

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертацию Томилова Вячеслава Станиславовича

«Повышение эффективности режима рекуперативного торможения электровоза переменного тока» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

### **Актуальность выбранной темы исследования**

В современных условиях возрастающих потребностей в перевозках на электрифицированных железных дорогах переменного тока необходимо совершенствовать эксплуатируемые и вновь создаваемые электровозы переменного тока. Несмотря на значительные системные преимущества железных дорог перед другими видами транспорта в отношении энергопотребления, снижение энергозатрат остается важной целью инновационной деятельности. Одним из главных факторов экономии электроэнергии в ОАО «РЖД» является применение рекуперативного торможения на электроподвижном составе переменного тока, реализация которого возможна при применении в схемах преобразователей управляемых полупроводниковых приборов.

В полной мере обеспечивать ресурсо- и энергосбережение не позволяет конструкция выпрямительно-инверторных преобразователей (ВИП), в которых коммутация тока в плечах осуществляется тиристорами с опережением их включения, что существенно увеличивает реактивную энергию, что снижает пропускную способность полигона из-за загруженности контактной сети, недоиспользование мощности электрооборудования, увеличение падения напряжения в контактной сети и на электровозе. В рекуперативном режиме у существующих ВИП также требуется использование блока балластных сопротивлений в якорной цепи тяговых электрических двигателей (ТЭД), ограничивается область тормозных характеристик электровоза, оказывается негативное влияние на коэффициент полезного действия (к.п.д.) и др.

Таким образом, диссертационная работа В. С. Томилова является актуальной и представляет научно-практический интерес, как посвящённая разработке способа реализации рекуперативного торможения на электровозах переменного тока с ВИП на базе IGBT-транзисторов при одновременном исключении блока балластных резисторов из силовой цепи.

## **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации В. С. Томилова подтверждена удовлетворительным совпадением полученных в работе результатов с данными экспериментальных исследований, проведённых при физических испытаниях на полноразмерном испытательном стенде сервисного локомотивного депо «Боготол-Сибирский» Красноярской железной дороги.

## **Достоверность и новизна полученных результатов**

Достоверность и новизна полученных результатов обоснована адекватностью данных, полученных при математическом моделировании в среде MatLab/Simulink, совпадением их с результатами экспериментальных исследований в сервисном локомотивном депо «Боготол-Сибирский». Погрешность не превысила 10 %.

## **Научная новизна**

Научная новизна диссертации В. С. Томилова заключается в следующем:

- предложен способ реализации рекуперативного торможения на электровозах переменного тока с ВИП на базе IGBT-транзисторов для обеспечения статической устойчивости системы «генератор-инвертор» без использования балластных резисторов в якорной цепи ТЭД;
- предложена методика обеспечения электрической устойчивости режима рекуперативного торможения электровоза переменного тока с ВИП на базе IGBT-транзисторов при исключении блока балластных резисторов из его силовой цепи.

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

На основании полученных результатов математического моделирования в среде MATLAB/Simulink системы «тяговая подстанция – контактная сеть-электровоз переменного тока с ВИП на базе IGBT-транзисторов» разработан алгоритм основной программы блока управления ВИП на базе IGBT-транзисторов для организации положительного наклона внешней характеристики преобразователя с целью обеспечения статической устойчивости режима рекуперативного торможения без блока балластных резисторов. Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс Иркутского государственного университета путей сообщения (ИрГУПС).

## **Апробация работы и публикации**

Автором выполнена апробация материалов диссертационной работы на всероссийских, международных конференциях и семинарах, где широко обсуждались полученные научные и практические результаты.

По материалам диссертации опубликовано 17 печатных трудов, из них три статьи опубликованы в ведущих научных рецензируемых журналах и изданиях перечня ВАК РФ, одна статья в журнале, индексируемом в научной базе Scopus, получен один патент на изобретение.

## **Оценка содержания диссертации и её завершенности**

Диссертационная работа В. С. Томилова включает Введение, четыре раздела, Заключение, Список сокращений и условных обозначений, Список литературы из 112 наименований. Содержит 154 страницы, 22 таблицы и 106 рисунков.

**Во введении** приведена общая характеристика диссертации, обоснована актуальность выбранной темы, раскрыты научная новизна, теоретическая и практическая значимость, описаны методы исследования, определены цель и задачи исследования.

