

«УТВЕРЖДАЮ»  
Проректор по научной работе  
ФГБОУ ВО  
«Омский государственный  
технический университет»

Женатов Б. Д.

«    »    2018 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» на диссертацию Савенкова Глеба Георгиевича «Многоканальные широкополосные СВЧ нагрузки и аттенюаторы на пленочных микрополосковых резисторах», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ устройства и их технологии».

#### Актуальность избранной темы

В настоящее время интенсивными темпами развиваются инфокоммуникационные технологии, системы связи, радиовещание, эфирное цифровое телевидение, спутниковые и радиолокационные системы. Практически во всех перечисленных выше системах используются СВЧ устройства различного назначения. При этом особое место в СВЧ технике занимают широкополосные согласованные нагрузки и аттенюаторы большой мощности, без которых невозможно подключить измерительные приборы к выходу радиопередающих устройств. Мощные аттенюаторы также используются в качестве эквивалента антенны при производстве и настройке радиопередающей аппаратуры. Следует отметить, что выпускаемые сегодня отечественными и зарубежными производителями нагрузки и аттенюаторы по своим параметрам не в полной мере удовлетворяют требованиям радиотехнической отрасли. Поэтому тема диссертационного исследования Савенкова Г.Г., посвященного разработке сверхширокополосных многоканальных СВЧ нагрузок и аттенюаторов с полосой рабочих частот и уровнем допустимой входной мощности, приближающимися к предельно достижимым значениям, несомненно, является актуальной.

В диссертационной работе Савенкова Г.Г. предложен новый метод построения мощных сверхширокополосных СВЧ нагрузок и аттенюаторов

дециметрового и сантиметрового диапазона. Разработанные поглощающие устройства выполнены на основе многоканальных частотно-разделительных устройств, объединяющих полосы низкочастотного канала, нагруженного на планарный пленочный резистор в виде многоэлементной структуры, и высокочастотных каналов с использованием в качестве нагрузки микрополосковых линий с большими диссипативными потерями.

### **Общая характеристика работы**

**Во вводной части** автор обосновывает актуальность темы исследования, кратко описывает предлагаемый метод расширения полосы частот нагрузок и аттенюаторов, раскрывает цели и задачи диссертационной работы, их научную и практическую значимость.

**В первой главе** автором проведен обзор существующих широкополосных СВЧ нагрузок и аттенюаторов высокого уровня мощности на основе дендритного и многокаскадного методов построения. Также автором была усовершенствована двумерная декомпозиционная модель пленочного резистора, учитывающая неравномерное распределение высокочастотного тока в резистивной пленке. Далее приведены результаты исследования частотных свойств нескольких топологий пленочных резисторов и теоретически обосновано применение пленочных резисторов квадратной формы, обладающих наименьшей паразитной емкостью.

**Во второй главе** представлен разработанный автором многоэлементный метод построения широкополосных СВЧ нагрузок, позволяющий существенно расширить полосу рабочих частот за счет применения как внешних согласующих цепей, так и внутренних согласующих элементов. На основе теории согласования сделана оценка предельно достижимой полосы частот. Также представлены результаты компьютерного электродинамического моделирования частотных свойств двухэлементной микрополосковой нагрузки.

Для расширения функциональных возможностей предложенных многоэлементных нагрузок автором была исследована нагрузка с дополнительным тестовым выходом и приведены её частотные характеристики.

**Третья глава** посвящена разработке и исследованию мощных широкополосных СВЧ-нагрузок в виде последовательного включения микрополосковых линий передачи с возрастающим поверхностным сопротивлением. Показано, что в сантиметровом диапазоне длин волн такие нагрузки обладают высоким качеством согласования. Кроме того, приведены полученные автором соотношения для расчета погонного и поверхностного

сопротивлений резистивной пленки, которые обеспечивают равномерное распределение рассеиваемой мощности в каждой ступени, что позволяет увеличить общий уровень мощности входного СВЧ сигнала.

**В четвертой главе** автором предложен и обоснован многоканальный метод построения широкополосных СВЧ нагрузок высокого уровня мощности для диапазона частот до 10 ГГц. Метод реализован на основе каскадного включения широкополосных диплексеров распределенного типа, каждый из которых выполнен на взаимно дополняющих баттервортовских ФНЧ и ФВЧ. В данном разделе также описан предложенный автором оригинальный метод расширения полосы частот высокочастотного канала диплексера и соответственно нагрузки за счет понижения его характеристического сопротивления с использованием эквивалентных преобразований Куроды. Далее рассмотрено применение неотражающего фильтра нижних частот на сосредоточенных элементах в качестве широкополосной нагрузки для диапазона частот до 2 ГГц при уровне входной мощности 100 Вт.

