

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

У.05.12.04 СПбПУ

по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета
от 16.10.2020 г. № 4

О присуждении ученой степени кандидата технических наук Березняку Анатолию Федоровичу, представившего диссертационную работу на тему «Синтез и реализация интегральных схем твердотельных СВЧ переключателей с контролируемым уровнем нелинейных искажений дециметрового и сантиметрового диапазона длин волн» по научной специальности 05.12.04 - «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения», диссертационная работа принята к защите 13.07.2020 г., протокол № 2 заседания диссертационного совета У.05.12.04 СПбПУ. Состав диссертационного совета утвержден в количестве 8 человек приказом ректора СПбПУ № 464 от 10.03.2020 г.

Соискатель Березняк Анатолий Федорович, 1954 года рождения, в 1981 году окончил Киевский ордена Ленина государственный университет им. Т.Г. Шевченко, диплом серия ЗВ номер 779104. В 2014 году окончил заочную аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» (ФГАОУ ВО «СПбПУ»). Соискатель работает ведущим инженером в Акционерном обществе «Ордена Трудового Красного Знамени Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры» (АО «ВНИИРА»).

Диссертация выполнена в высшей школе прикладной физики и космических технологий Института физики, нанотехнологий и телекоммуникаций ФГАОУ ВО «СПбПУ».

Научный руководитель – д. т. н., профессор Коротков Александр Станиславович

Официальные оппоненты:

д. т. н., профессор Томашевич Сергей Викторович

Профессор кафедры радиосистем и обработки сигналов, СПбГУТ

к. т. н. Будяков Алексей Сергеевич

МГТУ им. Н.Э. Баумана, доцент кафедры ИУ-4
«Проектирование и технология производства
электронной аппаратуры».

дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация – АО «Светлана-Рост», г. Санкт-Петербург, дала **положительный отзыв**. Отзыв подписали: Филаретов Алексей Гелиевич, к.ф.-м.н., председатель научно-методической комиссии, заместитель генерального директора по развитию АО «Светлана-Рост» и Фазылханов Олег Рафикович, главный конструктор направления АО «Светлана-Рост». Отзыв утвержден генеральным директором АО «Светлана-Рост», к.ф.-м.н., Чалым Виктором Петровичем. В отзыве ведущей организации указано, что диссертация Березняка Анатолия Федоровича «Синтез и реализация интегральных схем твердотельных СВЧ переключателей с контролируемым уровнем нелинейных искажений дециметрового и сантиметрового диапазона длин волн», удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО СПбПУ», утвержденным приказом №795 от 28.05.2020 (пункты 2.1-2.8), предъявляемым к кандидатским диссертациям, поскольку является научно-квалификационной работой, в которой содержится изложение новых научно обоснованных

технических решений и разработок, имеющих существенное значение для развития страны, а ее автор – Березняк Анатолий Федорович - заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 - «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения». Подписи подтверждаются соответствующими печатями.

Основные положения и выводы диссертационного исследования в полной мере изложены в 11 научных работах, опубликованных соискателем, в том числе в 2 публикациях в изданиях, индексируемых в международных базах данных, и в 3 публикациях, входящих в перечень изданий, рекомендуемых ВАК для опубликования статей по теме диссертационных работ.

1. Березняк А.Ф., Коротков А.С. Твердотельные СВЧ-переключатели: схемотехника, технологии изготовления, тенденции развития. Обзор. Часть 1 // Радиотехника. ИзвВУЗов, 2013, Т.56, №4, С.3–28. (Scopus, РИНЦ, ВАК)

Личный вклад Березняка А.Ф. заключается в том, что он провел сопоставительный анализ существующих методик синтеза твердотельных СВЧ переключателей, выполнил сравнительный анализ используемых полупроводниковых технологий, выявил перспективные направления развития теории и практики СВЧ переключателей.

