

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д212.021.03,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 26 марта 2019 года №3

О присуждении Бутареву Игорю Юрьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Математическое моделирование и численный метод исследования нелинейной динамики трехфазных импульсных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности» по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите 23 января 2019 года (протокол заседания № 1) диссертационным советом Д 212.021.03 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 241035, Россия, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7, созданным приказом № 714/нк от 02.11.2012 г.

Соискатель Бутарев Игорь Юрьевич, 1991 года рождения.

В 2013 году окончил Брянский государственный технический университет по специальности «Промышленная электроника» со специализацией по силовой электронике.

В 2016 г. окончил очную аспирантуру Брянского государственного технического университета по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в промышленности)».

В настоящее время соискатель работает научным сотрудником в научно-исследовательской лаборатории автоматики, телемеханики и метрологии в ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», г.Брянск.

Диссертация выполнена на кафедре «Электронные, радиоэлектронные и электротехнические системы» в ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», г.Брянск.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Потапов Леонид Алексеевич, руководитель НИЛ АТМ ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет».

Официальные оппоненты:

Белов Геннадий Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленная электроника» ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»;

Безик Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электроэнергетики и автоматики ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» в своем положительном отзыве, подписанном Михальченко Сергеем Геннадьевичем, д.т.н., заведующим кафедрой «Промышленная электроника» ФГБОУ ВО «ТУСУР» указала, что значимость результатов исследований для науки и практики заключается в решении важной задачи - разработке методов, моделей и программ для исследования нелинейных динамических процессов в трехфазных импульсных преобразователях с коррекцией коэффициента мощности. Результаты исследований позволяют использовать предложенные математические модели трехфазных импульсных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности, численный метод определения моментов коммутаций и разработанный

программный комплекс в задачах исследования нелинейных динамических процессов в указанных объектах и оптимизации подбора их параметров.

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.

Диссертационная работа И.Ю. Бутарева, 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. Автор диссертационной работы И.Ю. Бутарев заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 — «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Соискатель имеет 25 опубликованных работ общим объемом 15,5 п.л., из них авторских 7,1 п.л., в том числе 16 по теме диссертации, 3 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК РФ. Кроме этого, получено 2 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ. Публикации, в том числе, написанные с соавторами, отражают результаты, полученные непосредственно автором.

Наиболее значимые научные работы, отражающие основные положения диссертации:

1. Бутарев, И.Ю. Математическая модель трехфазного корректора коэффициента мощности на основе инвертора напряжения / Вестник БГТУ - Брянск, БГТУ - №3 - 2016 - С.36-42.

Предложена математическая модель трехфазного корректора коэффициента мощности на основе схемы повышающего преобразователя. На основе

предложенной модели проведены исследования нелинейной динамики с помощью параметрических бифуркационных диаграмм.

2. Андриянов А.И. Алгоритм многопараметрического управления нелинейной динамикой импульсных преобразователей на основе линеаризации отображения Пуанкаре/ А.И. Андриянов, И.Ю. Бутарев // Известия вузов. Электроника – №6 (110) – 2014 – С. 51-59.

Представлен алгоритм управления нелинейной динамикой импульсных преобразователей в области мультстабильности. Предложена его функциональная реализация, описаны основные компоненты схемы обратной связи с таким алгоритмом.

3. Андриянов А.И. Сравнительный анализ систем управления с составными преобразователями напряжения по конфигурации первых бифуркационных границ/ А.И. Андриянов, И.Ю. Бутарев, А.А. Малаханов // Электротехнические комплексы и системы управления, №2, 2015. – С. 55-64.

Представлен бифуркационный анализ составных преобразователей, построены варианты диаграмм бифуркационных границ.

4. Андриянов, А.И. Обеспечение проектных динамических режимов непосредственного понижающего преобразователя. / А.И. Андриянов, И.Ю. Бутарев, А.С. Потапов // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых - 2013 [Текст]: материалы Международной молодежной научной конференции (13-15 ноября 2013 года), в 6-х томах, Том 6, Юго-Зап. гос. ун-т., А.А. Горохов, Курск, 2013, .С.29-34.

