



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-2020



МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
13–30 мая 2020 г. (в трех 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)»

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР–2020

Материалы
Международной научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2020»

13–30 мая 2020 г., г. Томск

В трех частях

Часть 1

В-Спектр
2020

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

Н 34

Н 34 Научная сессия ТУСУР–2020: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 13–30 мая 2020 г.: в 3 частях. – Томск: В-Спектр, 2020. – Ч. 1. – 274 с.

ISBN 978-5-91191-437-0

ISBN 978-5-91191-438-7 (Ч. 1)

ISBN 978-5-91191-439-4 (Ч. 2)

ISBN 978-5-91191-440-0 (Ч. 3)

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, нанопотоники, 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 978-5-91191-437-0

ISBN 978-5-91191-438-7 (Ч. 1)

© Том. гос. ун-т систем управления
и радиоэлектроники, 2020

И.О. Суховерков	
ИСКРОБЕЗОПАСНЫЕ ЦЕПИ КАК МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗРЫВОЗАЩИТЫ	210
И.О. Суховерков	
ПРИНЦИП РАБОТЫ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СХЕМЫ ОГРАНИЧИТЕЛЬНОГО ШУНТА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ПОВЫШЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ.....	213

ПОДСЕКЦИЯ 2.5

ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАНОФОТОНИКА И ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

*Председатель – Шарангович С.Н., проф., зав. каф. СВЧиКР, к.ф.-м.н.;
зам. председателя – Перин А.С., доцент каф. СВЧиКР, к.т.н.*

Д.К. Романенко, А.В. Сокольников, М.Н. Гаппарова	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА САМОФОКУСИРОВКИ ПРИ КОМПЕНСАЦИИ ДИФРАКЦИОННОЙ РАСХОДИМОСТИ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ	216
Е.В. Морозова	
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТА В ОДНОМЕРНЫХ И ДВУМЕРНЫХ ПУЧКАХ ЭЙРИ	219
С.Б. Зыль	
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ	222

ПОДСЕКЦИЯ 2.6

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

*Председатель – Заболоцкий А.М., проф. каф. ТУ, д.т.н., доцент;
зам. председателя – Куксенко С.П., доцент каф. ТУ, к.т.н.*

О.М. Кузнецова-Таджибаева	
МОДИФИКАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МОДАЛЬНОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ	225
А.В. Медведев	
АНАЛИЗ ВРЕМЕННОГО ОТКЛИКА ПЛОСКОГО КАБЕЛЯ С МОДАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ ПРИ РАЗЛИЧНОМ СОЕДИНЕНИИ ОПОРНЫХ ПРОВОДНИКОВ.....	228
Т.А. Шершинева, И.С. Марков, Е.С. Жечев	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ОТ СВЕРХКОРОТКОГО ИМПУЛЬСА.....	231

Научное издание

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР–2020

**Материалы
Международной научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2020»**

13–30 мая 2020 г., г. Томск

В трех частях

Часть 1

Корректор – **В.Г. Лихачева**
Верстка **В.М. Бочкаревой**

Издательство «В-Спектр».
Сдано на верстку 15.04.2020. Подписано к печати 20.05.2020.
Формат 60×84¹/₁₆. Печать трафаретная. Печ. л. 17,1
Тираж 100 экз. Заказ 8.

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. 49-09-91
E-mail: bvm@sibmail.com

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-19-00424) в ТУСУРе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарафутдинов В.Р. Анализ способов резервирования на основе модальной фильтрации / В.Р. Шарафутдинов, Т.Р. Газизов // Системы управления, связи и безопасности. – 2019. – С. 117–144.
2. Пат. 2 603 848 РФ, МПК H04B 15/00. Способ резервирования плоских кабелей / Т.Р. Газизов (РФ), П.Е. Орлов (РФ), В.Р. Шарафутдинов (РФ), О.М. Кузнецова-Таджибаева (РФ), А.М. Заболоцкий (РФ), С.П. Куксенко (РФ), Е.Н. Буичкин (РФ). – № 2 015 156 667/07; заявл. 28.12.15, опубл. 10.12.16. Бюл. № 34. – 3 с.
3. 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.

УДК 621.372.21

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ОТ СВЕРХКОРОТКОГО ИМПУЛЬСА

Т.А. Шершинева, И.С. Марков, студенты;

Е.С. Жечев, аспирант каф. ТУ, м.н.с. НИЛ «ФИЭМС»

*Научный руководитель А.М. Заболоцкий, проф. каф. ТУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, geopath@mail.ru*

Выполнен сравнительный анализ устройств защиты радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) от сверхкоротких импульсов (СКИ) на основе элементов с распределенными и сосредоточенными параметрами.

Ключевые слова: устройства защиты, микрополосковые фильтры, сверхкороткий импульс, электромагнитная совместимость.