2. Березняк А.Ф., Коротков А.С. Твердотельные СВЧ-переключатели: схемотехника, технологии изготовления, тенденции развития. Обзор. Часть 2 // Радиотехника. ИзвВУЗов, 2013, Т.56, №5, С.3–20. (Scopus, РИНЦ, ВАК)

Личный вклад Березняка А.Ф. заключается в том, что он провел сопоставительный анализ существующих схемных решений твердотельных СВЧ переключателей, выразил рекомендации по построению перспективных схем и топологий, сформулировал практические рекомендации по применению твердотельных СВЧ переключателей.

3. Гук В.Г., Филаретов Г.А., Калинин Б.В., Березняк А.Ф., Красовицкий Д.М. Трехэлектродный высокочастотный полупроводниковый прибор, Патент РФ № 2354010, 27.04.09.

Личный вклад Березняка А.Ф. заключается в том, что он определил технологические ограничения при изготовлении трехэлектродного высокочастотного полупроводникового прибора для заданного схемного решения.

4. Березняк А.Ф., Коротков А.С., Балашов Е.В. Трансформация синтеза фильтров частот в синтез твердотельных СВЧ переключателей, 2-я научная конференция «Интегральные схемы и микроэлектронные модули» Сборник тезисов, Алушта, 26 – 30 сентября 2016, С.385-387.

Личный вклад Березняка А.Ф. заключается в предложении проводить синтез СВЧ переключателя для обоих режимов «включено»/«выключено», используя методику синтеза частотных фильтров по общему ФНЧ-прототипу.

5. Березняк А.Ф., Гук В.Г., Печенкин И.В., Коньков Ю.В., Филаретов Г.А., Экспериментальные исследования и расчет СВЧ характеристик арсенид-галлиевых полевых транзисторов с барьером Шоттки // Вопросы радиотехники, Серия: Общие вопросы радиотехники, вып. 2, 1989, С.93-101. (РИНЦ)

Личный вклад Березняка А.Ф. заключается в проведении измерений СВЧ характеристик арсенид-галлиевых полевых транзисторов с барьером Шоттки.

6. Березняк А.Ф., Коротков А.С., Балашов Е.В. Трансформация синтеза фильтров частот в синтез твердотельных СВЧ переключателей // Наноиндустрия, 2017, Том 74 (Спецвыпуск), С. 427-432. (РИНЦ)

Личный вклад Березняка А.Ф. заключается в разработке метода синтеза твердотельных СВЧ переключателей на основе методики синтеза фильтров частот.

7. Березняк А.Ф. Мониторинг качества гетероперехода AlGaIn/GaN с помощью длинноканального полевого гетеротранзистора // Научно-технические ведомости СПбГПУ, Физико-математические науки, 2009, 1(73), С. 43-48. (РИНЦ)

8. Bereznyak A.F., Determination of parameters for technical requirements of technology monitoring, Proceedings of the VI international conference "Electronics and applied physics" October 20-23, 2010, Kyiv, Ukraine, p.85-86.

9. Березняк А.Ф., Использование тестовых структур при взаимодействии разработчика и изготовителя специализированных интегральных схем, 19-я Международная научно-техническая конференция «Современные телевидение и радиоэлектроника», 15-16 марта 2011, Москва, С.304-307.

10. Березняк А.Ф., Коротков А.С. Синтез и реализация монолитных интегральных схем СВЧ-переключателей на основе GaAs pHEMT-технологии // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление, 2019, Т. 12, № 4, С. 84–96. (ВАК, РИНЦ)

Личный вклад Березняка А.Ф. заключается в применении разработанной методики синтеза фильтров твердотельных СВЧ переключателей при реализации монолитных интегральных схем СВЧ-переключателей на основе GaAs pHEMT-технологии.

11. Балашов Е.В., Березняк А.Ф., Коротков А.С., Шубаров А.В. Кристалл Модулятор. Государственная регистрация топологии интегральной микросхемы № 2018630116, 16.07.2018, Бюл. № 7.

Личный вклад Березняка А.Ф. заключается в том, он разработал топологию интегральной микросхемы СВЧ переключателя входящего в состав модулятора фазовращателя.