**В первом разделе** выполнен анализ существующих технических средств, способов и алгоритмов управления выпрямительно-инверторными преобразователями (ВИП) отечественных электровозов переменного тока, направленных на повышение эффективности режима рекуперативного торможения, отмечены их достоинства и недостатки. Проведенный анализ выполненных ранее исследований позволил автору сформулировать цель работы, которая заключается в обеспечении статической устойчивости режима рекуперативного торможения электровоза переменного тока, расширения его области тормозных характеристик и повышения возврата электроэнергии в контактную сеть за счет исключения балластных резисторов из якорной цепи тягового электрического двигателя (ТЭД), а также задачи исследования для достижения поставленной цели.

**Во втором разделе** рассмотрена теория обеспечения электрической устойчивости режима рекуперативного торможения, описан разработанный способ реализации рекуперативного торможения, который обеспечивает электрическую устойчивость режима без применения блока балластных резисторов в силовой цепи. Описан алгоритм управления ВИП на базе IGBT-транзисторов для реализации разработанного способа. Выполнен расчет внешних характеристик системы

«генератор – инвертор», а также тормозных характеристик электровоза при исключении блока балластных резисторов.

**В третьем разделе** представлена математическая модель системы «тяговая подстанция – контактная сеть – электровоз» в пакете MATLAB/Simulink, также проведено ее дополнение путем введения в электровоз выпрямительно-инверторного преобразователя на базе IGBT-транзисторов и системы его управления. Выполнено исследование адекватности работы математической модели. На данной модели проведено исследование характеристик работы электровоза в режиме рекуперативного торможения с транзисторными выпрямительно-инверторными преобразователями при исключении блока балластных резисторов из силовой цепи электровоза.

**В четвертом разделе** представлены результаты экспериментального исследования разработанного технического решения на испытательном стенде под напряжением контактной сети в сервисном локомотивном депо (СЛД) «Боготол-Сибирский» на территории Красноярской железной дороги.

**В Заключение** диссертации изложены итоги проведенного научного исследования и перспективы дальнейшей работы.

По структуре и качеству оформления диссертационной работы В. С. Томилова замечаний нет. Материал изложен ясно, грамотным техническим языком, а разделы логически взаимосвязаны.

#### **Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации, влияние отмеченных недостатков на качество исследования**

Несмотря на общую положительную оценку выполненной работы имеются отдельные замечания:

1. В разделе 1 диссертационной работе при анализе существующих способов повышения энергетической эффективности режима рекуперативного торможения не указан зарубежный опыт по данному направлению, а представлен только отечественный.
2. В выводах после второго раздела диссертации указано, что максимальная скорость электровоза в режиме рекуперативного торможения увеличивается на 12 км/ч, однако в тексте диссертации никаких пояснений нет. Кроме того, скорость не должна превышать 90 км/ч.
3. В подразделе 3.5 диссертации не указано, какие допущения принимались при моделировании предлагаемого алгоритма управления ВИП на базе IGBT-

транзисторов при исключении блока балластных резисторов из якорной цепи ТЭД.

4. В разделе 3 диссертации при описании математической модели системы «тяговая подстанция – контактная сеть – электровоз» представлено множество схем замещения и моделей её составляющих, элементы которых в свою очередь имеют обозначения, однако расшифровка некоторых обозначений в тексте диссертации отсутствует.
5. Текст диссертации хорошо оформлен, но имеются отдельные опечатки, отступления от принятого стиля оформления, неточности изложения стилистического характера.

Отмеченные замечания не снижают научной ценности, теоретической и практической значимости полученных результатов исследования.

#### **Соответствие автореферата основному содержанию диссертации**

Автореферат в полной мере отражает основные положения и результаты диссертационной работы.

#### **Соответствие диссертации и автореферата требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011**

Диссертация и автореферат диссертации полностью соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

#### **Заключение по диссертации о соответствии ее требованиям Положения о присуждении ученых степеней**

Представленная диссертационная работа Томилова Вячеслава Станиславовича на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложен новый научно обоснованный способ реализации рекуперативного торможения без блока балластных резисторов на электровозе переменного тока с выпрямительно-инверторными преобразователями на базе IGBT-транзисторов.

В соответствии с п.10 диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, что свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. В диссертации приводятся сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов и рекомендаций по использованию научных выводов.

В соответствии с пунктом 11 основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях, при этом количество публикаций соответствует установленным требованиям.

В соответствии с п. 14 в диссертации автор ссылается на источники заимствования материалов и результатов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа Томилова Вячеслава Станиславовича «Повышение эффективности режима рекуперативного торможения электровоза переменного тока», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся научно обоснованные технические разработки. Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.3 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация».

Официальный оппонент, доктор технических наук по специальности 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация», профессор, начальник ситуационно-аналитического центра мониторинга и реагирования Дирекции по контролю качества эксплуатации подвижного состава АО «Трансмашхолдинг»



19 сентября 2022г.

