

**Заключение диссертационного совета Д 999.137.03, созданного на базе  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института электрофизики и электроэнергетики Российской академии наук,  
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук**

аттестационное дело №\_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 28 сентября 2022 N 3

О присуждении Жмодикову Александру Леонидовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка и исследование мощных импульсных устройств на основе кремниевых полупроводниковых приборов» по специальности 01.04.13 – «Электрофизика, электрофизические установки» принята к защите 15 июня 2022 г. (протокол заседания N 2) диссертационным советом Д 999.137.03, созданным на базе Федерального бюджетного учреждения науки Института электрофизики и электроэнергетики Российской Академии наук (адрес: 191186, Россия, г. Санкт-Петербург, Дворцовая набережная, д. 18) приказом №156/НК от 01 апреля 2013 г.

Соискатель Жмодиков Александр Леонидович, 13 декабря 1968 года рождения.

В 1991 году закончил Ленинградский институт авиационного приборостроения.

Работает исполняющим обязанности научного сотрудника в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории прикладных проблем сильноточной электроники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор технических наук Коротков Сергей Владимирович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, лаборатория прикладных проблем сильноточной электроники, заведующий лабораторией.

## Официальные оппоненты:

Фролов Владимир Яковлевич, доктор технических наук, профессор, Высшая школа электроэнергетических систем Института энергетики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Санкт-Петербургского Политехнического Университета Петра Великого, профессор;

Галахов Игорь Владимирович, кандидат физико-математических наук, Институт лазерно-физических исследований Федерального государственного унитарного предприятия «Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики», ведущий научный сотрудник;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Акционерное общество «Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры им. Д.В. Ефремова», г. Санкт-Петербург, в своем положительном отзыве, подписанным Родиным Игорем Юрьевичем, кандидатом технических наук, заместителем директора АО «НИИЭФА» по термоядерным и магнитным технологиям, и Серебровым Романом Александровичем, кандидатом технических наук, начальником НИЛ БЛ-7 НТЦ «СИНТЕЗ», указала, что в рамках диссертационной работы был исследован целый ряд кремниевых полупроводниковых приборов: IGBT транзисторы, силовые тиристоры, импульсные интегральные тиристоры (ИИТ) и реверсивно включаемые диоды (РВД) в малоизученных режимах коммутации импульсов тока с микросекундным фронтом, причем конструкции ИИТ и РВД были модифицированы с целью повышения их коммутационных возможностей; был разработан и построен целый ряд мощных импульсных коммутирующих устройств на основе этих приборов, имеющих уникальные характеристики за счет применения новых схем запуска приборов; результаты работы имеют высокую степень значимости для современной мощной импульсной техники; диссертация содержит новые научно обоснованные технические решения и разработки.

Соискатель имеет 17 опубликованных работ по теме диссертации в рецензируемых периодических научных журналах, которые либо входят в список

журналов, рекомендуемых ВАК, либо индексируются международными системами цитирования Web of Science и Scopus.

В работах приведены результаты исследования известных и новых кремниевых полупроводниковых приборов в нетрадиционных режимах, расширяющих диапазон их использования, и описаны результаты исследований мощных импульсных устройств на их основе.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значительные работы соискателя по теме диссертации:

1. Коротков С.В., Жмодиков А.Л. Перспективы использования реверсивно включаемых динисторов в режимах коммутации субмикросекундных импульсов тока // Приборы и техника эксперимента. – 2011. – №1. – С. 68-71.
2. Korotkov S.V., Lyublinsky A.G., Aristov Y.V., Zhmodikov A.L., and Kozlov A.K. Microsecond Range RSD-based Generators for Pulse Power Technologies // IEEE Transactions on Plasma Science. – 2013. – Vol. 41. – No. 10. – Part 1. – P. 2879-2884.
3. Коротков С.В., Аристов Ю.В., Жмодиков А.Л., Козлов А.К., Коротков Д.А. Мощные коммутаторы на основе реверсивно включаемых динисторов для высоковольтных импульсных технологий // Приборы и техника эксперимента. – 2014. – № 3. – С. 58-62.
4. Коротков С.В., Аристов Ю.В., Жмодиков А.Л., Козлов А.К., Коротков Д.А. Высоковольтные диодно-динисторные коммутаторы мощных знакопеременных импульсов тока // Приборы и техника эксперимента. – 2014. – №4. – С. 61-66.
5. Грехов И.В., Жмодиков А.Л., Коротков С.В., Прижимнов С.Г, Фоменко Ю.Л. Исследование высоковольтных интегральных импульсных тиристоров в моноимпульсном и пакетно-импульсном режимах // Приборы и техника эксперимента. – 2016. – № 3. – С. 32-36.
6. Коротков С.В., Аристов Ю.В., Жмодиков А.Л., Козлов А.К., Коротков Д.А. Коммутаторы мощных импульсов тока с субмикросекундным фронтом нарастания на основе последовательно соединенных IGBT-транзисторов // Приборы и техника эксперимента. – 2018. – № 1. – С. 42-47.
7. Коротков С.В., Хапугин А.А., Мартыненко В.А., Елисеев В.В., Жмодиков А.Л., Козлов А.К. Исследование реверсивно включаемых динисторов,

модернизированных с целью уменьшения потерь энергии при коммутации импульсов обратного тока // Приборы и техника эксперимента. – 2018. – № 3. – С. 45-50.

8. Коротков С. В., Жмодиков А. Л., Коротков Д. А. Тиристорный генератор микросекундных прямоугольных импульсов высокого напряжения // Приборы и техника эксперимента. – 2021. – № 3. – С. 45-49.

9. Коротков С., Жмодиков А. Л., Коротков Д. А. Высоковольтный тиристорный генератор мощных импульсов тока с субмикросекундным фронтом // Приборы и техника эксперимента. – 2021. – № 3. – С. 55-59.

10. Korotkov S.V., Zhmodikov A.L. Compact generators of high-power fast-rising pulses with closing switches in the form of reversely switched dynistors // Review of Scientific Instruments. – 2021. – Vol. 92. – No. 10. – P. 104703-1-5.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Копеловича Е.А., к.т.н., заведующего отделом высоковольтной техники Института прикладной физики Российской академии наук (ИПФ РАН), отзыв положительный, содержит следующие замечания:

- Несколько снижает впечатление от автореферата отсутствие в нем результатов теоретических исследований и аналитических расчетов разработанных мощных импульсных устройств.

- К недостаткам автореферата можно отнести также то, что на фото на рис. 2 и рис. 4 не указан масштаб, что не позволяет оценить размеры показанных коммутаторов.

2. Тоскина А.А., к.т.н., начальника научно-исследовательского отдела АО «НПО «Поиск», отзыв положительный, содержит следующее замечание:

- В качестве недостатка автореферата отмечаем, что в автореферате не нашла отражение математическая модель процессов в реверсивно включаемых динисторах.

3. Иванова Б.В., к.т.н., доцента кафедры Микроволновой электроники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), отзыв положительный, содержит следующее замечание:

- К автореферату имеется следующее замечание: в нем описаны эксперименты с IGBT-транзисторами IRGPs60B120KD, но не показано, чем был обусловлен выбор именно этих транзисторов.

4. Мелихова Ю.М., к.т.н., доцента, преподавателя 2 кафедры Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, отзыв положительный, содержит следующее замечание:

- К автореферату имеется следующее замечание: в описании транзисторного генератора на стр. 15 упоминается датчик тока, но не объясняется, как он устроен.

5. Дворянчикова Я.В., к.ф.-м.н., генерального директора ООО «СШПТ+», отзыв положительный, без замечаний.

