



Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

 РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ

 РАДИОКОНСТРУКТОРСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ

 ФАКУЛЬТЕТ
ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

 ФАКУЛЬТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

 ФАКУЛЬТЕТ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

 ГУМАНИТАРНЫЙ
ФАКУЛЬТЕТ

 ФАКУЛЬТЕТ
БЕЗОПАСНОСТИ

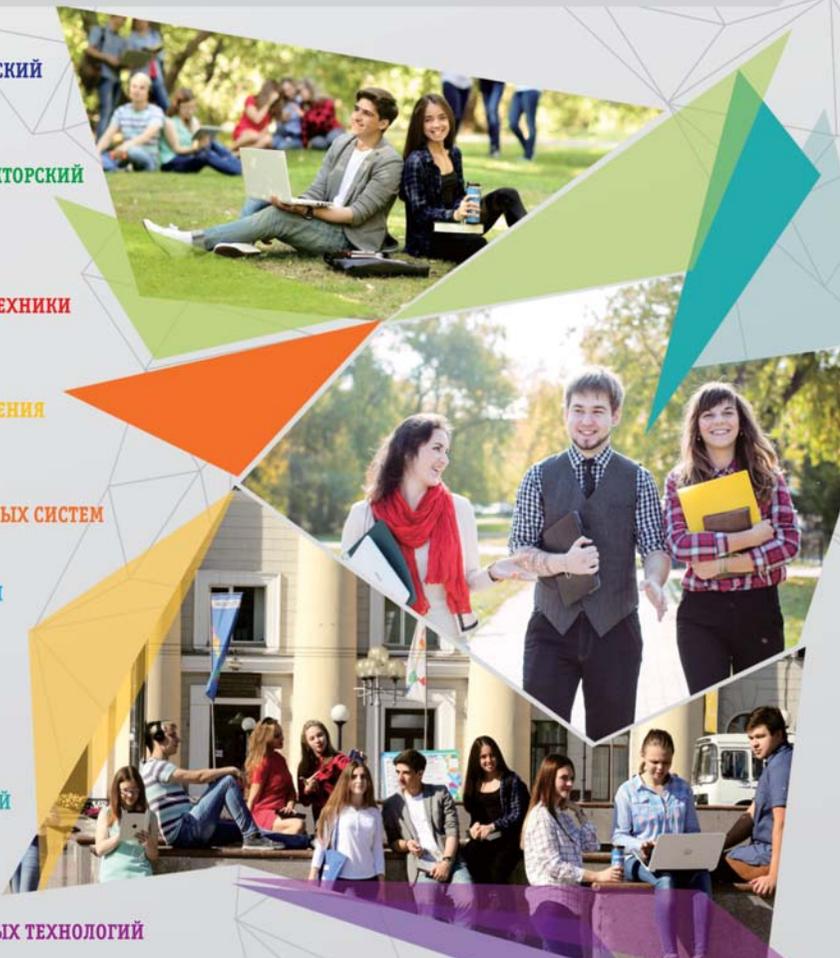
 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ

 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 ТУСУРа



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

«НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР–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

нии периодичности структуры изменяется полоса пропускания фильтра, причем с увеличением периодичности уменьшается полоса пропускания.

Вывод. Таким образом, можно сделать вывод, что аддитивная технология послойного наплавления может быть применима для изготовления частотно-селективных элементов КВЧ-техники с целью обеспечения электромагнитной совместимости оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bandyopadhyay A., Heer B. Additive manufacturing of multi-material structures // Mater. Sci. Eng. R. – 2018. – Vol. 129, № 4. – P. 1–16.

2. Badin A.V. et al. Anisotropy of electrical properties of 3D-printing MWCNT composites at the THz frequency range // 2018 43rd International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz). – IEEE, 2018. – P. 1–2.

