



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

4. Куксенко С.П., Заболоцкий А.М., Мелкозеров А.О., Газизов Т.Р. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT // Доклады ТУСУР. – 2015. – Т. 2, № 36. – С. 45–50.

5. Белоусов А.О., Черникова Е.Б., Заболоцкий А.М. Трехкритериальная оптимизация как ресурс для совершенствования зеркально-симметричного модального фильтра // Матер. 23-й Междунар. науч.-практ. конф. «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (Сибресурс-23-2017)», г. Томск, 24 ноября 2017. – Томск, 2018. – С. 150–154.

УДК 519.688

### **ВЫЯВЛЕНИЕ ЭКСТРЕМУМОВ СИГНАЛА С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ В ДВУХВИТКОВОЙ МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ЕЕ ПРОВОДНИКАМИ**

*Рустам Р. Газизов, студент каф. БИС;*

*М.Н. Калинина, студентка каф. философии образования,  
МГУ, Москва*

*Научный руководитель Руслан Р. Газизов, аспирант каф. ТУ  
г. Томск, ТУСУР, gazizovtsk@yandex.ru*

Проведено моделирование распространения сверхкороткого импульса вдоль проводников двухвитковой меандровой линии с учетом и без учета потерь в проводниках и диэлектриках. Получены максимумы напряжения и их локализация для 5 значений расстояния между проводниками. Показано, что изменение расстояния между проводниками незначительно влияет на амплитуду максимума (до 1,33%) и не влияет на ее локализацию.

**Ключевые слова:** моделирование, линия передачи, локализация, экстремум сигнала, сверхкороткий импульс.

В настоящее время радиоэлектронная аппаратура развивается стремительными темпами, что влечет за собой повышение требований к ее надежности и помехозащищенности. В этой связи важны выявление и локализация экстремумов сигнала, поскольку они позволяют определить места с превышением допустимого уровня сигнала, чтобы своевременно устранить это. Ранее была исследована С-секция при изменении ее геометрических параметров без учета потерь в проводниках и диэлектриках [1], изменении расстояния между проводниками [2], изменении длин проводников, а также при изменении длительности сверхкороткого импульса (СКИ) [3]. Исследована двухвитковая меандровая линия с учетом потерь в проводниках и диэлектриках [4] и без учета потерь [5]. В связи с тем, что в [4] выявление и локализация экстремумов сигнала в двухвитковой меандровой линии проводи-

лись без изменения геометрических параметров, целесообразно восполнить этот пробел.

Цель работы – исследовать влияние потерь в проводниках и диэлектриках на экстремумы сигнала в двухвитковой меандровой линии при изменении расстояния между ее проводниками.

В качестве исследуемой структуры выбрана двухвитковая меандровая линия. Её поперечное сечение и принципиальная схема изображены на рис. 1.

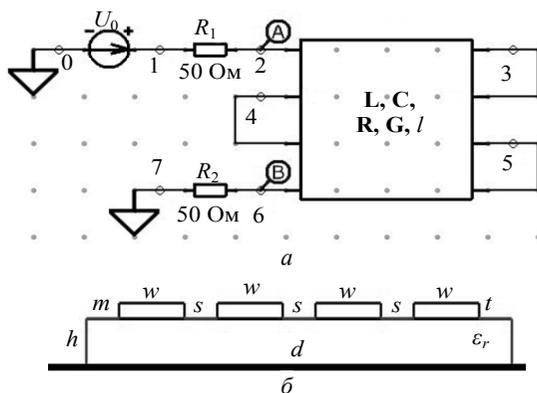


Рис. 1. Принципиальная схема (а) и поперечное сечение (б) двухвитковой меандровой линии

Ширина проводников  $w = 0,542$  мм, ширина диэлектрика  $d = 5,149$  мм, толщина диэлектрика  $h = 0,3$  мм, толщина проводника  $t = 0,1$  мм, длина проводников  $l = 27$  мм, тангенс угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta = 0,017$ , относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_r = 4,5$ , расстояние от бокового проводника до края диэлектрика –  $m$ , которое изменяется в зависимости от величины  $s$ . Для исследования выбран СКИ в форме трапеции с амплитудой ЭДС 1 В и длительностями фронтов и вершины по 100 пс. Моделирование выполнялось в системе компьютерного моделирования TALGAT. Вычислены максимумы напряжения вдоль проводников двухвитковой меандровой линии при распространении СКИ без учета потерь в проводниках и диэлектриках, а также при их учете при изменении расстояния между проводниками  $s = 50, 100; 300, 500$  и 596 мкм (при  $s = 596$  мкм расстояния  $s$  и  $w$  одинаковы). Каждый полувиток разделен на 30 сегментов, в каждом из которых вычислены формы напряжения. При моделировании используются погонные матрицы, учитывающие потери сопротивлений ( $R$ ) в проводниках и проводимостей ( $G$ ) в диэлектриках.

