

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»

197376, Россия, Санкт-Петербург, улица Профессора Попова, дом 5  
тел.: +7 (812) 346-44-87; факс: +7 (812) 346-27-58; e-mail: [root@post.etu.spb.ru](mailto:root@post.etu.spb.ru)

---

### ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук,  
профессора Путова Виктора Владимировича  
на диссертационную работу Журавлева Артема Михайловича  
**«Повышение надежности полупроводниковых преобразователей и  
электроприводов объектов кислородно-конвертерного производства»**,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальностям 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы» и 05.09.12  
– «Силовая электроника»

#### Актуальность темы диссертации

Рост объемов промышленного производства приводит к увеличению числа промышленных электроприводов и полупроводниковых преобразователей. Особое место в современном производстве занимают механизмы металлургического производства.

Диссертационная работа Журавлева Артема Михайловича посвящена разработке методики повышения надежностных показателей силовых полупроводниковых преобразователей и электроприводов промышленных установок.

На сегодняшний день основными путями увеличения надежности электроприводов ответственных производственных объектов являются завышение установленной мощности или введение 100% резервирования. Оба пути приводят к существенному увеличению затрат на установленное оборудование. В установках малых мощностей такой подход вполне оправдан, т.к. доля капитальных затрат на модернизацию этих объектов не велика. Иная ситуация складывается в установках большой установленной мощности, в которых снижение капитальных затрат требует поиска иных подходов к разработке схем силовых цепей полупроводниковых преобразователей.



Решение данной задачи требует комплексного подхода к разработке электропривода с учетом анализа требований технологического процесса надежности, предъявляемых к электрооборудованию.

С учетом сказанного, научно-техническая задача создания методики синтеза схем силовых цепей электроприводов по критерию максимума вероятности безотказной работы является актуальной.

### **Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Достоверность научных результатов определяется корректностью постановок задач (разработки математической модели, методики синтеза силовой части), обоснованностью принятых допущений, совпадением результатов математического моделирования с экспериментальными данными измерений пуско-тормозных участков работы электропривода эксгаустера, полученными на объекте ККЦ ПАО ЧМК при непосредственном участии соискателя в проведении экспериментов. Основные научные выводы и положения подтверждаются теоретическим анализом, результатами вычислительных экспериментов, выполненных в программных средах для математических и инженерных расчетов *MATLAB*, *ANSYS Maxwell* и *ANSYS Simplorer*. Все научные положения аргументированы, полученные результаты исследований логически не противоречивы и не идут вразрез с известными научными положениями.

Первым результатом проведенных исследований является методика оптимизации схем силовых цепей полупроводниковых преобразователей, содержащая этапы выбора конфигурации схем силовых цепей по критерию минимума полупроводниковых ключей, выбора оптимальных количества фаз и резервных узлов, и отличающаяся принятым критерием – вероятностью безотказной работы, была обоснована корректным применением апробированных в научной практике математических методов (коэффициентный метод определения надежности, метод введения «избыточности системы» Рипса Я.А.).

Вторым результатом является разработанная математическая модель синхронных электроприводов, в которой параметры электрической машины представлены распределенными, полупроводниковый преобразователь – безынерционным звеном, и отличающаяся тем, что узел формирования фазных токов реализовывал пуско-тормозные режимы, обоснована корректностью применения апробированного в научной практике исследовательского и аналитического аппарата (метода конечных элементов, статистических методов). Следует отметить, что апробация модели проводилась на основе данных реальных осциллограмм токов, которые регистрировались на электроприводе эксгаустера кислородного конвертера.



Третий результат представляет собой методику синтеза схем силовых цепей электроприводов, работающих в пуско-тормозных режимах, отличающуюся учетом совместной работы полупроводникового преобразователя и двигателя, позволяющую улучшить надежность показатели системы при минимуме затрат на установленное оборудование.

**Новизна научных положений и значение выводов и рекомендаций для науки и практики:**

– новизна предложенной автором методики оптимизации схем силовых цепей полупроводниковых преобразователей, содержащая этапы выбора конфигурации схем силовых цепей по критерию минимума полупроводниковых ключей, выбора оптимальных количества фаз и резервных узлов, заключается в принятом критерии оптимизации – вероятности безотказной работы;

– новизна предложенной математической модели заключается в применении узла формирования фазных токов, который реализовывал пуско-тормозные режимы, что позволило уточнить осциллограмму тока при реализации интенсивных процессов пуска технологических объектов. Предложенная математическая модель позволяет решать задачи синтеза структур управления электроприводами с синхронными реактивными машинами с независимым возбуждением;

– разработанная методика синтеза схем силовых цепей электроприводов, работающих в пуско-тормозных режимах, учитывающая совместную работу полупроводникового преобразователя и двигателя, позволяет улучшить надежность показатели системы при минимуме затрат на установленное оборудование. Данная методика может быть рекомендована к использованию в инженерной практике при проектировании электроприводов, к которым предъявляются высокие требования по надежности.

#### **Заключение о соответствии диссертации установленным критериям**

Диссертационная работа имеет внутреннее структурное единство, изложена на 163 страницах машинописного текста, содержит 100 рисунков, 12 таблиц, 139 наименований цитируемой литературы.

Цель работы – повышение надежности показателей силовых полупроводниковых преобразователей и электроприводов промышленных установок – реализована в диссертации.