Об автореферате поступило **6 отзывов** (все отзывы положительные):

1. Отзыв директора учебного департамента ЗАО Синопис, заведующего кафедрой «Микроэлектронные схемы и системы» Национального политехнического университета Армении, заслуженного деятеля науки Республики Армения, члена-корреспондента Национальной академии наук Армении, доктора технических наук, профессора **Меликяна Вазгена Шаваршовича**. Замечания из отзыва:

1. В автореферате не представлены графики результатов измерений и синтеза для сопоставления;
2. В автореферате обозначение резисторов на рисунках не соответствует принятым в СНГ ГОСТам.

2. Отзыв главного специалиста ОАО «Авангард», доктора технических наук, **Курковой Ольги Петровны**. Замечания из отзыва:

1. Несмотря на то, что достоверность и обоснованность научных выводов автором подтверждается соответствием аналитических теоретических расчетов данными экспериментальных исследований, полученных с использованием современного высокоточного многофункционального исследовательского оборудования (например, векторного анализатора цепей типа R&S@ZVA, анализатора спектров R&S@FSVA и др.), а также результатами проектного анализа, выполненного с использованием универсального программного продукта MWOOffice, позволяющего осуществлять проектирование и моделирование различных видов радиочастотных и СВЧ устройств, в автореферате диссертации недостаточно представлено вариантных данных такого соответствия, позволяющих четко оценить уровни расхождений теоретических и экспериментальных результатов, т.е. оценить уровень точности предлагаемой методики;

2. Несмотря на то, что целью исследований является разработка методики синтеза СВЧ переключателей на основе их моделирования, в работе не представлен системный алгоритм разработанной автором новой методики моделирования, кроме того в автореферате (п.5 "Положения, выносимые на защиту") автором указывается, что оценку СВЧ переключателей, используя данную методику, можно осуществлять без использования пакетов САПР - это в целом несколько снижает уровень универсальности и современности методики.

3. Отзыв старшего научного сотрудника АО «НПП «Исток им. Шокина» кандидата технических наук, **Темнова Александра Михайловича**. Замечания из отзыва:

1. Не показаны зависимости прямых потерь, развязки и КСВН в диапазоне рабочих частот переключателя;
2. Не указано время переключения переключателя;
3. Нет параметров управляющих напряжений переключателя;
4. Не показано, в какой аппаратуре используется переключатель.

4. Отзыв директора Института вычислительной математики и информационных технологий, Казанского (Приволжского) федерального университета, кандидата технических наук, доцента, **Мосина Сергея Геннадьевича**. Замечания из отзыва:

1. Обозначение резисторов и индуктивностей на рисунках не соответствуют принятым в Российской Федерации.
2. Для предложенных моделей не приведены результаты комплексной оценки их адекватности.
3. В результатах моделирования отсутствует оценка влияния технологических допусков на характеристики проектируемых СВЧ-переключателей.

5. Отзыв заместителя директора НПК ММСН АО «НПП «Радар ммс», доктора технических наук, профессора **Богословского Сергея Владимировича**. Замечания из отзыва:

1. На странице 10 автореферата представлен расчет СВЧ переключателя по требуемой величине развязки, тогда как более частым требованием при проектировании СВЧ переключателя является обеспечение заданных вносимых потерь. Впрочем, в работе приводится обоснование выбранного подхода к синтезу МИС СВЧ переключателей технологическими трудностями реализации переключателей с малыми потерями;
2. Также в качестве замечания можно указать отсутствие экспериментальных данных по применению разработанных МИС СВЧ переключателей. Хотя в работе явно данные задачи не ставились. Подобные результаты интересны многим предприятиям в России, в частности АО «НПП «Радар ммс»;
3. Кроме того, не приведена информация по шумовым свойствам разработанных схем.

