

ОТЗЫВ официального оппонента на диссертацию

Татуйко Павла Станиславовича «Повышение энергоэффективности систем электроснабжения транспортных средств», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности

05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Актуальность темы исследования

Область применения электрифицированного транспорта в настоящее время всё более расширяется, охватывая не только наземный, но и водный, а также воздушный транспорт. Это требует совершенствования систем электропитания, внедрения новых технологий и наиболее эффективных научно-технических решений.

Поставленные и решенные в диссертационной работе задачи, направленные на повышение энергоэффективности систем электроснабжения транспортных средств на основе применения резонансных преобразователей напряжения с новой элементной базой, а также изучение возможности функционирования полупроводниковых ключей в едином криогенном контуре электродвижения являются актуальными и очень востребованными на современном этапе.

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

Обоснованность основных результатов исследований, рекомендаций и выводов диссертации обеспечивается правильным методологическим подходом. Автором выполнен глубокий анализ тенденций развития систем электродвижения и основных направлений повышения энергоэффективности электроснабжения транспортных средств. Далее он формулирует на этой основе задачи диссертационной работы и грамотно сочетает для их решения аналитические и экспериментальные методы, а также компьютерное

моделирование. При выводе аналитических выражений он корректно использует основные положения теории электрических цепей, полупроводниковой преобразовательной техники, аргументировано приводит схемы замещения, опирается на результаты работ известных учёных и специалистов.

Достоверность и новизна полученных результатов

Полученные в диссертационной работе Татуйко П.С. результаты и выводы основываются на использовании признанных положений отечественной и зарубежной науки, корректном применении современных методов аналитического расчёта и компьютерного моделирования, экспериментальных исследований. Достоверность разработанной методики расчёта резонансного преобразователя напряжения подтверждается удовлетворительным совпадением результатов компьютерного моделирования и аналитического расчёта по предложенной методике.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1) - произведён аналитический расчёт и определение режимов работы резонансных преобразователей с последовательным резонансным LC контуром, параллельным резонансным LC контуром, последовательно-параллельным резонансным LCC контуром и последовательно-параллельным резонансным LLC контуром, выявлены особенности функционирования, определяющие применение данных топологий в составе систем электродвижения, обосновано, что для использования в составе источников вторичного электропитания транспортных средств наиболее предпочтительным является резонансный преобразователь с последовательно-параллельным LLC резонансным контуром;

2) разработана методика расчёта и моделирования резонансного преобразователя с последовательно-параллельным LLC резонансным контуром и методика оценки гистерезиса выходной ёмкости MOSFET-, SiC- и

GaN-транзисторов, влияющего на функционирование резонансного преобразователя;

3) определены типы полупроводниковых ключей, на параметры которых криогенные температуры влияют наилучшим образом и которые могут быть использованы в системе электроснабжения транспортного средства, функционирующей в едином криогенном контуре.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором диссертации результатов

1. Выполнен анализ и исследованы свойства основных типов резонансных полупроводниковых преобразователей, результаты исследования определяют тип и структуру импульсного преобразователя, применение которого в составе электрооборудования транспорта наиболее целесообразно и позволяет повысить энергоэффективность системы электроснабжения.

2. Разработана методика параметрического синтеза резонансного преобразователя с последовательно-параллельным LLC резонансным контуром и произведена оценка гистерезиса выходной ёмкости MOSFET-, SiC- и GaN-транзисторов.

3. Результаты проведённых исследований электронной компонентной базы определяют состав изделий, применение которых для систем электродвижения с криогенным охлаждением оказывается возможным.

Оценка содержания диссертации, её завершенность

Диссертация Татуйко Павла Станиславовича на соискание учёной степени кандидата технических наук написана грамотным, научным языком, содержание диссертации излагается последовательно. Все разделы соответствуют поставленным задачам исследования. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, которая состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованных источников и

двух приложений. Работа содержит 140 страниц основного текста, включая 66 рисунков и 9 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, отражена степень разработанности темы, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна, практическая значимость работы, описаны методология и методы исследования, приведены положения, выносимые на защиту, а также сведения о достоверности результатов и апробации работы.

