



**МОСКОВСКИЙ
ПОЛИТЕХ**

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский политехнический университет»
(Московский Политех)

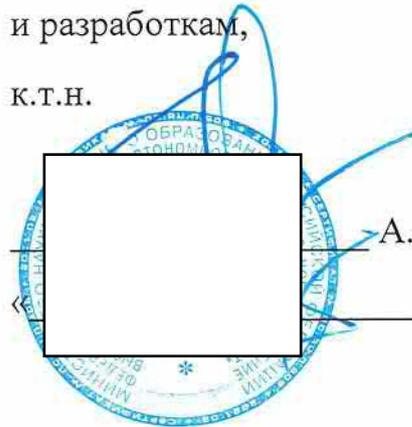
Б. Семеновская ул., д.38, Москва, 107023
Тел.+7 495 223 05 23, Факс +7 499 785 62 24
www.mospolytech.ru | E-mail: mospolytech@mospolytech.ru
ОКПО 04350607, ОГРН 1167746817810,
ИНН/КПП 7719455553/771901001

№ _____
на _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по исследованиям
и разработкам,

К.Т.Н.



А.Ю. Наливайко

2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

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

Актуальность темы исследования

Для автотранспортных средств проблема снижения массы и габаритных размеров используемого на борту электрооборудования всегда занимала и занимает лидирующие позиции. Массогабаритные показатели электрооборудования в конечном итоге влияют на эффективность использования энергии на борту, сказываются на эксплуатационных показателях транспортного средства. Указанная проблема становится особенно актуальной для электромобильного транспорта, поскольку тяговая аккумуляторная батарея как источник энергии существенно проигрывает по удельной энергии традиционному углеводородному топливу. В этой связи задача снижения массы и размеров неотъемлемых узлов и агрегатов энергетической установки электромобильного транспорта является важной и востребованной. Чем легче тяговое электрооборудование, тем меньше затраты энергии на движение, а значит и выше значение ключевого показателя для

электромобилia - запаса хода. Другая проблема современного электромобильного транспорта – это ограниченная, как по масштабу внедрения, так и по реализуемой мощности, зарядная инфраструктура. Количество станций ускоренного заряда тяговых батарей сильно ограничено и поддается простому счету, тогда как более доступные станции переменного тока не обеспечивают приемлемую для нормальной эксплуатации скорость процесса заряда. Таким образом задачи улучшения эксплуатационных показателей электромобильного транспорта являются важными и своевременными, а представленная к защите диссертационная работа на тему: «Тяговый инвертор с интегрированным зарядным устройством для электромобильного транспорта» Грищенко Александра Геннадьевича имеет значительную степень актуальности.

Новизна полученных результатов

Диссертационная работа Грищенко А.Г. содержит ряд новых научных результатов, полученных в ходе исследований и имеющих важное значение для транспортной отрасли:

1. Разработана методика расчета тягового инвертора с интегрированным зарядным устройством (ТИЗУ), учитывающая аспект совмещения двух различных функций в едином устройстве и направленная на определение характеристик и выбор комплектующих изделий для ТИЗУ.
2. Предложена комплексная математическая модель системы тягового электрооборудования электромобилia на основе ТИЗУ и реализованный в ней учет температуры тяговой аккумуляторной батареи.
3. Результаты экспериментальных исследований ТИЗУ с использованием полноразмерного тягового электропривода и тяговой батареи легкового электромобилia. А также реализация двух режимов – динамического тягового и стационарного зарядного.
4. Предложен алгоритм ускоренного заряда тяговой аккумуляторной батареи электромобилia, реализующий лучшие, в сравнении с известными, показатели зарядного режима.

На предложенное в диссертационной работе техническое решение по схеме силовой части тягового инвертора с интегрированным зарядным устройством, а также на конструкцию последнего, автором получены два патента (на изобретение и полезную модель). Данное обстоятельство подтверждает новизну диссертационной работы и ее применимость для транспортной отрасли.

