













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 60×84^{1/16}. 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

нию погонной C , что является положительным эффектом для применения их в качестве СШЭП.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Dorneles A.C., Guo J. Bus bar design for high-power // IEEE Trans. On Power Electronics. – 2018. – Vol. 33, Iss. 3. – P. 2354–2367.

2. Clavel E. Influence of the cabling geometry on paralleled diodes in a high power rectifier // IEEE Conf. Record of the Industry Applic. Conf. – 1996. – P. 993–998.

3. Ternov S., Demakov A.V., Komnatnov M.E. Influence of the cross-section form of the power bus bar on its parameters // Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies. – 2018. – P. 1–4.

4. Ehrich M. Lars Ole Fichte. Electric properties and magnetic field of coaxial bus bar // Asia-Pacific Conference on Environmental CEEM. – 2002. – P. 11–16.

УДК 621.391.825:378.3

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ ДЛЯ МАГИСТРАНТОВ ПО АНАЛИТИЧЕСКИМ МОДЕЛЯМ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ В МНОГОПРОВОДНЫХ ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧИ

*Р.С. Суровцев, доцент, к.т.н.; А.В. Носов, ассистент, к.т.н.;
Е.А. Сердюк, магистрант*

г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, surovtsevr@gmail.com

Представлены первые результаты части исследований по гранту РФФИ «Научное наставничество» с научно-технологическим университетом «Сириус». Раскрыты аспекты их апробации в рамках практических занятий для магистрантов кафедры телевидения и управления ТУСУРа.

Ключевые слова: магистратура, электромагнитная совместимость, аналитические модели, сверхкороткий импульс.

Сегодня образовательный процесс в высшей школе тесно связан с нововведениями, направленными на улучшение его качества. Одним из основных источников новых знаний являются результаты научной работы преподавателей или студентов высшей школы. Результаты, полученные в ходе такой работы, могут быть использованы в образовательном процессе либо внести значительный вклад в развитие науки. Источниками финансирования зачастую являются различные фонды, содействующие в получении новых фундаментальных или поисковых научных знаний. Примечательно, что одним из обязатель-

ных условий победы в конкурсе грантов, проводимом этими фондами, является обязательное участие студентов в исследовании. Это позволяет студенту приобретать навыки исследовательской работы, а в дальнейшем пройти по пути магистрант–аспирант–докторант. Поэтому вклад науки в образовательный процесс неоценим.

Новые знания, полученные в результате выполнения студентами научно-исследовательской работы, обобщаются и апробируются, а в дальнейшем могут быть представлены в виде практических рекомендаций для проведения занятий со студентами. В результате научных исследований студент приобретает следующие навыки: способность самостоятельно формулировать цель и задачи исследования; способность составлять аналитический обзор по заданной тематике; представлять результаты исследования в виде отчетов; подготавливать публикации и заявки на получение патента на полезную модель или изобретение; проводить практические и лабораторные работы. Эти навыки позволяют подготовить магистранта к аспирантуре.

Цель данной работы – кратко пояснить процесс введения новых знаний в образовательный процесс на примере разработки методических указаний по проведению практического занятия у магистрантов, обучающихся по программе «Электромагнитная совместимость радиоэлектронной аппаратуры», в ходе выполнения гранта РФФИ № 19-37-51017 «Моделирование распространения сверхкоротких импульсов в многопроводных линиях передачи для решения задач проектирования радиоэлектронной аппаратуры с учётом электромагнитной совместимости» в рамках конкурса «Научное наставничество» на 2020–2021 гг. Конкурс примечателен тем, что его основными исполнителями являются студенты и аспиранты, а также тем, что в течение трех месяцев каждого года проект должен выполняться на базе НТУ «Сириус» с проведением ряда мастер-классов и курса лекций по результатам реализации проекта для учащихся университета. Поэтому необходимо заранее приступить к выполнению работ и разработке концепции проведения занятий для студентов.

Одной из задач проекта является разработка новых, отличающихся представлением в замкнутом виде математических моделей для вычисления временного отклика новых устройств защиты на основе меандровых линий на воздействие сверхкороткого импульса (СКИ). Результаты ее решения уже успешно апробированы на практических занятиях магистрантов ТУСУРа по дисциплине «Модальные фильтры». Проведение практических занятий предполагается в несколько этапов: получение общих математических моделей для вычисления отклика в меандровой линии задержки [1] на основе известных мате-

математических моделей для связанной линии [2]; введение ограничений и получение математических моделей для частных случаев меандровой линии задержки в однородном и неоднородном диэлектрических заполнениях; апробация моделей путем сравнения откликов на воздействие СКИ, полученных на основе моделей и численными методами в программе TALGAT [3].

