














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 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 60×84^{1/16}. 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

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАЩИТНОЙ МЕАНДРОВОЙ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ С УЧЕТОМ РЕАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

*Е.С. Варзин, магистрант; А.В. Носов, ассистент, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, woodoo2013@gmail.com*

Выполнены обзор технологических возможностей производителей печатных плат и оптимизация меандровой микрополосковой линии задержки с учетом реальных геометрических параметров поперечного сечения. Получено разложение сверхкороткого импульса в одном витке меандровой микрополосковой линии задержки с реальными параметрами поперечного сечения. Получено ослабление СКИ в 2,4 раза.

Ключевые слова: меандровая линия, сверхкороткий импульс, технологические возможности изготовителей печатных плат.

Актуальной задачей электромагнитной совместимости (ЭМС) является защита радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) от сверхкоротких импульсов (СКИ). Однако существующие традиционные устройства неспособны обеспечить должную защиту от СКИ в силу своих недостатков, таких как малая мощность или недостаточное быстродействие, а также из-за полупроводниковых компонентов в их составе, они в большой степени подвержены влиянию радиации [1]. Поэтому примечательны исследования, в которых показано, что в меандровой микрополосковой линии (МПЛ) задержки из одного и двух витков возможно разложение СКИ на последовательность импульсов меньшей амплитуды [1]. В случае с линией из одного витка СКИ раскладывается на импульсы перекрестной наводки, нечетной и четной мод. Для этого необходимо обеспечить следующее условие [1]:

$$\tau_{\max} = 2\tau_{\min}, \quad (1)$$

где τ_{\max} и τ_{\min} – максимальное и минимальное значения из погонных задержек мод линии.

Однако для последующего изготовления печатной платы (ПП) с макетом меандровой МПЛ, параметры которой обеспечивают выполнение условия (1), необходим учет технологических возможностей изготовителей ПП.

Цель работы – оптимизация меандровой микрополосковой линии задержки из одного витка с учетом реальных геометрических параметров ее поперечного сечения.

Для этого необходимо выполнить обзор технологических возможностей производителей ПП, построить схему и поперечное сече-

ние меандровой микрополосковой линии, задать воздействие и выполнить оптимизацию параметров поперечного сечения с учетом технологических возможностей производителей ПП.

При выборе изготовителя для производства ПП с макетом защитной меандровой МПЛ ключевыми параметрами являются: максимальные габариты платы, минимальная ширина проводника (w_{\min}), минимальное расстояние между проводниками (s_{\min}), максимальная толщина проводника (t_{\min}), используемые материалы, а также толщина диэлектрической подложки (h_{\max}).

Проведен анализ технологических возможностей следующих производителей ПП: PCB Technology, АКСИОН, А-КОНТРАКТ, ApexPCB, PCB Element, PCBPRO, PS ELECTRO, НПО Марс, SMT service и др. Производители ПП с подходящими технологическими возможностями представлены в табл. 1.

Таблица 1

Выбранные производители ПП и их технологические возможности

Производитель	w_{\min} , МКМ	s_{\min} , МКМ	h_{\max} , МКМ	t_{\max} , МКМ
PCB Technology	38	38	1500	420
АКСИОН	50	50	–	300
А-КОНТРАКТ	50	50		200
ApexPCB	75	75		210

Отметим, что производители ПП из табл. 1 используют материалы со значениями относительной диэлектрической проницаемости (ϵ_r) не более 10,2. Этого недостаточно для выполнения условия (1). Однако имеются производители ПП, изготавливающие диэлектрические подложки, ϵ_r которых достигает 100. Но такие производители не подходят по параметрам w , s , h и t . Тогда возможна комбинация оптимальных параметров сразу нескольких производителей. Производители ПП [3, 4], изготавливающие подложки с большими значениями ϵ_r , представлены в табл. 2. Максимальные габариты подложки, которые могут обеспечить эти производители, составляют 60×48×2,5 мм.

Таблица 2

Производители ПП, изготавливающие подложки с большими значениями ϵ_r

Произв.	АО «ЦКБ РМ»						ООО «КЕРАМИКА»					
	МТ-15	МТ-20	БА-35	МТ-60	МТ-90	СТП-130	Д10	В20	В40	В80	В92	В100
ϵ_r	15	20	35	60	70	130	9,7	20	42	80	92	100

Поперечное сечение витка меандровой МПЛ и её схема соединения представлены на рис. 1. В качестве воздействия выбран СКИ в форме трапеции со следующими параметрами: амплитуда ЭДС 1 В, длительность плоской вершины 100 пс, а фронта и спада – по 50 пс.

