

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.07

Соискатель: Щетинин Владимир Евгеньевич

Тема диссертации: Однофазные инверторы с многоячейковой структурой.

Специальность: 05.09.03 - «Электротехнические комплексы и системы»

Решение диссертационного совета по результатам защиты

диссертации:

На заседании 27 декабря 2017 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует паспорту специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» и удовлетворяет критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и принял решение присудить Щетинину Владимиру Евгеньевичу ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: *председатель диссертационного совета* Пенкин В.Т., *ученый секретарь диссертационного совета* Степанов В.С., члены диссертационного совета: Ковалев К.Л., Беспалов В.Я., Вольский С.И., Вышков Ю.Д., Ермаков С.А., Зечихин Б.С., Кириллов В.Ю., Копылов С.И., Кривилев А.В., Лалабеков В.И., Лёвин А.В., Лохнин В.В., Машуков Е.В., Мельников В.Е., Резников С.Б., Шевцов Д.А.

Ученый секретарь диссертационного

совета Д 212.125.07

Степанов В.С.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.07 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 27.12.2017 № 11

О присуждении Щетинину Владимиру Евгеньевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Однофазные инверторы с многоячейковой структурой» в виде рукописи по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» принята к защите 27 октября 2017 года, протокол № 7, диссертационным советом Д 212.125.07 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ), 125993, Российская Федерация, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д.4, утвержден приказом Минобрнауки России № 105/нк от 11.04.2012.

Соискатель Щетинин Владимир Евгеньевич, 1989 года рождения, гражданин Российской Федерации, в 2012 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по специальности «Управляющие, пилотажно-навигационные и электроэнергетические комплексы ЛА». В настоящее время работает руководителем отдела в ООО «КИТ» (г. Москва).

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный

институт (национальный исследовательский университет)» на кафедре 306 «Микроэлектронные электросистемы». В период подготовки диссертации с 2012 года соискатель обучался в очной аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по вышеназванной кафедре, окончил обучение в очной аспирантуре в 2016 году.

Научный руководитель – кандидат технических наук **Аверин Сергей Владимирович**, доцент, заведующий кафедрой 306 «Микроэлектронные электросистемы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

1. **Лукин Анатолий Владимирович**, гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, генеральный директор ЗАО "ММП-Ирбис";

2. **Овчинников Денис Александрович**, гражданин Российской Федерации, кандидат технических наук, первый заместитель генерального директора АО «Связь инжиниринг»;

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в своем положительном отзыве (заседание кафедры «Электротехнические комплексы автономных объектов и электрический транспорт НИУ «МЭИ» 23.11.2017, протокол №10/17), составленном ученым секретарем кафедры ЭКАОиЭТ, кандидатом технических наук, доцентом, Останиным Сергеем Юрьевичем, и утвержденном заведующим кафедрой ЭКАОиЭТ, кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником Румянцевым Михаилом Юрьевичем и доктором технических наук, профессором Ерёменко Владимиром Григорьевичем, Сергей Юрьевич указал, что диссертация представляет собой завершённую научно-квалификационную

работу, выполненную на актуальную тему, и соответствует требованиям пп. 9, 10 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Щетинин Владимир Евгеньевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы».

Соискатель имеет 8 опубликованных работ по теме диссертации, общим объемом 44 печатных листа. Из них 3 статьи опубликованы в журналах, входящих в утвержденный ВАК РФ Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации. Из 8 работ 2 опубликовано в соавторстве. В этих работах результаты получены либо автором лично, либо при непосредственном участии автора диссертационной работы.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. **Щетинин В. Е.**, Аверин С. В. Алгоритм формирования выходного напряжения многофазного инвертора с синусоидальной аппроксимацией включения ячеек // Вестник Московского авиационного института. 2015. Т.22. №4. С. 159-167.

2. **Щетинин В. Е.**, Аверин С. В. Алгоритм управления силовыми ключами многоячеечного инвертора в режиме ШИМ // Практическая силовая электроника. 2016. №62. С 35 – 43.

3. **Щетинин В.Е.** Сравнительный анализ формирования многоячейковых инверторов при четном и нечетном числе силовых ячеек // Вестник Московского авиационного института. 2016. Т.23. №3. С. 165-174.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- Двенадцатая международная конференция «АВИАЦИЯ И КОСМОНАВТИКА – 2013» г. Москва, 2013 год;
- Четырнадцатая международная конференция «АВИАЦИЯ И КОСМОНАВТИКА – 2015», г. Москва, 2015 год;

— XLII Международная молодёжная научная конференция «Гагаринские чтения - 2016», г. Москва, 2016 год;

— XLIII Международная молодёжная научная конференция «Гагаринские чтения - 2017», г. Москва, 2017 год.

