



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

4. Хомушку Ч.Л., Газизов Р.Р. Локализация экстремумов перекрестных помех от двухстороннего преднамеренного воздействия в шине печатной платы // 24-я науч.-практ. конф. «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири» (СИБРЕСУРС–24), 28 ноября 2018. – Томск, 2018. – С. 173–177.

5. Квасников А.А., Куксенко С.П., Лежнин Е.В. Разработка подсистем графического интерфейса системы TALGAT // Матер. докл. XIII Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления» (ЭССУ), 29 ноября – 1 декабря 2017. – Томск: В-Спектр, 2017. – Т. 2. – С. 15–18.

УДК 621.396.41

## **ВЛИЯНИЕ КАСКАДИРОВАНИЯ ПОМЕХОЗАЩИТНЫХ ФИЛЬТРОВ НА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ЦЕПЕЙ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ**

*М.В. Храмцов, магистрант*

*Научный руководитель А.М. Заболоцкий, проф. каф. ТУ, д.т.н.  
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, [khramtsovmaxim@yandex.ru](mailto:khramtsovmaxim@yandex.ru)*

Рассмотрен фильтр для защиты цепей электропитания от кондуктивных помех. Вычислены частотные зависимости вносимого затухания для различного числа каскадов в синфазном и дифференциальном включениях.

**Ключевые слова:** сетевой фильтр, кондуктивная помеха, вносимое затухание.

Типовой фильтр для защиты цепей электропитания относится к классу низкочастотных (НЧ) фильтров и подавляет высокочастотные (ВЧ) кондуктивные электромагнитные помехи (ЭМП). Рассматриваемый фильтр широко распространен, имеет малое количество компонентов и осуществляет подавление помех как со стороны цепей электропитания, так и со стороны аппаратуры. Преимуществами такого фильтра являются его небольшая стоимость, удобство компоновки, возможность выбора параметров элементов. Сетевой фильтр обычно используется в аппаратуре малой и средней (до 500 Вт) мощности.

Целью данной работы является моделирование многокаскадного помехозащитного фильтра для цепей электропитания в синфазном и дифференциальном включениях и оценка вносимого затухания в заданном диапазоне частот.

При оптимальном выборе параметров компонентов один каскад данного фильтра способен обеспечить высокую степень подавления ВЧ-помех порядка 30–80 дБ в частотном диапазоне 0,15–30 МГц [1]. Рассматриваемый в данной работе фильтр и его эквивалентные схемы показаны на рис. 1.

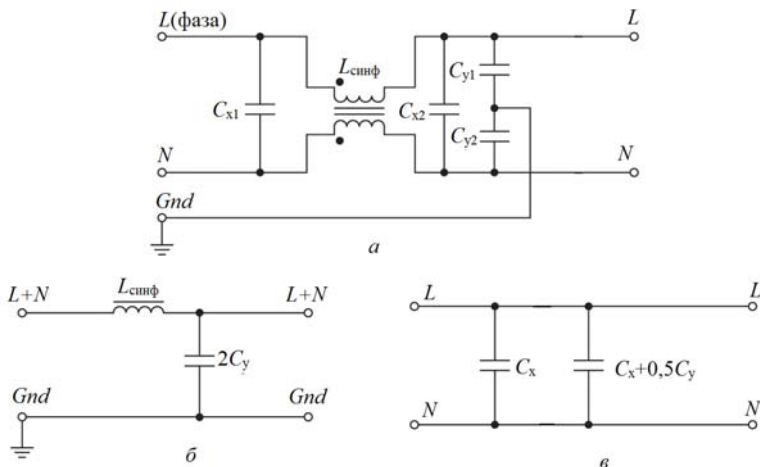


Рис. 1. Схема однофазного фильтра для защиты цепей электропитания от кондуктивных помех: *а* – полная принципиальная схема; *б* – эквивалентная схема в синфазном включении; *в* – эквивалентная схема в дифференциальном включении

