



Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

 РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ

 РАДИОКОНСТРУКТОРСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ

 ФАКУЛЬТЕТ  
ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

 ФАКУЛЬТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

 ФАКУЛЬТЕТ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

 ГУМАНИТАРНЫЙ  
ФАКУЛЬТЕТ

 ФАКУЛЬТЕТ  
БЕЗОПАСНОСТИ

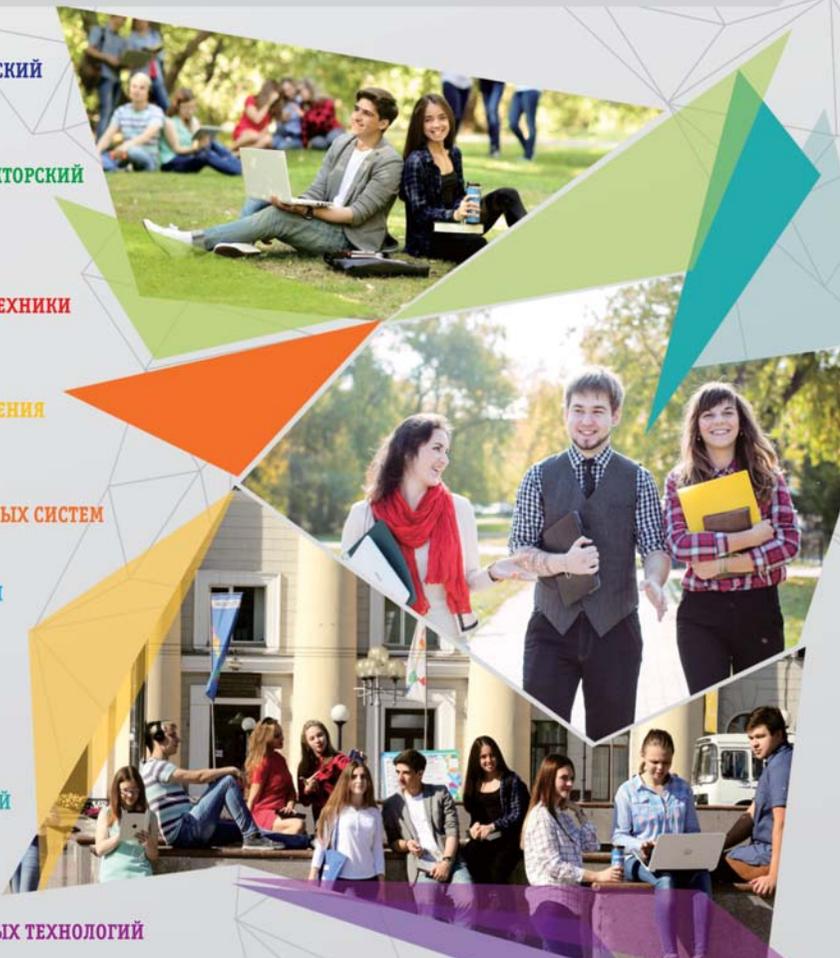
 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ

 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](mailto:onir@main.tusur.ru)  
Телефон/Факс: (3822) 900-100 Сайт: <http://tusur.ru/>

Информационный центр абитуриента: [magistrant.tusur.ru](http://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, нанопотоники, 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

## ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЫЧЕК В ОПОРНОМ ПРОВОДНИКЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА

*Е.С. Жечев, аспирант, м.н.с. НИЛ «БЭМС РЭС»*

*Научный руководитель А.М. Заболоцкий, проф. каф. ТУ, д.т.н.  
г. Томск, ТУСУР, geopath@mail.ru*

Анализируется четырехслойная конструкция зеркально-симметричного модального фильтра (ЗСМФ) со скрытыми переходными отверстиями (СПО) и без них. Представлены результаты квазистатического моделирования с учетом потерь в частотной и временной областях указанных конфигураций, получена их согласованность. Результаты полезны для дальнейших исследований, так как исполнение ЗСМФ без СПО экономически и технически целесообразно.

**Ключевые слова:** модальная фильтрация, помехозащитный фильтр, зеркально-симметричный модальный фильтр, скрытые переходные отверстия.

