

## **ОТЗЫВ**

### **официального оппонента на диссертацию**

Малютин Артёма Юрьевича

на тему «Применение маловентильных преобразователей в системе питания вспомогательных цепей электровозов переменного тока»  
по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы  
на соискание учёной степени кандидата технических наук

#### **Актуальность избранной темы**

На первых этапах развития электровозов переменного тока для привода вспомогательных машин применялись асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Их питание осуществлялось от трёхфазной сети, получаемой при помощи источника однофазного переменного напряжения (обмотки собственных нужд тягового трансформатора) и вращающихся или конденсаторных расщепителей фаз.

С развитием устройств силовой электроники широкое распространение получили полупроводниковые преобразователи параметров электрической энергии, в том числе и числа фаз, что обусловило применение на современном электроподвижном составе статических полупроводниковых преобразователей собственных нужд (ПСН) для питания вспомогательных машин.

Однако на сегодняшний день в парке эксплуатируемых на сети Российских железных дорог электровозов остаётся значительное число электровозов переменного тока, оснащённых устаревшей системой питания вспомогательных машин, значительно уступающих по эксплуатационным показателям электровозам со статическими преобразователями собственных нужд, в первую очередь по надёжности. Поэтому работа Малютин А. Ю., посвящённая вопросу модернизации системы питания вспомогательных машин массово эксплуатируемых в России электровозов переменного тока, является актуальной и представляет значительный интерес не только при модернизации уже эксплуатируемых электровозов, но и при создании нового перспективного электроподвижного состава.

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

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в работе, имеют явно выраженный научно-практический характер и были получены в результате использования методов теории линейных и нелинейных электрических цепей, численных методов решения дифференциальных уравнений и математического моделирования с применением среды инженерных расчётов Simulink приложения MATLAB. Оценка полученных в работе результатов произведена при помощи метода гармонического анализа и метода симметричных составляющих.

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

Достоверность полученных в работе результатов подтверждается удовлетворительным совпадением результатов математического моделирования работы вспомогательных асинхронных двигателей и системы вспомогательных машин в целом с результатами экспериментальных исследований, проведёнными в научно-исследовательских институтах, и с результатами исследований, опубликованными в работах других авторов.

Научная новизна работы заключается в том, что в ней:

- предложена математическая модель асинхронной машины, учитывающая эффект вытеснения тока в глубокопазовой обмотке ротора;
- предложена математическая модель системы вспомогательных машин электровоза переменного тока, учитывающая влияние тяговой нагрузки и параметров контактной сети;
- предложена методика оценки влияния параметров конденсаторных схем расщепления однофазного переменного тока в трёхфазный на показатели работы асинхронных машин;
- предложено устройство для симметрирования напряжения в трёхфазных цепях и разработан его алгоритм управления.

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

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в том, что её результаты:

- могут быть использованы для разработки и создания полупроводниковых маловентильных симметрирующих преобразователей для электровозов переменного тока;
- используются в учебном процессе МГУПС (МИИТ) в курсах электрических машин и электронной и преобразовательной техники.

### **Оценка содержания диссертации, её завершенность**

Рецензируемая диссертационная работа состоит из введения, основной части, представленной в четырёх главах, заключения и списка использованных источников, включающего в себя 72 наименования.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, произведена оценка её разработанности, рассмотрены методы исследования, использованные в работе, а также показаны новизна и практическая полезность работы.

*В первой главе* рассмотрены задачи и назначение вспомогательных машин электроподвижного состава. Представлен обзор существующих схем питания систем вспомогательных машин электровозов и электропоездов; выполнен анализ схем питания систем вспомогательных машин электроподвижного состава, рассмотрены основные типы двигателей, применяемые для привода вспомогательных машин и их эксплуатационные показатели. На основании анализа эксплуатационных показателей вспомогательного оборудования электровозов переменного тока поставлены цели и задачи работы.

По первой главе можно сделать следующие замечания:

- при описании систем питания вспомогательного оборудования автор приводит упрощённые схемы, без указания особенностей их реализации на подвижном составе;
- на странице 30 рассмотрены показатели надёжности различных вспомогательных двигателей, без указания, к какому типу (коллекторный или



асинхронный) этот двигатель относится и на каком подвижном составе он применяется.

*Вторая глава* работы посвящена описанию математических моделей. В начале главы автор приводит укрупнённую схему модели системы вспомогательных машин электровоза переменного тока 2ЭС5К, поясняющую её структуру. Далее представлены подразделы, содержащие более глубокие пояснения по составным элементам модели – блок моделирования асинхронной машины, блоки моделирования механических нагрузок, блоки моделирования трансформатора и контактной сети, блок моделирования тягового привода электровоза. Предлагаемые в работе модели оценены на адекватность путём сравнения результатов расчёта с паспортными данными моделируемых электротехнических устройств и результатами стендовых испытаний.