Лакин Игорь Капитонович

119048, Россия, г. Москва, ул. Ефремова, д. 10,  
тел: +7-985-340-0121, e-mail: [ik.lakin@tmholding.ru](mailto:ik.lakin@tmholding.ru)

Подпись Лакина Игоря Капитоновича заверяю:

*Руководитель направления  
кадровой администрации*

*Иванова В.В.*



## **ОТЗЫВ**

### **официального оппонента на диссертацию**

Томилова Вячеслава Станиславовича

на тему «Повышение эффективности режима рекуперативного торможения  
электровоза переменного тока»

на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности  
2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

### **1 Актуальность темы диссертационной работы**

Повышение энергетической эффективности работы электровозов является одной из приоритетных задач холдинга ОАО «РЖД», в том числе увеличение удельной величины возврата электрической энергии в контактную сеть, что описано в ряде федеральных стратегических документов.

На сегодняшний день, работа современных отечественных грузовых электровозов переменного тока серии 2(3,4)ЭС5К «Ермак» в режиме рекуперативного торможения не показывает достаточной энергетической эффективности при показателе коэффициента мощности электровоза, который в эксплуатации не превышает значения 0,65. Это указывает на нерациональную работу тяговых преобразователей электровоза и значительное потребление реактивной электрической энергии из контактной сети. К снижению энергоэффективности электровоза переменного тока в режиме рекуперативного торможения также следует отнести наличие блока балластных резисторов в якорной цепи тяговых электрических двигателей, который в свою очередь снижает коэффициент полезного действия, ограничивает область тормозных характеристик электровоза, требует наличие дополнительного мотор-вентилятора для его охлаждения и др.

На основании вышеизложенного, диссертационная работа Томилова Вячеслава Станиславовича, посвященная повышению эффективности режима рекуперативного торможения электровоза переменного тока за счет разработки способа реализации и алгоритма управления выпрямительно-инверторными преобразователями на базе IGBT-транзисторов при одновременном исключении блока балластных резисторов из силовой цепи, является актуальной и представляет собой научную и практическую значимость.

### **2 Научная новизна диссертационного исследования**

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Предложен способ реализации рекуперативного торможения на электровозах переменного тока с выпрямительно-инверторными преобразователями

на базе IGBT-транзисторов для обеспечения статической устойчивости системы «генератор-инвертор» без использования балластного резистора в якорной цепи тягового электродвигателя.

2. Предложена методика обеспечения электрической устойчивости режима рекуперативного торможения электровоза переменного тока с выпрямительно-инверторными преобразователями на базе IGBT-транзисторов при исключении блока балластных резисторов из его силовой цепи.

### **3 Оценка содержания диссертации, ее завершенность**

Диссертационная работа Томилова Вячеслава Станиславовича состоит из введения, четырех разделов, выводов, библиографического списка из 112 наименований, содержит 154 страницы, 22 таблицы и 106 рисунков.

Во введении приводится общая характеристика диссертационной работы, обоснована актуальность выбранной темы, раскрыты научная новизна, теоретическая и практическая значимость, описаны методы исследования, определены цель и задачи исследования.

В первой главе проведен анализ существующих технических средств, способов и алгоритмов управления выпрямительно-инверторными преобразователями электровоза, направленных на повышение энергетической эффективности режима рекуперативного торможения, который показал, что большинство работ направлено на повышение коэффициента мощности электровоза и вопрос реализации рекуперативного торможения без блока балластных резисторов не рассматривается.

Во второй главе предложен способ реализации рекуперативного торможения, который обеспечивает электрическую устойчивость данного режима без применения блока балластных резисторов в силовой цепи, и алгоритм управления выпрямительно-инверторными преобразователями на базе IGBT-транзисторов для реализации разработанного способа. Приведен расчет внешних характеристик системы «генератор-инвертор» при исключении блока балластных резисторов, а также расчет тормозных характеристик электровоза.

В третьей главе представлена математическая модель системы «тяговая подстанция – тяговая сеть – электровоз», выполнено уточнение модели электровоза путем дополнения ее выпрямительно-инверторными преобразователями электровоза на базе IGBT-транзисторов и системой их управления.

В четвертой главе представлены результаты экспериментального исследования разработанного технического решения на испытательном стенде в условиях напряжения контактной сети.

В заключении диссертации изложены итоги проведенного научного исследования и перспективы дальнейшего развития темы.



По структуре и качеству оформления диссертационной работы Томилова В.С. замечаний нет. Материал изложен ясно, грамотным техническим языком, а главы логически взаимосвязаны.

