

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

**ВАЛИЕВ МАХМАДРАХИМ АБДУГАФФОРОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ  
С НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ СВЯЗЬЮ С УЛУЧШЕННЫМ  
ГАРМОНИЧЕСКИМ СОСТАВОМ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

Направление 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль «Электропривод и автоматика»

АВТОРЕФЕРАТ  
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Кортун  
Елена Борисовна

**Проверено**

28.06.2019 Зачтено Библиотека

Комсомольск – на – Амуре

2019

Работа выполнена на кафедре «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (КнАГУ).

Научный руководитель:

Доктор технических наук, профессор

Соловьёв Вячеслав Алексеевич

Рецензент:

Кандидат технических наук, менеджер по поддержке производства, филиал АО «Талес Авионикс» Круговой Роман Николаевич

Защита состоится «28» июня 2019 года в 10 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681913, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 114/3.

Автореферат разослан \_\_ июня 2019 г

Секретарь ГЭК

Д.О. Савельев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** В настоящее время преобразователи частоты становятся все более важным компонентом для оптимизации работы двигателя и системы, подключенной к двигателю. Преобразователи частоты используются в расширяющемся диапазоне приложений за счет следующих основных преимуществ.

- Оптимизация энергоэффективности: переход от фиксированной к переменной скорости в приложениях с переменной нагрузкой обеспечивает поэтапное изменение энергосбережения. Фактически, в наши дни современные моторные технологии всегда требуют усовершенствованного управления для оптимальной работы на любых скоростях.

- Автоматизация производства. Постоянно растущий спрос на производительность завода, приводящий к повышению степени автоматизации, означает растущую потребность в решениях с переменными параметрами.

- Управление процесса и его оптимизация. Для улучшения управления процессом часто требуется управление двигателем с переменной скоростью, что приводит к более точному регулированию, более высокой производительности или комфорту, в зависимости от применения.

Основные проблемы, с которыми сталкиваются инженеры-проектировщики силовой электроники, связаны с уменьшением гармоник, содержащихся в цепях инвертора. Классический инвертор, работающий с коммутируемыми сигналами, прямоугольной формы, используемый в приложениях с низкой или средней мощностью, страдает серьезным недостатком, таким как гармоники более низкого порядка в выходном напряжении. Одним из решений для улучшения свободной от гармоник среды в преобразователях большой мощности является использование методов управления ШИМ. Цель методов ШИМ состоит в том, чтобы обеспечить синусоидаль-

ную форму выходного тока или напряжения, частота которого могут быть ограничены.

Стратегии широтно-импульсной коммутации не только решают основные проблемы, а именно: уменьшение коэффициента нелинейных искажений, эффективное использование шины постоянного тока и т. д., но также занимаются вторичными проблемами, такими как снижение уровня электромагнитных помех, потерь при переключении, лучшее распространение гармоник по спектру.

#### Достоинства НПЧЕ:

1. Однократное преобразование электроэнергии и как следствие высокий КПД;

2. Свободный обмен электроэнергией между двигателем и сетью, что позволяет осуществить возможность рекуперативного торможения, а это в свою очередь является одним из главных достоинств в области энергосбережения.

Основные принципы преобразователей частоты сохраняются, но многие элементы также быстро меняются. Программное обеспечение все чаще внедряется в современные продукты, предлагая новые функциональные возможности и позволяя преобразователям частоты играть более важную роль в системе. Появляются новые типы двигателей, что предъявляет дополнительные требования к управлению двигателями. Это, в свою очередь, означает, что преобразователи частоты должны иметь возможность управлять растущим разнообразием типов двигателей, не обременяя конечного пользователя большей сложностью. Кроме того, новые требования к энергоэффективности приводят к увеличению числа применений электроприводов с регулируемой скоростью, что в конечном итоге делает все двигатели регулируемыми и управляемыми преобразователями частоты.

**Цель работы:** разработка и исследование матричного преобразователя частоты, управляемого методом синусоидальной широтно-импульсной модуляции выходного напряжения, обеспечивающего уменьшения общего гармонического искажения.

**Методика выполнения работы:** используется метод математического моделирования и расчетов на основе теории электротехники, электрического привода, электроники и систем управления. В теоретических исследованиях применялись аналитические, численные и операторные методы расчета. Постановка и обработка численных экспериментов велась с применением ЭВМ, а именно при помощи программной среды Matlab Simulink.

**Научная новизна работы:** Заключается в управлении ключами преобразователя по новому алгоритму. Алгоритм переключения основан на косвенной пространственно-векторной модуляции, в которой НПЧ рассматривается как выпрямитель и инвертор, соединенные через линию постоянного тока без накопления энергии. Непрямая пространственно-векторная модуляция позволяет осуществлять прямое управление входным током и выходным напряжением и, следовательно, позволяет контролировать коэффициент мощности источника.

