

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель генерального
директора – заместитель
генерального директора по НИОКР и
инновациям

Сиберт С.Д.
« 4 » 12 2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию

Билевича Дмитрия Вячеславовича «Проектирование и синтез драйверов управления для многофункциональных интегральных схем СВЧ диапазона на основе GaAs pHEMT технологии»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14. – Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованных источников, включая список публикаций по теме исследования. Работа содержит 136 страниц машинописного текста, 75 рисунков, 7 таблиц, а также список использованных источников, включающий 115 наименований.

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа Билевича Д. В. посвящена вопросам разработки схемотехники логических элементов и блоков, предназначенных для управления интегральными СВЧ-устройствами с перестраиваемыми параметрами, такими как аттенюаторы, фазовращатели, коммутаторы и т.д., на основе GaAs технологических процессов.

Для повышения надежности, снижения трудоемкости и времени, затраченного на монтаж, управляемые СВЧ-устройства и управляющие логические схемы целесообразно располагать на одном кристалле. При этом благодаря меньшей длине соединений, в сравнении с исполнением в виде отдельных блоков, могут быть снижены токи, потребляемые управляющими схемами, а также повышено

быстродействие за счет снижения паразитных емкостей длинных соединительных линий.

Основной проблемой при разработке логических схем на основе GaAs технологических процессов является сложность обеспечения малых габаритов и малой потребляемой мощности. Это обусловлено малым количеством слоев металлизации, затрудняющим разработку компактного топологического представления, а также целесообразностью применения только нормально открытых рНЕМТ транзисторов, поскольку производство нормально закрытых транзисторов сопряжено с технологическими трудностями.

Автором исследованы известные схемы логических элементов, на основе нормально открытых GaAs транзисторов, что позволило выявить основные закономерности проектирования схмотехники инверторов, элементов И-НЕ, ИЛИ-НЕ, а также построенных на их основе триггеров. В результате было предложено схмотехническое решение логического элемента, обладающего более низким потреблением при сопоставимых с известными решениями габаритах. Для проведения автоматического синтеза схем логических элементов автором были исследованы модели активных элементов и проведено сравнение результатов моделирования с результатами измерений тестовых структур. В результате был предложен алгоритм синтеза элементов на основе генетических алгоритмов.

Поскольку в настоящее время СВЧ-устройства на основе технологических процессов группы АЗВ5 широко распространены и требуются решения для управления параметрами блоков этих устройств, тема представленной диссертационной работы является актуальной.

Достоверность научных результатов подтверждается применением современных методов научных исследований, экспериментальными данными, полученными с помощью современного измерительного оборудования, соответствием экспериментальных данных и результатов моделирования.

Научная новизна полученных результатов

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Предложена новая схема инвертора, построенная на нормально открытых полевых транзисторах, имеющая меньшее потребление в сравнении с известными техническими решениями при сопоставимых габаритных размерах.

2. Впервые предложена методика синтеза логических схем на основе элементов, построенных исключительно на нормально открытых рНЕМТ транзисторах на основе генетического алгоритма.

3. Показано, что модель ТОМЗ в сравнении с другими известными моделями GaAs рНЕМТ транзисторов позволяет достичь большей скорости моделирования во временной области без значительного снижения точности путем сравнительного анализа результатов измерений и экспериментальных данных.

Результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, представлены в 12 научных работах, в том числе 3 в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 5 в изданиях, индексируемых в наукометрических базах данных WoS/Scopus, получено 3 свидетельства о регистрации топологии интегральных микросхем.

Значимость результатов диссертации для науки и производства

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Предложенные методики автоматического проектирования позволяют упростить разработку схем логических устройств, а также уменьшить время, затраченное на разработку.

2. Предложенная схема логического инвертора позволяет уменьшить потребляемую схемой управления мощность без применения нормальной закрытых полевых транзисторов, производство которых сопряжено с технологическими трудностями.

3. С использованием предложенной методики автоматизированной разработки была получена логическая схема на основе GaAs технологического процесса, которая была изготовлена и подвергнута экспериментальным исследованиям, что подтверждает ее работоспособность и возможность применения предложенной методики.

Следует отметить, что изготовление разработанных при помощи предложенной методики управляющих устройств выполнено на основе отечественного 0,25 мкм GaAs рНЕМТ технологического процесса АО «Светлана-Рост», г. Санкт-Петербург.

Замечания

По тексту диссертационной работы имеются следующие замечания:

1. Не совсем очевидна необходимость разработки систем автоматизированного проектирования аналоговых микросхем, поскольку все существующие САПР, например, Cadence Virtuoso, являющийся признанным лидером, Keysight Advanced Design System и др., имеют возможность автоматизации разработки как аналоговых схем, так и аналоговых топологий, результат при этом оставляет желать лучшего. Несомненно, при разработке блоков цифровой обработки

в КМОП процессах широко используется метод синтеза принципиальной схемы на основе поведенческого описания на языках Verilog или VHDL, при этом синтезированная схема может иметь до нескольких сотен миллионов логических вентилях, и, соответственно, несколько миллиардов транзисторов. Кроме того, при синтезе цифровых схем КМОП также синтезируется топологическое описание, схемы компенсации задержек тактового сигнала, шины питания и др. Процесс разработки аналоговых микросхем, в особенности сравнительно простых типовых блоков, включающих в свой состав от нескольких единиц до нескольких десятков элементов, на основе полупроводниковых технологий из группы АЗВ5, фактически сводится к параметризации номиналов элементов в заданных пределах. Следует отметить, что при наличии достаточной квалификации и опыта разработки, инженеру нет необходимости анализировать все возможные сочетания параметров элементов. Топология при этом в любом случае проектируется вручную, таким образом, выигрыш по времени проектирования будет незначительным.

