



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 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*

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.

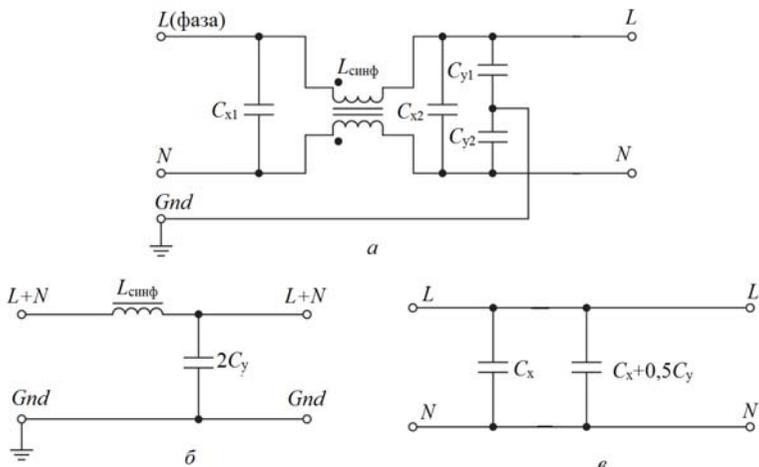


Рис. 1. Схема однофазного фильтра для защиты цепей электропитания от кондуктивных помех: *а* – полная принципиальная схема; *б* – эквивалентная схема в синфазном включении; *в* – эквивалентная схема в дифференциальном включении

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.

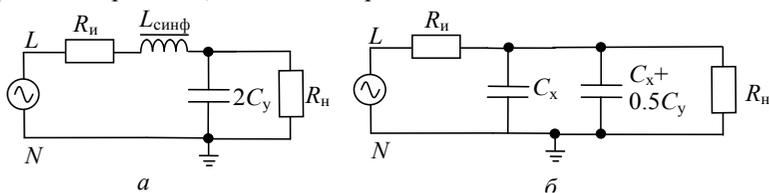


Рис. 2. Эквивалентные схемы: *а* – синфазное включение; *б* – дифференциальное включение

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.

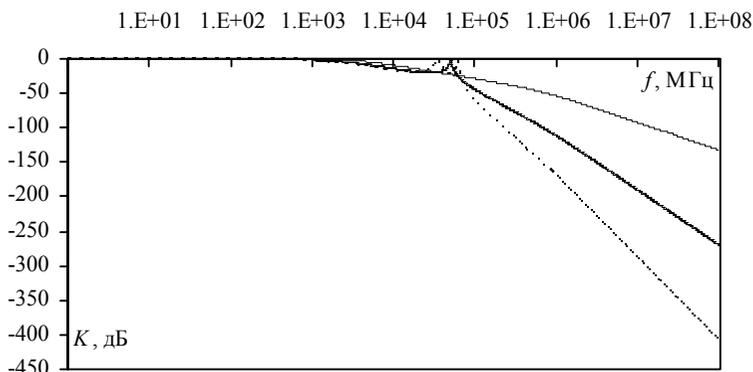


Рис. 3. Вносимое затухание сетевого фильтра в синфазном включении с числом каскадов: 1 (—), 2 (---), 3 (-.-)

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.

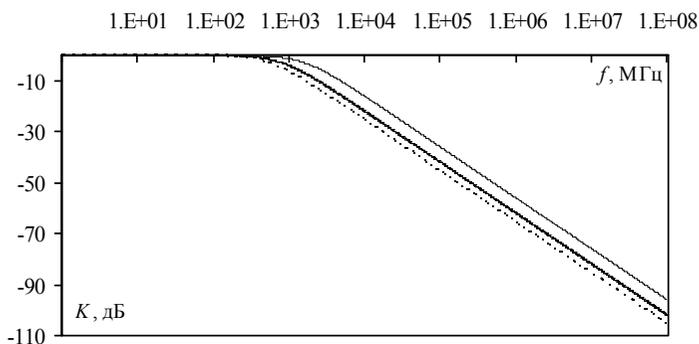


Рис. 4. Вносимое затухание сетевого фильтра в дифференциальном включении с числом каскадов: 1 (—), 2 (- -), 3 (- · -)

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
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 ПИКОВОСЕКУНДНОГО ЛОКАТОРА..240

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

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

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

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