

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ТУСУР


А.А. Шелупанов
«» 2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Бутарева Игоря Юрьевича

«Математическое моделирование и численный метод исследования нелинейной динамики трехфазных импульсных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Для подготовки отзыва представлены:

- диссертационная работа объемом 160 страниц, включающая 4 таблицы и 45 иллюстраций;
- автореферат диссертации на 19 страницах, включающий список из 16 публикаций по теме диссертации.

При подготовке отзыва были рассмотрены работы автора, опубликованные в открытых научных изданиях. Основное содержание диссертации нашло отражение в этих работах.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 122 наименований и 5 приложений, включающих документы о внедрении результатов в производство и программные коды.

Оценка актуальности диссертационной работы. В настоящее время в России особое внимание уделяется проблемам энергосбережения и разработки энергоэффективных устройств. Автоматизация, снижение потерь, использование новейших научных достижений в преобразовательных системах является драйвером роста отрасли энергетики, что в свою очередь может произвести кумулятивный эффект на экономику в целом. В большинстве преобразовательных систем на сегодняшний день используются импульсные устройства на основе полупроводниковых ключей, обладающие низкими потерями, компактностью и широкими возможностями по качественному управлению и стабилизации основных энергетических параметров. Однако применение импульсных устройств вызывает проблему электромагнитной совместимости и роста электромагнитных помех, которые могут существенно повлиять на качество электроэнергии. Это связано с дискретным управлением потоками электрической энергии с помощью ключевых элементов и возникновением высокочастотных составляющих в выходных сигналах таких устройств.

Зачастую разработчиками импульсных преобразователей не учитывается влияние нелинейных динамических процессов, которые могут нанести серьезный вред устройству и быть причиной снижения КПД линии передачи электроэнергии. За последнее десятилетие произошел серьезный скачок в понимании процессов нелинейной динамики импульсных устройств и внедрении алгоритмов снижения их влияния.

Автором диссертации рассматриваются вопросы разработки математических моделей трехфазных импульсных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности с использованием быстродействующего метода расчета, позволяющие учитывать влияние нелинейных динамических процессов в импульсных устройствах такого рода. Применение математических моделей в данной области позволяет анализировать зависимость основных энергетических параметров в задачах разработки импульсных устройств, учесть факторы, влияющие на развитие нелинейных процессов, предусмотреть их контроль и ограничить режимы работы с тем чтобы исключить их возникновение,

или обеспечить устройство оптимальной системой управления. Автором предложен программный комплекс на основе разработанных математических моделей и метода, позволяющий проводить исследование трехфазных импульсных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности на практике. Развитие методов численного моделирования и внедрение практики модельно-ориентированного проектирования для трехфазных импульсных преобразователей является актуальным и перспективным направлением исследования.

Таким образом, тематика рассматриваемой диссертации, связанная, во-первых, с разработкой математических моделей и численного метода, учитывающих нелинейные процессы в трехфазных импульсных преобразователях и, во-вторых, с изучением типовых нелинейных процессов и созданием метода, позволяющего снизить их влияние в рассматриваемых устройствах, является *весьма актуальной и новой*.

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы состоит в разработке новых математических моделей трехфазных импульсных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности, позволяющих повысить их эффективность с учетом протекающих в них нелинейных динамических процессах.

Для достижения цели в диссертации были поставлены следующие задачи:

- Математическое моделирование современных трехфазных импульсных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности.
- Разработка эффективного численного метода определения моментов коммутации в трехфазных импульсных преобразователях с коррекцией коэффициента мощности.
- Разработка программного комплекса на основе предложенной методики для расчета режимов и автоматизации разработки трехфазных импульсных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности с учетом влияния нелинейной динамики и его практическое применение для проведения исследований и решения задач расширения областей «проектных» режимов при

модельно-ориентированном проектировании трехфазных импульсных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности.

- Определение границ областей нелинейных динамических режимов, наблюдающихся в трехфазных импульсных преобразователях с коррекцией коэффициента мощности

- Разработка способов, позволяющих исключить влияние нелинейных процессов и расширить область работы современных трехфазных импульсных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности.

Все сформулированные в диссертации задачи успешно решены, а поставленная цель достигнута.

Основные научные результаты и их значимость для науки, экономики и общества.

Теоретическая значимость исследования состоит в решении важной и актуальной научной задачи - разработке методов, моделей и программ для исследования нелинейных динамических процессов в трехфазных импульсных преобразователях с коррекцией коэффициента мощности.

К новым научным результатам, вынесенным на защиту, определяющим научную новизну решенных задач и соответствующим пп: 1,2,4 паспорта специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», относятся следующие положения:

1. Предложены математические модели трехфазных импульсных преобразователей, базирующиеся на системах дифференциальных уравнений, описывающих нелинейные процессы в указанных объектах и отличающиеся от прототипов учетом нелинейности характеристик.

2. Предложен численный метод определения моментов коммутации трехфазных преобразователей, базирующийся на решении дифференциальных уравнений состояния преобразователя, который описывает нелинейные процессы в трехфазных преобразователях и отличается заменой интерполяционного уравнения многочленом Лагранжа второго порядка, что позволяет сократить

время расчета режимов на тактовом интервале работы трехфазного преобразователя без ущерба в точности полученных результатов.

3. Разработан программный комплекс для исследования нелинейных динамических процессов в трехфазных импульсных преобразователях с коррекцией коэффициента мощности, сформированный на основе требований к структуре интерфейса, базирующийся на разработанных математических моделях и отличающийся возможностью выбора типа преобразователя и анализа характеристик процессов нелинейной динамики рассматриваемых объектов.

