



Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

 РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ

 РАДИОКОНСТРУКТОРСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ

 ФАКУЛЬТЕТ
ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ


 ФАКУЛЬТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ


 ФАКУЛЬТЕТ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

 ГУМАНИТАРНЫЙ
ФАКУЛЬТЕТ


 ФАКУЛЬТЕТ
БЕЗОПАСНОСТИ

 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ

 ФАКУЛЬТЕТ
ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

 ЮРИДИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ

 ЗАОЧНЫЙ И ВЕЧЕРНИЙ
ФАКУЛЬТЕТ

 ФАКУЛЬТЕТ
ДИСТАНЦИОННОГО
ОБУЧЕНИЯ

**ВЫБИРАЯ БУДУЩЕЕ,
ВЫБИРАЙ TUSUR!**

634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, каб. 129 E-mail: onir@main.tusur.ru
Телефон/Факс: (3822) 900-100 Сайт: <http://tusur.ru/>

Информационный центр абитуриента: magistrant.tusur.ru

Сборник избранных статей научной сессии TUSUPa



**ПО МАТЕРИАЛАМ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

«НАУЧНАЯ СЕССИЯ TUSUPa-2019»

г. Томск, 22–24 мая 2019 г.

(в двух частях)

ЧАСТЬ 1

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)»

Сборник избранных статей научной сессии ТУСУРа

**по материалам
Международной научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2019»**

22–24 мая 2019 г., г. Томск

В двух частях

Часть 1

В-Спектр
2019

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

С 23

С 23 Сборник избранных статей научной сессии ТУСУРа (Томск, 22–24 мая 2019 г.): в 2 ч. – Томск: В-Спектр, 2019. – Ч. 1. – 320 с.

ISBN 978-5-91191-410-3

ISBN 978-5-91191-411-0 (Ч. 1)

Сборник включает избранные статьи по итогам Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Конференция посвящена различным аспектам разработки, исследования и практического применения радиотехнических, телевизионных и телекоммуникационных систем и устройств, сетей электро- и радиосвязи, вопросам проектирования и технологии радиоэлектронных средств, аудиовизуальной техники, бытовой радиоэлектронной аппаратуры, а также автоматизированных систем управления и проектирования. Рассматриваются проблемы электроники СВЧ- и акустооптоэлектроники, нанофотоники, физической, плазменной, квантовой, промышленной электроники, радиотехники, информационно-измерительных приборов и устройств, распределенных информационных технологий, вычислительного интеллекта, автоматизации технологических процессов, в частности, в системах управления и проектирования, информационной безопасности и защиты информации. Представлены статьи по математическому моделированию в технике, экономике и менеджменте, антикризисному управлению, правовым проблемам современной России, автоматизации управления в технике и образовании, а также работы, касающиеся социокультурных проблем современности, экологии, мониторинга окружающей среды и безопасности жизнедеятельности.

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

ISBN 978-5-91191-410-3

ISBN 978-5-91191-411-0 (Ч. 1)

© Том. гос. ун-т систем управления
и радиоэлектроники, 2019

ПОДСЕКЦИЯ 2.6

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

*Председатель секции – Заболоцкий А.М., проф. каф. ТУ, д.т.н.;
зам. председателя – Куксенко С.П., доцент каф. ТУ, к.т.н.*

УДК 621.372.8

РАЗРАБОТКА КОАКСИАЛЬНОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.М. Артюшкина, студентка; А.В. Демаков, ассистент

г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, artyshkina_99@mail.ru

Проект ГПО ТУ-1503 «Разработка устройств для испытаний на ЭМС»

Представлены результаты разработки коаксиальной камеры для измерения эффективности экранирования композитных материалов в диапазоне частот до 10 ГГц. Выполнен расчет геометрических параметров конструкции камеры и их коррекция с помощью квазистатического анализа по требованиям к верхней граничной частоте и волновому сопротивлению. Разработаны электродинамические модели камеры и выполнен анализ вычисленных частотных зависимостей модуля коэффициента отражения $|S_{11}|$ на основе рассчитанных геометрических размеров.

Ключевые слова: экранирование, композитные материалы, камера.

