

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию

Шульц Татьяны Евгеньевны

**«ИМПЕДАНСНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ В СОСТАВЕ СИСТЕМЫ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ»,**
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 05.09.12 – «Силовая электроника»

На отзыв предоставлены: автореферат на 24 страницах и диссертация на 128 страницах, состоящая из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, а также четырех приложений.

1. Актуальность темы диссертационной работы

Возобновляемые источники энергии получают все большее распространение в системах генерирования электрической энергии. Особый интерес представляют фотоэлектрические преобразователи, однако зависимость выходного напряжения от уровня солнечной инсалации требует применения полупроводниковых преобразователей с широким диапазоном регулирования выходного напряжения.

Применение известных схем DC/DC преобразователей не позволяет добиться желаемого результата. Поэтому в последнее время представляет интерес использования импедансных цепей для повышения коэффициента преобразования по напряжению. При этом следует отметить, что наилучшие результаты отмечаются в системах преобразования, где импедансная цепь совмещена с инвертором напряжения. Такое сочетание схем носит название импедансный инвертор (ИИ). Импедансный инвертор позволяет сформировать DC/AC систему генерирования электрической энергии с возможностью поддержания стабильного напряжения на выходе при широком варьировании напряжения первичного источника питания.

Несмотря на то, что импедансные инверторы известны и широко применяются на практике вопрос совершенствования их структуры и способов управления остается открытым и актуальным. Работы в этом направлении ведутся многими разработчиками как в России, так и за рубежом, поэтому не вызывает сомнений актуальность диссертационной работы Шульц Т. Е., целью которой является улучшение характеристик преобразователей на основе импедансных цепей за счёт разработки новых топологий трёхуровневых ИИ с широким диапазоном регулирования выходного напряжения, сниженным количеством пассивных компонентов импедансной цепи и способов управления ИИ, повышающих эффективность их работы.

2. Содержание диссертационной работы

Во вводной части диссертационной работы обосновывается актуальность избранной темы, формулируется цель и задачи исследования, представляется научная новизна и практическая значимость работы, перечисляются методы

исследования и научные положения, выносимые на защиту, сведения о публикациях и личном вкладе автора в работу, а также структура диссертации.

В первой главе проведен аналитический обзор существующих решений в области DC/DC преобразователей, импедансных цепей, импедансных инверторов и способов управления ими. Показана целесообразность применения импедансных цепей в многоуровневых схемах инверторов напряжения. Рассмотрены различные способы скалярного и векторного ШИМ управления импедансными инверторами.

Во второй главе представлены эквивалентные схемы замещения импедансных цепей в основных режимах работы, на основе которых были получены математические соотношения для расчета основных параметров импедансных цепей. По предложенной автором методике был проведен расчет и сравнительный анализ различных топологий импедансных цепей, работающих в режиме формирования непрерывного входного тока. Сформирована сводная таблица, с основными уравнениями, позволяющими провести расчёт и подбор пассивных компонентов импедансных цепей инверторов. В результате проведенного анализа автор предлагает для формирования трехуровневого импедансного инвертора с наименьшим количеством элементов модифицировать схему LCST- типа.

Разработанная методика, несомненно, является хорошим и удобным инструментом для проведения расчетов параметров элементов импедансных цепей и может быть использована для проектирования импедансных полупроводниковых преобразователей различного назначения.

В третьей главе был проведен анализ четырех схем ИИ на базе трехуровневого трехфазного инвертора напряжения и импедансного звена LCST- типа, в том числе схемы ИИ LCST-Z-типа содержащей пониженное число пассивных компонентов. Был проведен расчет всех схем, из которых для моделирования выбраны две топологии трёхфазного трёхуровневого NPC LCST-Z-инвертора – симметричная с двумя независимыми источниками напряжения и не симметричная с одним независимым источником напряжения и наименьшим числом пассивных компонентов. Обе схемы потребляют непрерывный входной ток. Было проведено сравнение топологий трёхфазных трёхуровневых NPC LCST-Z-инверторов с точки зрения габаритных размеров компонентов, а также по формирующимся на компонентах токам и напряжениям.

