

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертацию

Грищенко Александра Геннадьевича

на тему: «Тяговый инвертор с интегрированным зарядным устройством для электромобильного транспорта», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 –  
Электротехнические комплексы и системы

### **1. Актуальность темы исследования**

Новые требования экологических стандартов определяют тенденции развития автотранспортной отрасли в сторону снижения локальных выбросов токсичных веществ автомобилей, а также её декарбонизации. К основным направлениям развития можно отнести: использование альтернативных видов топлива для двигателей внутреннего сгорания; совершенствование автомобилей с комбинированными энергоустановками; создание новых и перспективных автотранспортных средств не имеющих локальных выбросов – «чистых» электромобилей. Однако в данный момент электромобили сложно противопоставить обычным автомобилям по критериям стоимости и эксплуатационных показателей, которые зависят от состава, параметров и режимов работы системы тягового электрооборудования. Кроме того, эксплуатация электромобилей неразрывно связана с внешней, по отношению к автономному транспортному средству, инфраструктурой, основным элементом которой для электромобиля являются зарядные станции. Темпы развития этой инфраструктуры ограничивают темпы распространения электромобильного транспорта. Мощность наиболее распространенных зарядных станций имеет существенные ограничения, как правило, со стороны преобразовательного оборудования, расположенного на борту электромобиля, и/или аккумуляторных батарей. Среднее время полного заряда современного серийного легкового электромобиля при использовании зарядной станции переменного тока составляет от 4 до 12 часов. Данный факт существенно снижает удобство пользования электромобилями. Поэтому рационализация системы тягово-энергетического электрооборудования и зарядной инфраструктуры, направленная на улучшение эксплуатационных показателей электромобильного транспорта, является приоритетной и актуальной задачей.

Изучение передового опыта в применении силовых полупроводниковых систем, микропроцессорных систем управления, понимание тенденций развития силовой электроники и электромобилестроения для

диссертационного исследования было выбрано направление на интеграцию функций зарядного устройства в систему тягового инвертора. Предложенная топология тягового инвертора с интегрированным зарядным устройством (ТИЗУ) обеспечивает улучшение массогабаритных показателей электромобилей, упрощение протокола взаимодействия стационарного зарядного устройства с тяговой аккумуляторной батареей, рационализацию системы тягового электрооборудования, сокращение издержек на создание повсеместно доступной зарядной инфраструктуры. Современное развитие транспортной отрасли и рост парка электромобилей подтверждает своевременность и ценность решений указанных задач и, в целом, еще раз подтверждает актуальность диссертационной работы.

## **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Основные научные положения, выносимые на защиту, представляют собой ряд решений по рационализации структуры системы тягово-энергетического оборудования электромобильного транспорта путем создания многофункциональных топологий. Обоснованность основных результатов диссертационного исследования обеспечивается комплексным подходом к методологии, математическому моделированию и экспериментальным исследованиям. Глубокий анализ тенденций развития систем тягового электрооборудования электромобильного транспорта, выполненный соискателем, обеспечивает формулирование цели и задач исследования, при решении которых грамотно применяются современные методы имитационного моделирования и планирования экспериментальных исследований. При реализации математического аппарата автор корректно использует основные методы формирования математических моделей, положения теории электрических цепей и методы численного интегрирования; ссылается на результаты работ известных ученых и специалистов.

Результаты экспериментальных исследований, представленные в диссертации, имеют важное практическое значение – их масштабирование при решении задач рационализации массогабаритных показателей электромобильного транспорта. Итоги сопоставления результатов имитационного моделирования и экспериментальных исследований говорят о высокой степени соответствия комплексной математической модели реальной системе тягового электрооборудования, что выражается в виде оценочного коэффициента корреляции более 0,8.

Таким образом, представленные автором научные положения, выводы и рекомендации можно считать достаточно обоснованными.

### **3. Достоверность и новизна полученных результатов**

**Достоверность** результатов диссертационной работы зиждется на корректности и логичности теоретических построений, а также подтверждена достаточным совпадением результатов теоретических исследований, полученных при реализации имитационного моделирования системы тягового электрооборудования электромобиля, с результатами экспериментальных исследований, полученных в лабораториях кафедры «Электротехника и электрооборудование» ФГБОУ ВО МАДИ. Кроме того, результаты экспериментальных исследований не противоречат данным, опубликованным в доступной печати известными учеными и специалистами.

**Научная новизна** данной диссертационной работы заключается в:

1. Предложенной топологии тягового инвертора с интегрированным зарядным устройством.
2. Разработанной методике расчета силовой части ТИЗУ.
3. Разработке комплексной математической модели системы тягового электрооборудования электромобиля, включающей ТИЗУ и учитывающей температурные режимы работы аккумуляторов в составе ТАБ.
4. Теоретическом исследовании процессов работы ТИЗУ с экспериментальным подтверждением теоретических положений.
5. Разработке алгоритма ускоренного заряда тяговой аккумуляторной батареи без ее деградации и параметризации процессов, протекающих в ТИЗУ при его реализации.

