

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

XIV Международная научно-практическая конференция

ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

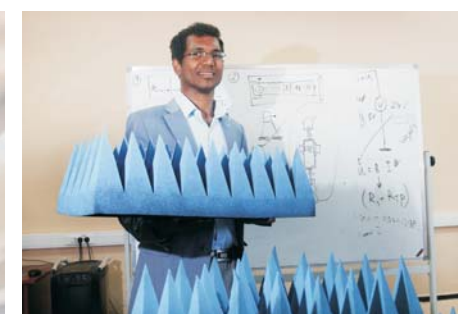
Материалы докладов

г. Томск

28–30 ноября 2018 г.

В двух частях

ЧАСТЬ 1



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

XIV Международная научно-практическая конференция

28–30 ноября 2018 г.

Материалы докладов

В двух частях

Часть 1

В-Спектр
Томск – 2018

УДК 621.37/39 + 681.3
ББК (Ж/О) 32.84.85.965
Э 45

Э 45 **Электронные средства и системы управления:** материалы докладов XIV Международной научно-практической конференции (28–30 ноября 2018 г.): в 2 ч. – Ч. 1. – Томск: В-Спектр, 2018. – 348 с.
ISBN 978-5-91191-401-1
ISBN 978-5-91191-402-8 (Ч. 1)
ISBN 978-5-91191-403-5 (Ч. 2)

Сборник содержит материалы докладов, представленных на XIV Международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления» (Томск, 28–30 ноября 2018 г.), по следующим направлениям: радиотехнические и телекоммуникационные системы; наноэлектроника СВЧ; нанотехнологии в электронике; антенны и микроволновые устройства СВЧ; нелинейная оптика; интеллектуальная силовая электроника и преобразовательная техника; плазменная электроника; биомедицинская электроника; автоматизация и оптимизация систем управления и обработка информации; интеллектуальные системы проектирования, автоматизация проектирования электронных устройств и систем; информационная безопасность; информационные технологии в управлении и принятии решений; информационные технологии в обучении; инновации в сфере электроники и управления; оптоэлектроника и фотоника; видеоинформационные технологии и цифровое телевидение.

Для студентов, преподавателей и специалистов, интересующихся проблемами систем управления.

УДК 621.37/39 + 681.3
ББК (Ж/О) 32.84.85.965

*Конференция проводится при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ).
Проект № 18-07-20094*

*Часть статей секций 2–22 направлена для публикации
в журнале «Доклады ТУСУРа»*

ISBN 978-5-91191-401-1
ISBN 978-5-91191-402-8 (Ч. 1)

© ТУСУР, 2018
© Коллектив авторов, 2018

СПОНСОР КОНФЕРЕНЦИИ – ООО «КЕЙСАЙТ ТЕКНОЛОДЖИЗ»



ООО «Кейсайт Текнолоджиз»
Россия, 115054, г. Москва,
Космодамианская наб., 52, стр. 3.

Тел.: 495 797 39 00
Факс: 495 797 39 02
www.keysight.ru

Keysight Technologies – мировой технологический лидер на рынке контрольно-измерительных решений для электронной, оборонной, аэрокосмической и телекоммуникационной промышленности.

Как самостоятельная компания Keysight Technologies была образована в 2014 г. в результате стратегического разделения компании Agilent Technologies, которая, в свою очередь, до 1999 г. входила в корпорацию Hewlett-Packard. Первый измерительный прибор под маркой Hewlett-Packard был выпущен более 75 лет назад.

В настоящий момент компания Keysight Technologies предоставляет самый широкий на рынке спектр лабораторных, модульных и портативных контрольно-измерительных приборов, в том числе оборудование для радиоизмерений (генераторы сигналов, анализаторы сигналов, анализаторы цепей), осциллографы и приборы общего назначения (мультиметры, источники питания, генераторы импульсов, системы сбора данных, логические анализаторы, ручные приборы), решения для тестирования телекоммуникаций, а также системы автоматизированного проектирования и моделирования электронных устройств.

В России приборы Keysight Technologies, ранее производимые под маркой Hewlett-Packard / Agilent, используются уже более 45 лет и по праву считаются наиболее точным и надежным контрольно-измерительным оборудованием на рынке.

Российский офис компании Keysight Technologies предлагает своим клиентам локальную техническую и сервисную поддержку, техническую документацию на русском языке. Для серий малогабаритных осциллографов, генераторов сигналов и анализаторов спектра разработаны русскоязычные интерфейсы пользователя. На большинство приборов есть сертификаты об утверждении типа средств измерений. На постоянной основе ведется работа по включению в Госреестр новых приборов Keysight Technologies.