Экранирование является конструкторским средством обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). При разработке экранов применяются металлы и их сплавы, которые постепенно заменяются на полимерные композиты, позволяющие уменьшить массу и повысить помехозащищенность РЭА, что является актуальным для авиационной и бортовой РЭА космических аппаратов [1]. Измерение эффективности экранирования (ЭЭ) композитных материалов выполняют при помощи различных методов и устройств. Широкое применение нашел метод коаксиальных камер, не требующий применения антенн и безэховых помещений [2]. При этом необходимо совершенствование существующих методов и устройств для исследования и испытания экранирующих композитов в более широком диапазоне частот.

Цель данной работы – представить предварительные результаты разработки коаксиальной камеры для измерения ЭЭ композитных материалов в диапазоне частот до 10 ГГц.

Коаксиальная камера представляет собой линию передачи, образованную двумя изолированными друг от друга соосными коническими проводниками (рис. 1). Волновое сопротивление в поперечном сечении коаксиальной камеры может быть вычислено по выражению [3]

$$Z = \frac{\eta_0}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right), \quad (1)$$

где $\eta_0 = 120\pi$ – волновое сопротивление свободного пространства; ϵ_r – диэлектрическая проницаемость среды; r_1 – радиус активного проводника; r_2 – радиус опорного проводника.

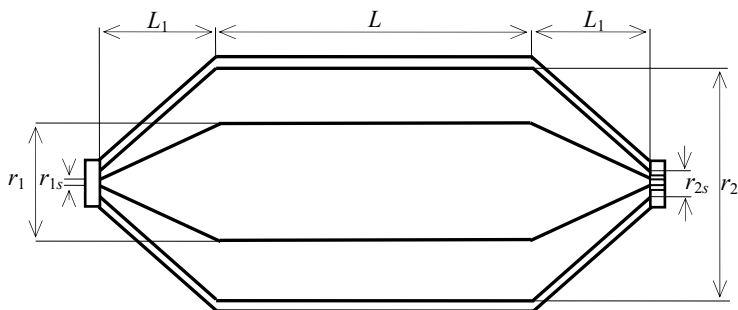


Рис. 1. Продольное сечение конструкции коаксиальной камеры с линейным согласующим переходом

Рабочий диапазон частот коаксиальной камеры определяется резонансной частотой моды TE_{11} , которая вычисляется как

$$f_p = \frac{c}{\pi(r_1 + r_2)}, \quad (2)$$

где c – скорость света в свободном пространстве.

На этапе предварительного моделирования, исходя из требований к волновому сопротивлению $Z = 50$ Ом, с помощью выражений (1) и (2) выполнен расчет размеров проводников в регулярной части коаксиальной камеры для $f_p = 2$ и 6 ГГц. На основе квазистатического анализа двумерных моделей поперечных сечений коаксиальной камеры выполнена корректировка размеров с целью уменьшения её рассогласования с фидерным трактом. Результаты расчета сведены в таблицу.

Выполнены разработка и анализ электродинамических моделей коаксиальных камер с граничными частотами 2 и 6 ГГц на основе

аналитически вычисленных и скорректированных размеров квазистатическим анализом. Согласование регулярной секции с СВЧ-соединителями обеспечивается линейным уменьшением радиусов проводников до значений $r_{1s} = 1,3$ мм и $r_{2s} = 3$ мм ($Z = 50,03$ Ом) (рис. 1).

Геометрические размеры активного и опорного проводников

f_p , ГГц	Аналитические выражения		Квазистатический анализ	
	r_1 , мм	r_2 , мм	r_1 , мм	r_2 , мм
2	14,34	33,46	14	32,265
6	4,77	11,13	4,85	11,18

Приведены частотные зависимости модуля коэффициента отражения $|S_{11}|$ моделей камер с граничными частотами 2 и 6 ГГц соответственно (рис. 2, 3).