УДК 621.3

АЛГОРИТМ И ПРОГРАММА ДЛЯ КВАЗИСТАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА НЕРЕГУЛЯРНОЙ РАЗБАЛАНСИРОВАННОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЛИНИИ В ВОЗДУХЕ

Л.К. Болатова, магистрант каф. ТУ

г. Томск, ТУСУР, lai_95@bk.ru

Рассматривается математическая модель дифференциальной линии. Разработан алгоритм для квазистатического анализа нерегулярной разбалансированной дифференциальной линии в воздухе. Выполнено вычисление по предложенному алгоритму и представлены его результаты. Полученные результаты оценены и сделаны выводы.

Ключевые слова: дифференциальная линия, нерегулярность, разбалансировка, асимметрия, дифференциальная мода, синфазная мода.

С ростом быстродействия и тактовых частот современных электронных устройств для передачи высокочастотных сигналов все чаще используются дифференциальные пары проводников. Повышение точности расчета электрофизических параметров платы сдерживается отсутствием методических и программных средств, доступных для инженерного применения. В работе [1] представлена математическая модель, позволяющая оценить влияние нежелательных асимметрий и нерегулярностей в дифференциальных линиях (ДЛ). На ее основе в работах [2–4] представлены алгоритмы для квазистатического анализа согласованной, регулярной разбалансированной, а также нерегулярной сбалансированной ДЛ в воздухе соответственно. Однако осталась

нерешенной задача разработки алгоритма для случая нерегулярной разбалансированной ДЛ в воздухе, который получается при одновременном изменении высоты проводов относительно земли и расстояния между проводами.

Цель работы – разработать алгоритм для квазистатического анализа нерегулярной разбалансированной ДЛ (рис. 1) в воздухе на основе математической модели из [1].

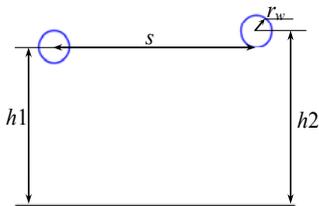


Рис. 1. Поперечное сечение анализируемой ДЛ в воздухе

Алгоритм:

1. Ввод значений инкремента высоты ($\Delta h(z)$) второго провода и инкремента расстояния между проводами ($\Delta d(z)$)

$$\Delta h(z) = \Delta h \left(\frac{2z}{L} - 1 \right), \quad (1)$$

$$h_2(z) = h + \Delta h(z), \quad (2)$$

$$\Delta d(z) = \Delta h(z), \quad (3)$$

$$d(z) = \sqrt{s^2 + \Delta d(z)^2}, \quad (4)$$

где $h_2(z)$ – высота, на которой расположен второй провод; h – номинальная высота проводов; $\Delta h(z)$ – значение сдвига высоты; $\Delta d(z)$ – значение сдвига расстояния между проводами; s – расстояние между проводами; L – длина проводов.

2. Вычисление погонных индуктивностей, которые записываются как возмущение тех, что относятся к эталонной структуре:

$$l_2(z) = \tilde{l} + \Delta l_2(z), \quad l_m(z) = \tilde{l}_m + \Delta l_m(z). \quad (5)$$

3. Вычисление матрицы модальных погонных индуктивностей

$$L_m(z) = \tilde{L}_m + \Delta L_m(z) = \begin{bmatrix} \tilde{l}_{CM} & 0 \\ 0 & \tilde{l}_{DM} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta l_{DM}(z) & \Delta l(z) \\ \Delta l(z) & \Delta l_{DM}(z) \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где

$$\tilde{l}_{CM} = \frac{\tilde{l} + l_2(z) + 2l_m(z)}{4}, \quad (7)$$

$$\tilde{l}_{DM} = \tilde{l} + l_2(z) - 2l_m(z), \quad (8)$$

$$\Delta l_{DM}(z) \approx \frac{2\mu_0}{\pi} \frac{\Delta h^2}{L^2 s^2} \left(\frac{L}{2} - z \right), \quad (9)$$

$$\Delta l(z) = -\frac{\mu_0}{4\pi} \ln \left[1 + \frac{\Delta h}{h} \left(\frac{2z}{L} - 1 \right) \right]. \quad (10)$$

