

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«Петербургский государственный  
университет путей сообщения  
Императора Александра I»  
(ФГБОУ ВО ПГУПС)**  
Московский пр., д.9, Санкт-Петербург, 190031  
Телефон: (812) 457-86-28, факс: (812) 315-26-21  
E-mail: dou@pgups.edu, http://www.pgups.ru  
ОКПО 01115840, ОГРН 1027810241502,  
ИНН 7812009592/ КПП 783801001

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по научной работе

к.т.н., профессор

П.К. Рыбин

14 октября 2016 г.

14.10.2016 № 005.05.5-40/79  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу  
Шрамко Сергея Геннадьевича

«Повышение энергетической эффективности электровозов переменного тока в режиме рекуперативного торможения за счет изменения параметров балластных резисторов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

### 1. Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Шрамко Сергея Геннадьевича направлена на совершенствование тяговых электроприводов электровозов переменного тока в режиме рекуперативного торможения и повышение их энергетической эффективности. Тема исследования, безусловно, является актуальной для компании ОАО «Российские железные дороги», так как повышение эффективности работы электровозов в режиме рекуперации обеспечит снижение затрат на тягу поездов, что отражено в программе «Энергетическая стратегия холдинга «РЖД» на перспективу до 2030 года», как одна из целевых задач. В настоящее время отечественные электровозы переменного тока с коллекторным тяговым электроприводом не отвечают современным требованиям по ряду параметров, одним из которых является коэффициент мощности. Принцип работы преобразователей электровоза и их силовая схема имеют множество недостатков, но с развитием управляемых полупроводниковых приборов появляется возможность реализовать новые

научно-технические решения. Режим рекуперативного торможения исследован сегодня очень глубоко, однако вопросу снижения величины сопротивления балластных резисторов и соответственно уменьшению потерь на них не уделялось должного внимания. В связи с этим рассмотрение вопроса уменьшения активного сопротивления балластных резисторов и повышения за счет этого коэффициента мощности электровозов переменного тока является очень важным, а тема диссертационной работы актуальной.

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

По материалам диссертации опубликовано 10 научных работ, из них 5 статей в ведущих научных рецензируемых журналах и изданиях перечня ВАК Минобрнауки России, получено 2 патента на изобретения.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается использованием теоретических и экспериментальных методов исследования, основанных на достижениях в теории электрических цепей и преобразовательных устройств.

Основные положения и результаты диссертационных исследований докладывались и обсуждались на международных, всероссийских, отраслевых и региональных конференциях, выставках и конкурсах в Москве, Новочеркасске, Иркутске, Хабаровске в 2011 - 2015 годах.

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

Достоверность выполненной диссертационной работы подтверждается результатами математического моделирования в среде MatLab/Simulink, совпадением их с экспериментальными данными, полученными на лабораторном стенде.

Научная новизна предложенного способа изменения сопротивления балластных резисторов электровоза, заключается в интервальном изменении величины его активного сопротивления в определенный момент времени относительно перехода сетевого напряжения через ноль, в результате чего увеличивается активная составляющая тока первичной обмотки тягового трансформатора и тем самым увеличивается коэффициент мощности электровоза.

Научная новизна предложенного способа выравнивания токов параллельно включенных ТЭД, работающих в режиме генераторов с независимым возбуждением, заключается в том, что при возникновении

разности их токов формируется управляющий сигнал силовыми ключами для индивидуального изменения активного сопротивления балластного резистора в цепи каждого ТЭД.

Разработанная математическая модель системы «тяговая подстанция – контактная сеть – электровоз» для режима рекуперативного торможения с учетом изменения величины активного сопротивления балластных резисторов и выравнивания токов параллельно включенных ТЭД, работающих в режиме генераторов с независимым возбуждением позволяет проводить исследования сложных электромагнитных процессов протекающих в электровозе переменного тока во время рекуперативного торможения и имеет удовлетворительную сходимость с экспериментальными кривыми тока и напряжения полученными при эксплуатации электровоза.

#### **4. Оценка структуры и содержания диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, библиографического списка из 99 наименований, 2 приложений и содержит 130 страниц основного текста, 9 таблиц и 64 рисунка.

Содержание и структура диссертации логически связаны, соответствуют поставленной цели и задачам. Язык и стиль оформления диссертации на качественном уровне, содержательно представлены выводы исследований.