Введено понятие проектного динамического режима импульсных преобразователей и его свойств. Рассмотрены на примере понижающего преобразователя границы проектных режимов и характеристики бифуркационных границ.

5. Бутарев, И.Ю. Исследование аварийных режимов в трехфазном корректоре коэффициента мощности / И.Ю. Бутарев, Д.А. Крестниковский // “САПР и моделирование в современной электронике”. Сборник научных тру-

дов I международной научно-практической конференции, Брянск, 22–23 ноября 2017 г. Под ред. Л.А. Потапова, А.Ю. Дракина - Брянск, БГТУ - 2017г. - С. 162-169.

На основе математической модели трехфазного импульсного преобразователя с коррекцией коэффициента мощности, учитывающей нелинейные процессы, произведено моделирование аварийных режимов работы, даны рекомендации по подбору параметров преобразователя.

6. Andryanov, A. I. Mathematical modeling of nonlinear dynamics of single phase power factor correction / A. I. Andryanov, I. Yu. Butarev // Modeling of artificial intelligence / научный издательский дом "Исследователь" (Сочи), 2014 - №4 –С.152-158.

Произведено математическое моделирование нелинейной динамики однофазного корректора мощности, приведены бифуркационные диаграммы, выяснены границы проектного режима.

7. Свид. 2017660070 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Программа расчета систем уравнений с помощью многомерного метода Мюллера / Андриянов А. И., Бутарев И.Ю.; заявитель и правообладатель ГБОУ ВО БГТУ (RU). - 18 2017660070; заявл. 17.07.2017; опубл. 14.09.2017, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.

Предложена программа расчета систем уравнений на языке Matlab для определения моментов коммутации на тактовом интервале преобразователя на основе многомерного обобщения метода Мюллера.

8. Свид. 2017660073 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Программа моделирования динамики трехфазных корректоров коэффициента мощности / Андриянов А. И., Бутарев И.Ю.; заявитель и правообладатель ГБОУ ВО БГТУ (RU). - 2017660073; заявл. 17.07.2017; опубл. 14.09.2017, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.

Представлен исходный код программного комплекса «Phasesog» на языке Matlab, позволяющего проводить моделирование динамики трехфазных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы, все отзывы положительные. В них отмечается актуальность работы, важность и новизна полученных научных результатов, практическая значимость работы.

1. ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» (ИТМО). Отзыв подписал Пыркин Антон Александрович, д.т.н., профессор, декан факультета систем управления и робототехники, профессор факультета систем управления и робототехники. Замечания: 1. В автореферате недостаточно полно представлена математическая модель выбранного трехфазного преобразователя. 2. Полученный эффект от внедрения предлагаемого автором алгоритма в реальные трехфазные импульсные преобразователи раскрыт недостаточно подробно.

2. ФГКВОУ ВО «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации». Отзыв подписал Двилянский Алексей Аркадьевич, к.т.н., старший преподаватель кафедры «Электроника и теория связи». Замечания: 1. В автореферате автором недостаточно полно описаны выносимые на защиту математические модели выбранного трехфазного преобразователя, что затрудняет оценку их достоверности и последующую реализацию в виде разработанного численного метода определения момента коммутации и программного комплекса на его основе. 2. Слабо раскрыт достигаемый от применения разработанных моделей, численного метода и программного комплекса эффект при реальной работе трехфазных импульсных преобразователей.

3. ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет». Отзыв подписали д.т.н., профессор, зав. каф. вычислительной и прикладной математики, декан факультета вычислительной техники Пылькин Александр Николаевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры промышленной электроники Трубицын Андрей Афанасьевич. Замечания: 1. В автореферате не

очень подробно отражен разработанный автором диссертации численный метод определения моментов коммутации трехфазных преобразователей, позволяющий ускорить процесс расчетов режимов работы без снижения достоверности полученных результатов. Описано только на каком математическом аппарате основан предложенный метод и результат его работы в моделях.

4. ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». Отзыв подписал, д.т.н., профессор, директор института автоматизации и информационных технологий, действительный член АИН РФ, РАЕН Громов Юрий Юрьевич. Замечания: 1. Предложенный алгоритм, позволяющий управлять нелинейной динамикой преобразователей, представлен недостаточно подробно. 2. Не описаны существующие математические модели исследуемых трехфазных устройств и программные комплексы, в которых возможна работа с существующими моделями. 3. На рисунке 2 составляющие программного комплекса «Phasesog» не описаны в тексте автореферата.

5. ФГБОУ ВО «МГТУ имени Н.Э. Баумана». Отзыв подписал д.ф.м.н., профессор, заведующий кафедрой РК6 (САПР) Карпенко Анатолий Павлович. Замечание: 1. Судя по автореферату диссертации, в работе не нашли место исследования по влиянию различных типов регуляторов в цепях обратной связи на характеристики бифуркационных областей и ограничений режимов работы трехфазных корректоров.

6. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет». Отзыв подписал д.т.н., доцент, профессор кафедры теоретических основ электротехники Парфенов Евгений Владимирович. Замечания: 1. Математические модели исследуемых преобразователей в автореферате следовало бы описать более подробно 2. Из автореферата не ясно, какие характеристики устройств можно исследовать в бифуркационном анализе с помощью разработанного программного комплекса.

7. ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова». Отзыв подписал д.т.н., профессор, профессор кафедры

технологии машиностроения Чепчуров Михаил Сергеевич. Замечания: 1. Автор значительный объем автореферата посвящает разработанному им программному продукту, но не приводит его алгоритма, что снижает понимание работы. 2. Почему автор упоминает коммерческий продукт MATLAB, хотя другие, не коммерческие приложения, поддерживают, подобный используемому, язык программирования, например: Scilab.

8. ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет». Отзыв подписали д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Автоматика и управление в технических системах» Митрошин Владимир Николаевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Автоматика и управление в технических системах» Щетинин Владимир Георгиевич. Замечания: 1. Особенности физических процессов, моделей и законов управления, накладываемые режимами коррекции коэффициента мощности, в автореферате не выделены. 2. Из автореферата непонятна структура и состав программного пакета «Phasacor». 3. В главе 3 приведена структура адаптивной САУ, однако алгоритм функционирования контура адаптации и закон формирования корректирующих сигналов в автореферате не приведены.

9. Филиал ФГУП «Главный радиочастотный центр» в центральном федеральном округе. Отзыв подписал д.т.н., профессор, заместитель начальника управления по Орловской области филиала ФГУП «Главный радиочастотный центр» в Центральном федеральном округе Фисун Александр Павлович. Замечания: 1. Желательно проведение сравнительного бифуркационного анализа осуществлять не только по параметру коэффициента обратной связи регулятора, но и по таким как индуктивность дросселей, ёмкость конденсатора и другим. 2. Недостаточная детализация представленной математической модели исследуемого трехфазного преобразователя.

В отзывах официальных оппонентов и отзыве ведущей организации отмечаются следующие замечания.

Замечания официального оппонента Белова Г.А.:



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 «Phasesog», 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.

Замечания официального оппонента Безика Д.А:

1. На рис. 4.20 - 4.22 проведено сравнение бифуркационных диаграмм для различных выходных напряжений. Следовало привести эти диаграммы для одинаковых рабочих параметров.

2. При выборе параметров модели для проверки программного комплекса были выбраны не очень удачные параметры (слишком большое значение активного сопротивления дросселей).

3. Было бы желательно осуществить проверку адекватности модели в натурном эксперименте, а не путем сравнения с другими моделями.

4. В тексте присутствуют неточности в описании смысла переменных и синтаксические ошибки в формулах (формула (2.39) а и а, на стр.60 для  $\xi$ , нет расшифровки, стр. 84 циклическая частота представлена в герцах).

5. В автореферате в научной новизне не отражена разработка алгоритма адаптации параметров настройки регулятора.

Замечания ведущей организации:

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 «Phasecog». 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.