4. Аналогично вычисляется матрица модальных погонных емкостей

$$C_m(z) = \tilde{C}_m + \Delta C_m(z) = \begin{bmatrix} \tilde{c}_{CM} & 0 \\ 0 & \tilde{c}_{DM} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta c_{DM}(z) & \Delta c(z) \\ \Delta c(z) & \Delta c_{DM}(z) \end{bmatrix}, \quad (11)$$

где

$$\tilde{c}_{CM} = \frac{1}{\tilde{l}_{CM}} = \frac{4}{\tilde{l} + l_2(z) + 2l_m(z)}, \quad (12)$$

$$\tilde{c}_{DM} = \frac{1}{\tilde{l}_{DM}} = \frac{1}{\tilde{l} + l_2(z) - 2l_m(z)}, \quad (13)$$

$$\Delta c_{DM}(z) = -\frac{\Delta l_{DM}(z)}{\tilde{Z}_{DM}^2}, \quad \Delta c(z) = -\frac{\Delta l(z)}{\tilde{Z}_{DM}^2}, \quad \tilde{Z}_{DM} = c_0 \tilde{l}_{DM}. \quad (14)$$

5. Вычисление напряжения дифференциальной моды (ДМ) нерегулярной разбалансированной ДЛ

$$V_{DM}(z) \approx \tilde{V}_{DM}(z) + V_{\Delta T, DM}, \quad (15)$$

где

$$\tilde{V}_{DM}(z) = \frac{V_s}{2} e^{-\gamma_0 z}, \quad (16)$$

$$V_{\Delta T, DM}(z) = \frac{\eta_0}{\pi} \frac{\Delta h^2}{s^2} \left[\frac{\cosh(\gamma_0 L)}{\gamma_0 L} - \sinh(\gamma_0 L) \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{(\gamma_0 L)^2} \right) \right] \tilde{I}_{DM}(0). \quad (17)$$

6. Вычисление напряжения синфазной моды (СМ) на левом конце ДЛ

$$V_{\Delta T, CM} = -c_0 \Delta l(z) \sinh(\gamma_0 L) \tilde{I}_{DM}(0). \quad (18)$$

На основе математической модели [1] и работы [2] разработан алгоритм, который реализован в MathCad. Исходные данные для реализации алгоритма взяты из работы [1]: $r_w = 0,5$ мм, $s = 5$ мм, $h = 50$ мм, $\Delta h_1 = 0,5$ мм, $\Delta h_2 = 1$ мм, $\Delta h_3 = 5$ мм, $V_s = 1$ В. По разработанному алгоритму выполнены вычисления и построены частотные зависимости напряжений для ДМ и СМ на конце ДЛ. При сравнении зависимостей для ДМ, полученных по (15), с опубликованными в [1] наблюдается хорошее совпадение (рис. 2).

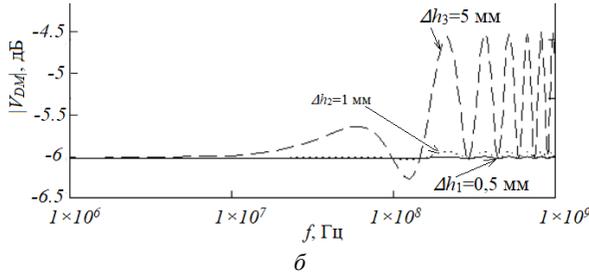
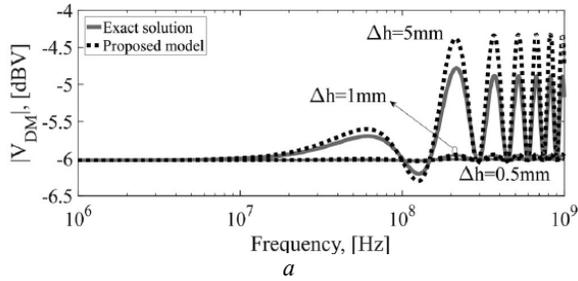