На автореферат и диссертацию поступило 9 отзывов (все отзывы положительные).

Отзыв официального оппонента Лукина Анатолия Владимировича, гражданина Российской Федерации, доктора технических наук, профессора, генерального директора ЗАО "ММП-Ирбис" (111024, г. Москва, ул. Андроновское шоссе, д. 26). Отзыв положительный. Замечания следующие:

1. При обосновании актуальности исследований многоячейковой структуры инверторов недостаточно полно проведено ее сравнение с другими существующими структурами, например, с наиболее широко применяемой в промышленности структурой с параллельным соединением инверторов и N+1 резервированием. Отсутствие такого сравнения не позволяет точно определить области наиболее эффективного применения исследуемого в работе устройства.

2. В работе, по мнению оппонента, практически не рассмотрен вопрос надежности многоячейковой структуры инвертора, ограничившись только словами «...При этом же удастся обеспечить повышенную надежность инвертора, так как отказ любого базового модуля и его отключение внутренней схемой защиты будут приводить к некоторому уменьшению уровня выходного напряжения, появления несимметричных фазных и линейных напряжений, изменению их гармонического состава...» Вопрос надежности инверторов является основополагающим при построении источников и систем бесперебойного электропитания.

3. При расчетах высокочастотного трансформатора DC/DC преобразователя (конвертора) ничего не сказано об учете влияния на потери в меди и скин-эффекта и «эффекта близости» (стр.27).

4. На стр.103 при выборе компонентов для практической реализации инвертора, рекомендован подбор компонентов по прямому падению

напряжения, что категорически запрещено для изделий военной техники и экономически недопустимо для коммерческой продукции.

5. В тексте диссертации ряд номеров ссылок на источники информации не соответствует номерам в списке литературы (стр. 45, 48, 51).

Отзыв официального оппонента Овчинникова Дениса Александровича, гражданина Российской Федерации, кандидата технических наук, первого заместителя генерального директора АО «Связь инжиниринг» (115404, Россия, г. Москва, ул. 6-я Радиальная, д. 9). Отзыв положительный. Замечания следующие:

1. Уже на этапе анализа результатов компьютерного моделирования инвертора выявлено, что эффективность инвертора, построенного на нечетном числе ячеек выше. Непонятно зачем столько внимания уделяется менее эффективному варианту с четным числом ячеек.

2. Результаты сопоставления различных структур формирования многоячейкового инвертора носят обобщенный характер. Не приводятся результаты моделирования инвертора с разными структурами силовых ячеек.

3. На сегодняшний момент наиболее перспективными и распространенными являются DSP-микроконтроллер с 32 разрядной архитектурой. Автор использует в работе микроконтроллер с 16 разрядной архитектурой.

4. Не приведена технико-экономическая оценка внедрения разработанного алгоритма управления силовыми ключами инвертора.

5. Текст диссертации недостаточно вычитан. В частности, на стр.48, рис. 2.6-2.8 содержат не соответствующие тексту подписи осей.

6. Не приведены числовые результаты испытаний макета и их анализ. В частности, не показаны основные числовые характеристики: КНИ выходного напряжения, КПД. Выводы по перегреву транзисторов сделаны условно, не хватает осциллограмм режимов переключения транзисторов.

Отзыв ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», составленный ученым секретарем кафедры ЭКАОиЭТ, кандидатом технических наук, доцентом, Останиным Сергеем Юрьевичем, и утвержденном заведующим кафедрой ЭКАОиЭТ, кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником Румянцевым Михаилом Юрьевичем и доктором технических наук (111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, 14, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет МЭИ»). Отзыв положительный. Замечания следующие:

1. При моделировании исследованы процессы силовой части инвертора без использования модели управляющего микроконтроллера.
2. При рассмотрении инвертора с суммированием токов ячеек, вывод о массо-габаритных показателях не подтвержден расчетами.
3. На рисунках 2.9, 2.14, 2.15, 2.19 и 2.20, представленных во второй главе, на схеме не показаны обратные диоды транзисторных ключей.

Отзыв на автореферат Федерального государственного унитарного предприятия «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем» (125319, г. Москва, ул. Викторенко, 7), составленный кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником, начальником лаборатории Егоровым Евгением Георгиевичем. Отзыв положительный. Замечания следующие:

1. Отсутствие четкого сопоставления в числовых эквивалентах результатов компьютерного моделирования и экспериментальных исследований.
2. Также в работе не представлены результаты технико-экономической оценки от внедрения разработанного алгоритма в производство.

Отзыв на автореферат Федерального государственного унитарного предприятия "Московское опытно-конструкторское бюро "МАРС" (127473, г. Москва, 1-й Щемиловский пер., 16), составленный кандидатом технических

наук, начальников отдела, Марченко Михаилом Владимировичем. Отзыв положительный. Замечания следующие:

1. В автореферате при расчете массо-энергетических показателей не рассматривалось влияние разброса возмущений, поэтому результаты расчетов можно рассматривать только как оценочные.