Автореферат диссертации Журавлева А.М. соответствует диссертационной работе по цели, задачам исследования, основным положениям, определениям актуальности, научной значимости, новизне, практической ценности.



Основные выводы и результаты диссертационной работы соответствуют поставленным задачам исследований и сформулированы автором структурно-содержательно.

Научные публикации Журавлева А.М. соответствуют диссертационной работе и с достаточной полнотой отражают ее существо, основные результаты и выводы.

Тема, содержание и научные положения диссертации Журавлева А.М. соответствуют формуле и пп. 1, 3 области исследования, приведённой в паспорте специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы» и – п. 3и специальности 05.09.12 – «Силовая электроника», т.к. в работе производятся исследования преобразования и использования электрической энергии, а также принципов управления действующего электротехнического комплекса, где объектом исследования являются силовые полупроводниковые преобразователи и электроприводы общепромышленных механизмов, а также в диссертационной работе производится изучение системных свойств и связей, математическое, компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем, производится разработка, структурный и параметрический синтез электротехнического комплекса и его оптимизация.

Диссертационная работа Журавлева А.М. написана доступным языком, корректным в научном и техническом отношении. Материалы и результаты исследований изложены в объеме, достаточном для понимания, четко, доступно и репрезентативно, что существенным образом помогает их восприятию. Это позволило автору раскрыть научно-техническую значимость диссертационной работы на необходимом для этого квалификационном уровне. Редакционное оформление диссертации замечаний не вызывает.

#### **Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации**

Содержание автореферата полностью отражает текстовый материал диссертационной работы, полученные в ней научные результаты, основные выводы и рекомендации.

#### **Соответствие содержания диссертации содержанию опубликованных работ**

Результаты исследования опубликованы в четырнадцати печатных работах, которые включают семь статей в журналах, рекомендуемых ВАК РФ, два патента РФ на изобретения, одну статью в журнале, входящем в систему цитирования *Scopus*, тезисы четырех докладов в сборниках материалов научных конференций. В представленных публикациях достаточно полно отражены основные положения, выводы и рекомендации диссертации.



## **Замечания и дискуссионные положения**

По содержанию диссертации имеются следующие вопросы и замечания:

1. Анализируя требования, предъявляемые к устройствам системы кислородного конвертера, автором был выявлен основной показатель эффективности работы – себестоимость выработки одной тонны стали. Однако, полученные в работе результаты в явной форме не соотнесены с этим показателем, и не показано реальное снижение стоимости произведенной стали при использовании предложенной автором системы электропривода эксгаустера.

2. Применение преобразование Кларка для определения пространственного положения вектора напряжения сети является распространенной практикой для существующих математических моделей систем электроприводов. Существуют уже готовые решения таких схем, например, в среде моделирования *MATLAB*. По этой причине автор мог бы и не уделять столь значительное внимание реализации данного решения.

3. Почему при разработке математической модели СРМНВ для уточнения работы модулей программы *Maxwell* на первом этапе была создана и исследована модель электрической машины с постоянными магнитами?

4. Автором предложена обобщенная математическая модель электропривода, в которой электромеханический преобразователь представлен в виде структуры с распределенными параметрами, что значительно (на порядок) усложняет процедуру математического моделирования. Соискатель обращает внимание на необходимость такого учета при решении задач анализа и синтеза электропривода, работающего на пониженных скоростях, а также при перегрузках. Однако в работе не прослеживается комплексная оценка эффекта, который дает такая детализация на конечный результат.

5. По какой причине зависимость силовых ключей в импульсно-векторной схеме управления от числа фаз и установленной мощности носит выраженный дискретный характер (рис. 4.18), в отличие от аналогичных зависимостей для мостовой и полумостовой схем?

## **Заключение**

Представленная диссертационная работа Журавлева А.М. является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, обладающей признаками актуальности, новизны и внутреннего единства. В ней решена научно-техническая задача – повышение надежных показателей силовых полупроводниковых преобразователей и электроприводов промышленных установок, имеющая важное значение для технологических объектов металлургического производства.



Автор диссертации показал, что в полной мере владеет научными методами исследования, может самостоятельно ставить и решать актуальные научно-технические задачи.

По совокупности перечисленных в отзыве качеств, считаю, что диссертационная работа Журавлева Артема Михайловича «Повышение надежности полупроводниковых преобразователей и электроприводов объектов кислородно-конвертерного производства» по объему исследований, их глубине, научной и практической значимости удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата наук согласно п.п. 9, 10, 11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 №842), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы» и 05.09.12 – «Силовая электроника».

Официальный оппонент,  
д-р техн. наук, проф., проф.  
кафедры «Системы  
автоматического управления»,  
Федерального государственного  
автономного образовательного  
учреждения высшего  
образования Санкт-  
Петербургского  
государственного  
электротехнического  
университета  
им. В.И. Ульянова (Ленина),  
г. Санкт-Петербург,

Путов Виктор Владимирович

01 декабря 2016 г.

197376, Россия, Санкт-  
Петербург, улица Профессора  
Попова, дом 5  
тел.: +7 (812) 346-44-87;  
+7 (812) 234-39-32;  
факс: +7 (812) 346-27-58;  
e-mail: [root@post.etu.spb.ru](mailto:root@post.etu.spb.ru)

Подпись проф. Путова В.В. заверяю  
Начальник ОДС СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

К.э.н.



Т.Л. Русьева