

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Коряковцева Артёма Сергеевича «Автоматизированное проектирование и разработка интегральных трансимпедансных усилителей для быстродействующих оптических приемников», на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии

Актуальность темы. Трансимпедансные усилители СВЧ диапазона (ТИУ) являются одними из важных блоков сопряжения широкополосных функциональных узлов с усилительными трактами. Повышенный интерес к ТИУ вызывается задачами построения волоконно-оптических систем передачи, которые содержат оптические приемники и передатчики и используются в современных системах гражданского и специального назначения. Как всегда, возникает проблема реализации предельных полосовых и шумовых характеристик, в том числе нахождения компромисса между ними.

Современная ситуация в России такова, что разработка интегральных схем (ИС) СВЧ ТИУ на отечественных полупроводниковых технологиях практически не ведется, а в разрабатываемых модулях оптических приемников используют готовые зарубежные компоненты. Однако, весьма актуальным остается вопрос создания аналитических методик проектирования устройств данного типа, которые позволили бы не только осуществить пошаговую разработку схемы, но и осуществить это оптимальным образом. Дополнительной сложностью является рассматриваемый частотный диапазон для проектирования ТИУ, так как необходимо учесть множество факторов, в том числе использовать точные модели интегральных элементов. Поэтому вопросы автоматизированного проектирования, разработка ИС СВЧ ТИУ для быстродействующих оптических приемников являются актуальной задачей как с научной, так и с практической точки зрения.

Общая характеристика работы. Диссертация состоит из введения, трёх разделов, заключения, списка используемых источников, включающих 186 наименований и приложений с актами внедрения, свидетельствами регистрации топологий и программы ЭВМ. Основной текст диссертации содержит 185 страниц, 107 рисунков и 32 таблицы.

Автореферат диссертации подготовлен и оформлен в соответствии с требованиями ВАК и отражает основное содержание диссертационной работы.

Во введении приведена постановка задачи, сформулирована актуальность работы и научная новизна, описана практическая значимость и личный вклад автора, сформированы положения, выносимые на защиту.

Первый раздел посвящен особенностям структурных решений и технологий изготовления интегральных СВЧ оптических приемников для цифровых и аналоговых сигналов, рассматриваются проблемы коррекции АЧХ, получения широкой полосы пропускания и реализация низкого шума для СВЧ ТИУ. Также приведено описание и преимущества автоматизированного символьного анализа для линейных электронных цепей и аналоговых схем.

Во втором разделе рассматриваются вопросы автоматизированного символьного анализ и разработка методик проектирования интегральных СВЧ ТИУ с использованием упрощенных линейных и шумовых моделей активных элементов. Была построена масштабируемая линейная модель n-МОП транзистора в диапазоне до 30 ГГц, а также модель гетеробиполярного транзистора на основе БиКМОП технологии. Проведено исследование характеристик входных каскадов СВЧ ТИУ для различных схем включения, в том числе устойчивости и чувствительности к изменению параметров элементов, и предложены способы расчета значений элементов, корректирующих амплитудно-частотную характеристику (АЧХ), в том числе на основе модифицированной методики Брауде. Представлена методика проектирования многокаскадных СВЧ ТИУ с противошумовой коррекцией (ПШК).

Третий раздел посвящен разработке и экспериментальному исследованию интегральных СВЧ ТИУ различного диапазона, вплоть до 30 ГГц. Приводится сравнение результатов моделирования и измеренных на зондовой станции данных. Приведено исследование оптического модуля на основе интегральной схемы по SiGe БиКМОП технологии с использованием широкополосного цифрового сигнала.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Впервые показано, что упрощенные линейные шумовые модели интегральных транзисторов позволяют воспроизвести S-параметры рассеяния с достаточной точностью и выполнить символьный анализ усилительных каскадов СВЧ ТИУ до 20 ГГц.

2. Впервые предложена методика проектирования усилительных каскадов СВЧ ТИУ на основе модифицированного метода Брауде, позволяющая получать АЧХ усиления с заданным наклоном в выбранном частотном диапазоне.

3. Впервые предложена методика проектирования многокаскадных ТИУ с противошумовой коррекцией на основе автоматизированного символьного анализа, позволяющая распределить влияние емкости фотодиода между усилительными каскадами

и аналитически рассчитать значения элементов обратной связи для достижения компромисса между входным шумом и требованиями к усилителю.

