



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, 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 978-5-91191-434-9

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 КОАКСИАЛЬНЫМ 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

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

наводок. Одним из подходов является изменение диэлектрического заполнения линии, например за счет нанесения дополнительного слоя с оптимальными параметрами на поверхность печатной платы [1]. Примечательно, что данный подход позволяет уменьшить уровень перекрестных наводок на самом последнем этапе проектирования без изменения трассировки печатной платы и внесения дополнительных компонентов.

Однако данный подход не исследован системно и не представлен в виде конечной методики компенсации уровней наводок. Первым шагом в разработке данной методики является анализ влияния изменения параметров покрывающего слоя на изменение амплитуды перекрестных наводок в паре связанных линий. Примечательно, что уровень ближней перекрестной наводки (V_{NE}) в паре связанных линий пропорционален четверти суммы емкостной (K_C) и индуктивной (K_L) связей между проводниками линии (K_{NE}), а на дальнем (V_{FE}) – половине их разности (K_{FE}). Коэффициенты K_C и K_L вычисляются по следующим выражениям [2]:

$$K_C = -\frac{C_{12}}{C_{11}}, \quad K_L = \frac{L_{12}}{L_{11}},$$

где C_{11} , C_{12} и L_{11} , L_{12} – элементы матриц коэффициентов электростатической (матрица **C**) и электромагнитной (матрица **L**) индукции соответственно.

Цель данной работы – выполнить анализ влияния параметров влагозащитного покрытия на коэффициенты K_C , K_L , K_{NE} и K_{FE} .

На рис. 1 представлено поперечное сечение пары связанных линий с покрывающим диэлектрическим слоем и без него. Параметры поперечного сечения выбраны следующими: ширина проводника $w = 400$ мкм, толщина проводника $t = 35$ мкм, расстояние между проводниками $s = 400$ мкм, относительная диэлектрическая проницаемость основы $\epsilon_{rT} = 4,5$, толщина слоя основы $h = 1000$ мкм, расстояние от края структуры до проводника $d = 3w$. Относительная диэлектрическая проницаемость покрытия (ϵ_v) и толщина (h_v) покрывающего слоя варьировались в диапазоне 10–200 мкм с шагом 10 мкм и 1–10 с шагом 1 соответственно.

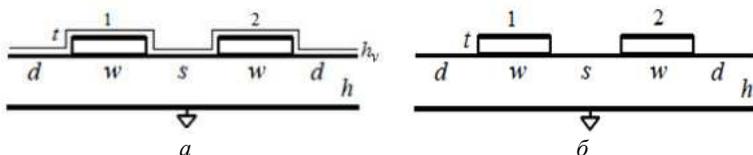


Рис. 1. Поперечное сечение линии с покрывающим слоем (а) и без покрывающего слоя (б)

Выполнено вычисление коэффициентов K_C , K_L , K_{NE} и K_{FE} для случая без покрытия и случая с покрывающим слоем в диапазоне его параметров. Полученные результаты сведены в таблицу. С целью экономии места в таблицу сведены результаты лишь для крайних точек диапазона изменения толщины покрывающего слоя.

Сначала рассмотрим влияние параметров влагозащитного покрытия на изменения K_C и K_L . Из таблицы видно, что увеличение h_0 неуклонно ведет к увеличению K_C , при этом рост коэффициента в отличие от случая без покрытия при $h_0 = 10$ мкм составляет 1,7 и 1,84 раза для $\varepsilon_v = 2$ и 10, а при $h_v = 200$ мкм – 1,96 и 2,7 раза соответственно. Значение коэффициента K_L остается неизменным для всех рассмотренных случаев, поскольку элементы матрицы **L** вычисляются при воздушном заполнении.