6. Отзыв начальника отдела разработки интегрированных СВЧ СнК АО «НИИМА «Прогресс», кандидата технических наук, **Бычкова Михаила Сергеевича**. Замечания из отзыва:

1. Автором не приведены условия измерения изделий (на кристалле или в корпусе), при которых получены основные результаты;
2. В автореферате не полностью раскрыт тезис о значительном превосходстве разработанных им МИС над зарубежными аналогами, поскольку не указаны сами аналоги (пример: полученные величины максимальной развязки 53 дБ для С диапазона и потерь 0,8 дБ для Х диапазона сравнимы с параметрами микросхемы неотражающего SPDT фирмы MACOM WASW-011107, выполненной в металлокерамическом корпусе).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их соответствием требованиям, установленным пп.3.12-3.17 «Положения о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО СПбПУ», утвержденным приказом №795 от 28.05.2020, соответствием их научно-профессионального профиля тематике диссертации, а также их высоким авторитетом в области теории связи и обработки сигналов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика синтеза и реализации интегральных схем твердотельных СВЧ переключателей с контролируемым уровнем нелинейных искажений дециметрового и сантиметрового диапазона длин волн, позволившая применять теорию синтеза фильтров частот для синтеза СВЧ переключателей и реализовывать СВЧ переключатели с предельно достижимыми характеристиками, определяемыми параметрами заданной технологии изготовления монолитных интегральных схем;

предложено для оценки нелинейных искажений в монолитных интегральных схемах СВЧ переключателей использовать процедуру расчета интермодуляционных искажений в системе, состоящей из цепи последовательно соединенных нелинейных четырехполосников, которые представляют полевой транзистор из состава переключателя в закрытом или открытом состоянии;

доказана перспективность использования методики синтеза и реализации интегральных схем твердотельных СВЧ переключателей с контролируемым уровнем нелинейных искажений для создания СВЧ переключателей с заданным соотношением вносимых потерь и развязки при минимальном уровне нелинейных искажений;

введены по аналогии с удельными параметрами, применяемыми при проектировании МИС усилителей мощности новые понятия, а именно: удельные параметры «емкость и проводимость закрытого транзистора», «индуктивность и сопротивление открытого транзистора», приведенные к ширине затвора полевого транзистора 1 миллиметр.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана применимость теории синтеза частотных фильтров для синтеза монолитных интегральных схем твердотельных СВЧ переключателей, что позволило расширить границы использования теории синтеза частотных фильтров, используя представление СВЧ переключателя как параметрического частотного фильтра;

применительно к проблематике диссертации результативно (то есть с получением обладающих новизной результатов) использован комплекс существующих базовых методов исследования, а именно: САПР NI AWR MWO, экспериментальные методики измерений параметров СВЧ переключателей на базе анализатора цепей R&S ZVA-67 с блоком расширения ZVAX-TRM50 и анализатора сигналов и спектра R&S FSVA30;

доказана целесообразность использования методики синтеза частотных фильтров по единому ФНЧ-прототипу для обоих режимов «включено»/«выключено» СВЧ переключателя;

сделаны существенные дополнения теории синтеза частотных фильтров при синтезе СВЧ переключателей, а именно, показано, что для решения задачи аппроксимации в синтезе ФНЧ-прототипа необходимо использовать аппроксимирующую функцию, нормированную не по частоте среза, а по максимальной рабочей частоте СВЧ переключателя при допустимой неравномерности АЧХ в полосе пропускания, равной минимальной развязке СВЧ переключателя;

изучены физические закономерности, связывающие параметры переключателей: вносимые потери, развязки и интермодуляционные искажения интегральных схем твердотельных СВЧ переключателей, обеспечивающие нахождение оптимального решения при синтезе монолитных интегральных схем СВЧ переключателей;

проведена модернизация (редуцирование) существующих моделей полевых транзисторов, что позволило применить методы синтеза частотных фильтров для синтеза СВЧ переключателей с использованием разработанной компактной модели полевого транзистора, в которой параметры транзисторов в состоянии «включено»/«выключено» выражены через R, L, C элементы данной модели.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

синтезированы и изготовлены на фабриках АО «Светлана-Пост» и WIN Semiconductors кристаллы монолитных интегральных схем SPDT СВЧ переключателей С диапазона частот по технологии DpHEMT05 АО «Светлана-Пост» и монолитных интегральных схем SPDT СВЧ переключателей X диапазона частот по технологии WIN_PD2500 с многозатворными транзисторами фирмы WIN Semiconductors;