Сравнительный анализ рассчитанных параметров рассмотренных схем импедансных цепей в зависимости от входного напряжения, коэффициента трансформации и результаты моделирования показали перспективность применения ИИ на базе трехуровневого NPC преобразователя и несимметричной LCST импедансной цепи.

В четвертой главе описаны способы векторных ШИМ (ВШИМ) для управления однофазными трехуровневыми импедансными NPC схемами, показана перспективность применения векторной ШИМ для импедансного однофазного

трехуровневого инвертора с точки зрения гибкости подхода синтеза ВШИМ при заданных критериях по числу коммутаций ключей в схеме инвертора, выравнивания напряжений на конденсаторах и режимах работы импедансной цепи.

В результате проведенного анализа автором предложены два ВШИМ: первый применим для симметричных и не симметричных однофазных трехуровневых ИИ, второй – только для симметричных топологий. Оба способа позволяют снизить коммутационные потери, осуществлять гибкую балансировку напряжения нейтральной точки конденсаторов звена постоянного тока, улучшать качество выходного напряжения инвертора. Предложенные ВШИМ основаны на использовании дополнительных состояний ключей, осуществляющих управляемое короткое замыкание стоек трехуровневого импедансного инвертора. Отличие способов заключается в применении во втором случае дополнительных, доступных только при ВШИМ управлении, состояний неполного управляемого короткого замыкания стоек инвертора, что еще больше снижает коммутационные потери.

Проведено моделирование и сравнение предложенных векторных и аналогичного им скалярного способа ШИМ.

В пятой главе проведены экспериментальные исследования предложенного трёхфазного трёхуровневого NPC LCCT-Z-инвертора, работающего от одного независимого источника напряжения с непрерывным входным током, сниженным числом элементов импедансной цепи и рассматриваемых в четвертой главе ВШИМ и аналогичного им ШИМ способов управления однофазным симметричным трехуровневым NPC q-Z-инвертором.

Полученные в результате эксперимента данные подтвердили правильность теоретического материала диссертации.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 17 работах, две из них в рецензируемых научных изданиях из списка ВАК, три статьи опубликованы в рецензируемых зарубежных журналах Q1, Q2 и Q3, шесть статей в журналах, входящие в базы SCOPUS и WoS. Работы, опубликованные в сборниках конференций, обсуждались на международных и российских конференциях. По результатам исследований имеется один патент.

3. Новизна исследований и достоверность полученных результатов

Новизной исследований и результатов в работе можно отметить следующие положения:

- разработана методика по расчету параметров импедансной цепи, позволяющая провести оценку масса-габаритных показателей схем через энергию, накопленную в конденсаторах и дросселях импедансной цепи;
- разработана топология трехуровневого NPC LCCT-Z-инвертора со сниженным числом компонентов импедансной цепи и работающая в режиме непрерывного входного тока;

- разработаны способы векторного ШИМ для управления однофазным 3-уровневым импедансным инвертором с нулевой точкой, позволяющие снизить коммутационные потери инвертора, производить контроль заряда-разряда конденсаторов импедансной цепи и улучшить качество выходного напряжения инвертора.

Достоверность результатов, полученных в ходе выполнения диссертационных исследований не вызывает сомнений. Объем научных исследований соответствует поставленным автором целям и достаточен для обоснования выносимых на защиту положений. Применяемые методы анализа адекватны поставленным целям и задачам.

Достоверность приведенных в работе теоретических исследований подтверждена результатами экспериментов и актами о внедрении. Проведенные эксперименты выполнены на высоком уровне с использованием реальных экспериментальных преобразовательных устройств и современного оборудования.

