

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук доцента РАЗИНЬКОВА Сергея Николаевича на диссертацию ЕЛФИМОВА Алексея Евгеньевича на тему «Генерация сверхкоротких импульсов гауссовой формы и ее производных», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. Радиофизика

Диссертация ЕЛФИМОВА А.Е. на тему «Генерация сверхкоротких импульсов гауссовой формы и ее производных» выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный университет». Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Усков К.Г.

Для подготовки отзыва официальному оппоненту представлены:

- диссертация – 1 книга общим объемом 130 страниц, включая 57 иллюстраций и 5 таблиц; список литературы содержит 95 наименований;
- автореферат диссертации – 1 брошюра объемом 1 печатный лист.

Актуальность темы диссертационных исследований. Совершенствование базовых технологий построения радиофизических устройств и систем с высокими показателями устойчивости и надежности функционирования, защищенности от деструктивных воздействий и электромагнитной совместимости включает в себя поиск конструктивных решений по выбору вида и параметров сигналов. При организации передачи-приема информации к сигналам предъявляется большое число противоречивых требований по информационной емкости при ограничениях на полосы занимаемых частот, возможностям распространения в средах на установленные дистанции в условиях ограничений на максимальные уровни средней мощности, а также формирования и обработки в аппаратуре с заранее установленными массогабаритными характеристиками.

Приоритетные направления развития перспективных радиоэлектронных средств, определенные Международной концепцией построения информационно-телекоммуникационных систем, связаны с использованием сверхкоротких импульсов. В Отчетных докладах Президиума Российской академии наук неоднократно отмечалось, что исследования в данной области открывают пути реализации принципиально новых радиофизических способов и устройств обработки волновых процессов.

В соответствии с определением, сверхкороткие импульсы представляют собой класс сигналов, пространственная длительность которых значительно меньше характерных размеров излучающей (приемной) антенны. Наиболее информативные и высокоразрешающие сигналы резонансной и квазиоптической областей образуют класс сверхширокополосных сверхкоротких импульсов, находящих применение в радиолокационных комплексах для построения дальностных радиолокационных портретов и добывания некоординатной информации о целях, высокоскоростных информационно-телекоммуникационных системах и распределенных вычислительных сетях для передачи-приема значительных объемов данных.

За счет использования сверхкоротких импульсов может осуществляться оперативное распознавание радиолокационных целей на основе комплексного анализа отражающих свойств на различных участках диапазона частот и выявления доминирующих центров вторичного электромагнитного излучения, недоступной для узкополосных радаров. В радиолиниях достигается значительный (до $10^{11} \dots 10^{12}$ бит/с·ГГц) объем передаваемых сообщений при одновременном использовании нескольких частот спектра. Вследствие малой спектральной плотности мощности сигналов, обусловленной распределением энергии на значительном интервале частот, обеспечивается электромагнитная совместимость, помехозащищенность и скрытность функционирования радиоэлектронных средств. В сети опорных сверхширокополосных радиостанций возможно высокоточное позиционирование абонентов на пересеченной местности, в условиях городской застройки и внутри зданий, где в виду многолучевого распространения электромагнитных волн затруднено устойчивое функционирование глобальной спутниковой навигационной системы GPS.

При передаче сверхкоротких импульсов осуществляется преднамеренная трансформация их формы и частотно-временных параметров для усиления плотности потока излучаемой энергии в заданных направлениях на определенных участках спектра. В приемных устройствах требуется минимизировать искажения сигналов в интересах уменьшения энергетических потерь при обработке. В процессе адаптации радиосистем к сигнально-помеховой обстановке при возрастании требований к производительности и функциональности радиосистем выполняется управление длительностью и амплитудой импульсов.

