













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 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

при воздействии на проводник обратного тока уменьшается на 1,5 раза. При воздействии ЭСР на ЛМAMс увеличение l приводит к уменьшению максимальной амплитуды как в начале, так и в конце линии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-37-51017.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гизатуллин З.М. Электромагнитная совместимость электронно-вычислительных средств при воздействии электростатического разряда // Проблемы в энергетике. – 2009. – № 1-2. – С. 104–112.

2. Агафонов А.М. Электромагнитная совместимость систем интеллектуального управления в условиях воздействия электростатических разрядов / А.А. Воршевский, П.А. Воршевский, Е.С. Гришаков и др. // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – № 1(43). – С. 192–196.

3. Ungru T. New Integrated Crystal Oscillator Design With Improved Robustness Against ESD Disturbances in Operation / T. Ungru, W. Wilkening, R. Negr // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2017. – Vol. 60. – P. 322–327.

4. ГОСТ Р 51317.4.2–2010 (МЭК 61000-4-2:2008). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний, 2010. – 26 с.

УДК 621.3

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА ЯЧЕЕК ДИСКРЕТИЗАЦИИ МОДЕЛИ МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛНОВОЛНОВОГО АНАЛИЗА

С.Х. Карри, магистрант; Р.С. Суровцев, доцент, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, salim96@list.ru

Представлена оценка влияния параметров сетки дискретизации модели на результаты полноволнового моделирования прохождения сверхкороткого импульса по меандровой линии. Результаты оценки показали, что амплитуда импульса перекрестной наводки и четной моды зависит от параметров сетки дискретизации, что необходимо учитывать при моделировании меандровой линии.

Ключевые слова: меандровая линия, сверхкороткий импульс, полноволновое моделирование.

Во многих сферах жизни человека применяется радиоэлектронная аппаратура (РЭА), из-за её развития в направлении миниатюризации становится всё труднее обеспечить достаточную защищенность РЭА от электромагнитных воздействий, в частности, сверхкоротких импульсов (СКИ) [1]. Такие СКИ из-за малой длительности и высокой амплитуды способны выводить из строя элементы устройств РЭА,

минуя средства защиты. В настоящее время представлено множество исследований различных устройств на основе полосковых линий для защиты от СКИ и фильтрации сигналов в частотной области [2, 3], среди которых примечателен простой подход к защите устройства от СКИ, основанный на разложении СКИ на последовательность импульсов меньшей амплитуды в меандровой линии задержки [4]. Применимость такого подхода подтверждается рядом теоретических и экспериментальных исследований [5]. При проектировании устройства защиты с использованием меандровых линий задержки широко используется имитационное моделирование, при этом полноволновой анализ позволяет получить результаты, наиболее приближенные к реальности. Одним из важных этапов моделирования после построения трехмерной модели линии является разделение её объема на элементарные ячейки при помощи сетки дискретизации. От выбора параметров сетки напрямую зависят точность результатов моделирования и вычислительные затраты. Кроме того, точность результатов тем выше, чем выше степень дискретизации модели вблизи неоднородностей (например, на стыке проводника и подложки). Поэтому целесообразно выполнить анализ влияния параметров сетки на точность результатов моделирования.

Цель данной работы – выполнить анализ влияния количества ячеек сетки дискретизации на результаты полноволнового анализа меандровой линии методом конечных разностей во временной области. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: построить трехмерную модель меандровой линии; выполнить полноволновой анализ прохождения СКИ по витку меандровой линии при различном количестве ячеек сетки; выполнить сопоставление и анализ результатов.

Схема соединений и поперечное сечение линии, выбранной для моделирования (связанная микрополосковая линия), аналогична линии в [4, 5]. Значения сопротивлений на концах линии приняты равными 50 Ом. В качестве воздействующего сигнала принят оцифрованный с экрана комбинированного осциллографа С9-11 импульс, снятый с выхода его генератора [4].

Моделирование выполнено при следующем количестве ячеек: между проводниками (далее GAP) 1, 2, 3, 6; вдоль ширины каждого проводника (далее WIDTH) 4, 6, 10, 20; между проводниками и опорным слоем (далее SUB) 10, 20, 40, 80; вдоль длины линии (далее LONG) 100, 200, 400, 800. В качестве примера на рис. 2 представлен результат моделирования при наибольшем количестве ячеек сетки дискретизации. Выполнена оценка влияния количества ячеек на изме-

нение амплитуды первого, второго и третьего импульсов разложения. Значения амплитуд импульсов (V_1 , V_2 , V_3) и их изменения относительно предыдущего значения (ΔV_1 , ΔV_2 , ΔV_3) при различном количестве ячеек сетки сведены в таблицу. Из неё можно увидеть, что при увеличении любого из вышеуказанных параметров сетки дискретизации амплитуда первого импульса уменьшается, а второго и третьего импульсов – преимущественно увеличивается.

