

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.1.044.02,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ\_ИНСТИТУТА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ  
И ПРИКЛАДНОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ РАН при участии  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА  
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 22.12. 2022 г. № 7

О присуждении Ефанову Михаилу Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка и исследование сверхмощных твердотельных пико-наносекундных генераторов и их применение» по специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки; принята к защите 20.10.2022г., (протокол заседания № 5) диссертационным советом 99.1.044.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики РАН при участии Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, Ижорская ул., д. 13, стр. 6, (495) 484-2383, itae.ru), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 411/нк от 15.05.2017г.

Соискатель Ефанов Михаил Владимирович 1980 года рождения в 2003 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет.

Работает в должности и.о. младшего научного сотрудника лаборатория № 4 – мощных электромагнитных воздействий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

В 2022 году окончил заочную аспирантуру Федерального

государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории № 4 – мощных электромагнитных воздействий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории № 4 – мощных электромагнитных воздействий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук Лебедев Евгений Федорович.

Официальные оппоненты:

- Воршевский Александр Алексеевич, доктор технических наук, доцент кафедры электротехники и электрооборудования судов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Санкт-петербургский государственный морской технический университет.

- Вдовин Владимир Александрович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН..

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (г.Саров) в своем положительном заключении, составленном директором научно-технического центра физики высоких плотностей энергии и направленных потоков излучений член-корреспондентом РАН Селемиром В.Д. и начальником научно-исследовательского отделения Жлановым В.С. (утвержденным и.о. директора ВНИИЭФ доктором технических наук

Мусиным И.З.) указала, что научная значимость работы определяется новизной полученных результатов. Созданы уникальные приборы с нанопикосекундными длительностями фронтов генерируемых токов. Актуальность выполненных в диссертации исследований и разработок определяется востребованностью уникального набора параметров разработанных генераторов высоковольтных импульсов. Результаты работы могут быть использованы в научных и научно-образовательных центрах, а также в организациях, разрабатывающих лазеры, ускорители и излучатели СШП-сигналов.

Апробация результатов, представленных в диссертации, проводилась на рабочих совещаниях организаций, использующих созданные изделия: для запитки лазеров - ВНИИИЭФ; для ускорительной техники - ИЯФ СО РАН; - для питания СШП-излучателей - МНИРТИ, ОИВТ РАН, ВНИИОФИ

Соискатель имеет 16 опубликованных работ, в том числе 8 статей в ведущих рецензированных журналах и других изданиях, включенных в перечень ВАК и 8 патентов.

1. Fedorov V. M., Efanov M. V., Ostashev V. Ye., Tarakanov V. P. and Ul'yanov A. V. Antenna Array with TEM-Horn for Radiation of High-Power Ultra Short Electromagnetic Pulses // Electronics. Vol. 11, Issue 9, 1011.( 2021). <https://doi.org/10.3390/electronics10091011>.
2. Kolykhalova E. D., Dudelev V. V., Zazulin S. V., Losev S. N., Deryagin A. G., Kuchinskii V. I., Efanov M. V. , Sokolovskii G. S. Generation of high-power ultrashort optical pulses using a semiconductor laser with controlled current humping // Technical Physics volume 62, pages 1885–1888 (2017). <https://doi.org/10.1134/S1063784217120131>.
3. Dudelev V. V., Zazulin S. V., Kolykhalova E. D., Losev S. N., Deryagin A. G., Kuchinskii V. I., Efanov M. V. , Sokolovskii G. S. Generation of high-power ultrashort optical pulses by semiconductor lasers // Technical

Physics Letters volume 42, pages 1159–1162 (2016).  
<https://doi.org/10.1134/S1063785016120191>.