Современная радиоэлектронная аппаратура крайне уязвима к различным электромагнитным помехам. Особую опасность представляют кондуктивные помехи с длительностью фронтов менее одной наносекунды [1]. За счет большой мощности и высокой скорости нарастания фронта такие помехи способны проникать вглубь РЭА и выводить ее из строя. Такого рода помехи успешно могут быть подавлены специальными помехозащитными устройствами – модальными фильтрами [2–3]. В частности, зеркально-симметричный модальный фильтр (ЗСМФ) за счет разности скорости распространения мод в передающей линии способен разложить электромагнитную помеху на четыре импульса меньшей амплитуды [4]. В [5] впервые представлен четырехслойный ЗСМФ, изображенный на рис. 1, а. Недостатком данной конфигурации является наличие скрытых переходных отверстий (СПО), соединяющих два слоя опорного проводника (ОП) вдоль линии передачи. Для упрощения и удешевления изготовления ЗСМФ целесообразно убрать СПО. Цель работы – исследовать характеристики ЗСМФ без СПО.

Конструкция ЗСМФ без СПО представлена на рис. 1, б. Два слоя ОП соединены в начале и конце линии передачи.

Помехозащитный фильтр моделировался с учетом потерь при следующих параметрах:  $s = 700$  мкм,  $w = 1000$  мкм,  $g = 200$  мкм,  $t = 35$  мкм,  $h = 920$  мкм,  $h_1 = 510$  мкм, длина структуры 1000 мм. Вычисление параметров ЗСМФ, форм сигналов и частотной зависимости  $|S_{21}|$  проводилось посредством квазистатического анализа в системе TALGAT [6]. Частотная зависимость  $|S_{21}|$  представлена на рис. 2, а

формы напряжения на выходе фильтра при воздействии на вход импульсом общей длительностью 150 пс – на рис. 3. Сравнение результатов моделирования сведено в таблицу.

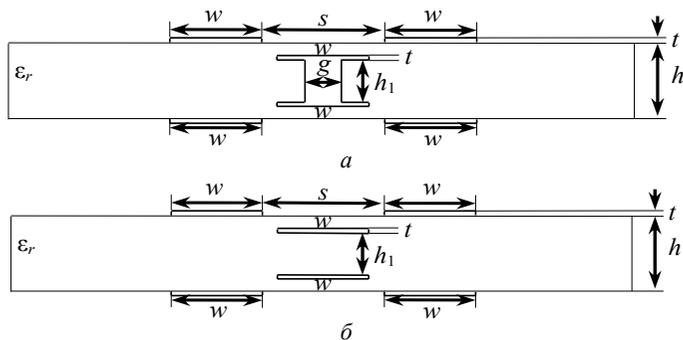


Рис. 1. Поперечное сечение четырехслойного ЗСМФ с (а) и без (б) СПО

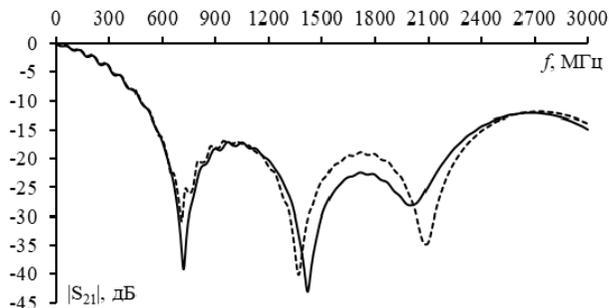


Рис. 2. Частотная зависимость  $|S_{21}|$  ЗСМФ с СПО (—) и без них (- -)

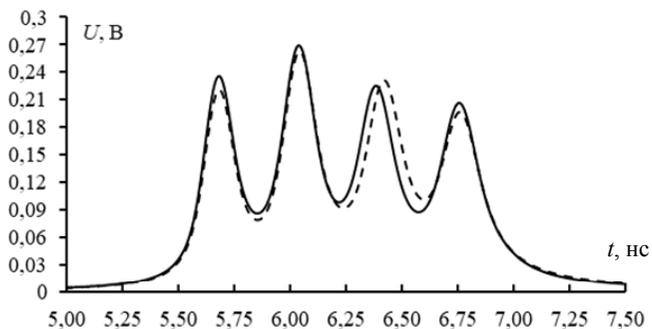


Рис. 3. Формы напряжения на выходе активной линии ЗСМФ с СПО (—) и без них (- -)

