

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д.212.173.03 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И
НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «28» декабря 2016 г., протокол № 4

**О присуждении Антонову Андрею Андреевичу, гражданину РФ,
ученой степени кандидата технических наук.**

Диссертация «Исследование и разработка субмикронных интегральных микросхем управления для мощных малогабаритных источников вторичного электропитания в режиме мягкой коммутации силовых ключей» по специальности 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах» принята к защите «27» октября 2016 г., протокол № 5, диссертационным советом Д.212.173.03 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Минобрнауки РФ, 630073, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, создан на основании приказа № 766/нк от 05.11.2013 г.

Соискатель Антонов Андрей Андреевич 1988 года рождения, в 2012 году окончил магистратуру в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по направлению «Электроника и микроэлектроника». В настоящее время работает инженером-конструктором в Обществе с ограниченной ответственностью «СибИС».

Диссертация выполнена в Обществе с ограниченной ответственностью «СибИС», частное предприятие.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, Грид-

чин Виктор Алексеевич, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра Полупроводниковых приборов и микроэлектроники, профессор.

Научный консультант – доктор химических наук, Васильев Владислав Юрьевич, Общество с ограниченной ответственностью «СибИС», заместитель генерального директора.

Официальные оппоненты:

1. Айзенштат Геннадий Исаакович, доктор технических наук, Акционерное общество Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов «НИИПП», начальник лаборатории;

2. Перов Геннадий Васильевич, кандидат технических наук, доцент, Акционерное общество Новосибирский завод полупроводниковых приборов с ОКБ «НЗПП с ОКБ», заместитель начальника ОКБ по научной работе, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Акционерное общество «Ангстрем» (АО «Ангстрем»), г. Зеленоград, г. Москва, **в своем положительном отзыве**, подписанном Минаевым Вячеславом Вениаминовичем, кандидатом физико-математических наук, секретарем НТС, и утвержденном Машевичем Павлом Романовичем, кандидатом технических наук, заместителем председателя НТС, **указала, что** «Диссертационная работа А.А. Антонова “Исследование и разработка субмикронных интегральных микросхем управления для мощных малогабаритных источников вторичного электропитания в режиме мягкой коммутации силовых ключей” является завершенным самостоятельным научным квалификационным исследованием, выполненным на достаточно высоком уровне, содержащем решения важных научно-практических задач по разработке отечественных субмикронных интегральных микросхем управления для современных источников вторичного электропитания. Представленная диссертационная работа соответствует критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24

сентября 2013 г. № 842, а ее автор диссертант А.А. Антонов достоин присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Соискатель имеет 25 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 24 работы, из них 9 работ в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендуемых ВАК РФ, 14 работ в материалах научно–технических конференций, 1 монография. Авторский вклад в опубликованных работах, в объеме 8,6 печатных листов, составляет не менее 70%.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Васильев В.Ю. Разработка источников вторичного электропитания, реализованных с использованием технологии «мягкой» коммутации ключей. Часть 1. Анализ информационных материалов и образцов источников питания / В.Ю. Васильев, Ю.Д. Козляев, И.В. Пичугин, Ю.Е. Семенов, С.М. Гордиенко, А.А. Антонов // Вестник СибГУТИ. – 2012. – Вып. 3. – С. 85–96.
2. Васильев В.Ю. Разработка источников вторичного электропитания, реализованных с использованием технологии «мягкой» коммутации ключей. Часть 2. Анализ схемотехнических решений источников питания модульного типа / В.Ю. Васильев, А.А. Антонов, И.В. Пичугин, С.М. Гордиенко // Вестник СибГУТИ. – 2013. – Вып. 1. – С. 75–84.
3. Васильев В.Ю. Разработка источников вторичного электропитания, реализованных с использованием технологии «мягкой» коммутации ключей. Часть 3. Разработка макета силового модуля источника питания / В.Ю. Васильев, А.В. Марков, А.А. Антонов, И.В. Пичугин // Вестник СибГУТИ. – 2013. – Вып. 2. – С. 75–85.
4. Васильев В.Ю. Разработка источников вторичного электропитания, реализованных с использованием технологии «мягкой» коммутации ключей. Часть 4. Преобразователь постоянного напряжения с формированием тока в звене инвертора / В.Ю. Васильев, Ю.Д. Козляев, Ю.Е. Семенов, А.А. Антонов, И.В. Пичугин // Вестник СибГУТИ. – 2013. – Вып. 4. – С. 35–46.