4. Ефанов М.В., Лебедев Е.Ф., Ульянов А.В., Федоров В.М., Шурупов М.А. Излучательно-измерительный комплекс для исследования прохождения сверхширокополосных сигналов в атмосфере и ионосфере Земли // Теплофизика высоких температур. 2001, том 59, №6, с. 877-884.
5. Великанов С.Д., Гаранин С.Г., Домажиров А.П., Ефанов В.М., Ефанов М.В., Казанцев С.Ю., Кодола Б.Е., Комаров Ю.Н., Кононов И.Г., Подлесных С. В., Сивачев А.А., Фирсов К. Н., Щуров В.В., Ярин П.М. Мощный электроразрядный HF-лазер с твердотельным генератором накачки // Квантовая электроника, Т. 40 № 5, 2010. Сс. 393-396.
6. V.M. Efanov, M.V. Efanov, A.V. Komashko, A.V. Kriklenko, P.M. Yarin, S.V. Zazoulin, High-Voltage and High-PRF FID Pulse Generators. // Ultra-Wideband, Short Pulse Electromagnetics 9, 2010.
7. V.M. Efanov, M.V. Efanov, A.S. Arbuzov, A.V. Kriklenko, N.K. Savastianov. Megavolt all-solid-state FID pulse generators for accelerator applications. // 2007 IEEE 34th International Conference on Plasma Science (ICOPS).
8. Пат. 2580787, Российская Федерация, МПК H03K 3/53, генератор мощных наносекундных импульсов (варианты). // Ефанов М.В., Зазулин С.В., Краснов А.В. Заявка 2015104632/08 2015.02.11.
9. Ефанов М.В., Ефанов В.М., Краснов А.В. Генератор высоковольтных импульсов // Патент на изобретение № RU2636108C1 с приоритетом от 14.02.2017 г.
10. Ефанов М.В., Зазулин С.В., Краснов А.В. Генератор мощных наносекундных импульсов (варианты) // Патент на изобретение № RU2580787C1 с приоритетом от 11.02.2015 г.

11. Мырова Л.О., Фомина И.А., Пименов П. Н., Панкина Е.Г., Минченко Т.В., Ефанов М.В., Киричек Р.В. Многоканальный комплекс воздействия сверхкороткоимпульсного электромагнитного излучения с высокой частотой повторения на наземные широкополосные линии радиосвязи // Патент на изобретение № RU2579986C1 с приоритетом от 05.02.2015 г.
12. Ефанов В.М., Ефанов М.В. Генератор импульсов // Патент на изобретение № RU 2589240 C1 с приоритетом от 20.04.2015 г.
13. Ефанов М.В., Краснов А.В. Система стабилизации задержки// Патент на изобретение № RU2580445C1, приоритет от 31.12.2014 г.
14. Ефанов В.М., Ефанов М.В. Способ управления электронным ключом // Патент на изобретение № RU 2533326C1 с приоритетом от 22.04.2013 г.
15. Ефанов В.М., Ефанов М.В. Ускоритель // Патент на изобретение № RU 139712 U1 с приоритетом от 29.04.2013 г.
16. Ефанов В.М., Ефанов М.В. Импульсный трансформатор на неоднородной линии // Патент на изобретение № RU 2542755 C1 с приоритетом от 20.10.2013 г.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН (г. Нижний Новгород)», составленный зав. лабораторией моделирования геофизических плазменных явлений к.ф.-м.н. Гуциным М.Е. – отзыв положительный, с замечанием:

к недостаткам автореферата можно отнести низкое качество отдельных графических материалов, в первую очередь – осциллограмм. Это замечание не является замечанием по существу и не влияет на общую высокую оценку работы. Отдельно отмечено, что импульсные генераторы, разработанные в диссертации, успешно применяются в фундаментальных и

прикладных исследованиях, выполняемых в ИПФ РРАН, и позволяют получить научные результаты мирового уровня.

2. Акционерное общество «Научно-технический центр Радиоэлектронной борьбы» (г. Москва), составленный руководителем группы советников генерального директора к.т.н. Мамаевым Ю.Н. – отзыв положительный, с замечаниями:

- в постановочной части недостаточно аргументировано исключено использование дрейфовых SOS диодов в качестве коммутирующих приборов;
  - недостаточно четко подтверждена достоверность полученных результатов;
  - в автореферате имеют место нечитаемые графики на рис. 1 и рис. 2.
- Указанные замечания не снижают научной и практической ценности рассматриваемой работы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

Воршевский Александр Алексеевич, доктор технических наук, доцент кафедры электротехники и электрооборудования судов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования является ведущим отечественным ученым в области электромагнитной устойчивости судовой техники.

