



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 TUSUR



ПО МАТЕРИАЛАМ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
«НАУЧНАЯ СЕССИЯ TUSUR–2020»

г. Томск, 13–30 мая 2020 г.
(в двух частях)

ЧАСТЬ 1

г. Томск

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 ТУСУР

**по материалам
Международной научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2020»**

13–30 мая 2020 г., г. Томск

В двух частях

Часть 1

В-Спектр
2020

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

С 23

С 23 Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР, Томск, 13–30 мая 2020 г.: в 2 частях. – Томск: В-Спектр, 2020. – Ч. 1. – 332 с.

ISBN 978-5-91191-434-9

ISBN 978-5-91191-435-6 (Ч. 1)

ISBN 978-5-91191-436-3 (Ч. 2)

Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР включает избранные доклады 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, нанопластики, 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 978-5-91191-434-9

ISBN 978-5-91191-435-6 (Ч. 1)

© Том. гос. ун-т систем управления
и радиоэлектроники, 2020

Д.И. Дудник	
ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ ПРОПУСКАЮЩИХ МНОГОСЛОЙНЫХ НЕОДНОРОДНЫХ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ ДИФРАКЦИОННЫХ СТРУКТУР	208
М.Н. Гаптарова, Д.К. Романенко, А.В. Шукин, А.С. Перин	
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДИФРАКЦИОННОЙ РАСХОДИМОСТИ СВЕТОВОГО ПУЧКА В КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ С УЧЕТОМ ВКЛАДА ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА	211
Т.Л. Григорян	
ПОЛИНОМИАЛЬНЫЙ РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ ТРИАНГУЛЯЦИОННЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ДАЛЬНОМЕРАМИ	215
К.В. Короткова, К.П. Мельник	
ФОТОИНДУЦИРОВАННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В КРИСТАЛЛАХ КТР ..	218
Е.В. Бакаулова, К.Б. Кемелханова, К.М. Мамбетова	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗАРЯДА ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ ГОЛОГРАММ В КРИСТАЛЛАХ НИОБАТА ЛИТИЯ С ПОВЕРХНОСТНЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ	220
П.К. Сафронова	
ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОРАЗМЕРНЫХ ФОТОННЫХ РЕШЕТОК БЕССЕЛЕПОДОБНЫМ СВЕТОВЫМ ПУЧКОМ В КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ	224
А.В. Михайленко, К.Г. Аксёнов	
СПЕКТР ОПТИЧЕСКОГО ОТРАЖЕНИЯ СТРУКТУРЫ GaN/Al ₂ O ₃	227
В.А. Горончко, М.М. Михайлов	
ИЗУЧЕНИЕ ИК-СПЕКТРОВ ПОЛИПРОПИЛЕНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОЧАСТИЦАМИ ZrO ₂	229
М.М. Михайлов, О.А. Алексеева, А.Н. Лапин,	
С.А. Юрьев, В.В. Каранский	
СИНТЕЗ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОШКОВ BaTi _(1-x) Zr _x O ₃ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОЧАСТИЦ TiO ₂	232
В.В. Каранский	
ВЛИЯНИЕ КВАНТОВ СОЛНЕЧНОГО СПЕКТРА НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОШКА ZnO, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОЧАСТИЦАМИ SiO ₂	235

ПОДСЕКЦИЯ 2.6

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

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

А.А. Дроздова	
СОЗДАНИЕ ЭКВИВАЛЕНТА СЕТИ ПО MIL-STD-461 G ДЛЯ СИЛОВОЙ ШИНЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ	239