В первой главе произведён анализ тенденций развития систем электродвижения наземного, морского и воздушного транспорта и определены основные направления повышения энергоэффективности электроснабжения транспортных средств.

Во второй главе произведён аналитический расчёт, исследование режимов работы основных типов резонансных преобразователей и выбор топологии преобразователя наиболее целесообразной для транспортных средств. На основе схем замещения определены аналитические выражения и получены передаточные функции резонансных контуров преобразователей при варьировании параметров и нагрузки, произведена оценка возможности их использования в системах электроснабжения транспорта.

В третьей главе автором диссертации разработана методика расчёта и моделирования полумостового резонансного преобразователя с последовательно-параллельным LLC резонансным контуром и методика оценки гистерезиса выходной ёмкости МОП - транзистора, влияющего на функционирование LLC-преобразователя, произведён выбор наилучшего варианта. Выполнено компьютерное моделирование рассчитанного преобразователя, подтверждающее его высокую энергоэффективность и правильность предложенной методики.

В четвёртой главе выполнены экспериментальные исследования характеристик силовых полупроводниковых ключей при работе в среде жидкого азота, произведён аналитический расчёт и выявлена корреляция с эмпирическими данными. Определены типы полупроводниковых ключей, на параметры которых криогенные температуры влияют наилучшим образом.

Данные исследования в перспективе позволят разработать комплексную систему электродвижения, функционирующую в едином криогенном контуре.

В приложениях приведены акты реализации результатов диссертационных исследований в учебном процессе Брянского технического университета и при выполнении работ ОАО «Авангард» по разработке модулей питания класса AC/DC и при разработке концепции развития силовой компонентной базы и преобразовательной техники для применения в системах ВТСП-электродвижения при выполнении аванпроекта по заданию Фонда перспективных исследований, договор №6/164/2019-2020ав.

Таким образом, диссертацию можно считать полностью завершённой научной работой, в которой решены все поставленные задачи.

Замечания по диссертационной работе:

1. В первой главе избыточное количество информации по перспективам и тенденциям развития систем электродвижения наземного, морского и воздушного транспорта, но, в то же время, использована преимущественно иностранная литература и недостаточно представлены труды российских учёных.

2. В работе рассмотрен процесс резонансного переключения транзисторов применительно к источникам вторичного электропитания и зарядным устройствам, и нет результатов исследования по возможности функционирования преобразователей частоты с резонансным переключением транзисторов.

3. В приведённой методике расчёта полумостового преобразователя с последовательно-параллельным LLC резонансным контуром не учитывается величина выходной ёмкости транзистора, а также характер её изменения в процессе коммутации ключей, описанный в п. 3.4.

4. Целесообразно было бы исследовать на основе моделирования динамические процессы при изменении нагрузки преобразователя.

5. Термин «передаточная функция преобразователя» не вполне корректен, правильнее использовать термин «передаточная функция резонансного контура».

6. В надписях, приведённых на рисунках 8, 9 использован очень мелкий шрифт, что затрудняет восприятие информации;

Данные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей положительной оценки теоретических и практических результатов диссертационного исследования.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. В автореферате отражены основные положения диссертации, приведены выводы и результаты исследования.

Соответствие диссертации и автореферата требованиям

ГОСТ Р 7.0.11-2011

Диссертационная работа и автореферат диссертации выполнены в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». М.: Стандартинформ. – 2012.

**Заключение о соответствии диссертационной работы критериям,
установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней»,
утверженного Постановление Правительства Российской Федерации
от 24 сентября 2013г. № 842**

По п.9. Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые, научно обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для развития электротранспорта.

По п.10. Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. В диссертации имеются рекомендации по использованию научных выводов.

По п.11 – 13. По результатам диссертации опубликовано 8 печатных работ, основные научные результаты диссертации отражены в двух статьях, опубликованных в рецензируемых журналах и изданиях, рекомендуемых ВАК РФ.

По п.14. При использовании заимствованного материала или материалов работ, выполненных в соавторстве, имеются необходимые ссылки.