1. Воршевский А.А., Гришаков Е.С. Влияние электростатического заряда на устойчивость электронного и электротехнического оборудования // Электротехника, №12, 2017, с. 35-39;
2. Воршевский А.А., Агафонов А.М., Гришаков Е.С. Обеспечение помехозащищенности электронного оборудования по портам связи, соединенным через кабельную трассу // Энергетические и электротехнические системы: междунар. сб. на-уч. трудов. - Вып. 5 / под ред. СИ. Лукьянова, Е.Г. Нешпоренко. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск, гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2018, с. 76-87;

3. Воршевский А.А., Агафонов А.М., Гришаков Е.С. Измерения наносекундных импульсов, вызванных электростатическим разрядом // Энергетические и электротехнические системы: междунар. сб. на-уч. трудов. - Вып. 5 / под ред. СИ. Лукьянова, Е.Г. Нешпоренко. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск, гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2018. с. 121-129.

Вдовин Владимир Александрович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН является опытным экспериментатором в области создания и применения сверхмощных импульсных генераторов импульсов тока в мегавольтном диапазоне параметров

1. P.S. Glazunov, A. M. Saletskii and V. A. Vdovin. Investigation of the Impact of Pulsed Electromagnetic Interference on the Stability of Ring Generators. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 2022, Vol. 67, No. 8, pp. 1030-1038. DOI: 10.1134/S1064226922080058.

2. В.Г. Андреев, В.А. Вдовин, П.С. Глазунов, И. И. Пятайкин, Ю.В. Пинаев. Влияние толщины диэлектрической подложки на поглощающие и просветляющие свойства ультратонких пленок меди. *Оптика и спектроскопия*, 2022, том 130, вып. 9, с. 1410-1416. DOI: 10.21883/OS.2022.09.53304.3539-22

3. Gulyaev Y.V., Cherepenin V.A., Taranov I.V., Vdovin V.A., Khomutov G.B. Activation of Nanocomposite Lipo-somal Capsules in a Conductive Water Medium by Ultra-Short Electric Exposure. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 2021, 66(1), стр. 88-95. DOI: 10.1134/S1064226921010022

Ведущая организация - ФГУП «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (г. Саров) является ведущей отечественной организацией в области физики экстремальных состояний энергии и их практических приложений.

1. Базанов А.А. Гаранин С.Г. Ивановский А. и др. Источник мегаамперного тока с временем нарастания  $\sim 100$  нс на базе взрывомагнитных генераторов // Доклады Академии наук, Т. 489, № 4, С.355-357, 2019г.;
2. Дубинов А.Е. Кожаева Ю.П. Генерация импульсно- периодической последовательности наносекундных искровых разрядов в воздушном промежутке между прозрачными гидрогелевыми электродами // Письма в Журнал технической физики. Т.45, №8, С. 16-18, 2019 г.;
3. Бродский И.А. Галахов И.В. Задорожная Е.Н и др. Система заряда конденсаторной батареи лазерной установки "Искра-5" // Приборы и техника эксперимента, № 2, С. 65-71, 2018 г.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

1. Разработаны принципы построения компактных генераторов наносекундных импульсов с амплитудой 500 кВ, длительностью импульсов 10 нс по схеме индуктивного накопителя энергии, с размыкающими ДДРВ ключами и основными силовыми ФИД ключами. Генератор применен для накачки мощного газового лазера.
2. Разработан компактный высокостабильный генератор прямоугольных импульсов напряжения на основе ДДРВ и ФИД ключей, с выходной амплитудой до 30 кВ. Экспериментально исследована долговременная амплитудная стабильность 0.1%, одновременно с временным джиттером около 30 пс RMS, при полной задержке 300 нс. Генератор применен в отклоняющих системах синхротронов.
3. Разработана серия генераторов на основе высокочастотных ДДРВ ключей с длительностями импульсов от 300 пс до десятков наносекунд, с амплитудой 0.6 – 10 кВ, с частотами следования импульсов от 1 МГц до 15 МГц. Генераторы нашли применение в мощных СШП-излучателях и плазменных установках. Разработан компактный наносекундный генератор с амплитудой 10 кВ и



максимальной постоянной частотой следования до 1 МГц. Широкий диапазон параметров этой серии генераторов по напряжениям и частотам следования позволяет использовать их в физических экспериментах, в ускорительной технике, для исследования ЭМС различного оборудования.

