

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Гришанова Евгения Валерьевича «Система генерирования электрической энергии на базе солнечных батарей и полупроводникового преобразователя», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

1. Актуальность тематики диссертации для теории и практики

В отрасли производства электрической энергии существенный экономический потенциал приобретают системы генерирования на базе возобновляемых источников. Широкое повсеместное внедрение таких систем генерирования в электроэнергетический комплекс позволит снизить потребление углеводородных видов топлива, эксплуатационные и амортизационные расходы, многократно уменьшить нагрузку на экологическую систему. При этом из всех основных видов возобновляемой энергетики солнечная фотоэнергетика в России обладает наивысшими значениями как теоретического, так и технического потенциала. В результате введения в эксплуатацию солнечной электростанции мощностью 20 МВт в Майминском районе Республики Алтай в 2017 году Россия вошла в перечень стран, наряду с Японией и Кореей, использующих в промышленных масштабах технологию гетероперехода (гетероструктурные фотоэлектрические модули российского производства с повышенной эффективностью). Однако полупроводниковые преобразователи в данном проекте, как и во многих подобных проектах, были использованы импортного производства. Поэтому разработка энергоэффективных систем генерирования на базе фотоэлектрических модулей имеет для России первостепенное значение.

Диссертационная работа Гришанова Е.В. посвящена разработке и исследованию бестрансформаторных систем генерирования на базе фотоэлектрических модулей и полупроводниковых преобразователей (СГФ). Подобные системы генерирования, как правило, интегрируются в архитектурные сооружения различного назначения и обеспечивают их электропитание. Интерес к таким системам в мировой практике вызван их преимуществами, такими как возможность существенного улучшения удельных массогабаритных показателей, повышение КПД, увеличение

надежности и срока службы, а также снижение расходов на сервисное обслуживание.

Ключевая задача, решаемая в диссертации, связана с подавлением синфазного тока утечки (СТУ), который может быть причиной снижения качества формируемого системой генерирования выходного напряжения и тока, возникновения различных аварийных и нештатных ситуаций, может создавать угрозу поражения электрическим током обслуживающего персонала. При этом также требовалось сохранить присущие бестрансформаторным СГФ преимущества в энергетической эффективности и в стоимостных и массогабаритных показателях.

Таким образом, диссертационная работа Гришанова Е.В. актуальна и с практической точки зрения, ввиду потребности в разработке и внедрении новых схем и алгоритмов управления СГФ, и с теоретической, ввиду потребности в разработке математических моделей преобразователей и методик расчета энергетических показателей качества преобразования электрической энергии.

2. Анализ содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 190 наименований и пяти приложений, содержит 126 рисунков и 26 таблиц. Общий объем работы составляет 278 страниц.

Во введении доказана актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель, задачи исследования и используемые методы, оценены достоверность, научная значимость и новизна результатов работы, описаны положения, выносимые на защиту, практическая ценность работы, личный вклад автора, связь исследований с научно-техническими программами, проектами и грантами, апробация работы и реализация ее результатов, публикации, а также структура диссертации.

В первой главе представлен сравнительный анализ элементов структуры бестрансформаторной СГФ, а именно солнечных фотоэлектрических модулей (СФМ), схем преобразователей постоянного напряжения, аккумуляторных батарей, схем преобразователей (инверторов напряжения), выходных фильтров. Рассмотрены алгоритмы и способы управления, а именно подробно описаны различные способы генерации максимальной мощности СФМ, алгоритмы реализации широтно-импульсной модуляции (ШИМ) и способы поддержания баланса напряжений

конденсаторов звена постоянного тока многоуровневых преобразователей. Также рассмотрены области применения СГФ и выявлены проблемы их реализации и анализа. Сделан вывод о необходимости разработки для СГФ схем многоуровневых инверторов напряжения и алгоритмов векторной ШИМ для них, с возможностью подавления синфазного тока утечки, а также разработки математических моделей для расчета электромагнитных процессов в них.

Вторая глава посвящена подавлению синфазных токов утечки в СГФ, в ней описаны причины и факторы, влияющие на величину СТУ, полные и упрощенные схемы замещения СГФ на базе однофазных и трехфазных преобразователей, алгоритмические и схемотехнические способы снижения СТУ. Предложена схема однофазного трехуровневого преобразователя, описаны комбинации состояний его ключей и предложен алгоритм векторной ШИМ для подавления СТУ за счет формирования постоянного по величине синфазного выходного напряжения. Изучены комбинации ключевых состояний и разработаны аналогичные селективные алгоритмы для трехуровневой и пятиуровневой трехфазных схем. Приведены полученные моделированием в PSIM временные диаграммы выходных токов и напряжений инверторов в режимах без подавления и с подавлением СТУ. Выявлено, что для формирования n -уровневого выходного дифференциального напряжения требуется $(2n-1)$ -уровневый преобразователь, где $n = 2k+1$, k – целое число.

