

ОТЗЫВ

официального оппонента, к.т.н, **Будякова Алексея Сергеевича**
о диссертационной работе **Березняка Анатолия Федоровича** на тему
«Синтез и реализация интегральных схем твердотельных СВЧ переключателей
с контролируемым уровнем нелинейных искажений дециметрового и сантиметрового
диапазона длин волн», представленную на соискание
учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 -
«Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

СВЧ переключатели являются неотъемлемой частью приемопередающих трактов современных инфокоммуникационных и радиолокационных систем. При этом динамический диапазон всей системы, ограничивается вносимыми потерями и нелинейными искажениями СВЧ переключателей в антенном коммутаторе и активном СВЧ преселекторе сигналов (RF front-end). В приемном тракте максимальный динамический диапазон обеспечивается изготовлением входной части (СВЧ переключатель и малошумящий усилитель) приемопередающего модуля по арсенид галлиевым технологическим процессам. В передающем тракте максимальная плотность мощности при минимальных интермодуляционных искажениях обеспечивается использованием нитрид галлиевых и арсенид галлиевых технологических процессов изготовления выходной части (усилитель мощности и СВЧ переключатель) приемопередающего модуля. Современная инфокоммуникационная аппаратура должна обеспечивать работу в нескольких частотных диапазонах различных стандартов связи, это приводит к необходимости использования большого количества широкополосных СВЧ переключателей для программной перестройки входных и выходных цепей радиосистемы. В радиолокационной аппаратуре с электронной перестройкой диаграммы направленности СВЧ переключатели являются одним из важнейших элементов построения радиосистемы.

Следовательно, задача проектирования и изготовления монолитных интегральных схем СВЧ переключателей на основе арсенид галлиевых технологических процессов является важной для развития современных инфокоммуникационных и радиолокационных систем.

В своей работе диссертант рассматривает вопросы синтеза и реализации интегральных схем твердотельных СВЧ переключателей с контролируемым уровнем нелинейных искажений дециметрового и сантиметрового диапазона длин волн. Учитывая

вышесказанное, тематика диссертационной работы А.Ф. Березняка является актуальной и практически значимой.

СТРУКТУРА РАБОТЫ

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, двух приложений, и списка литературы. Общий объем диссертационной работы составляет 131 страницу, в том числе 112 страниц основного текста, 64 рисунка, 12 таблиц, список литературы из 139 наименований на 11 страницах. По структуре и оформлению работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям, представляемым на соискание ученой степени кандидата технических наук.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА

В результате проведенных исследований разработаны методики синтеза СВЧ переключателей и оценки нелинейных искажений синтезированных СВЧ переключателей, которые, без сомнения, обладают новизной.

Впервые для синтеза СВЧ переключателей применена теория синтеза фильтров частот, что обеспечило высокую точность полученных результатов предложенного метода синтеза.

Метод оценки интермодуляционных искажений СВЧ переключателей по нелинейным свойствам полевых транзисторов (точкам пересечения интермодуляционных искажений третьего порядка: $IP3_{on}$ для транзистора в состоянии «включено», и $IP3_{off}$ для транзистора в состоянии «выключено»), позволяет находить компромиссное решение (выбирать между вносимыми потерями, развязкой, и уровнем нелинейных искажений) при синтезе СВЧ переключателя.

ДОСТОВЕРНОСТЬ И ОБОСНОВАННОСТЬ

РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

Достоверность результатов работы и обоснованность научных выводов подтверждается соответствием представленных аналитических расчетов и результатов структурного, параметрического и топологического синтеза СВЧ переключателей с данными экспериментальных исследований, полученных на современном оборудовании (анализатор цепей R&S ZVA-67 с блоком расширения ZVAX-TRM50, анализатор сигналов и спектра R&S FSVA30), и с данными нелинейного анализа, выполненного с помощью программного пакета APLAC HB, входящего в состав САПР NI AWR MWO.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих научно-технических конференциях: The VI international conference “Electronics and applied physics” October, 20-23, 2010, Kyiv, Ukraine; 19-я Международная научно-техническая конференция «Современные телевидение и радиоэлектроника», 15-16 марта 2011, Москва; 2-я научная конференция «Интегральные схемы и микроэлектронные модули», 26-30 сентября 2016, Республика Крым, Алушта.

По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, из них 3 статьи опубликованы в журналах, входящих в Перечень ВАК, 2 статьи опубликованы в журнале, входящем в базу Scopus, 6 статей опубликованы в журналах, входящих в базу РИНЦ, получен 1 патент и 1 государственная регистрация топологии интегральной микросхемы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ

Практическая значимость работы заключается в том, что применение предложенных методик синтеза позволило спроектировать и изготовить МИС SPDT СВЧ переключателя С-диапазона частот по технологии DpHEMT05 АО «Светлана-Рост», и МИС SPDT СВЧ переключателя X-диапазона частот по технологии WIN_PD2500 с многозатворными транзисторами фирмы WIN Semiconductors, с заданными параметрами СВЧ переключателей.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ И АВТОРЕФЕРАТУ

1. В обзорной части диссертации уделено недостаточно внимания приемопередающим модулям систем связи 5-го поколения, в состав которых входят СВЧ переключатели.

2. В подразделе 2.1.4 «Конструкционный синтез (синтез топологии)» не полностью раскрыты эвристические и автоматизированные принципы создания топологии СВЧ переключателя по предложенной методике.

3. Не полностью описаны принципы выбора затворных резисторов в схеме СВЧ переключателя и оценки влияния их номинала на нелинейные искажения.

4. Следует возразить мнению о том, что технологии, позволяющие объединить на одном кристалле усилители и переключатели на PIN-диодах далеки от практического применения. Поскольку компания WIN Semiconductors анонсировала такой техпроцесс PIN1-10 на семинаре ADF2019 и уже сегодня предлагает услуги контрактного производства.

5. В тексте диссертации имеются опечатки, например, на стр. 63 «Пол импедансов ученые нормированные величины элементов ФНЧ...».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РАБОТЕ

Указанные замечания не изменяют общей положительной оценки диссертации. 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».

Официальный оппонент



Будяков Алексей Сергеевич
кандидат технических наук,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ-4

Контактные данные:

ФИО: Будяков Алексей Сергеевич

Почтовый адрес: 105005, город Москва, улица Бауманская 2-я, дом 5, строение 1

Телефон: +7 926 919 92 98

Эл. почта: budyakovas@bmstu.ru

« 29 » 09 2020 года

