

**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор по научной работе  
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский  
Мордовский государственный университет  
им. Н. П. Огарева», д.т.н., профессор

\_\_\_\_\_  
«20» января 2020 года

П.В. Сенин

**Отзыв ведущей организации**  
на диссертационную работу Старостиной Ярославы Константиновны  
на тему «Разработка и исследование унифицированного трансформаторно-  
транзисторного модуля для построения ряда энергосберегающих асинхронных  
электроприводов»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

#### **Актуальность исследования**

Актуальность выполненной работы определяется требованиями научно-технического прогресса в области создания единых электроэнергетических систем асинхронных электроприводов с высоким уровнем надежности, эксплуатационных и энергетических характеристик и требований при приемлемом уровне стоимости.

Асинхронные двигатели широко используются во всех отраслях промышленности, а асинхронный электропривод переменного тока занимает до 90% в общем количестве промышленных электроприводов. Номинальное значение напряжения составляет 0.4 кВ а номинальная мощность до 100 кВт. Включение двигателей напрямую к питающей сети приводит к возникновению пусковых токов достигающих семикратного значения от номинальных, что в свою очередь отрицательно влияет на изоляцию статорных обмоток, при этом вызывая её преждевременный физический износ и старение изоляции, приводящее к уменьшению её сопротивления и увеличивая токи утечки. Эти токи отрицательно

воздействуют и на питающую сеть и механические передачи технологических агрегатов. В пускорегулирующих устройств наиболее эффективны устройства управления асинхронными электроприводами на основе полупроводниковой техники.

**Во введении** обоснована актуальность работы, раскрыта научная новизна и практическая значимость, сформулированы цели и задачи исследования.

**В первой главе** выполнен обзор силовых структур систем электроприводов. В ней приведен обзор существующих устройств стабилизации и регулирования напряжения статорных обмоток асинхронного двигателя, сформулированы основные требования предъявляемые к таким устройствам. Рассмотрены современные схмотехнические решения стабилизаторов переменного напряжения на базе вольтодобавочных трансформаторов. Приведено описание импульсно-дискретных трансформаторно-тиристорных устройств для регулирования напряжения асинхронных двигателей средней мощности. Исследованы основные принципы широтно-импульсного регулирования напряжения в соответствии с нормативными требованиями к уровню электромагнитной совместимости электропривода с питающей сетью и нагрузкой.

**Во второй главе** сформулированы принципы модульного построения для разработки унифицированного трансформаторно-транзисторного модуля на основе анализа современных регулирующих устройств модульного исполнения, выполненных на базе полупроводниковых моновентильных коммутирующих элементов, как средств унификации асинхронных электроприводов. Проанализирован гармонический состав выходного напряжения модульного моновентильного коммутирующего устройства. Приведены и описаны основные принципы широтно-импульсного регулирования и стабилизации трёхфазного напряжения на статоре асинхронного двигателя.

Обосновано применение вольтодобавочного трансформатора в составе коммутирующего устройства в режиме равноинтегральных переключений. Рассмотрено применение энергетически эффективных цепей защиты регулятора от коммутационных перенапряжений.

**Третья глава** посвящена построению ряда энергосберегающих асинхронных электроприводов на основе унифицированного трансформаторно-транзисторного модуля. Разработаны и исследованы следующие схемы асинхронных электроприводов: одноквадрантный и четырехквadrатный асинхронный электропривод на основе одновентильной и двухвентильной схемы трансформаторно-транзисторного модуля.

С целью повышения технико-экономических показателей пускового режима асинхронного двигателя представлены устройства с уменьшенным количеством полупроводниковых вентилей и улучшенной формой тока статорных обмоток.

В одновентильной схеме трансформаторно-транзисторного модуля выбраны коммутационные переключения состояний транзистора, обеспечивающие возможность одновременного регулирования добавочного напряжения отрицательного знака во всех трёх фазах обмоток статора асинхронного двигателя. Данный процесс осуществляется без образования пауз в форме кривой выходного напряжения, что в свою очередь обеспечивает создание практически идеальных форм токов как на сетевом входе, так и в обмотках статора асинхронного двигателя.