5. Васильев В.Ю. Разработка источников вторичного электропитания, реализованных с использованием технологии «мягкой» коммутации ключей. Часть 5. Исследование макета преобразователя постоянного напряжения / В.Ю. Васильев, А.А. Антонов, И.В. Пичугин, Ю.Д. Козляев, Ю.Е. Семенов // Вестник СибГУТИ. – 2014. – Вып. 1. – С. 64–74.
6. Антонов А.А. Интегральная микросхема драйвера «мягкой» коммутации силовых ключей для мощных источников электропитания / А.А. Антонов, М.С. Карпович, И.В. Пичугин, А.А. Курленко, В.Ю. Васильев // Нано- и микросистемная техника. – 2014. – № 6. – С. 37–42.
7. Антонов А.А. Разработка и верификация интегральной микросхемы драйвера «мягкой» коммутации силовых ключей для мощных источников электропитания / А.А. Антонов, М.С. Карпович, И.В. Пичугин, В.Ю. Васильев // Нано- и микросистемная техника. – 2015. – № 9. – С. 57–64.
8. Антонов А.А. Интегральная микросхема системы управления импульсными источниками электропитания с использованием технологии мягкой коммутации силовых ключей для снижения электромагнитных помех / А.А. Антонов, М.С. Карпович, И.В. Пичугин // Техника радиосвязи. – 2016. – Вып. 2 (29). – С. 34–45.
9. Монография. Источники вторичного электропитания с «мягкой» коммутацией силовых ключей / Под ред. Ю.Д. Козляева. – изд-во СО РАН, г. Новосибирск, 2014. – 114 с. [Соискатель совместно с коллективом авторов написал главы 1, 2, 3, 6, 7].

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Зверева Алексея Викторовича, кандидата физико-математических наук, научного сотрудника, Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, сделано 9 замечаний: *во-первых*, в автореферате отсутствует список цитируемой литературы, поэтому многочисленные утверждения автора в автореферате никак не подтверждены ссылками и неясно, как соотносятся с российским и мировым опытом; *во-вторых*, в Российской Федерации действуют стандарты ЕСКД, различные электрические схемы желательно выполнять в максимально возможном соответствии с этими стандартами; *в-*

третьих, «автор в разделе «научная новизна» утверждает что им впервые проведены экспериментальные подтверждения эффективности алгоритма МКСК. Как давно известен алгоритм МКСК?»; *в-четвертых*, «в положении, выносимом на защиту №1 автор отмечает единственность алгоритма МКСК для достижения изложенных характеристик. Столь строгое заявление требует доказательства невозможности существования другого подхода. Может ли автор сформулировать подобное доказательство?»; *в-пятых*, из автореферата не понятно, какое отношение к диссертации имеет упоминание о керамических печатных платах в положении, выносимом на защиту №3; *в-шестых*, «подписи на осях рисунка 4 не разборчивы, подпись к рисунку непонятная, из нее следует, что представлены зависимости напряжения и тока, а в тексте утверждается, что на этом рисунке приведены «эпюры» напряжения. Как результат, ценность представленной информации на рисунке несущественна, а сам рисунок ничего не подтверждает»; *в-седьмых*, в таблице 1 приведены параметры разработанных микросхем, однако непонятно по тексту, с какими решениями это сравнивается, когда называются улучшения в разы; *в-восьмых*, какие именно особенности работы МДП транзисторов, учитываемые в модели BSIM4 и не учитываемые в BSIM3, приводят к более точным расчетам характеристик устройств автора; *в-девятых*, может ли автор сообщить разброс величины напряжения ИОН между различными образцами.

