

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и цифровому развитию ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» профессор, д.ф.-м.н. А.А. Короновский

"02" июня 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского» на диссертацию Елфимова Алексея Евгеньевича «Генерация сверхкоротких импульсов гауссовой формы и её производных», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. Радиофизика

Актуальность темы

В современных системах радиосвязи и радиолокации широко применяются сверхширокополосные сигналы. Сверхширокополосные системы обладают рядом уникальных характеристик, включая высокую пропускную способность и устойчивость к многолучевому распространению сигнала. Это делает их перспективными для использования в различных приложениях, таких как высокоскоростная передача данных с низкой вероятностью перехвата информации, подземная радиолокация и медицинская диагностика. Одним из видов сигналов, используемых в сверхширокополосных системах, являются импульсы формы колокола, моноцикла и дуплета. В связи с этим тема диссертационной работы Елфимова А.Е., посвящённой разработке систем генерации сверхкоротких импульсов гауссовой формы и её производных является **актуальной**.

В диссертационной работе Елфимова А. Е. решается задача разработки методов генерации и формирования такого рода импульсов. Они позволяют достичь высокой разрешающей способности при измерении расстояний и времени задержки отраженных сигналов, что особенно важно в радиолокационных системах. Кроме того, они обеспечивают возможность работы в условиях сильных помех и при сложных условиях распространения радиоволн. В радиолокационной системе импульсы могут использоваться для точного определения местоположения цели, а в системе радиосвязи – для передачи информации с высоким уровнем защиты от помех.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы. Работа изложена на 130 страницах машинописного текста, содержит 57 иллюстраций, 5 таблиц и список литературы из 95 источников отечественных и зарубежных авторов.

Работа по структуре и объему соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Во введении дана общая характеристика диссертационной работы: обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель работы, решаемые задачи исследований, научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, методы исследований, достоверность, апробации и публикации, приведены основные положения и результаты, выносимые на защиту. Приведены структура, объем и краткое содержание диссертации.

В первой главе диссертации рассмотрены физические принципы формирования сверхкоротких импульсов (СКИ). Описаны токоразмыкающие свойства диода с накоплением заряда и их использование в схеме генератора видеоимпульса. Проведен анализ работы схемы генератора сверхкоротких импульсов с ДНЗ (диод с накоплением заряда). Выявлена зависимость формы импульса от объёма, инжектируемого в активную область диода заряда.

Было проведено моделирование схемы генератора с единственным каналом управления процессом экстракции заряда в активной области ДНЗ. Показано, что одноканальная схема не позволяет регулировать объём инжектируемого заряда, так как в схеме отсутствует возможность управлять этим процессом. При этом в этой схеме наблюдается значительный уровень послеимпульсных искажений.

Для решения описанных недостатков была предложена двухканальная схема управления. Эта схема позволяет регулировать длительность процесса инъекции и момент начала экстракции. Регулирование этих процессов позволяет управлять объёмом накопленного заряда, а следовательно, и формой СКИ на выходе генератора.

Вторая глава посвящена исследованию физических процессов, протекающих в двухканальной схеме. Для этого разработаны модель генератора и его экспериментальный образец. В модели управления генератором предусмотрены импульсы разных длительностей с возможностью изменять порядок их следования и задержки между ними. Изменение порядка следования положительных и отрицательных управляющих импульсов необходимо для формирования СКИ разной полярности, а изменение длительности и задержки между импульсами позволяет управлять объёмом заряда в активной области ДНЗ.

В ходе моделирования продемонстрирована возможность управления объёмом накопленного заряда в активной области ДНЗ. Показано, что увеличение длительности инъекции увеличивает объём накопленного заряда, что в свою очередь, приводит к увеличению длительности процесса экстракции.

Использование второго канала управления генератором позволило расширить диапазон перестройки амплитуды и длительности СКИ до значений 44% и 97%, соответственно. Важным преимуществом такого генератора является наличие возможности одновременного изменения

амплитуды и длительности выходного сигнала, при использовании его, например, в различных системах связи.

В третьей главе рассмотрен способ формирования СКИ в виде моноцикла и дуплета Гаусса. Описанные СКИ не имеют постоянных составляющих в спектре, что упрощает их излучение при помощи антенной системы. Предложен альтернативный метод формирования моноциклов и дуплетов с использованием сумматора. Описан алгоритм, позволяющий произвести вычисления характеристик сумматоров и суммировать СШП-видеоимпульсы. За основу взят подход к расчету трёхзвенного сумматора конструкции Уилкинсона. На основе алгоритма произведен расчет и построена модель трёхзвенного сумматора для сложения сигналов с двух формирователей. Трёхпортовая модель использована при построении пятипортового сумматора для сложения сигналов с четырёх источников. Проведено электромагнитное и статистическое моделирование предложенных конструкций для уточнения параметров сумматоров в пакете CST Studio.

Пятипортовый экспериментальный макет позволяет формировать все виды импульсов, рассматриваемые в работе и другие импульсы, более сложных форм. Для достижения результатов использовались различные задержки видеоимпульсов, подаваемых на вход сумматора.

На основе полученных данных построены экспериментальные макеты сумматоров для сложения сигналов с двух и четырёх источников. Проведены эксперименты по сложению импульсов произвольных форм. Получены осциллограммы импульсов формы квазимоноциклов и квазидуплетов.

В четвертой главе описан разработанный программно-аппаратный комплекс (ПАИК) измерения характеристик СКИ и управления формирователями видеоимпульсов.

Структура программного обеспечения комплекса включает в себя пять модулей. Модуль работы с лабораторным оборудованием отвечает за управление используемыми приборами при помощи SCPI-команд. Модуль обработки данных, поступающих от измерительного оборудования. Модуль, содержащий алгоритм формирования набора задержек запускающих импульсов с целью управления формой СКИ. Модуль анализа и сравнения характеристик сигналов, полученных в результате моделирования и эксперимента. И модуль визуализации для представления полученных данных в графическом виде.

Аппаратная часть комплекса позволяет управлять лабораторными генераторами, источниками питания и осциллографом. Программное обеспечение, входящее в состав ПАИК, позволяет автоматизировать измерения параметров формирователей СКИ. Алгоритм управления позволяет формировать моноциклы разной полярности, используя формирователь СКИ в составе с сумматором СШП-сигналов.

В заключении приведены основные результаты и сформулированы выводы диссертационной работы.

Не вызывает сомнения научная новизна, обоснованность и значимость полученных диссертантом результатов. К наиболее **значимым новым научным результатам**, полученным автором, можно отнести:

1. Методику управления объёмом накопленного заряда в активной области ДНЗ генератора для задания необходимой формы видеоимпульса на его выходе.

2. Теоретическое и экспериментальное обоснование возможности реализации альтернативного метода формирования моноциклов и дуплетов с использованием сумматора Уилкинсона для сложения сверхширокополосных видеоимпульсов.

3. Компьютерные модели формирователей видеоимпульсов и сигналов в виде моноцикла и дуплета Гаусса, с заданными параметрами.

4. Алгоритм формирования видеоимпульсов заданной формы, основанный на текущем сравнении расчетных и измеренных значений характеристик сигналов.

Результаты работы имеют несомненную **ценность для практики**.

1. Предложена схема генератора с двумя каналами управления для независимого управления временем инъекции и началом процесса экстракции заряда.

2. Описаны схемотехнические решения формирователей, использующие принцип суммирование нескольких колокольных сигналов и проведены эксперименты с макетами формирователей дуплета и моноцикла с использованием импульсов произвольной формы, что подтверждает универсальность сумматора в задачах сложения различных СШП сигналов.

3. Разработка и использование программно-аппаратного измерительного комплекса (ПАИК) для изучения характеристик импульсов Гауссовских форм.

4. Практическая значимость работы подтверждается также тремя свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ.

5. Использование результатов работы при создании новых радиосистем, использующих в качестве сигналов сверхкороткие импульсы, а также в исследовательских задачах измерения характеристик сверхкоротких импульсов различных форм.

Обоснованность и достоверность полученных диссертантом результатов и выводов обеспечивается обоснованностью выбранного метода теоретического описания, использованием современной сертифицированной измерительной аппаратуры и апробированных методов измерений при выполнении экспериментальных исследований, обработкой экспериментальных данных с использованием стандартных методов, качественным и количественным соответствием выводов теории основным результатам, полученным экспериментально.

Можно утверждать, что научные положения и выводы, сформулированные Елфимовым Алексеем Евгеньевичем, представляются обоснованными и достоверными.

Диссертация содержит хорошо оформленный иллюстративный материал.

Отмечая несомненную научную и практическую ценность диссертационной работы, необходимо сделать ряд **замечаний**:

1. Автором в разделе 1.2 для расчёта характеристик генератора СКИ на основе ДНЗ использованы параметры диода MAVR-044769-12790T из документации производителя MАСOM [13]. Однако, какие значения времени жизни неосновных носителей заряда и емкость перехода из «datasheets» были использованы не уточнено.

2. В главе 3 не приведены преимущества предложенной методики формирования импульсов формы дуплета Гаусса при помощи сложения нескольких колокольных сигналов по сравнению с другими методиками формирования.

3. В главе 3 на стр. 49 утверждается, что «Схемы с линией задержки и дифференцирующей цепочкой не дают возможности управлять формой СКИ». Однако, автором диссертации это утверждение не подкреплено дополнительными данными.

4. Автор некорректно описывает вид кривых, используемых на рисунках. Например, «Рис. 18 – Импульсы во временной области: сплошной линией обозначен колокольный импульс Гаусса, пунктирной – моноцикл, пунктир с точкой – дуплет».

