

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.298.05, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего
образования Российской Федерации, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 28 декабря 2021 г. №16

О присуждении Цзин Тао, гражданину Китайской Народной Республики, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка методов расчёта и алгоритма смены предварительно запрограммированных широтно-импульсно модулируемых последовательностей переключений полупроводниковых модулей трёхфазного трёхуровневого активного выпрямителя напряжения с фиксирующими диодами» по специальности 05.09.12 – «Силовая электроника» принята к защите 27 октября 2021 г. (протокол заседания № 12) диссертационным советом Д 212.298.05, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 454080, г. Челябинск, пр-т им. В.И. Ленина, 76; приказ о создании диссертационного совета – № 105/нк от 11.04.2012.

Соискатель Цзин Тао, «14» февраля 1994 года рождения, в 2018 году окончил обучение в очной магистратуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)». В настоящее время соискатель является аспирантом и работает в должности инженера-исследователя кафедры электропривода и мехатроники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования РФ на кафедре «Мехатроника и автоматизация».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Радионов Андрей Александрович, в настоящее время не работает.

Официальные оппоненты:

1. Хакимьянов Марат Ильгизович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой электротехники и электрооборудования предприятий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа;

2. Дыбко Максим Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электроники и электротехники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, в своём положительном отзыве, подписанном кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой автоматизированного электропривода и мехатроники Николаевым А.А. и утверждённом доктором технических наук, профессором, проректором по научной и инновационной работе Тулуповым О.Н. указала, что выбранное направление исследования имеет существенные перспективы дальнейшего развития и находится в тренде проводимых исследований по всему миру, а диссертационная работа Цзин Тао по объёму исследований, их глубине, научной и практической значимости удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата наук согласно «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 специальности 05.09.12 – «Силовая электроника».

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 11 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 11 работ.

Наиболее значимые публикации по теме диссертации:

1. Jing, T. Research of a flexible space-vector-based hybrid PWM transition algorithm between SHEPWM and SHMPWM for three-level NPC inverters / T. Jing, A. Radionov, A. Maklakov, V. Gasiyarov // Machines. – 2020. – Vol. 8. – No 3. – P. 57. (авт. доля 9 стр.)

2. Jing, T. Research on hybrid SHEPWM based on different switching patterns / T. Jing, A. Maklakov, A. Radionov, S. Baskov, A. Kulmukhametova // International Journal of Power Electronics and Drive Systems. – 2019. – Vol. 10, № 4. – pp. 1875–1884. (авт. доля 7 стр.)

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород, отзыв подписан профессором кафедры «Управление инновационной деятельностью», доктором технических наук, профессором Федоровым О.В. с замечаниями: 1. Блок-схема на рисунке 3.7 содержит жирную линию, к которой приходят и уходят несколько стрелок. Алгоритм работы в этом месте блок-схемы не ясен. 2. В главе 3 используются три обозначения состояний ключей – [P], [O], [M]. Не указано, какая буква какому состоянию соответствует. Что подразумевается под обозначением каждого ключевого состояния? 3. На основании каких данных сделано заключение, что выходной спектр напряжения при 13 переключениях на входе выпрямителя соответствует требованиям стандартов качества электроэнергии?

2. ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск, отзыв подписан доцентом кафедры «Электроснабжение и электропривод», кандидатом технических наук, Сухенко Н.А. с замечаниями: 1. Из выводов работы неясно, будут ли влиять параметры питающей энергосистемы на выбор ШИМ последовательностей переключений активного выпрямителя. 2. Каким образом найдено решение системы уравнений, описывающих связь между углами переключений и гармоническим спектром сигнала на входе АВН?

3. ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», г. Комсомольск-на-Амуре, отзыв подписан профессором кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок», доктором технических наук, профессором Соловьёвым В.А. с замечаниями: 1. Из текста автореферата не просматривается, на основании каких критериев при расчете ПЗШИМ последовательностей переключений полупроводниковых модулей трехфазного трехуровневого активного выпрямителя напряжения с фиксирующими диодами автор остановился на методе роя частиц? 2. Приведенные на рисунке 4 кривые, отражающие зависимость коэффициента гармонических искажений, имеют резкие изломы (например, последовательность). 3. В тексте автореферат нет пояснения, чем это обусловлено?

4. ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», г. Санкт-Петербург, отзыв подписан директором научно-производственного центра «Прецизионная электромеханика», кандидатом технических наук, доцентом факультета

систем управления и робототехники Томасовым В.С. с замечаниями: 1. Каким образом последовательности переключений полупроводниковых модулей трёхфазного трёхуровневого преобразователя с фиксирующими диодами реализуются в замкнутой системе автоматического управления активным выпрямителем. 2. Оценивался ли учет снижения амплитуды первой гармоники от количества и состава удаляемых и подавляемых гармоник.

5. ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, отзыв подписан профессором кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок», доктором технических наук, доцентом Зюзовым А.М. и заведующим кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок», кандидатом технических наук, доцентом Костылевым А.В. с замечаниями: 1. В тексте автореферата не отражена информация о практической реализации рассчитанных ШИМ последовательностей. 2. В работе не сказано о запланированном экономическом эффекте в стоимостном выражении от реализации результатов работы.

6. ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, отзыв подписан доцентом кафедры «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности», кандидатом технических наук, доцентом Решетняком С.М. с замечаниями: 1. Тему диссертационной работы, на наш взгляд, необходимо было значительно сократить; 2. В автореферате представлен достаточно большой список зарубежных исследователей, однако число российских исследователей данного направления – представлен не достаточным; 3. В заключении автореферата прописана разработка 3 методов расчетов (при удивлении отдельных гармонических составляющих, при подавлении отдельных гармонических составляющих и т.д.), однако в научной новизне диссертационной работы (пункт 1) представлен только один метод расчета.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается публикациями авторов по заданной тематике. За последние 5 лет имеются публикации: доктор технических наук, доцент Хакимьянов М.И. – 6 публикаций в изданиях из перечня ВАК, 4 публикации в изданиях, индексируемых в Scopus; кандидат технических наук, доцент Дыбко М.А. – 5 публикаций в изданиях из перечня ВАК, 3 публикации в изданиях, индексируемых в Scopus; ведущая организация – 17 публикаций в изданиях из перечня ВАК, 12 публикаций в изданиях, индексируемых в Scopus. Сотрудниками ведущей организации являются ученые и специалисты, научная деятельность которых

проходит в области электромагнитной совместимости силовых полупроводниковых преобразователей: кандидат технических наук, доцент Николаев А.А., доктор технических наук, профессор Корнилов Г.П. и др.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая методика расчёта предварительно запрограммированных широтно-импульсно модулируемых (ПЗШИМ) последовательностей переключений полупроводниковых модулей трёхфазного трехуровневого активного выпрямителя напряжения (АВН) с фиксирующими диодами для создания обладающей четвертьволновой симметрией формы напряжения на входе АВН при удалении и подавлении отдельных гармонических составляющих с возможностью получения нескольких ПЗШИМ последовательностей,

предложен алгоритм смены ПЗШИМ последовательностей переключений полупроводниковых модулей трёхфазного трехуровневого АВН с фиксирующими диодами, позволяющий осуществить смену различных последовательностей ПЗШИМ без увеличения средней частоты переключений полупроводниковых модулей в пределах периода напряжения на входе АВН;

доказана экспериментальными результатами перспективность использования разработанного алгоритма смены предварительно запрограммированных ШИМ последовательностей переключений полупроводниковых модулей трёхфазного трёхуровневого АВН с фиксирующими диодами, позволяющего осуществить смену заданных последовательностей ПЗШИМ без увеличения средней частоты переключений полупроводниковых модулей в пределах периода напряжения на входе АВН;

введены новые термины, такие как: предварительно запрограммированная широтно-импульсно модулируемая последовательность переключений, средняя частота переключений полупроводниковых модулей.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана целесообразность применения методики получения формы напряжения с четвертьволновой симметрией на входе полупроводникового преобразователя при удалении и подавлении отдельных гармонических составляющих в условиях заданных показателей качества электроэнергии и ограниченной средней частоте переключений ключей тем, что различие между результатами математического моделирования и результатами экспериментальных исследований на лабораторном оборудовании не превышает принятой в инженерной практике погрешности;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы оптимизации функций, функции Уолша, метод роя частиц, методы математического моделирования, испытания на лабораторном оборудовании;

изложена идея поиска предварительно запрограммированных ШИМ последовательностей переключений трёхфазного трехуровневого АВН с фиксирующими диодами с помощью методов роя частиц и барьерных функций;

раскрыты положительные и отрицательные явления в процессах преобразования электроэнергии полупроводниковыми преобразователями при предварительно запрограммированных ШИМ последовательностях переключений;

изучен характер влияния ПЗШИМ последовательностей на спектральный состав и суммарные коэффициенты гармонических составляющих тока и напряжения трехуровневого преобразователя;