А.А. Дроздова	
АНАЛИЗ ВОСПРИИМЧИВОСТИ СИЛОВОЙ ШИНЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА К ВОЗДЕЙСТВИЮ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА	243
С.Х. Карри, Р.С. Суровцев	
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА ЯЧЕЕК ДИСКРЕТИЗАЦИИ МОДЕЛИ МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛНОВОЛНОВОГО АНАЛИЗА	247
Д.В. Клюкин, А.А. Квасников	
РАСЧЕТ ПОГОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	251
А.М. Лакоза, В.П. Костелецкий, Е.С. Жечев	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИЛЬТРА С КОМБИНИРОВАННЫМ ДРОССЕЛЕМ	254
И.И. Николаев	
СИЛОВАЯ ШИНА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С КООКСИАЛЬНЫМ ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ	257
Р.С. Суровцев, А.В. Носов, Е.А. Сердюк	
ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ ДЛЯ МАГИСТРАНТОВ ПО АНАЛИТИЧЕСКИМ МОДЕЛЯМ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ В МНОГОПРОВОДНЫХ ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧИ	260
А.Е. Максимов, И.А. Онищенко	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ ПЕРЕКРЕСТНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ПРИ АНАЛИЗЕ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ	263
А.А. Синельников, А.В. Чуб, Е.С. Жечев	
КВАЗИСТАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧЕТЫРЕХСЛОЙНОГО ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ НА КОНЦАХ ПАССИВНЫХ ПРОВОДНИКОВ	266
И.А. Скорняков	
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЛАГОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ НА АМПЛИТУДУ ПЕРЕКРЕСТНЫХ НАВОДОК В ПАРЕ СВЯЗАННЫХ ЛИНИЙ	269
Е.С. Варзин, А.В. Носов	
ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАЩИТНОЙ МЕАНДРОВОЙ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ С УЧЕТОМ РЕАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ	273

ПОДСЕКЦИЯ 2.7

СВЕТОДИОДЫ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

Председатель – Туев В.И., зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.;

зам. председателя – Солдаткин В.С., доцент. каф. РЭТЭМ, к.т.н.

К.Н. Афонин

РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРЯМОГО НАПРЯЖЕНИЯ СВЕТОДИОДНОЙ НИТИ	277
--	-----

Научное издание

Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР

**По материалам
Международной научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2020»**

13–30 мая 2020 г., г. Томск

В двух частях

Часть 1

Корректор – **В.Г. Лихачева**
Верстка **В.М. Бочкаревой**

Издательство «В-Спектр».
Сдано на верстку 15.04.2020. Подписано к печати 15.05.2020.
Формат 60×84¹/₁₆. Печать трафаретная. Печ. л. 20,75
Тираж 100 экз. Заказ 7.

Издано ТУСУР, г. Томск, пр. Ленина, 40, к. 205, т. 70-15-24
(для нужд всех структурных подразделений университета и авторов)

Издательство «В-Спектр».
634055, г. Томск, пр. Академический, 13-24, т. 8 905 089 92 40
E-mail: bvm@sibmail.com

3. Shaeffer J. Million plus unknown MOM LU factorization on a PC // IEEE International conference on electromagnetics in advanced applications (ICEAA). – 2015. – P. 62–65.

4. Bebendorf M. Approximation of boundary element matrices // Numerische Mathematik. – 2000. – Vol. 86. – P. 565–589.

5. Saad Y. GMRES: A generalized minimal residual algorithm for solving non-symmetric linear systems / Y. Saad, M.H. Schultz // SIAM Journal on scientific and statistical computing. – 1986. – Vol. 7. – P. 856–869.

УДК 621.372.21

**КВАЗИСТАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЧЕТЫРЕХСЛОЙНОГО ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО
МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ГРАНИЧНЫХ
УСЛОВИЙ НА КОНЦАХ ПАССИВНЫХ ПРОВОДНИКОВ**

А.А. Синельников, студент каф. ТУ; А.В. Чуб, студент каф. РСС;

Е.С. Жечев, аспирант каф. ТУ, м.н.с. НИЛ «ФИЭМС»

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

г. Томск, ТУСУР, geopath@mail.ru

Анализируется конфигурация четырехслойного зеркально-симметричного модального фильтра (МФ) с различными граничными условиями на ближнем и дальнем концах пассивных проводников. Представлены результаты квазистатического моделирования во временной и частотной областях. Моделирование выполнено с учетом потерь.

