

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

SIBERIAN
FEDERAL
UNIVERSITY



СИБИРСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Институт инженерной физики и радиоэлектроники
660074, Россия, Красноярск, ул. Ак. Киренского, 28
телефон / факс (391) 291-22-72

<http://efir.institute.sfu-kras.ru>, e-mail: Ysalomatov@sfu-kras.ru

29.11.2018 № 040801/885

на № _____ от _____

Учёному секретарю
диссертационного совета
Д212.268.01

Доктору физико-математических
наук, профессору

Мандель А.Е.

ФГБОУ ВО ТУСУР

634050, г. Томск,
пр. Ленина, 40, ауд. 201

Уважаемый Аркадий Евсеевич!

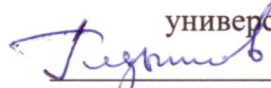
Направляем **Отзыв** ведущей организации (ФГАОУ ВО СФУ) на диссертационную работу **Дроздова Алексея Викторовича** «Интегральные широкополосные умножители и смесители СВЧ на основе GaAs диодов Шоттки», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Зам. директора по науке ИИФ и РЭ

Ю.П. Саломатов

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по науке
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего
образования «Сибирский федеральный
университет» (СФУ)




М.И. Гладышев
«03» 12 2018 г

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу **Дроздова Алексея Викторовича**
«Интегральные широкополосные умножители и смесители СВЧ на основе GaAs диодов
Шоттки», представленную на соискание
учёной степени кандидата технических наук по специальности
05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии

Актуальность темы диссертационной работы.

В настоящее время в современной связной, радиолокационной и измерительной аппаратуре СВЧ находят широкое применение широкополосные радиоэлектронные компоненты. Это обусловлено требованиями увеличения скорости и объема передаваемой информации. К радиоэлектронным комплексам СВЧ диапазона предъявляются все более жесткие требования к снижению габаритов и массы. Эффективный учёт перечисленных требований достигается развитием микроэлектроники СВЧ. В последние годы в мире и в России отмечается значительный прогресс в данной области. Исследование, разработка и производство широкополосных преобразователей частоты в интегральном исполнении на основе освоенных на отечественном предприятии компонент представляют актуальное направление. Поэтому тема представленной диссертации Дроздова А.В. безусловно имеет высокую степень актуальности. В диссертации отражена работа, выполненная с целью создания отечественной номенклатуры МИС преобразователей частоты, предназначенных для комплектации узлов измерительной аппаратуры. Такая постановка задач, решаемых диссертантом, повышает важность работы.

Соответствие темы диссертации научной специальности.

В диссертационной работе Дроздова А.В. представлены следующие основные результаты теоретических и экспериментальных исследований: разработка моделей диодов Шоттки и пассивных компонент интегральной технологии, производимых АО «НПФ «Микран»; разработка интегрального удвоителя частоты диапазона 20-50 ГГц; разработка симметрирующих трансформаторов, являющихся элементами умножителей и смесителей частоты; разработка фильтров ПЧ для улучшения электромагнитной совместимости; результаты создания широкополосных МИС смесителей частоты на основе модернизированных симметрирующих трансформаторов и других компонент.

Перечисленные компоненты исследовались методами анализа волновых процессов, параметры устройств определялись в виде матриц рассеяния, а экспериментальные исследования проводились с помощью векторных анализаторов цепей СВЧ. Выполненная работа соответствует паспорту специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ устройства и их технологии» (технические науки), относится к областям:

- Исследование и разработка новых антенных систем, активных и пассивных устройств СВЧ, в том числе управляющих, фазирующих, экранирующих и других с существенно улучшенными параметрами (п.3 паспорта);
- Исследование и разработка интегрированных схем СВЧ новых поколений (п. 4 паспорта).

Общая характеристика работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Объем работы составляет 137 страниц машинописного текста, включая 104 рисунка, таблицы, список литературы из 138 наименований. Структура и содержание работы соответствуют сформулированным целям и задачам исследования. Полученные теоретические, численные результаты и выводы обоснованы и подтверждены данными экспериментальных исследований. Автореферат достаточно полно отражает содержание, выводы и результаты исследований, представленных в диссертации.

Основные результаты диссертации опубликованы в 13 работах, в том числе 2 статьи опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК, 7 работ в трудах международных конференций, 1 доклад в сборнике всероссийской конференции, 3 публикации индексируются в Scopus, получены 3 свидетельства на регистрацию топологий интегральных микросхем.

Анализ содержания работы.

Во *введении* обоснована актуальность работы, сформулированы цель работы, задачи исследований, научная новизна и практическая значимость.

Первая глава – обзорная, посвящена анализу состояния исследований и разработок преобразователей частоты и компонент, используемых для их создания. Отмечается, что наиболее важными элементами преобразователей являются GaAs диоды Шоттки. Изложены вопросы их моделирования применительно к решению задач исследования и проектирования интегральных широкополосных умножителей и смесителей СВЧ. Значительное внимание уделено элементам МИС. В конце раздела сформулированы задачи, решаемые в диссертации.