Практическая значимость полученных автором диссертации результатов

В своей работе Грищенко А.Г. предложил имеющий непосредственное практическое значение действенный вариант комплексного решения задач

улучшения эксплуатационных показателей электромобильного транспорта в условиях слаборазвитой зарядной инфраструктуры – совмещение на одной элементной базе двух различных функций в системе тягового электропривода: функцию управляющего инвертора для электрической машины и устройства ускоренного заряда для тяговой батареи. Данное решение позволяет существенно упростить вопрос ускоренного заряда электромобилей без использования дорогостоящей и малодоступной сети мощных зарядных станций постоянного тока. Объединение двух функций в одном блоке – тяговом инверторе с интегрированным зарядным устройством – фактически устраняет необходимость использования на борту транспортного средства отдельного маломощного зарядного устройства, что улучшает массогабаритные показатели энергетической установки электромобиля. Предложенные автором топология силовой части ТИЗУ, техническое исполнение, а также алгоритм работы зарядного устройства, внедрены и апробированы в изготовленном экспериментальном образце ТИЗУ.

К другим результатам, имеющим практическую значимость, следует отнести разработанную методику расчета ТИЗУ, которая наряду с имеющимися в работе рекомендациями по конструкции последнего, позволяет технически осуществить (изготовить) устройство, отвечающее подтвержденным в ходе экспериментальных исследований характеристикам.

Предложенная в работе комплексная математическая модель системы тягового электрооборудования имеет потенциал использования при создании и реализации перспективной технологии так называемых цифровых двойников. Воспроизводимые моделью режимы работы электрооборудования электромобиля, а также состав получаемых результатов, обеспечивают необходимую базу для прогнозной оценки состояния электрооборудования при эксплуатации электромобиля. Дальнейшее развитие работ в данном перспективном направлении может быть рекомендовано соискателю, учитывая полученный им в диссертационной работе задел.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты исследования диссертационной работы имеют важное практическое применение при решении задач, направленных на рационализацию массогабаритных показателей электромобильного транспорта и могут быть использованы при создании перспективных систем тягового электрооборудования электромобилей, электробусов и специализированных транспортно-технологических машин.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений

Обоснованность и достоверность полученных результатов не вызывает сомнения и обусловлены применением современного программного обеспечения, проверенных и допущенных к применению измерительных устройств, большим объемом выполненных экспериментов и испытаний.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, включающего 132 источника. В названии диссертации отражены предмет и тема исследования.

Для достижения поставленной цели исследования соискателем проведен анализ актуальных проблем эксплуатации электромобильного транспорта и научно-технической литературы в области системы тягового электрооборудования современных электромобилей. Выделен ряд перспективных путей улучшения характеристик электромобильного транспорта, одним из которых является создание многофункциональных решений, позволяющих объединить элементную базу тягового инвертора и бортового зарядного устройства. Автором предложена топология тягового инвертора с интегрированным зарядным устройством и составлена методика расчета, которая позволяет определить параметры основных компонентов, входящих в его состав. Комплексная математическая модель системы тягового электрооборудования электромобиля позволяет проводить имитационное моделирование системы тягового электрооборудования. На основании расчетных исследований, которые учитывают базовые характеристики транспортного средства и особенности температурных режимов при эксплуатации тяговой аккумуляторной батареи, сформулированы требования к параметрам компонентной базы экспериментального образца. Соискателем предложена конструкция тягового инвертора с интегрированным устройством, реализованная в экспериментальном образце, который был подвергнут экспериментальным исследованиям при использовании стенда комплексных испытаний, что позволило воспроизвести основные режимы работы ТИЗУ.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, определена цель и поставлены задачи, обоснована научная новизна, сформулированы теоретическая и практическая значимость, а также основные положения, выносимые на защиту, представлены результаты апробации и практической реализации.

В первой главе проведен анализ актуальных проблем эксплуатации электромобилей. Выполнен обзор и дан анализ существующих технических решений в области преобразователей напряжения (инверторов и зарядных устройств) транспортного назначения. В работе отмечается, что современный

электромобиль можно рассматривать как одну из мер по улучшению экологической обстановки в крупных городах. Кроме того, для корректного сопоставления схемных решений автор предлагает коэффициент степени интеграции, учитывающей количество используемых полупроводниковых элементов и степень усложнения конструкции.