Для достижения поставленных целей при разработке новых технологий и радиофизических устройств реализуются следующие способы генерации сигналов сверхкороткой длительности:

- формирование импульсов колокольной формы в схемах на основе диодов с накоплением заряда. Такие схемы позволяют использовать свойство накопления заряда к резкому восстановлению своего обратного сопротивления для получения колокольных импульсов;

- накопление электромагнитной энергии в резонаторах из сверхпроводящих материалов, возбуждаемых генераторами со стабильными характеристиками, и ее вывода за время, намного меньшее времени накопления

- сложение сигналов для формирования сверхкоротких импульсов сложной формы с применением сверхширокополосных сумматоров.

Вопросы генерации сверхкоротких импульсов гауссовой формы и ее производных исследованы в работах доктора технических наук Иммореева И.Я., докторов физико-математических наук Бобрешова А.М., Ускова Г.К.

В трудах докторов технических наук Абраменкова В.В., Васильченко О.В., Савинова Ю.И. представлены методы синтеза сверхширокополосных излучателей, возбуждаемых сигналами с формой колокола, основная доля энергии которого сосредоточена в окрестности нулевой частоты, моноцикла и дуплета с энергией в области высоких частот. В публикациях докторов технических наук Нахмансона Г.С., Трифонова П.А. обоснованы технические решения по

построению на базе таких устройств интегрированных антенных систем с широкими секторами углов сканирования пространства.

Вместе с тем, современный методический аппарат формирования сверхкоротких импульсов не в полной мере отвечает практическим потребностям и требует дальнейшего совершенствования в плане обеспечения стабильности амплитудных характеристик и точности воспроизведения частотно-временных параметров. Направления его совершенствования связаны с разработкой моделей и методик исследования физических процессов, протекающих в диодах с накоплением заряда, определяющих форму сверхкоротких видеоимпульсов на выходах генераторов и условия управления их амплитудами и длительностью.

Поэтому тема диссертации ЕЛФИМОВА А.Е. «Генерация сверхкоротких импульсов гауссовой формы и ее производных» является актуальной для развития направлений радиофизики, связанных с разработкой, исследованием и созданием новых электродинамических систем и устройств формирования радиосигналов.

Степень обоснованности научных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. В диссертации на основании выполненных автором исследования решена научная задача разработки методического аппарата формирования и программно-аппаратного измерительного комплекса для анализа характеристик и параметров сверхкоротких импульсов гауссовой формы и ее производных. Решение данной задачи имеет значение для развития теоретических основ и совершенствования технологии исследований по направлению, определенному паспортом специальности 1.3.4. Радиофизика в соответствии с пунктом 3 (в части разработки, исследования и создания новых электродинамических систем и устройств формирования сигналов).

Содержание работы, раскрывающее суть полученных автором результатов, сформулированных на их основе выводов и рекомендаций, изложено в четырех главах.

В первой главе диссертации исследованы физические процессы формирования сверхкоротких импульсов колокольной формы при применении схемы с диодом с накоплением заряда. Установлены зависимости формы импульса от величины накопленного заряда. Разработаны способ и реализующая его двухканальная схема независимого управления инжекцией и началом момента экстракции заряда из активной области диода с его накоплением.

Во второй главе диссертации проведен анализ физических процессов в двухканальной схеме управления генератором сверхкоротких импульсов. Построена модель генератора с двумя независимыми каналами управления, позволяющие изменять формировать импульсы различной формы. Представлены результаты экспериментальных исследований макета генератора, подтверждающие возможность регулировки длительности и амплитуды импульсов. Исследовано влияние задержки между окончанием процесса инжекции и началом экстракции на форму генерируемого сигнала и определены возможные пути формирования импульсов заданной формы.

В третьей главе диссертации обоснованы способы формирования сверхкоротких импульсов формы моноцикла и дуплета путем сложения нескольких импульсов с колокольными огибающими. Разработан алгоритм определения характеристик трехзвенного сумматора конструкции Уилкинсона, обеспечивающего заданную полосу пропускания для сложения сверхширокополосных сигналов. Представлена методика формирования сверхкоротких сигналов сложной формы, в частности, двухпериодного импульса.

