

Международная академия наук высшей школы
Академия наук высшей школы Российской Федерации
Сибирская академия наук высшей школы
Бурятский, Красноярский, Кузбасский, Новосибирский,
Омский, Томский научные центры САН ВШ
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-26-2020)

26-я международная
научно-практическая конференция

24 ноября 2020 г.
г. Томск, Россия

ДОКЛАДЫ
(Материалы конференции)

Томск
Издательство ТУСУРа
2020

УДК 553.3/.9+316.344.3[(571.1/.5)(063)

ББК 20.1+65.04+72(253)

П77

Организационный комитет:

А.А. Шелупанов – президент ТУСУРа (председатель),

Т.Р. Газизов – профессор ТУСУРа (зам. председателя),

Ю.А. Шурыгин, А.М. Кориков, Г.П. Литвинцева,

М.Ю. Катаев, Ю.С. Саркисов

Отв. редактор – Е.В. Прокопчук

Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири
П77 (СИБРЕСУРС-26-2020) : доклады (материалы конференции)
26-й международной научно-практической конференции,
Томск, 24 ноября 2020 г. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та
систем упр. и радиоэлектроники, 2020. – 144 с.

ISBN 978-5-86889-

Представлены материалы, отражающие результаты научной деятельности вузов Сибирского региона по эффективному использованию и развитию территориальных ресурсов в интересах экономики России.

Для ученых, специалистов, преподавателей, инженеров, аспирантов и студентов вузов и научных учреждений как в России, так и за рубежом.

УДК 553.3/.9+316.344.3[(571.1/.5)(063)

ББК 20.1+65.04+72(253)

ISBN 978-5-86889-

© Сибирская академия наук
высшей школы, 2020

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 621.391.825

Н. О. ВЛАСОВА, магистрант каф. ТУ, ТУСУР, Томск
А. О. БЕЛОУСОВ, аспирант каф. ТУ, ТУСУР, Томск

ПОЛНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ СВЕРХКОРОТКОГО ИМПУЛЬСА В ЧЕТЫРЕХПРОВОДНЫХ МОДАЛЬНЫХ ФИЛЬТРАХ С КРУГОВОЙ СИММЕТРИЕЙ

Выполнены имитационное моделирование и оптимизация двух 4-проводных модальных фильтров с круговой симметрией. Достигнуто полное разложение сверхкороткого импульса в двух структурах с максимальным ослаблением в 3,65 раза.

Тенденция роста числа новых радиоэлектронных средств (РЭС) с каждым годом все сильнее обостряет проблему обеспечения электромагнитной совместимости [1]. Отдельного внимания заслуживают кондуктивные помехи, распространяющиеся непосредственно по проводникам. Опасным источником кондуктивных помех является сверхкороткий импульс (СКИ) с высоким уровнем напряжения и субнаносекундным временем нарастания или спада. С целью защиты от СКИ исследованы многопроводные модальные фильтры (МФ) с круговой симметрией [2]. Однако их анализ показал совпадение значений некоторых погонных задержек мод линий, означающее одновременный приход мод к концу активного проводника и, как результат, наложение импульсов. В [3] рассмотрен ряд геометрических моделей (ГМ) поперечного сечения МФ с круговой симметрией. При этом посредством параметрической оптимизации полного разложения удалось достичь лишь в двух из них. Цель данной работы – выявление возможности полного разложения СКИ в других конфигурациях МФ с круговой симметрией [3].

Для моделирования выбраны 4-проводные структуры с круговой симметрией. Потери на данном этапе исследования не учитывались. Поперечные сечения исследуемых структур представлены на рисунке 1, *a*, *б* (центральный проводник – опорный), где ε_{ri} – относительная диэлектрическая проницаемость

диэлектриков; r_i – радиус элемента поперечного сечения. Приняты следующие значения параметров: $r_1 = 0,9$ мм; $r_2 = 1,6$ мм; $r_3 = 3,45$ мм; $r_4 = 0,9$ мм; $\epsilon_{r1} = 1$; $\epsilon_{r2} = 5$; $\epsilon_{r3} = 10$; $\epsilon_{r4} = 5$. Эквивалентные схемы ГМ 1 и ГМ 2 представлены на рисунке 1, в.

