



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)**

Суханова ул., д.8, г. Владивосток, 690950

Телефон (423) 2433472, Факс (423) 2432315, Эл.почта: [rectorat@dvfu.ru](mailto:rectorat@dvfu.ru), Сайт: <http://www.dvfu.ru>  
ОКПО 02067942, ОГРН 1022501297785, ИНН/КПП 2536014538/253601001

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Инженерной школы ДВФУ,  
д.т.н., профессор

Беккер А.Т.

*«27» 11 2015 г.*

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук Буркова Алексея Фёдоровича, профессора кафедры судовой энергетики и автоматики Инженерной школы ДВФУ на диссертационную работу Мельниченко Олега Валерьевича «ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы (технические науки)

**Актуальность темы диссертации.** Электроэнергетические системы относятся к основным составным частям, входящим в структуру отечественного железнодорожного транспорта. Участниками процессов выработки, преобразования и потребления электрической энергии отрасли являются инфраструктурные объекты, технико-технологические системы, устройства и пр.

На железных дорогах России широко эксплуатируются электровозы переменного тока ВЛ80Р, ВЛ80ТК и ВЛ85. С первого десятилетия XXI в. парк начал пополняться электровозами 2ЭС5К, 3ЭС5К и 4ЭС5К. В состав

электрооборудования этих электровозов входят тяговые электроприводы (ЭП) с электродвигателями (ЭД) постоянного тока, якоря которых получают напряжение питания от сети переменного тока через тяговые трансформаторы посредством силовых модулей двух или более выпрямительно-инверторных преобразователей (ВИП) на тиристорной элементной базе. В настоящее время и в ближайшей перспективе значимой принципиальной альтернативы данным электровозам обнаружить не удалось.

К характерным особенностям тяговых ЭП таких электровозов относятся относительно высокие коммутационные потери в силовых модулях статических преобразователей, а использование тиристоров как нелинейных элементов приводит к искажению синусоидальной формы кривой напряжения по причине возникновения высших гармонических составляющих. Наличие этих обстоятельств в результате приводит к снижению энергетических показателей электровозов при их эксплуатации.

Массовое использование на российских железных дорогах электровозов с тяговыми ЭП, включающими ЭД постоянного тока и статические преобразователи электроэнергии в условиях повышения массы и длины поездов приводит к повышенному потреблению электроэнергии на тягу поездов, оплата за которую составляет одну из основных статей расходов, в частности для Дирекции тяги – филиала ОАО «Российские железные дороги» (РЖД).

Приоритетное значение энергетической эффективности отражено в Федеральном законе об энергосбережении и повышении энергоэффективности, а также в государственной программе по энергосбережению и повышению энергоэффективности на период до 2020 года, согласно которым, энергосбережение и повышение энергетической эффективности рассматриваются как одни из основных источников будущего экономического роста.

К основным задачам отрасли, поставленным стратегическими направлениями, относится в частности обеспечение более эффективной эксплуатации электроподвижных составов.

Таким образом, актуальность темы диссертации, направленной на повышение энергетических показателей электровозов не вызывает сомнений.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций** обусловлена корректным применением современных методов исследований соответствующих объекту и предмету исследования (теории линейных и нелинейных электрических цепей с сосредоточенными и распределен-

ными параметрами, математического и физического моделирования, численных методов решения интегральных и дифференциальных уравнений, теории преобразовательных устройств и др.). Основывается на согласованности научных выводов и результатов экспериментов. По мнению оппонента, научные положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертации, достаточно обоснованы. Теоретические основы представленных результатов в этой области транспортной науки заложены в трудах известных отечественных и зарубежных учёных.

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**, сформулированных в диссертации, подтверждается применением совершенных апробированных методов аналитических и экспериментальных исследований и обработки их результатов, приемлемой сходимостью результатов теоретических исследований и экспериментов, согласованностью некоторых результатов исследований с результатами, представленными в других источниках.

**Новизна научных положений, выводов и рекомендаций**, представленных в диссертации, определяется новизной предмета исследований.

1. Предложена концепция, позволяющая реализовать математическое моделирование на обобщенной модели системы «тяговая подстанция – контактная сеть – электровоз» с целью проведения исследований процессов работы электровоза с учетом применения диодного плеча, разнофазного управления и новых алгоритмов управления ВИП в режимах тяги и рекуперативного торможения.

2. Разработаны принцип, структура и схемное решение ВИП на основе IGBT-транзисторов с частотой коммутации, соответствующей частоте питающей сети, а также его новый алгоритм управления.

3. Разработан способ управления ВИП, позволяющий повысить коэффициент мощности электровоза в режимах тяги и рекуперативного торможения с учетом включения параллельно цепи выпрямленного тока диодного плеча и применения разнофазного алгоритма управления ВИП.

4. Впервые предложен способ повышения работоспособности ВИП электровоза при отсутствии импульсов управления за счет резервирования аварийных плеч ВИП диодным плечом и работы ВИП по алгоритму управления с одновременной коммутацией тиристорных плеч.

5. Разработаны новые энергосберегающие алгоритмы разнофазного управления ВИП электровоза в режимах тяги и рекуперативного торможения, которые при их реализации не снижают выпрямленного напряжения на тяговых двигателях, обеспечивают повышение коэффициента мощности электровоза и снижение коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения контактной сети.

### **Практическая значимость результатов исследований**

1. Разработаны силовая схема включения диодного разрядного плеча и конструкция его исполнения в ВИП, позволяющие повысить энергетические показатели электровоза и его работоспособность.

2. Разработано схемное и конструктивное решение блока разнофазного управления ВИП электровоза, позволяющее реализовывать энергосберегающие алгоритмы управления ВИП.