Значения коэффициентов связи при разных ε_v и h_v

h_v , мкм	K_C	K_L	K_{NE}	K_{FE}
без покрытия				
	0,3071	0,3701	0,1693	-0,0315
$\varepsilon_v = 2$				
10	0,3178	0,3701	0,1719	-0,0263
200	0,3423		0,1781	-0,0139
$\varepsilon_v = 3$				
10	0,3252	0,3701	0,1738	-0,0224
200	0,3711		0,1853	0,0005
$\varepsilon_v = 4$				
10	0,3319	0,3701	0,1755	-0,0191
200	0,3959		0,1915	0,0128
$\varepsilon_v = 5$				
10	0,3380	0,3701	0,1771	-0,0160
200	0,4176		0,1969	0,0237
$\varepsilon_v = 6$				
10	0,3438	0,3701	0,1784	-0,0131
200	0,4371		0,2018	0,0334
$\varepsilon_v = 7$				
10	0,3492	0,3701	0,1798	-0,0105
200	0,4545		0,2062	0,04219
$\varepsilon_v = 8$				
10	0,3543	0,3701	0,1811	-0,0079
200	0,4704		0,2101	0,0501
$\varepsilon_v = 9$				
10	0,3592	0,3701	0,1823	-0,0054
200	0,4849		0,2138	0,0573
$\varepsilon_v = 10$				
10	0,3640	0,3701	0,1835	-0,0030
200	0,4982		0,2171	0,0640

Далее рассмотрим влияние h_v и ε_v на изменение коэффициентов K_{NE} и K_{FE} . Зависимость коэффициента K_{NE} схожа по характеру с зависимостью K_C , поскольку K_{NE} вычисляется как четверть суммы K_C и K_L . Таким образом, наблюдается увеличение K_{NE} как при увеличении h_v , так и ε_v . Рост коэффициента K_{NE} в отличие от случая без покрытия при $h_v = 10$ мкм составляет 1,6 и 1,7 раза для $\varepsilon_v = 2$ и 10, а при $h_0 = 200$ мкм – 1,65 и 2 раза соответственно. Таким образом, введение покрывающего диэлектрического слоя приводит к росту амплитуды перекрестных наводок на ближнем конце линии. Наибольший интерес представляет влияние параметров покрывающего слоя на изменение коэффициента K_{FE} . Видно, что при $h_v = 10$ мкм K_{FE} имеет отрицательное значение и уменьшается в 1,1 раза (от $-0,0263$ до $-0,0030$) по сравнению со случаем без покрытия при увеличении ε_v от 2 до 10. При $h_v = 200$ мкм значение K_{FE} меняется неоднозначно: меняет знак (с отрицательного на положительный) при $\varepsilon_v = 3$ для результатов из таблицы, после чего возрастает, а его рост составляет более чем в 4,5 раза. Таким образом, существуют комбинации параметров, при которых значение коэффициента K_{FE} близко к нулю (перекрестная наводка на дальнем конце имеет нулевую амплитуду). Такая ситуация возникает, когда значения коэффициентов K_C и K_L имеют равные значения. В результате проделанной работы выявлены такие комбинации: $h_v = 200$ мкм и $\varepsilon_v = 3$, $h_v = 100$ мкм и $\varepsilon_v = 4$, $h_v = 50$ мкм и $\varepsilon_v = 6$.

Таким образом, в работе выполнена оценка влияния параметров влагозащитного покрытия на коэффициенты K_C , K_L и K_{NE} , K_{FE} , а также выявлены комбинации параметров, когда значение K_{FE} близко к нулю. Между тем выявлено, что K_{NE} имеет более чем в 3,5 раза большее значение, чем K_{FE} . Однако амплитуда наводки на дальнем конце помимо K_{FE} также пропорциональна длине линии, поэтому в линиях с большой длиной ситуация может быть обратной. Следующим этапом работы целесообразно многовариантный анализ влияния параметров влагозащитного покрытия на перекрестные наводки в межсоединениях реальных печатных плат, а также экспериментальные исследования.

Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования (проект FEWM-2020-0041).

ЛИТЕРАТУРА

1. Суровцев Р.С. Вычислительные алгоритмы, методики и рекомендации для проектирования бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата с учетом электромагнитной совместимости: дис. ... канд. тех. наук : 05.12.04. – Томск: ТУСУР, 2016. – 248 с.
2. Газизов Т.Р. Уменьшение искажений электрических сигналов в межсоединениях / под ред. Н.Д. Малютина. – Томск: Изд-во НТЛ, 2003. – 212 с.