**В четвертой главе** отражены результаты экспериментальных исследований асинхронных электроприводов, построенных на базе унифицированного трансформаторно-транзисторного модуля.

Представлена математическая модель асинхронного электропривода, выполненная на базе одновентильной схемы трансформаторно-транзисторного модуля, построенная в программном пакете Matlab/Simulink. Данная модель иллюстрирует протекание пускового режима в разомкнутой системе асинхронного электропривода.

Модель асинхронной машины включает в себя модель электрической части, представленной моделью пространства состояний четвертого порядка и модель механической части в виде системы второго порядка. Все электрические переменные и параметры машины приведены к статору. Исходные уравнения электрической части машины записаны для двухфазной  $d$ - $q$  системы координат.

**В заключении** сформулированы основные выводы и результаты

диссертационной работы.

В приложениях представлены: акты о внедрении результатов работы и технический отчет исследования пусковых характеристик электромашиного преобразователя частоты с использованием пускорегулирующего устройства с описанием проборов, оборудования, инструментов, а так же условий измерений с анализом качества электрической энергии прибором Fluke 435.

### **Основные результаты диссертации, их научная и практическая значимость и достоверность**

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

1. Разработана схема унифицированного трансформаторно-транзисторного модуля, применяемого для построения ряда маловентильных энергосберегающих асинхронных электроприводов малой и средней мощности.

2. Модульный принцип выполнения и простота конструкции предлагаемых устройств, позволяют реализовывать малогабаритные и недорогие устройства управления. При этом обеспечиваются значительно меньшее энергопотребление и меньшая величина коэффициента несинусоидальности напряжения статора асинхронного электропривода большинства общепромышленных механизмов.

3. Разработан новый способ амплитудного управления статорного напряжения асинхронного двигателя в пусковых, установившихся и тормозных режимах работы с применением трансформаторно-транзисторного регулятора напряжения.

4. Разработан новый способ амплитудно-частотного регулирования асинхронным электроприводом на основе трёхвентильного регулятора с комбинированной фазо-широтно-импульсной модуляцией статорного напряжения.

5. Получены результаты теоретических исследований и компьютерного моделирования унифицированного трансформаторно-транзисторного модуля, а также построенных на его основе ряда маловентильных электроприводов, подтверждающие достижение высокого уровня энергетических показателей (минимальные значения мгновенной потребляемой мощности и коэффициента несинусоидальности статорного напряжения).

### **Практическая значимость работы** заключается в:

1. Выполнении работы в соответствии с «Энергетической стратегией Российской Федерации», главным направлением которой является повышение энергоэффективности промышленных объектов.

2. Возможности применения исследования в низковольтных сетях переменного тока при регулировании статорного напряжения асинхронного короткозамкнутого двигателя средней мощности в режимах пуска, торможения и позиционирования.

3. Разработке и исследовании принципиально новой схемы унифицированного трансформаторно-транзисторного модуля для построения ряда энергосберегающих асинхронных электроприводов средней мощности, конкурирующей с аналогами и ликвидирующей отрицательные качества существующих альтернативных технических решений в плане энергосбережения и сохранения качества потребляемой электроэнергии.

4. Разработке и исследовании способа амплитудного регулирования статорного напряжения асинхронного двигателя, за счёт коммутации единственного ключа, представляющего собой IGBT-транзистор, обеспечивающий одновременное регулирование трехфазного напряжения на выходе с вольтодобавочного трансформатора во всех трёх фазах.

5. Разработке энергетически эффективной цепи защиты трансформаторно-транзисторного модуля от коммутационных перенапряжений. Работа цепи защиты происходит с отсутствием возможных коммутационных потерь электроэнергии и отсутствием соответствующего ограничения в уменьшении коэффициента полезного действия.

6. Разработке схемы асинхронных электроприводов на базе унифицированного трансформаторно-транзисторного модуля с соответствующими параметрами и принципами управления.

7. В согласованности результатов теоретического и экспериментального исследования.