Во введении показана актуальность выбранного направления исследования, сформулирована цель, приведена научная новизна, степень достоверности, практическая значимость полученных результатов и дана информация об апробации полученных положений исследования.

В первой главе автором проведен анализ известных способов повышения энергетических показателей тяговых электроприводов электровозов переменного тока в режиме рекуперативного торможения. Обозначено направление исследования в области повышения энергетической эффективности тяговых электроприводов электровозов. Поставлены четкие задачи для достижения поставленной цели.

Во второй главе приведены результаты исследования электромагнитных процессов инвертирования с использованием теории работы силовых преобразователей. В ходе анализа электромагнитных процессов были получены выражения для определения эквивалентного сопротивления, учитывающего потерю напряжения, обусловленную процессами коммутации тиристорных плеч преобразователя и эквивалентного сопротивления активного падения напряжения, на основании

которых была рассчитана минимальная допустимая величина сопротивления блока балластных резисторов, обеспечивающая статическую устойчивость режима рекуперативного торможения.

Для определения влияния сопротивления балластных резисторов на коэффициент мощности в режиме рекуперативного торможения были получены выражения, учитывающие его влияние для первой и последующих зон.

Обоснована возможность уменьшения величины активного сопротивления балластного резистора и предложены способы изменения величины активного сопротивления балластных резисторов и выравнивания токов параллельно включенных ТЭД в режиме генераторов с независимым возбуждением, значительно повышающих коэффициент мощности электровоза в режиме рекуперативного торможения.

Третья глава посвящена имитационному моделированию электромагнитных процессов, протекающих в электровозе. Разработана уточненная математическая модель системы «тяговая подстанция – контактная сеть – электровоз» для режима рекуперативного торможения с учетом изменения сопротивления балластных резисторов и выравнивания токов генераторов.

Разработанная модель позволяет исследовать протекающие электромагнитные процессы в силовых цепях электровоза при типовом режиме и с предлагаемым способом изменения сопротивления балластных резисторов.

Автором достаточно информативно представлены результаты математического моделирования электромагнитных процессов в виде кривых напряжения и тока в первичной обмотке тягового трансформатора электровоза, выпрямленного напряжения и тока ВИП и тягового двигателя. Доказаны преимущества предлагаемого решения. Адекватность математической модели подтверждена сравнением результатов моделирования с осциллограммами, полученными на лабораторном стенде и при эксплуатации электровоза ВЛ80Р. Расхождение расчётных и опытных данных составило не более 4 %.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований режимов рекуперативного торможения с постоянным сопротивлением балластных резисторов и с предлагаемым способом его изменения, полученные на лабораторном стенде.

В главе произведен расчет технико-экономических показателей одного электровоза серии ВЛ80Р при модернизации предлагаемыми способами.

В выводах сформулированы основные результаты по диссертационной работе.

## **5. Теоретическая и практическая значимость результатов исследования**

*Теоретическая значимость.* Полученные в результате диссертационной работы положения научной новизны полностью отражают теоретическую значимость проведенного исследования.

*Практическая значимость.* Разработаны схемные решения для модернизации силовой схемы электровоза с изменением сопротивления блока балластных резисторов (ББР), обеспечивающие повышение коэффициента мощности электровоза в режиме рекуперативного торможения и уменьшение коэффициента относительной пульсации тока якоря ТЭД в сравнении с типовым режимом работы.

Разработаны принципиальные схемы блока управления для изменения сопротивления ББР и выравнивания токов параллельно включенных ТЭД, работающих в режиме генераторов с независимым возбуждением.

Изготовлен блок управления для интервального изменения сопротивления ББР и выравнивания токов параллельно включенных ТЭД, работающих в режиме генераторов с независимым возбуждением.

Разработан научно-экспериментальный лабораторный «Стенд для исследования работы электровоза в режимах тяги и рекуперативного торможения» на базе лаборатории «Системы управления ЭПС» ИрГУПС, который используется в учебном процессе для подготовки инженеров железнодорожного транспорта.

## **6. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности**

Диссертация соответствует заявленной специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы», так как содержит основные положения «Области исследований»:

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. «Разработка, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов эффективного управления».

3. «Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях».

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

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

## **8. Замечания по диссертационной работе**

1. Указанный в выводах диссертации расчетный эффект повышения коэффициента мощности в среднем на 15% является сильно завышенным. В диссертации приведен расчет коэффициента мощности исходной и усовершенствованной систем, на основании которых повышение коэффициента мощности для 4-й зоны составляет только 4,4%, для 3-й зоны - 6,5%, для 2-й зоны - 12%.

