

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
Рязанцева Александра Дмитриевича
«Совершенствование характеристик генераторов на основе диодов с
накоплением заряда»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.3.4. Радиофизика

В настоящее время у специалистов в области радиофизики и твердотельной электроники, сфокусированных на разработке сверхширокополосных систем связи и радиолокации, наблюдается значительный интерес к совершенствованию характеристик генераторов сверхкоротких импульсов субнаносекундной длительности.

В связи с этим тема диссертация Рязанцева Александра Дмитриевича, *целью* которой стало разработка способов уменьшения длительности и увеличения амплитуды сверхкоротких импульсных сигналов квазигауссовой формы, формируемых генераторами на основе диодов с накоплением заряда, является *актуальной* для исследователей, сфокусированных на разработке и совершенствованию характеристик генераторов сверхкоротких импульсов субнаносекундной длительности с управляемыми параметрами с использованием современной элементной базы твердотельной электроники.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 131 странице, содержит 47 рисунков, 1 таблицу и список литературы из 123 наименований. Работа по структуре и объему соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель работы, решаемые задачи, новизна исследований и практическая значимость полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту, представлены сведения о личном вкладе автора в диссертационную работу, а также сведения об апробации ее результатов, публикациях, объеме и структуре работы.

В первой главе диссертации выполнен анализ параметров и режимов работы диодов с накоплением заряда (ДНЗ) с точки зрения возможности их эффективного использования в качестве элементов систем формирования сверхкоротких импульсов субнаносекундной длительности. Результаты проведенного анализа стали основой для формулировки задач диссертационного исследования.

Автором рассмотрен физический механизм работы диодов с накоплением заряда, обеспечивающий его использование в качестве переключающего элемента с субнаносекундной длительностью переходных процессов.

Автором описывается методика измерения параметров диодов с накоплением заряда в зависимости от режимов их работы с использованием разработанного автоматизированного программно-аппаратного измерительного комплекса (ПАИК).

Автором представлены результаты экспериментального исследования параметров последовательных сборок ДН, применение которых позволяет увеличить максимально допустимое пробивное напряжение, а также уменьшить суммарное время переключения в непроводящее состояние.

Автором сформулированы условия выбора диодов с накоплением объемного заряда для обеспечения синхронности их переключения в сборке диодов: равенство времен переключения диодов, синхронность моментов начала переключения при идентичных режимах работы, равенство накопленных зарядов в активной области каждого диода.

Во второй главе приведены результаты теоретического и экспериментального исследования генераторов импульсов квазигауссовой формы, а также исследованию зависимостей их характеристик от параметров диодов с накоплением заряда, лежащие в основе данных формирователей.

Автором выполнено теоретическое исследование влияния разброса параметров ДНЗ на формируемые с помощью генераторов импульсы квазигауссовой формы. Аналитически описана и смоделирована работа ДНЗ в схеме генератора сверхкоротких импульсов в режиме длительного накопления заряда. В теоретической модели рассмотрены фаза длительного накопления заряда в ДНЗ, характеризующаяся высоким уровнем инжекции носителей обоих знаков; фаза экстракции заряда из активной области; фаза резкого переключением диода с накоплением заряда в непроводящее состояние.

Автором с использованием разработанного измерительного стенда было проведено экспериментальное исследование зависимости амплитуды и длительности импульсов от разброса параметров ДНЗ. Исследовался формирователь импульсов квазигауссовой формы на основе ДНЗ и магнитного накопителя энергии.

Показано, что последовательное соединение пары диодов с накоплением заряда, имеющих максимально похожие переходные характеристики, позволило получить на нагрузке импульсы с максимальным размахом. Были сформированы импульсы с амплитудой, превосходящей амплитуду импульсов, полученных схемами с одиночными диодами, на величину порядка 30% и длительностью на 40% меньше, чем в схеме с одиночным диодом.

