

Международная академия наук высшей школы  
Академия наук высшей школы Российской Федерации  
Сибирская академия наук высшей школы  
Бурятский, Красноярский, Кузбасский, Новосибирский,  
Омский, Томский научные центры САН ВШ  
Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники

# **Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-26-2020)**

26-я международная  
научно-практическая конференция

24 ноября 2020 г.  
г. Томск, Россия

**ДОКЛАДЫ**  
(Материалы конференции)

Томск  
Издательство ТУСУРа  
2020

УДК 553.3/.9+316.344.3[(571.1/.5)(063)

ББК 20.1+65.04+72(253)

П77

**Организационный комитет:**

А.А. Шелупанов – президент ТУСУРа (председатель),

Т.Р. Газизов – профессор ТУСУРа (зам. председателя),

Ю.А. Шурыгин, А.М. Кориков, Г.П. Литвинцева,

М.Ю. Катаев, Ю.С. Саркисов

Отв. редактор – Е.В. Прокопчук

**Природные** и интеллектуальные ресурсы Сибири  
П77 (СИБРЕСУРС-26-2020) : доклады (материалы конференции)  
26-й международной научно-практической конференции,  
Томск, 24 ноября 2020 г. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та  
систем упр. и радиоэлектроники, 2020. – 144 с.

ISBN 978-5-86889-

Представлены материалы, отражающие результаты научной деятельности вузов Сибирского региона по эффективному использованию и развитию территориальных ресурсов в интересах экономики России.

Для ученых, специалистов, преподавателей, инженеров, аспирантов и студентов вузов и научных учреждений как в России, так и за рубежом.

УДК 553.3/.9+316.344.3[(571.1/.5)(063)

ББК 20.1+65.04+72(253)

ISBN 978-5-86889-

© Сибирская академия наук  
высшей школы, 2020

**ПЛЕНАРНЫЕ  
ДОКЛАДЫ**

И. П. РОМАШОВ, магистрант каф. ТУ, ТУСУР, Томск  
А. В. МЕДВЕДЕВ, аспирант каф. ТУ, ТУСУР, Томск

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРЯДКА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ЦЕПЕЙ ПОСЛЕ ОТКАЗОВ ТИПОВОЙ СТРУКТУРЫ С ТРЕХКРАТНЫМ МОДАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ**

Рассматривается квазистатическое моделирование пространства сверхкоротких импульсов в структуре с трехкратным модальным резервированием. Исследованы отказы двух типов: короткое замыкание и обрыв / холостой ход. Для трех наборов параметров структуры сравнивались предпочтительные варианты переключения, при котором амплитуда напряжения наименьшая.

Резервирование – один из методов повышения надёжности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) критичных систем [1]. Однако резервирование не защищает РЭА от систематических отказов по общей причине, например из-за кондуктивных и излучаемых эмиссий. При этом обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) необходимо на ранних этапах проектирования РЭА. Особенно опасно воздействие мощных сверхкоротких импульсов (СКИ), а растущая роль электроники делает защиту от СКИ всё более актуальной. Показано, что от расположения резервируемых проводников относительно друг друга зависит как надёжность РЭА, так и ЭМС. Модальное резервирование (МР) используется для обеспечения ЭМС. Это достигается за счет того, что резервируемая и резервные цепи образуют модальный фильтр (МФ) – устройство, использующее для ослабления вредных сигналов модальные искажения из-за разности задержек мод многопроводной линии передачи. МР также уменьшает габариты резервируемых и резервных систем.

Ранее описана реализация МР в многослойных печатных платах (ПП) [2]. Рассмотрено ослабление сверхкороткого импульса до и после отказов электронных компонентов, моделируемых либо коротким замыканием (КЗ) либо обрывом/холостым ходом (ХХ) на одном из концов для структуры с трех-

кратным МР [3]. Между тем не сравнивались наиболее предпочтительные порядки переключения цепей при трехкратном МР после отказов.

Цель работы – сравнить предпочтительные порядки переключения структур с трехкратным МР при отказе электронных компонентов.

Поперечное сечение для моделирования структур с трехкратным МР представлено на рисунке 1,а. Для моделирования использовалась система TALGAT [4].

