



СИБИРСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ | SIBERIAN
FEDERAL
UNIVERSITY

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский федеральный университет»

660041, Красноярский край,
г. Красноярск, проспект Свободный, д. 79
телефон: (391) 244-82-13, тел./факс: (391) 244-86-25
http://www.sfu-kras.ru, e-mail: office@sfu-kras.ru

ОКПО 02067876; ОГРН 1022402137460;
ИНН/КПП 2463011853/246301001

№ _____
на № _____ от _____

Отзыв ведущей организации

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по учебной работе

ФГАОУ ВО «Сибирский
федеральный университет»

канд. психол. наук

Денис Сергеевич Гуц



«06» декабря 2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» на
диссертацию Токарева Вадима Геннадьевича «Способы повышения
энергетической эффективности активных силовых фильтров», представленную
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.09.12 – «Силовая электроника»

1. Актуальность темы диссертации

В последнее время широкое распространение получили полупроводниковые силовые преобразовательные устройства, такие как импульсные источники питания, регуляторы частоты вращения электродвигателей, преобразователи напряжения для светодиодных ламп. Эти устройства, ввиду своих нелинейных характеристик, являются источниками высших гармоник токов и реактивной мощности, что ведёт к росту потерь электроэнергии при передаче и преобразовании. Активные силовые фильтры являются эффективным средством для компенсации реактивной мощности и мощности искажений в сетях переменного тока, тем самым позволяют снизить потери электроэнергии.

В связи с изложенным увеличивается потребность в наращивании номинальной мощности активных силовых фильтров, что может быть достигнуто параллельным включением полупроводниковых преобразователей, на которых строится активный силовой фильтр. Однако такое решение ведёт к возникновению циркуляционных токов, вызывающих рост потерь в силовых элементах фильтра и снижение его энергетической эффективности.

Диссертационная работа Токарева В.Г. посвящена проблеме повышения энергетической эффективности активных силовых фильтров, построенных на многоуровневых полупроводниковых преобразователях в параллельном включении, а именно, поиску решений, позволяющих снизить циркуляционные

токи и при этом повысить качество компенсации высших гармоник, что несомненно является актуальной задачей.

2. Соответствие паспорту специальности

Диссертационная работа соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 05.09.12 – «Силовая электроника»:

п.2 «Теоретический анализ и экспериментальные исследования процессов преобразования (выпрямления, инвертирования, импульсного, частотного и фазочастотного регулирования и т.п.) в устройствах силовой электроники с целью улучшения их технико-экономических и эксплуатационных характеристик»;

п.3 «Оптимизация преобразователей, их отдельных, функциональных узлов и элементов»;

п.4 «Математическое и схемотехническое моделирование преобразовательных устройств»;

п.5 «Разработка научных подходов, методов, алгоритмов и программ, обеспечивающих адекватное отражение в моделях физической сущности электромагнитных процессов и законов функционирования устройств силовой электроники».

3. Структура и объем диссертации

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет». Она состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Объем диссертации составляет 175 страниц, 66 рисунков, 9 таблиц, библиографический список из 108 источников.

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулированы ее цель и задачи, новизна основных научных положений, а также представлена практическая значимость полученных результатов.

В **первой главе** проведен аналитический обзор вариантов параллельного включения полупроводниковых преобразователей и способов снижения циркуляционных токов, протекающих между ними. Часть главы посвящена обзору типов активных силовых фильтров, а также математическому аппарату, который лежит в основе их систем управления. На основе аналитического обзора, а также анализа протекания циркуляционных токов в двух трехуровневых полупроводниковых преобразователях с общим звеном постоянного тока в параллельном включении формулируется идея улучшить качество формируемого фазного тока при одновременном снижении величины циркуляционного тока методами векторной широтно-импульсной модуляции.

Во **второй главе** выполнен синтез алгоритма векторной широтно-импульсной модуляции для двух трехуровневых полупроводниковых преобразователей в параллельном включении, который направлен на снижение циркуляционных токов. Основываясь на анализе электромагнитных процессов в двух трехфазных трехуровневых преобразователях под управлением

векторной ШИМ, включенных параллельно, в случае, когда импульсы управления ключами, одного преобразователя сдвинуты относительно импульсов управления ключами другого преобразователя на половину такта ШИМ, выявлены комбинации состояний ключей, одновременная реализация которых приводит к увеличению циркуляционных токов без улучшения качества формируемого фазного тока и комбинаций, приводящих к улучшению качества формируемого фазного тока. В результате проведенного исследования предложена такая последовательность комбинаций состояний ключей для векторной ШИМ, реализация которой приводит к снижению циркуляционных токов и улучшению гармонического состава формируемого преобразователями фазного тока.

В **третьей главе** предложен основанный на прогнозировании алгоритм, направленный на улучшение качества компенсации высших гармоник тока параллельным активным силовым фильтром. В качестве критерия оценки качества компенсации предложена методика вычисления коэффициента гармоник сетевого тока, предназначенная для системы управления активным силовым фильтром. Такой подход позволяет иметь объективную информацию о коэффициенте гармоник фазного тока в процессе работы фильтра и дает возможность системе управления фильтром выбирать наиболее подходящую стратегию компенсации.