Заявленные положения научной новизны в достаточной мере обоснованы и должны быть использованы для дальнейшего развития теории нелинейной динамики импульсно-модуляционных преобразователей, теории математического моделирования и силовой электроники.

Практическая значимость диссертационной работы подтверждена разработкой и внедрением на предприятиях, предложенных в ней новых научно-технических и программных решений, а именно: разработке и изготовлении промышленных преобразователей частоты с корректорами коэффициента мощности и силовых модулей для преобразователей специального назначения на предприятиях ООО «Фрекон», г. Томск и ЗАО «Группа Кремний ЭЛ», г. Брянск.

Также практическая значимость и эффективность использования полученных в диссертации результатов позволяет решить задачи нелинейной динамики, развить методы численного моделирования и модельно-ориентированного проектирования для трехфазных импульсных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности и использовать результаты исследования для разработки методов структурно-параметрической идентификации и автопостроения поведенческих и мультифизических моделей интегральных схем и созданию на их базе программно-аппаратного измерительного комплекса при выполнении НИР по заданию Министерства образования и науки № 8.1729.2017/ПЧ.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций основана на факторе анализа логической структуры методов и

синтезе теоретических положений настоящей работы, верификации полученных результатов и предположений с использованием аппаратов: теории имитационного моделирования, теории дифференциальных уравнений, теории автоматического управления и поведенческого исследования нелинейных динамических систем.

Вторым фактором достоверности являются результаты широкой апробации исследований в профессиональной среде: на Международной научно-практической конференции «Актуальные задачи математического моделирования и информационных технологий» (2014 г., Сочинский государственный университет г. Сочи), международной научно-практической конференции «Научоёмкие технологии и инновации (XXI научные чтения)» (2014 г., БГТУ Шухова, Белгород), XI и XII Всероссийской научно-технической конференции «Динамика Нелинейных Дискретных Электротехнических и Электронных Систем» (2015, 2017 г, ЧГУ им. Ульянова г. Чебоксары). По результатам диссертации опубликовано 16 работ, из них 3 - в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ, получено 2 свидетельства Роспатента на программные продукты.

В диссертационной работе и автореферате достаточно корректно сделаны отсылки к авторам и коллективам, результатами работы которых воспользовался диссертант при получении собственных результатов.

Рекомендации по использованию результатов исследований. Предлагаются следующие перспективы использования разработанных методов, алгоритмов и программного обеспечения:

- Результаты имеют достаточно глубокую теоретическую обоснованность и могут быть использованы для расширения теоретической базы исследования нелинейной динамики импульсных преобразователей.
- Дальнейшее развитие разработанных в ней моделей на подобные представленному схемотехнические решения с использованием предложенного соискателем метода построения моделей.

- Разработанный метод и программный комплекс позволяют существенно сократить машинное время в задачах проектирования и анализа импульсных преобразователей аналогичных топологических устройств.

- Предложенный алгоритм управления нелинейной динамикой может быть развит и реализован в системах управления импульсных преобразователей.

Рекомендуемые предприятия для использования результатов исследований - ООО «Фрекон», г. Томск; ЗАО «Группа Кремний ЭЛ», г. Брянск, АО «НПЦ «Полус», г.Томск; АО «ЭлеСи», г.Томск; АО «СКТБ РТ», г.Великий Новгород; НПО «Андронидная техника» г. Москва И др.

Недостатки диссертации. К числу недостатков диссертационной работы можно отнести следующие положения

1. В главе 1 с формальной точки зрения мало представлен обзор существующих математических моделей и методов, применяемых в области силовой электроники, однако большое внимание уделяется вопросам современных топологий и проблем построения систем управления импульсными преобразователями.

2. В главе 2 автором был представлен и исследован ряд математических моделей с пропорциональным регулятором в цепи обратной связи системы управления преобразователей, однако существуют и другие более сложные регуляторы в системах управления такого вида преобразователей.

3. В диссертационной работе необходимо было более детально раскрыть алгоритмы построения бифуркационных картин с помощью программного комплекса «Phasesог». Диссертант ограничивается лишь примерами иллюстраций бифуркационных картин.

4. В диссертации желательно было бы представить в качестве примера многоцикловые и хаотические режимы во временной области при анализе бифуркационных явлений на основе представленных моделей.

В целом перечисленные замечания не снижают общей научной ценности диссертационной работы и могут быть учтены в ходе дальнейших исследований по рассматриваемой проблематике.

Заключение. Диссертационная работа Игоря Юрьевича Бутарева «Математическое моделирование и численный метод исследования нелинейной динамики трехфазных импульсных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» актуальна, имеет научную новизну и практическую ценность, соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Российской Федерации к кандидатским диссертациям. Диссертантом корректно поставлена и успешно решена актуальная научная задача повышение эффективности трехфазных импульсных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности на основе учета протекающих в них нелинейных динамических процессов. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. Основные положения диссертации полно отражены в публикациях и научных докладах. Автор диссертационной работы Игорь Юрьевич Бутарев заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Результаты диссертации и отзыв обсуждены и одобрены на экспертном научно-техническом семинаре кафедры «Промышленная электроника» ФГБОУ ВО «ТУСУР», протокол №14 от 22 февраля 2019 года.

Заведующий кафедрой
«Промышленная электроника»
ФГБОУ ВО «ТУСУР»
Доктор технических наук

Сергей Геннадьевич Михальченко

28 февраля 2019 г.

634050, г. Томск, пр. Ленина, 40
Телефон: (382-2)41-44-79
E-mail: msg@ie.tusur.ru

Подпись *Михальченко С.Г.*
УДОСТОВЕРЯЮ
ученый секретарь
Е.В. Прокопчук
Е.В. Прокопчук