проведена модернизация существующих алгоритмов поиска предварительно запрограммированных ШИМ последовательностей переключений полупроводниковых преобразователей.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждаются тем, что:

разработаны и внедрены новые методика и алгоритмы поиска предварительно запрограммированных ШИМ последовательностей переключений полупроводниковых преобразователей в учебный процесс при подготовке аспирантов по специальностям 05.09.12 «Силовая электроника» в Южно-Уральском государственном университете;

определены перспективы использования результатов исследования для проектирования высоковольтных преобразователей, в частности, в области ветроэнергетических комплексов, электроприводов металлургических прокатных станов и мощных судовых электроприводов;

создана система практических рекомендаций при выборе предварительно запрограммированных ШИМ последовательностей переключений полупроводниковых преобразователей на этапе проектирования;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию алгоритмов и методов модуляции многоуровневых преобразователей, которые реализуются с учетом заданных спектров напряжений и токов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на исследовательском стенде «Модульный интеграционно-исследовательский комплекс «Многоуровневый

силовой электронный преобразователь», обоснована калибровка приборов с нормированными метрологическими характеристиками;

теория построена на известных проверяемых результатах, в том числе для полученных спектров напряжений на входе преобразователя, и согласуется с опубликованными данными, представленными в работах российских и зарубежных ученых;

идея базируется на анализе существующих решений по разработке методов и средств повышения энергоэффективности полупроводниковых преобразователей с фиксированными диодами;

использованы авторские данные и данные, полученные в трудах Т.Р. Храмшина, А.А. Николаева, Г.П. Корнилова, а именно, – способы реализации логики работы ПЗШИМ в программе Matlab/Simulink;

установлено качественное совпадение результатов моделирования и экспериментальных натурных испытаний работы алгоритма смены предварительно запрограммированных ШИМ последовательностей переключений полупроводниковых модулей трёхуровневого преобразователя с фиксирующими диодами;

использованы современные компьютерные программы для расчёта и моделирования полупроводниковых преобразователей и лаборатории силовой преобразовательной техники Южно-Уральского государственного университета.

Личный вклад соискателя состоит в:

непосредственном участии на всех этапах разработок и исследований; в получении исходных данных и проведении научных экспериментов; обосновании новых научных положений; формулировке основной идеи и проработке вопросов по созданию алгоритмов поиска предварительно запрограммированных широтно-импульсно модулируемых последовательностей переключений; разработке логико-математических моделей трёхфазного трехуровневого активного выпрямителя напряжения с фиксирующими диодами. Все результаты, приведенные в диссертации, получены либо самим автором, либо при его непосредственном участии.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Название диссертации содержит много конкретизирующих фраз, которые лишают результаты работы универсальности. Кроме того, в названии, объекте исследования и цели диссертации указан активный выпрямитель напряжения, но в самой работе представлены результаты и для автономного инвертора напряжения, а это не согласуется с темой работы;

2. Промышленные преобразователи частоты не допускают изменение заложенных алгоритмов широтно-импульсной модуляции, потому применить разработанные в диссертации алгоритмы не представляется возможным;

3. В диссертации отсутствуют результаты сравнения разработанных алгоритмов предварительно запрограммированной ШИМ с другими способами ШИМ - синусоидальной и пространственно-векторной;

4. В работе представлены в основном только методы и алгоритмы расчетов, но никаких технических проблем устройств силовой электроники не было решено.

Соискатель Цзин Тао ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. Все слова из названия диссертации отражают основную терминологию содержательной части диссертации, а разработанные методы и алгоритмы можно назвать универсальным, но с условием корректировок целевых функций оптимизации и математических выражений.

2. Необходимо связаться с производителями оборудования, чтобы внести соответствующие изменения. На этапе проектирования преобразователей можно заложить рассчитанные в работе последовательности переключений.

3. Другие методы модуляции не являются предметом диссертационного исследования, поэтому диссертация не содержит результатов их сравнения с предварительно запрограммированной ШИМ.

4. Фундаментальной проблемой силовой преобразовательной техники является повышение качества преобразованной электроэнергии. Разработанные методы и алгоритмы повышают качество преобразования электроэнергии трёхуровневых преобразователей в условиях низкой частоты переключений.

На заседании 28 декабря 2021 г. диссертационный совет принял решение за разработку методов расчёта и алгоритма смены предварительно запрограммированных широтно-импульсно модулируемых последовательностей переключений полупроводниковых модулей трёхфазного трёхуровневого активного выпрямителя напряжения с фиксирующими диодами присудить Цзин Тао учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 5 – докторов наук по специальности 05.09.12 – «Силовая электроника»,