Конденсаторы  $C_{x1}$  и  $C_{x2}$ , предназначены для подавления дифференциальной помехи. Конденсаторы  $C_{y1}$  и  $C_{y2}$ , а также синфазный дроссель  $L_{\text{сифф}}$  предназначены для фильтрации синфазной помехи. Обмотки синфазного дросселя включены последовательно, и для синфазной помехи он имеет большое индуктивное сопротивление. В то же время для дифференциальной помехи индуктивное сопротивление дросселя минимально. В [2] принято, что дифференциальные помехи преобладают на частотах до сотен килогерц, а синфазные – более 1 МГц, поэтому выполнено моделирование в диапазоне частот 0–100 МГц.

Исходя из [1], можно рассчитать номинальные значения элементов сетевого фильтра. Если безопасный для человека ток заземления  $I_{3 \text{ max}} = 1 \text{ мА}$ , частота сети  $f_c = 50 \text{ Гц}$ , а максимальное сетевое напряжение  $U_{c \text{ max}} = 253 \text{ В}$  в соответствии с ГОСТ 29322–2014, тогда максимальное значение  $C_{y \text{ max}}$  определяется по формуле  $C_{y \text{ max}} = I_{3 \text{ max}} / 4\pi f_c \cdot U_{c \text{ max}}$  и равно 6,29 нФ. После выбора значения  $C_{y \text{ max}}$  производится оценка значения  $L_{\text{ф min}}$ . Оценка производится для частоты  $f_1 = 1 \text{ МГц}$ . С этой целью необходимо выбрать требуемую величину вносимого затухания  $A_{\text{сифф}} = 20 \lg \cdot K_{\text{п.сифф}}$  ( $K_{\text{п.сифф}}$  – коэффициент подавления синфазных помех). При обеспечении вносимых фильтром потерь порядка 60 дБ на выходе фильтра амплитуда помехи ослабится в 1000 раз. Тогда

$L_{\phi \min} \geq K_{п.сиф} / ((2\pi f_1)^2 \cdot (2C_{y \max}))$  и равно 2,01 мГн. Исходя из расчетов и реальных компонентов, находящихся в свободном доступе, можно принять  $C_y = 4,7$  нФ,  $L_{\phi} = 2,2$  мГн.

Предположим, что кондуктивные помехи в цепях электропитания значительны и одного каскада фильтра недостаточно для требуемого подавления ЭМП по ГОСТ Р 51527–99. Исходя из этого, после расчета номинальных значений элементов для оценки вносимого затухания выполнено моделирование фильтра с различным числом каскадов в синфазном и дифференциальном включениях. Схемы, используемые при моделировании, показаны на рис. 2.

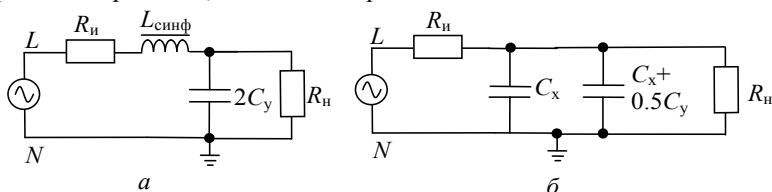


Рис. 2. Эквивалентные схемы: *а* – синфазное включение; *б* – дифференциальное включение

Эффективность помехоподавления фильтра оценена характеристикой вносимого затухания в заданном диапазоне частот. Вносимое затухание фильтра в синфазном включении с различным числом каскадов показано на рис. 3.