Заключение

Диссертация Татуйко Павла Станиславовича на соискание учёной степени кандидата технических наук является законченной научно-квалификационной работой, которая по объёму и содержанию, полученным результатам соответствует паспорту научной специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Работа выполнена автором самостоятельно, на актуальную тему, имеет научную новизну, теоретическую и практическую значимость, в ней изложены новые, научно обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для развития российских электротранспортных средств, что удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении учёных

степеней». Автор диссертационной работы, Татуйко Павел Станиславович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент,
Панфилов Дмитрий Иванович,

Доктор технических наук по специальности 05.13.05 –

Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления;

Научный руководитель АО «НТЦ ФСК ЕЭС»;

почтовый адрес: 115201, Москва, Каширское ш., д. 22к3;

телефон: 8 (495) 727-19-09, доб.12-24

адрес электронной почты: dmitry.panfilov@inbox.ru

«23» мая 2022 г.

Панфилов Д.И.

Подпись Д.И. Панфилова заверена.



ОТЗЫВ официального оппонента на диссертацию

Татуйко Павла Станиславовича «Повышение энергоэффективности систем электроснабжения транспортных средств», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности

05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Актуальность темы исследования

В настоящее время повсеместно как в России, так и во всём мире стремительными темпами развиваются и совершенствуются системы электродвижения как наземного, так воздушного и морского транспорта. Развитие подобного рода систем напрямую связано с развитием электроэнергетических комплексов, включающих в себя системы накопления, преобразования и передачи энергии.

В устройствах электродвижения вопросы уменьшения массы и объёма систем преобразования энергии очень важны для достижения высокой плотности мощности, высокой эффективности, повышения надёжности, улучшения скоростных и аэrodинамических характеристик, в связи с чем автором в своём диссертационном исследовании решена весьма актуальная задача повышения энергоэффективности систем электроснабжения транспортных средств посредством оценки возможности реализации с составе системы электроснабжения транспортного средства статических преобразователей напряжения, функционирующих по принципу резонансного переключения транзисторов, а также оценке возможности применения технологий криогенного охлаждения электронной компонентной базы преобразовательной техники для сверхмощных применений.

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

Соискатель провел подробный анализ существующих решений

повышения энергоэффективности систем электроснабжения транспортных средств. Автор обосновал и осуществил выбор топологии импульсного преобразователя напряжения, применение которой в составе транспортного средства позволяет существенно повысить эффективность работы всей системы электроснабжения.

Все научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные соискателем, получили экспериментальное подтверждение как на комплексной компьютерной модели, так и в результате лабораторных исследований.

Результаты диссертационных исследований обсуждены на научных конференциях, опубликовано 9 работ по теме диссертации, одна из которых в издательстве, рецензируемых ВАК РФ и одна статья, входящая в международную систему цитирования SCOPUS. Данные работы отражают основные положения диссертационного исследования автора.

Достоверность и новизна полученных результатов

Достоверность научных результатов диссертационного исследования обеспечивается грамотным теоретическим обоснованием и экспериментальной проверкой в лабораторных условиях предложенных принципов.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- 1) предложена и обоснована топология преобразователя напряжения, при применении которого достигается наибольшая эффективность системы электроснабжения транспортных средств;
- 2) выявлено изменение величины выходной ёмкости разных типов полевых транзисторов в моменты коммутации ключей и определен характер влияния данного явления на работу полумостового преобразователя с последовательно-параллельным резонансным LLC-контуром;
- 3) предложена методика расчёта полумостового преобразователя с последовательно-параллельным резонансным LLC-контуром, достоверность

которой подтверждена результатами аналитического расчёта и имитационного компьютерного моделирования в программном пакете LTSpice.

4) исследованы характеристики силовых полупроводниковых ключей при нахождении последних в криогенной среде, в результате чего определены типы транзисторов, параметры которых при охлаждении жидким азотом существенно улучшаются.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором диссертации результатов

Результаты исследований силовых полупроводниковых преобразователей напряжения при применении последних в составе системы электроснабжения транспортных средств, разработанные математические и компьютерные модели, а также рассмотренные особенности работы электронной компонентной базы при охлаждении её жидким азотом в составе систем электродвижения с криогенным охлаждением обладают теоретической значимостью и расширяют систему научных познаний в области технологий электродвижения.

