



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](mailto:onir@main.tusur.ru)  
Телефон/Факс: (3822) 900-100 Сайт: <http://tusur.ru/>

Информационный центр абитуриента: [magistrant.tusur.ru](http://magistrant.tusur.ru)

## Сборник избранных статей научной сессии TUSUPa



**ПО МАТЕРИАЛАМ МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

«НАУЧНАЯ СЕССИЯ TUSUPa–2019»

г. Томск, 22–24 мая 2019 г.

(в двух частях)

**ЧАСТЬ 1**

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 ТУСУРа**

**по материалам  
Международной научно-технической конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых  
«Научная сессия ТУСУР–2019»**

**22–24 мая 2019 г., г. Томск**

**В двух частях**

Часть 1

В-Спектр  
2019

**УДК 621.37/.39+681.518 (063)**

**ББК 32.84я431+32.988я431**

**С 23**

**С 23 Сборник избранных статей научной сессии ТУСУРа** (Томск, 22–24 мая 2019 г.): в 2 ч. – Томск: В-Спектр, 2019. – Ч. 1. – 320 с.

ISBN 978-5-91191-410-3

ISBN 978-5-91191-411-0 (Ч. 1)

Сборник включает избранные статьи 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, 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 978-5-91191-410-3**

**ISBN 978-5-91191-411-0 (Ч. 1)**

© Том. гос. ун-т систем управления  
и радиоэлектроники, 2019

## **ВЛИЯНИЕ ДВОЙНОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВОЙ ШИНЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ЕЁ ПОГОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ**

***И.И. Николаев, магистрант, инженер «НИЛ БЭМС РЭС»***

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

Выполнено вычисление погонных индуктивности и ёмкости, а также волнового сопротивления для трёх форм поперечного сечения силовой шины электропитания с учётом двойной изоляции. Представлено сравнение значений погонных параметров с учётом двойной изоляции и без неё. Показано влияние двойной изоляции силовой шины электропитания на её погонные параметры, а также волновое сопротивление.

**Ключевые слова:** силовая шина электропитания, погонные параметры, диэлектрическая проницаемость.

Силовые шины электропитания (СШЭП) используются при передаче электроэнергии внутри системы. Одним из важных параметров при проектировании подобных СШЭП является её погонная индуктивность [1], которая оказывает влияние на волновое сопротивление. Также непосредственное влияние на волновое сопротивление оказывает погонная ёмкость. Так, в работе [2] выполнено вычисление погонных параметров СШЭП для различных форм поперечного сечения при неизменной площади  $S = 50 \text{ мм}^2$ . Представлены предварительные результаты вычислений погонных индуктивности и ёмкости в зависимости от толщины, ширины и формы поперечного сечения проводников СШЭП. При этом в качестве изолятора использовался однородный материал с заданной диэлектрической проницаемостью. В критично важных системах, в том числе космическом аппарате (КА), необходимым требованием является использование двух разнородных материалов для изоляции, которые влияют на погонную ёмкость  $C$  и как следствие на волновое сопротивление  $Z$ .

Цель работы – выполнить вычисление значений погонных параметров СШЭП с учётом двойной изоляции.

Для исследования влияния двойной изоляции СШЭП на её погонные параметры выбраны модели из [2]: симметричная (рис. 1, *а*), симметричная с боковой стенкой (рис. 1, *б*) и экранированная (рис. 1, *в*). Каждая СШЭП содержит отрицательную 1 и положительную 2 шины. В качестве первого изолятора 3 использовался стеклотекстолит СТФ 4 с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r = 4,3$ , вторым слоем изолятора 4 является полиамидная плёнка толщиной  $t_2 = 200 \text{ мкм}$  и диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r = 2,3$ .

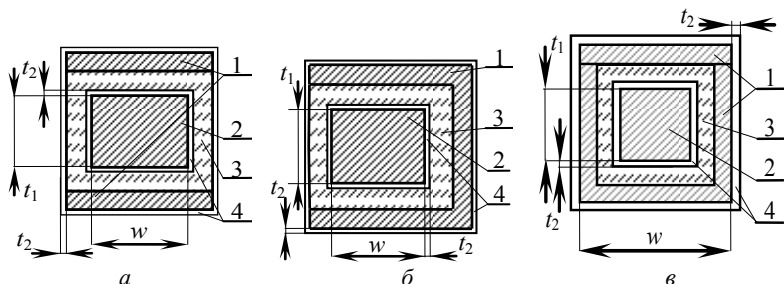


Рис. 1. Формы поперечного сечения СШЭП с учётом двойной изоляции:  
*a* – симметричная линия с изолятором по краям;  
*б* – симметричная линия с боковой стенкой и изолирующим материалом сбоку;  
*в* – экранированная линия со съёмной крышкой

В системе TALGAT [3] для трёх моделей СШЭП выполнены вычисления значений волнового сопротивления  $Z$ , погонных значений индуктивности  $L$  и ёмкости  $C$ .

