

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ФГУП «СНИИМ»,  
к.т.н., Почетный метролог РФ,  
член-корреспондент РМА



Г.В. Шувалов

11 2016 г.

ведущей организации на диссертацию Богомолова Павла Геннадьевича «Методы увеличения полосы рабочих частот и уровня входной мощности в многокаскадных СВЧ аттенюаторах», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 Антенны, СВЧ устройства и их технологии

#### **Актуальность темы**

Современные цифровые, информационные, телекоммуникационные и навигационные технологии подразумевают широкое использование наземных и бортовых радиопередающих средств, которые работают в частотном диапазоне 0,01-3,0 ГГц. Это обуславливает необходимость разработки и создания широкополосного измерительного оборудования, предназначенного для работы на высоком уровне мощности. Данное измерительное оборудование требуется не только при производстве передающей техники, но и при ее эксплуатации. Кроме того, измерительное оборудование подобного класса может найти применение для проверки параметров спутниковых бортовых комплексов, современных цифровых систем связи и радиоканалов телекоммуникационных сетей. Это оборудование необходимо и для мониторинга работающих в эфире радиопередатчиков.

В настоящее время для оценки параметров радиосигналов большой мощности, используемых в радиолокации, радиопередающих устройствах систем связи и телевидения, требуются технические устройства в виде широкополосные аттенюаторов, нагрузок, эквивалентов антенн. К техническим устройствам предъявляются требования: работа в широкой полосе частот при больших значениях входной мощности и малом коэффициенте отражения по входам. Следует отметить, что на сегодняшний день теоретически решены вопросы широкополосного согласования аттенюаторов и нагрузок, которые работают при малых уровнях входных сигналов.

Анализ показывает, что для создания широкополосных аттенюаторов сохраняет свою актуальность задача разработки иного подхода при построении многоэлементных аттенюаторов с малой неравномерностью амплитудно-частотных характеристик, выполненных по каскадной и по дендритной структурам.

В связи с этим избранная автором тема диссертации «Методы увеличения полосы рабочих частот и уровня входной мощности в многокаскадных СВЧ аттенюаторах», является актуальной.

### **Научная новизна основных результатов и выводов диссертации**

1. Предложено многокаскадное построение СВЧ аттенюаторов с произвольной величиной вносимого затухания на пленочных резистивных элементах при равномерном распределении рассеиваемой мощности по всем каскадам, соединенных между собой с помощью согласующих цепей в виде чебышёвского фильтра нижних частот.

2. Разработан метод построения многокаскадных аттенюаторов в микрополосковом исполнении на одной диэлектрической подложке, обеспечивающий существенное расширение рабочих частот за счет равномерного распределения рассеиваемой мощности на планарных пленочных резисторах и введения между каскадами последовательного шлейфа с высоким волновым сопротивлением.

3. Проведено экспериментальное исследование электрических параметров и характеристик, разработанных СВЧ аттенюаторов высокого уровня мощности на планарных пленочных резисторах с одним и с двумя согласованными каскадами.

4. Предложены новые схемотехнические решения для мощных многокаскадных СВЧ аттенюаторов и разработаны экспериментальные образцы, обеспечивающие работу в полосе частот 0-2 ГГц.

### **Достоверность полученных результатов и выводов**

Достоверность и обоснованность полученных результатов и выводов диссертации подтверждается:

- корректностью исходных допущений и теоретических положений;
- обоснованным выбором математического аппарата исследований;
- численным моделированием и экспериментальными исследованиями большого числа широкополосных оконечных нагрузок и аттенюаторов, а также внедрением и эксплуатацией разработанных устройств.

### **Практическая значимость диссертационной работы**

Проведен анализ существующих конструктивных, схемотехнических и технологических аспектов позволяющих проектировать широкополосные СВЧ аттенюаторов высокого уровня мощности.

Осуществлена разработка топологии для различных вариантов построения многокаскадных аттенюаторов, выполненных на планарных пленочных СВЧ резисторах большой мощности.

Разработаны схемотехнические и конструктивные решения многоступенчатых пленочных СВЧ аттенюаторов и оконечных нагрузок, выполненных на одинаковых (раздельных) диэлектрических подложках.

Разработаны новые схемотехнические и конструктивные решения построения мощных широкополосных СВЧ пленочных аттенуаторов и оконечных нагрузок, выполненных на одной общей диэлектрической подложке.