Оценка содержания диссертации, её завершенность

Диссертационная работа изложена на 140 страницах основного текста, состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы из 89 наименований и трёх приложений.

Диссертация Татуйко Павла Станиславовича на соискание учёной степени кандидата технических наук является законченной научно-квалификационной работой, в которой последовательно и логично изложено решение поставленных автором задач в части повышения энергоэффективности систем электроснабжения транспортных средств.

Все поставленные автором задачи полностью решены:

1. Выполнен анализ тенденций развития систем электродвижения и систем электроснабжения транспортных средств в частности;
2. Произведён поиск наиболее оптимальной структуры силового преобразователя напряжения для применения в составе систем электроснабжения транспортных средств. Выявлены характеристики и особенности функционирования при различных режимах работы;
3. Разработана методика расчёта и компьютерная модель полумостового преобразователя с последовательно-параллельным резонансным LLC-контуром;

4. Определено влияние криогенной среды на параметры транзисторов. Выявлены типы транзисторов, на которые криогенной охлаждение оказывает наибольший положительный эффект.

Таким образом, диссертацию можно считать полностью завершённой научной работой, в которой решены все поставленные задачи.

Замечания и недостатки, выявленные в диссертации:

1. В первой главе отдельный пункт посвящён технологиям ВТСП, однако дальше нигде в тексте работы не встречается упоминаний о данной технологии;
2. Считаю, что п. 1.4 Резонансное переключение и «мягкая» коммутация полупроводниковых ключей целесообразнее было бы указать в Главе 2 Типы резонансных преобразователей и особенности их функционирования;
3. При расчёте в Главе 3 преобразователя выходная мощность устройства составляла 480 Вт, в то время как в реальных условиях выходная мощность данных изделий несколько больше указанных значений;
4. На рисунке 53, 56-59 приведены вольтамперные характеристики с указанием максимального тока на графиках до 20 А, в то время как данные транзисторы рассчитаны на больший ток;
5. В тексте работы встречаются орфографические ошибки.

Данные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей положительной оценки теоретических и практических результатов диссертационного исследования.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Автореферат соответствует содержанию диссертации и отражает основные результаты выполненных исследований. Публикации автора отражают основные положения и выводы диссертационного исследования. Диссертация соответствует специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Соответствие диссертации и автореферата установленным требованиям и критериям

Оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011. Автореферат соответствует основному содержанию диссертационной работы.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным в Положении о присуждении учёных степеней

Диссертация Татуйко Павла Станиславовича на соискание учёной степени кандидата технических наук соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении учёных степеней»:

– по пункту 10 диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, которые свидетельствуют о личном вкладе автора в науку. В диссертационной работе имеются сведения о практическом использовании полученных автором результатов;

- по пункту 11 основные положения и результаты, представленные в диссертации, опубликованы в рецензируемых изданиях, в том числе входящих в перечень ВАК РФ;
- по пункту 14 в диссертации соискатель учёной степени надлежащим образом ссылается на авторов и источники заимствования материалов и отдельных результатов. Также автором отмечены использованные результаты исследований, которые были им выполненные лично и в соавторстве.

Диссертация Татуйко Павла Станиславовича на соискание учёной степени кандидата технических наук является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для повышения энергоэффективности систем электроснабжения транспортных средств, что соответствует п. 9 Положения о присуждении учёных степеней. Автор диссертационной работы, Татуйко Павел Станиславович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент,
Фадейкин Тимофей Николаевич,
кандидат технических наук по специальности 05.09.03 –
Электротехнические комплексы и системы;
Ведущий конструктор ПКБ ЦТ ОАО «РЖД»;
почтовый адрес: 105066, г. Москва, Ольховский пер., д. 205, стр.1;
телефон: 8 (909) 999-23-54;
адрес электронной почты: telofov_777@mail.ru.

«24» мая 2022 г.

Фадейкин Т.Н.

