

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук,

доцента Хакимьянова Марата Ильгизовича

на диссертационную работу Цзин Тао

«Разработка методов расчёта и алгоритма смены предварительно запрограммированных широтно-импульсно модулируемых последовательностей переключений полупроводниковых модулей трёхфазного трёхуровневого активного выпрямителя напряжения с фиксирующими диодами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12 – Силовая электроника

### **Актуальность работы**

На сегодняшний день обеспечение электромагнитной совместимости мощных потребителей электроэнергии и уменьшение потерь на преобразование и передачу электроэнергии с помощью применения модифицированных алгоритмов модуляции полупроводниковыми преобразователями в составе высоковольтных электроприводов переменного тока являются актуальными задачами для различных промышленных объектов. Диссертационная работа Цзин Тао направлена на решение этих задач и посвящена разработке методов расчета и алгоритма смены предварительно запрограммированных широтно-импульсно модулируемых последовательностей переключений полупроводниковых модулей трёхфазного трёхуровневого активного выпрямителя напряжения.

### **Структура и содержание диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (189 наименований). Общий объем работы составляет 135 страниц.

*Во введении* показана актуальность, определены объект и предмет исследования, сформулированы идея, цели и задачи работы, обоснованы научная новизна и практическая значимость, приведены основные положения, выносимые на защиту.

*В первой главе* проведен анализ текущего развития устройств силовой преобразовательной техники в области выпрямления электрической энергии. Литературный обзор показал, что активные выпрямители напряжения трёхуровневой топологии являются наиболее популярным и эффективным решением в области энергосберегающих систем электропривода и распределенной энергетики. Автором сделан вывод, что в литературе отсутствуют методики по реализации алгоритмов широтно-импульсной модуляции на основе предварительно запрограммированных последовательностей переключений полупроводниковых модулей активных выпрямителей при удалении и подавлении отдельных гармонических составляющих, а также смены данных последовательностей при

различных режимах работы выпрямителя. Определены задачи диссертационной работы.

**Во второй главе** предложены методики расчёта предварительно запрограммированных последовательностей переключений полупроводниковых модулей трёхфазного трёхуровневого преобразователя при удалении и подавлении отдельных гармонических составляющих. Было обнаружено, что для правильной постановки задачи поиска углов переключений следует учитывать схему подключения преобразователя к питающей сети, среднюю частоту переключений полупроводниковых модулей, зоны резонансов токов/напряжений в точке подключения к питающей сети, параметры системы управления преобразователем, а также тепловые режимы работы силовых компонентов.

**В третьей главе** автором разработан алгоритм, позволяющий осуществить смену различных предварительно запрограммированных последовательностей переключений полупроводниковых модулей трёхфазного трёхуровневого преобразователя. Подробно расписан алгоритм работы и предложено его использование для активных выпрямителей и автономных инверторов напряжения. Кривые переходных процессов продемонстрированы на разработанной логико-математической модели в среде имитационного моделирования Matlab/Simulink.

**Четвертая глава** диссертационной работы посвящена экспериментальным исследованиям. Экспериментальные данные получены с помощью современного оборудования лаборатории силовой преобразовательной техники ЮУрГУ. Доказана адекватность полученных результатов. Представленные осциллограммы достаточно убедительно демонстрируют работоспособность предложенных технических решений.

**В заключении** приведены основные выводы и результаты диссертационного исследования.

**Научная новизна и значимость работы** характеризуются следующими результатами:

1. Разработан метод расчёта предварительно запрограммированных последовательностей переключений полупроводниковых модулей трёхфазного трёхуровневого преобразователя на основе метода роя частиц;
2. Получена предварительно запрограммированная последовательность переключений полупроводниковых модулей трёхфазного трёхуровневого преобразователя, позволяющая обеспечить требуемый международными стандартам качества уровень коэффициента гармонических искажений и отдельных гармонических составляющих при 13 переключений за четверть периода напряжения на входе преобразователя;
3. Разработан алгоритм смены предварительно запрограммированных последовательностей переключений полупроводниковых модулей трёхфазного трёхуровневого преобразователя.

### **Практическая значимость работы**

Автором разработаны методики расчета алгоритмов модуляции мощных промышленных трёхуровневых активных выпрямителей напряжения, на основе которых обеспечивается их электромагнитная совместимость в условиях низких средних частот переключений полупроводниковых модулей. Результаты работы могут быть рекомендованы для проектирования новых преобразователей, а также для использования на действующих объектах.

