












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 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, нанофотоники, 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

<b>Д.И. Дудник</b>	
ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ ПРОПУСКАЮЩИХ МНОГОСЛОЙНЫХ НЕОДНОРОДНЫХ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ ДИФРАКЦИОННЫХ СТРУКТУР .....	208
<b>М.Н. Гаптарова, Д.К. Романенко, А.В. Шукин, А.С. Перин</b>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДИФРАКЦИОННОЙ РАСХОДИМОСТИ СВЕТОВОГО ПУЧКА В КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ С УЧЕТОМ ВКЛАДА ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА .....	211
<b>Т.Л. Григорян</b>	
ПОЛИНОМИАЛЬНЫЙ РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ ТРИАНГУЛЯЦИОННЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ДАЛЬНОМЕРАМИ .....	215
<b>К.В. Короткова, К.П. Мельник</b>	
ФОТОИНДУЦИРОВАННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В КРИСТАЛЛАХ КТР ..	218
<b>Е.В. Бакаулова, К.Б. Кемелханова, К.М. Мамбетова</b>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗАРЯДА ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ ГОЛОГРАММ В КРИСТАЛЛАХ НИОБАТА ЛИТИЯ С ПОВЕРХНОСТНЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ .....	220
<b>П.К. Сафронова</b>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОРАЗМЕРНЫХ ФОТОННЫХ РЕШЕТОК БЕССЕЛЕПОДОБНЫМ СВЕТОВЫМ ПУЧКОМ В КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ .....	224
<b>А.В. Михайленко, К.Г. Аксёнов</b>	
СПЕКТР ОПТИЧЕСКОГО ОТРАЖЕНИЯ СТРУКТУРЫ GaN/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	227
<b>В.А. Горончко, М.М. Михайлов</b>	
ИЗУЧЕНИЕ ИК-СПЕКТРОВ ПОЛИПРОПИЛЕНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОЧАСТИЦАМИ ZrO <sub>2</sub> .....	229
<b>М.М. Михайлов, О.А. Алексеева, А.Н. Лапин,</b>	
<b>С.А. Юрьев, В.В. Каранский</b>	
СИНТЕЗ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОШКОВ BaTi <sub>(1-x)</sub> Zr <sub>x</sub> O <sub>3</sub> С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОЧАСТИЦ TiO <sub>2</sub> .....	232
<b>В.В. Каранский</b>	
ВЛИЯНИЕ КВАНТОВ СОЛНЕЧНОГО СПЕКТРА НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОШКА ZnO, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОЧАСТИЦАМИ SiO <sub>2</sub> .....	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.*

<b>А.А. Дроздова</b>	
СОЗДАНИЕ ЭКВИВАЛЕНТА СЕТИ ПО MIL-STD-461 G ДЛЯ СИЛОВОЙ ШИНЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ .....	239