На первом этапе студенты ознакомились с математическими моделями для вычисления отклика в связанной линии, затем, используя соответствующие коэффициенты передачи и отражения, известные из теории, получили требуемые математические модели для расчета отклика в витке меандровой линии. На втором этапе оговаривались ограничения, поскольку эти модели применимы к частным случаям линий с симметричным относительно центра и опорного проводника поперечным сечением. На третьем этапе выполнено вычисление откликов линии на воздействие СКИ с помощью полученных математических моделей и в системе TALGAT. Результаты сравнивались между собой и выявлялось совпадение или отличие откликов и их причины.

Занятие проводилось для группы магистрантов, обучающихся по программе «Электромагнитная совместимость радиоэлектронной аппаратуры». В процессе выполнения работы у студентов возник вопрос, связанный с непониманием состава модели: какие именно компоненты относятся к коэффициентам передачи на ближнем и дальнем концах линии, а какие к коэффициентам отражения. Получив ответ на данный вопрос, все студенты справились с заданием и получили положительные оценки. Занятие позволило магистрантам освоить материал дисциплины на реальной задаче и закрепить ранее полученные знания. Примечательно, что система TALGAT является отечественным программным продуктом для решения задач электромагнитного поля. Система проста для понимания пользователя и не требует существенных навыков в работе с САПР, что делает обучение более доступным и эффективным.

Таким образом, практические занятия с использованием впервые полученных математических моделей позволяют вводить в образовательный процесс новые и актуальные научные знания. Кроме того, будущими специалистами обрабатываются исследовательские навыки на примере решения задач электромагнитной совместимости.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-37-51017 с научно-технологическим университетом «Сириус».

ЛИТЕРАТУРА

1. Аналитические математические модели для вычисления временного отклика в витке меандровой линии / Е.А. Сердюк, А.В. Носов, Р.С. Суровцев,

Т.Р. Газизов // Матер. докладов XV Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления», Томск, 20–22 ноября 2019 г. – Томск: В-Спектр. – 2019. – Ч. 2. – С. 49–52.

2. Леонтьев Н.А. Анализ временного отклика в межсоединениях быстродействующих радиоэлектронных схем: дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2000.

3. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT / С.П. Куксенко, А.М. Заболоцкий, А.О. Мелкозеров, Т.Р. Газизов // Доклады ТУСУР. – 2015. – № 2 (36). – С. 45–50.

УДК 519.612.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ ПЕРЕКРЕСТНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ПРИ АНАЛИЗЕ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ

А.Е. Максимов, аспирант каф. ТУ;

И.А. Онищенко, студент каф. КСУП

Научный руководитель С.П. Куксенко, доцент каф. ТУ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, mae@tusur.ru

Приведены результаты использования адаптивной перекрестной аппроксимации при анализе линий передачи методом моментов для уменьшения вычислительных затрат.

Ключевые слова: линия передачи, метод моментов, система линейных алгебраических уравнений, адаптивная перекрестная аппроксимация.

Линии передачи (ЛП) широко используются в СВЧ-технике и в межсоединениях цифровых устройств [1]. При анализе ЛП широко применяются квазистатический подход и различные численные методы. Их использование, как правило, сводит задачу к необходимости решения системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) [2]. Из полученного решения вычисляются погонные параметры ЛП. При использовании метода моментов итоговая СЛАУ является плотной, и объем памяти, которым обладают современные персональные компьютеры (ПК), часто оказывается недостаточен для хранения таких матриц, поэтому существует необходимость в их сжатии [3], например, с использованием адаптивной перекрестной аппроксимации (adaptive cross approximation, ACA) [4]. Однако авторам неизвестны работы, в которых исследовано использование ACA при анализе ЛП.

Цель работы – исследование работы ACA при анализе ЛП методом моментов.

Исследование работы ACA выполнено на примере двухпроводной микрополосковой ЛП при трех порядках матрицы СЛАУ ($N = 2079, 6227$ и 10374), полученных последовательным учащением