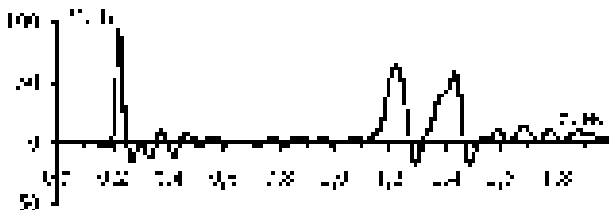


Рис. 1. Форма сигнала в конце линии при наибольшем количестве ячеек сетки дискретизации

Значения амплитуд импульсов разложения

Изменяемый параметр		V_1 , мВ	ΔV_1	V_2 , мВ	ΔV_2	V_3 , мВ	ΔV_3
GAP	1	92,55	–	62,7	–	54,22	–
	2	88,57	4,30	62,92	–0,36	54,53	–0,58
	3	87,97	0,68	62,77	0,24	56,17	–2,99
	6	87,73	0,27	62,84	–0,11	57,05	–1,58
WIDTH	4	93,38	–	63,15	–	57,17	–
	6	90,26	3,34	63,09	0,09	58,00	–1,45
	10	87,87	2,64	62,93	0,25	59,17	–2,02
	20	86,37	1,70	62,37	0,90	60,17	–1,69
SUB	10	92,82	–	59,27	–	54,30	–
	20	95,53	–2,93	59,67	–0,67	56,36	–3,80
	40	93,32	2,32	60,56	–1,50	57,06	–1,23
	80	87,79	5,93	62,79	–3,68	57,06	–0,01
LONG	100	97,60	–	60,03	–	50,96	–
	200	94,54	3,13	60,37	–0,57	56,08	–10,06
	400	93,32	1,29	60,57	–0,34	57,06	–1,73
	800	92,77	0,60	60,70	–0,22	57,04	0,03

Анализ результатов моделирования показал следующее. На амплитуду первого импульса наибольшее влияние оказывает изменение параметра WIDTH: его увеличение в 5 раз приводит к уменьшению амплитуды первого импульса на 7 мВ, или 7,5% от начальной амплитуды. При увеличении параметра SUB амплитуда первого импульса

изменяется неоднозначно: сначала возрастает, затем уменьшается. При этом амплитуда второго импульса, значение которой наиболее зависимо от SUB, уменьшается на 3,52 мВ, или 5,94%. Амплитуда третьего импульса уменьшается при изменении любого из параметров, но наиболее значительное уменьшение наблюдается при изменении параметра LONG. Увеличение данного параметра в 8 раз приводит к уменьшению амплитуды третьего импульса на 6,1 мВ, или 11,95%. Также необходимо отметить, что изменение параметров сетки дискретизации приводит к незначительному изменению задержек импульсов.

Таким образом, в работе представлены результаты анализа влияния количества ячеек дискретизации модели меандровой линии на результаты полноволнового анализа. Из результатов анализа видно, что при построении сетки дискретизации для достижения сходимости амплитуд импульсов достаточно использовать 3 ячейки между проводниками, 10 ячеек вдоль ширины каждого проводника, 40 ячеек между проводниками и опорным слоем и 400 ячеек вдоль длины линии.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Защита объектов топливно-энергетического комплекса от угроз электромагнитного воздействия / О. Петкау, А. Тарабцев, А. Дерябин, С. Ларионов, В. Чванов // Безопасность объектов топливно-энергетического комплекса. – 2014. – Т. 2, № 6. – С. 74–76.
2. Weber T. Linear and Nonlinear Filters Suppressing UWB Pulses / T. Weber, R. Krzikalla, J. ter Haseborg // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility 2004. – Vol. 46, № 3. – P. 423–430.
3. Qiang Cui. Investigation of waffle structure SCR for electrostatic discharge (ESD) protection / Qiang Cui, S. Dong, Y. Han // IEEE International Conference on Electron Devices and Solid State Circuit (EDSSC). – 2012. – P. 1–4.
4. Surovtsev R.S. Possibility of Protection Against UWB Pulses Based on a Turn of a Meander Microstrip Line / R.S. Surovtsev, A.V. Nosov, A.M. Zabolotsky // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2017. – Vol. 58, № 6. – P. 1864–1871
5. Surovtsev R.S. Influence of losses on ultrashort pulse decomposition in a turn of meander microstrip line / R.S. Surovtsev, A.V. Nosov, T.T. Gazizov // 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. – June 30 – July 4, 2016. – P. 151–154.