2. В автореферате не хватает анализа предлагаемых алгоритмов в совокупности с анализом силовых структур.

Отзыв на автореферат общества с ограниченной ответственностью «Экспериментальная мастерская НаукаСофт» (129085, Москва, ул. Годовикова, 9 стр.1), составленный кандидатом технических наук, доцентом, главным конструктором – заместителем генерального директора Жмуровым Борисом Владимировичем. Отзыв положительный. Замечания следующие:

1. В автореферате отсутствуют результаты исследования и систематизации известных однофазных инверторов и их режимов работы, о чем заявлено в пункте 1 научной новизны.

2. В автореферате утверждается, что использование многоячейковых инверторов в сочетании с предложенным алгоритмом управления дает возможность уменьшить массу инвертора. Однако сравнив приведенные в автореферате рисунки 2 и 18 можно сделать вывод, что использование предложенного алгоритма не дает эффекта.

3. В автореферате сказано, что в работе проведен анализ современной отечественно элементной базы для реализации многоячейкового инвертора, исходя из особенностей его строения, но в автореферате перечислены конкретные компоненты из которых был изготовлен лабораторный макет.

4. В автореферате присутствуют некоторые опечатки и неточности, так например на странице 15 дана ссылка на выражение (3.8), отсутствующий в автореферате, также на странице 15 сказано, что согласно (4) определено значение γ , но скорее всего имелось в виду выражение (5). В автореферате дважды встречаются уравнения под номером (6), и др.

Отзыв на автореферат акционерного общества «Опытно-конструкторское бюро «Аэрокосмические системы» (141983, Московская область, г. Дубна, ул. Программистов, д. 4), составленный кандидатом технических наук, заместителем начальника отдела ВВФий Клыковым Антоном Владимировичем. Отзыв положительный. Замечания следующие:

1. В автореферате недостаточно полно отражен современный уровень научно-технического направления, в котором проводились исследования.
2. Описанные во второй главе тезисы нецелесообразности применения схемы построения инвертора с суммированием токов не подтверждены расчетами массогабаритных показателей.
3. В автореферате имеются опечатки, а также приведены трудночитаемые рисунки.

Отзыв на автореферат закрытого акционерного общества "ЭЛСИЭЛ" (125362 г. Москва, ул. Свободы, дом 35, стр. 32), составленный кандидатом технических наук, заместителем начальника лаборатории преобразовательной техники Коростелевым Дмитрием Сергеевичем. Отзыв положительный. Замечания следующие:

1. В автореферате не дано обоснование выбора данного типа и модели микроконтроллера.
2. Не обращено внимание на увеличение аппаратных затрат на дополнительные компоненты схемы управления инвертором с ростом числа ячеек.

Отзыв на автореферат публичного акционерного общества "Ракетно-космическая корпорация "Энергия" имени С.П. Королёва" (141070 г. Королёв, Московская обл., ул. Ленина, д. 4А), составленный доктором технических наук, начальником отдела Балакиным С. В. и кандидатом технических наук ведущим научным сотрудником Федоровым В.И. Отзыв положительный. Замечания следующие.

1. Не представлены параметры, позволяющие судить об эффективности предложенной методики расчета углов переключения силовых ключей многоячейкового инвертора.

2. Не представлен анализ полученных экспериментальных данных лабораторного макета, на котором не удалось достичь расчетной мощности 5кВА на единичную ячейку.

В дискуссии приняли участие:

Члены диссертационного совета: Вольский Сергей Иосифович, Резников Станислав Борисович, Левин Александр Владимирович, Ермаков Сергей Александрович, Лалабеков Валентин Иванович, Кириллов Владимир Юрьевич, Кривилев Александр Владимирович, Зечихин Борис Семенович.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются компетентными учеными в области диссертационного исследования, что подтверждается их научными публикациями. **Выбор ведущей организации обуславливается** широкой известностью ее достижений в области научных исследований по теме диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

— В результате **проведенного исследования** известных структурных функциональных и схемотехнических решений выявлены структуры, допускающие возможность использования для организации многопоточного преобразователя на базе многоячейкового инвертора. Проведенный **анализ** известных алгоритмов формирования выходных напряжений однофазных инверторов показал, что применение цифрового микропроцессорного управления имеет широкие возможности улучшения показателей инверторов.

