

УТВЕРЖДАЮ:



Проректор по науке и инновациям

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», д.т.н.

Комаров И.И.

«25» ноября 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» на диссертационную работу Лукошина Ильи Владимировича на тему «Полумостовой преобразователь постоянного повышенного напряжения с фазовым регулированием», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы»

Актуальность темы диссертационной работы

Развитие гражданской и военной авиации характеризуется устойчивой тенденцией к увеличению количества и мощности бортовых потребителей электроэнергии. Одним из ключевых направлений для снижения массы летательных аппаратов и повышения энергоэффективности является внедрение систем электроснабжения постоянного тока повышенного напряжения ± 270 В. Это, в свою очередь, требует разработки компактных, высокоэффективных и надежных преобразователей напряжения (ППН), отвечающих строгим авиационным требованиям.

В связи с этим тема диссертации, посвященная созданию и исследованию высоковольтного полумостового ППН с фазовым регулированием, является актуальной и имеет важное научно-техническое значение для авиационной и смежных отраслей промышленности.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемых источников и трех приложений. Основная часть работы содержит 137 страницы, в том числе 83 рисунка и 4 таблицы. Список используемых источников включает 113 наименований. Общий объем работы 140 страниц.

В первой главе выполнен комплексный анализ структур силовых каскадов ППН для перспективных систем электроснабжения летательных аппаратов. Рассмотрены достоинства и недостатки известных решений.

На основе проведенного анализа разработана новая перспективная структура четырехключевого силового каскада на основе схемы Царенко.

Предложены и проанализированы два эффективных алгоритма управления, обеспечивающих переключение при нуле тока и при нуле напряжения.

Вторая глава посвящена разработке устройства управления с алгоритмом фазовой ШИМ.

Выявлены принципиальные проблемы существующих контроллеров, обусловленные «логическими гонками». Предложена и исследована оригинальная схема ШИМ-контроллера на основе двух D-триггеров с перекрёстными связями, исключающая указанные недостатки.

Разработаны функциональная и принципиальная схемы контроллера, представлены результаты его компьютерного моделирования, подтверждающие работоспособность предложенных схемотехнических решений.

В третьей главе разработаны методы, гарантирующие безопасную работу в аварийных и переходных режимах.

Решены задачи обеспечения тактовой устойчивости, для чего предложен оригинальный метод введения корректирующего пилообразного напряжения в цепь обратной связи. Аналитические соотношения позволяют

рассчитать необходимую амплитуду корректирующего сигнала, который гарантирует устойчивую работу во всем диапазоне токов нагрузки.

Для симметрирования напряжения на конденсаторном делителе предложена авторская схема на основе управления частотой задающего генератора, обеспечивающая быстросрабатывающий контур балансировки.

Предложены и проанализированы методы защиты от неконтролируемого нарастания тока, в том числе двухуровневая защита с таймером. Данное решение исключает эффект интегрирования тока при коротком замыкании нагрузки, за счет обеспечения необходимого времени паузы, необходимого для спада тока.

В четвертой главе синтезированы и исследованы схемотехнические решения драйверов с трансформаторной гальванической развязкой, не требующих дополнительной подпитки вторичной стороны, что позволяет существенно снизить стоимость готового изделия. Разработаны и исследованы модели драйверов, доказавшие свою устойчивость к высоким значениям du/dt .

В пятой главе описаны экспериментальные исследования обратно-прямоходового полумостового преобразователя. Приведено описание экспериментальной установки и макетного образца. Представлены осциллограммы, подтверждающие работу силовых ключей в режиме ZVS, и графики, демонстрирующие высокий КПД (до 95%) разработанного преобразователя.

Апробация работы и публикации по диссертации

Основные результаты обсуждались и докладывались на «2024 IEEE 25rd international conference of young professionals in electron devices and materials (EDM)» (г. Чемал, РФ, 2024 г.); Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (МЭИ, г. Москва, 2024 г.); Международной научной

конференции L «Гагаринские чтения-2024» (г. Москва, РФ, 2024 г.); По теме диссертационной работы опубликовано 16 научных работ, включая 11 статей в журналах и изданиях, рекомендуемых ВАК РФ и 5 статей в изданиях, индексируемых международными базами Scopus и WoS. Получены в соавторстве 3 патента на изобретения.

