

# О Т З Ы В

официального оппонента

**Горбачева Анатолия Петровича**

на диссертационную работу Коренева Андрея Викторовича *«Методика измерения и контроля электрофизических параметров коаксиальных изоляторов в расширенном температурном диапазоне»*, представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 - «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

## **Актуальность темы исследования**

Разработка новых и модернизация существующих радиотехнических систем диапазона сверхвысоких частот (СВЧ), предполагающая, как правило, расширение полосы рабочих частот и всемерное сокращение диссипативных потерь в проводниках и диэлектрике конструкций, обуславливает необходимость проведения поисковых научных работ как в плане создания новых диэлектриков, так и на путях тщательной отработки формы СВЧ элементов, методов их проектирования и методик измерений параметров изготовленных микроволновых узлов. В этом плане представленная диссертационная работа, выполненная с учётом современных технических требований к СВЧ устройствам, является актуальной и заслуживает поддержки.

## **Структура работы**

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы и приложений. Объем работы составляет 128 страниц машинописного текста, включая приложения из 3 страниц, 73 рисунка, 15 таблиц и список литературы из 108 наименований.

## **Содержание работы**

**Во введении** автором обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цель и задачи исследования. Сформулированы научная новизна и практическая значимость работы, а также приведены доводы,

характеризующие достоверность полученных результатов. Изложены положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** автором проведен ретроспективный анализ существующих конструкций коаксиальных СВЧ соединителей и использованных при этом способов обеспечения их технических характеристик на текущий момент времени. В качестве весьма перспективного пути выбрано применение новых диэлектрических материалов. Проведен обзор полимерных материалов с малым тангенсом угла диэлектрических потерь, выбраны потенциально перспективные материалы, которые могут быть использованы в конструкциях соединителей. Отсутствие необходимых сведений об электрофизических параметрах выбранных материалов, потребовало проведения их измерений. Анализ существующих методик измерения электрофизических параметров материалов выявил заметные и ощутимые пробелы, затрудняющие применение этих методик для измерения параметров серийных деталей и узлов. В результате сделан вывод о необходимости разработки методики измерения электро-физических параметров изоляторов для соединителей на основе четвертьволнового резонатора.

**Во второй главе** охарактеризована предложенная и использованная в исследованиях конструкция резонатора с возбудителем. Из-за наличия в четвертьволновом резонаторе ряда эффектов, искажающих измеренные значения электрофизических параметров, автором была проведена работа по идентификации и учету влияния этих эффектов с помощью предложенных им функциональных зависимостей. Данные эффекты включали влияние проникания поля из коаксиальной части резонатора в граничащий с ней круглый закритический волновод, которое зависит от материала образца, а также влияние возбудителя, зависящее от его конструкции и материала образца. Рассмотрен случай неполного заполнения резонатора и предложена процедура расчета диэлектрической проницаемости для него. Проведена оценка погрешности моделирования, с помощью которого проводились аппроксимации паразитных эффектов в резонаторе. Автором сформулирована методика измерения эффективной диэлектрической проницаемости образцов и проведены измерения с



оценкой погрешности и сравнением результатов, полученных с помощью разработанной методики и измерения на эталонной установке.

**В третьей главе** используемая методика расширена для обеспечения возможности проведения измерений при воздействии повышенных температур окружающей среды. Приведена методика определения тангенса угла диэлектрических потерь образцов. Описана процедура разработки конструкции высокотемпературного соединителя. В качестве материала опорного изолятора соединителя рассмотрены материалы ПЭЭК и ПИ-ПР-20, параметры которых были измерены в требуемом температурном интервале по разработанной методике с использованием специализированной оснастки, конструкция которой охарактеризована в разделе.

**В четвертой главе** приведены разработанные автором конструкции контактных систем электромеханических СВЧ переключателей с интерфейсами SMA и тип N. Конструкции отличаются применением оригинальных изоляторов со сложной формой внутренних полостей, в случае с контактной системой 2П2Н с соединителями типа N, а также применением изоляторов с радиальным разрезом в контактной системе 2П3Н, использующей соединители типа SMA (Subminiature Version A). Применение данных изоляторов позволило достичь технически значимых характеристик контактных систем, а применение разработанной методики измерения их параметров позволило отказаться от измерения геометрических размеров внутренних полостей.

**В заключении** сформулированы основные результаты работы, при выполнении которой автором была разработана и внедрена в технологический процесс производства СВЧ устройств методика измерения диэлектрических параметров изоляторов соединителей, измерены диэлектрические параметры трёх материалов в ординарных условиях эксплуатации и при воздействии высоких температур окружающей среды. Разработан радиочастотный коаксиально-микроразветвляющийся переход с широким температурным диапазоном и две конструкции контактных систем СВЧ переключателей.