3. Разработано схемное и конструктивное решение кассеты блока распределительного устройства (БРУ) для реализации новых алгоритмов управления ВИП.

4. Предложено техническое решение по управлению IGBT-транзисторами в схеме ВИП, что позволило симметрировать максимальные мгновенные значения тока сети с максимальными мгновенными значениями напряжения сети, частично компенсировать индуктивный характер нагрузки электровоза, а угол сдвига фаз  $\phi$  между током и напряжением сети приблизить к нулю.

5. Разработано схемное конструктивное решение стенда экспериментальной установки, включающей в себя тиристорный и транзисторный ВИП, блок их управления, трансформатор, сглаживающий реактор и тяговый электродвигатель.

6. Проведена модернизация семи электровозов ВЛ80Р под схему включения диодного разрядного плеча и применения разнофазного управления ВИП, которые находятся в эксплуатации.

7. Проведены опытные испытания электровоза ВЛ80Р на участке железной дороги филиала ОАО «РЖД» с разработанными техническими решениями.

### **Основные замечания**

1. Содержание диссертации изобилует второстепенным материалом, в частности излишними ссылками на литературу (стр.20, 21, 23, 26 и др.),

описанием известных теоретических положений и технических решений (описание физических процессов в ВИП тяговых ЭП эксплуатируемых электровозов при работе ЭД в двигательных режимах занимает около 17 страниц (стр. 47-63) – п. 2.1.1, а в режимах рекуперативного торможения (п. 2.2.1) – более 12 страниц (стр. 74-86)), малоинформационными иллюстрациями (рис. 4.15, рис. 8.9, рис. 8.13 и др.).

Построение отдельных фраз, преимущественно во введении и в первой главе неоправданно тяжелое. В тексте присутствуют отдельные несогласованные предложения.

2. Предлагаемый во второй главе (п. 2.1.2) алгоритм работы плеч ВИП в режиме тяги (таблица 2.2) известен по ранее опубликованным работам. Из содержания текста работы неочевиден вклад автора в разработку указанного алгоритма.

3. К недостаткам четвертой главы следует отнести не совсем корректное использование автором термина «математическая модель» при описании схемотехнических решений, представленных в программной среде Simulink. Подобный тип моделей более подходит под определение «имитационные модели». Неудачно, по мнению оппонента, наименование рис. 4.4.

4. В выносимом на защиту в качестве основного результата алгоритме разнофазного управления ВИП предлагается использовать время задержки импульсов управления, равное полупериоду 7-ой гармоники (частотой 350 Гц) сетевого напряжения при величине угла регулирования в диапазоне (50...130) ° эл. Однако в тексте работы не отмечено обоснование конкретного принятого времени и указанного диапазона угла регулирования. Согласно известным исследованиям, наибольшая эффективность разнофазного управления достигается при времени задержки, равном полупериоду гармоники с наибольшей амплитудой.

5. Предлагаемый автором принцип работы ВИП на основе IGBT-транзисторов, по мнению оппонента, не имеет значимых отличий от принципа работы ВИП при секторном регулировании, разработанном ещё во второй половине XX века.

6. При работе предложенной силовой схемы ВИП на IGBT-транзисторах форма входного тока электровоза имеет резко выраженный срез во второй половине полупериода сетевого напряжения. Продолжительность этого среза определяется собственным временем закрытия IGBT-

транзисторов (1...2) мкс. В результате, в каждом полупериоде сетевого напряжения будет иметь место значительная скорость изменения тока, которая вызовет большой импульс напряжения на индуктивных элементах цепи протекания этого тока и явится причиной более значительных, относительно описанных в работе, искажений сетевого напряжения. Насколько целесообразно применение таких преобразователей на электровозах?

7. Из представленных на оппонирование материалов не удалось уточнить, какие критерии подобия были использованы при создании лабораторных стендов и физическом моделировании.

8. Вызывает сомнения целесообразность экономических расчетов (п. 8.6) объемом около 16 страниц (стр. 330...345) в основном тексте диссертации.

Представленные замечания в своем большинстве носят рекомендательный характер и не оказывают существенного влияния на результирующую положительную оценку работы. Они могут быть учтены в дальнейшей научно-исследовательской работе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 72 научных работах. В их числе 21 публикация в перечне рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК, 1 монография, 9 патентов на изобретения, 1 патент на полезную модель и 1 решение о выдаче патента на изобретение. Количество публикаций свидетельствует о высокой степени представления результатов работы научной общественности и значительно превышает необходимое количество в рецензируемых изданиях, определенное Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

Опубликованные материалы отражают основные научные положения, а автореферат - материалы диссертации. Необходимо отметить, судя по содержанию представленных материалов, высокий уровень грамотности и эрудиции автора.

2. Диссертация Мельниченко Олега Валерьевича «Повышение энергетической эффективности тяговых электроприводов электровозов переменного тока» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие отечественного железнодорожного транспорта.

3. Диссертационная работа соответствует специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы (технические науки).

4. Диссертация Мельниченко О.В. отвечает критериям, изложенными в Положении о присуждении ученых степеней, утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

5. Автор диссертационной работы «Повышение энергетической эффективности тяговых электроприводов электровозов переменного тока» Мельниченко Олег Валерьевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы (технические науки).

Официальный оппонент

доктор технических наук,

профессор кафедры судовой  
энергетики и автоматики

Инженерной школы

ФГАОУ ВПО «Дальневосточный  
федеральный университет» (ДВФУ)

Бурков

Алексей Федорович

Подпись Буркова А.Ф. заверяю: