



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](mailto:onir@main.tusur.ru)  
Телефон/Факс: (3822) 900-100 Сайт: <http://tusur.ru/>

Информационный центр абитуриента: [magistrant.tusur.ru](http://magistrant.tusur.ru)

## НАУЧНАЯ СЕССИЯ TUSUR-2019



**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
22–24 мая 2019 г. (в четырех частях)**

**Часть 2**

**г. Томск**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)»

# **НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР–2019**

**Материалы**  
**Международной научно-технической конференции**  
**студентов, аспирантов и молодых ученых**  
**«Научная сессия ТУСУР–2019»**

**22–24 мая 2019 г., г. Томск**

**В 4 частях**

Часть 2

В-Спектр  
2019

**УДК 621.37/.39+681.518 (063)**

**ББК 32.84я431+32.988я431**

**Н 34**

**Н 34 Научная сессия ТУСУР–2019:** материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 22–24 мая 2019 г.: в 4 частях. – Томск: В-Спектр, 2019. – Ч. 2. – 376 с.

ISBN 978-5-91191-413-4

ISBN 978-5-91191-414-1 (Ч. 1)

ISBN 978-5-91191-415-8 (Ч. 2)

ISBN 978-5-91191-416-5 (Ч. 3)

ISBN 978-5-91191-417-2 (Ч. 4)

Материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых посвящены 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 978-5-91191-413-4**

**ISBN 978-5-91191-415-8 (Ч. 2)**

**Международная  
научно-техническая конференция  
студентов, аспирантов и молодых ученых  
«Научная сессия ТУСУР–2019»,  
22–24 мая 2019 г.**

**ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ**

- Шелупанов А.А. – председатель Программного комитета, ректор ТУСУРа, директор Института системной интеграции и безопасности, председатель правления Томского профессорского собрания, д.т.н., проф.;
- Рулевский В.М. – заместитель председателя Программного комитета, проректор по научной работе и инновациям ТУСУРа, к.т.н.;
- Абдрахманова М.В., директор библиотеки ТУСУРа;
- Афонасова М.А., зав. каф. менеджмента ТУСУРа, д.э.н., проф.;
- Бабур-Карателли Г.П., к.т.н., PhD (TU Delft), научный сотрудник каф. TOP ТУСУРа;
- Беляев Б.А., зав. лаб. электродинамики и СВЧ-электроники Ин-та физики СО РАН, д.т.н., г. Красноярск;
- Васильковская Н.Б., доцент каф. экономики ТУСУРа, к.э.н.;
- Голиков А.М., доцент каф. РТС ТУСУРа, к.т.н.;
- Грик Н.А., зав. каф. ИСР ТУСУРа, д.и.н., проф.;
- Давыдова Е.М., декан ФБ, доцент каф. КИБЭВС ТУСУРа, к.т.н.;
- Демидов А.Я., проф. каф. TOP ТУСУРа, к.ф.-м.н., доцент;
- Дмитриев В.М., проф. каф. КСУП ТУСУРа, д.т.н.;
- Дробот П.Н., доцент каф. УИ ТУСУРа, к.ф.-м.н.;
- Еханин С.Г., проф. каф. КУДР ТУСУРа, д.ф.-м.н., доцент;
- Заболоцкий А.М., проф. каф. ТУ ТУСУРа, д.т.н.;
- Зариковская Н.В., доцент каф. ЭМИС ТУСУРа, к.ф.-м.н.;
- Исакова А.И., доцент каф. АСУ ТУСУРа, к.т.н.;
- Карателли Д., PhD (Sapienza University of Rome), технический директор компании «The Antenna Company Nederland B.V.»;
- Карташев А.Г., проф. каф. РЭТЭМ ТУСУРа, д.б.н.;
- Катаев М.Ю., проф. каф. АСУ ТУСУРа, д.т.н.;
- Коцубинский В.П., зам. зав. каф. КСУП, доцент каф. КСУП ТУСУРа, к.т.н.;
- Красинский С.Л., декан ЮФ ТУСУРа, к.и.н.;
- Лошилов А.Г., зав. каф. КУДР, начальник СКБ «Смена» ТУСУРа, к.т.н.;
- Лукин В.П., зав. лаб. когерентной и адаптивной оптики ИОА СО РАН, Почетный член Американского оптического общества, д.ф.-м.н., профессор, г. Томск;
- Малюк А.А., проф. каф. «Кибербезопасность» НИЯУ МИФИ, к.т.н., г. Москва;
- Малютин Н.Д., гл.н.с. НИИ систем электрической связи, проф. каф. КУДР ТУСУРа, д.т.н.;

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ С МОДАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

*А.В. Медведев, А.О. Губин, магистранты каф. ТУ*  
*Научный руководитель А.М. Заболоцкий, проф., д.т.н.*  
*г. Томск, ТУСУР, medart20@rambler.ru*

Исследована меандровая линия на печатной плате с модальным резервированием. Показано, что применение меандровый линии для участка с модальным резервированием уменьшает габариты печатной платы. Амплитуда импульсной помехи подверглась ослаблению на 5,26 дБ при разности задержек мод 0,8 нс.

**Ключевые слова:** модальное резервирование, меандровая линия, печатная плата.

Повышение срока активного существования космических аппаратов требует решения проблемы повышения надежности и обеспечения электромагнитной совместимости бортовой радиоэлектронной аппаратуры. Одним из способов повышения надежности является резервирование, позволяющее использовать бездействующую часть электронного оборудования в случае неисправности в функционирующей части. Наличие избыточности позволяет искать пути её рационального использования.

Модальное резервирование – способ резервирования электрических соединений, отличающийся учётом электромагнитных связей между резервируемым и резервным проводниками резервируемой и резервной цепей. Результатом является уменьшение восприимчивости резервируемой цепи к внешним кондуктивным эмиссиям и уменьшение уровня кондуктивных эмиссий от резервируемой цепи [1]. Важным параметром при реализации способа является разность задержек мод, которая зависит от длины участка с модальным резервированием. Однако место на печатной плате (ПП) ограничено, поэтому при создании ПП необходимо искать пути компактной трассировки межсоединений с модальным резервированием. Одним из способов является применение меандровый линии.

Цель работы – исследовать возможность применения меандровый линии с модальным резервированием для уменьшения габаритов ПП.

Практическая реализация указанного требует тщательных теоретических исследований с применением компьютерного моделирования. Применяется квазистатическое моделирование в системе TALGAT [2], основанное на телеграфных уравнениях, с учетом допущения, что в межсоединениях может распространяться только основная, поперечная волна.

В качестве исследуемой структуры выбрана ПП источника питания (ИП) для системы автономной навигации (САН) космического аппарата (КА) с реализацией модального резервирования, стек ПП представлен в табл. 1. В качестве исследуемой меандровой линии (рис. 1) выбран участок цепи «-27V», которая исследовалась в работе [3]. Исследуемая линия общей длиной 26,5 см проходит по слоям «signal 1» и «signal 2».

Таблица 1

Стек ПП ИП для САН КА

Имя слоя	Материал	Толщина, мм	Относительная диэлектрическая проницаемость
Top Solder	SurfaceMaterial	0,01016 ( $h1$ )	3,5 ( $\epsilon r1$ )
Top Layer	Copper	0,036 ( $t$ )	
Dielectric 1	Core	0,254 ( $h2$ )	4,2 ( $\epsilon r2$ )
Signal 1	Copper	0,036 ( $t$ )	
Dielectric 2	Prepreg	0,127 ( $h$ )	10 ( $\epsilon r$ )
Signal 2	Copper	0,036 ( $t$ )	
Dielectric 3	Core	0,254 ( $h2$ )	4,2 ( $\epsilon r2$ )
Bottom Layer	Copper	0,036 ( $t$ )	
Bottom Solder	SurfaceMaterial	0.01016 ( $h1$ )	3,5 ( $\epsilon r1$ )

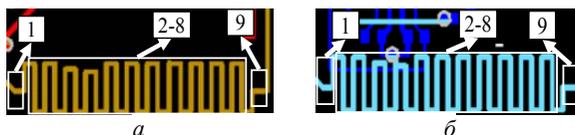


Рис. 1. Исследуемая меандровая линия на ПП с модальным резервированием: *а* – резервируемая цепь на слое «signal 1»; *б* – резервная цепь на слое «signal 2»

В системе TALGAT построена принципиальная схема исследуемого участка ПП (см. рис. 1). Для этого участок ПП был разбит на фрагменты, геометрические параметры и поперечные сечения которых сведены в табл. 2. Для каждого фрагмента рассчитаны матрицы погонных коэффициентов электромагнитной и электростатической индукции, которые записаны в соответствующий блок принципиальной схемы. Нагрузки на концах меандровой линии задавались из условия

$$R = (Z_o Z_e)^{0,5}, \quad (1)$$

где  $Z_o$  – волновое сопротивление нечетной, а  $Z_e$  – четной моды.

Импульс помехи с ЭДС 5 В и длительностями фронтов и плоской вершины по 100 пс подавался между резервируемой трассой и опорным проводником. Результаты моделирования представлены на

рис. 3. Амплитуда импульсной помехи подверглась ослаблению на 5,26 дБ при разности погонных задержек 0,8 нс.

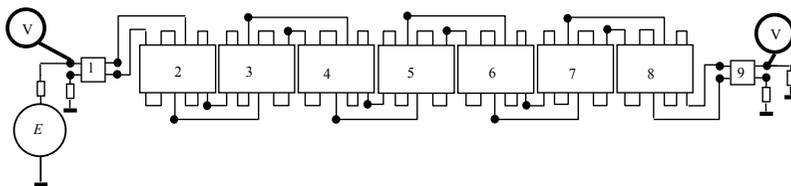


Рис. 2. Принципиальная схема исследуемого участка ПП

Таблица 2

**Поперечные сечения и геометрические параметры фрагментов ПП с модальным резервированием**

№	Геометрические параметры, мм			Поперечные сечения
	$l$	$w$	$s$	
1, 9	1,25	1,25	—	
2–8	12,5	1,25	1,25	

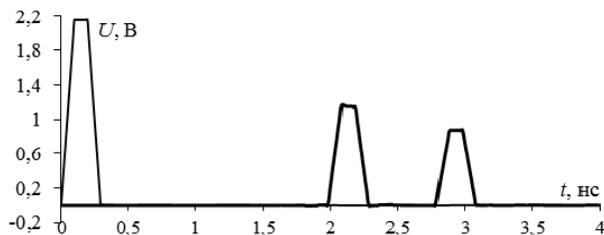


Рис. 3. Формы сигналов на ближнем (–) и дальнем (+) концах резервируемой цепи

Приведенные результаты показывают, что в данной меандровой линии на ПП с модальным резервированием возможно добиться ослабления импульсной помехи длительностью до 0,8 нс на 5,26 дБ. Применение меандровой линии для участков с модальным резервированием позволяет уменьшать габариты ПП, так как линия общей длиной 26,5 см занимает место по длине меандровой линии 5,62 см.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации № МД-365.2018.8.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Gazizov T.R., Orlov P.E., Zabolotsky A.M., Kuksenko S.P. New concept of critical infrastructure strengthening // Proc. of the 13th Int. Conf. of Numerical Analysis and Applied Mathematics. – 2015. – P. 1–3.
2. Kuksenko S.P., Gazizov T.R., Zabolotsky A.M. et al. New developments for improved simulation of interconnects based on method of moments // Advances in Intelligent Systems Research (ISSN 1951-6851), proc. of the 2015 Int. Conf. on Modelling, Simulation and Applied Mathematics (MSAM–2015). – 2015. – P. 293–301.
3. Orlov P.E., Medvedev A.V., Sharafutdinov V.R. Quasistatic Simulation of Ultrashort Pulse Propagation in the Spacecraft Autonomous Navigation System Power Circuit with Modal Reservation // 19th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. – 2018. – P. 244–249.

УДК 51-47

### **ВЫЯВЛЕНИЕ МАКСИМУМОВ $N$ -НОРМ ВДОЛЬ АКТИВНОГО ПРОВОДНИКА ШИНЫ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ**

***Б.С. Мухамбетжанова, магистрант***

*Научный руководитель Р.Р. Газизов, м.н.с. НИЛ «БЭМС РЭС»,  
ассистент каф. ТУ*

*г. Томск, TVCYP, mukhambetzhanova.95@gmail.com*

С помощью  $N$ -норм исследуется шина печатной платы. Показано изменение значений норм вдоль активного проводника. 195, 162, 171, 181-й сегменты выявлены максимальными значениями узлов в  $N$ -нормах. Определены возможные сбои.

**Ключевые слова:**  $N$ -нормы, моделирование, электромагнитная совместимость, печатная плата.

С развитием радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) повышается плотность монтажа ее внутренних конструкций, а также наблюдается рост частот полезных и помеховых сигналов [1]. В этой связи важна диагностика возможных сбоев или отказов разрабатываемой РЭА с помощью имитационного моделирования еще на стадии проектирования [2]. Это особенно актуально для печатных плат (ПП), поскольку их проводники в общем случае расположены произвольно [3]. Важны выявление и локализация экстремумов сигналов, так как их результаты могут быть полезны для определения мест возможных паразитных взаимовлияний и излучений, чтобы принять необходимые меры по их

# СОДЕРЖАНИЕ

## СЕКЦИЯ 2

### ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

#### 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.*

*М.А. Ембергенов, Л.Т. Таалайбек*

ИССЛЕДОВАНИЕ СХОДИМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ  
ОПТИМИЗАЦИИ ПОСРЕДСТВОМ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА  
ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ ЭКСТРЕМУМОВ НАПРЯЖЕНИЯ  
В ОДИНОЧНОМ ОТРЕЗКЕ МНОГОПРОВОДНОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ.... 11

*К.С. Ерёмкина, Т.Ю. Загурская*

ВЛИЯНИЕ ГЕОМАГНИТНЫХ ШТОРМОВ  
НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ..... 15

*З.М. Кенжегулова, М.В. Рыжова*

АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТРАЖЕНИЯ МОД  
ПРИ СОГЛАСОВАНИИ ПО ВЫХОДУ СВЯЗАННОЙ ЛИНИИ  
С ПОМОЩЬЮ П- И Т-ОБРАЗНЫХ СХЕМ..... 17

*А.В. Медведев, А.О. Губин*

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ  
С МОДАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ..... 21

*Б.С. Мухамбетжанова*

ВЫЯВЛЕНИЕ МАКСИМУМОВ  $N$ -НОРМ ВДОЛЬ АКТИВНОГО  
ПРОВОДНИКА ШИНЫ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ..... 24

*А.В. Жечева*

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ УЗЛА УПРАВЛЕНИЯ  
И ВЫЧИСЛЕНИЯ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ..... 28

#### ПОДСЕКЦИЯ 2.7

##### СВЕТОДИОДЫ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

*Председатель – Туев В.И., зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.;*  
*зам. председателя – Вилисов А.А., проф. каф. РЭТЭМ, д.т.н.*

*И.В. Попов, В.В. Долгова, К.А. Герасимов*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО  
НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ..... 31