### **4. Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов**

Теоретическая значимость работы заключается в том, что автором предложена и обоснована методика расчета тягового инвертора с интегрированным зарядным устройством, а также комплексная математическая модель системы тягового электрооборудования электромобиля, на основе которых можно обеспечить дальнейшее совершенствование электромобильного транспорта. Предложенные методы и технические решения являются базой для расчета и проектирования преобразователей напряжения транспортного назначения на базе совмещенных топологий.

Кроме того в работе предложен коэффициент степени интеграции, использование которого позволяет проводить объективное сравнение существующих топологий; коэффициент запаса мощности рассеивания, обеспечивающий наиболее рациональный выбор полупроводникового IGBT-устройства.

Значение полученных результатов диссертационного исследования для практики обусловлено положительными результатами практической апробации предложенного математического аппарата при выполнении научно-исследовательских и опытно конструкторских работ, связанных с разработкой перспективных электромобилей в ООО «Инновационный центр КАМАЗ».

Кроме того, автором диссертационной работы в соавторстве с другими учеными разработан ряд устройств, защищенных патентами на полезную модель и изобретение, которые используются в учебном процессе МАДИ.

## **5. Оценка содержания диссертации, ее завершенность**

Диссертационная работа Грищенко Александра Геннадьевича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком уровне, в которой проводится подробное исследование энергетических показателей силовой установки электромобиля с целью улучшения характеристик электромобильного транспорта посредством совершенствования показателей системы тягового электрооборудования. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы на 132 наименования.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационного исследования, поставлены цели и задачи, сформулирована научная новизна, практическая и теоретическая значимость, описаны методология и методы проведения исследований, приведены положения выносимые на защиту, а также сведения о достоверности результатов и апробации работы.

**В первой главе** диссертационной работы проведены теоретические исследования системы тягового электрооборудования электромобильного транспорта. Определены основные тенденции развития. Выделены топологии многофункциональных решений, а также критерии их сравнения. Особое внимание в данной главе автор уделил вопросам сопоставления различных многофункциональных топологий.

**Во второй главе** предложена топология тягового инвертора с интегрированным зарядным устройством, применительно к которой

разработана методика расчета силовой части, базирующаяся на разделении блоков по функциональному назначению. Разработанная методика учитывает особенности объекта применения ТИЗУ – электромобиля. Позволяет осуществить рациональный выбор основных компонентов силовой части.

**В третьей главе** предложена комплексная математическая модель системы тягового электрооборудования электромобиля, представляющая собой математическое описание электромобиля, тяговой аккумуляторной батареи, блоков управления и входящих в состав ТИЗУ силовых элементов. Выполнены расчетные исследования и представлены результаты компьютерного моделирования электромобиля при различных условиях эксплуатации. Особое внимание уделено анализу алгоритмов заряда ТАБ. На основании результатов расчетных исследований и имитационного моделирования определены параметры основных узлов системы тягового электрооборудования электромобиля.

**В четвертой главе** представлено схемное и конструктивное исполнение экспериментального образца ТИЗУ, определен состав элементной базы. Автором предложены технические решения в части ТИЗУ, позволяющие рационализировать конструкцию для реализации дополнительных преимуществ. Представлены основные проектные характеристики и внешний вид изготовленного экспериментального образца, отражающие практическую реализацию разработанных технических решений.

**В пятой главе** поставлены цели и задачи экспериментальных исследований, описан стенд комплексных испытаний и определен состав специализированных контрольно-измерительных средств, регистрирующих устройств и приборов. Автором представлены результаты экспериментальных исследований ТИЗУ в двух основных режимах: управление тяговым электродвигателем в условиях, приближенных к реальному движению электромобиля, и заряд тягового источника энергии. Проведено сопоставление результатов экспериментальных исследований и математического моделирования.

**В заключении** выполненной работы сформулированы основные выводы.

## **6. Замечания и недостатки, выявленные в диссертации**

Диссертационная работа является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на достаточно высоком уровне. Вместе с тем следует отметить следующие недостатки и замечания:



1. В первой главе использована преимущественно иностранная литература, а труды российских ученых представлены недостаточно.
2. Методика расчёта ТИЗУ предусматривает определение потерь в полупроводниках, однако в математической модели оценка таких потерь в пересчёте на температуру модулей не реализована.
3. В работе не учитывается влияние параметров силовых кабелей на величину динамических потерь в полупроводниках. Наличие паразитных емкостей кабеля увеличивает энергию включения  $E_{on}$  IGBT в большей степени, чем снижает потери выключения  $E_{off}$ . Поэтому в итоге может наблюдаться достаточно высокий рост энергии динамических потерь, зависящий от длины кабеля.
4. В результатах имитационного моделирования не отражены значения коэффициента полезного действия тягового инвертора и тягового электродвигателя.
5. На рисунках 5.6 и 5.7 разный временной масштаб, правильнее было бы использовать одинаковые временные диапазоны.
6. В диссертационной работе не представлено сопоставление результатов моделирования температуры тяговой аккумуляторной батареи с полученными экспериментальными данными.
7. Не понятно, какой тип аккумуляторов был использован в модели. Какие характеристики заложены: кривые разряда, тепловые параметры, характеристики изменения внутреннего сопротивления. Рациональность изменения электротяговой схемы должна быть увязана с параметрами заряда/разряда тягового аккумулятора и его сроком службы.
8. На рисунках 5.8 и 5.12 наблюдаются кратковременные провалы напряжения в диапазоне 100 В при достаточно большом значении емкости на входе инвертора, что может являться некорректным выбором численных методов интегрирования и/или их параметров.
9. Не совсем понятно назначение и совместное использование на рисунке 3.4 страница 93 блоков  $Z^{-1}$  и  $\int_0^t idt$ .
10. Термин «тепlostок» хоть и встречается в литературе, но не встречается, например, в ГОСТ 26691-85 «Теплоэнергетика. Термины и определения» и представляется некорректным.
11. Термин «снабберный» вызывает недоумение и сожаление прямым использованием зарубежного термина, записанного русскими буквами.
12. На странице 31 второй абзац сформулирован некорректно.

13. На страницах 16,43,62,75 некорректно отсутствуют знаки препинания в некоторых предложениях.

Указанные замечания носят рекомендательный характер, расширяющие концептуальное понимание и спектр теоретических исследований диссертанта, которые могут стать направлениями дальнейшей научной деятельности, а также позволяют сохранить множество факторов, определяющих общую высокую оценку теоретических и практических результатов диссертационной работы.

#### **7. Соответствие автореферата основному содержанию диссертации**

Автореферат полностью соответствует основному содержанию диссертационной работы. Представленный автореферат соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11. – 2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу» и требованиям п.25 Положения о присуждении ученых степеней.

#### **8. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным в Положении о присуждении ученых степеней**

Диссертация Грищенко Александра Геннадьевича на соискание ученой степени кандидата технических наук соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых 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 диссертации в науку. В диссертационной работе представлены рекомендации по повышению энергетической эффективности и улучшению массогабаритных показателей системы тягового электрооборудования электромобиля.

- по пункту 11 основные положения и результаты, представленные в диссертационной работе опубликованы автором в 12 научных публикациях, в том числе две статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК по специальности 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы; пять статей, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science; один патент на изобретение и один патент на полезную модель.

- по пункту 13 количество авторских публикаций, в которых излагаются основные научные результаты диссертации Грищенко А.Г. в полной мере отвечают критериям «Положения о присуждении ученых степеней».

- по пункту 14 заимствованные материалы имеют ссылки на источники.  
В диссертационной работе автор использовал результаты исследований, полученные им лично и в соавторстве, что отмечено в работе.

Диссертация Грищенко Александра Геннадьевича на соискание ученой степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, в которой содержатся новые научно обоснованные технические решения по улучшению энергетических и массогабаритных показателей электромобилей. Диссертация имеет существенное значение для развития электромобильного транспорта, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент

Гречишников Виктор Александрович,  
гражданин Российской Федерации,

Доктор технических наук по специальности 05.09.03 –

Электротехнические комплексы и системы;

профессор кафедры «Электроэнергетика транспорта»,

первый заместитель директора – начальник учебного отдела

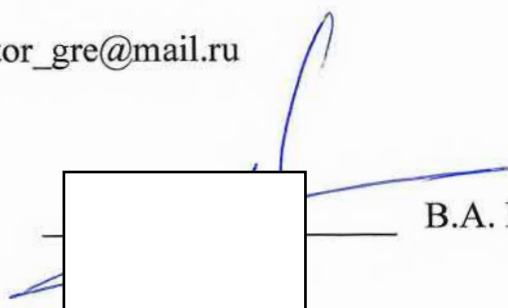
Института транспортной техники и систем управления.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования "Российский университет транспорта"

Почтовый адрес: 127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9

Телефон: 8(495)684-21-57

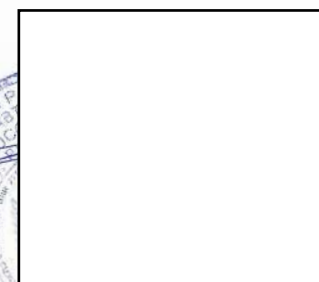
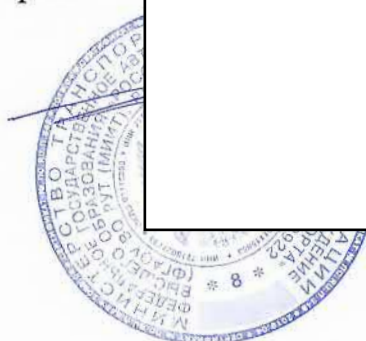
Адрес электронной почты: victor\_gre@mail.ru



В.А. Гречишников

Подпись Гречишникова В.А. заверяю

«29» апреля 2022 года



СЕКРЕТАРЬ УЧЕНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА  
С.Н. КОРЖИН