

ОТЗЫВ официального оппонента

доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой
«Промышленная электроника» ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
университет имени И.Н.Ульянова»

Белова Геннадия Александровича

на диссертацию 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»

Актуальность темы диссертации

Математическое моделирование динамических процессов в преобразовательной технике является на сегодняшний день одним из наиболее популярных направлений в исследованиях и разработках устройств преобразовательной техники. Научные изыскания привели к развитию схемотехники и улучшению характеристик мощных трехфазных преобразователей, применяемых в источниках бесперебойного питания (ИБП), электромобилях и т.д. Полупроводниковые преобразователи энергии с замкнутыми системами управления относятся к нелинейным дискретным системам, общая теория которых быстро развивается, однако в ней имеется много нерешенных проблем. Нелинейные динамические процессы в трехфазных преобразователях с коррекцией коэффициента мощности, исследованию которых посвящена диссертация, до сих пор в литературе практически не рассматривались. Поэтому тема диссертации, безусловно, актуальна.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 122 наименований, пяти приложений. Объем диссертации составляет 160 страниц, в том числе 45 рисунков и четыре таблицы.

Обоснованность научных положений, выводы и рекомендации

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определены цель и задачи, научная новизна и практическая значимость результатов, выносимые на защиту научные положения, отмечен личный вклад автора.

Первая глава диссертации посвящена анализу современного состояния математического моделирования устройств и систем преобразовательной техники, классификации существующих трехфазных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности. Описаны известные принципы синтеза систем управления такими преобразователями. Обоснованы решаемые в диссертации задачи (необходимость разработки математических моделей, учитывающих влияние нелинейных процессов в реальных устройствах и позволяющих производить бифуркационный анализ, а также методов быстрого построения диаграмм работы на основе разработанных моделей) и поставлена научная задача по созданию программного комплекса, позволяющего проводить синтез и исследование трехфазных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности с использованием разработанных математических моделей.

Во второй главе предложены поведенческие математические модели исследуемых трехфазных импульсных преобразователей с использованием П-регулятора в системе управления, описан алгоритм разработки математических моделей, позволяющий применить его для рассматриваемых в работе преобразователей. Представлен математический метод, применяемый для снижения машинного времени при расчётах режимов работы представленных трехфазных преобразователей с помощью ранее описанных моделей. Интересно решение нелинейных алгебраических уравнений методом Мюллера, обладающего простотой и быстрой сходимостью, и распространение этого метода на нелинейные уравнения с двумя переменными.

Третья глава посвящена разработке программного комплекса (ПК), объединяющего в себе представленные математические модели, описанию его функционирования и сравнению представленного ПК с имитационными блочными моделями по степени адекватности получаемых результатов и быстродействию.

В четвертой главе проведено исследование нелинейных динамических процессов с помощью программного комплекса и разработанных моделей, даны оценки областей безопасной работы и представлены характеристики расположения бифуркационных границ на параметрических картах преобразователей, предложен и реализован алгоритм управления нелинейной динамикой, позволяющий расширить области безопасной работы и улучшить характеристики преобразователя.

В заключении представлены основные результаты диссертационного исследования.

В приложениях приведены документы об апробации и внедрении результатов исследования, описан программный код разработанного комплекса, представлены дополнительные данные по математическим зависимостям в предложенных моделях.

Можно считать, что в рассмотренных разделах диссертации дано обоснование основных научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации.

На защиту автором выносятся следующие положения.

1. Математические модели трехфазных импульсных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности, описывающие нелинейные процессы в указанных объектах.

2. Численный метод определения моментов коммутации, базирующийся на решении дифференциальных уравнений описания нелинейных процессов

в трехфазных импульсных преобразователях с коррекцией коэффициента мощности.

3. Программный комплекс для исследования нелинейных динамических процессов в трехфазных импульсных преобразователях с коррекцией коэффициента мощности.

Достоверность научных положений и выводов

Достоверность полученных в работе результатов обеспечивается корректным использованием методов исследования и подтверждается результатами проведенной экспериментальной проверки и эксплуатации разработанных и внедренных результатов диссертации в различных организациях, а также результатами практического внедрения и использования.

Научная новизна и практическая значимость полученных результатов

Сущность предлагаемого автором решения актуальной научной задачи разработки моделей, программ и способов для исследования нелинейных динамических процессов в трехфазных импульсных преобразователях с коррекцией коэффициента мощности относится к моделированию устройств силовой электроники с использованием теории нелинейной динамики и теории автоматического управления.

Наиболее важными результатами диссертационной работы, обладающими **научной новизной**, являются следующие.

1. Разработаны и исследованы математические модели, учитывающие проявление нелинейных процессов в трехфазных импульсных преобразователях с коррекцией коэффициента мощности.

2. Представлен численный метод определения моментов коммутации силовых ключей преобразователей, применяемый для сокращения

машинного времени при расчётах нелинейных режимов работы представленных трехфазных преобразователей на основе разработанных моделей.