Вторая глава посвящена решению задач разработки моделей диодов Шоттки и пассивных компонентов интегральной технологии, производимых АО «НПФ «Микран». В разделе значительная часть материала посвящена разработке модели диода Шоттки, выполненных по квазивертикальной геометрии. Работоспособность полученной модели диода была показана в процессе разработки и реализации удвоителя частоты диапазона от 20 до 50 ГГц и ряда смесителей в диапазоне от 5 до 50 ГГц. Полная модель включает в себя результаты экстракции параметров, которые были получены на основе экспериментальных данных. Моделирование проводилось в САПР ADS Keysight. Приведено сравнение параметров рассеяния полученной модели диода Шоттки с результатами измерения, получено хорошее соответствие вплоть до частоты 50 ГГц.

В главе представлена оригинальная схема сверхширокополосной согласованной нагрузки, применяющейся при измерениях параметров симметрирующих трансформаторов. В схеме использован метод компенсации паразитной индуктивности заземляющих переходных отверстий.

Третья глава посвящена результатам исследования и разработки интегрального удвоителя частоты диапазона 20-50 ГГц. Значительный объем материала посвящен исследованию мостов Маршанда, основного пассивного элемента преобразователей частоты, в том числе удвоителей. Решена задача уменьшения дисбаланса амплитуды и фазы входного и выходного трансформаторов, что принципиально для построения качественных преобразователей исследуемого типа. Сведение на плечах трансформаторов дисбаланса амплитуды до величины менее 0,5 дБ, фазы менее 2 градусов позволило получить уровень подавления нечётных гармоник умножителя более 30 дБ. МИС удвоителя частоты вошла в состав ГИС модулей приборов Р2М, серийно выпускаемых АО «НПФ «Микран».

Четвёртая глава содержит результаты исследования смесителей частоты. Автор творчески подошел творчески к решению поставленных задач, продолжив исследования и разработку симметрирующих трансформаторов, фильтров ПЧ в составе МИС для улучшения электромагнитной совместимости и применив результаты предыдущих глав для создания широкополосных МИС смесителей частоты на основе модернизированных симметрирующих трансформаторов и других компонент. Получен практический результат - предложенная реализация смесителя применяется в серийном производстве приборов ВАЦ Р4226 АО «НПФ «Микран». Разработанный смеситель находит применение в приёмном тракте ВАЦ Р4М- 50. На МИС смесителя MD622, разработанной в диссертации, получено свидетельство о государственной регистрации топологии интегральной микросхемы.

Научная новизна полученных автором результатов, выводов и рекомендаций

Научная новизна результатов, полученных автором диссертации, обусловлена, во-первых, актуальностью решаемой задачи создания монолитных интегральных схем СВЧ на отечественной технологической базе, во-вторых, высоким уровнем системности при достижении этой цели, в-третьих, высоким уровнем подготовки диссертанта, позволившим ему решить комплекс задач моделирования, проектирования и экспериментального исследования на высоком уровне проведения этих работ с практическим внедрением в производство. Наиболее важные результаты:

1) Научно обоснованы на основе системного подхода к моделированию и экспериментальным исследованиям новые топологии смесителей частоты, в результате получены минимальные потери преобразования и максимальное подавление внеполосных колебаний на уровне лучших разработок МИС СВЧ.

2) Разработана оригинальная топология интегрального фильтра нижних частот для применения в тракте ПЧ смесителей с расширенной полосой заграждения, фильтр позволяет получить ослабление нежелательных спектральных составляющих до минус 40 дБ.

3) Разработаны и экспериментально исследованы МИС умножителей частоты диапазона 20 – 50 ГГц с высоким уровнем подавления паразитных составляющих.

4) Предложена новая топология и проведено исследование симметрирующего трансформатора с расширенным рабочим диапазоном, для применения в смесителях частоты диапазона 13 – 50 ГГц.

5) Разработаны и экспериментально исследованы МИС смесителей частоты диапазона 5 – 26 ГГц и 13 – 50 ГГц, имеющие характеристики, сравнимые с зарубежными аналогами.

Значимость результатов работы для науки и практики

Теоретическая значимость работы заключается в следующем:

1) Путем анализа модели симметрирующего трансформатора Маршанда с расширенным частотным диапазоном при ограничении неравномерности коэффициента передачи для используемой технологии получены условия достижения предельной полосы рабочих частот.

2) Уточнена модель квазивертикальных диодов с барьером Шоттки, основанная на экстракции параметров с использованием экспериментальных данных, что обеспечивает уменьшение ошибки проектирования и её применимость для моделирования различных нелинейных цепей, таких как умножители и смесители частоты в диапазоне до 50 ГГц.

3) Предложенный способ коррекции топологической индуктивности при разработке интегрального фильтра низких частот с расширенной полосой заграждения может быть применён для широкого круга задач при устранении паразитных полос пропускания.