На самом деле моноцикл – это **штриховая** линия, а дуплет – это **штрихпунктирная** линия.

5. На стр. 69 автор пишет «При этом сумматоры обеспечивают развязку между генераторами не менее 15 дБ в полосе от 0.5 до 5 ГГц. Воздействие генераторов друг на друга таким образом будет несущественным». Необходимо уточнить, что означает **несущественным**.

Отмеченные недостатки не носят принципиального характера, поэтому не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы.

Защищаемые положения сформулированы в результате выполнения большого объема всесторонних теоретических и экспериментальных исследований с использованием современных программных средств и современной измерительной аппаратуры и обработки экспериментальных данных с использованием стандартных методов, что придает им высокий уровень обоснованности.

Диссертация написана грамотным и профессиональным языком.

Автореферат правильно отражает основное содержание диссертации.

Материалы диссертации изложены в 20 научных работах, в том числе в 4 статьях в журналах, включенных в перечень ВАК, одна, индексируемая базами Web Of Science и Scopus, 12 работ в сборниках докладов и материалов международных и всероссийских конференций, входящих в базу цитирования РИНЦ. Получено три государственных свидетельств о регистрации программы для ЭВМ.

Соответствие содержания научной специальности

Диссертация Елфимова Алексея Евгеньевича посвящена исследованию физических процессов, протекающих в ДНЗ и обеспечивающих формирование сверхкороткого видеоимпульса гауссовой формы и её производных с управляемой амплитудой и длительностью. Она соответствует, согласно приказу Минобрнауки России от 24 февраля 2021 г. № 118 «Об утверждении номенклатуры специальностей, по которым присуждаются ученые степени, ...», научной специальности 1.3.4. – «Радиофизика» (п.1. Разработка основ генерации, усиления и преобразования колебаний и волн различной природы (электромагнитных, акустических, плазменных, механических), а также автоволн в неравновесных химических и биологических системах. Поиски путей создания высокоэффективных источников когерентного излучения миллиметрового, субмиллиметрового и оптического диапазонов, техническое освоение новых диапазонов частот и мощностей; п.2. Изучение линейных и нелинейных процессов излучения, распространения, дифракции, рассеяния, взаимодействия и трансформации волн в естественных и искусственных средах; п. 7. Разработка теоретических основ новых методов и систем связи, навигационных, активных и пассивных локационных систем, основанных на использовании излучения и приема волновых полей различной физической природы и освоении новых частотных диапазонов).

Результаты представленных в диссертации исследований могут быть рекомендованы к использованию на предприятиях и в организациях: АО «НПЦ «Алмаз-Фазотрон», г. Саратов, АО «НПП «Алмаз», г. Саратов, АО «НПП «Исток» им. Шокина» г. Фрязино, Московская область, институтах Российской Академии Наук: ФГБУН «Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН» г. Москва, в высших учебных заведениях Министерства науки и высшего образования Российской Федерации: ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»» г. Зеленоград, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», Инженерно-технологическая академия (ТРТИ) Южный федеральный университет г. Таганрог, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж.

Общая оценка диссертационной работы

Характеризуя диссертацию в целом, следует отметить, что работа Елфимова Алексея Евгеньевича является законченным научным исследованием. Совокупность научных результатов, изложенных в диссертации, можно квалифицировать как решение задачи, имеющей существенное значение для научного направления в области радиофизики, связанной с разработкой методов генерации и формирования сверхкоротких

импульсов, способов управления формой сверхкоротких импульсов и конкретных способов изменения длительности и амплитуды импульсов, а также алгоритма формирования импульсов формы моноцикла и дуплета.

Заключение. Считаем, что диссертационная работа Елфимова Алексея Евгеньевича «Генерация сверхкоротких импульсов гауссовой формы и её производных», соответствует критериям п. 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор диссертации Елфимов Алексей Евгеньевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. Радиофизика.

Отзыв составил:

Заведующий кафедрой физики твердого тела института физики, ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского»
доктор физико-математических наук,
профессор



Скрипаль Александр Владимирович

Отзыв заслушан и одобрен на заседании кафедры физики твердого тела института физики, федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского» протокол № 9 от 12 мая 2025 года.

Почтовый адрес: 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83.
Телефон: +7 (8452) 51-14-30
E-mail: skripala_v@info.sgu.ru

Скрипаль Александр Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики твердого тела института физики ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского», 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83. Научная специальность докторской диссертации Скрипаля Александра Владимировича 01.04.10 – Физика полупроводников и диэлектриков, 01.04.03 – Радиофизика.

Я, Скрипаль Александр Владимирович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку



А.В. Скрипаль

Подпись	
Ученый секретарь	
Ученого совета СГУ	
«02» _____ 2025 г.	В.И. Семенова