Ключевые слова: зеркально-симметричный модальный фильтр, помехозащитные устройства, электромагнитная совместимость, сверхкороткий импульс

В настоящее время при проектировании сложных радиоэлектронных устройств и систем большое внимание уделяется обеспечению электромагнитной совместимости. В процессе работы высокочастотная передающая и высоковольтная коммутационная аппаратуры способны генерировать излучаемые и кондуктивные помехи. Особо опасным видом помех является сверхкороткий импульс (СКИ) [1], который обладает большой мощностью и широким спектром. Традиционные помехоподавляющие устройства оказываются малоэффективными в борьбе с СКИ из-за ограниченного частотного диапазона, низкого быстродействия и малой рассеиваемой мощности. Перспективными устройствами защиты от импульсов малой длительности являются модальные фильтры (МФ) [2]. В основу работы таких устройств положен принцип модального разложения. Принципиаль-

ная и структурная схемы четырехслойного зеркально-симметричного МФ представлены на рис. 1. Проведен ряд исследований такого устройства [3, 4], однако анализ влияния граничных условий пассивных проводников ($R_2, R_3, R_4, R_6, R_7, R_8$) на характеристики четырехслойного зеркально-симметричного МФ не был выполнен. Цель данной работы – провести такое исследование.

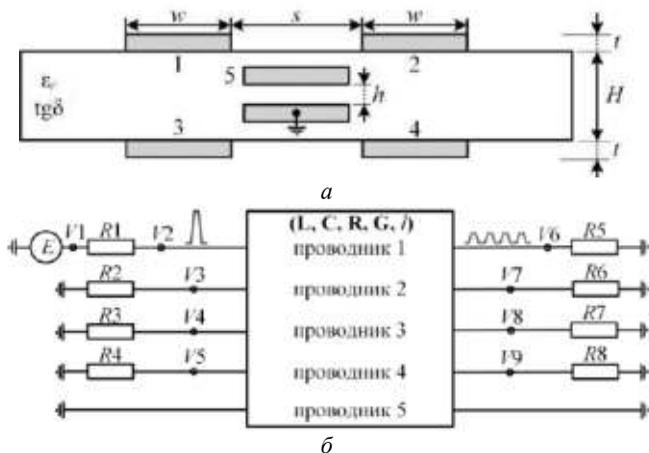


Рис. 1. Принципиальная схема зеркально-симметричного МФ

Для выполнения условий разложения выбраны следующие параметры [3]: ширина проводников $w = 1$ мм, расстояние между проводниками $s = 0,7$ мм, толщина проводников $t = 35$ мкм, расстояние между внутренними проводниками $h = 0,51$ мм, толщина диэлектрика $H = 1$ мм, $\epsilon_r = 4,3$, $\text{tg}\delta = 0,025$ (приведены для частоты 1 МГц). Квазистатическое моделирование проводилось с учетом потерь в проводниках и диэлектрике в системе TALGAT. Минимальная длина сегмента исследуемой структуры 7 мкм. В качестве входного воздействия подавался трапециевидный импульс с длительностью фронта, спада и плоской вершины 100 пс, а значение амплитуды равно 2 В (V_1).

Частотная зависимость $|S_{21}|$ и отклик во временной области приведены на рис. 2. Максимальные значения амплитуд импульсов на выходе МФ и полоса пропускания сведены в таблицу.

Из результатов моделирования видно, что в частотной области изменение граничных условий на концах пассивных проводников четырехслойного зеркально-симметричного МФ приводит к изменению частоты первого резонанса и появлению дополнительных резонансов.