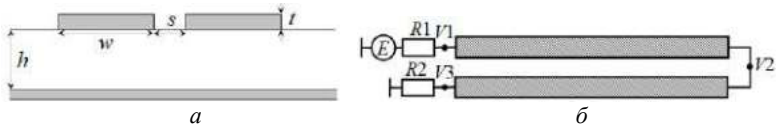


Рис. 1. Поперечное сечение меандровой МПЛ (а) и ее схема соединений (б)

В результате оптимизации параметров поперечного сечения меандровой МПЛ с учетом технологических возможностей изготовителей ПП найдены два набора оптимальных параметров. Первый набор: $w = 2000$ мкм, $s = 38$ мкм, $t = 420$ мкм, $h = 1600$ мкм, $\epsilon_r = 35$, $l = 60$ мм. Второй набор: $w = 345$ мкм, $s = 38$ мкм, $t = 360$ мкм, $h = 500$ мкм, $\epsilon_r = 100$, $l = 60$ мм.

Вычислены матрицы погонных коэффициентов электростатической (С) и электромагнитной (L) индукций исследуемой линии с первым и вторым набором параметров соответственно:

$$C = \begin{bmatrix} 1004,71 & -492,828 \\ -492,828 & 1004,71 \end{bmatrix}, \text{ пФ/м}, \quad L = \begin{bmatrix} 262,352 & 221,093 \\ 221,093 & 262,352 \end{bmatrix}, \text{ нГн/м}.$$

$$C = \begin{bmatrix} 1890,41 & -924,107 \\ -924,107 & 1890,41 \end{bmatrix}, \text{ пФ/м}, \quad L = \begin{bmatrix} 314,625 & 264,885 \\ 264,885 & 314,625 \end{bmatrix}, \text{ нГн/м}.$$

Используя С и L, вычислены погонные задержки четной и нечетной мод по выражению из [2]. Для первого набора параметров $\tau_e = 15,731$ нс, $\tau_o = 7,86$ нс, а для второго $\tau_e = 23,66$ нс, $\tau_o = 11,83$ нс. При этом условие (1) выполняется как при первом, так и при втором наборах параметров. На рис. 2 представлены формы сигнала на выходе витка меандровой МПЛ с первым и вторым наборами параметров.

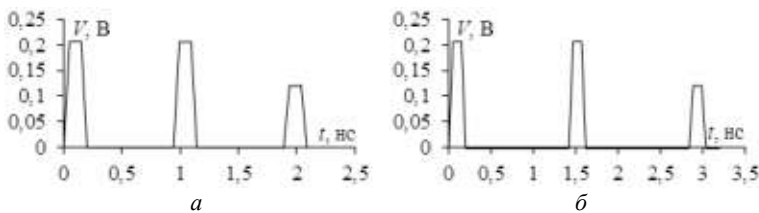


Рис. 2. Формы сигнала на выходе витка МПЛ с первым (а) и вторым (б) наборами параметров

Из рис. 2 видно, что амплитуда перекрестной наводки и нечетной моды в конце линии с первым и вторым наборами параметров равна 0,207 В, а амплитуда четной моды – 0,122 В. Это связано с тем, что при выполнении условия (1) на импульс четной моды накладывается отраженный импульс нечетной моды отрицательной полярности.

Таким образом, выполнен обзор технологических возможностей производителей ПП. С учетом технологических возможностей производителей ПП получены два набора параметров поперечного сечения меандровой МПЛ. Ослабление СКИ в линии как с первым, так и со вторым наборами параметров составило 2,4 раза (относительно $E/2$).

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации МД-2652.2019.9.

ЛИТЕРАТУРА

1. Носов А.В. Совершенствование защиты радиоэлектронной аппаратуры от сверхкоротких импульсов за счет меандровых линий задержки: дис. ... канд. техн. наук: 05.12.04. – Томск, 2018. – 185 с.
2. Малютин Н.Д. Многосвязные полосковые структуры и устройства на их основе. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1990. – 164 с.
3. АО «ЦКБ РМ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ckbrm.ru/index.php?page=37> (дата обращения: 18.02.2020).
4. ООО «КЕРАМИКА» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ckbrm.ru/index.php?page=37> (дата обращения: 18.02.2020).