

«УТВЕРЖДАЮ»
Генеральный директор
ООО «ИнноЦентр ВАО»



А.А. Пронин
2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации ООО «Центр инновационных разработок ВАО»
по диссертации 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 диссертационной работы. СВЧ трансимпедансные усилители (ТИУ) являются важной составной частью оптических приемников, применяемых в волоконно-оптических системах передачи аналоговых и цифровых сигналов. На сегодняшний день в России разработка интегральных схем (ИС) СВЧ ТИУ на отечественных полупроводниковых технологиях почти не освоена, и до сих пор работы по созданию подобных устройств на базе КМОП или GaAs технологий с частотами выше 2-3 ГГц в стране не проводились, тогда как за рубежом уже давно разрабатывают и используют подобные микросхемы.

В настоящее время отсутствует общий подход к проектированию интегральных ТИУ, который позволил бы получить аналитические выражения для расчета усилительных каскадов с заданной формой амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и частотной характеристики группового времени запаздывания (ГВЗ) в СВЧ-диапазоне.

Таким образом, рассматриваемые в диссертации задачи разработки ИС СВЧ ТИУ для быстродействующих оптических приемников с полосой пропускания до 20 ГГц на современных полупроводниковых технологиях, в том числе отечественных, а также создание методик исследования и проектирования таких устройств, являются актуальными.

Содержание диссертации. Диссертация состоит из введения, трёх разделов, заключения, списка литературы и шести приложений.

Во введении обоснована актуальность диссертационного исследования, проанализирована степень разработанности темы, обозначены задачи работы. Приведена научная новизна, теоретическая и практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на за-

щиту, приведены сведения об использовании результатов исследования, апробации и публикации результатов, а также о личном вкладе соискателя.

В первом разделе проведён обзор структурных схем и характеристик оптических приёмников, полупроводниковых технологий и схемных решений для усилителей трансимпеданса. Рассматриваются существующие подходы к проектированию интегральных СВЧ широкополосных усилителей и ТИУ, приведены основные способы построения СВЧ оптических высокоскоростных приемников с противошумовой коррекцией.

Во втором разделе построены и верифицированы упрощенные линейные и шумовые ЭС СВЧ МОП- и гетеробиполярных транзисторов. Проведён автоматизированный символьный анализ и исследование характеристик широко распространённых каскадов СВЧ ТИУ на МОП транзисторах, получены формулы для инженерного расчета корректирующих элементов таких каскадов. Предлагаются методики проектирования усилительных каскадов с заданной формой АЧХ, а также многокаскадных СВЧ ТИУ с противошумовой коррекцией.

В третьем разделе представлены результаты автоматизированного проектирования и экспериментального исследования ряда интегральных схем СВЧ ТИУ на основе отечественных и зарубежных полупроводниковых технологий (КМОП, SiGe БиКМОП, GaAs). Разработаны два оптических приёмника с использованием разработанных ТИУ со скоростью передачи до 2,5 Гбит/с и до 25 Гбит/с.

В заключении приведены основные результаты работы, сформулированы научные и практические результаты.

В приложениях приведены копии актов внедрения, свидетельства о регистрации результатов интеллектуальной деятельности, дипломы, а также дополнительные материалы в виде обзора технических решений интегральных СВЧ ТИУ, результатов моделирования и описания классического метода Брауде.

Обоснованность и достоверность результатов работы обеспечиваются адекватностью использованных методов и программных средств, сравнением результатов моделирования и расчета с данными, полученными в ходе натурных экспериментов.

Научная новизна результатов диссертационного исследования.

По результатам изучения диссертации и доступных публикаций автора могут быть выделены следующие результаты, претендующие на научную новизну:

- упрощенные П-образные линейные шумовые эквивалентные схемы МОП транзисторов, которые позволяют с достаточной для инженерной практики точностью выполнить символьный анализ усилительных каскадов СВЧ ТИУ в полосе частот до 20 ГГц;

- модифицированная методика Брауде, адаптированная для проектирования интегральных СВЧ сверхширокополосных и трансимпедансных усилителей и позволяющая управлять

формой АЧХ коэффициента усиления с целью компенсации частотно-зависимых искажений в приемной и передающем тракте;

- методика проектирования многокаскадных ТИУ с противошумовой коррекцией на основе автоматизированного символьного анализа, позволяющая распределить функцию компенсации влияния емкости фотодиода между усилительными каскадами и аналитически рассчитать цепи индуктивной коррекции.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования.

Наиболее значимые практические результаты автора следующие:

- Комплект программ в пакете Mathcad для исследования и проектирования усилительных каскадов СВЧ ТИУ, позволяющие 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 оптических приемников с многокаскадными ТИУ с применением противошумовой коррекции.

- Для нескольких типовых схем каскадов ТИУ получены аналитические выражения для определения оптимальных значений элементов корректирующих цепей, обеспечивающих максимально-плоские частотные характеристики коэффициента усиления и ГВЗ трансимпеданса, что ускоряет разработку и расчет этих схем.

- Комплект ИС СВЧ ТИУ с полосой частот до 30 ГГц, а также монолитный оптический приемник со скоростью передачи до 25 Гбит/с, изготовленные на основе 250 нм SiGe БиКМОП-технологии. На основе последнего устройства изготовлен модуль оптического приемника с оптоволоконном, который был экспериментально исследован в ООО «Файбер-Трейд» (ведущий производитель SFP модулей в РФ).

- Разработан и запущен на изготовление ряд ИС СВЧ ТИУ на базе отечественных КМОП-технологий АО "Микрон" (180 нм и 90 нм) для скоростей передачи данных от 5 Гбит/с до 20 Гбит/с.

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

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. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Замечания по диссертационной работе:

1. Разработанная методика не учитывает паразитные элементы топологии кристалла и пассивных элементов схемы, что может ограничивать её практическое применение.
2. Указанные результаты требуют сравнения с существующими методиками, в том числе на основе численных методов параметрической оптимизации.
3. Представленные упрощенные эквивалентные схемы МОП- и гетеробиполярных транзисторов заслуживают внимания, однако следует более четко обозначить ограничения предложенных моделей и их применимость к различным диапазонам частот.
4. Автором не проведены исследования характеристик разработанных интегральных микросхем в диапазоне температур.


Заключение. Основные результаты диссертационной работы в достаточной степени отражены в опубликованных автором научных трудах, в том числе – в рецензируемых научных изданиях, входящих в ВАК. Научно-практические результаты апробированы на российских и международных научных конференциях, имеются свидетельства регистрации топологий и программы для ЭВМ.

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

На обработку персональных данных дано согласие.

Диссертация была рассмотрена на научно-техническом семинаре ООО «ИнноЦентр ВАО».

Технический директор направления
«Сложнофункциональные
радиочастотные СБИС»
ООО «ИнноЦентр ВАО», к.т.н.



Будяков Алексей Сергеевич
«09» 01 2025 г.

Сведения о ведущей организации:

Общество с ограниченной ответственностью «Центр инновационных разработок ВАО».

Адрес: 107564, г. Москва, ул. Краснобогатырская, д. 2 стр 2, оф. 40.

Тел.: +7 (495) 149-09-90, e-mail: info@icvao.ru

Официальный сайт: <https://ic-vao.ru>

Подпись Будякова Алексея Сергеевича заверяю:

Ведущий специалист по кадрам
ООО «ИнноЦентр ВАО»



Иванова Е.М.