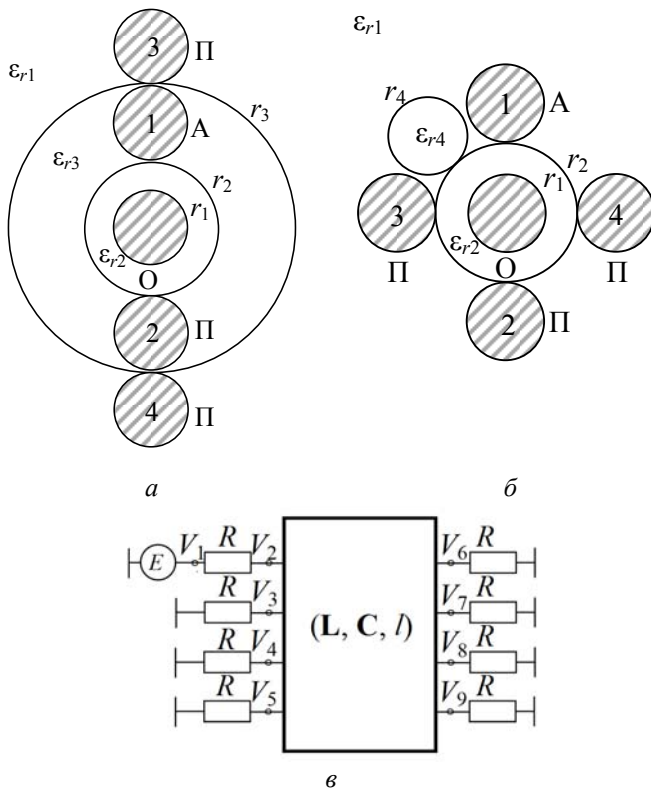


Рисунок 1 – ГМ 1 (а), ГМ 2 (б) до оптимизации и эквивалентная схема МФ (в)

Для вычисления параметров структур и получения форм сигналов использовался программный продукт TALGAT [3]. В качестве входного воздействия использовался источник трапециевидных импульсных сигналов с длительностями фронта, спада и плоской вершины по 50 пс. Таким образом, общая длительность составила 150 пс при амплитуде СКИ 5 В и длине

структур $l = 1$ м. На рисунке 2 представлены формы напряжений на выходе ГМ 1 и ГМ 2 до оптимизации.

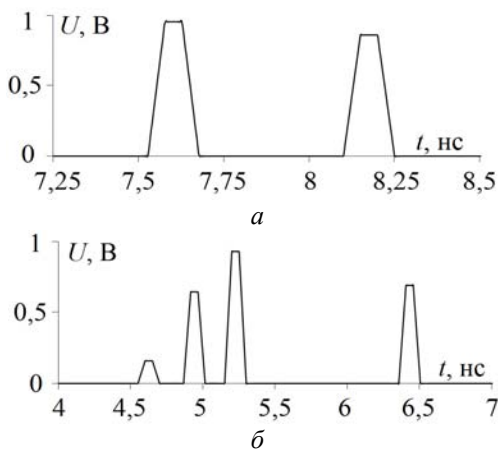


Рисунок 2 – Формы напряжений на выходе МФ с ГМ 1 (а) и ГМ 2 (б)

Из рисунка 2,а видно совпадение некоторых значений погонных задержек (τ_i), означающее одновременный приход мод к концу активного проводника. Вычисленные значения: $\tau_1 = 8,1$ нс/м; $\tau_2 = 7,6$ нс/м; $\tau_3 = 8,1$ нс/м; $\tau_4 = 7,6$ нс/м. Это повлекло за собой увеличение результирующей амплитуды выходного сигнала до 0,96 В. Кроме того, из рисунка 2,б следует, что существует возможность уменьшения максимального выходного напряжения посредством выравнивания амплитуд импульсов разложения.