2. В ходе анализа существующих технологий (стр. 11...15) было указано, что по части СВЧ-характеристик БиКМОП SiGe процессы не могут превзойти технологии группы АЗВ5, однако из представленных в открытом доступе спецификаций кремний-германиевых технологических процессов фабрик iHP, GlobalFoundries, STMicroelectronics и т.д., следует, что граничные частоты биполярных транзисторов достигают значений 300...400 ГГц, в то время для GaAs-технологий размерностью 150...250 нм граничные частоты достигают лишь 55...100 ГГц. Более того, благодаря меньшим размерам и специфике устройств, биполярные транзисторы SiGe процессов будут иметь значительно меньшую паразитную емкость, что позволяет с легкостью проектировать устройства с рабочим диапазоном до 20 ГГц и более без применения распределённых структур. Описания реализаций подобных устройств широко встречаются как в отечественных, так и зарубежных статьях, включающих теоретические расчеты и практическую реализацию.

3. Не совсем понятен выбор методик измерения и, соответственно, выводы, сделанные из него. В частности, на стр. 69 указано, что применялись коаксиальные кабели с емкостью 190 пФ, при этом максимальная частота, указанная в тексте работы, составляет 200 кГц. Таким образом, сопротивление на переменном токе указанной емкости на указанной частоте составит порядка 4 кОм, при этом в тексте работы не указаны токи потребления схем и сопротивления резисторов, входящих в состав тестовых структур, для возможности сравнения. В случае значительного влияния емкости кабеля на частотные характеристики возможно следовало изменить измерительную схему, в частности, обеспечить прямое соединение DC зондов с низкочастотными щупами осциллографа, имеющими типичную емкость 10 пФ. Также вызывает вопросы отсутствие схем тестовых структур, хотя, с точки зрения

пояснения достигнутых научных результатов, их наличие было бы предпочтительным.

4. Представление результатов сравнения измерений и компьютерного моделирования с использованием словосочетаний «практически совпадают», «имеют расхождение», «на незначительную величину» и др., без приведения каких-либо численных характеристик для технической научной работы не корректно.

5. В тексте работы встречаются стилистические и терминологические неточности, в частности, большое количество англоязычных терминов, в применении которых нет необходимости. Встречаются предложения, у которых начало и окончание не согласованы по смыслу. В больших количествах встречается слово «данных», «данные» и т.д., которое с учетом частоты повторения фактически становится словом-паразитом, тогда как во многих случаях целесообразнее было бы применить слова «разработанном», «представленном» и др., либо вообще опустить указанное выражение.

Заключение

Указанные недостатки не снижают общей научной и практической ценности диссертационной работы Билевича Д.В. «Проектирование и синтез драйверов управления для многофункциональных интегральных схем СВЧ диапазона на основе GaAs рНЕМТ технологии». В целом, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук диссертационная работа Билевича Д.В. «Проектирование и синтез драйверов управления для многофункциональных интегральных схем СВЧ диапазона на основе GaAs рНЕМТ технологии» представляет собой законченную научно-техническую работу и соответствует специальности 2.2.14 - Антенны, СВЧ-устройства и их технологии, имеет научную новизну и практическую ценность.

Полученные автором результаты, а также предложенные схема и методика позволяют решить проблему разработки управляющих логических схем на основе GaAs технологических процессов. Проведенные экспериментальные исследования подтверждают справедливость теоретических данных, полученных в ходе анализа состояния вопроса, разработки, а также результатов моделирования. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и производстве СВЧ аппаратуры на основе технологических процессов группы АЗВ5.

Основные результаты достаточно отражены в научных публикациях, представленных соискателем, и соответствуют поставленным задачам диссертационного исследования. Автореферат в достаточной степени отражает содержание диссертационной работы.

Диссертационная работа Билевича Дмитрия Вячеславовича «Проектирование и синтез драйверов управления для многофункциональных интегральных схем СВЧ диапазона на основе GaAs рНЕМТ технологии» соответствует п.9 «Положения о

присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. в редакции от 26.10.2023 г., а её автор, Билевич Д. В., заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Доклад соискателя заслушан, отзыв на диссертационную работу обсужден и одобрен на заседании радиотехнической секции НТС АО «ЦКБА» (протокол №4 от «28» ноября 2023 г.).

Отзыв составили:

Начальник научно-инновационного отдела,
канд. техн. наук.

П.И. Коротков

Начальник сектора
научно-инновационного отдела,
канд. техн. наук.

К.В. Мурасов

Старший научный сотрудник
научно-инновационного отдела,
канд. техн. наук

Р.Р. Фахрутдинов

Инженер-конструктор
1 категории отдела 7

А.В. Блохин

Инженер-конструктор
1 категории отдела 7

Н.Н. Танский

Подписи начальника отдела, канд. техн. наук, Короткова П.И; начальника сектора, канд. техн. наук Мурасова К.В.; старшего научного сотрудника, канд. техн. наук Фахрутдинова Р.Р.; инженера-конструктора 1 категории Блохина А.В.; инженера-конструктора 1 категории Танского Н.Н. подтверждаю.

Начальник отдела
управления персоналом



С.Г. Засоркина

Сведения о ведущей организации по диссертации Билевича Д.В.:

Полное наименование организации: Акционерное общество «Центральное конструкторское бюро автоматики»

Сокращенное наименование организации: АО «ЦКБА»

Адрес: 644027, Сибирский федеральный округ, Омская Область, г. Омск, Космический проспект, д. 24а

Телефон: (3812) 53-98-30

Факс: (3812) 57-19-84

e-mail: aockba@ckba.net

Сайт: <http://www.ckba.net>