Среди крупнейших заказчиков Keysight Technologies в России ведущие научно-исследовательские институты, конструкторские бюро, вузы, крупнейшие операторы связи.

В 2012 г. компания Keysight Technologies открыла два дополнительных региональных офиса в России – в Приволжском и Сибирском федеральных округах. В 2013 г. дополнительный офис открыт в Ростове-на-Дону, в 2014 г. – в Санкт-Петербурге.

Информация о компании Keysight Technologies доступна в сети Интернет по адресу: www.keysight.ru

*Генеральный директор ООО «Кейсайт Текнолоджиз»
Смирнова Галина Владимировна*

СПОНСОР КОНФЕРЕНЦИИ – ООО «ЛЕКРОЙ РУС»



ООО «ЛеКрой РУС»
119071, г. Москва, 2-й Донской
проезд, д. 10, стр. 4, 2-й этаж

Тел.: 495 777-5591
Факс: 495 640-3023
<https://prist.ru/>

Компания «ПриСТ» основана в 1994 г. Сегодня АО «ПриСТ» один из крупнейших российских поставщиков приборов для электроизмерений, радиоизмерений и измерений параметров окружающей среды (<https://prist.ru/>).

В компании работает более 80 высококвалифицированных сотрудников, открыты представительства в Санкт-Петербурге и Екатеринбурге, имеется дилерская сеть по всей территории России, дилеры в Белоруссии и Казахстане.

Основные виды деятельности:

- Поставки измерительного оборудования.
- Технические консультации по подбору средств измерения и вариантам замен приборов, снятых с производства или морально устаревших.
- Услуги по поверке и калибровке СИ.
- Услуги по техническому обслуживанию СИ, включая закрытую калибровку.
- Услуги автоматизации процессов поверки и калибровки.
- Испытания для целей утверждения типа СИ.
- Сервисная поддержка, гарантийное и послегарантийное обслуживание.
- Предоставление СИ в арендное пользование.

Компания «ПриСТ» является эксклюзивным поставщиком на территории России и СНГ продукции таких компаний, как APPA, Center, Good Will Instrument, SEW, Tabor Electronics, Teledyne LeCroy и Wayne Kerr Electronics. Дистрибьюторские и партнерские соглашения связывают компанию со всемирно известными производителями: Anritsu, Fluke, Keysight, National Instruments, Rohde&Schwarz, Pendulum, Spectracom, TDK-Lambda, Pico Technology.

С 2004 г. АО «ПриСТ» представляет на российском рынке компанию LeCroy (с 2012 г. Teledyne LeCroy) – одного из мировых лидеров в разработке и производстве цифровых осциллографов. Осциллографы высочайшего класса помогают инженерам-конструкторам и учёным осуществлять наблюдение, измерение и анализ сигналов в электронных цепях и трактах различных устройств. Компания «Teledyne LeCroy» является одним из технологических лидеров на рынке цифровых осциллографов. Это подтверждают ее достижения, например, в 2013 г. компания представила многоканальную систему с полосой пропускания 100 ГГц в режиме реального времени. В том же 2013 г. были представлены осциллографы высокого разрешения (HDO) с 12-битным АЦП и полосой пропускания 1 ГГц. Семейство осциллографов HDO существенно изменило представление о точности измерений, доступной цифровым осциллографам. 2018 год ознаменовался выходом новой серии осциллографов высокого разрешения WavePro HDR, которая обеспечивает теперь высокоточные измерения в полосе до 8 ГГц. Кроме цифровых осциллографов, компания «Teledyne LeCroy» выпускает анализаторы протоколов. Это широкий класс приборов для тестирования устройств передачи данных как на физическом, так и на логическом уровне. В этой области «Teledyne LeCroy» также занимает лидирующие позиции и предоставляет решения для всех современных протоколов передачи последовательных данных (<http://lecroy-rus.ru/>).