На рисунке 3 представлены ГМ 1 и ГМ 2 после параметрической оптимизации эвристическим поиском по амплитудному (для минимизации максимального напряжения на выходе МФ) и временному (для увеличения максимальной длительности воздействующего СКИ, который будет разлагаться полностью) критериям. В результате оптимизации ГМ 1 получены следующие значения: $\varepsilon_{r1} = 1$; $\varepsilon_{r2} = 4$; $\varepsilon_{r3} = 3$; $r_1 = 0,1$ мм (опорный проводник); $r_1 = 0,9$ мм (проводники 1, 3 и 4); $r_1 = 0,05$ мм (проводник 2); $r_2 = 1,6$ мм; $r_3 = 3,45$ мм. Для псевдосогласования линии с трактом выбрано сопротивление $R = 80$ Ом. В результате

оптимизации ГМ 2 получены следующие значения: $\epsilon_{r1} = 1$; $\epsilon_{r2} = 35$; $\epsilon_{r4} = 12$; $\epsilon_{r5} = 120$; $r_1 = 1$ мм (опорный проводник); $r_1 = = 0,9$ мм (проводники); $r_4 = 0,9$ мм (диэлектрики); $r_2 = 1,6$ мм. При этом добавлен второй круглый диэлектрик. Для псевдосогласования линии с трактом выбрано сопротивление $R = 28$ Ом. Результаты оптимизации сведены в таблицу 1.

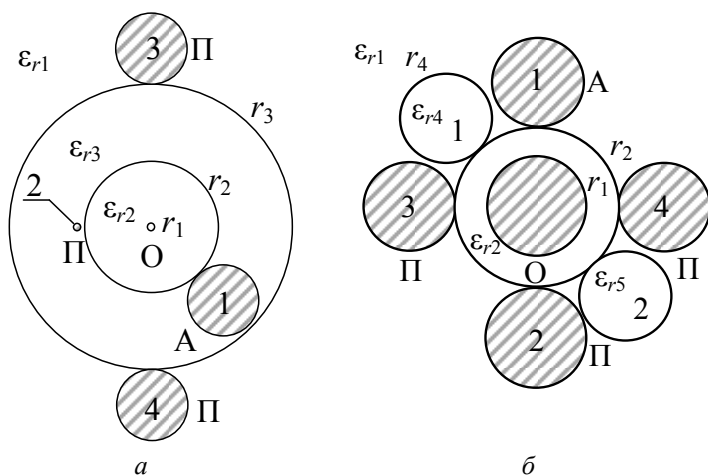


Рисунок 3 – ГМ 1 (а), ГМ 2 (б) после оптимизации

Таблица 1 – Основные характеристики МФ с ГМ 1 и ГМ 2

ГМ	$U_{\text{вх}},$ В	Амплитуды импульсов разложения, В				Разности погонных задержек $\Delta\tau_i$, нс/м		
		U_1	U_2	U_3	U_4	$\Delta\tau_1$	$\Delta\tau_2$	$\Delta\tau_3$
1	2,48	0,06	0,58	0,68	0,69	0,31	0,86	0,58
2	2,48	0,68	0,62	0,61	0,55	0,75	0,03	3,53

Из разностей погонных задержек ($\Delta\tau_i$), представленных в таблице 1, видно, что в данных структурах удалось добиться полного разложения воздействующего импульса. Формы напряжений на выходе МФ с ГМ 1 и ГМ 2 после оптимизации представлены на рисунке 4.

Минимальные значения $\Delta\tau_i$, полученные в результате моделирования ГМ 1 и ГМ 2, составляют 0,31 нс/м и 0,03 нс/м соответственно. Максимальная амплитуда импульсов разложения

равна 0,69 В для МФ с ГМ 1 и 0,68 В для МФ с ГМ 2 (что в 3,6 раза и 3,65 раза меньше амплитуды напряжения на входе).