**В пятой главе** приведены результаты экспериментального исследования основных узлов разработанных многоканальных нагрузок, выполненных как в сосредоточенном, так и распределенном элементном базисе. С использованием сертифицированной измерительной аппаратуры были проведены исследования частотных свойств мощного пленочного резистора сосредоточенного типа, нагрузки на основе неотражающего фильтра нижних частот и диплексера 1 порядка на четвертьволновых шлейфах. Также представлены результаты экспериментального исследования допустимого уровня мощности, рассеиваемой одноступенчатой нагрузкой в виде микрополосковой линии с потерями. Полученные автором диссертации экспериментальные результаты хорошо коррелируют с теоретическими положениями, обоснованными в предыдущих разделах.

#### **Научная новизна**

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем.

1. Разработан оригинальный декомпозиционный подход к построению многоэлементных СВЧ нагрузок, позволяющий расширить полосу рабочих частот пропорционально числу декомпозиционных элементов при использовании внешней согласующей цепи и внутренних индуктивных элементов согласования.
2. Впервые предложены нагрузки на основе многоступенчатых линий передачи с равномерным распределением рассеиваемой мощности по всей длине, обусловленным скачкообразным возрастанием погонного

Диссертация изложена на высоком методическом уровне, доступна для восприятия. Между главами диссертации имеется органическая связь, поставленная цель и задачи раскрыты в достаточной степени. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

#### **Опубликование результатов в научной печати**

По материалам работы опубликовано 3 статьи в журналах, включенных в перечень ведущих научных журналов, рекомендованных ВАК, 10 докладов на международных и Российских научно-технических конференциях. Автором получен патент на изобретение и патент на полезную модель.

#### **Замечания по работе**

В результате обсуждения диссертации Савенкова Г.Г. были сделаны следующие замечания.

1. Во второй главе диссертации при определении параметров эквивалентной схемы следовало бы более подробно описать влияние краевой емкости декомпозиционных фрагментов сосредоточенного пленочного резистора на предельно достижимую полосу рабочих частот.

2. В материалах второй и третьей главы не приведены рекомендации по обеспечению минимальной неравномерности АЧХ для тестовых выходов многоэлементной нагрузки сосредоточенного типа и многоступенчатой нагрузки распределенного типа.

3. В четвертой главе диссертации не сформулированы четкие требования для необходимого перекрытия частотных полос нагрузок, включаемых на выходе смежных каналов частотно-разделительных устройств.

4. В четвертой главе не описан физический механизм работы фильтра нижних частот, выполненного на четвертьволновых отрезках линий передачи.

Указанные замечания не снижают положительную оценку диссертации, ее научной новизны, значимости и достоверности результатов.

#### **Заключение**

Тематика и результаты диссертации Савенкова Г.Г. соответствуют пунктам 1, 2, 3 и 7 паспорта специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии.

Диссертация Савенкова Глеба Георгиевича представляет собой законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему и является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и конструктивные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней»,

утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности «05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии».

Диссертация и отзыв обсуждены на научном семинаре кафедры «Средства связи и информационная безопасность» Омского государственного технического университета.  
Протокол № 4 от 30 ноября 2018 г.

Отзыв составил д.т.н., профессор кафедры «Средства связи и информационная безопасность» Владимир Павлович Кисмерешкин.

644050, г. Омск, пр-т Мира, 11.  
Телефон: (3812) 65-85-60  
E-mail: kvp@omgtu.ru



Кисмерешкин В.П.

Председатель семинара,  
заведующий кафедрой  
«Средства связи и информационная безопасность»

д.т.н., профессор



Майстренко В.А.

644050, г. Омск, пр-т Мира, 11.  
Телефон: (3812) 65-85-60  
E-mail: mva@omgtu.ru

Адрес организации:  
644050, г. Омск, пр-т Мира, 11.  
(3812) 65-34-07  
[info@omgtu.ru](mailto:info@omgtu.ru)

Подписи заверяю:  
ученый секретарь ОмГТУ



/Немцова А.Ф./