Результаты моделирования распространения сигнала вдоль проводников двухвитковой меандровой линии при  $s = 50$  мкм приведены на рис. 2. Аналогичные результаты для 100, 300, 500 и 596 мкм приведены на рис. 3–6 соответственно.

В таблице приведены значения напряжения при изменении  $s$ , где  $N$  – номер полувитка,  $n$  – номер сегмента,  $\Delta$  – отличие в амплитудах напряжения, в вольтах и процентах.

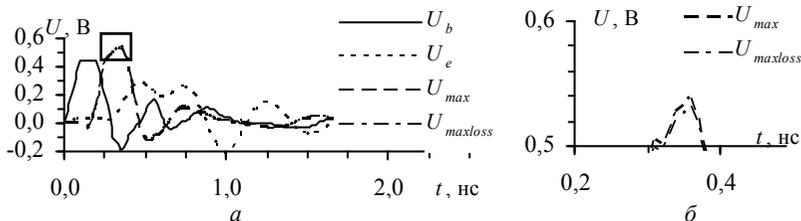


Рис. 2. Формы сигнала (а) и увеличенный фрагмент (б) при  $s = 50$  мкм

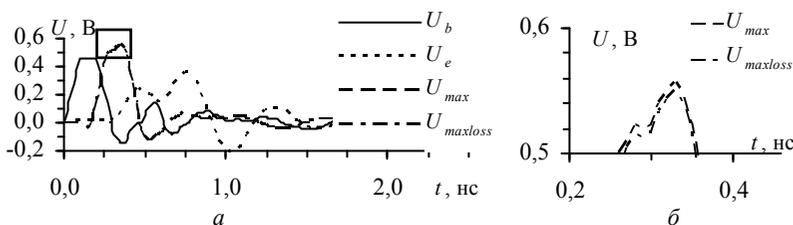


Рис. 3. Формы сигнала (а) и увеличенный фрагмент (б) при  $s = 100$  мкм

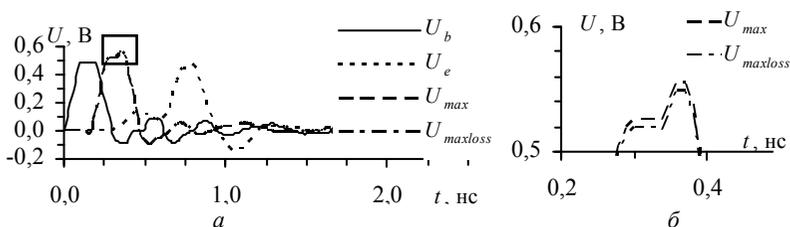


Рис. 4. Формы сигнала (а) и увеличенный фрагмент (б) при  $s = 300$  мкм

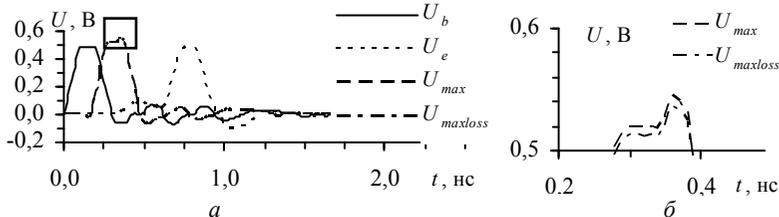


Рис. 5. Формы сигнала (а) и увеличенный фрагмент (б) при  $s = 500$  мкм

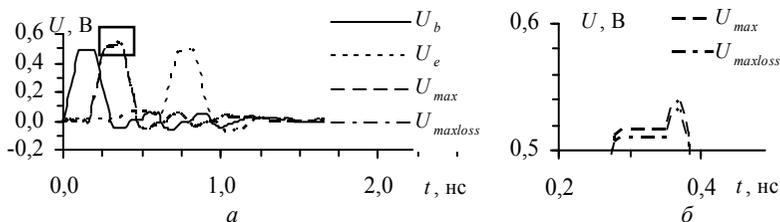


Рис. 6. Формы сигнала (а) и увеличенный фрагмент (б) при  $s = 596$  мкм

**Результаты вычисления максимумов напряжения с учетом  
и без учета потерь**

$s$ , мкм	С учетом потерь			Без учета потерь			$\Delta$ , В (%)
	$N$	$n$	$U_{max}$ , В	$N$	$n$	$U_{maxloss}$ , В	
50	2	27	0,533	2	27	0,539	0,0065 (1,22)
100	2	27	0,550	2	27	0,557	0,0072 (1,31)
300	2	28	0,549	2	28	0,556	0,0073 (1,33)
500	2	28	0,537	2	28	0,544	0,0071 (1,32)
596	2	29	0,532	2	29	0,539	0,0068 (1,28)

Из таблицы видно, что при увеличении расстояния между проводниками локализация максимума напряжения стремится к краю второго полувитка (к узлу 3). Также получено, что учет потерь незначительно влияет на амплитуду максимума напряжения (1,22–1,33%) и не влияет на ее локализацию.

Таким образом, в работе исследованы максимумы напряжения в двухвитковой линии при изменении расстояния между ее проводниками. Выполнено более корректное моделирование (с учетом потерь в проводниках и диэлектриках), показывающее, что вдоль проводников этой меандровой линии находятся максимумы, превышающие половину амплитуды ЭДС (0,5 В) на 10%. В дальнейшем целесообразно исследовать эту линию при изменении других параметров, а также перейти к реальным структурам (шине печатной платы и силовой шине электропитания).

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

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Газизов Р.Р., Заболоцкий А.М., Газизов Т.Т. Исследование распространения сверхкороткого импульса в микрополосковой С-секции при изменении зазора между связанными проводниками // Доклады Том. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники. – 2016. – № 1(19). – С. 79–82.