определены для выше перечисленных технологий частотные пределы применимости методики синтеза и реализации интегральных схем твердотельных СВЧ переключателей с контролируемым уровнем нелинейных искажений;

создана система практических рекомендаций по использованию моделей полевых транзисторов при синтезе СВЧ переключателей;

представлены методические рекомендации по синтезу монолитных интегральных схем СВЧ переключателей в зависимости от ранжирования критериев оптимальности: вносимых потерь, развязки, интермодуляционных искажений.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании на базе анализатора цепей R&S ZVA-67 с блоком расширения ZVAX-TRM50 и анализатора сигналов и спектра R&S FSVA30, показана воспроизводимость результатов исследования на измерительном комплексе, используемом АО «Светлана-Рост»;

теория синтеза СВЧ переключателей построена на основе теории синтеза частотных фильтров, что позволило расширить применение теории фильтрации на иной класс цепей – переключателей, используя представление СВЧ переключателя как параметрического частотного фильтра;

идея базируется на обобщении теории синтеза частотных фильтров и практике применения данной теории при синтезе монолитных интегральных схем СВЧ переключателей;

использованы сравнения результатов расчетов частотных характеристик SPST СВЧ переключателей в режиме «включено» по предложенной и ранее известной методикам (см. рисунок 2.10 диссертации), показавшие совпадение результатов по вносимым потерям во всем диапазоне частот с точностью до 0,1 дБ;

установлено качественное и количественное совпадение (по вносимым потерям до 0,1 дБ в С диапазоне частот, по развязке до 4 дБ в Х диапазоне частот) характеристик изготовленных SPDT-переключателей со сходными характеристиками зарубежных аналогов, (см. таблицы 4.1 и 4.2 диссертации);

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации с применением поисковых систем Google Scholar, eLibrary, Research Gate, Scopus, Wos.

Личный вклад соискателя состоит в: определении цели и задач диссертационного исследования, разработке методики синтеза и реализации интегральных схем твердотельных СВЧ переключателей с контролируемым уровнем нелинейных искажений дециметрового и сантиметрового диапазона длин волн, разработке и изготовлении образцов кристаллов интегральных схем СВЧ переключателей на полупроводниковых фабриках АО «Светлана-Рост» и WIN Semiconductors, которые в С диапазоне частот по развязке превосходят зарубежные аналоги на 6-20 дБ, в Х диапазоне частот по вносимым потерям превосходят зарубежные аналоги на 0,4 дБ, не уступая по остальным параметрам, непосредственном участии в измерениях и экспериментах, разработке ключевых элементов экспериментальных установок, выполненных лично автором, включая зонды постоянного тока для подачи управляющих напряжений, адаптеры питания для выделения СВЧ сигналов, обработке и интерпретации экспериментальных данных, полученных лично автором или при участии автора, личном участии в отечественных и международных научно-технических конференциях, подготовке основных публикаций по выполненной работе.

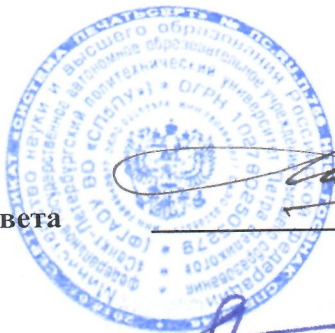
На заседания диссертационного совета У.05.12.04 СПбПУ 16.10.2020 г. принято решение о присуждении ученой степени кандидата технических наук Березняку Анатолию Федоровичу.

Присутствовало на заседании 7 членов совета, в том числе 7 докторов наук по научной специальности, 05.12.04.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета по вопросу присуждения ученой степени проголосовали:

«за» 7,
«против» нет,
«воздержались» нет.

Председатель диссертационного совета



Макаров С.Б.
доктор технических наук,
профессор

Ученый секретарь диссертационного совета

Коротков А.С.
доктор технических наук,
профессор

16.10.2020