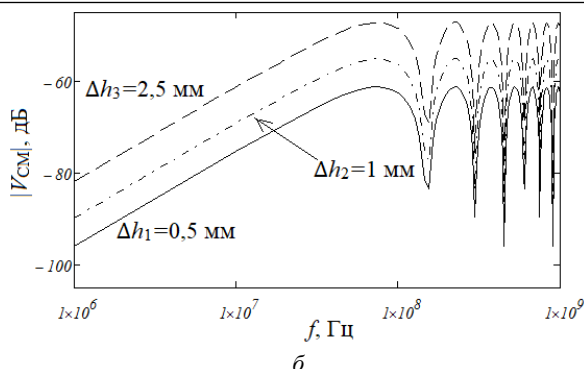


Рис. 3. (окончание). Частотные зависимости СМ на конце ДЛ из [1] (а) и по разработанному алгоритму (б) для $\Delta h = 2,5$ (пунктирные кривые), $\Delta h = 1$ (пунктирно-точечные кривые), $\Delta h = 0,5$ (сплошные кривые) мм

Аналогичные сравнения выполнены и для СМ (рис. 3). Как видно, отличаются минимальные значения напряжений в диапазоне частот от 10^7 до 10^9 Гц. Такое различие объясним разными вычислительными погрешностями при получении малых значений.

Таким образом, полученный алгоритм целесообразно реализовать в программных продуктах, таких как система TALGAT, для оценки влияния разбалансировки в ДЛ с меньшими вычислительными затратами.

Литература

1. Grassi F. Effects of undesired asymmetries and non-uniformities in differential lines / F. Grassi, P. Manfredi, X. Liu et al. // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – October 2017. – Vol. 59, No. 5. – P. 1613–1624.
2. Болатова Л.К. Разработка алгоритма и программы для квазистатического анализа согласованной дифференциальной линии в воздухе // 23-я Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2018». Томск, 16–18 мая 2018 г. – Т. 2. – С. 238–240.

Болатова Ляйла Кайратовна
Магистрант каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: lai_95@bk.ru

УДК 621.391.825

Е.Б. Черникова, А.О. Белоусов

Особенности модальных фильтров на основе зеркально-симметричных структур

Выполнен анализ двух-, четырех- и шестипроводных зеркально-симметричных структур. Представлены особенности структур с зеркальной симметрией, характеризующие их геометрию и свойства.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, сверхкороткий импульс, модальный фильтр, зеркальная симметрия.

В настоящее время наблюдается массовое внедрение радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) практически во все отрасли жизнедеятельности человека. Как результат возникает необходимость решения задачи защиты РЭА от электромагнитных помех. Для защиты РЭА от сверхкороткого импульса (СКИ) предложена технология модальной фильтрации, основанная на явлении модального разложения импульса на импульсы меньшей амплитуды [1].

Предложен новый подход к совершенствованию модальной фильтрации за счет зеркально-симметричного модального фильтра (МФ) [2]. Рассмотрена четырехпроводная зеркально-симметричная структура. Выполнена ее оптимизация по трем критериям для сигнала на выходе [3]. Также проведен вычислительный эксперимент для подтверждения достоверности результатов, а именно проведено сравнение квазистатического и электродинамического анализа зеркально-симметричного МФ при воздействии СКИ, без учета и с учетом потерь в проводниках и диэлектриках [4].

Однако необходимо более детально исследовать свойства модальных фильтров на основе зеркально-симметричных структур. Таким образом, цель данной работы – выполнить такое исследование.

Поперечные сечения зеркально-симметричных структур

Зеркальная симметрия – это отображение пространства на себя, при котором любая точка переходит в симметричную ей точку относительно плоскости. Зеркально симметричным считается объект, состоящий из двух половинок, которые являются зеркальными двойниками по отношению друг к другу [5].

Из данного определения ясно, что зеркально-симметричной структурой можно называть структуру, в которой: проводники и диэлектрики зеркально повторяют друг друга; в зеркально-симметричной структуре проводники находятся на одинаковом расстоянии в одной плоскости относительно оси симметрии; количество проводников (помимо опорного) является четным и одинаковым по количеству относительно земли.

Согласно данным утверждениям для исследования были выбраны е поперечные сечения, как на рис. 1, а–г.