Во второй главе предложена принципиальная электрическая схема силовой части тягового инвертора с интегрированным зарядным устройством, которая при использовании единой элементной базы позволяет реализовать две качественно различающиеся функции - тягового инвертора и зарядного устройства. При разработке методики учтены базовые характеристики транспортного средства, особенности и условия его движения, что позволяет определить параметры основных компонентов силовой части.

В третьей главе предложена комплексная математическая модель, системы тягового электрооборудования электромобиля, в основе которой лежат математические зависимости, коммутационные функции, массивы экспериментальных данных и схемы замещения, что позволяет проводить исследования электрических, электромеханических, мощностных, энергетических и прочих характеристик СТЭО электромобильного транспорта.

В четвертой главе предложен новый вариант технической реализации экспериментального образца ТИЗУ, который отличается: компланарной конструкцией силовых шин постоянного тока; возможностью охлаждения конденсаторов звена постоянного тока; размещением компонентов системы управления, обеспечивающим минимизированную длину сигнальных цепей; помехозащитным исполнением системы управления; жидкостным охлаждением полупроводниковых элементов ТИЗУ; унифицированным исполнением IGBT-модулей тягового инвертора и зарядного устройства. Выбор элементной базы экспериментального образца (ЭО) основан на функциональных требованиях, результатах расчетных исследований и математического моделирования.

В пятой главе диссертационной работы представлены результаты экспериментальных исследований, которые осуществлялись с использованием стенда комплексных испытаний в двух основных режимах: управление тяговым электродвигателем в условиях, приближенных к реальному движению электромобиля, и заряд тягового источника энергии. Отмечается, что программа экспериментальных исследований состоит из двух этапов, которые позволяют оценить работу ТИЗУ в тяговом и зарядном режимах.

Особо следует отметить реализацию экспериментального исследования ТИЗУ в зарядном режиме при использовании легкового электромобиля, а также содержание и объём данных исследований. Полученные результаты свидетельствуют о том, что совмещенная топология работоспособна, а

предложенная математическая модель СТЭО адекватна, что подтверждается достаточной сходимостью результатов моделирования и результатов экспериментального исследования.

Представлены основные выводы и результаты работы.

Объем и содержание диссертационной работы по степени научной новизны и практической значимости удовлетворяет требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Диссертация имеет внутреннее единство и стилистическую целостность. Выводы, полученные в результате проведенных исследований, имеют научную новизну и практическую полезность, а структура работы соответствует целям и задачам исследования.

Проверка на антиплагиат. Процент оригинальности диссертационной работы Грищенко А.Г. на тему «Тяговый инвертор с интегрированным зарядным устройством для электромобильного транспорта» составляет 85,58%. Процент цитирования 10,08%. Процент заимствования 4,33%. Проверка выполнена в системе Антиплагиат.ВУЗ.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы и ее основные положения.

Соответствие содержания диссертации заявленной специальности

Диссертационная работа соответствует научной специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы. Разделы диссертации соответствуют следующим разделам паспорта специальности:

1. Пункт 1. Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, изучение системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем.
2. Пункт 3. Разработка, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов эффективного управления.
3. Пункт 4. Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях.

Соответствие автореферата диссертации её содержанию

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. В автореферате отражены основные положения диссертации, приведены выводы и результаты исследования. Рукопись автореферата соответствует требованиям ГОСТ Р 7.011-2011 и требованиям п.25 Положения о присуждении ученых степеней.

Личный вклад соискателя в получении результатов исследования.

Личный вклад автора заключается в выполнении теоретических и экспериментальных исследований. Автором самостоятельно разработана топология и конструкция экспериментального образца тягового инвертора с интегрированным зарядным устройством с использованием единой элементной базы. Разработаны методические рекомендации для проектирования системы тягового электрооборудования электромобилей на основе интегрированных решений.

Созданная имитационная модель учитывает температурные режимы работы тяговых литий-ионных аккумуляторных батарей электромобилей и позволяет воспроизводить работу системы тягового электрооборудования, в том числе в режиме реального времени.