2. Более эффективным результатом уменьшения сопротивления балластных резисторов следует считать повышение коэффициента полезного действия режима рекуперации, но об этом в диссертации не упоминается, хотя название диссертации начинается со слов: «повышение энергетической эффективности...».

3. Расхождение токовых нагрузок параллельно работающих электрических машин в режиме рекуперации на 4-й зоне регулирования для электровозов ВЛ80Р и ВЛ85 является проблемной ситуацией. При работе электровоза ВЛ80Р в режиме рекуперации необходимо постоянное выравнивание токовых нагрузок, поэтому при реализации предложенного способа следует ожидать только частичного эффекта повышения коэффициента мощности (не более половины от заявленного в диссертации).

4. В диссертации отсутствует сравнительный анализ предложенного способа выравнивания токовых нагрузок параллельно работающих электрических машин и известного способа интервального шунтирования обмоток возбуждения тиристорными блоками, примененного Новочеркасским электровозостроительным заводом на электровозах ВЛ65, ЭП1, 2ЭС5К. А это одно из положений диссертации, характеризующее научной новизной и выносимое на защиту.

5. Предложенное интервальное уменьшение сопротивления балластных резисторов сопровождается существенным увеличением постоянной времени апериодического звена цепи якорей электрических машин, что в реальных условиях режима рекуперации электровоза отразится на работе системы автоматического регулирования угла запаса инвертирования и системы противокомпаундирования. В диссертации этот вопрос не нашел отражения.

6. Уменьшение сопротивления балластных резисторов до величины, близкой к критической в реальных условиях работы электровоза может привести к потере электрической устойчивости режима рекуперации. Для подтверждения обеспечения устойчивости систем рекуперации с предлагаемым усовершенствованием необходимо провести испытания на электровозе при вариациях токовых нагрузок, скорости движения и расположения электровоза относительно питающих фидеров тяговой сети.

7. Предложенный способ выравнивания токовых нагрузок электрических машин в режимах рекуперации исследован на компьютерной модели электровоза и физическом лабораторном стенде, что является недостаточным для сделанного в диссертации заключения о высокой эффективности этого способа, применительно к электровозам.

8. Эффект снижения пульсаций тока якорей тяговых электродвигателей на 28% при интервальном регулировании балластных резисторов в диссертационной работе научно не обоснован. Известно, что коэффициент пульсации тока зависит существенно только от величины напряжения ВП (зоны регулирования) и индуктивности выпрямленной цепи. Некоторое интервальное увеличение тока якорей, показанное на осциллограммах не может создать столь ощутимый эффект.

9. Термин «эквивалентное сопротивление электромагнитного падения напряжения» является некорректным. Речь идет о эквивалентном сопротивлении, учитывающем потерю напряжения, обусловленную коротким замыканием тяговой обмотки трансформатора в процессе коммутации.

10. Используемый в автореферате и диссертации термин «угол опережения зажигания» употреблялся 50 лет назад применительно к управляемым ртутным выпрямителям - экситронам и давно выведен из употребления в технической терминологии.

Следует отметить, что указанные замечания не снижают общего достоинства работы и имеют рекомендательный характер.

## 9. Заключение по диссертации

На основании изучения диссертации, автореферата и работ соискателя, опубликованных по теме диссертации, можно сделать заключение, что диссертация Шрамко Сергея Геннадьевича является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные решения по повышению энергетических показателей электровозов переменного тока в режиме рекуперативного торможения.

Диссертационная работа Шрамко Сергея Геннадьевича соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор Шрамко Сергей Геннадьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 - «Электротехнические комплексы и системы».

Заключение принято на заседании кафедры «Электрическая тяга» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I « 20 » сентября 2016 г., протокол № 2.

Заведующий кафедрой «Электрическая тяга» ПГУПС,

к.т.н., доцент

Евстафьев Андрей Михайлович

профессор кафедры «Электрическая тяга» ПГУПС,

д.т.н.

Никитин Виктор Валерьевич

профессор кафедры «Электрическая тяга» ПГУПС,

к.т.н., доцент

Якушев Алексей Яковлевич

190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9,  
ПГУПС Тел. (812) 310-25-21, e-mail: [dou@pgups.edu](mailto:dou@pgups.edu)