Третья глава настоящей диссертации посвящена описанию схемотехнических методов сокращения длительности сверхкоротких импульсов квазигауссовой формы, формируемых генераторами на основе ДНЗ с магнитным накопителем энергии.

Автором предложено три решения проблемы уменьшения длительности формируемых импульсов без существенного падения его амплитуды.

Во-первых, предлагается использовать обостритель спада (заднего фронта) импульса на основе генератора СКИ. Обострителем в данном случае является второй каскад на основе диода с накоплением заряда, который включается в цепь нагрузки первого каскада. Идея данного метода состоит в

том, чтобы удалять накопленный заряд из диода-обострителя импульсом, формируемым с помощью первого каскада.

Во-вторых, предлагается уменьшать величину паразитного заряда, накапливаемого вне активной области диода, используя для накачки диода вместо постоянного тока с длительным временем протекания сверхкороткие импульсные сигналы.

В-третьих, предлагается использовать нелинейную линию передачи, представляющую собой цепь, состоящую из нескольких секций. Каждая такая секция состоит из параллельно соединенных линейных индуктивностей и нелинейных емкостей. В качестве нелинейной емкости использовались полупроводниковые диоды, смещенные в обратном направлении. Автором было проведено SPICE моделирование четырехкаскадной нелинейной линии передачи на основе копланарной волноводной линии с включением варикапов.

Четвертая глава посвящена оригинальному, разработанному автором автоматизированному программно-аппаратному измерительному комплексу, который позволяет получить переходные характеристики диодов с накоплением заряда, работающих в режиме переключения и по ним определить основные параметры этих диодов и их зависимости от режима работы.

В данной главе подробно описаны процесс разработки, устройство, принцип действия и графический интерфейс пользователя ПАИК ДНЗ для измерения параметров ДНЗ и влияния их на формируемые с их помощью сверхкороткие импульсные сигналы.

Использование данного измерительного комплекса позволило ускорить процесс измерения больших партий ДНЗ, исключить ошибки измерений, связанные с человеческим фактором, и значительно упростить селекцию диодов в соответствии с методикой их отбора, описанной в первой главе.

В заключении приведены основные результаты и сформулированы выводы диссертационной работы.

Степень обоснованности научных положений, научная новизна и значимость полученных диссертантом результатов исследований не вызывают сомнений.

Среди **новых научных результатов**, полученных автором, к наиболее значимым с научной точки зрения можно отнести следующие:

Предложена научно обоснованная методика отбора диодов с накоплением заряда для их последовательного подключения в схемах генерации импульсного сигнала с характеристиками, обеспечивающими существенное уменьшение длительности формируемого импульсного сигнала за счет реализации режима их одновременного переключения.

Разработан метод сжатия и управления длительностью сверхкоротких импульсных сигналов, получаемых с помощью схемы генератора на базе диодов с накоплением заряда (ДНЗ) и магнитного накопителя энергии, с использованием нелинейной линии передачи, представляющей собой цепь, состоящую из нескольких секций, выполненных в виде параллельно соединенных линейных индуктивностей и нелинейных емкостей.

Разработан на базе формирователя с ДНЗ и магнитным накопителем энергии способ получения сверхкоротких импульсных сигналов с большей амплитудой и меньшей длительностью, основанный на уменьшении величины заряда, инжектированного вне активной области диода, за счёт ограничения времени протекания тока накачки через его полупроводниковую структуру при использовании импульсной накачки.

Следует отметить несомненную *практическую значимость* полученных в работе результатов.

Предложенная автором оригинальная методика отбора ДНЗ может быть использована при селекции ДНЗ для использования их в последовательных сборках диодов, что обеспечивает улучшение формируемых с помощью этих сборок сверхкоротких импульсных сигналов.