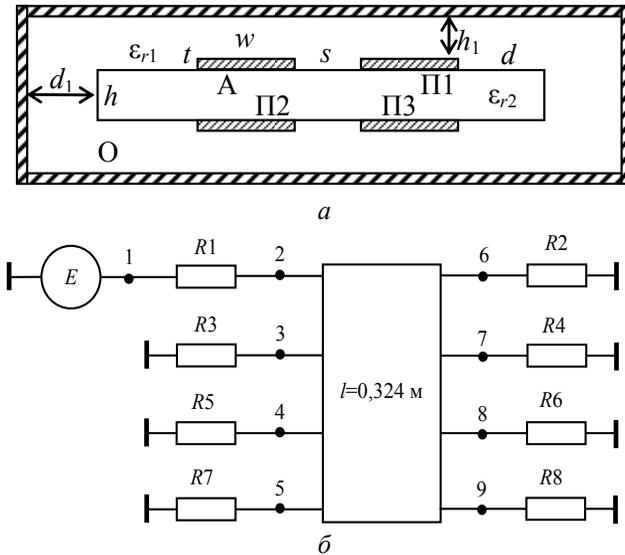


Рисунок 1 – Поперечное сечение (а) и принципиальная схема (б) структуры с трехкратным МР в системе TALGAT

Значения параметров поперечного сечения (для реальных печатных плат) приведены в таблице 1, где  $h$  – толщина подложки;  $\epsilon_{r1}$  – диэлектрическая проницаемость подложки;  $h_1$  – расстояние от проводников до плоскости земли;  $\epsilon_{r2}$  – диэлектрическая проницаемость заполнения между проводниками;  $w$  – ширина проводника. На рисунке 1,а  $d$  – расстояние от торца проводника до торца диэлектрика;  $d_1$  – расстояние от торца проводника до боковой стенки;  $s$  – расстояние между проводниками. Принципиальная схема для моделирования структур с трех-

кратным МР приведена на рисунке 1,б. При последовательных отказах каждой резервируемой цепи (КЗ или ХХ) полагается, что устройство переключения (УП) передает функции резервируемой цепи на резервную цепь. При моделировании номиналы резисторов для активного проводника выбраны равными 40 Ом и 50 Ом, а для пассивного – 40 Ом и 50 Ом, 1 МОм (ХХ), 1 мкОм (КЗ) для различных вариантов отказа [5].

Таблица 1 – Значения параметров поперечного сечения структур с трехкратным МР

Набор	$w$ , мкм	$t$ , мкм	$h$ , мкм	$h_1$ , мкм	$\epsilon_{r1}$	$\epsilon_{r2}$	$l$ , м
1	200	35	137	68,5	10,2	4,3	0,5
2	200	35	206	153	10,2	4,3	0,5
3	200	35	360	180	10,2	4,3	0,5

На рисунке показана упрощенная схема вариантов выбора активного проводника после отказов.

На вход исследуемой структуры подавался импульс ЭДС амплитудой 2 В общей длительностью 150 пс. Без отказов при резисторах на концах пассивных проводников 40 Ом для набора 1 и 50 Ом для наборов 2 и 3 амплитуды напряжения на дальних концах резервируемых проводников составляли 0,249; 0,252 и 0,25 В соответственно. При отказе компонента (КЗ или ХХ) на одном из концов резервируемого проводника происходит переключение по вариантам 1, 2 или 3 на один из резервных проводников. Теперь он становится резервируемым, а на одном из концов отказавшего проводника изменяются граничные условия (например, с 50 Ом на КЗ или ХХ). Поэтому форма напряжения на дальнем конце резервируемого проводника изменяется, что выражается в изменении амплитуд импульсов.

После моделирования всех вариантов переключения и отказов амплитуды напряжения в конце резервируемого проводника сведены в таблицы, из которых выбраны наиболее предпочтительные порядки переключения (таблица 2). Отметим, что в таблицах рассматривались только те амплитуды, формы напряжения которых не идентичны при различных вариантах отказов. Так, например, формы напряжения при активном проводнике П1, П2, П3 или П4 идентичны. Также формы напряжения идентичны, если граничные условия на пассивных

проводниках при различных вариантах отказа симметричные. Так, форма напряжения варианта 50–50 на П2 и 50–К3 на П3 идентична 50–50 на П2 и К3–50 на П3 и т.д.