3. Создан программный комплекс для исследования нелинейных динамических процессов при проектировании трехфазных импульсных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности, базирующийся на разработанных математических моделях и отличающийся возможностью анализа характеристик процессов нелинейной динамики рассматриваемых объектов.

Представленные численные методы могут быть применены к существующим моделям других схем преобразователей, что безусловно делает их универсальными и вносит заметный вклад в решение задач по моделированию преобразовательных устройств. В работе приведены результаты экспериментальной проверки разработанного программного комплекса с блочно-имитационными моделями и дана оценка его эффективности.

Все научные результаты являются в достаточной мере обоснованными, достоверными и соответствуют пунктам областей исследований, определенным паспортом специальности 05.13.18 и заявленным в автореферате и тексте диссертации.

Результаты оценки эффективности разработанного программного комплекса позволяют его применять в реальных условиях работы инженера-проектировщика устройств силовой преобразовательной техники.

Помимо этого, разработанные автором модели, алгоритмы и способы уже нашли применение в рабочем процессе предприятий ООО «Фрекон», г. Томск и ЗАО «Группа Кремний ЭЛ», г. Брянск при изготовлении промышленных преобразователей частоты с корректорами коэффициента мощности и силовых модулей для преобразователей специального

назначения. Это позволяет говорить о **практической значимости** диссертационной работы.

***Соответствие содержания автореферата основным положениям
диссертации***

Диссертация и автореферат написаны технически и литературно грамотным понятным языком. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

Подтверждение опубликования результатов исследования

По материалам диссертации опубликовано 16 печатных работ, среди которых три статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ. Автором было получено два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ в рамках диссертационного исследования. Работы автора, опубликованные в открытых научных изданиях, в достаточной степени отражают содержание диссертации. Все полученные автором результаты, обладающие признаками научной новизны, отражены в статьях, опубликованных в журналах из Перечня ВАК РФ.

Замечания официального оппонента по диссертационной работе

Диссертация Бутарева И.Ю. представляет собой самостоятельно выполненную оригинальную научно-исследовательскую работу, посвященную решению актуальной научной задачи. Диссертация содержит оригинальные теоретические и практические результаты.

По работе следует отметить следующие замечания.

1. Рассматриваются замкнутые системы управления с пропорциональным регулятором, в то время как на практике обычно применяются более сложные алгоритмы управления.

2. Недостаточное внимание уделено описанию работы программного комплекса «Phasecor», его разработке, интеграции математических моделей и методов в нём.

3. На рис.2.5 следовало бы показать структуру схемы замещения рассматриваемых понижающе-повышающих преобразователей с учетом трехфазного неуправляемого выпрямителя на входе источника.

4. Из представленного материала не вполне ясно насколько широка степень применимости алгоритма подавления нелинейных процессов для других схем импульсных преобразователей, описанных в главе 1.

5. В списке литературы следовало бы указать работы Е.Е. Чаплыгина, опубликованные в журналах «Электричество» и «Электротехника», в которых рассматривается работа и характеристики силовых частей трехфазных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности.

6. Некорректно записаны формулы (2.11), (2.12), (2.14) в диссертации и формула (2) в автореферате, в которых содержится деление на матрицу, что противоречит правилам действий с матрицами.

7. Имеется ряд пунктуационных, орфографических и стилистических неточностей в оформлении диссертационной работы

В целом, сделанные замечания не снижают высокого уровня оценки проделанной соискателем работы и не влияют на положительное мнение официального оппонента о ней.

Заключение

Диссертационная работа Бутарева И.Ю. соответствует специальности 05.13.18 (пп. 1, 2, 4 паспорта специальности) и представляет собой научно-квалификационную работу, результатом которой является решение важной задачи актуального направления в моделировании устройств и систем преобразовательной техники. Работа обладает научной новизной и

практической значимостью, в достаточной степени освещена в печати. Разработанное программное обеспечение прошло государственную регистрацию. Результаты работы нашли применение в учебном процессе Брянского государственного технического университета и на специализированных предприятиях ООО «Фрекон», г. Томск и ЗАО «Группа Кремний ЭЛ», г. Брянск. Автореферат в достаточной степени отражает основные положения и выводы диссертации.

В целом представленная диссертация соответствует предъявляемым к кандидатским диссертациям требованиям, установленным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. от 30.07.2014) в части раздела II пункта 9, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Бутарев Игорь Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент

заведующий кафедрой «Промышленная электроника» федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Чувашский государственный университет имени И.Н.Ульянова», доктор технических наук, профессор

Геннадий Александрович Белов

07 марта 2019 г.

Контактные данные официального оппонента

Адрес: 428015, Россия, Чувашская Республика, г. Чебоксары, пр-т Московский, д. 15,
Email: promelchuvsu@mail.ru
Телефон: +79603010921