В настоящее время пристальное внимание уделяется вопросам обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). В частности, при работе высоковольтного или высокочастотного передающего оборудования могут возникать сложные переходные процессы, способные генерировать широкополосные кондуктивные помехи. Наиболее опасным видом такого рода помех является сверхкороткий импульс (СКИ), так как он обладает большой амплитудой и широким спектром [1]. Существуют различные виды помехоподавляющих устройств, применяемых для защиты РЭА от помех. Используются фильтры на элементах с сосредоточен-

ными и распределенными параметрами (микрополосковые устройства), активные фильтры, TVS сборки и диодные системы защиты. Проведен ряд исследований частотных характеристик таких устройств. Однако сравнительный анализ устройств защиты РЭА от СКИ на основе элементов с распределенными и сосредоточенными параметрами ранее выполнен не был. Цель данной работы – выполнить такой анализ.

Фильтры на пассивных элементах с сосредоточенными параметрами обладают рядом преимуществ, главными из которых являются надежность и долговечность. Однако паразитные параметры компонентов фильтра и монтажа существенно ограничивают рабочий диапазон частот. На рис. 1, *а* изображен помехоподавляющий фильтр на основе *RLC*-компонентов из [2]. Из частотных характеристик данного устройства можно сделать вывод о том, что высокочастотные составляющие СКИ могут пройти через фильтр без искажений. Ослабнут лишь низкочастотные составляющие в полосе заграждения. Межвитковые емкости дросселей будут шунтировать СКИ со входа на выход. Конденсаторы оказываются малоэффективными из-за наличия паразитной индуктивности выводов и контактных площадок.

Для улучшения помехоподавления применяют TVS сборки (варисторы), изображенные на рис. 1, *б*, или защитные диоды [3]. Однако наличие полупроводников накладывает ограничение на область применения. Ухудшаются надежность и долговечность. Наличие паразитных параметров, таких как индуктивность выводов, емкость *p-n*-перехода, а также диффузионной емкости, ограничивает быстродействие [4].

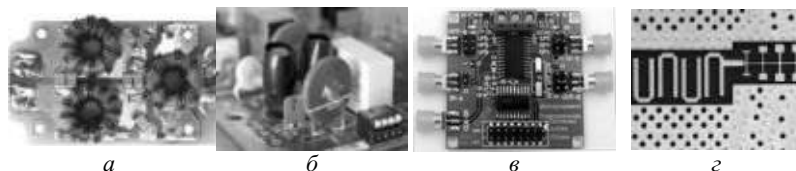


Рис. 2. Пассивный помехозащитный фильтр (*а*), варисторная защита (*б*), активный помехозащитный фильтр (*в*), микрополосковая ЛП с U-образными и штыревыми резонаторами (*г*)

Активные фильтры на основе операционных усилителей и транзисторов, изображенные на рис. 1, *в*, позволяют добиться максимально крутой амплитудно-частотной характеристики при малых габаритах [5]. Однако данный подход применим только к маломощным помехам, к которым СКИ не относится. Помимо этого, наличие *p-n*-переходов также снижает надежность, долговечность и быстродействие.

Перспективными устройствами защиты от СКИ являются фильтры на основе микрополосковых линий передач, изображенных на рис. 1, з. Главным преимуществом таких устройств являются простота реализации, надежность и безотказность [6, 7]. Однако из-за особенностей работы реализация низкочастотных фильтров крайне затруднительна. Низкочастотные составляющие СКИ способны преодолевать микрополосковые устройства защиты с минимальными потерями.

Рассмотренные решения обладают рядом недостатков, которые могут быть существенными для критичной РЭА. Анализируемые устройства не способны полностью подавить СКИ из-за широкого спектра. Конструктивные особенности существенно ограничивают быстродействие и область применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mora N., Vega F., Lugrin G., Rachidi F., Rubinstein M. Study and classification of potential IEMI sources, System and assessment notes. – Note 41, 8 July 2014.

2. Жечев Е.С., Костелецкий В.П. Сильноточный помехозащитный фильтр для шины электропитания космического аппарата // 18-я Междунар. конф. «Авиация и космонавтика». – М.: МАИ, 2019. – С. 121–122.

3. Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р., Самотин И.Е. Модальный фильтр с TVS-сборкой для защиты сети FAST ETHERNET // Доклады ТУСУР. – 2010. – № 2. – С. 160–163.

4. Zhang S., Bao X., Lu R., Liu S., Zhang X., Liu Y. Characterization of parasitics from microwave scattering parameters of semiconductor laser diode // The 2012 International Workshop on Microwave and Millimeter Wave Circuits and System Technology. doi:10.1109/mmwcst.2012.6238149

5. Zhang Z., Chen W., Bazzi A.M., Ramsay S., Czapor J., Aslanidis J. A new active EMI filter with virtual impedance enhancement. // IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). – 2018. DOI: 10.1109/apec.2018.8341351

6. Беляев Б.А., Довбыш И.А., Лексиков А.А., Тюрнев В.В. Частотно-селективные свойства микрополоскового фильтра на нерегулярных двухмодовых резонаторах // Радиотехника и электроника. – 2010. – Т. 55, № 6. – С. 664–669.

7. Глушечко Э.Н. Особенности проектирования многорезонаторных микрополосковых направленных фильтров // Современные информационные и электронные технологии. – 2014. – Т. 2, № 15. – С. 42–43.