В **четвертой главе** содержатся данные имитационного моделирования предложенных в ходе исследования алгоритмов и экспериментально полученных данные на экспериментальной установке – прототипе активного силового фильтра, подтверждающие их эффективность.

В **заключении** приведены основные выводы по результатам исследований.

4. Основные научные результаты и научная новизна

1. Предложен алгоритм векторной широтно-импульсной модуляции для двух трехфазных трехуровневых полупроводниковых преобразователей включенных параллельно, направленный на снижение циркуляционных токов и улучшение гармонического состава формируемого фазного тока.

2. Предложен основанный на прогнозировании алгоритм для повышения эффективности компенсации параллельным активным силовым фильтром высших гармоник тока в установившемся режиме работы.

3. Разработана методика вычисления коэффициента гармоник фазного тока в трехфазной сети, позволяющая проводить вычисления в реальном времени на микроконтроллерах, не имеющих аппаратной поддержки функций цифровой обработки сигналов.

5. Практическая значимость

Диссертационная работа Токарева В.Г. имеет явную практическую направленность. Алгоритмы управления активным силовым фильтром на базе инверторов напряжения в параллельном включении, алгоритмы управления преобразователем на базе трехфазного трехуровневого инвертора напряжения и имитационные модели, разработанные в ходе проведения диссертационного

исследования дают теоретическую основу для проектирования активных силовых фильтров повышенной энергетической эффективности и уже нашли применение в научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ в ООО «Системы постоянного тока», о чем свидетельствует акт о внедрении результатов работы, представленный в приложении к диссертации.

Предложенные в работе решения не предполагают схемотехнических и аппаратных изменений дизайна активных силовых фильтров и могут быть использованы для улучшения показателей энергетической эффективности уже существующих устройств – параллельных активных силовых фильтров.

6. Замечания и вопросы по работе

6.1. На стр. 7 автор указывает значения напряжений 0,35 кВ и 6-25 кВ, однако согласно ГОСТ 721-77, в сетях СНГ общего назначения переменного тока 50 Гц должны использоваться следующие номинальные межфазные напряжения: 380 В; (6), 10, 20, 35, 110, 220, 330, 500, 750 и 1150 кВ.

6.2. Формулирование практической значимости диссертации, как нашедшей применение при выполнении НИОКР (стр.12), по нашему мнению некорректно, было бы правильнее указать на возможность применения результатов исследований при проектировании активных силовых фильтров повышенной энергетической эффективности.

6.3. В выражении (1.4) на стр. 22 допущена ошибка.

6.4. Подраздел 1.4 назван «КПД трёхуровневого полупроводникового преобразователя», однако ни в этом, ни в последующих подразделах исследования КПД не выполнено, присутствуют лишь составляющие тех или иных потерь.

6.5. На стр. 67 представлена уточнённая формулировка задач исследования, при этом сформулированная во вводной части задача 2 почему-то заменена другой.

6.6. Подраздел 2.1 называется «Математическое описание трехуровневого полупроводникового преобразователя с фиксированной средней точкой» и за ним стоит большая и интересная работа автора, однако математического описания, в традиционно понимаемом смысле, не получено. Получен комбинаторный алгоритм, причём разомкнутый, не учитывающий влияние нагрузки, а как этот алгоритм будет меняться при переменной по величине и характеру нагрузке?

6.7. Оценка эффективности разных способов широтно-импульсной модуляции по критерию величины коэффициента гармоник фазного тока (Глава 4, пункт 4.1) при моделировании проводилось в условиях работы преобразователей на активно-индуктивную нагрузку. Вместе с тем, реальный случай применения указанных способов ШИМ в активном силовом фильтре не рассмотрен.

6.8. В ходе диссертационного исследования разработан ряд алгоритмов, предназначенных для трехфазного трехуровневого преобразователя, однако, не отражено влияние предложенных алгоритмов на баланс напряжений в звене постоянного тока.

7. Общее заключение о соответствии выполненной работы требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям

Несмотря на отмеченные замечания считаем, что диссертация Токарева Вадима Геннадьевича является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании проведенных автором исследований представлено решение актуальной задачи по оптимизации преобразователей, их отдельных, функциональных узлов и элементов за счёт повышения энергетической эффективности активного силового фильтра, имеющей существенное значение для развития энергосберегающих технологий.

Содержание диссертации отражает основные идеи работы, раскрывает ее научную и практическую значимость, достаточно полно опубликовано в 10 печатных работах, включая 3 публикации в ведущих журналах из Перечня ВАК, , одну в научных изданиях, индексируемых базами Scopus и/или Web of Science; один патент на полезную модель и 3 свидетельства о государственной регистрации программы.

Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

Диссертация Токарева Вадима Геннадьевича «Способы повышения энергетической эффективности активных силовых фильтров» соответствует критериям, изложенным в п.9 Положения «О порядке присуждения учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор, Токарев Вадим Геннадьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12 – «Силовая электроника».

Диссертация обсуждалась, отзыв рассмотрен и утвержден на заседании научного семинара кафедры «Электроэнергетика» Политехнического института ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» «01» 12 2021 г. протокол №4.

Заведующий кафедрой «Электроэнергетика», д-р техн. наук, профессор



Пантелеев Василий Иванович

Сибирский федеральный университет,
660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 26.
E-mail: vpanteleev@sfu-kras.ru, тел. 8 (391) 2912063