

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата технических наук,
доцента Дыбко Максима Александровича
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», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12 – «Силовая электроника»

1. Актуальность работы

Эффективность и качество преобразованной мощности полупроводниковым преобразователем во многом зависит от выбора конкретной стратегии широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Существующий в настоящее время метод предварительно запрограммированной ШИМ (ПЗШИМ), основанный на использовании предварительно рассчитанных последовательностей переключений модулей полупроводникового преобразователя, был специально разработан для минимизации коммутационных потерь и повышения качества электроэнергии. Развитие научных методик и алгоритмов, используемых для расчета последовательностей переключений ПЗШИМ и их вариаций в соответствии с различными режимами работы преобразователя, улучшит эффективность и качество преобразованной мощности без увеличения частоты переключения полупроводниковых модулей. Разработка новых и совершенствование существующих стратегий ПЗШИМ особенно актуальны для обеспечения электромагнитной совместимости трехуровневых трехфазных активных выпрямителей напряжения (АВН) с фиксирующими диодами, которые широко применяются в промышленных электроприводах и распределенной энергетике.

Диссертационная работа Цзин Тао посвящена разработке методов расчета требуемых последовательностей переключений ПЗШИМ, связанных с выполнением нормативных требований к показателям качества входного напряжения полупроводниковых преобразователей при низкой частоте переключений ключей.

2. Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация Цзин Тао состоит из введения, 4 глав и заключения. Работа представлена на 135 страницах машинописного текста, содержит 82 рисунка и 11 таблиц. Список использованной литературы включает 189 наименований.

Введение содержит актуальность работы, сформулированные научные положения, их новизна и практическая значимость.

В первой главе представлен аналитический обзор современного состояния методов выпрямления электрической энергии с помощью устройств в области высоких мощностей и высоких напряжений, который показал актуальность исследований и разработки методов для расчета и выбора последовательностей переключения ПЗШИМ для полупроводниковых модулей трехфазных трехуровневых АВН. В частности, обсуждаются проблемы обеспечения электромагнитной совместимости АВН на основе

ПЗШИМ с питающей энергосистемой. Сформулированы задачи диссертационного исследования.

Во второй главе сформулирована проблема поиска последовательностей переключений ШИМ. Показано, что для правильной постановки проблемы следует учитывать несколько факторов: схему подключения к сети; частоту переключений полупроводниковых модулей; возможные резонансы токов / напряжений в точке подключения к сети; параметры системы управления; тепловые режимы работы силовых компонентов. Разработаны методы расчета предварительно запрограммированных последовательностей переключений ШИМ для полупроводниковых модулей трехфазного трехуровневого АВН с фиксирующими диодами на основе алгоритмов доверительной области и внутренней точки. Разработан метод расчета на основе метода оптимизации роя частиц с возможностью получения нескольких последовательностей переключений без необходимости ввода начальных углов переключений.

В третьей главе сформулированы требования к алгоритму смены различных последовательностей переключения ПЗШИМ. Разработан алгоритм смены последовательностей переключения ПЗШИМ полупроводниковых модулей трехфазного трехуровневого преобразователя. Предложены рекомендации по использованию разработанного алгоритма для получения преимуществ различных методов удаления и подавления отдельных гармонических составляющих при различных коэффициентах модуляции. Подробно описан принцип работы алгоритма и представлены результаты математического моделирования.

В четвертой главе проведены экспериментальные исследования на лабораторном исследовательском стенде для проверки адекватности разработанных методик расчета последовательностей переключения ПЗШИМ полупроводниковых модулей трехфазного трехуровневого преобразователя. Полученные экспериментальные результаты подтвердили адекватность теоретических результатов на основе полученных осциллограмм напряжения на входе преобразователя при различных последовательностях ПЗШИМ. Другие экспериментальные результаты подтвердили адекватность и эффективность разработанного алгоритма смены нескольких последовательностей переключений ПЗШИМ.

В заключении представлены основные результаты научных исследований диссертационной работы.

3. Научные результаты работы и их новизна

К наиболее значимым научным результатам диссертационной работы соискателя можно отнести:

1) Разработанный метод расчета предварительно запрограммированных последовательностей переключения ШИМ для полупроводниковых модулей трехфазного трехуровневого АВН с фиксирующими диодами на основе метода оптимизации роя частиц с возможностью получения нескольких последовательностей переключения без необходимости предоставления начальных углов переключения;

2) Рассчитанные предварительно запрограммированные последовательности переключений ШИМ полупроводниковых модулей трехфазного трехуровневого АВН с фиксирующими диодами, позволяющие обеспечить требуемый международными

стандартами качества уровень коэффициентов нелинейных искажений и отдельных гармонических составляющих;

3) Разработанный алгоритм смены различных последовательностей ПЗШИМ трехфазных трехуровневых полупроводниковых преобразователей, позволяющий снизить потери и улучшить качество преобразованной мощности при различных коэффициентах модуляции.