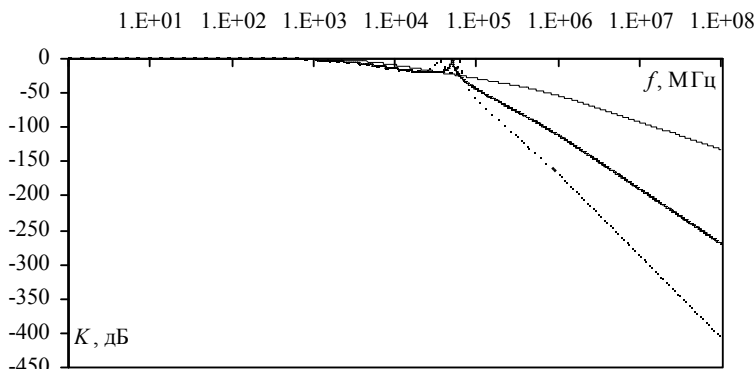


Рис. 3. Вносимое затухание сетевого фильтра в синфазном включении с числом каскадов: 1 (—), 2 (---), 3 (- -)

Видно, что при увеличении числа каскадов фильтра в синфазном включении величина вносимого затухания растет. Так, в случае с одним каскадом на частоте 30 МГц вносимое затухание 111,31 дБ, с двумя каскадами – 228,70 дБ, с тремя – 345,65 дБ. Вносимое затухание

фильтра в дифференциальном включении с различным числом каскадов показано на рис. 4.

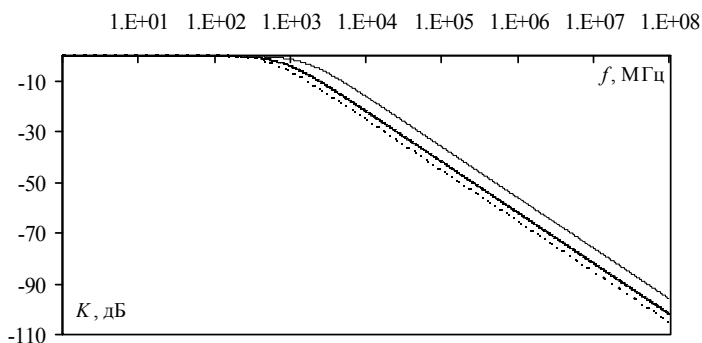


Рис. 4. Вносимое затухание сетевого фильтра в дифференциальном включении с числом каскадов: 1 (—), 2 (---), 3 (-.-)

Видно, что при увеличении числа каскадов фильтра в дифференциальном включении величина вносимого затухания растет. Так, в случае с одним каскадом, на частоте 30 МГц вносимое затухание 85,53 дБ, с двумя каскадами – 91,56 дБ, с тремя каскадами – 95,08 дБ.

Таким образом, исследована эффективность помехоподавления фильтра путем оценки характеристики вносимого затухания в заданном диапазоне частот. Видно, что с ростом частоты и увеличением числа каскадов вносимое затухание растет. Например, в синфазном включении на частоте 30 МГц вносимое затухание однокаскадного сетевого фильтра равно 111,31 дБ, а с двумя каскадами – 228,70 дБ. Крутизна спада характеристики вносимого затухания в синфазном включении с одним каскадом 40 дБ/дек, с двумя каскадами 80 дБ/дек, с тремя каскадами 120 дБ/дек. В дифференциальном включении независимо от числа каскадов крутизна спада характеристики вносимого затухания 20 дБ/дек, а вносимое затухание при увеличении числа каскадов повышается с 85,53 до 95,08 дБ на частоте 30 МГц.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации № МД-365.2018.8.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ланцов В., Эраносян С. Электромагнитная совместимость импульсных источников питания: проблемы и пути их решения. – Ч. 2 // Силовая электроника. – 2007. – № 1. – С. 1–7.
2. Векслер Г.С., Недочетов В.С., Пилинский В.В., Родионова М.В., Темников В.А. Подавление электромагнитных помех в цепях электропитания. – Киев: Техника, 1990. – 167 с.

*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*  
ЧАСТОТНО-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 ПИКОСЕКУНДНОГО ЛОКАТОРА..240

*Ш.В. Куулар, Р.Р. Хажибеков*  
СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА  
ДЛЯ ПИКОСЕКУНДНОГО 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 РАССЕЯНИЕ 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