Диссертационный совет отмечает, что в результате выполненных соискателем исследований:

- определены критерии эффективного использования биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT), силовых тиристоров (СТ), импульсных интегральных тиристоров (ИИТ) и реверсивно включаемых диодов (РВД) в режимах коммутации мощных импульсов тока с субмикросекундным фронтом, которые не являются для них традиционными;

- проведена модернизация конструкции ИИТ, что позволило уменьшить потери энергии при коммутации мощных быстро нарастающих импульсов тока;

- показано, что при уменьшении длительности тока управления с традиционного микросекундного диапазона до субмикросекундного эффективность переключения РВД практически не изменяется, если обеспечивается близкий по величине запускающий заряд, что позволяет существенно увеличить скорость нарастания тока в РВД-устройствах путем уменьшения размеров и индуктивности дросселя, разделяющего силовую цепь и цепь управления.

- показано, что при использовании разработанных цепей управления РВД-ключи имеют очень малые коммутационные потери энергии и обеспечивают уникальное для полупроводниковых устройств сочетание высокой амплитуды коммутируемых импульсов тока (десятки и сотни кА) и высокой скорости их нарастания (до ~40 кА/мкс);

- показана возможность эффективного использования РВД-ключей в нетрадиционном для них режиме коммутации мощных субмикросекундных импульсов тока;
- разработаны РВД-генераторы мощных слабозатухающих знакопеременных импульсов тока, позволяющие существенно уменьшить коммутационные потери энергии в РВД, обусловленные сравнительно большим падением напряжения при протекании обратного тока;
- проведена модернизация конструкции РВД, позволяющая при незначительном увеличении потерь энергии в процессе протекания прямого тока в 2 раза уменьшить падение напряжения при протекании обратного тока;
- разработаны мощные ключи с рабочим напряжением в десятки кВ, содержащие большое количество последовательно соединенных IGBT, СТ, ИИТ и РВД; на основе этих ключей созданы опытные образцы импульсных устройств, обладающие малыми габаритами и высокой эффективностью при быстрой коммутации мегаваттных электрических мощностей;
- предложен принцип построения мощных генераторов микросекундных импульсов, который без применения дополнительных цепей рекуперации позволяет эффективно использовать энергию, возвращаемую в генератор при рассогласовании его внутреннего сопротивления и сопротивления нагрузки.

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

- разработаны мощные полупроводниковые импульсные устройства, которые были использованы в России и за рубежом для питания мощных лазеров, для создания низкотемпературной плазмы для биологических исследований, для получения дуговых разрядов и для генерации импульсных магнитных полей и мощных ударных волн;
- определены возможности увеличения выходного напряжения и амплитуды выходного тока в разработанных полупроводниковых импульсных устройствах.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что результаты получены с использованием сертифицированного оборудования, позволяющего достоверно измерять импульсы тока и напряжения в исследуемых режимах;

использованы современные методики сбора и обработки информации, полученной в процессе исследований, позволяющие проводить ее оперативный анализ и сравнивать полученные результаты с ранее известными.

Личный вклад соискателя состоит в проведении экспериментальных исследований по теме диссертации, в обработке и интерпретации полученных экспериментальных результатов, в подготовке публикаций по результатам выполненных работ, в разработке стендов для исследования мощных ключей на основе IGBT, СТ, ИИТ и РВД в ранее неисследованных режимах, в разработке схем и конструкций описанных в диссертации мощных полупроводниковых импульсных устройств, технический уровень которых соответствует уровню лучших современных разработок, выполняемых в России и за рубежом.

На заседании 28 сентября 2022 года диссертационный совет принял решение: присудить Жмодикову Александру Леонидовичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 10 докторов наук по специальности 01.04.13 – Электрофизика, электрофизические установки, участвовавших в заседании, из 16 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 16, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета, д.ф.-м.н., академик РАН



Хомич Владислав Юрьевич

Ученый секретарь диссертационного совета, к.т.н.

Киселев Александр Александрович

28. 09. 2022

М. П.