На рис. 2 представлен график зависимости погонной  $C$  для трёх моделей СШЭП с учётом одинарной и двойной изоляции от изменения соотношения сторон  $w/t$  при сохранении площади поперечного сечения каждого проводника  $S = 50 \text{ мм}^2$ .

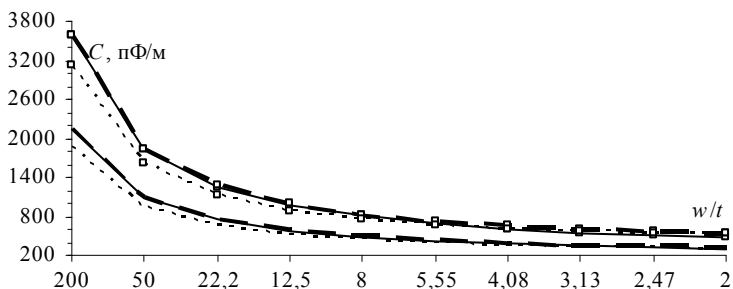


Рис. 2. Значения погонной ёмкости  $C$  при изменении  $w/t$  для моделей из рис. 1 с учётом одинарной (*a* (—); *б* (---) и *в* (···)) и двойной изоляции (*a* (-□-); *б* (-□-□-) и *в* (·□·□·))

На рис. 3 представлен график зависимости волнового сопротивления  $Z$  исследуемых моделей с учётом одной и двойной изоляции от изменения соотношения сторон  $w/t$ .

Анализ значений погонных параметров СШЭП с учётом двойной изоляции и без неё значительно влияет на значения погонной  $C$  и  $Z$ . При этом не оказывает влияния на значения погонной индуктивности

$L$ . Из рис. 2 видно, что для первой модели (см. рис. 1, *а*) при  $w/t = 2$  значение погонной  $C$  увеличивается с 297,2 пФ/м (при одинарной изоляции) до 466,7 пФ/м (при двойной изоляции), при  $w/t = 200$  – с 2134,7 до 3573,2 пФ/м соответственно, а влияние внешнего диэлектрического слоя 4 оказывает незначительное увеличение погонной  $C$  до 3574,5 пФ/м. Для второй модели (см. рис. 1, *б*) при  $w/t = 2$  значение погонной  $C$  увеличивается с 325,5 пФ/м (при одинарной изоляции) до 530,7 пФ/м (при двойной изоляции), при  $w/t = 200$  – с 2124,8 до 3578,8 пФ/м. Для третьей модели (см. рис. 1, *в*) при  $w/t = 2$  значение погонной  $C$  увеличивается с 307,2 пФ/м (при одинарной изоляции) до 526,7 пФ/м (при двойной изоляции), при  $w/t = 200$  – с 1848,6 до 3121,3 пФ/м.

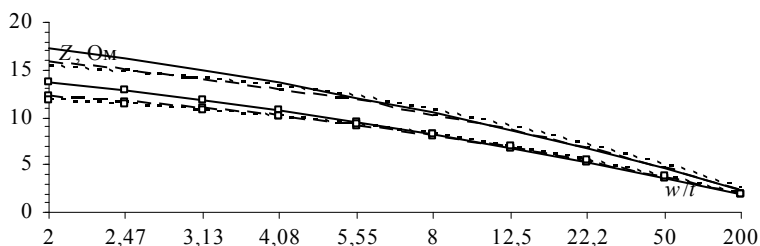


Рис. 3. Значения волнового сопротивления  $Z$  при изменении  $w/t$  для моделей из рис. 1 с учётом одинарной (*а* (—); *б* (- - -) и *в* (· · ·)) и двойной изоляции (*а* (-□-); *б* (-□-□-) и *в* (·□·□·))

Таким образом, наличие двойной изоляции заметно влияет на значения погонной  $C$  и  $Z$ , при этом не оказывая влияния на значения погонной  $L$ . При этом существенное влияние на погонную  $C$  и  $Z$  оказывает внутренний диэлектрический слой.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI 57417X0172.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Dorneles A.C., Guo J. Bus bar design for high-power // IEEE Transactions On Power Electronics. – 2018. – Vol. 33, Is. 3. – P. 2354–2367.
2. 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.
3. Куксенко С.П. 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.