Научная новизна исследований

При решении задач, поставленных в диссертационной работе, были получены следующие новые научные результаты:

1. Предложена новая структура четырехключевого трехуровневого силового каскада, предназначенного для работы в составе высоковольтных ППН перспективных систем электроснабжения летательных аппаратов.

2. Предложены и исследованы различные алгоритмы управления новой структурой ППН, проведен сопоставительный анализ их достоинств и недостатков.

3. Предложены схемотехнические решения для симметрирования режима перемagnetизации сердечника силового трансформатора и балансировки напряжений на конденсаторном делителе.

4. Предложены принципы построения устройств управления силовым каскадом ППН с различными видами ШИМ.

5. Предложены уникальные способы обеспечения безопасной работы полумостового четырех ключевого ППН в переходных и аварийных режимах.

6. Предложены принципы построения драйверов с трансформаторной гальванической развязкой для управления силовым каскадом полумостового ППН в режиме фазовой ШИМ.

Практическая значимость

Полученные в работе схмотехнические решения и результаты имеют значимое применение на практике, так как позволяют повысить стабильность работы преобразователей постоянного напряжения, что особенно важно в условиях, когда импорт качественных зарубежных решений затруднён.

Разработанные компьютерные модели и верифицированные решения позволяют создавать конкурентоспособные отечественные преобразователи постоянного напряжения для авиации.

Диссертационная работа содержит два акта внедрения от предприятий, а также акт внедрения в учебный процесс на кафедре 310 «Электроэнергетические, электромеханические и биотехнические системы» ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», что подтверждает практическую значимость.

Рекомендации по использованию результатов

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы организациями, занимающимися разработкой силовой электроники и преобразовательной техники в составе электрооборудования электротехнических комплексов и систем.

Автором систематизированы и расширены знания в области силовой электроники и драйверов силовых ключей. Эти материалы могут использоваться в ВУЗах в курсах «Силовая электроника», «Проектирование электротехнических устройств», «Схмотехника» и подобных.

Замечания и дискуссионные положения

1. Математический аппарат работы корректен, но некоторые выводы (например, условие устойчивости $K_3 < 0.5$) приведены без полного и подробного вывода, что может затруднить их воспроизведение.

2. Термограмма демонстрирует хороший тепловой режим, но в работе отсутствует описание методики теплоотвода и расчет тепловых режимов силовых элементов, что является важной частью проектирования.

3. Неполное описание методики экспериментальных исследований. В главе 5 описана установка, но недостаточно подробно раскрыты протоколы испытаний, особенно в аварийных режимах (например, методика создания и контроля режима короткого замыкания).

4. Ограниченность области применения предложенных драйверов. В главе 4 разработаны драйверы для работы в режиме фазовой ШИМ, но не исследована их работа с другими алгоритмами управления, что сужает потенциальную сферу их применения.

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Заключение по работе

1. Диссертационная работа Лукошина Ильи Владимировича представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, содержащую решение актуальной научно-технической задачи в области проектирования полумостовых преобразователей постоянного напряжения с гальванической развязкой для бортовых потребителей электроэнергии летательных аппаратов. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.4.2. - Электротехнические комплексы и системы.

2. Диссертационная работа Лукошина Ильи Владимировича «Полумостовой преобразователь постоянного повышенного напряжения с фазовым регулированием» по своему содержанию и полученным результатам удовлетворяет требованиям, установленным пунктами 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (с изменениями и дополнениями), а её автор заслуживает

присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.4.2. - Электротехнические комплексы и системы.

Диссертационная работа, автореферат и отзыв обсуждены и одобрены
на заседании кафедры Автоматизированного электропривода ФГБОУ ВО
«Национальный исследовательский университет «МЭИ» 18 ноября 2025
года, протокол №5.

Заведующий кафедрой Автоматизированного электропривода ФГБОУ ВО
«НИУ «МЭИ», доктор технических наук, профессор



Анучин Алексей Сергеевич

ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ

Начальник отдела управления
по работе с персоналом



Г. А. ЯРЕМЕНКО



Сведения о ведущей организации: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Национальный
исследовательский университет «МЭИ».

Адрес: 111250, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Лефортово,
ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1.

Тел. +7 495 362-75-60; факс +7 495 362-89-38

Электронная почта: universe@mpei.ac.ru. Сайт: <https://mpei.ru>

С отзывом ознакомлен

02.12.2025



Вукошин Ю. В.