4. Основные практические результаты работы

Предложенные методы расчета и алгоритм смены ПЗШИМ могут быть рекомендованы для снижения потерь и повышения качества преобразованной электроэнергии трехфазных трехуровневых преобразователей большой мощности на этапах проектирования и разработки новых преобразователей, а также на действующих промышленных объектах.

5. Достоверность и обоснованность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность и обоснованность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждаются использованием современных представлений о функционировании полупроводниковых преобразователей, применением методов компьютерного моделирования и сходимостью полученных теоретических результатов с экспериментальными исследованиями. Все научные положения обоснованы, а полученные результаты не противоречат известным научным данным.

6. Апробация работы и публикации

Опубликованные автором работы соответствуют содержанию диссертации. По теме диссертации опубликовано 11 научных статей, в том числе 2 в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 9 – входящие в систему цитирования Scopus.

В полном объеме работа докладывалась и обсуждалась на научно-технических международных и всероссийских конференциях.

Автореферат диссертации Цзин Тао соответствует диссертационной работе по цели, задачам исследования, основным положениям, актуальности, научной и практической значимости, новизне и достоверности и др.

Исследования, приведенные в диссертационной работе Цзин Тао соответствуют формуле и области исследования пп. 2, 3 и 5, приведенных в паспорте специальности 05.09.12 – «Силовая электроника».

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

7. Замечания и дискуссионные положения

1. На мой взгляд не совсем корректно ступенчатое напряжение в звене переменного тока преобразователя именовать входным. Входное напряжение активного выпрямителя – это напряжение сети. Для ступенчатого напряжения можно использовать термин «внутренняя ЭДС преобразователя».
2. Замечание по терминологии. Термин «пульсность», отражает количество пульсаций выходного напряжения выпрямителя за период основной гармоники и используется, в основном, для описания качества выпрямленного напряжения. Приведенные на рис. 2.2 и 2.3 12-ти и 18-типульсные схемы состоят из двух и трех выпрямителей, работающих независимо и имеющих изолированные друг от друга выходы. Из приведенных схем следует, что качество выпрямленного напряжения везде одинаково.
3. Не ясен смысл термина «средняя частота переключения» ключей в выпрямителе. Частота коммутации полупроводниковых приборов меняется? В каких пределах?
4. На рис. 2.5-2.18 из осциллограмм видно, что указанные частоты переключения занижены. Например, на рис. 2.5 указана частота переключения 150Гц, что соответствует трем коммутациям за период основной гармоники. На рисунке 2.5 иллюстрируется алгоритм №1 с тремя углами для четверти периода, что соответствует 12 переключениям за период, т.е. частоте 600Гц.
5. В диссертации много внимания уделяется влиянию различных последовательностей ПЗШИМ на гармонический состав ступенчатого напряжения многоуровневого преобразователя, и рассчитывается его коэффициент гармоник. При этом в работе сделан акцент на активный выпрямитель на базе многоуровневого преобразователя. Однако, анализ качества ступенчатого напряжения, на мой взгляд, целесообразно делать именно для инвертора напряжения, поскольку гармонический состав напряжения определяет требования к выходному фильтру гармоник. В случае активного выпрямителя, правильнее было бы анализировать качество входного тока, чтобы оценить электромагнитную совместимость преобразователя с питающей сетью.
6. В диссертации отсутствуют результаты сравнения разработанных алгоритмов ПЗШИМ с другими способами ШИМ – синусоидальной и пространственно-векторной. При аппаратной реализации важно знать сколько ресурсов микроконтроллера или ПЛИС потребуется для реализации того или иного способа ШИМ.

8. Общее заключение по диссертации

Диссертация Цзин Тао представляет законченную научно-квалификационную работу, содержащую решение актуальной научно-технической задачи, посвященной разработке новых эффективных способов управления силовыми полупроводниковыми преобразователями. По своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и практической значимости результатов, работа «Разработка методов расчёта и алгоритма смены предварительно запрограммированных широтно-импульсно модулируемых последовательностей переключений полупроводниковых модулей

трёхфазного трёхуровневого активного выпрямителя напряжения с фиксирующими диодами» 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 Цзин Тао заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12 – «Силовая электроника».

Официальный оппонент –
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электроники и
электротехники федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Новосибирский
государственный технический
университет», г. Новосибирск

08.12.2021



Дыбко Максим Александрович

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск.

Адрес: Россия, 630073, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20

Тел./факс +7 (383) 346 08 43 / +7 (383) 346 02 09

E-mail: rector@nstu.ru

Сайт: <https://www.nstu.ru/>

Кандидатская диссертация Дыбко М.А. защищена по специальности 05.09.12 "Силовая электроника".

Подпись заверяю



К. Пустовалова