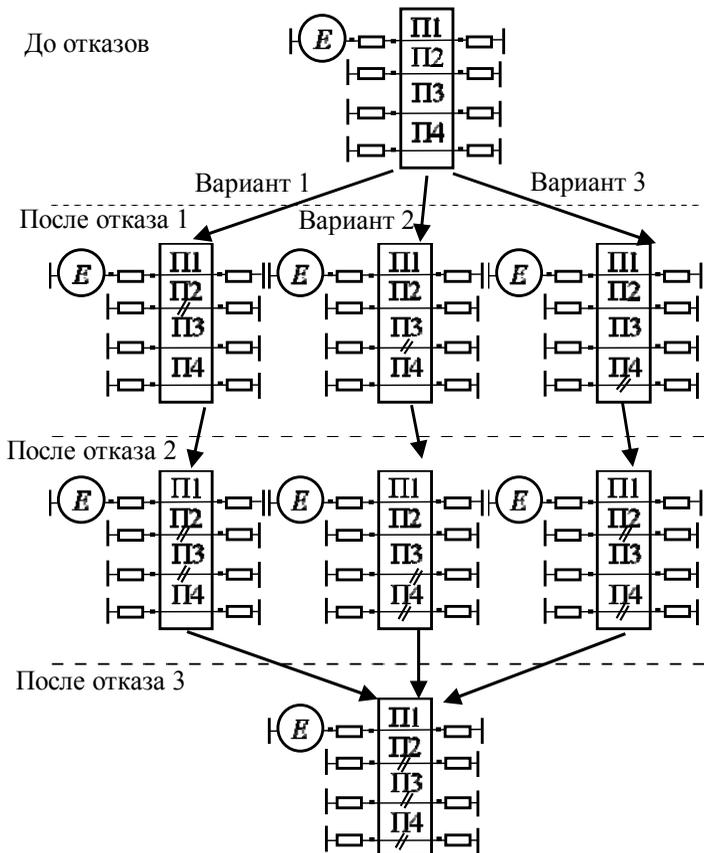


Рисунок 2 – Упрощенная схема вариантов выбора активного проводника при последовательных отказах

Для всех трех структур независимо от толщины подложки и расстояния от проводников до плоскости земли более предпочтительным вариантом переключения оказался вариант 3 (см. рисунок 2). Следует заметить, что с ростом данных параметров увеличивается отклонение амплитуд напряжения на концах линий от номинального, что видно из таблицы 2.

Таблица 2 – Предпочтительные порядки переключения структур с трехкратным резервированием и амплитуды их напряжения

Набор	До отказов	$U, В$	После отказа 1	$U, В$	После отказа 2	$U, В$
1	$R-R, R-R, R-R$	0,249	$R-R, R-R, R-XX$	0,25	$XX-R, R-R, R-XX$	0,244
2		0,252	$R-R, R-R, R-XX$	0,248	$XX-R, R-R, R-XX$	0,258
3		0,25	$R-R, R-R, R-XX$	0,26	$XX-R, R-R, R-XX$	0,267

В ходе сравнения порядков переключения для трех структур установлено:

- толщина подложки и расстояния от проводников до плоскости земли влияют на отклонение амплитуд напряжения предпочтительного варианта переключения от номинального;
- толщина подложки и расстояния от проводников до плоскости земли не влияют на выбор варианта переключения;
- для симметричных трехпроводных структур наиболее предпочтителен третий вариант переключения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке  
Российского научного фонда (проект № 20-19-00446)*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Patel, M. R. *Spacecraft Power Systems*. CRC Press, 2005. 691 p.
2. Orlov, P. E., Buichkin, E., Gazizov, T. R. Method of assembling multi-layer printed circuit boards for circuits with reservation // Proc. of the EDM 2016 Erlagol. 2016. P. 155–158.
3. Medvedev, A. V., Sharafutdinov, V. R. Using modal reservation for ultrashort pulse attenuation after failure // Proc. of IEEE 2019 International multi-conference on engineering, computer and information sciences (SIBIRCON). 2019. P. 1–4.
4. Kuksenko, S. P. Preliminary results of TUSUR University project for design of spacecraft power distribution network: EMC simulation // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. P. 1–7.
5. Orlov, P. E., Gazizov, T. R., Sharafutdinov, V. R. Optimization of stack parameters of a multi-layer printed circuit board for circuits

with redundancy by genetic algorithm // Proc. 2017 IEEE 2017 Int. multi-conf. on eng., comp. and inform. sciences. 2017. P. 495–500.

I. P. Romashov, A. V. Medvedev

**Study of switching order after failures of a typical structure with three-time modal reservation**

The article presents a quasi-static modeling of the propagation of SQI in a structure with a threefold MR. The failures of two types are considered: short circuit and open / idle one. For three sets of structure parameters, the preferred switching options were compared, at which the voltage amplitude was the smallest.

medart20@rambler.ru

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Бакайтис В. И.</i> ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ СИБИРИ .....	5
<i>Московченко А. Д.</i> АТОМНАЯ И ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ АВТОТРОФНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О МИРЕ .....	10
<i>Трубченинова И. А.</i> ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА КАЧЕСТВО ОБРАЗОВАНИЯ СТУДЕНТОВ ОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ .....	17

### СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

#### Секция 1. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

<i>Алланина Л. М.</i> АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РОССИЙСКОЙ СИСТЕМЫ ПРАВА .....	23
<i>Жабина Н. А., Михалеико Б. А., Чихирева В. В.</i> ОСОБЕННОСТИ МЕЖПОПУЛЯЦИОННЫХ РИЗОСФЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В СИСТЕМЕ «РАСТЕНИЯ – ДОЖДЕВЫЕ ЧЕРВИ – МИКРООРГАНИЗМЫ» .....	26
<i>Картопольцев В. М., Сипкин В. В., Картопольцев А. В.</i> СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ – ЗАЛОГ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ СВАРНЫХ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ .....	30
<i>Катаев М. Ю., Bulysheva L. A., ЛОСЕВА Н. В., LI DA XU</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ИСПОЛНЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ .....	35
<i>Катаев М. Ю., Bulyshev A. E.</i> ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ .....	44
<i>Колева Г. Ю.</i> ВЫЖИВАНИЕ КАК ПОИСК ТВОРЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ .....	52
<i>Марков Н. Г., Маслов К. А., Токарева О. С.</i> СЕМАНТИЧЕСКАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ КРОН ДЕРЕВЬЕВ ПИХТЫ НА СНИМКАХ С БПЛА .....	56

<i>Мицель А. А., Алимханова А. Н.</i> ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ .....	61
<i>Саркисов Ю. С., Горленко Н. П.</i> ХИМИЯ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ .....	65
<i>Селезнева Е. В., Геращенко А. А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В АГРАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ .....	69
<i>Солдаткин В. С., Михальченко Т. С., Шардина А. О., Юлдашова Л.Ш.</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ НА ОСНОВЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ ДИОДОВ .....	73
<i>Солдаткин В. С., Шнайдер Е. В., Стасенко Ю. И.</i> СВЕТОСИГНАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РЕЧНОГО И МОРСКОГО ФЛОТА РФ С ФУНКЦИЕЙ РЕТРАНСЛЯЦИИ СИГНАЛОВ ДЛЯ СЕТИ ИНТЕРНЕТ .....	77
<i>Орлова В. В., Лобода Ю. О., Кочетков О. В., Глухарева С. В., Ноздреватых Д. О., Рекундаль О. И., Пикалова Л. Р.</i> МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВУЗА С ПРЕДПРИЯТИЯМИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТИ .....	81
<b>Секция 2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ</b>	
<i>Иноземцев М. А.</i> ОБЗОР МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ АНТЕННЫХ УСТРОЙСТВ ГЕОРАДАРОВ .....	87
<i>Варзин Е. С., Суровцев Р. С., Носов А. В.</i> УМЕНЬШЕНИЕ ГАБАРИТОВ ЗАЩИТНОЙ МЕАНДРОВОЙ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ .....	91
<i>Власова Н. О., Белоусов А. О.</i> ПОЛНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ СВЕРХКОРОТКОГО ИМПУЛЬСА В ЧЕТЫРЕХПРОВОДНЫХ МОДАЛЬНЫХ ФИЛЬТРАХ С КРУГОВОЙ СИММЕТРИЕЙ .....	97
<i>Квасников А. А., Куксенко С. П.</i> ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ СЛАУ ПРИ АНАЛИЗЕ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ МЕТОДОМ МОМЕНТОВ .....	103
<i>Клюкин Д. В., Куксенко С. П.</i> ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОГОННЫХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОПРОВОДНЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ .....	107

<i>Максимов А. Е., Куксенко С. П.</i> АДАПТИВНЫЙ ИТЕРАЦИОННЫЙ ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ПРИ РЕШЕНИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ МЕТОДОМ МОМЕНТОВ .....	112
<i>Ромашов И. П., Медведев А. В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРЯДКА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ЦЕПЕЙ ПОСЛЕ ОТКАЗОВ ТИПОВОЙ СТРУКТУРЫ С ТРЕХКРАТНЫМ МОДАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ .....	117
<i>Сагиева И. Е.</i> МИКРОПОЛОСКОВАЯ ЛИНИЯ С ЗАЗЕМЛЕННЫМ ПРОВОДНИКОМ СВЕРХУ, ЗАЩИЩАЮЩАЯ ОТ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ .....	123
<i>Самойличенко М. А.</i> ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ АКТИВНОГО И ПАССИВНОГО ПРОВОДНИКОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИММЕТРИЧНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА С ПАССИВНЫМ ПРОВОДНИКОМ В ВЫРЕЗЕ ОПОРНОЙ ПЛОСКОСТИ ...	127
<i>Хасан А. Алхадж, Газизов Т. Р.</i> ВЛИЯНИЕ СЕГМЕНТАЦИИ И СОГЛАСОВАНИЯ НА ТОК В СВЯЗАННЫХ ПРОВОДАХ .....	134

Научное издание  
ПРИРОДНЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ СИБИРИ  
(СИБРЕСУРС-26-2020)

26-я международная научно-практическая конференция  
24 ноября 2020 г., г. Томск, Россия

ДОКЛАДЫ

Подписано в печать 00.12.2020. Формат 60x84/16.  
Усл. печ. л. 8,14. Тираж 80 экз. Заказ 000.

---

Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники.  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40.  
Тел. (3822) 533018.