<b>А.А. Дроздова</b>	
АНАЛИЗ ВОСПРИИМЧИВОСТИ СИЛОВОЙ ШИНЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА К ВОЗДЕЙСТВИЮ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА .....	243
<b>С.Х. Карри, Р.С. Суровцев</b>	
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА ЯЧЕЕК ДИСКРЕТИЗАЦИИ МОДЕЛИ МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛНОВОЛНОВОГО АНАЛИЗА .....	247
<b>Д.В. Клюкин, А.А. Квасников</b>	
РАСЧЕТ ПОГОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ .....	251
<b>А.М. Лакоза, В.П. Костелецкий, Е.С. Жечев</b>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИЛЬТРА С КОМБИНИРОВАННЫМ ДРОССЕЛЕМ .....	254
<b>И.И. Николаев</b>	
СИЛОВАЯ ШИНА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С КООКСИАЛЬНЫМ ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ .....	257
<b>Р.С. Суровцев, А.В. Носов, Е.А. Сердюк</b>	
ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ ДЛЯ МАГИСТРАНТОВ ПО АНАЛИТИЧЕСКИМ МОДЕЛЯМ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ В МНОГОПРОВОДНЫХ ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧИ .....	260
<b>А.Е. Максимов, И.А. Онищенко</b>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ ПЕРЕКРЕСТНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ПРИ АНАЛИЗЕ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ .....	263
<b>А.А. Синельников, А.В. Чуб, Е.С. Жечев</b>	
КВАЗИСТАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧЕТЫРЕХСЛОЙНОГО ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ НА КОНЦАХ ПАССИВНЫХ ПРОВОДНИКОВ .....	266
<b>И.А. Скорняков</b>	
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЛАГОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ НА АМПЛИТУДУ ПЕРЕКРЕСТНЫХ НАВОДОК В ПАРЕ СВЯЗАННЫХ ЛИНИЙ .....	269
<b>Е.С. Варзин, А.В. Носов</b>	
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<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. 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](mailto:bvm@sibmail.com)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Özgün Ö., Kuzuoğlu M. MATLAB-based Finite Element Programming in Electromagnetic Modeling. – CRC Press, 2018. – 428 p.
2. Клюкин Д.В. Программа триангуляции двухмерных структур произвольной сложности // Наука и практика: проектная деятельность – от идеи до внедрения – 2019: матер. VIII регион. науч.-практ. конф. – Томск, 2019. – Т. 2. – С. 540–542.
3. Musa S.M., Sadiku M.N.O Computation of electrical parameters for different conducting bodies using finite element method // COMSOL [Электронный ресурс]. Научные статьи и публикации. – URL: <https://www.comsol.ru/paper/computation-of-electrical-parameters-for-different-conducting-bodies-using-finit-5502> (дата обращения: 04.03.2020).
4. Musa S.M., Sadiku M.N.O. Using finite element method to calculate capacitance, inductance, characteristic impedance of open microstrip lines // Wiley Periodicals, Inc. Microwave Opt Technol Lett 50: 611–614, 2008.
5. Стручков С.М. Методика конформных отображений для моделирования полосковых линий передачи и проектирование устройств на их основе: дис. ... канд. тех. наук. – Томск, ТУСУР, 2016. – 148 с.
6. ELCUT – программа моделирования [Электронный ресурс]. – URL: <https://elcut.ru/> (дата обращения: 04.03.2020).

УДК 621.396.669.8

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИЛЬТРА С КОМБИНИРОВАННЫМ ДРОССЕЛЕМ

*А.М. Лакоза, магистрант каф. ТУ;*

*В.П. Костелецкий, Е.С. Жечев, аспиранты каф. ТУ*

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

Представлены частотные характеристики и конфигурации фильтров с разной компоновкой индуктивных элементов схемы. Выполнен сравнительный анализ.

**Ключевые слова:** гибридный дроссель, кондуктивные помехи, помехоподавляющий фильтр, балансные измерения.

Современная радиоэлектронная аппаратура восприимчива к электромагнитным помехам. Это связано с уменьшением расстояния между функциональными узлами и большим разнообразием модулей разного назначения, что ухудшает электромагнитную обстановку [1]. Одним из опасных факторов являются кондуктивные синфазные и дифференциальные помехи. Для их ослабления применяются помехоподавляющие фильтры на основе пассивных компонентов с сосредоточенными параметрами [2]. Синфазный и дифференциальные дроссели занимают большое пространство в схеме помехоподавляю-

шего фильтра. Предлагается использовать комбинированный дроссель, способный работать в синфазном и дифференциальном режимах. Это позволяет минимизировать количество индуктивных компонентов и размеры помехоподавляющего устройства [3].

Цель работы – выполнить сравнительный анализ помехоподавляющих фильтров с различными вариантами компоновок индуктивных элементов.

На рис. 1 представлены три варианта компоновки индуктивных компонентов: классический, промежуточный и комбинированный. Индуктивные компоненты при классической компоновке помехоподавляющего фильтра расположены независимо: два дифференциальных дросселя  $L_{DM1}$ ,  $L_{DM2}$  установлены на выходе схемы, и синфазный дроссель  $L_{CM}$  установлен на входе схемы фильтра (рис. 1, а, б) [4, 5].

Промежуточная компоновка отличается конструкцией дифференциального дросселя  $L_{DM1}$ . Он выполнен на общем сердечнике двумя магнитосвязанными индуктивностями. Это позволяет незначительно уменьшить габариты и количество используемых компонентов (см. рис. 1, в, г) [6].