**Практическая ценность работы:** Преобразователь способен работать с единичным коэффициентом мощности. Нет необходимости в объемных конденсаторах звена постоянного тока, что означает, что компактная преобразовательная система большой емкости может быть спроектирована с большей эффективностью. Он имеет такую же величину коэффициента передачи напряжения, что и обычный матричный преобразователь. Он также имеет минимальный уровень линейных искажений на выходной стороне и, следовательно, снижает потери на приводах.

### **Апробация работы.**

Результаты исследований, включённые в работу, докладывались на II-й научно-технической конференции студентов и аспирантов (г. Комсомольск-на-Амуре, 2018 г.) и на II-ой Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Комсомольск-на-Амуре, 2019 г.).

**Публикации.** По результатам исследований имеются три публикации:

1 Валиев, М. А. Улучшение энергоэффективности электрических сетей металлургического предприятия / М. А. Валиев, Х. К. Абулхаев, С. А. Васильченко // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: материалы 48-й научно-технической конференции студентов и аспирантов (202-204 стр.), Комсомольск-на-Амуре, 9-20 апреля 2018 г. / редкол.: Э.А. Дмитриева (отв. Ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2018. – 476 с.

2 Валиев, М. А. Математическая модель матричного преобразователя частоты / М. Е. Дубовик, В. А. Соловёв // Молодёжь и наука: материалы II Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (270-273 стр.), Комсомольск-на-Амуре, 8-12 апр. 2019 г. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2018. – 476 с.

**Объем и структура работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения и списка использованных источников. Содержит 85 страниц машинописного текста, 49 рисунков, 4 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертационного исследования. Выбран объект и предмет исследования. Определены цели и задачи, поставлены основные вопросы, возникающие по ходу работы. Дано определение объекта исследования, приведен способ исполнения электромеханической системы и аргументирован его выбор. Подчеркнуты основные особенности и проблемы, касающиеся объекта исследования.

**Первая глава.** В этой главе было рассмотрено современное развитие матричного преобразователя (МП) в отношении стратегий управления и областей применения. Установлено, что контроллер является очень простым методом управления для МП, и он особенно подходит для практических приводов с питанием от МП. Матричный преобразователь частоты - это многообещающий метод управления, который гибок в управлении преобразователями мощности, включая МП. МП является эффективным преобразователем, и ожидается большой исследовательский и промышленный интерес, особенно в области приводов переменного тока и микросетей из возобновляемых источников энергии. МП также могут применяться в микросетях для сопряжения распределенных возобновляемых поколений с энергосистемой. С точки зрения применения микросетей, существует два режима работы: автономный режим и режим подключения к сети. В каждом режиме основные цели управления различны.

**Во второй главе** произведено математическое моделирование преобразователя частоты с непосредственной связью с ШИМ (рисунок 2). Изучены основные принципы моделирования матричного преобразователя частоты. Рассмотрены стратегии управления матричного преобразователя: метод Вентурини, скалярные методы модуляции, пространственной векторной модуляции, метод косвенной модуляции.

Для компьютерного моделирования матричного преобразователя может успешно использоваться среда Simulink MATLAB. Создание модели МС с PWM управлением позволило изучить возможности регулирования коэффициента мощности.

Матричный преобразователь способен работать с единичным коэффициентом мощности. Нет необходимости в объемных конденсаторах звена постоянного тока, что означает, что компактная преобразовательная система большой емкости может быть спроектирована с большей эффективностью.

**Третья глава.** Предложенный матричный преобразователь с методами ШИМ модуляции был смоделирован с использованием блоков моделей Matlab / Simulink. Техника ШИМ подробно проанализирована, и результаты представлены. Импульсы, полученные из схемы (рисунок 1), используются для управления выходными параметрами матричного преобразователя для преобразования заданного трехфазного входного напряжения в трехфазное выходное напряжение требуемой частоты и величины.