Проведены натурные испытания заряда тяговой аккумуляторной батареи при использовании предложенного автором алгоритма трехступенчатого заряда с целью исследования процессов, протекающих в тяговом инверторе с интегрированным зарядным устройством.

С помощью расчетных исследований и имитационного моделирования определены энергетические, механические, электрические и мощностные характеристики системы тягового электрооборудования электромобиля, опираясь на которые предложен рациональный состава, техническое исполнение и характеристики основных компонентов тягового инвертора с интегрированным зарядным устройством

Замечания по диссертационной работе

Диссертация выполнена на достаточно высоком научном уровне. Вместе с тем, по диссертационной работе Грищенко А.Г. имеются следующие замечания:

1. Рассматриваемая в работе система управления тяговым электродвигателем реализует пропорциональный закон управления, который имеет ряд известных недостатков при работе с изменяющейся нагрузкой на валу силовой установки электромобиля. Кроме того, используемый закон управления не отражает перспективные тенденции развития тягового электропривода электромобильного транспорта.

2. Предложенный для оценки различных топологий преобразователей напряжения коэффициент степени интеграции не учитывает тип используемых полупроводников и их характеристики.
3. В работе не учитываются массогабаритные показатели коммутационного устройства, входящего в силовую цепь ТИЗУ и осуществляющего подключение силовой цепи ТИЗУ к внешней сети для заряда батареи электромобиля.
4. В диссертационной работе в аналитическом выражении (2.52) не раскрыта суть и значение эмпирического коэффициента K , что затрудняет использование указанной формулы. Следовало бы уточнить приведенный показатель.
5. Не рассмотрена экономическая сторона применения тягового инвертора с интегрированным зарядным устройством
6. Ряд представленной информации в диссертационной работе можно было бы сократить без ущерба для ее восприятия. Так, например, температурный режим тягового двигателя, фиксируемый в ходе экспериментальных исследований (см. рисунок 5.20), выходит за рамки диссертационного исследования. В противном случае следовало бы явно указать на цель включения данной информации в текст работы.

Указанные замечания не снижают ценность и общую положительную оценку диссертационной работы, не влияют на основные научные и практические результаты и не затрагивают основных положений, вынесенных соискателем на защиту.

Заключение по диссертации

Диссертационная работа в соответствии с п.10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствуют о личном вкладе автора диссертации в науку. Полученные автором результаты имеют практическую значимость для автотранспортного комплекса, развитие которого уже неразрывно связано с электрическим транспортом.

Работа является актуальной, полученные результаты обладают научной новизной, обоснованы на современном научном уровне, описывают законченный этап исследований. Выводы и рекомендации убедительны и обоснованы, результаты теоретических исследований подтверждены экспериментальными данными.

Указанные замечания не снижают высокий уровень диссертационной работы в целом. Диссертация Грищенко А.Г. является законченным научно-исследовательским трудом, имеющим существенное значение для науки и практики.

исследовательским трудом, имеющим существенное значение для науки и практики.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации и в необходимом объеме отражает ее основные результаты и выводы. Результаты работы достаточно полно освещены в научной печати.

Диссертация Грищенко Александра Геннадьевича на тему «Тяговый инвертор с интегрированным зарядным устройством для электромобильного транспорта» на соискание ученой степени кандидата технических наук соответствует критериям, изложенным в п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор Грищенко Александр Геннадьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Диссертация и отзыв рассмотрены и одобрены 19.04.2022 на заседании кафедры «Электротехника» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет» (протокол №11 от 19.04.2022).

Заведующий кафедрой
электротехники ФГАОУ ВО,
«Московский политехнический
университет»



Гайтова Тамара Борисовна

доктор технических наук, профессор.

Докторская диссертация защищена
по специальности 05.09.03 –

электротехнические комплексы и системы.

Почтовый адрес: 107023, Москва ул. Большая Семёновская, 38

Телефон: +7 (495) 276-32-20

Адрес электронной почты: ekems@mospolytech.ru

подпись Гайтовой Т.Б. Заверяю

СПЕЦИАЛИСТ ПО
КАДРОВОМУ
ДЕЛОПРОИЗВОДСТВУ
Бирюкова И.