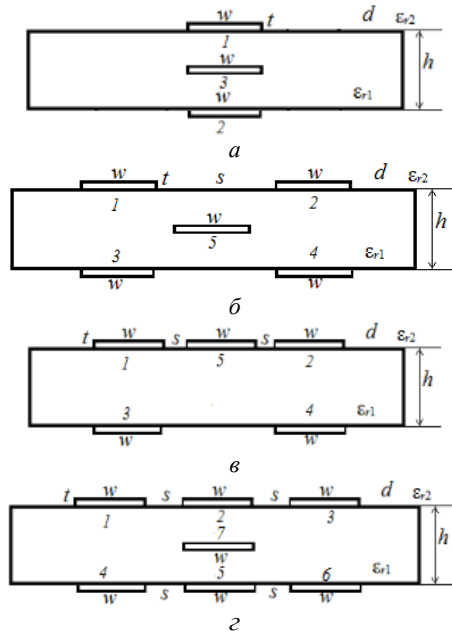


Рис. 1. Поперечное сечение двухпроводной (а), четырехпроводных (б, в), шестипроводной (г) зеркально-симметричных структур

Анализ зеркально-симметричных структур

Для определения особенностей целесообразно провести моделирование. Вычисление параметров линий и форм сигнала выполнялось в системе TALGAT [6]. Значения резисторов взяты равными 50 Ом. Длина линии $l = 1$ м. Потери в диэлектриках и проводниках не учитывались. Источник импульсных сигналов представлен идеальным источником ЭДС с общей длительностью воздействующего импульса $t_2 = 150$ пс и амплитудой 5 В. Принципиальные электрические схемы зеркально-симметричных МФ представлены на рис. 2, а форма напряжения на входе согласованного МФ – на рис. 3.

Структура 1 представляет собой двухпроводную зеркально-симметричную линию передачи, опорный проводник находится внутри диэлектрика и является третьим по счету (см. рис. 1, а). Параметры структуры: $w = 1200$ мкм, $h = 500$ мкм, $t = 18$ мкм, $\epsilon_r = 4,5$.

Вычислены матрицы погонных коэффициентов электростатической (С) и электромагнитной (L) индукций, где $C_{11} = C_{22}$, $C_{12} = C_{21}$, $L_{11} = L_{22}$, $L_{12} = L_{21}$. На их основе получена матрица модальных напряжений. Видно (1), что значения напряжений мод в проводниках равны по модулю:

$$S_v = \begin{bmatrix} -0,707 & -0,707 \\ 0,707 & -0,707 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Форма сигнала на выходе структуры представлена на рис. 4, а. Значения амплитуд импульсов разложения в конце активного проводника одинаковы и равны 1,25 В, что в 2 раза меньше, чем амплитуда входного импульса. Временной интервал между импульсами равен $\Delta t = 0,72$ нс/м.

Структура 2 представляет собой четырехпроводный зеркально-симметричный МФ, где первый проводник является активным, а пятый – опорным.

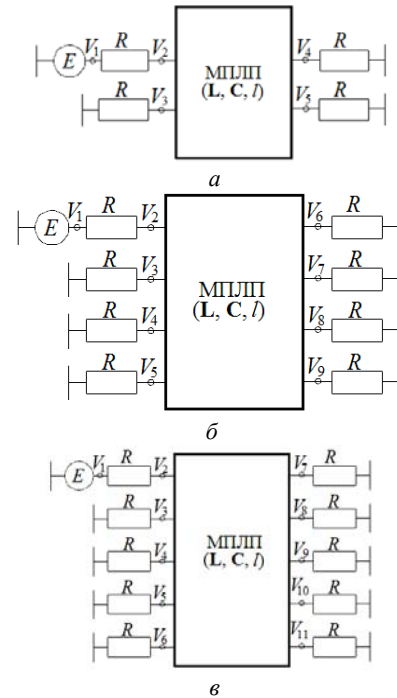


Рис. 2. Принципиальные электрические схемы для моделирования двух- (а), четырех- (б) и шестипроводных (в) зеркально-симметричных структур

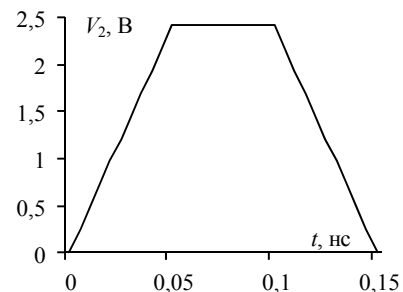


Рис. 3. Форма напряжения на входе согласованного МФ

Поперечное сечение исследуемой структуры представлено на рис. 1, б. Параметры моделирования: $s = 510$ мкм, $w = 1600$ мкм, $t = 18$ мкм и $h = 500$ мкм, относительная диэлектрическая проницаемость равна $\epsilon_r = 4,5$. Данные параметры являются оптимизированными по критерию: выравнивание временных интервалов между импульсами разложения, минимизация максимальной амплитуды на выходе активной линии и согласование с трактом 50 Ом [3].