По второй главе можно сделать следующие замечания:

- в главе, посвящённой описанию и построению математических моделей автор не представил листинги и сходный код для их реализации в среде Simulink приложения MATLAB;
- в разделе 2.2 на странице 40 автор говорит, о том, что математическая модель системы вспомогательных машин построена на основании схемы питания вспомогательных машин электровоза 2ЭС5К и полученные на ней результаты применимы для электровозов-аналогов – ВЛ85. При этом следовало бы оговорить отличия таких электровозов, в частности их систем вспомогательных машин.

*Третья глава* посвящена исследованию электромагнитных процессов в системе вспомогательных машин электровоза 2ЭС5К. В рамках данной главы автор рассмотрел основные причины нарушения симметричности питания вспомогательных асинхронных двигателей: отклонения ёмкости фазосдвигающих конденсаторов, отклонение питающего однофазного напряжения, отклонение механической нагрузки и оценил их влияние на работу системы вспомогательных машин в целом.

В главе выполнено исследование влияния тяговой нагрузки электровоза на показатели работы системы вспомогательных машин. При этом автор

рассмотрел и объяснил появление высших гармонических составляющих в фазных токах и напряжениях вспомогательных асинхронных двигателей.

Для оценки качества питания вспомогательных асинхронных двигателей автор использовал следующие показатели: коэффициенты гармонических составляющих напряжения и тока и коэффициенты несимметрии напряжения и тока по обратной последовательности. Полученные в главе выводы указывают на недостатки в существующей системе питания вспомогательных цепей электровозов переменного тока и могут быть использованы при её модернизации и доработке.

По третьей главе можно сделать следующие замечания:

– в разделе 3.5 автор рассмотрел влияние тяговой нагрузки и контактной сети на работу вспомогательных машин для 4 случаев, однако формы напряжений на обмотке собственных нужд на рисунке 3.33 показаны только для 3 случаев;

– в главе, в частности на странице 85, автор использует термин коэффициент асимметрии, хотя ГОСТом установлен термин – коэффициент несимметрии.

*В четвёртой главе* автор рассматривает вопрос модернизации системы питания вспомогательных машин электровоза 2ЭС5К при помощи маловентильного преобразователя, задачей которого является симметрирование трёхфазного напряжения во вспомогательных цепях. Глава разделена на подразделы, посвящённые описанию схемотехнической реализации преобразователя, описанию системы управления преобразователем, анализу работы системы вспомогательных машин электровоза с таким преобразователем.

В выводах по главе установлено, что предлагаемое техническое решение позволяет существенно снизить несимметричность питания вспомогательных машин во всех эксплуатационных режимах электроподвижного состава переменного тока.

По четвертой главе можно сделать следующие замечания:

– в главе не рассмотрена работа системы вспомогательных машин с маловентильным преобразователем, построенным на основе многоуровневых инверторов напряжения;

– при рассмотрении системы управления автор не указал частоту несущего сигнала в блоке формирования импульсов для управления транзисторами входного и выходного преобразователей.

Диссертация является завершённым научным исследованием, результаты и рекомендации которого могут быть использованы для проведения модернизации наиболее массовых грузовых электровозов переменного тока, а также при создании нового электроподвижного состава.

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

Диссертация написана грамотным языком и аккуратно оформлена, однако некоторые громоздкие рисунки могли бы быть представлены в приложении для большего удобства при чтении работы. Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы и не влияют на теоретические и практические результаты диссертационного исследования.

**Соответствие автореферата основному содержанию диссертации:**

Автореферат в полной мере соответствует основному содержанию диссертации.

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

Диссертация и автореферат соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления» М.: Стандартинформ. – 2012.



**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным в Положении о присуждении учёных степеней:**

Диссертация Малютина Артёма Юрьевича на соискание учёной степени кандидата технических наук является самостоятельной оконченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи снижения числа отказов электровозов переменного тока по причине выхода из строя вспомогательных асинхронных двигателей, имеющей существенное значение для грузовых и пассажирских перевозок на полигонах эксплуатации электровозов переменного тока, что соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент,

Розанов Юрий Константинович,

доктор технических наук,

05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»,

111250 г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14,

тел. +7 (495) 362-78-38

эл. почта: [y.rozanov@mail.ru](mailto:y.rozanov@mail.ru)

Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего

образования «Национальный

исследовательский университет «МЭИ»

профессор кафедры «Электромеханика,

Электрические и электронные аппараты»

Розанов Ю.К.