#### **4 Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе подтверждается приемлемым совпадением полученных в работе результатов с данными эксперимента, полученных при физических испытаниях на полноразмерном испытательном стенде сервисного локомотивного депо Боготол-Сибирский Красноярской железной дороги.

#### **5 Достоверность и новизна полученных результатов**

Достоверность полученных результатов обоснована адекватностью используемой математической модели, а также корректностью постановок задач и обоснованностью принятых допущений.

#### **6 Теоретическая и практическая значимость полученных автором диссертации результатов**

На основании полученных результатов математического моделирования в среде Matlab/Simulink разработан алгоритм основной программы блока управления преобразователем на базе IGBT-транзисторов для реализации рекуперативного торможения без блока балластных резисторов. Результаты диссертационной работы также внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО ИрГУПС.

#### **7 Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации, влияние отмеченных недостатков на качество исследования**

Несмотря на общую положительную оценку выполненной работы, имеются отдельные замечания:

1. В диссертационной работе не рассмотрен вопрос быстродействия предлагаемого способа обеспечения статической устойчивости режима рекуперативного торможения, непонятен его принцип работы при нестационарных режимах. В математическом моделировании заданы нормальные условия работы электровоза при номинальном напряжении в контактной сети и отсутствии другого электровоза на рассматриваемом участке, работающего в режиме тяги/рекуперативного торможения.

2. При исключении блока балластных резисторов из якорной цепи тяговых двигателей предлагаемый автором алгоритм управления предусматривает обеспечение статической устойчивости режима рекуперативного торможения, однако не понятно, каким образом будет обеспечиваться выравнивание токов между параллельно включенными генераторами?

3. В диссертации на рис. 4.10 и 4.11 представлена принципиальная электрическая схема транзисторных плеч опытного выпрямительно-инверторного преобразователя, транзисторы которого имеют защитные снабберные RC-цепи, однако ранее в тексте диссертации не представлен расчет или критерии их выбора.

4. Результаты математического моделирования представлены для разработанного алгоритма управления транзисторными ВИП с учетом исключения блока балластных резисторов, в тексте диссертации не хватает сравнения данных результатов с работой штатного тиристорного выпрямительно-инверторного преобразователя и его алгоритма управления.

5. По тексту диссертации наблюдаются ошибки орфографического и пунктуационного характера.

Приведенные замечания не снижают общей положительной оценки представленной к защите диссертации.

## **8 Соответствие автореферата основному содержанию диссертации**

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации и достаточно полно отражает ее основные положения.

## **9 Соответствие диссертационной работы и автореферата требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011**

Диссертация и автореферат написаны технически грамотным языком, текст диссертации соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

## **10 Заключение по диссертации о соответствии ее требованиям Положения о присуждении ученых степеней**

Представленная диссертация Томилова Вячеслава Станиславовича выполнена самостоятельно, обладает внутренним единством и методологической ценностью. В диссертации предложен новый научно обоснованный способ реализации рекуперативного торможения без блока балластных резисторов на электровозе переменного тока с выпрямительно-инверторными преобразователями на базе IGBT-транзисторов, что говорит о личном вкладе автора диссертации в науку. Это позволяет сделать вывод о соответствии диссертации требованиям п. 10 Положения о присуждении ученых степеней.

Количество публикаций Томилова В.С., в которых изложены основные положения диссертации полностью соответствует установленным требованиям. Автор опубликовал 17 печатных работ, в том числе 3 в изданиях их перечня, определенного ВАК России, и одну в международной базе Scopus. Это позволяет сделать вывод о соответствии диссертации требованиям п. 11 Положения о присуждении ученых степеней.

В диссертации автор ссылается на источники заимствования материалов и результатов, что соответствует п. 14 Положения о присуждении ученых степеней.

## 11 Заключение

Диссертационная работа Томилова Вячеслава Станиславовича «Повышение эффективности режима рекуперативного торможения электровоза переменного тока», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.3 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация».

Официальный оппонент,

Скорик Виталий Геннадьевич, кандидат технических наук по специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация, доцент, заведующий кафедрой «Электротехника, электроника и электромеханика», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», ФГБОУ ВО ДВГУПС 680021, Россия, г. Хабаровск, ул. Серышева, д. 47, ауд. 241, тел: +7-4212-407-382, e-mail: [skorik@festu.khv.ru](mailto:skorik@festu.khv.ru)

*Виталий Геннадьевич Скорик*  
Ученый секретарь Ученого совета



*[Signature]*  
В.Г. Скорик

*Скорик В.Г.*

*15.08.22*