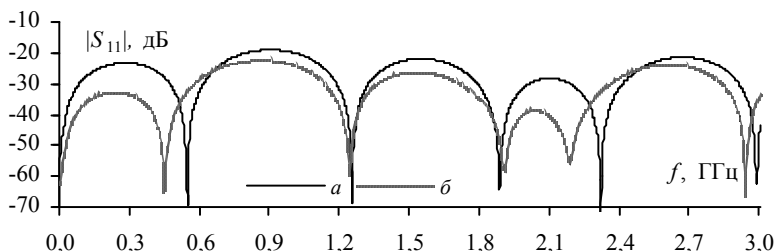


Рис. 2. Частотные зависимости $|S_{11}|$ моделей коаксиальной камеры с граничной частотой 2 ГГц, построенной на основе аналитически вычисленных (а) и скорректированных (б) размеров

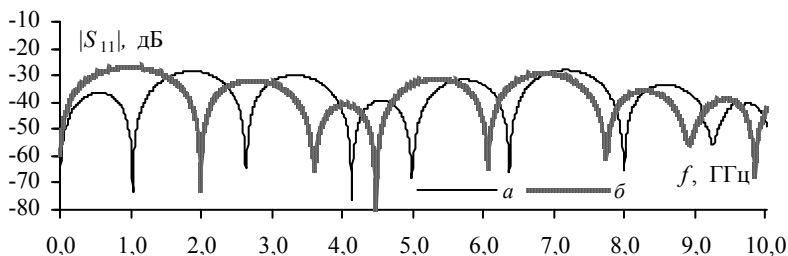


Рис. 3. Частотные зависимости $|S_{11}|$ моделей коаксиальной камеры с граничной частотой 6 ГГц, построенной на основе аналитически вычисленных (а) и скорректированных (б) размеров

Из полученных частотных зависимостей видно, что для модели камеры с $f_p = 2$ ГГц коррекция позволила уменьшить максимальное значение $|S_{11}|$ с -19 до -22 дБ (см. рис. 2), а для модели камеры с $f_p = 10$ ГГц – с -26 до -28 дБ (см. рис. 3). Таким образом, коррекция размеров проводников посредством квазистатического анализа позво-

ляет уменьшить рассогласование модели камеры на 2–3 дБ в диапазоне рабочих частот. Для минимизации максимального значения $|S_{11}|$ необходимо применить параметрическую оптимизацию геометрических размеров камеры. Также видно, что для модели камеры с $f_p = 6$ ГГц верхняя граница диапазона рабочих частот выше вычисленной резонансной частоты моды TE_{11} , что позволяет использовать её при дальнейшей разработке устройства для измерений эффективности экранирования композитных материалов до 10 ГГц.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00619.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комнатнов М.Е., Газизов Т.Р., Дементьев А.С. Моделирование эффективности экранирования металлической пластиной для бортовой аппаратуры космического аппарата // Доклады ТУСУР. – 2011. – №2(24), ч. 1. – С. 133–136.
2. ASTM D4935, Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials, 2018. – URL: <https://www.astm.org/Standards/D4935.htm> (дата обращения: 18.09.2018).
3. Фуско В. СВЧ-цепи. Анализ и проектирование. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.

УДК 537.877

ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КВЧ-ДИАПАЗОНА, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ

К.В. Симонова, Д.С. Бодажков, студенты

Научный руководитель А.В. Бадьин, доцент каф. РЭ, к.ф.-м.н.

г. Томск, НИИ ТГУ, ks_simka@mail.ru

Описывается возможность применения аддитивной технологии для изготовления полосно-заградительных фильтров, применяемых в крайне высокочастотной (КВЧ) технике с использованием композитных материалов. Представлены частотные зависимости коэффициента прохождения фильтров в диапазоне 32–525 ГГц.

Ключевые слова: КВЧ, ГВЧ, 3D-печать, резонансные свойства, фильтры, аддитивная технология.

На сегодняшний день техника диапазона сверхвысоких частот широко развита и активно применяется во многих радиоэлектронных средствах и приборах. Дальнейшее совершенствование технологий связано с продвижением в КВЧ-диапазон (30–300 ГГц), поскольку с ростом частоты улучшаются характеристики радиопередающих уст-

<i>А.А. Колегов, А.В. Черникова, Д.В. Сарасеко, К.А. Денисенко</i> СЛОЖЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ С ПОМОЩЬЮ ОПТОВОЛОКОННЫХ СИГНАЛЬНЫХ ОБЪЕДИНИТЕЛЕЙ.....	216
<i>М.Н. Гаппарова, Н.А. Иванченко, А.С. Перин</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОГЕРЕНТНЫХ СВЕТЛЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СОЛИТОНОВ В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ НИОБАТЕ ЛИТИЯ С УЧЕТОМ ВКЛАДА ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА.....	219

ПОДСЕКЦИЯ 2.6

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

Председатель секции – Заболоцкий А.М., проф. каф. ТУ, д.т.н.;
зам. председателя – Куксенко С.П., доцент каф. ТУ, к.т.н.