4) Показана правомерность применения метода «L-2L» для пассивных цепей к решению задачи определения параметров модели диодов Шоттки в диапазоне до 50 ГГц.

Практическая значимость диссертационной работы

Выполненные исследования и разработки ориентированы на применение при серийном производстве измерительных приборов СВЧ диапазона. Приводимые автором диссертации факты

применения его разработок в промышленности убеждают в высокой практической значимости диссертационной работы. Отметим наиболее существенные моменты.

1) Предложенные модели трансформаторов и компонентов позволяют упростить разработку преобразовательных устройств на основе собственной технологии монолитных интегральных схем АО «НПФ «Микран».

2) Создание на основе технологии арсенида галлия нагрузки с рабочим диапазоном до 50 ГГц и коэффициентом отражения не хуже минус 25 дБ.

3) Создание в диапазоне до 50 ГГц фильтра нижних частот с расширенной полосой заграждения с частотой среза 2 ГГц и потерями в полосе заграждения не менее 30 дБ.

4) Спроектированные и изготовленные МИС умножитель частоты диапазона частот 20 – 50 ГГц с коэффициентом преобразования не хуже минус 12 дБ, двойной балансный смеситель частоты диапазонов 5 – 26 ГГц и 13 – 50 ГГц с коэффициентом преобразования не хуже минус 10 дБ.

Достоверность результатов работы

Достоверность результатов работы основана на корректном использовании методов анализа устройств, получении экспериментальных данных, подтверждающих полученные результаты моделирования с установленными границами их применимости. Экспериментальные исследования проведены в полном объеме с применением современных методов измерений на СВЧ и приборов – векторных анализаторов цепей, утвержденных в качестве средств измерений в РФ.

Публикации и апробация результатов работы

Основные результаты диссертации опубликованы в 13 работах, в том числе 2 статьи опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК, 7 работ в трудах международных конференций, 1 доклад в сборнике всероссийской конференции, 3 публикации индексированы в Scopus, получены 3 свидетельства на регистрацию топологий интегральных схем.

Результаты исследований и разработок докладывались и обсуждались на конференциях:

Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и теле коммуникационные технологии», г. Севастополь, 2015 г.;

Международной конференции Электронные средства и системы управления, Томск, 2017 г.;

Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT), IEEE. 2018;

Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2016», Томск;

17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, 2016;

International Conference on Microwaves, Communications, Antennas and Electronic System, COMCAS-2015, Tel Aviv, Israel;

Electronic Design Innovation Conference EDICON 2017, Shanghai, China, 2017;

Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2013», Томск, 2013 г.

Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при разработке СВЧ пассивных компонент (фильтров ПЧ, мостов, нагрузок), при разработке и производстве измерительной аппаратуры (векторных анализаторов цепей, анализаторов спектра и др.), приемных трактов коммуникационной и радиолокационной аппаратуры, в физических исследованиях на СВЧ и при действии импульсов пико- наносекундного диапазона. Потребителями устройств и модулей могут быть предприятия, выпускающие аппаратуру СВЧ диапазонов.

Замечания по работе

В ходе обсуждения работы выявились следующие недостатки:

1. Недостаточно подробно описаны конструктивные и технологические особенности использованных GaAs диодов Шоттки производства АО «НПФ «Микран» (раздел 1 диссертации).

2. Не для всех представленных моделей разработанных устройств приводятся или описываются эквивалентные схемы, отражающие их особенности. Например, нет эквивалентных схем нагрузки (глава 2) и фильтра ПЧ (глава 4).

4. В тексте диссертации и автореферате имеются орфографические и синтаксические погрешности. Так в автореферате в списке публикаций под номером 10 явно ошибочно указаны разные годы проведения конференции и публикации.

Перечисленные замечания не снижают общую высокую оценку диссертационной работы и её значимость в решении задачи создания элементной базы и устройств СВЧ для производства современных измерительных приборов и систем.

Заключение

Диссертационная работа соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения» о порядке присуждения учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, №824 (ред. от 28.08.2017, № 1024), так как является завершённой научно-квалифицированной работой, в которой комплексно решена актуальная задача научного обоснования и создания широкополосных умножители и смесителей СВЧ на основе GaAs диодов Шоттки.

Учитывая вышеизложенное, считаем, что Дроздов Алексей Викторович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Отзыв на диссертационную работу обсуждён на семинаре кафедры радиотехники
« 14 » ноября 2018 г., протокол № 3

Заместитель директора по науке и развитию Института инженерной физики и радиоэлектроники
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,
канд. техн. наук, профессор



Ю. П. Саломатов

Наименование организации	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (ФГАОУ ВО СФУ), г. Красноярск
Почтовый адрес	660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
E-mail	ysalomatov@sfu-kras.ru
Телефон	+7 (391) 291-22-78
Должность, степень	Заведующий кафедрой Радиотехники, к.т.н., профессор
Ф И О	Саломатов Юрий Петрович