**Достоверность и степень обоснованности** научных положений и выводов результатов исследований подтверждается согласованностью результатов аналитического исследования, математического моделирования и экспериментальной проверки полученных результатов.

Для решения поставленных задач использовались: общепринятые положения электрических машин переменного тока, полупроводниковой преобразовательной техники, математическое моделирование.

По материалам диссертации опубликовано 14 научных работ, в том числе 3 статьи в изданиях, рецензируемых Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, 2 статьи в электронном издании IEEE, рецензируемой наукометрической базой Scopus, 2 охраняемых документа - патент на изобретение, 1 заявка на получение охраняемого документа - патент на изобретение.

### **Реализация результатов работы**

Теоретические и прикладные результаты диссертационной работы внедрены:

- в разработках ООО "УАЗ-Автокомпонент" при создании вытяжной системы газоочистки для внутриковшового модифицирования;
- в разработках АО "Авиастар-СП" в металлургическом производстве для построения системы управления краном-штабелером;
- в разработках ООО "Контакт-М" при выполнении проекта "Двухуровневой транспортной системы секции подъема крана-штабелера грузоподъемностью 100 кг на производстве окончательной сборки";
- результаты диссертационного исследования использованы при выполнении научно-исследовательской работы на тему «Разработка энергосберегающего малоэлементного устройства для асинхронных электроприводов средней мощности грузоподъемных механизмов» (2016-2018гг.) по договору о предоставлении гранта № 9533ГУ2015 от 01.02.2016г. по программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» (УМНИК) при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-

технической сфере.

### **Рекомендации по использованию результатов работы**

Применение результатов диссертационной работы безусловно может привести к повышению эффективности деятельности проектных организаций при решении задач создания единых энергетических систем, в том числе связанных с обеспечением электромагнитной совместимости электротехнических установок.

Автореферат диссертации полностью отражает содержание работы.

#### **Замечания по работе:**

1. При использовании в устройстве ключей на IGBT-транзисторах не представлены способы их защиты от перенапряжений. Не приведен расчет снабберных цепей их защиты. Не определены границы токовых нагрузок.
2. В автореферате приводятся структурно-функциональные схемы имитационного моделирования (рис. 5-6), которые практически не читаемы.
3. В диссертационной работе не приведены массогабаритные показатели вольтодобавочных трансформаторов.
4. Исходные уравнения электрической части машины записаны для двухфазной d-q системы координат, но не указаны допущения при их описании.
5. Не нашли отражения вопросы устойчивости исследованных вентильно-машинных систем.
6. В диссертационной работе не отражены вопросы схемотехнических решений для схем измерения показателей. Нет оценки экономической эффективности.
7. В автореферате (стр.7) указано, что по теме диссертационного исследования опубликовано 32 научные работы, а в списке работ указано только 14 наименований.
8. В тексте диссертации присутствуют грамматические и стилистические ошибки. Имеются замечания редакционного характера. В диссертации имеется ряд неточных формулировок, алогизмов, опечаток, описок.

## Заключение

Несмотря на указанные замечания, представленная соискателем Я.К. Старостиной работа отвечает требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Старостина Ярослава Константиновна заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Отзыв подготовлен доктором технических наук, профессором, профессором кафедры электроники и наноэлектроники, руководителем НОЦ «Энергоэффективные двигатели двойного питания для электроприводов и транспортных средств» Гуляевым Игорем Васильевичем, обсужден и утвержден на заседании кафедры электроники и наноэлектроники национального исследовательского Мордовского государственного университета имени Н. П. Огарева 20 января 2020 года (Протокол № 1).

Заведующий кафедрой  
электроники и наноэлектроники  
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»  
к.т.н., доцент

Беспалов Николай Николаевич

«20» января 2020 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева».

Ул. Большевистская, д. 68, г. Саранск, Республика Мордовия, Россия, 430005,

Тел.: +7 (8342)24-37-32, 24-48-88,

Адрес электронной почты: [dep-general@adm.mrsu.ru](mailto:dep-general@adm.mrsu.ru)

Официальный сайт: <https://mrsu.ru>