В четвертой главе диссертации разработан программно-аппаратный измерительный комплекс для автоматизированного измерения характеристик сверхкоротких импульсов и управления задержками сигналов в формирователе сигналов старших производных от кривой Гаусса. Исследованы зависимости формы сигнала от напряжений питания и выполнена программная интерпретация алгоритма нормированной среднеквадратической ошибки NMSE – Normalized mean square error для сравнения формы импульсов.

К числу наиболее значимых научных результатов работы, обладающих научной новизной и представляющих научный и практический интерес в области радиофизики, на наш взгляд, относятся следующие.

1. Методика управления объемом накопленного заряда в активной области диода с накоплением заряда для задания установленной формы видеоимпульса на выходе генератора.

2. Схема генератора с двумя запускающими каналами для независимого управления временем инжекции и началом процесса экстракции для регулирования формы колокольного сигнала и анализа характеристик диодов с накоплением заряда.

3. Модель многозвенной структуры сумматора и обоснованные предложения по построению макета устройства для сложения сверхширокополосных сигналов.

4. Методика построения схемы управляемого генератора с использованием сверхширокополосного сумматора для формирования моноциклов и дуплетов с заданными характеристиками.

Высокая степень обоснованности научных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных автором, определяется тем, что они получены с использованием современных методов теории волновых процессов, электродинамики, математического моделирования и теории эксперимента.

Достоверность и новизна научных результатов, выводов и рекомендаций. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается:

- применением теоретически обоснованных и прошедших апробацию методов исследования; использованием сертифицированных средств для проведения натуральных экспериментов;

- выбором ограничений, допущений и исходных данных из практики разработки технологий и устройств генерации сверхкоротких импульсов.

Она подтверждается ясной физической трактовкой выявленных эффектов, их соответствием общим физическим закономерностям; частные результа-

ты исследования, использованные для выполнения контрольных расчетов по разработанным методикам, согласуются с результатами, содержащимися в работах других авторов.

Новизна научных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе, состоит в разработке аппарата для эффективного решения задач анализа закономерностей генерации сверхкоротких импульсов гауссовой формы и ее производных. Применение разработанных автором моделей и методик позволяет расширить теоретические знания в области исследования и создания новых электродинамических систем и устройств формирования сигналов по вопросам, связанным с оценками влияния параметров конструкций и условий функционирования генераторов на характеристики сверхкоротких импульсов.

Предложенные автором новые решения строго аргументированы и критически оценены по сравнению с другими известными результатами в области исследования.

Теоретическая значимость работы определяется тем, что представленные в ней модели и методики исследования процессов генерации сверхкоротких импульсов гауссовой формы и ее производных расширяют возможности построения радиофизических устройств для добывания, обработки информации и передаче-приему сообщений по каналам информационно-телекоммуникационных систем.

Основные результаты диссертации прошли широкую апробацию на международных и всероссийских научных форумах по тематике исследования и в полной мере опубликованы в 20 научных работах, включая 4 статьи в периодических изданиях, входящих в Перечень Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации, 1 статью в издании, включенном в международные базы цитирования Web of Science и Scopus, 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Ценность работы для практики заключается в обосновании рациональных правил выбора топологии и параметров конструкций устройств генерации сверхкоротких импульсов для использования в средствах и системах добывания, обработки и передачи-приема информации. Разработанные по результатам выполненных автором исследований модели и методики позволяют достичь высокой точности задания частотно-временных параметров и сохранения стабильности амплитудных характеристик при формировании сверхкоротких импульсов. Стабильность свойств генерируемых процессов, в свою очередь, позволяет снизить ресурсные и временные затраты на изготовление опытных образцов, экспериментальные исследования, доводку и настройку компонентов устройств, применяемых при формировании сверхкоротких импульсов.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования подтверждается реализацией в макетах генераторов сверхкоротких импульсов с оригинальными структурами сумматоров и схемами управления.

Замечания и недостатки диссертационной работы. К числу основных замечаний и недостатков работы, на наш взгляд, относятся следующие.