2. Павленко Антона Владимировича, кандидата технических наук, научного сотрудника лаборатории 6-1, Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, сделано 4 замечания: *во-первых*, в положениях, выносимых на защиту, в пункте №3 указано: «Дополнительно требуются технологии производства печатных плат из многослойной керамики с проектными нормами 100 мкм и менее.», однако, для чего требуются подобные технологии в импульсных источниках питания в автореферате не отражено; *во-вторых*, в работе рассматривается прототип источника питания мощностью 2 кВт и 96% КПД, однако не указан диапазон рабочих напряжений и токов этого источника; *в-третьих*, на рисунке 4 значение по осям не читаются, по оси ординат не указана раз-

мерность; *в-четвертых*, на рисунке 10 а) представлена структурная схема источника внутренних напряжений ИМС (LDO), состоящая из блоков с буквенными сокращениями, сокращения в автореферате не расшифровываются и схема не обсуждается, делая этот рисунок бесполезным.

3. Малецкого Станислава Владимировича, кандидата технических наук, заместителя главного конструктора, и Жеребцова Даниила Олеговича, генерального директора, Закрытое акционерное общество "Инверсия", Новосибирск, замечаний нет. Приложен акт внедрения.
4. Игнатова Александра Николаевича, кандидата технических наук, профессора, академика МАС, заведующего кафедрой Технической электроники, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, *отмечено*, что «слишком мелкий шрифт на осях графиков, приведенных на рисунках 4,6,7,9».
5. Коняхина С.Ф., кандидата технических наук, члена-корреспондента АЭН РФ, главного конструктора систем преобразования электроэнергии, заместителя Главного конструктора, Акционерное общество "Аэроэлектромаш", *отмечено*, что «недостаточно оптимальный для зрительного восприятия размер обозначений на ряде рисунков в главе 2 и 3».
6. Ефимова Александра Андреевича, доктора технических наук, профессора кафедры управления в технических системах, ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, замечаний нет.
7. Левицкого Алексея Александровича, кандидата физико-математических наук, доцента, заведующего кафедрой "Приборостроение и наноэлектроника", ФГАОУ ВО "Сибирский федеральный университет", сделано два замечания: *во-первых*, из автореферата неясно, какие методы и средства моделирования использовались при разработке проектов интегральных микросхем драйверов источников питания по технологиям 180 и 250 нм; *во-вторых*, желательно оценить выходные параметры, обеспечиваемые микросхемой при использовании специального корпуса с теплоотводом.
8. Яковлева Андрея Николаевича, кандидата технических наук, заместителя

начальника НТК-7 по научной работе, Акционерное общество "Омский научно-исследовательский институт приборостроения" (АО "ОНИИП"), сделано пять замечаний: *во-первых*, утверждение, выносимое в положениях на защиту о том, что мягкая коммутация силовых ключей является единственным способом развития и миниатюризации источников вторичного электропитания является слишком категоричным, наверное, существуют и иные не менее эффективные методы, пусть и не известные в настоящее время; *во-вторых*, не достаточно четко и корректно сформулирована полученная научная новизна, в частности экспериментальные проверки достаточно трудно отнести к этому критерию; *в-третьих*, в тексте автореферата не отражены алгоритмы построения источников вторичного электропитания, которые являются объектом исследования; *в-четвертых*, из текста автореферата не ясно насколько проведенные исследования позволили улучшить параметры ИМС источников питания и собственно самих источников; *в-пятых*, не приведено достаточного обоснования выбранных топологических норм 180 и 250 нм.

Все отзывы положительные.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями в области разработки и производства интегральных микросхем и полупроводниковых приборов и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

1. Ведущая организация «Акционерное общество «Ангстрем»» много лет проводит разработки конкурентоспособных микросхем для малогабаритных источников вторичного электропитания на основе развития специальных технологий, а также силовых полупроводниковых устройств.
2. Д.т.н. Айзенштат Геннадий Исаакович, начальник лаборатории Акционерного общества Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов «НИИПП», известный специалист в области разработки высокочастотных полупроводниковых приборов, новой элементной базы.
3. К.т.н., доцент Перов Геннадий Васильевич, заместитель начальника ОКБ по научной работе Акционерного общества Новосибирский завод полупроводниковых приборов с ОКБ «НЗПП с ОКБ», является специалистом в области

технологии формирования структур интегральных устройств микро- и наноэлектронике, его работы связаны с проблемами верификации и тестирования интегральных схем, системами автоматизированного проектирования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан макет источника электропитания мощностью 2000 Вт, КПД более 95%, с малыми потерями энергии (менее 20 Вт на силовой ключ) на частоте коммутации более 200 кГц, построенный с применением мягкой коммутации силовых ключей при нуле напряжения с учетом эффекта Миллера;