*А.А. Колегов, А.В. Черникова, Д.В. Сарасеко, К.А. Денисенко*  
СЛОЖЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ С ПОМОЩЬЮ  
ОПТОВОЛОКОННЫХ СИГНАЛЬНЫХ ОБЪЕДИНИТЕЛЕЙ.....216

*М.Н. Гаппарова, Н.А. Иванченко, А.С. Перин*  
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ  
КОГЕРЕНТНЫХ СВЕТЛЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СОЛИТОНОВ  
В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ НИОБАТЕ ЛИТИЯ  
С УЧЕТОМ ВКЛАДА ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА.....219

## **ПОДСЕКЦИЯ 2.6**

### **ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ**

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

*А.М. Артюшкина, А.В. Демаков*  
РАЗРАБОТКА КОАКСИАЛЬНОЙ КАМЕРЫ  
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ  
КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....222

*К.В. Симонова, Д.С. Бодажков*  
ЧАСТНО-СЕЛЕКТИВНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КВЧ-ДИАПАЗОНА, ПОЛУЧАЕМЫХ  
МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ.....225

*Л.К. Болатова*  
АЛГОРИТМ И ПРОГРАММА ДЛЯ КВАЗИСТАТИЧЕСКОГО  
АНАЛИЗА НЕРЕГУЛЯРНОЙ РАЗБАЛАНСИРОВАННОЙ  
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЛИНИИ В ВОЗДУХЕ.....228

*Е.Б. Черникова*  
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЛАГОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ  
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО  
МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА.....232

*Рустам Р. Газизов, М.Н. Калинина*  
ВЫЯВЛЕНИЕ ЭКСТРЕМУМОВ СИГНАЛА С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ  
В ДВУХВИТКОВОЙ МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ  
РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ЕЕ ПРОВОДНИКАМИ.....236

*Ш.В. Куулар, Р.Р. Хажибеков*  
РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА  
ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВХОДНЫХ ЦЕПЕЙ ПИКОВСЕКУНДНОГО ЛОКАТОРА..240

*Ш.В. Куулар, Р.Р. Хажибеков*  
СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА  
ДЛЯ ПИКОВСЕКУНДНОГО ЛОКАТОРА.....244

*Ч.Л. Хомушку*  
ВЫЯВЛЕНИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЭКСТРЕМУМОВ СИГНАЛА  
В СИЛОВОЙ ШИНЕ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ.....247

<b>М.В. Храпцов</b> ВЛИЯНИЕ КАСКАДИРОВАНИЯ ПОМЕХОЗАЩИТНЫХ ФИЛЬТРОВ НА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ЦЕПЕЙ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ.....	251
<b>А.А. Иванов</b> РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНОГО КОРПУСА МЕТОДОМ МАТРИЦЫ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ.....	255
<b>К.А. Бокова, А.А. Иванов</b> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ КОРПУСА МУЛЬТИПЛЕКСОРА FOX-515 .....	259
<b>С.Х. Карри, Р.С. Суровцев</b> АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОДЛОЖКИ НА РАССЕЙАНИЕ МОЩНОСТИ СИГНАЛА В МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ.....	262
<b>А.А. Квасников</b> ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДСИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ СИСТЕМЫ TALGAT .....	266
<b>И.И. Николаев</b> ВЛИЯНИЕ ДВОЙНОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВОЙ ШИНЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ЕЁ ПОГОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ .....	270
<b>М.А. Самойличенко</b> АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА С ПАССИВНЫМ ПРОВОДНИКОМ В ОПОРНОЙ ПЛОСКОСТИ НА АМПЛИТУДУ ИМПУЛЬСОВ РАЗЛОЖЕНИЯ .....	273
<b>Л.Т. Таалайбек, М.А. Ембергенов</b> ПОИСК МАКСИМУМА НАПРЯЖЕНИЯ В СВЯЗАННОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ С ПОМОЩЬЮ ЭВОЛЮЦИОННЫХ СТРАТЕГИЙ.....	275
<b>Е.С. Жечев</b> ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЫЧЕК В ОПОРНОМ ПРОВОДНИКЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА.....	279

## **ПОДСЕКЦИЯ 2.7**

### **ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ**

*Председатель секции – Туев В.И., зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.;*  
*зам. председателя – Вилисов А.А., проф. каф. РЭТЭМ, д.т.н.*

<b>А.А. Максименко, Е.С. Ганская, М.В. Андреева</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПАСА СВЕТОДИОДНОГО ИЗЛУЧАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА .....	282
<b>Д.В. Кожокару, Е.С. Ганская, Е.С. Гайбович</b> МЕТОДЫ ГЕРМЕТИЗАЦИИ СВЕТОДИОДОВ БЕЛОГО ЦВЕТА СВЕЧЕНИЯ .....	284