



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

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 (ϵr)
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 ($\epsilon r1$)

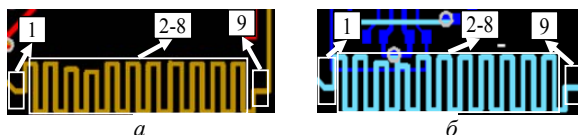


Рис. 1. Исследуемая меандровая линия на ПП с модальным резервированием: *а* – резервируемая цепь на слое «signal 1»; *б* – резервная цепь на слое «signal 2»

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.

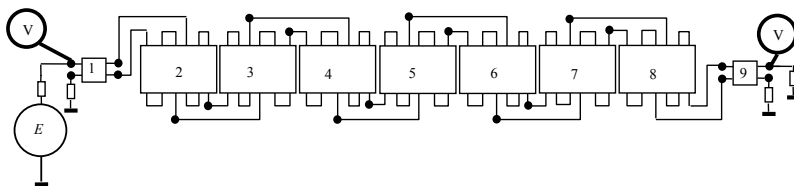


Рис. 2. Принципиальная схема исследуемого участка ПП

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	

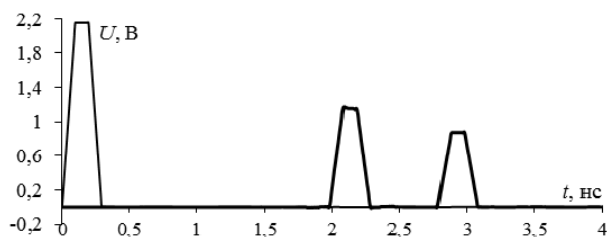


Рис. 3. Формы сигналов на ближнем (---) и дальнем (—) концах резервируемой цепи

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