубанская, 88/4 (1-й этаж, ауд. С-435).
Тел.: 8(861)2337343; E-mail: jlms@mail.ru