



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 60×84¹/₁₆. 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

Значения частот среза и крутизны спада

Компоновка	Синфазный режим		Дифференциальный режим	
	Частота среза, кГц	Крутизна спада, дБ/дек	Частота среза, кГц	Крутизна спада, дБ/дек
Классическая	63,48	60	7,43	40
Промежуточная	55,24	40	2,14	40
Комбинированная	8,02	20	34,31	40

ЛИТЕРАТУРА

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

2. Palego C. A Two-Pole Lumped-Element Programmable Filter with MEMS Pseudodigital Capacitor Banks / C. Palego, A. Pothier, A. Crunteanu, M. Chatras, P. Blondy, C. Champeaux, P. Tristant, A. Catherinot // IEEE Trans. on microwave theory tech. – 2008. – Vol. MTT-56, iss. 3. – P. 729–735.

3. Baskakova A.E., Turgaliev V.M., Kholodnyak D.V. A Tunable Lumped-Element Bandpass Filter with Independent Continuous Tuning of Center Frequency and Bandwidth. Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. – 2016. – Vol. 3. – P. 25–32.

4. Zhechev Y.S. Electromagnetic interference filter for spacecraft power bus / Y.S. Zhechev, V.P. Kosteletskii, A.M. Zabolotsky, T.R. Gazizov // Journal of Physics: Conference Series (JPCS). – 2019. – P. 2.

5. Berman, M. All about EMI filters. – San Diego, USA, 2008. – 3 p.

6. Richard L.O. EMI filter design / L.O. Richard, M.P. Timothy // CRC Press. – 2012. – 344 p.

7. Nan L. A common mode and differential mode integrated EMI filter / L. Nan, Y. Yugang // 2006 CES/IEEE 5th International Power Electronics and Motion Control Conference. – Shanghai, China, 2006. – 5 p.

УДК 621.391.31

СИЛОВАЯ ШИНА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С КООКСИАЛЬНЫМ ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ

И.И. Николаев, магистрант каф. ТУ

*Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, nikolaev.727@yandex.ru*

Выполнено вычисление погонных индуктивности и ёмкости для силовой шины электропитания с коаксиальным поперечным сечением при различном количестве и толщине стенок цилиндров.

Ключевые слова: силовая шина электропитания, погонные параметры, численное моделирование.

Силовые шины электропитания (СШЭП) используются для передачи высокой мощности электроэнергии от источника к нагрузке. Одним из важных параметров при проектировании подобных конструкций является погонная индуктивность [1], которая оказывает существенное влияние на стабильную работу активных элементов, а её неучёт может привести к перенапряжению, падению напряжения, дисбалансу токов, резонансу в конденсаторах и т.д. [2]. Погонные индуктивность L и ёмкость C могут быть заданы оптимальной формой поперечного сечения СШЭП. Так, в работе [3] созданы различные модели поперечных сечений СШЭП и выполнен их квазистатический анализ. Минимизация погонной индуктивности достигалась за счет изменения геометрических параметров конструкций СШЭП. Другим способом уменьшения паразитных параметров является использование коаксиальных СШЭП. Особенностью подобной конструкции является отсутствие результирующего магнитного поля в окружении СШЭП, низкое значение погонной индуктивности, малые потери мощности электроэнергии от источника к нагрузке, высокая механическая и электрическая прочность (незначительное влияние вихревого тока и эффекта близости) [4]. Поэтому целесообразно провести более детальный анализ СШЭП с коаксиальным поперечным сечением.

Цель работы – выполнить анализ влияния толщины стенок и количества цилиндров коаксиальной СШЭП на её погонные параметры.

Исходными данными для вычисления погонных параметров СШЭП с коаксиальным поперечным сечением, являются: начальный радиус $r = 1$ мм, расстояние между цилиндрами $w = 0,1$ мм, толщина стенок цилиндров $t = 0,1; 0,5; 1$ мм, N – количество цилиндров, относительные магнитная μ_r и диэлектрическая ϵ_r проницаемости приняты равными 1 (рис. 1). Потери в проводниках и диэлектриках не учитывались.

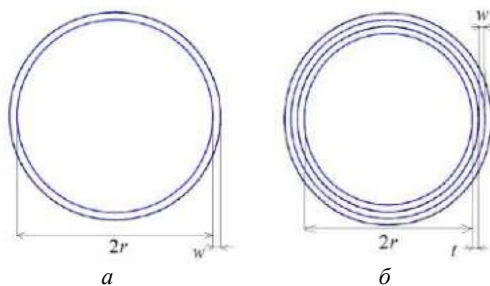


Рис. 1. Поперечное сечение из двух цилиндров коаксиальной СШЭП с бесконечно тонкой (а) и конечной (б) толщинами t их стенок

В системе TALGAT созданы модели и выполнены вычисления погонных L и C для $N = 1, 2, \dots, 10$.

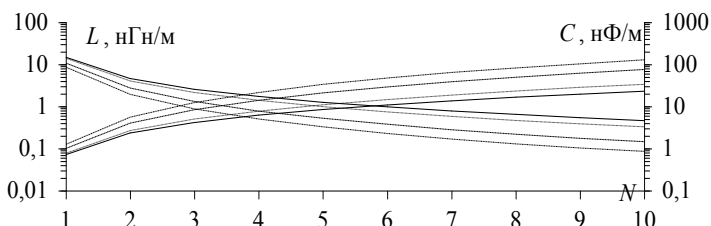


Рис. 2. Зависимости значений погонных L и C для коаксиальной СШЭП от количества цилиндров N : с бесконечно тонкой (—) и с конечной ($t = 0,1$ мм(---), $t = 0,5$ мм(---), $t = 1$ мм(---)) толщинами их стенок

Из рис. 2 видно, что при увеличении N погонная L уменьшается, а погонная C увеличивается. Так, для СШЭП с бесконечно тонкими стенками цилиндров при увеличении N значение погонной L уменьшилось с 15 до 0,47 нГн/м (в 32 раза), а значение погонной C наоборот увеличилось с 0,7 до 24 нФ/м (в 34 раза). Для СШЭП с конечной толщиной стенок цилиндров ($t = 1$ мм) при увеличении N значение погонной L уменьшилось с 8,6 до 0,86 нГн/м (в 10 раз), а значение погонной C увеличилось с 1,3 до 129 нФ/м (в 99 раз).

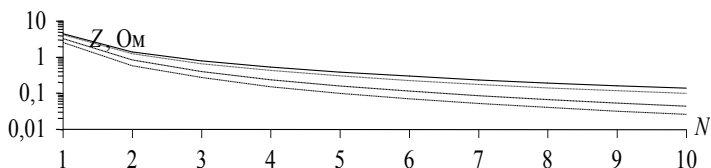


Рис. 3. Зависимость значений волнового сопротивления от количества цилиндров N для коаксиальной СШЭП: с бесконечно тонкой (—) и с конечной ($t = 0,1$ мм(---), $t = 0,5$ мм(---), $t = 1$ мм(---)) толщинами их стенок

Из рис. 3 видно, что при увеличении N волновое сопротивление Z уменьшается. Так, для СШЭП с бесконечно тонкими стенками цилиндров значение Z уменьшилось с 4,5 до 0,14 Ом (в 32 раза), а для СШЭП с конечной толщиной ($t = 1$ мм) стенок цилиндров — с 2,6 до 0,26 Ом (в 10 раз).

Таким образом, показано, что увеличение количества цилиндров и толщины их стенок приводит к уменьшению погонной L и увеличе-

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-