## **Достоверность научных положений и выводов работы**

Экспериментальные результаты получены на современном сертифицированном радиоизмерительном и испытательном оборудовании с требуемыми техническими и метрологическими характеристиками. Достоверность полученных результатов характеризуется также их совпадением (в пределах допустимой погрешности) с результатами измерений на поверенном измерительном оборудовании по утвержденным методикам, включая измерения на установках Государственного первичного эталона диэлектрической проницаемости.

## **Теоретическая и практическая значимость работы**

В результате проведенной работы автором была разработана методика измерения параметров диэлектрических элементов коаксиальных соединителей, которая позволяет проводить измерения соответствующих деталей со сложной внутренней конфигурацией, характерной для конструкций коаксиальных сверхвысокочастотных устройств. Методика была адаптирована для проведения измерений при высоких температурах окружающей среды, что позволило исследовать параметры материалов AR200, ПЭЭК-5Г и ПЭЭК в температурном диапазоне до плюс 300° С.

Полученные в результате работы температурные зависимости электрофизических параметров материалов могут быть использованы в будущем при разработке перспективных и модернизации существующих радиоэлектронных устройств СВЧ диапазона. Так, исследование материалов при температурных воздействиях позволило разработать и внедрить в серийное производство перспективный радиочастотный соединитель с рабочим температурным диапазоном от минус 60° С до плюс 300° С.

Применение разработанной методики в технологическом процессе производства коаксиальных СВЧ устройств позволило разработать и внедрить оригинальные конструкции опорных изоляторов коаксиальных соединителей. Разработанные автором изоляторы из материала ПЭЭК с внутренними полостями



сложной формы позволили снизить эффективную диэлектрическую проницаемость примерно на четверть с сохранением габаритов коаксиальной линии и, надо полагать, жёсткости её конструкции. По материалам данной работы разработаны контактные системы СВЧ переключателей 2ПЗН и 2П2Н, которые включены в состав СВЧ изделий, серийно изготавливаемых в настоящее время на АО «Иркутский релейный завод». Контактные системы соответствуют техническому уровню аналогов, используемых на мировых рынках.

### **Апробация результатов работы и публикации по диссертации**

Основные результаты исследований автора опубликованы в научных работах, известных специалистам в области техники СВЧ. Три статьи опубликованы в рекомендованных ВАК РФ журналах, 5 – в сборниках конференций различных уровней.

### **Общая оценка работы**

Диссертационная работа А.В. Коренева хорошо апробирована, структурирована, а разделы логически увязаны. Она оставляет впечатление завершенности и содержит соответствующие выводы, что даёт основание для её поддержки. Тем не менее, по ней возникли следующие замечания.

1. Различная глубина проработки ряда вопросов. Так, не приведены результаты исследования параметров диэлектрических материалов при отрицательных температурах, хотя соединитель с исследованным изолятором из ПИ-ПР-20 работает в диапазоне от минус 60° С до плюс 300° С.

2. Было бы нелишне рассмотреть в работе и другие конфигурации возбuditелей четвертьволнового резонатора, в том числе провести сравнение их преимуществ и недостатков с обоснованием выбора примененного возбuditеля в виде щели в короткозамыкающей стенке.

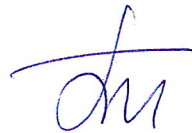
3. Пунктуационные неточности: нумерация ссылок на источники выполнена не в порядке их упоминания в тексте.

Перечисленные замечания не снижают научную и практическую значимость работы и не умаляют её общую положительную оценку. Практическая направленность работы является весомым аргументом в её поддержке.

### Заключение

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа А.В. Коренева «Методика измерения и контроля электрофизических параметров коаксиальных изоляторов в расширенном температурном диапазоне» соответствует пунктам 9-14 «Положения» о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Правительством Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (ред. от 28.08.2017 №1024). Работа является завершённым самостоятельным научным исследованием, в результате чего А.В. Коренев заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Официальный оппонент



Горбачев А.П.

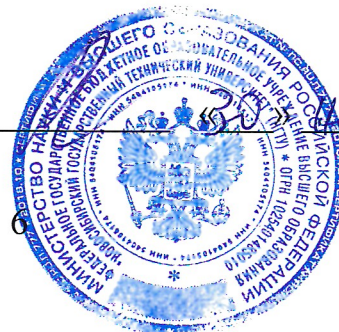
### Сведения

Горбачев Анатолий Петрович, доктор технических наук по специальности 05.12.21 (номенклатура 1999 года), профессор по специальности «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии» (аттестат ПРФ № 002123), кафедра «Радиоприёмные и радиопередающие устройства» ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» («НГТУ»). 630073, г. Новосибирск, просп. К. Маркса, дом 20. Телефон: +7 (383) 346-15-46. E-mail: [gorbachev@corp.nstu.ru](mailto:gorbachev@corp.nstu.ru)

Подпись А.П. Горбачева заверяю.

Начальник отдела кадров НГТУ

Пустовалова Ольга Константиновна



2023 г.