Рис. 2. Частотные зависимости ДМ на конце ДЛ из [1] (а) и по разработанному алгоритму (б) для $\Delta h = 5$ (--), 1 (- - -), 0,5 (-) мм

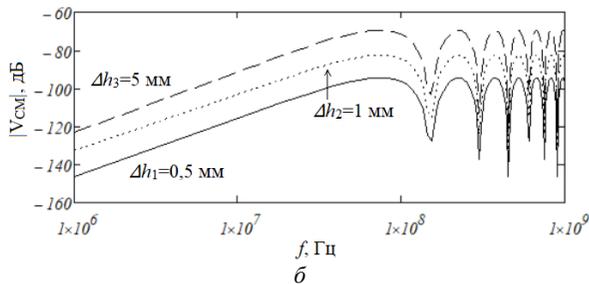
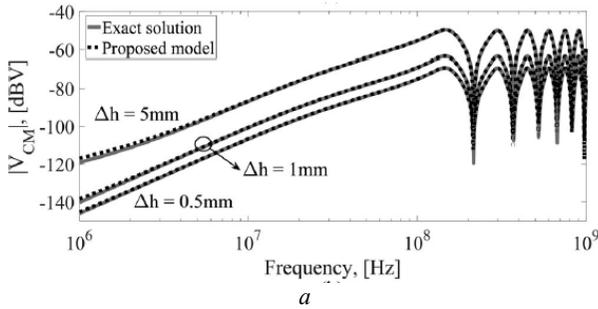


Рис. 3. Частотные зависимости СМ на конце ДЛ из [1] (а) и по разработанному алгоритму (б) для $\Delta h = 5$ (--), 1 (- - -), 0,5 (-) мм

При сравнении зависимостей, полученных для СМ (рис. 3), видно, что отличаются минимальные (очень малые) значения напряжений в диапазоне частот от 10^7 Гц до 10^9 Гц. Такое различие может быть обусловлено разными вычислительными погрешностями.

В дальнейшем целесообразно реализовать полученный алгоритм в системе TALGAT для оценки одновременного влияния разбалансировки и нерегулярности в ДЛ с меньшими вычислительными затратами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI 57417X0172.

ЛИТЕРАТУРА

1. Grassi F. Effects of undesired asymmetries and nonuniformities in differential lines / F. Grassi, P. Manfredi, X. Liu et al. // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – October 2017. – Vol. 59, No. 5. – P. 1613–1624.

2. Болатова Л.К. Разработка алгоритма и программы для квазистатического анализа согласованной дифференциальной линии в воздухе // 23-я Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР». – Томск, 16–18 мая 2018 г. – Ч. 2. – Томск, 2018. – С. 238–240.

3. Болатова Л.К. Алгоритм и программа для квазистатического анализа регулярной разбалансированной дифференциальной линии в воздухе // XIV Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления». – Томск, 28–30 ноября 2018 г. – Ч. 1. – Томск, 2018. – С. 267–269.

4. Болатова Л.К. Алгоритм и программа для квазистатического анализа нерегулярной сбалансированной дифференциальной линии в воздухе // 24-я Междунар. науч.-техн. конф. «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири», Томск, 28 ноября 2018 г. – Томск, 2018. – С. 130–134.

УДК 621.391.825

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЛАГОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА

Е.Б. Черникова, магистрант каф. ТУ

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

г. Томск, ТУСУР, chiernikova96@mail.ru

Анализируется влияние влагозащитного покрытия на характеристики зеркально-симметричного модального фильтра. Представлены результаты моделирования временного отклика на воздействие сверхкороткого импульса длительностью 150 пс при толщине покрытия 20, 40, 60 мкм.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, устройство защиты, сверхкороткий импульс, модальная фильтрация, влагозащитное покрытие, зеркально-симметричный модальный фильтр.

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

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