показано, что в настоящее время мягкая коммутация силовых ключей является ведущей тенденцией дальнейшего развития и миниатюризации источников питания, а применение субмикронных управляющих ИМС в режиме мягкой коммутации силовых ключей – результативным способом повышения частоты коммутации более 1 МГц;

предложено использование субмикронных технологий с нормами 180 и 250 нм, которые позволяют создавать схемы управления с мягкой коммутацией силовых ключей, **показана** перспективность реализации на едином кристалле схемы управления, высоковольтных и устройств с высокой токовой нагрузкой, **представлена** совокупность алгоритмов реализации ИМС;

доказано, что, используя субмикронные технологии, возможно реализовать ИМС управления для ИВЭП, функционирующего на частоте до 1 МГц в режиме МКСК ZVS. Дополнительно требуются технологии производства печатных плат из многослойной керамики с проектными нормами 100 мкм и менее.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

подтверждена эффективность алгоритма мягкой коммутации силовых ключей при нуле напряжения с учетом влияния эффекта Миллера для входной емкости силового ключа;

экспериментально **показана** реальная возможность реализации интегральных устройств, реализующих данный алгоритм, на основе современных субмикронных микроэлектронных технологий с применением моделей более высо-

кого уровня проработки для достижения точных параметров разрабатываемого интегрального устройства.

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

определена совокупность алгоритмов, схемотехнических и топологических решений субмикронных ИМС, выполненных по двум современным субмикронным микроэлектронным технологиям, методики исследования и измерения характеристик ИВЭП и ИМС, реализованных в виде экспериментальных образцов, являющихся основой для проведения дальнейших разработок и опытно-конструкторских работ;

разработан макет высокоэффективного ИВЭП в режиме мягкой коммутации ZVS с учетом эффекта Миллера, определены конструктивно-технологические требования для создания ИВЭП следующих поколений;

разработан экспериментальный образец управляющего устройства – субмикронная ИМС драйвера ZVS, на основе которой возможно построить мощный малогабаритный ИВЭП с КПД более 95%, частотой коммутации более 300 кГц, высокой электросовместимостью;

разработаны и изготовлены по субмикронным технологиям 180 и 250 нм экспериментальные образцы блоков высокостабильного источника опорного напряжения, стабилизатора напряжения, тристабильного буферного усилителя, которые могут найти применение как в качестве составляющих блоков иных ИМС, так и в качестве самостоятельных законченных устройств;

результаты исследования **внедрены** в ЗАО «Инверсия» (Новосибирск) в разработку экспериментальных образцов ИВЭП средней мощности в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки (ПНИЭР «Разработка перспективных технологий и конструкций серии интегральных микросхем мультифункционального контроля и управления источниками вторичного электропитания энергоэффективных светодиодных систем», уникальный идентификатор RFMEFI57914X0089, 2014-2016, № госрегистрации 115011340023).

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

выполнено изготовление экспериментальных образцов кремниевых кристаллов ИМС по современным зарубежным технологиям ИМС 180 нм и 250 нм, воспроизводимость которых гарантируется на уровне не хуже 95%;

использовано сравнение полученных результатов с ранее известными, опубликованными в научной литературе;

установлено, что результаты, полученные в ходе исследования, согласуются с математическими расчетами и результатами моделирования;

в экспериментальных исследованиях **использована** современная база контрольно-измерительных средств и оборудования. Данные измерений и исследований многократно воспроизводились и анализировались.

Личный вклад соискателя состоит в:

моделировании и макетировании ИВЭП и управляющих устройств в режиме коммутации при нуле напряжения с учетом эффекта Миллера, разработке схемотехнического решения управляющего устройства, проведении измерений и испытаний, анализе и обобщении полученных результатов.

На заседании 28 декабря 2016 г. диссертационный совет принял решение присудить Антонову Андрею Андреевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 10 докторов наук по специальности 05.27.01, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту нет человек, проголосовали: за 17, против 1, недействительных бюллетеней 1.

Заместитель председателя

Диссертационног



Драгунов Валерий Павлович

Ученый секретарь

Диссертационног



Остертак Дмитрий Иванович

«28» декабря 2016 г.