4. Исследован и применен принцип умножения амплитуды высоковольтных импульсов на кабельных линиях с коэффициентом 6 для генераторов мегагерцового диапазона. Разработан генератор прямоугольных импульсов с амплитудой 5 кВ и длительностью в десятки наносекунд и максимальной частотой следования 5 МГц в пакетном режиме. Генератор применен в системах отклонения электронных пучков.
5. Исследованы научно-технические условия создания и разработана серия генераторов импульсов напряжения с впервые реализованным фронтом 20-40 пс для амплитуд величиной 15 кВ, которые на три порядка больше достигнутого мирового уровня. В качестве ключей использовались ФИД приборы и ДДРВ нового поколения. Создана и прокалибрована установка для измерения пикосекундных времен нарастания и временной нестабильности таких импульсов при мегаваттной мощности измеряемого сигнала. Генераторы применены для запитки СШП-антенн.
6. Проведены исследования и достигнута сверхвысокая временная стабильность для пикосекундных генераторов мегаваттного уровня. При амплитуде 15 кВ и фронте менее 40 пс зарегистрирован джиттер менее 2 пс RMS, и полный размах задержки от импульса к импульсу менее 9 пс при полной задержке около 90 нс.
7. Разработан СШП излучатель на основе генератора пикосекундных импульсов напряжения с фронтом около 50 пс и амплитудой 10 кВ для применения в фундаментальных исследованиях при прохождении СШП-сигналов в атмосфере.

8. Экспериментально исследовано прохождение СШП электромагнитного импульса с полушириной около 60 пс через атмосферу Земли на расстояние до 15 км

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Практическая значимость заключается в создании технологии мощных нано- пикосекундных генераторов импульсов напряжения нового поколения, нашедших применение в ряде прикладных задач современной науки и техники.

Теоретическая значимость работы заключается в возможности верификации расчетно-теоретических моделей по результатам проведенных в работе экспериментов по распространению СШП-сигналов в свободной атмосфере Земли на большие расстояния.

### **Достоверность результатов**

Достоверность экспериментальных результатов обеспечена применением современных сертифицированных приборов для измерения пикосекундных импульсов напряжения, контролем рабочих параметров измерительных приборов, применением векторного анализатора с полосой до 18 ГГц для контроля основных рабочих параметров аттенюаторов, а также применением методики параллельного измерения параметров импульсов различными аттенюаторами и осциллографами.

### **Личный вклад автора**

Все изложенные в диссертации результаты получены либо лично автором, либо при его непосредственном участии. Автор принимал непосредственное участие в постановке задач исследования, создании экспериментального оборудования, проведении экспериментов в лабораторных и полевых условиях, в обсуждении и формулировке полученных результатов. Непосредственно автором были разработаны, отмакетированы и доведены до уровня полноценных изделий генераторы нано-пикосекундных импульсов с пиковой мощностью до нескольких

гигаватт. Основные публикации по выполненной работе подготовлены при определяющем участии автора.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Ефанов В.М. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, привел собственную аргументацию и согласился с высказанными замечаниями.

На заседании от 22.12.202г. диссертационный совет принял решение за исследование, разработку и применение сверхмощных нано- и пикосекундных генераторов импульсов напряжения присудить Ефанову Михаилу Владимировичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки;

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве 16 человек, из них очно: 13 докторов наук по специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки, дистанционно: 3 доктора наук по специальности 1.3.13 – электрофизика, электрофизические установки, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 16, против 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель диссертационного совета 99 1.044.02  
академик



Лагарьков А.Н.

Ученый секретарь диссертационного совета 99 1.044.02  
д.ф.-м.н.

Дорофеев А.В.

22.12.2022 г.