Проведено численное электродинамическое моделирование частотных свойств СВЧ аттенуаторов и оконечных нагрузок, выполненных на планарных пленочных резисторах.

### **Подтверждение опубликования основных результатов в научных изданиях**

Все основные результаты, полученные при выполнении диссертационной работы, опубликованы в 23 печатных работах, в том числе в 4 статьях включенных в перечень ВАК РФ.

Основные положения диссертационной работы достаточно полно опубликованы и апробированы на международных научно-технических конференциях и семинарах. Автореферат также достаточно полно отражает основное содержание диссертации.

### **Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации**

Автореферат диссертации в целом отражает ее содержание. В автореферате и в опубликованных трудах достаточно полно отражены основные положения диссертации и результаты диссертационных исследований.

### **Замечания**

По работе имеются следующие замечания.

1. Не ясно, могут ли предложенные в диссертации конструкции мощных аттенуаторов обеспечить верхнюю рабочую частоту до 5 ГГц, как указано во введении на странице 5.

2. В первой главе не рассмотрена реализация линий передачи с большими потерями. Проводники микрополосковых линий передачи изготавливаются с помощью напыления тонкого слоя высокоомного резистивного материала на непроводящее основание. Таким образом, конструктивно линия передачи с диссипативными потерями представляет собой распределённый резистор. Какой толщины должна быть резистивная плёнка, чтобы исключить зависимость погонного сопротивления такого резистора от частоты?

3. Проводя обзор конструкций и характеристик пленочных аттенуаторов и нагрузок, (глава 1., п. 1.) автор приводит результаты исследований только в диапазоне частот 0-1,0 ГГц. Что представляет собой аттенуатор или нагрузка в диапазоне частот от 1,0 до 2,0 ГГц? Каким образом можно увеличить полосу рабочих частот от 1,0 ГГц до заявленных 2,0 ГГц? Хотелось бы на защите диссертации услышать мнение автора по данному вопросу.

4. Не ясно, почему в разделе 3, подраздел 3.3 при оптимизации в качестве целевой функции использовалась скалярная функция в виде частотной зависимости КСВ, а не векторная целевая функция?

5. В разделе 4 необходимо было бы уделить внимание вопросам оценки точности метрологических параметров разработанных устройств, в том числе и при предельных значениях мощности сигналов, на которые разрабатывались аттенюаторы.

Указанные замечания не снижают значимости и ценности представленной диссертационной работы.

### Заключение

Диссертация Богомолова П.Г. в целом представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, решающую важную научно-техническую задачу создания сверхширокополосных многокаскадных СВЧ аттенюаторов и оконечных нагрузок высокого уровня мощности, выполненных на планарных пленочных резисторах. Полученные в диссертации результаты являются новыми и могут быть классифицированы как научно обоснованные решения, обеспечивающие существенное улучшение технических характеристик. По своей актуальности, объему выполненных исследований, научному содержанию, новизне и практической значимости результатов она отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, соответствует п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а сам автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 - «Антенны, СВЧ устройства и их технологии».

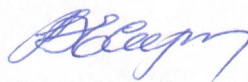
Рассмотрено и обсуждено на научном семинаре  
ФГУП «СНИИМ» (протокол N 1 от « 24 » ноября 2016 г.).

Зам. директора по метрологии и качеству,  
к.ф-м.н.



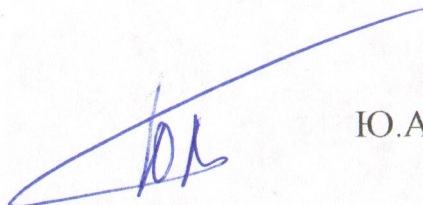
Е.С. Коптев

Начальник отдела «Измерение параметров  
коаксиальных трактов и устройств на СВЧ»,  
к.т.н., Заслуженный метролог РФ,  
член-корреспондент РМА



В.И. Евграфов

Ученый секретарь, начальник сектора  
«Измерение параметров сигналов и  
проходных устройств на СВЧ»,  
д.т.н., профессор,  
академик РМА и АПК



Ю.А. Пальчун

630004, г. Новосибирск,  
пр. Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»  
8(383)210-08-14  
E-mail: director@sniim.ru