В третьей главе представлена процедура разработки математических моделей для расчета энергетических показателей качества преобразования электрической энергии в СГФ, в соответствии с которой определены переключающие функции сегментов, предложены последовательности комбинаций состояний ключей и определены переключающие функции комбинаций состояния ключей, построены математические модели для численного и аналитического расчета выходного напряжения, фазного и синфазного токов преобразователя и для расчета токов ключей для векторных алгоритмов ШИМ. Получено аналитическое выражение для расчета угла сдвига фаз выходных напряжения и тока в функции глубины модуляции и угла сдвига фаз сетевого напряжения и первой гармоники выходного дифференциального напряжения. Получены зависимости коэффициента гармоник тока от глубины модуляции и величины паразитной емкости СФМ. Предложена методика расчета статических и динамических

потерь в полупроводниковых ключах и КПД преобразователя в составе СГФ. Построены зависимости КПД от кратности частоты коммутации ШИМ и величины паразитной емкости СФМ и выявлен режим работы по частоте ШИМ (значение кратности приближенно равно 2000) для эффективной работы предложенного однофазного преобразователя, когда сумма статических и динамических потерь в ключах (транзисторы MOSFET с обратными диодами) меньше, чем у существующей схемы пятиуровневого преобразователя в режиме подавления СТУ.

В четвертой главе описана экспериментальная установка и представлены полученные с ее помощью результаты. Показаны внешний вид силовой платы, источника питания и микропроцессорного модуля и подробно описаны основные этапы разработки и параметры установки. Представлены результаты экспериментов, подтверждающие возможности подавления синфазного тока утечки при использовании предложенного полупроводникового преобразователя и алгоритма векторной ШИМ в структуре бестрансформаторной СГФ, а также адекватность разработанных математических моделей. В частности, доказано снижение СТУ в 2,5 раза и более для принятых значений паразитной емкости СФМ. Установлено, что результаты, полученные с помощью имитационной модели, отличаются от экспериментальных не более чем на 6%, а полученные с помощью аналитической модели не более чем на 10%.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы, полученные в диссертационном исследовании.

В приложениях показаны контуры протекания тока в разработанном однофазном пятиуровневом преобразователе, приведен пример расчета весовых коэффициентов образующих векторов для селективной ШИМ, приведены принципиальные схемы и перечни элементов разработанного однофазного пятиуровневого преобразователя и источника питания и представлены акты о внедрении научных результатов диссертации.

Содержание автореферата в полной мере соответствует содержанию диссертации.

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

Справедливость и достоверность полученных теоретических соотношений автор подтвердил имитационным моделированием (с учетом общепринятых допущений) и физическим экспериментом, произвел

сопоставление результатов данных экспериментов. Синтезированный автором полупроводниковый преобразователь для работы в составе бестрансформаторных систем генерирования был исследован теоретически и экспериментально. Полученные при этом выводы и численные результаты не противоречат основным научным и практическим положениям по исследуемой теме. Все теоретические положения, выводы и рекомендации в диссертации строго обоснованы и сомнений не вызывают.

4. Научная новизна полученных результатов

Проведенный обзор и анализ научных материалов по теме диссертационной работы свидетельствует о том, что полученные автором результаты являются новыми.

Научная новизна положений, защищаемых автором, и теоретических разработок заключается прежде всего в решении комплексной проблемы создания более совершенных бестрансформаторных СГФ с возможностью подавления синфазного тока утечки, с улучшенными показателями энергетической эффективности.

Научная новизна подтверждается тремя патентами на изобретения способов управления многоуровневыми однофазными и трехфазными преобразователями и патентом на полезную модель однофазного преобразователя напряжения, основные результаты представлены в публикациях в научных журналах и в материалах международных и отечественных конференций.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов, полученных автором

Автором получены следующие основные результаты, имеющие теоретическую и практическую значимость:

1. Разработаны схема однофазного пятиуровневого инвертора напряжения с возможностью реализации режима подавления синфазного тока утечки и на ее основе бестрансформаторная система генерирования электрической энергии с фотоэлектрическими модулями, имеющая улучшенные технические и энергетические характеристики.

2. Разработан алгоритм векторной ШИМ для управления предложенным однофазным пятиуровневым инвертором, реализующий режим подавления синфазного тока утечки в бестрансформаторной системе генерирования электрической энергии.