4. Обоснованность положений, выносимых на защиту и выводов по работе

Положения, выносимые на защиту, не вызывают сомнений, в материалах диссертации они имеют теоретическую обоснованность, экспериментально подтверждены и имеют научную новизну.

По каждой главе диссертации имеется вывод. Выводы основаны на результатах проведенных в разделах исследований, имеют обобщающий характер, не противоречат ранее полученным материалам автора и других опубликованных работ по тематике импедансных преобразователей.

5. Значимость полученных результатов для науки и производства

Ряд теоретических положений, предложенных автором, можно характеризовать, как значимые достижения для науки и производства.

Научная и практическая значимость диссертационной работы заключается в разработанной методике для расчета параметров компонентов импедансных преобразователей при прочих равных условиях, в предложенной схеме импедансного трехуровневого инвертора с питанием от одного источника напряжения, характеризующей наименьшим количеством элементов импедансной цепи инвертора, а также в предложенных способах векторных ШИМ, позволяющих производить контроль заряда-разряда конденсаторов импедансной цепи, снизить количество переключений транзисторов на такте ШИМ, обеспечить равномерную загрузку транзисторов инвертора по току, повысить КПД.

Полученные Т. Е. Шульц результаты целесообразно использовать как на научно-производственных предприятиях, ориентированных на разработку и выпуск полупроводниковых систем преобразования электрической энергии, так и в высших

учебных заведениях в качестве учебного материала для подготовки студентов в области силовой электроники и преобразовательной техники.

6. Замечания по диссертационной работе:

1. Материал введения и первой главы можно было бы объединить.

3. На стр. 28 автор отмечает, что с «ростом мощности и напряжения инвертора повышаются требования к качеству его выходного напряжения». Это утверждение, на наш взгляд, не всегда соответствует действительности.

3. На стр. 59 автор отмечает, что схемы А-типа, Т-q-Z-типа и схема LCCT-типа имеют хорошие показатели номинальных значений ёмкостей и индуктивностей. Из этого высказывания непонятно, что значит «хороший показатель номинальных значений».

4. На стр. 61 диссертации отмечено, что во второй главе проведён анализ массогабаритных показателей схем двухуровневых импедансных инверторов, но в материалах второй главы этого явно не отмечается.

5. В диссертации имеется непонятная терминология, например, стр. 65 содержит выражение «подбор компонентов должен проводиться с точки зрения анализа их общего размера, рабочих токов и напряжений элементов». Возникает вопрос - что значит общий размер?

Вышеприведенные замечания не являются принципиальными и не снижают общей положительной оценки диссертации. Поставленная цель достигнута и задачи исследования выполнены.

Заключение

Диссертация Шульц Т.Е. является законченной научно-квалификационной работой. Научно-технические решения, которые применены в работе, имеют существенное значение для развития области силовой электроники. Полученные в работе результаты позволяют квалифицировать их как новые, являются научно обоснованными и достоверными.

Автореферат и публикации автора соответствует основному содержанию диссертации.

Тема диссертации соответствует области исследований научной специальности 05.09.12 «Силовая электроника». По объему, актуальности, уровню научных и практических результатов диссертационная работа «Импедансный преобразователь в составе системы электроснабжения для возобновляемых источников энергии» соответствует требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г., а ее автор, Шульц Татьяна Евгеньевна заслуживает присуждения ученой степени

кандидата технических наук по научной специальности 05.09.12 – «Силовая электроника».

Официальный оппонент,
Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор, профессор
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича»

«4 » марта 2022 г.

Дмитриков Владимир Федорович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (ФГБОУ ВО «СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича») Почтовый адрес: 193232 г. Санкт-Петербург, пр. Большевиков д.22. к.1 Контактный телефон: 8 (812) 305-12-18 Адрес электронной почты: dmitrikov_vf@mail.ru

Подпись Дмитриков В.Ф.
ЗАВЕРЯЮ
главный специалист отдела кадров

05.03.2022