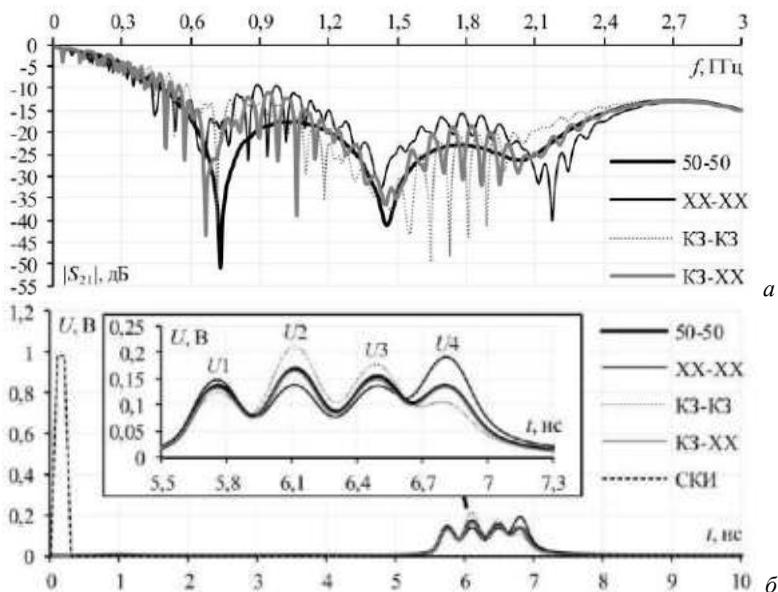


Рис. 2. Частотная зависимость $|S_{21}|$ (а) и отклик во временной области (б) четырехслойного зеркально-симметричного МФ. Значения амплитуд импульсов на выходе МФ в узле У6 и частот среза

Параметр	50-50	XX-XX	КЗ-КЗ	КЗ-XX
U_1 , В	0,136	0,147	0,123	0,131
U_2 , В	0,168	0,137	0,211	0,164
U_3 , В	0,154	0,136	0,177	0,148
U_4 , В	0,136	0,191	0,104	0,133
f_c , МГц	201	153	161	40

Наибольшее значение частоты среза (201 МГц) получено при условии 50-50, а наименьшее (40 МГц) – при КЗ-XX. Результаты во временной области показали, что изменились амплитуды импульсов разложения. Максимальное значение амплитуды разложенного импульса 0,211 В достигается при условии КЗ-КЗ. Для подтверждения полученных результатов целесообразно проведение экспериментального исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mora N., Vega F., Lugin G., Rachidi F., Rubinstein M. Study and classification of potential IEMI sources, System and assessment notes. Note 41, 8 July 2014.

2. 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.

3. Жечев Е.С. Влияние перемычек в опорном проводнике на характеристики зеркально-симметричного модального фильтра // Сб. избранных статей научной сессии ТУСУР по матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР», 2019, 22–24 мая. – С. 279–281.

4. Жечев Е.С., Черникова Е.Б., Белоусов А.О., Газизов Т.Р. Экспериментальные исследования зеркально-симметричного модального фильтра во временной и частотной областях // Системы управления, связи и безопасности. – 2019. – № 2. – С. 162-179. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10208

УДК 621.372.211

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЛАГОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ НА АМПЛИТУДУ ПЕРЕКРЕСТНЫХ НАВОДОК В ПАРЕ СВЯЗАННЫХ ЛИНИЙ

И.А. Скорняков, магистрант каф. ТУ

Научный руководитель Р.С. Суворцев, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, ivan_sk94@mail.ru

Выполнен анализ влияния параметров влагозащитного покрытия на амплитуду перекрестных наводок в паре связанных линий на основе анализа четверти суммы емкостной и индуктивной связей между проводниками линии и половины разности этих коэффициентов. Такой подход позволяет получить предварительные оценки на раннем этапе моделирования без вычисления временного отклика. В результате работы выявлены комбинации параметров поперечного сечения, обеспечивающие компенсацию дальней перекрестной наводки в паре связанных линий.

Ключевые слова: пара связанных линий, влагозащитное покрытие, перекрестная наводка.

На сегодняшний день радиоэлектронная аппаратура (РЭА) стала неотъемлемым компонентом практически всех сфер деятельности человека. Плотность монтажа и интеграции современных печатных плат РЭА неуклонно возрастает, что наряду с уменьшающимися амплитудами операционных сигналов ведет к уменьшению запаса помехозащищенности РЭА. Поэтому важно обеспечение требований электромагнитной совместимости (ЭМС) печатных плат РЭА. Одной из задач ЭМС являются анализ и компенсация перекрестных наводок в многопроводных межсоединениях печатных плат. Отсюда возникает необходимость разработки новых методов компенсации перекрестных