Подпись Розанова Ю.К. удостоверяю



Н.Г. Савин

## ОТЗЫВ

### официального оппонента на диссертацию

Малютина Артёма Юрьевича

на тему «Применение маловентильных преобразователей в системе питания вспомогательных цепей электровозов переменного тока»  
по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы  
на соискание учёной степени кандидата технических наук

#### **Актуальность избранной темы.**

Железные дороги по состоянию на 2015 год обеспечили 45,3% грузооборота, уступая только трубопроводному транспорту. При этом значительная часть грузоотправлений приходится на регионы Сибири и Дальнего Востока, являющиеся основными полигонами эксплуатации электровозов переменного тока. В настоящее время ОАО «РЖД» обновляет парк таких электровозов – на 2016 год запланирована закупка 20 единиц электровозов 2ЭС5К, 78 единиц электровозов 3ЭС5К. Общее число электровозов переменного тока на сети железных дорог России около пяти тысяч единиц.

Практика показывает, что до 20% отказов на электровозах переменного тока происходит по причине повреждения вспомогательных машин, для привода которых применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Причиной значительного потока отказов вспомогательных асинхронных двигателей является, как правило, несовершенство системы их питания, которая основана на преобразовании числа фаз переменного тока при помощи конденсаторных расщепителей и вращающихся расщепителей фаз (пусковых двигателей).

Недостатками существующей системы питания вспомогательных асинхронных двигателей являются: существенная зависимость работоспособности системы от режима работы контактной сети, тока нагрузки вспомогательных двигателей, технологического разброса составных элементов системы. Устранение этих недостатков является актуальной задачей в вопросе повышения надёжности работы электровозов переменного тока.



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

В ходе решения поставленных в работе задач получены положения, выводы и рекомендации, имеющие научно-практический характер. Для достижения поставленных задач использованы методы математического моделирования и численного решения дифференциальных уравнений, реализованные в пакете Simulink приложения для инженерных расчётов Matlab, с применением основных положений теории электрических цепей. Для оценки показателей качества электрической энергии применены метод симметричных составляющих и метод гармонического анализа.

## **Достоверность и новизна полученных результатов**

Достоверность результатов, полученных в работе, обоснована теоретически и подтверждается их удовлетворительным совпадением с данными экспериментальных исследований, полученных в ВЭЛНИИ, и результатами работ других авторов по тематике вспомогательных машин электроподвижного состава.

Научная новизна работы заключается в том, что в ней:

- 1) с применением современных средств и программ вычислительной техники:
  - разработана математическая модель асинхронного двигателя, учитывающая эффект вытеснения тока в обмотках ротора с глубокими пазами;
  - разработана математическая модель для исследования электромагнитных процессов в системе вспомогательных машин электровозов переменного тока 2ЭС5К, учитывающая влияние тяговой нагрузки и параметров контактной сети на режимы работы электрооборудования.
- 2) на предложенных математических моделях получены количественные характеристики для оценки влияния параметров конденсаторных фазорасщепителей на показатели работы вспомогательных асинхронных двигателей;

3) предложено схемотехническое решение для симметрирования напряжения в цепях питания вспомогательных асинхронных машин.

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

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в том, что её результаты и рекомендации могут быть полезными при разработке и создании полупроводниковых преобразователей для питания систем вспомогательных машин, а также могут быть использованы при проведении работ по модернизации систем питания вспомогательных машин наиболее массовых электровазов переменного тока (2ЭС5К, 3ЭС5К, ВЛ85, ЭП1М). Также результаты работы используются в учебном процессе в МИИТе в курсах электрических машин и электронной и преобразовательной техники электроподвижного состава.

### **Оценка содержания диссертации, её завершенность**

Диссертация Малютина А. Ю. является законченной научно-квалификационной работой, в которой изучены условия работы вспомогательных асинхронных двигателей электровазов переменного тока и предложен способ повышения надёжности систем вспомогательных машин таких электровазов путём модернизации их схем питания.

Во введении показаны цель работы, методы исследований, научная новизна работы, практическая ценность и апробация работы, а также освещена проработанность выбранной темы.

Первая глава посвящена анализу требований к вспомогательным машинам, их роли на электроподвижном составе и показателям их надёжности. В главе выполнен обзор существующих систем вспомогательных машин электроподвижного состава и схем их питания. Представлена статистическая информация по надёжности вспомогательных машин электровазов, на основании которой установлено, что системы вспомогательных машин электровазов переменного тока с асинхронными вспомогательными

двигателями типа НВА-55С (2ЭС5К, 3ЭС5К) в эксплуатации имеют значительное число отказов.

Вторая глава работы посвящена разработке математических моделей для исследования процессов в системе вспомогательных машин электровоза 2ЭС5К. Центральным элементом в модели системы является модель вспомогательного асинхронного двигателя НВА-55С, особенностью которого является обмотка ротора с глубокими пазами. Для учёта эффекта вытеснения тока в такой обмотке предложена математическая модель асинхронной машины, построенная на основе модели рассмотренной в работе к.т.н. Паршина А. Н. В главе также представлено описание математических моделей других элементов системы: модель контактной сети, модель тягового трансформатора, модель тягового электропривода.