На все поступившие замечания Бутаревым И.Ю. даны исчерпывающие ответы. Авторы всех отзывов положительно оценивают диссертацию и считают, что работа отвечает всем требованиям ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, а Бутарев Игорь Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их способностью оценить научную и практическую ценность диссертации, так как официальные оппоненты являются высококвалифицированными специалистами в области систем управления и математического моделирования силовой электроники, имеют научные публикации, соответствующие данному направлению, а ведущая организация широко известна своими научными и практическими достижениями в области исследования нелинейных динамических процессов в системах управления преобразовательной техникой и математического моделирования электроники.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Предложена математическая модель трехфазных импульсных преобразователей, базирующиеся на системах дифференциальных уравнений, описывающих нелинейные процессы в указанных объектах и отличающиеся от аналогов учетом нелинейности характеристик.

2. Предложен численный метод определения моментов коммутации трехфазных преобразователей, базирующегося 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 при проектировании трехфазных импульсных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности, сформированный на основе требований к структуре интерфейса, базирующийся на разработанной математической модели и отличающийся возможностью выбора типа преобразователя и анализа характеристик процессов нелинейной динамики рассматриваемых объектов.

Теоретическая значимость исследования состоит:

- в решении важной и актуальной научной задачи - разработке новой математической модели трехфазных импульсных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности, позволяющей повысить эффективность преобразователей на основе учета протекающих в них нелинейных динамических процессов;

- полученные результаты теоретических исследований открывают возможность улучшения характеристик разрабатываемых трехфазных импульсных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности с помощью бифуркационного анализа в разработанном автором программном комплексе;

- исследования позволяют применять в новом алгоритме управления трехфазными импульсными преобразователями учитывать степень влияния бифуркационных явлений в них.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается следующими результатами:

- программный комплекс, математическая модель и численный метод определения времени коммутаций на тактовом интервале внедрены в процесс изготовления промышленных преобразователей частоты с корректорами коэффициента мощности на ООО «Фрекон», г. Томск;

- результаты диссертационной работы применяются в разработке силовых модулей для импульсных преобразователей ЗАО «Группа Кремний ЭЛ», г. Брянск;

- результаты диссертационной работы использованы для разработки методов структурно-параметрической идентификации и созданию на их базе программно-аппаратного измерительного комплекса при выполнении НИР по заданию Министерства образования и науки № 8.1729.2017/ПЧ;

- программный комплекс применяется при обучении в Брянском государственном техническом университете студентов следующих направлений подготовки: 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (профиль – Промышленная электроника), в курсах «Теория нелинейных импульсных систем» и «Импульсно-модуляционные системы».

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

- для экспериментальных работ применены методы математического моделирования динамических процессов с использованием программного комплекса «Phaselog» и проведен сравнительный анализ полученных результатов с имитационными моделями из компонентов библиотеки Sim Power Systems с использованием программного комплекса Matlab Simulink;
- методика создания математической модели трехфазных импульсных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности основана на анализе логической структуры методов и синтезе теоретических положений настоящей работы, верификации полученных результатов;
- результаты, положения и сделанные выводы получены автором с использованием аппаратов: теории имитационного моделирования, теории дифференциальных уравнений, теории автоматического управления и исследования нелинейных динамических систем.

Личный вклад соискателя состоит в развитии теории математического моделирования трехфазных импульсных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности, разработке нового математического метода расчета моментов коммутации силовых ключей на тактовом интервале работы, создании нового программного комплекса для проектирования различных импульсных преобразовательных систем, разработке нового алгоритма управления нелинейной динамикой трехфазных импульсных преобразователей.

Автором в диссертации сформулирована и решена важная научно-техническая задача математического моделирования трехфазных импульсных преобразователей с коррекцией коэффициента мощности.

Диссертационная работа Бутарева И. Ю. соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней ВАК РФ, в ней отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, а её автор

заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

На заседании 26 марта 2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Бутареву И.Ю. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 6 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 20, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель

диссертационного совета

– Аверченков Владимир Иванович

Ученый секретарь

диссертационного совета

Рытов Михаил Юрьевич

26 марта 2019 г.