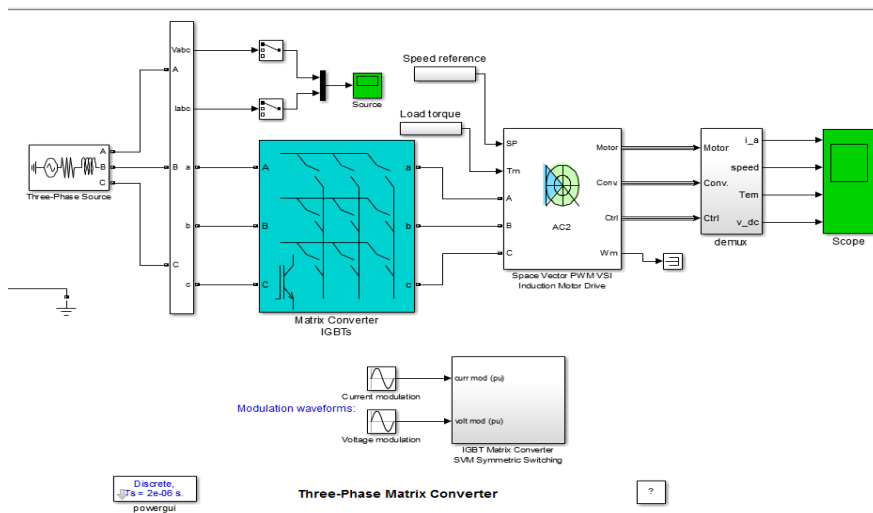


Рисунок 1 - Модель Simulink Three – Phase Matrix Converter с пространственно-векторной ШИМ асинхронного электродвигателя



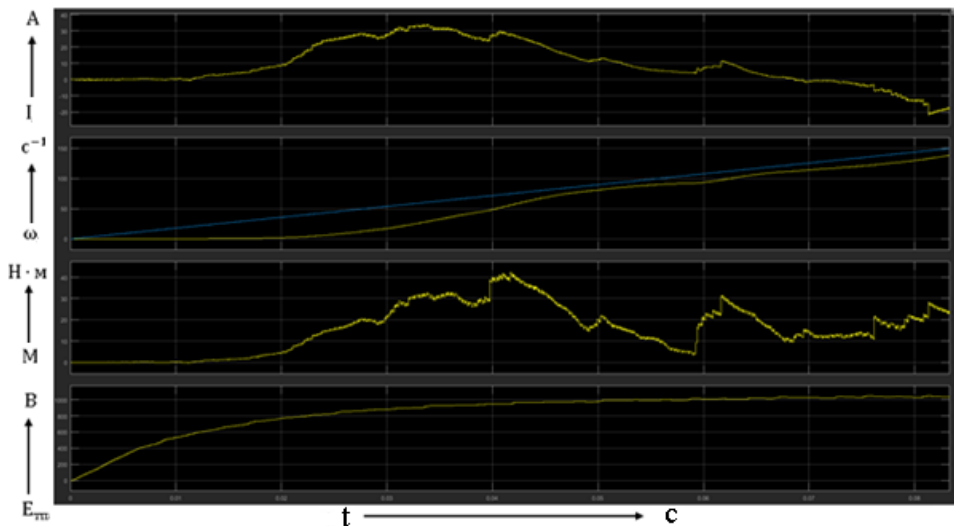


Рисунок 2 - Временные диаграммы выходного тока, скорости вращения ротора, электромагнитного момента и напряжения на выходе

Результат моделирования показывает, что входные токи, и выходные напряжения представляют собой чисто синусоидальные колебания с гармониками вокруг или выше частоты переключения. Преобразователь способен работать с единичным коэффициентом мощности. Нет необходимости в объемных конденсаторах звена постоянного тока, что означает, что компактная преобразовательная система большой емкости может быть спроектирована с большей эффективностью.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В промышленных приложениях преобразование мощности переменного тока в переменный обычно выполняется косвенными преобразователями. В этих преобразователях мощность переменного тока сначала преобразуется в постоянный ток выпрямителем, а затем обратно в переменный ток инвертором. Выпрямитель и инвертор соединены через цепь постоянного тока с громоздким конденсатором для накопления заряда. Типичным приме-

ром этого преобразователя является обратный преобразователь, который передает высокий уровень гармоник обратно в источник питания (сеть), а также имеет низкий коэффициент мощности. Конденсатор постоянного тока делает объем громоздким, сокращает срок службы устройства, увеличивает сложность конструкции и снижает эффективность системы.

В работе представлен обзор современного состояния последних разработок стратегий управления и применения МС, начиная с основ МС.

После двух десятилетий исследований было разработано несколько методов модуляции и управления для матричного преобразователя, позволяющих генерировать синусоидальные входные и выходные токи, работающие с единичным коэффициентом мощности с использованием стандартных процессоров.

Для компьютерного моделирования матричного преобразователя использовалась среда Simulink MATLAB.

Предложенный матричный преобразователь с методами модуляции на основе несущей был смоделирован с использованием блоков моделей Matlab / Simulink. Техника ШИМ была подробно проанализирована, и результаты были представлены. Импульсы, полученные из схемы, используются для управления выходными параметрами матричного преобразователя для преобразования заданного трехфазного входного напряжения в трехфазное выходное напряжение требуемой частоты и величины.