### Сравнение параметров ЗСМФ в двух исполнениях

Параметр	СПО присутствуют	СПО отсутствуют	Отклонение, %
$U_1$ , В	0,221	0,235	3,07
$U_2$ , В	0,262	0,269	1,32
$U_3$ , В	0,231	0,225	1,31
$U_4$ , В	0,196	0,206	2,48
$f_c$ , ГГц	0,232	0,235	0,64

Таким образом, в работе впервые представлено сравнение двух конфигураций ЗСМФ со скрытыми переходными отверстиями и без них. Выявлено, что результаты моделирования хорошо согласуются, а отклонение значений не превышает 3,07%. Конструкция ЗСМФ без СПО позволит удешевить и упростить изготовление помехозащитного фильтра. В дальнейшем целесообразно провести эксперимент.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации МД-365.2018.8.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Gizatullin Z.M., Gizatullin R.M. Investigation of the immunity of computer equipment to the power-line electromagnetic interference // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2016. – No. 5. – P. 546–550.
2. Gazizov T.R., Zabolotsky A.M., Melkozerov A.O. Improved design of modal filter for electronics protection // International Conference on Lightning Protection (ICLP). – Vienna, Austria, 2–7 Sept. – 2012.
3. Gazizov A.T., Zabolotsky A.M., Gazizov T.R. UWB pulse decomposition in simple printed structures // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2016. – Vol. 58, No. 4. – P. 1136–1142.
4. Chernikova E.B., Belousov A.O. Simulation and development of the model of reflection symmetric modal filter // Матер. 13-й Междунар. научн.-практ. конфер. «Электронные средства и системы управления». – 2017. – С. 5–7.
5. Zhechev Y.S., Chernikova E.B., Belousov A.O. Research of the New Structure of Reflection Symmetric Modal Filter // Proc. of 20th International conference on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM–2019), Erlagol, Altai, June 29–July 3, 2019. – P. 1–4 (принята к публикации).

*А.А. Колегов, А.В. Черникова, Д.В. Сарасеко, К.А. Денисенко*  
СЛОЖЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ С ПОМОЩЬЮ  
ОПТОВОЛОКОННЫХ СИГНАЛЬНЫХ ОБЪЕДИНИТЕЛЕЙ.....216

*М.Н. Гаппарова, Н.А. Иванченко, А.С. Перин*  
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.*

*А.М. Артюшкина, А.В. Демаков*  
РАЗРАБОТКА КОАКСИАЛЬНОЙ КАМЕРЫ  
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ  
КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....222

*К.В. Симонова, Д.С. Бодажков*  
ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КВЧ-ДИАПАЗОНА, ПОЛУЧАЕМЫХ  
МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ.....225

*Л.К. Болатова*  
АЛГОРИТМ И ПРОГРАММА ДЛЯ КВАЗИСТАТИЧЕСКОГО  
АНАЛИЗА НЕРЕГУЛЯРНОЙ РАЗБАЛАНСИРОВАННОЙ  
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЛИНИИ В ВОЗДУХЕ.....228

*Е.Б. Черникова*  
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЛАГОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ  
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО  
МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА.....232

*Рустам Р. Газизов, М.Н. Калинина*  
ВЫЯВЛЕНИЕ ЭКСТРЕМУМОВ СИГНАЛА С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ  
В ДВУХВИТКОВОЙ МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ  
РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ЕЕ ПРОВОДНИКАМИ.....236

*Ш.В. Куулар, Р.Р. Хажибеков*  
РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА  
ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВХОДНЫХ ЦЕПЕЙ ПИКОСЕКУНДНОГО ЛОКАТОРА..240

*Ш.В. Куулар, Р.Р. Хажибеков*  
СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА  
ДЛЯ ПИКОСЕКУНДНОГО ЛОКАТОРА.....244

*Ч.Л. Хомушку*  
ВЫЯВЛЕНИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЭКСТРЕМУМОВ СИГНАЛА  
В СИЛОВОЙ ШИНЕ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ.....247

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

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