— **разработана** методика расчета углов переключения силовых ключей многоячейкового инвертора, обеспечивающая равную нагруженность ячеек инвертора при стремлении к синусоидальной форме аппроксимированного выходного сигнала инвертора, **позволяющая** рассчитать углы переключения для четного и нечетного числа ячеек инвертора. При четном числе ячеек введен

коэффициент аппроксимации амплитуды, обеспечивающий сходимость и определенность расчетов углов переключения силовых ключей ячеек инвертора.

— **разработан** алгоритм формирования выходного напряжения многоячейкового инвертора, обеспечивающий равную нагруженность ячеек вне зависимости от их числа. Применение алгоритма **позволяет** создавать масштабируемые схемы многоячейковых инверторов без ограничений по числу ячеек с обеспечением равной нагрузки на составляющие ячейки.

— **разработана** компьютерная модель для оценки эффективности работы алгоритма управления силовыми ключами инвертора, которая **позволяет** проводить исследования параметров многоячейкового инвертора в установившихся и переходных режимах работы инвертора.

— в результате **проведенного анализа** современной элементной базы выбраны компоненты, применимые для реализации многоячейкового инвертора с учетом особенностей его структурных и алгоритмических решений. Разработанные схемотехнические решения позволяют удовлетворить поставленной задаче импортозамещения.

Теоретическая значимость работы обоснована тем, что:

— **Проведенная систематизация** известных структур однофазных инверторов и режимов их работы выявила структуры, эффективно применимые при построении многоячейковых инверторов. Также обоснована недостаточная эффективность многоячейкового инвертора с структурой суммирования токов ячеек.

— **Разработанная** методика расчета углов переключения силовых ключей многоячейкового инвертора обеспечивает формирование выходного напряжения инвертора для четного и нечетного числа ячеек. В случае четного числа ячеек введен коэффициент аппроксимации амплитуды. Методика **позволяет** формировать выходное напряжение инвертора, аппроксимированное к синусоидальному опорному сигналу.

— **Разработан** алгоритм формирования выходного напряжения, обеспечивающий равную нагруженность ячеек инвертора. Использование

алгоритма **позволяет** распределить в равной мере по времени нагрузку на ячейки инвертора вне зависимости от их числа.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

— разработанный программный код управления микроконтроллером, обеспечивающий формирование управляющих сигналов ключами инвертора реализует разработанный алгоритм и может быть использован при макетировании и реализации многоячейковых инверторов в промышленном производстве;

— на основе реализованного лабораторного макета инвертора проведены исследования мощностных характеристик инвертора, проверена практическая реализация разработанного алгоритма управления ключами инвертора, проведено исследование стабильности работы инвертора в части температурного режима работы и коррекции мощностных параметров посредством обратной связи;

— результаты диссертационной работы в части исследования результатов имитационного и компьютерного моделирования переходных и установившихся режимов в инверторах вторичной СЭС были использованы в НИР №46800—03060 и №51990—01060 кафедры 306 «Микроэлектронные электросистемы» Московского авиационного института (национального исследовательского университета).

Оценка достоверности результатов:

Достоверность теоретических исследований **подтверждена** корректностью исходных положений, приближений и преобразований, использованием апробированного математического аппарата, компьютерных программ, методов теории электрических цепей, электротехники, концепции многоячейковой структуры инверторов и логической обоснованностью выводов. Полученные результаты **подтверждены** компьютерным моделированием и физическими экспериментами.

Личный вклад соискателя состоит в следующем:

— разработка методики и алгоритма переключения силовых ключей инвертора, обеспечивающих приближение выходного напряжения инвертора к синусоидальной форме и обеспечивающего равную нагрузку ячеек инвертора.

— разработка алгоритма работы и программного кода управления микропроцессором, обеспечивающего управление силовыми ключами макета инвертора по разработанному алгоритму работы инвертора.

— реализация лабораторного макета многоячейкового инвертора, работающего по предложенному алгоритму. Проведено лабораторное нагрузочное тестирование.


На заседании 27 декабря 2017 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует паспорту специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» и удовлетворяет критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, и принял решение присудить Щетинину Владимиру Евгеньевичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы».

В диссертационной работе разработаны структурные и алгоритмические решения управления силовыми ключами многоячейкового инвертора, позволяющие увеличить мощность канала вторичной системы электроснабжения с использованием существующих импортозамещающих компонентов, внедрение которых вносит существенный вклад в развитие в Российской Федерации авиационно-космических и автономно-наземных систем электроснабжения.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 3 доктора и 1 кандидат технических наук по специальности 05.02.02, 7 докторов технических наук по специальности 05.09.01, 7 докторов технических наук по специальности 05.09.03, участвовавших в заседании, из 26 членов,

входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени - 18,
против присуждения ученой степени - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель диссертационного
совета Д 212.125.07, д.т.н.


_____ В.Т. Пенкин

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.125.07, к.т.н.


_____ В.С. Степанов

27.12.2017