

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Иркутский государственный университет путей сообщения»

ФГБОУ ВО ИрГУПС

Чернышевского ул., 15, Иркутск, 664074

Тел.: (3952) 63-83-11, факс (3952) 38-77-46. E-mail: mail@irgups.ru, <http://www.irgups.ru>

№ _____ на _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО «Иркутский
государственный университет путей
сообщения», доктор технических наук,
профессор

 А. П. Хоменко

 2017 г.

В диссертационный совет
Д 999.086.03 при ФГБОУ ВО «Комсо-
мольский-на-Амуре государственный
технический университет», ФГБОУ
ВО «Дальневосточный государственный
университет путей сообщения»,
ФГБОУ ВО «Амурский государственный
университет»

681013, Россия,
г. Комсомольск-на-Амуре,
пр. Ленина, 27

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию
Шухарева Сергея Анатольевича «Повышение энергетической эффективности
электровозов переменного тока на основе применения экстремального
компенсатора реактивной мощности», представленную на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 –
«Электротехнические комплексы и системы»

Актуальность темы диссертации

В настоящее время основную часть эксплуатируемого парка Российских железных дорог составляют электровозы с зонно-фазовым регулированием напряжения, имеющие низкие значения коэффициента мощности. Так, в зависимости от режима работы электровоза значение его коэффициента достигает величины 0,84 лишь в конце четвертой зоны регулирования, что не соответствует требованиям, предъявляемым к энергетическим характеристикам электровозов переменного тока (ГОСТ Р 55364-2012).

Согласно принятой ОАО «РЖД» энергетической стратегии развития железнодорожного транспорта на период до 2015 года и на перспективу до 2030 года в области научных исследований предусматривается разработка устройств компенсации реактивной мощности (КРМ) электроподвижного состава.

В диссертационной работе для повышения коэффициента мощности электровоза предлагается использовать экстремальный компенсатор реактивной мощности, устанавливаемый непосредственно у источника, генерирующего реактивную мощность, то есть на электроподвижном составе.

Оценка структуры и содержания диссертации

Представленная диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложений. Текст диссертации изложен на 188 страницах, содержит 101 рисунок, 32 таблицы и два приложения.

Во **введении** раскрыта актуальность темы диссертационной работы и степень ее разработанности, цели и задачи, научная новизна, практическая значимость исследования, описаны методы исследования, представлены положения, выносимые на защиту, обоснована достоверность полученных результатов, а также представлена информация по апробации работы и результаты ее внедрения.

В **первой главе** приведен обзор различных устройств для компенсации реактивной мощности, применяемых на электроподвижном составе, обосновано использование для этих целей различных видов LC -компенсаторов. В результате выполненного исследования установлены достоинства и недостатки различных LC -компенсаторов и сформулированы цели и задачи научного исследования.

Во **второй главе** представлена математическая модель системы «тяговая подстанция – контактная сеть – электровоз, оборудованный пассивным компенсатором реактивной мощности», которая реализована в пакете *Simulink* среды *MATLAB*.

Математическая модель тягового трансформатора электровоза выполнена с учетом нелинейной характеристики намагничивания его сердечника. При моделировании цепи тягового электродвигателя учтено влияние вихревых токов в его магнитопроводе. Приведенные в работе кривые экспериментального и смоделированного токов компенсатора, а также значения коэффициентов детерминации для силовых элементов модели свидетельствуют о адекватности разработанной математической модели.

В **третьей главе** обосновано применение экстремального регулятора для повышения коэффициента мощности электровоза, обусловленного параболическим характером зависимости коэффициента мощности от вольтодобавочного напряжения. Разработана схема экстремального регулятора для управления вольтодобавочным напряжением регулируемого LC -компенсатора. Предложен алгоритм определения полиномиальных коэффициентов, описывающих кривую коэффициента мощности в зависимости от вольтодобавочного напряжения при различных значениях углов управления электровоза. Полученная аналитическая зависимость позволяет использование средств вычислительной техники при реализации экстремального регулятора на электроподвижном составе. При определении коэффициентов полинома автор использовал метод численного дифференцирования с помощью интерполяционной формулы Стирлинга. Полученные результаты исследования позволяют адаптировать работу экстремального регулятора во всех режимах работы электровоза, а также при различном удалении электровоза от тяговой подстанции. Разработанное устройство управления компенсатором защищено патентом РФ. В работе также представлен алгоритм работы экстремаль-

ного регулятора, реализованный с помощью управляющих микропроцессорных средств. В последнем разделе главы описана разработанная автором схема контура стабилизации напряжения на конденсаторе инвертора. Приведенные в разделе 3.6.1 диссертации диаграммы токов инвертора и напряжения на его конденсаторе убеждают в правомерности использования такой схемы стабилизации.

В **четвертой главе** проведен анализ работоспособности разработанной системы «тяговая подстанция – контактная сеть – электровоз, оборудованный КРМ с системой экстремального регулирования», выполненной путем математического моделирования в пакете *Simulink* среды *MATLAB*. Расчеты проводились при различном удалении электровоза от шин тяговой подстанции в режимах тяги и рекуперативного торможения. В процессе моделирования ток тяговых двигателей электровоза поддерживался на уровне часового значения. Приведенные на рисунке 4.2 значения коэффициента мощности штатного электровоза и электровоза, оборудованного предлагаемым компенсатором, свидетельствуют о преимуществах последнего, поскольку применение предлагаемого компенсатора позволило увеличить коэффициент мощности электровоза в среднем до 0,97 во всем диапазоне регулирования.

Представленные на рисунках 4.4-4.7 и 4.10-4.13 зависимости изменения во времени значений коэффициента мощности и вольтодобавочного напряжения характеризуют работу экстремального регулятора от момента пуска до наступления установившегося режима, соответственно, в режиме тяги и рекуперативного торможения. Полученные в конце регулирования значения свидетельствуют об устойчивой работе предлагаемого компенсатора в области экстремально высоких значений коэффициента мощности.

Кроме того, в разделе 4.3 автором проанализирована работа компенсатора в переходных режимах: при изменении угла регулирования α_p в пределах одной зоны регулирования, а также при переходе из одной зоны регулирования в другую. Поскольку описываемая система является существенно нелинейной, автор совершенно обоснованно выбрал в качестве критерия ее работоспособности время переходного процесса и переход в установившейся режим работы в цикле первого рода.

Результаты проведенных в четвертой главе исследований подтверждают работоспособность системы экстремального регулирования в статических и переходных режимах как при работе в режиме тяги, так и в режиме рекуперативного торможения. Так время переходного процесса составило от 0,14 с до 6,58 с в зависимости от зоны регулирования и угла управления α_p . При этом значение коэффициента мощности сохранилось на достаточно высоком уровне в диапазоне от 0,870 до 0,987.

Пятая глава посвящена разработке физической модели системы «тяговая подстанция – контактная сеть – электровоз, оборудованный КРМ с экстремальным регулятором». Физическая модель реализована в полном соответствии с предложенной в главе 3 структурой экстремального компенсатора реактивной мощности. В соответствии с рассчитанными критериями подобия выбраны силовые элементы физической модели. Модель контактной сети системы реализована в виде Т-образной схемы. Управление ключевыми элементами

инвертора осуществляется с помощью контроллера реального времени *NI cRIO-9112*, управляемого от персонального компьютера. В качестве силовых ключей инвертора использованы *IGBT*-транзисторы *IRG4BC30FD*, управляемые через полумостовые драйверы *IR2104*. На рисунке 5.9 представлены результаты изменения напряжения на конденсаторе инвертора, подтверждающие работоспособность контура стабилизации напряжения, предложенного в разделе 3.6.1. Приведенные в пятой главе фотографии физической модели, а также диаграммы изменения коэффициента мощности и вольтодобавочного напряжения убеждают в работоспособности разработанной физической модели.

В **шестой главе** определены габаритные показатели экстремального компенсатора реактивной мощности, рассчитаны затраты, годовая экономия и срок окупаемости при оборудовании экстремальным компенсатором одного электровоза переменного тока.

В **заключении** сформулированы основные выводы по результатам диссертационной работы.

В **приложениях** представлены программный код работы экстремального регулятора и копия акта внедрения.

Поставленные автором цели и задачи научного исследования решены в полной мере и отражены в соответствующих главах диссертации. Диссертация выполнена на высоком научно-исследовательском уровне, написана технически грамотным языком, имеет логичную и связную структуру. Изложенные материалы сопровождаются достаточным количеством иллюстраций. Диссертация автора является завершенной научно-квалификационной работой.

Соответствие содержания диссертации заявленной специальности

Диссертация соответствует 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».

Соответствие автореферата диссертации ее содержанию

Рукопись автореферата достаточно полно отражает содержание диссертации и представлена в виде краткого описания ее глав, основных результатов исследований, экономической эффективности и выводов. Рукопись автореферата соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11–2011 и «Положения о присуждении ученых степеней».

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

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается корректным применением теории электрических цепей, теории дифференциальных уравнений, теории автоматического управления, вычислительного эксперимента и соответствующим обоснованием полученных результатов исследования.