1. В диссертации в явном виде не представлены объект и предмет исследования, формулировки решаемой научной задачи и научной гипотезы о направлении научного поиска и способе достижения цели исследования. При обосновании актуальности темы исследования не приведены количественные оценки несоответствия полученных в настоящее время характеристик и показателей эффективности генерации сверхкоротких импульсов; при доказательстве факта достижения цели работы не оценена степень соответствия полученных результатов требуемому уровню.

2. Степень разработанности темы исследования определена очень схематично и обобщенно, в объеме четырех предложений (см. стр. 8 в диссертации). Столь краткое изложение материала не позволяет корректно оценить современный уровень достижений в предметной области и результаты деятельности ведущих специалистов и научных школ по созданию и развитию технологий генерации сверхкоротких импульсов.

3. Имеет место неполное соответствие между формулировками частных задач исследования, научных результатов и авторскими оценками их научной новизны. При этом не представляется целесообразным определять вопросы «экспериментальных исследований работы генератора видеоимпульсов с независимым управлением временем накачки и моментом начала рассасывания заряда», а также «разработки программно-аппаратного измерительного комплекса для автоматизированного измерения параметров и характеристик видеоимпульсов» в качестве самостоятельных частных задач исследования.

4. При модельном представлении генератора с двумя каналами управления автор ограничивается схемой для формирования импульса положительной полярности.

5. При сравнении параметров топологии, полученных при моделировании, с характеристиками экспериментального макета трехзвенной конструкции сумматора на рис. 30 и 32 в диссертации наблюдаются значительные различия. Однако необходимые пояснения по сути установленных расхождений в работе не приводятся. Анализ приведенной на рисунке 37 осциллограммы моноцикла, сформированного в рамках экспериментальных исследований, выполняется без сопоставления с результатами расчетов. Данное обстоятельство несколько затрудняет восприятие материала и установление адекватности выявленных закономерностей.

Вместе с тем, отмеченные недостатки, непосредственно не охватывающие основные научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, не снижают общего позитивного впечатления от работы и не ставят под сомнение ее положительную оценку.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации. В нем в лаконичной форме ясно изложены основные идеи, выводы и рекомендации, показаны единоличное авторство соискателя, научная новизна результатов, теоретическая значимость и практическая ценность работы.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней. На основе анализа диссертации

ЕЛФИМОВА А.Е. «Генерация сверхкоротких импульсов гауссовой формы и ее производных» сделаны следующие выводы.

1. Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная задача разработки моделей и методик анализа физических процессов, протекающих в диодах с накоплением заряда, определяющих форму сверхкоротких видеоимпульсов на выходах генераторов и условия управления их амплитудами и длительностью. Задача диссертационного исследования, решение которой способствует совершенствованию технологий создания новых электродинамических систем и устройств формирования сигналов, имеет значение для направления исследований, определенного пунктом 3 паспорта специальности 1.3.4. Радиофизика.

2. Диссертация является завершенной научной работой, обладающей внутренним единством, содержит новые научные результаты, нашедшие практическое использование при разработке, исследовании и создании новых электродинамических систем и устройств формирования сигналов и свидетельствующие о личном вкладе автора в науку. Предложенные соискателем решения строго аргументированы и оценены в сравнении с известными аналогами.

3. Работа удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, ЕЛФИМОВ А.Е., достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. Радиофизика.

Согласен с включением моих персональных данных в аттестационное дело соискателя ЕЛФИМОВА А.Е. и их дальнейшей обработкой.

Официальный оппонент:

профессор кафедры электрооборудования (и оптико-электронных систем)
Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия имени профессора
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
доктор физико-математических наук доцент


Разиньков Сергей Николаевич

«03» июня 2025 года

Подпись Разинькова С.Н. заверяю

Старший помощник начальника строевого отдела
Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия имени профессора
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

«03» июня 2025 года




И.Антонов

Сведения об оппоненте:

Разиньков Сергей Николаевич, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук по специальностям 01.04.03 – Радиофизика, 05.12.07 – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии, доцент, профессор кафедры электрооборудования (и оптико-электронных систем) федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации

Адрес: 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а

Телефон: 8-(473)-244-78-29, e-mail: vva@mil.ru