3. Разработаны алгоритмы векторной ШИМ для управления трехфазными многоуровневыми полупроводниковыми преобразователями, направленные на подавление синфазного тока утечки в бестрансформаторной системе генерирования электрической энергии.

4. Получены в результате расчета энергетические характеристики пятиуровневого полупроводникового преобразователя с подавлением синфазного тока утечки.

5. Предложены алгоритмические и схемотехнические решения по подавлению паразитного синфазного тока утечки в системе генерирования электрической энергии на базе солнечных батарей и многоуровневых полупроводниковых преобразователей. Предложенные решения позволяют повысить эффективность использования бестрансформаторных СГФ, улучшить стоимостные и массогабаритные показатели, повысить надежность и электробезопасность.

6. Полученные теоретические и практические результаты используются в учебном процессе при подготовке инженеров, магистрантов и аспирантов в области энергетической электроники.

Результаты, полученные автором, представляют собой целостный анализ исследуемых систем генерирования электрической энергии и позволяют ознакомиться с характеристиками, функциональными возможностями и практическими приложениями данных систем. Значимость полученных результатов подтверждена актами внедрения, приведенными в приложении к диссертационной работе.

6. Замечания по содержанию и оформлению диссертационной работы и автореферата, влияние отмеченных недостатков на качество исследования

1. В работе имеется некоторое количество стилистических ошибок, грамматических ошибок (нарушение норм согласования и управления), а также нарушений пунктуационных норм, других опечаток, которые иногда могут привести к искажениям смысла, см., например, раздел 1.1.4, стр. 31: описание схемы Рисунка 1.14; раздел 1.1.5, стр. 34: термин на 7-й строке раздела; раздел 1.1.6, стр. 38: формула на 5-й строке сверху; раздел 3.3, стр. 152: лишние индексы k в обозначении величин, определяемых формулами (3.59) и (3.60).

2. В обозначении переключающей функции комбинации состояния ключей, см. формулу (8) на стр. 14 автореферата, не указано, что данная функция соответствует i -му образующему вектору и k -му сегменту.

3. Подпись к рисунку 3.18 работы не раскрывает его содержания.

4. Автор не всегда использует общепринятую терминологию, см., например, раздел работы 1.1.2, стр. 19, 20, термин «коэффициент усиления», применяемый в отношении преобразователей постоянного напряжения вместо более адекватных терминов «коэффициент преобразования напряжения» или «коэффициент повышения напряжения». Однако, в остальных случаях речь идет об использовании терминов, встречающихся в иностранной литературе и не имеющих устоявшегося эквивалента в русскоязычных источниках.

5. В предложенной схеме однофазного пятиуровневого преобразователя напряжения нет описания причин использования полостью управляемых двунаправленных ключей.

6. Автором получены характеристики исследуемых преобразователей в составе системы генерирования только при использовании ключевых транзисторов MOSFET и векторной ШИМ, хотелось бы иметь результаты и для случаев применения транзисторов IGBT и других типов ШИМ, в частности, для скалярных синусоидальной ШИМ и ШИМ с инъекцией 3-ей гармоники.

7. Не проведено сравнение КПД пятиуровневого преобразователя при генерации пятиуровневого выходного напряжения и при генерации трехуровневого напряжения в режиме подавления СТУ.

8. Не разработаны рекомендации по использованию различных поддиапазонов кратности частоты коммутации ШИМ в зависимости от значений паразитной емкости для различных типов СФМ.

Представленные замечания не являются принципиальными и не искажают основные выводы и результаты работы, отражая, в основном, возможные дальнейшие направления исследования.

Диссертационная работа и автореферат соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

7. Заключение

Диссертация Гришанова Евгения Валерьевича на соискание ученой степени кандидата технических наук является завершённой научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны, и выполнена на высоком научно-техническом уровне. Диссертация полностью соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Гришанов Евгений Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент,
кандидат технических наук по специальности
05.09.03 – «Электротехнические комплексы и
системы»,
доцент кафедры «Математики, физики,
информатики» Федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Алтайский государственный
гуманитарно-педагогический университет
имени В.М. Шукшина» (АГГПУ им. В.М.
Шукшина), 659333, Алтайский край, г. Бийск,
ул. Владимира Короленко, 53,
e-mail: nikolay_lopatkin@mail.ru,
номер мобильного телефона +79619996865



Лопаткин Николай Николаевич

Отзыв получен 14.11.2018
С отзывом ознакомлен 14.11.2018
Лопаткин Н.Н. / Дыба М.А. /
Гришанов Е.В. /