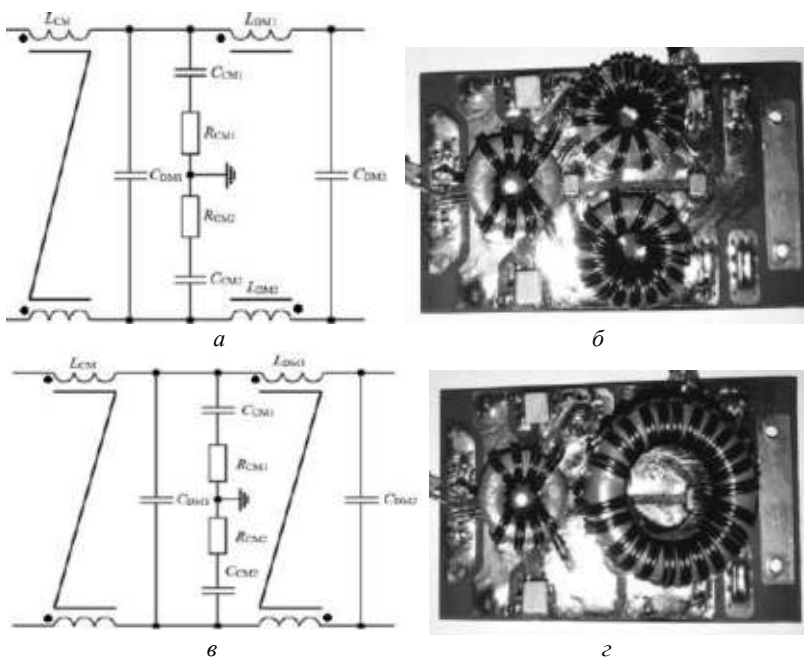


Рис. 1 (начало)



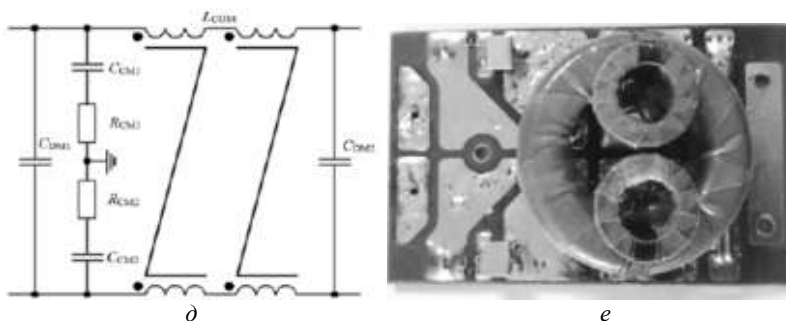


Рис. 1 (окончание). Принципиальные схемы и макеты помехоподавляющих фильтров с различной компоновкой индуктивных компонентов

В комбинированной компоновке все индуктивные компоненты заменены одной конструкцией, которая является синфазно-дифференциальным дросселем. Данная конструкция реализована на связанных индуктивностях  $L_{CDM}$ , что позволяет значительно уменьшить количество используемых компонентов (см. рис. 1, *д*, *е*) [7]. Далее представлены результаты измерений, которые выполнены с помощью осциллографа Keysight EDUX1002G. На рис. 2 представлено сравнение частотных характеристик фильтров в синфазном (см. рис. 2, *а*) и дифференциальном (см. рис. 2, *б*) режимах работы. Значения частот среза и крутизны спада представлены в таблице.

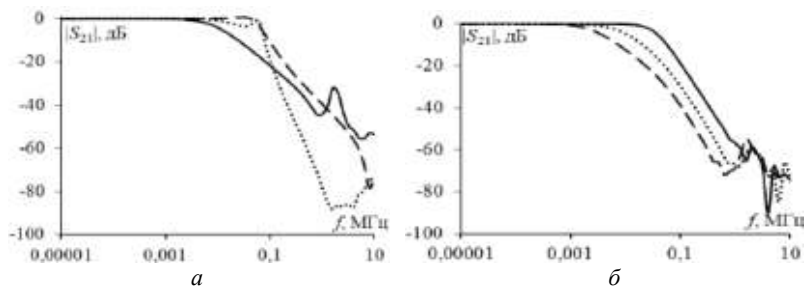


Рис. 2. Частотные зависимости  $|S_{21}|$  для синфазного (*а*) и дифференциального (*б*) режимов работы фильтров классической (····), промежуточной (- -) и комбинированной (—) компоновок индуктивных компонентов

Из представленных результатов видно, что в синфазном режиме работы наименьшей частотой среза обладает фильтр с комбинированной компоновкой, а в дифференциальном режиме работы наименьшая частота среза у фильтра с промежуточной компоновкой. Необходимо отметить, что при замене индуктивных элементов принципиальная схема фильтра не менялась.

### 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 ПИНА 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.