Достоверность и новизна полученных результатов

Достоверность основных научных положений и выводов подтверждается результатами математического и физического моделирования работы системы «тяговая подстанция – контактная сеть – электровоз, оборудованный КРМ с экстремальным регулятором».

Диссертация содержит научную новизну, которая заключается в том, что:

- 1) разработан новый способ управления устройством для компенсации реактивной мощности, позволяющий получать экстремально высокие значения коэффициента мощности во всех режимах работы электровоза;
- 2) разработана система управления устройством компенсации реактивной мощности с её адаптацией к различным режимам работы электровоза;
- 3) разработана модель системы «тяговая подстанция – контактная сеть – электровоз, оборудованный КРМ с экстремальным регулятором».

Теоретическая и практическая ценность результатов диссертации

Теоретическая и практическая значимость заключается в том, что:

- 1) применение разработанного компенсатора реактивной мощности на электровозах переменного тока позволяет поддерживать экстремально высокое значение коэффициента мощности во всех режимах его работы;
- 2) разработанная математическая модель позволяет исследовать электромагнитные процессы в системе «тяговая подстанция – контактная сеть – электровоз, оборудованный КРМ с экстремальным регулятором».

Результаты работы внедрены в локомотивном депо «Белогорск» филиала «Дальневосточный» ООО «ТМХ-Сервис», что подтверждает соответствующий акт внедрения, представленный в приложении диссертации.

Замечания по диссертации

1. В первой главе не приведен опыт применения компенсирующих устройств на зарубежном подвижном составе.
2. Во второй главе при моделировании тяговой подстанции использовалась ее упрощенная схема в виде источника синусоидального напряжения, последовательно соединенного с индуктивностью и активным сопротивлением, имитирующих общее активно-индуктивное сопротивление обмоток трансформатора.
3. Из таблицы 2.3 не понятно почему ток холостого хода указан в процентах.
4. Из рисунка 2.14 не ясна возможность работы модели БУВИП при искаженной форме напряжения, поступающего на информационный вход *Sine_50Hz*.

5. При выборе метода численного дифференцирования не обоснованно применение интерполяционной формулы Стирлинга.

6. Из рисунка 3.9 не ясен принцип работы блока 10, обозначенного как «Циклический режим работы».

7. Из рисунка 3.9 не ясно что такое направление поиска «Н», принятое равным 1 в блоке начальных условий 2.

8. Из рисунка 3.11 не ясно где формируется переменное напряжение $U_{ВД}$ в схеме инвертора напряжения.

9. На рисунках 3.24 и 3.25 излишне подробно показаны общеизвестные сведения о работе IGBT-транзистора.

10. Не ясно почему характер изменения коэффициента мощности на рисунке 4.2 отличается от рисунка 1.2.

Приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

По результатам обсуждения диссертации Шухарева С.А. «Повышение энергетической эффективности электровозов переменного тока на основе применения экстремального компенсатора реактивной мощности» принято следующее заключение.

Заключение о соответствии диссертации критериям «Положения о присуждении ученых степеней»

Результаты анализа на антиплагиат диссертации Шухарева Сергея Анатольевича свидетельствуют о том, что она написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты. Полученные результаты и технические решения аргументированы и сравниваются с другими известными работами. Научные и практические результаты диссертации могут быть использованы для увеличения коэффициента мощности электроподвижного состава с зонно-фазовым регулированием напряжения во всех режимах его работы.

Результаты работы опубликованы в 10 печатных работах, в том числе 3 статьях рецензируемых научных изданий, в 1 патенте на изобретение и в 1 издании, входящем в международную систему цитирования Scopus.

Материалы работ, представленные в диссертации и полученные не автором, имеют соответствующие ссылки на источник заимствования.

Диссертация Шухарева Сергея Анатольевича на соискание ученой степени кандидата технических наук является логически завершенной самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технические решения, имеющее существенное значение для развития железнодорожного транспорта в РФ.

Автор диссертации заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Диссертация Шухарева С. А. рассмотрена на заседании кафедры «Электроподвижной состав» федерального государственного бюджетного образовательного

го учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения».

По результатам обсуждения диссертации принято положительное заключение (протокол № 3 от «23» октября 2017 г.)

Заведующий кафедрой «Электроподвижной состав» Иркутского государственного университета путей сообщения, доктор технических наук, доцент

Мельниченко Олег Валерьевич

Доцент кафедры «Электроподвижной состав» Иркутского государственного университета путей сообщения, кандидат технических наук, доцент

ФИО секретаря
Линьков Алексей Олегович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения»

Почтовый адрес: 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского

Тел.: (3952) 63-83-11.

Факс (3952) 38-77-46.

E-mail: mail@irgups.ru,

Сайт: <http://www.irgups.ru>.

Подпись