Использование на практике разработанного алгоритма смены предварительно запрограммированных последовательностей переключений полупроводниковых модулей трёхфазного трехуровневого преобразователя повысит эффективность работы и улучшит показатели качества потребляемой электроэнергии.

**Достоверность полученных результатов, выводов и рекомендаций** диссертационного исследования подтверждается проверкой адекватности полученных результатов на основании достаточно малого расхождения теоретических и экспериментальных данных.

### **Публикации и апробация работы**

По теме диссертации опубликовано 11 научных статей, из них – 2 в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 9 – входящая в систему цитирования Scopus. Основные материалы и результаты диссертационной работы докладывались и получили одобрение на конференциях всероссийского и международного уровня.

### **Оценка содержания диссертации**

Диссертационная работа написана в научно-публицистическом стиле с большим количеством профессиональной терминологии, графического материала, поясняющего и иллюстрирующего соответствующие результаты научных положений и технических решений. По содержанию работы можно сделать следующие замечания и дискуссионные положения:

1. На мой взгляд название работы очень длинное – «Разработка методов расчёта и алгоритма смены предварительно запрограммированных широтно-импульсно модулируемых последовательностей переключений полупроводниковых модулей трёхфазного трёхуровневого активного выпрямителя напряжения с фиксирующими диодами». Фразы «предварительно запрограммированных», «трёхфазного трёхуровневого», «с фиксирующими диодами» можно бы было исключить. Название содержит много конкретизирующих фраз, которые лишают результаты работы универсальности. Получается, что разработанные методы и алгоритмы могут быть использованы только с конкретными устройствами (трёхфазного трёхуровневого), конкретными схемными решениями (с фиксирующими диодами).

2. Опечатки в автореферате, стр. 9, «системы управлений», опечатки в диссертации, стр. 7, «при удаление» и другие.

3. В объекте исследования, цели диссертации и в идее работы указывается «трехуровневый АВН с фиксирующими диодами». Получается, что диссертация посвящена только активному выпрямителю напряжения, хотя в самой диссертации предложены алгоритмы ШИМ не только для выпрямителя, но и для инвертора. Следовало бы указать вместо АВН и АИН более широкий и универсальный термин «активные преобразователи». Что и указано в «практической значимости работы».

4. На рисунках 4, 5 автореферата и аналогичных рисунках диссертации на графике мгновенных значений линейного напряжения вертикальная ось никак не обозначена, отсутствуют цифры, не указаны единицы измерения, что затрудняет восприятие рисунка.

5. Рисунок 3.6 диссертации содержит сокращения ТПП, ППП, НПП, СПП, расшифровку которых рядом найти не удалось. Не совсем понятно, что это за элементы и сигналы.

6. В таблице 4.1 «Схема смены последовательностей переключений ПЗШИМ» вместо термина «погрешность» ошибочно использован термин «точность».

7. Насколько существующие промышленные активные преобразователи допускают изменение заложенных алгоритмов переключения ключей? Нужно ли для этого связываться с производителями оборудования или это можно выполнить своими силами?

Указанные недостатки не являются принципиальными и не снижают научной и практической ценности диссертационной работы.

### **Заключение**

Результаты диссертационной работы отражены в периодических изданиях, рекомендованных ВАК, и доложены на научно-технических конференциях и семинарах международного и российского уровня. Автореферат диссертации правильно и полно отражает ее содержание.

*Анализ диссертационной работы в целом позволяет сделать следующие выводы:*

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.09.12 – Силовая электроника.

Представленная диссертационная работа Цзин Тао является самостоятельной, законченной научной квалификационной работой, обладающей признаками актуальности, новизны, внутреннего единства, научной и практической значимости.

Диссертация в полном объеме соответствует требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата наук согласно п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 №842, а ее автор Цзин Тао, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12 – Силовая электроника.

Официальный оппонент  
доктор технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой электротехники  
и электрооборудования предприятий  
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный  
нефтяной технический университет»

*M. I. Hakimyanov*  
29.11.2021

Хакимьянов Марат Ильгизович

Адрес: 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1 тел.: (347) 2420759;  
e-mail: [hakimyanovmi@gmail.com](mailto:hakimyanovmi@gmail.com)

Докторская диссертация Хакимьянова М.И. защищена по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Подпись Хакимьянова М.И.  
заверяю, проректор по научной  
и инновационной работе, к.т.н.



Рабаев Руслан Уралович