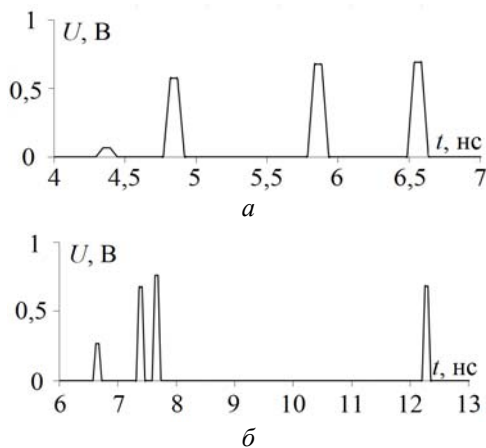


Рисунок 4 – Формы напряжений на выходе МФ с ГМ 1 (а) и ГМ 2 (б) после оптимизации

В результате общая длительность воздействующего СКИ (с учетом частичного наложения спада и фронта соседних импульсов разложения) может быть увеличена с тем же коэффициентом ослабления до 0,474 нс и 0,249 нс для ГМ 1 и ГМ 2 соответственно.

Таким образом, выполнено имитационное моделирование и оптимизация двух 4-проводных МФ с круговой симметрией. В результате при моделировании без учета потерь показана возможность ослабления в 3,6 раза и 3,65 раза с увеличением общей длительности входного СКИ до 0,474 нс и 0,249 нс для ГМ 1 и ГМ 2 соответственно.

При оптимизации основное внимание уделялось установлению разной и индивидуальной связи между активными и пассивными проводниками. За счет этого достигнуто полное разложение воздействующего СКИ во всех структурах. В перспективе целесообразно проведение натурального эксперимента.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-37-90075.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gizatullin, Z. M., Gizatullin, R. M. Investigation of the immunity of computer equipment to the power-line electromagnetic interference // *Journal of Communications Technology and Electronics*. 2016. Vol. 61, No 5. P. 546–550.

2. Белоусов, А. О., Заболоцкий, А. М. Модальное разложение сверхкороткого импульса в многопроводной линии передачи с круговой симметрией // *Материалы 11-й междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления»*. Томск: В-Спектр, 2015. Ч. 2. С. 14–18.

3. Belousov, A. O., Gazizov, T. T. Complete ultrashort pulse decomposition in modal filters with circular symmetry // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 862, No 5. P. 1–7. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/862/5/052050/pdf>. DOI: 10.1088/1757-899X/862/5/052050.

N. O. Vlasova, A. O. Belousov

Complete decomposition of an ultrashort pulse in four-conductor modal filters with circular symmetry

Simulation and optimization of two multiconductor modal filters with circular symmetry have been performed. Achieved complete decomposition of the ultrashort pulse in two structures with a maximum attenuation of 3.65 times.

ostrolistaya97@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Бакайтис В. И.</i> ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ СИБИРИ	5
<i>Московченко А. Д.</i> АТОМНАЯ И ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ АВТОТРОФНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О МИРЕ	10
<i>Трубченинова И. А.</i> ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА КАЧЕСТВО ОБРАЗОВАНИЯ СТУДЕНТОВ ОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ	17

СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

Секция 1. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

<i>Алланина Л. М.</i> АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РОССИЙСКОЙ СИСТЕМЫ ПРАВА	23
<i>Жабина Н. А., Михалеико Б. А., Чихирева В. В.</i> ОСОБЕННОСТИ МЕЖПОПУЛЯЦИОННЫХ РИЗОСФЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В СИСТЕМЕ «РАСТЕНИЯ – ДОЖДЕВЫЕ ЧЕРВИ – МИКРООРГАНИЗМЫ»	26
<i>Картопольцев В. М., Сипкин В. В., Картопольцев А. В.</i> СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ – ЗАЛОГ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ СВАРНЫХ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ	30
<i>Катаев М. Ю., Bulysheva L. A., ЛОСЕВА Н. В., LI DA XU</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ИСПОЛНЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ	35
<i>Катаев М. Ю., Bulyshev A. E.</i> ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ	44
<i>Колева Г. Ю.</i> ВЫЖИВАНИЕ КАК ПОИСК ТВОРЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ	52
<i>Марков Н. Г., Маслов К. А., Токарева О. С.</i> СЕМАНТИЧЕСКАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ КРОН ДЕРЕВЬЕВ ПИХТЫ НА СНИМКАХ С БПЛА	56