Разработанный в диссертации автоматический программно-аппаратный измерительный комплекс для определения основных параметров диодов с накоплением заряда и их зависимостей от режимов работы диодов может быть внедрен в процесс производства полупроводниковых диодов для организации их селекции по параметрам и уменьшения разброса этих параметров в пределах одной партии. Использование разработанного комплекса позволяет учесть существующий разброс параметров ДНЗ при проектировании систем связи.

Предложенные автором схемотехнические решения обеспечивают сокращение длительности сверхкоротких импульсов квазигауссовой формы, формируемых генераторами на основе ДНЗ с магнитным накопителем энергии.

Обоснованность и достоверность полученных диссертантом результатов и выводов обеспечивается обоснованностью выбранного метода теоретического описания, использованием современной 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.

Диссертация содержит хорошо оформленный иллюстративный материал.

Диссертация написана грамотным и профессиональным языком.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

Материал диссертации изложен в 16 работах, в том числе в 4 статьях в рецензируемых научных изданиях (две публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ) и изданиях, входящих в международные наукометрические базы (две публикации, индексируемые в Scopus, Web of Science), в трудах международных и всероссийской конференциях. В том числе один патент на полезную модель и два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

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

В работе не представлены оценки погрешностей измерений определяемых экспериментально физических величин.

В диссертации сказано, что разработанный автором автоматизированный программно-аппаратный измерительный комплекс обеспечил согласование в сверхширокой полосе частот. Однако, не объяснено за счет чего удалось добиться согласования, что особенно важно при работе ДНЗ в режиме большого сигнала.

В работе в результате экспериментального исследования нелинейной линии передачи была получена зависимость длительности импульса от напряжения смещения U (рисунок 3.16 диссертации). Однако, не объяснено, с чем связано наличие минимального значения длительности импульса при напряжении питания на диоде $U=2.4$ В.

В диссертации автором обсуждается величина накопленного заряда в случае использования пары последовательно соединенных диодов, а реально используется четыре диода. Как в этом случае оценивается величина накопленного заряда?

Автором иногда используется, на мой взгляд, неудачный термин: «сверхширокополосный импульс». Лучше использовать формулировку «сверхкороткий импульс». Хотя понятно, что автор имеет ввиду сверхкороткий импульс для формирования сверхширокополосного сигнала.

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

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

Соответствие содержания научной специальности.

Диссертация Рязанцева Александра Дмитриевича посвящена исследованию методов генерации импульсных сигналов субнано- и пикосекундной длительностей. Согласно приказу Минобрнауки России от 24 февраля 2021 г. № 118 «Об утверждении номенклатуры специальностей, по которым присуждаются ученые степени, ...», она **соответствует научной специальности 1.3.4. Радиофизика** (по направлениям п.1 – Разработка физических основ генерации, усиления и преобразования колебаний и волн различной природы...; п.2 – Изучение линейных и нелинейных процессов излучения, распространения, дифракции, рассеяния, взаимодействия и трансформации волн...; п.4 – 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).

Характеризуя диссертацию в целом, следует отметить, что работа Рязанцева Александра Дмитриевича 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 совершенствованием характеристик генераторов на основе диодов с накоплением заряда.

Заключение. Считаю, что диссертационная работа Рязанцева Александра Дмитриевича «Совершенствование характеристик генераторов на основе диодов с накоплением заряда», 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 Рязанцев Александр Дмитриевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. Радиофизика.

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

« 28 » ноября 2022 г.

Подпись заведующего кафедрой физики твердого тела института физики, доктора физико-математических наук, профессора Скрипаля Александра Владимировича

ЗАВЕРЯЮ

Учёный секретарь
ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского»
кандидат химических наук, доцент



 Федусенко Ирина Валентиновна

Служебный адрес: 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского»

Телефон: +7 (8452) 51-14-30

E-mail: skripala_v@info.sgu.ru

Научная специальность докторской диссертации Скрипаля Александра Владимировича 01.04.10 – Физика полупроводников и диэлектриков, 01.04.03 – Радиофизика.