Третья глава работы посвящена исследованию на построенных моделях электромагнитных процессов в цепях питания вспомогательных асинхронных двигателей. В главе рассматривается:

– влияние отклонения параметров конденсаторных схем расщепления однофазного переменного тока (величины фазосдвигающей ёмкости, величины питающего однофазного напряжения, величины момента сопротивления), проявляющееся в появлении пульсаций электромагнитного момента двигателя и значительной несимметрии по току и напряжению;

– мешающее влияние тяговой нагрузки, обуславливающее появление высших гармонических составляющих в спектрах фазных токов и напряжений вспомогательных асинхронных двигателей.

По результатам главы установлено, что существующая система питания вспомогательных асинхронных двигателей работоспособна, однако не способна обеспечить вспомогательные машины качественным симметричным питанием во всех эксплуатационных условиях, на которые рассчитан электроподвижной состав переменного тока.

Четвёртая глава работы посвящена описанию схемотехнического решения – маловентильного симметрирующего преобразователя, предлагаемого автором, для модернизации системы питания вспомогательных машин. В главе автор приводит описание вариантов схем преобразователя,



построенных на основе двух- и трёхуровневых инверторов напряжения, описание системы управления преобразователем. Также в главе представлены результаты моделирования работы системы вспомогательных машин с маловентильным преобразователем, которые показывают, что применение предлагаемого устройства позволяет обеспечивать вспомогательные асинхронные двигатели качественным симметричным питанием во всех условиях работы электроподвижного состава переменного тока.

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

Диссертация является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на достаточно высоком уровне. Вместе с тем, в диссертации следует отметить следующие недостатки:

1. Не проведен анализ возможных решений по включению асинхронного двигателя, не проанализированы достоинства и недостатки разных технических решения, в частности ШПВМ-250-У2.
2. Во второй главе, на рисунке 2.13, представлена расчётная схема тягового трансформатора, однако ни на рисунке, ни далее по тексту не представлено расшифровки сокращённых обозначений, используемых на схеме (СО, ТО, ОСН).
3. В третьей главе при анализе работы конденсаторной схемы питания асинхронных двигателей от синусоидальной однофазной сети рассматривается ёмкость фазосдвигающего конденсатора 600 мкФ, однако на электроподвижном составе применяются ёмкости 484 мкФ, 726 мкФ и 968 мкФ. Желательно было бы провести оценку и для этих значений.
4. В четвёртой главе при анализе работы системы вспомогательных машин с маловентильным преобразователем автор не привёл графики электромагнитного момента, как это сделано в главе 3.
5. В работе не указана энергетическая стоимость отсутствия регулирования скорости асинхронного двигателя и соответственно, насколько дешевизна технического решения определяет возможность отсутствия регулирования скорости.

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общую достаточно высокую оценку теоретических и практических результатов диссертационного исследования.

**Соответствие автореферата основному содержанию диссертации:**

Автореферат в полной мере соответствует основному содержанию диссертации.

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

Диссертация и автореферат соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления» М.: Стандартинформ. – 2012.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным в Положении о присуждении учёных степеней:**

Диссертация Малютина Артёма Юрьевича на соискание учёной степени кандидата технических наук соответствует критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней:

– по пункту 10 – работа 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. Диссертация имеет прикладной характер, полученные автором научные результаты могут быть применены для модернизации электровозов переменного тока с целью повышения надёжности их вспомогательных машин. Предложенные автором решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями;

– диссертация соответствует пунктам 11 и 14 – результаты работы опубликованы в 11 изданиях, 5 из которых входят в перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ. Все заимствованные материалы имеют ссылки на

источники. В диссертации автор использует результаты научных работ, выполненных им лично и в соавторстве и отмечает это обстоятельство.

Диссертация Малютина Артёма Юрьевича на соискание учёной степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технические и технологические решения, имеющие важное значение в условиях современного состояния экономики, когда любое транспортное средство, в том числе и электроподвижной состав, должно обладать высокой надёжностью и экономичностью, что соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент,  
 Никифорова Нина Борисовна,  
 кандидат технических наук,  
 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог,  
 тяга поездов и электрификация»,  
 129626, г. Москва, ул.3-я Мытищинская, д. 10,  
 телефон: 8 (499) 260-42-38,  
 эл. почта: [press@vniizht.ru](mailto:press@vniizht.ru)

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), отдел «Тяговый подвижной состав», ведущий научный сотрудник

*Н. Б. Никифорова*  
 Н. Б. Никифорова

*Подпись Никифоровой Н.Б. заверено*

Начальник отдела управления персоналом АО «ВНИИЖТ»  
 Даничева Н.А.