<i>Мицель А. А., Алимханова А. Н.</i> ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ	61
<i>Саркисов Ю. С., Горленко Н. П.</i> ХИМИЯ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ	65
<i>Селезнева Е. В., Геращенко А. А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В АГРАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	69
<i>Солдаткин В. С., Михальченко Т. С., Шардина А. О., Юлдашова Л.Ш.</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ НА ОСНОВЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ ДИОДОВ	73
<i>Солдаткин В. С., Шнайдер Е. В., Стасенко Ю. И.</i> СВЕТСИГНАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РЕЧНОГО И МОРСКОГО ФЛОТА РФ С ФУНКЦИЕЙ РЕТРАНСЛЯЦИИ СИГНАЛОВ ДЛЯ СЕТИ ИНТЕРНЕТ	77
<i>Орлова В. В., Лобода Ю. О., Кочетков О. В., Глухарева С. В., Ноздреватых Д. О., Рекундаль О. И., Пикалова Л. Р.</i> МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВУЗА С ПРЕДПРИЯТИЯМИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТИ	81
Секция 2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ	
<i>Иноземцев М. А.</i> ОБЗОР МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ АНТЕННЫХ УСТРОЙСТВ ГЕОРАДАРОВ	87
<i>Варзин Е. С., Суровцев Р. С., Носов А. В.</i> УМЕНЬШЕНИЕ ГАБАРИТОВ ЗАЩИТНОЙ МЕАНДРОВОЙ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ	91
<i>Власова Н. О., Белоусов А. О.</i> ПОЛНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ СВЕРХКОРОТКОГО ИМПУЛЬСА В ЧЕТЫРЕХПРОВОДНЫХ МОДАЛЬНЫХ ФИЛЬТРАХ С КРУГОВОЙ СИММЕТРИЕЙ	97
<i>Квасников А. А., Куксенко С. П.</i> ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ СЛАУ ПРИ АНАЛИЗЕ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ МЕТОДОМ МОМЕНТОВ	103
<i>Клюкин Д. В., Куксенко С. П.</i> ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОГОННЫХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОПРОВОДНЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	107

<i>Максимов А. Е., Куксенко С. П.</i> АДАПТИВНЫЙ ИТЕРАЦИОННЫЙ ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ПРИ РЕШЕНИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ МЕТОДОМ МОМЕНТОВ	112
<i>Ромашов И. П., Медведев А. В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРЯДКА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ЦЕПЕЙ ПОСЛЕ ОТКАЗОВ ТИПОВОЙ СТРУКТУРЫ С ТРЕХКРАТНЫМ МОДАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ	117
<i>Сагиева И. Е.</i> МИКРОПОЛОСКОВАЯ ЛИНИЯ С ЗАЗЕМЛЕННЫМ ПРОВОДНИКОМ СВЕРХУ, ЗАЩИЩАЮЩАЯ ОТ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ	123
<i>Самойличенко М. А.</i> ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ АКТИВНОГО И ПАССИВНОГО ПРОВОДНИКОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИММЕТРИЧНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА С ПАССИВНЫМ ПРОВОДНИКОМ В ВЫРЕЗЕ ОПОРНОЙ ПЛОСКОСТИ ...	127
<i>Хасан А. Алхадж, Газизов Т. Р.</i> ВЛИЯНИЕ СЕГМЕНТАЦИИ И СОГЛАСОВАНИЯ НА ТОК В СВЯЗАННЫХ ПРОВОДАХ	134

Научное издание
ПРИРОДНЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ СИБИРИ
(СИБРЕСУРС-26-2020)

26-я международная научно-практическая конференция
24 ноября 2020 г., г. Томск, Россия

ДОКЛАДЫ

Подписано в печать 00.12.2020. Формат 60x84/16.
Усл. печ. л. 8,14. Тираж 80 экз. Заказ 000.

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники.
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40.
Тел. (3822) 533018.