<i>А.М. Артюшкина, А.В. Демаков</i> РАЗРАБОТКА КОАКСИАЛЬНОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	222
<i>К.В. Симонова, Д.С. Бодажков</i> ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КВЧ-ДИАПАЗОНА, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ.....	225
<i>Л.К. Болатова</i> АЛГОРИТМ И ПРОГРАММА ДЛЯ КВАЗИСТАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА НЕРЕГУЛЯРНОЙ РАЗБАЛАНСИРОВАННОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЛИНИИ В ВОЗДУХЕ.....	228
<i>Е.Б. Черникова</i> АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЛАГОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА.....	232
<i>Рустам Р. Газизов, М.Н. Калинина</i> ВЫЯВЛЕНИЕ ЭКСТРЕМУМОВ СИГНАЛА С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ В ДВУХВИТКОВОЙ МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ЕЕ ПРОВОДНИКАМИ.....	236
<i>Ш.В. Куулар, Р.Р. Хажибеков</i> РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВХОДНЫХ ЦЕПЕЙ ПИКОСЕКУНДНОГО ЛОКАТОРА.....	240
<i>Ш.В. Куулар, Р.Р. Хажибеков</i> СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ПИКОСЕКУНДНОГО ЛОКАТОРА.....	244
<i>Ч.Л. Хомушку</i> ВЫЯВЛЕНИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЭКСТРЕМУМОВ СИГНАЛА В СИЛОВОЙ ШИНЕ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ.....	247

М.В. Храпцов ВЛИЯНИЕ КАСКАДИРОВАНИЯ ПОМЕХОЗАЩИТНЫХ ФИЛЬТРОВ НА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ЦЕПЕЙ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ.....	251
А.А. Иванов РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНОГО КОРПУСА МЕТОДОМ МАТРИЦЫ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ.....	255
К.А. Бокова, А.А. Иванов ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ КОРПУСА МУЛЬТИПЛЕКСОРА FOX-515	259
С.Х. Карри, Р.С. Суровцев АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОДЛОЖКИ НА РАССЕЯНИЕ МОЩНОСТИ СИГНАЛА В МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ.....	262
А.А. Квасников ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДСИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ СИСТЕМЫ TALGAT	266
И.И. Николаев ВЛИЯНИЕ ДВОЙНОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВОЙ ШИНЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ЕЁ ПОГОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ	270
М.А. Самойличенко АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА С ПАССИВНЫМ ПРОВОДНИКОМ В ОПОРНОЙ ПЛОСКОСТИ НА АМПЛИТУДУ ИМПУЛЬСОВ РАЗЛОЖЕНИЯ	273
Л.Т. Таалайбек, М.А. Ембергенов ПОИСК МАКСИМУМА НАПРЯЖЕНИЯ В СВЯЗАННОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ С ПОМОЩЬЮ ЭВОЛЮЦИОННЫХ СТРАТЕГИЙ.....	275
Е.С. Жечев ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЫЧЕК В ОПОРНОМ ПРОВОДНИКЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА.....	279

ПОДСЕКЦИЯ 2.7

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

Председатель секции – Туев В.И., зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.;
зам. председателя – Вилисов А.А., проф. каф. РЭТЭМ, д.т.н.

А.А. Максименко, Е.С. Ганская, М.В. Андреева ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПАСА СВЕТОДИОДНОГО ИЗЛУЧАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА	282
Д.В. Кожокару, Е.С. Ганская, Е.С. Гайбович МЕТОДЫ ГЕРМЕТИЗАЦИИ СВЕТОДИОДОВ БЕЛОГО ЦВЕТА СВЕЧЕНИЯ	284