Научная значимость. Работа Коряковцева Артёма Сергеевича имеет логически выстроенную структуру, выполнена на высоком научном и техническом уровне, обладает большим объёмом экспериментальных данных, что подтверждает работоспособность предложенных методик и решений. Результаты, полученные автором, позволяют оперативно и с приемлемой точностью синтезировать СВЧ ТИУ, в частности, аналитически и вручную со значительной экономией времени. Это особо ценное обстоятельство, поскольку интуиция разработчика зачастую превосходит возможности методов оптимизации. Представленные в диссертационной работе результаты не оставляют сомнений в научной значимости, поскольку задают перспективное направление для дальнейших исследований в области проектирования СВЧ ТИУ на основе кремниевых и АЗВ5 технологий.

Степень обоснованности и достоверность научных положений и результатов работы. Достоверность полученных результатов и положений диссертационной работы обеспечиваются качественным сопоставлением полученных результатов с имеющимися современными теоретическими и экспериментальными данными, выполнением моделирования на ЭВМ и экспериментального исследования разработанных устройств.

Практическая значимость работы состоит в следующем:

1. В среде Mathcad разработан комплект программ для проектирования усилительных каскадов СВЧ ТИУ на основе совместного применения оптимизированных алгоритмов автоматизированного символьного анализа, упрощенных линейных моделей интегральных полевых и биполярных транзисторов, классического и модифицированного методов Брауде. Программы позволяют выполнить символьный анализ и численное моделирование комплекса характеристик распространенных типов усилительных каскадов СВЧ ТИУ с целью исследования, рассчитать цепи коррекции каскадов с различной требуемой формой АЧХ коэффициента усиления, осуществить проектирование ОПРм с многокаскадными ТИУ с ПШК.

2. Получены аналитические выражения для определения оптимальных значений элементов корректирующих цепей, обеспечивающих максимально-плоские частотные характеристики коэффициента усиления и группового времени задержки (ГВЗ) трансимпеданса, для ряда типовых схем входных каскадов СВЧ ТИУ.

3. С использованием предложенных методик и комплекта программ проведено моделирование и исследование характеристик разных типов ТИУ, выполненных на базе отечественной 90 нм КМОП технологии.

4. Для скоростей передачи данных до 20 Гбит/с был разработан и запущен на изготовление комплект ИС СВЧ ТИУ на базе отечественных 180 нм и 90 нм РЧ КМОП-технологий АО "Микрон".

5. Разработан и экспериментально исследован комплект ИС СВЧ ТИУ с полосой частот до 30 ГГц, изготовленных на основе 250 нм SiGe БиКМОП-технологии.

6. Разработана и экспериментально исследована корпусированная ИС СВЧ ТИУ на отечественной 180 нм КМОП технологии, а также модуль гибридного интегрального оптического приемника на ее основе для скоростей передачи данных до 2,5 Гбит/с.

7. Разработан и экспериментально исследован монолитный оптический приемник со скоростью передачи до 25 Гбит/с на основе 250 нм SiGe БиКМОП-технологии, интегрирующий на одном кристалле фотодиод и ТИУ.

Практическая значимость работы подтверждена актами о внедрении её результатов на предприятиях АО «ОКБ-Планета» и ООО «Микроэлектронные системы».

Основные результаты работы опубликованы в 27 научных работах, среди которых 4 статьи в научных журналах, включенных в перечень ВАК, остальные статьи в сборниках трудов международных и всероссийских конференций, имеется 6 свидетельств о регистрации топологий интегральных микросхем, 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Замечания по диссертационной работе:

1. В предложенных автором укрупненных моделях ТИУ отклонение от полной модели монотонно нарастает в диапазоне частот частотой до удовлетворяющих практику критериев (разделы 2.2.3 и 2.2.5). Не обсуждается заслуживающий внимания вариант знакопеременного отклонения в зависимости от частоты, при котором интегральная погрешность в том же диапазоне могла бы уменьшиться.

2. В работе не обсуждаются пороговые характеристики разрабатываемых ТИУ, в частности, вопрос о согласовании частотной характеристики с формой сигнала и связанное с этим возможное улучшение чувствительности приемника.

Замечания не снижают общего хорошего впечатления о работе, написанной грамотно, логично и убедительно.

Заключение. Диссертация является завершенной научной работой, соответствует критериям, установленным «Положением и порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским работам, а ее автор заслуживает присуждения ему степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело соискателя А.С. Коряковцева и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,
кандидат физико-математических наук по
специальности 01.04.03 «Радиофизика», инженер-
исследователь СФТИ ТГУ

Антипов Владимир Борисович



«09» января 2025 г.

Подпись официального оппонента заверяю



Подпись удостоверяю
Ведущий документовед
Андреев И.В.



«09» января 2025 г.

Контактная информация:

Сибирский физико-технический институт имени академика В.Д. Кузнецова Томского государственного университета

Адрес: 634045, г. Томск, ул. Ф. Лыткина 28г, СФТИ ТГУ

Тел. 41-38-34, e-mail: antipov50@mail.ru