2. Газизов Рустам Р., Газизов Руслан Р. Влияние изменения расстояния между проводниками С-секции на экстремумы сверхкороткого импульса при

моделировании с учетом потерь // Матер. 24-й Междунар. науч.-практ. конф. «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-24–2018)». – Томск: – Изд-во ТУСУРа. – С. 135–139.

3. Газизов Рустам Р., Газизов Руслан Р. Влияние длительности сверхкороткого импульса на выявление и локализацию экстремумов сигнала в микрополосковой С-секции при моделировании с учетом потерь // Матер. 14-й Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления». – Томск: В-Спектр, 2018. – Ч. 1. – С. 275–277.

4. Газизов Рустам Р., Газизов Руслан Р. Выявление и локализация экстремумов сигналов двухвитковой меандровой линии с учетом потерь // Сб. избран. статей Научной сессии ТУСУР: по матер. Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2018». Томск: В-Спектр, 2018. – Ч. 2. – С. 246–249.

5. Газизов Р.Р., Заболоцкий А.М., Орлов П.Е. Локализация максимумов сигнала в многопроводных линиях передачи печатных плат с помощью системы TALGAT // Докл. Том. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники. – 2015. – № 4(38). – С. 153–156.

УДК 621.371.32

## **РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВХОДНЫХ ЦЕПЕЙ ПИКОСЕКУНДНОГО ЛОКАТОРА**

***Ш.В. Куулар, магистрант; Р.Р. Хажибеков, аспирант***

*Научный руководитель А.М. Заболоцкий, проф. каф. ТУ, д.т.н.*

*г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, kuular-1996@inbox.ru*

Описан один из методов повышения защищенности от пассивных помех в радиолокации. Разработан гибридный полосовой фильтр для защиты входных цепей пикосекундного локатора на основе элементов с распределенными и сосредоточенными параметрами.

**Ключевые слова:** полосовой фильтр, гибридный фильтр, пикосекундный локатор, частотная характеристика, полоса пропускания, затухание.

Полосовые фильтры выполняют функцию защиты входных цепей от насыщения пикосекундного локатора. Для разработки такого фильтра важно обеспечить требуемые частотные характеристики при минимально возможных габаритах. Известно, что фильтр на основе распределенных элементов имеет большую длину, а полосовой фильтр на дискретных элементах на высоких частотах (ВЧ) возможно будет нестабильно работать, из-за паразитных параметров дискретных элементов.

*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 ПИКΟΣЕКУНДНОГО ЛОКАТОРА..240

*Ш.В. Куулар, Р.Р. Хажибеков*  
СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА  
ДЛЯ ПИКΟΣЕКУНДНОГО 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