Элементы матрицы С равны между собой следующим образом: $C_{11} = C_{22} = C_{33} = C_{44}$, $C_{12} = C_{21} = C_{34} = C_{43}$, $C_{13} = C_{24} = C_{31} = C_{42}$, $C_{14} = C_{23} = C_{32} = C_{41}$. Те же элементы равны и в матрице L.

В [7] данная особенность использовалась для сокращения аналитических выражений для вычисления погонных задержек мод.

Матрица модальных напряжений имеет вид

$$S_v = \begin{bmatrix} 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 \\ 0,5 & -0,5 & -0,5 & 0,5 \\ 0,5 & 0,5 & -0,5 & -0,5 \\ 0,5 & -0,5 & 0,5 & -0,5 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Из (2) видно, что значения напряжений мод в проводниках равны по модулю.

На рис. 4, б представлены результаты моделирования структуры. Напряжения импульсов на выходе активной линии: $U_1 = 0,625$ В, $U_2 = 0,593$ В, $U_3 = 0,616$ В, $U_4 = 0,574$ В, разница между погонными задержками мод составляет $\Delta t_1 = 0,49$ нс/м, $\Delta t_2 = 0,49$ нс/м, $\Delta t_3 = 0,49$ нс/м. Максимальный уровень напряжения в конце активного проводника 0,625 В, что в 4 раза меньше входного сигнала.

Структура 3 представляет собой четырехпроводный зеркально-симметричный модальный фильтр, где первый проводник является активным, а пятый – опорным и находится на диэлектрике. Данная зеркальная симметрия является вертикальной относительно опорного проводника (см. рис. 1, в). Параметры моделирования: $s = 400$ мкм, $w = 300$ мкм, $t = 18$ мкм и $h = 650$ мкм, $\epsilon_r = 4,5$.

Элементы матрицы **C**: $C_{11} = C_{22}$, $C_{33} = C_{44}$, $C_{12} = C_{21}$, $C_{34} = C_{43}$, $C_{13} = C_{24}$, $C_{31} = C_{42}$, $C_{14} = C_{23}$, $C_{32} = C_{41}$. Те же элементы равны и в матрице **L**. На их основе получена матрица модальных напряжений.

$$S_v = \begin{bmatrix} -0,5 & -0,502 & -0,433 & 0,497 \\ 0,5 & -0,502 & -0,433 & -0,497 \\ -0,499 & 0,497 & 0,558 & -0,502 \\ 0,499 & -0,497 & 0,558 & 0,502 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Из (3) видно, что значения напряжений мод в проводниках попарно равны по модулю.

На рис. 4, в представлены результаты моделирования структуры. Напряжения импульсов на выходе активной линии: $U_1 = 0,366$ В, $U_2 = 0,246$ В, $U_3 = 0,162$ В, разница между погонными задержками мод составляет $\Delta t_1 = 0,563$ нс/м, $\Delta t_2 = 1,485$ нс/м, $\Delta t_3 = 0,034$ нс/м.

Максимальный уровень напряжения в конце активного проводника 0,162 В, что в 2,15 раза меньше входного сигнала. Параметры моделирования не являются оптимизированными, поэтому на рис. 4, в видно наложение третьего и четвертого импульсов друг на друга. Оптимизация данной структуры может привести не только к разнесению импульсов, но и к выравниванию временных интервалов между ними.

Структура 4 представляет собой шестипроводную линию передачи, где активный первый проводник, а опорный – седьмой. Параметры структуры: $s = 300$ мкм, $w = 2000$ мкм, $h = 500$ мкм, $t = 18$ мкм, $\epsilon_r = 4,5$. Поперечное сечение представлено на рис. 1, г. Вычислены матрицы **C** и **L**, где элементы матрицы **C**: $C_{11} = C_{33} = C_{44} = C_{66}$, $C_{12} = C_{32} = C_{45} = C_{65}$, $C_{13} = C_{31} = C_{46} = C_{64}$, $C_{14} = C_{36} = C_{41} = C_{63}$, $C_{15} = C_{35} = C_{42} = C_{62}$, $C_{16} = C_{35} = C_{43} = C_{61}$, $C_{21} = C_{23} = C_{54} = C_{56}$, $C_{22} = C_{55}$, $C_{24} = C_{26} = C_{51} = C_{53}$, $C_{25} = C_{52}$. Те же элементы равны и в матрице **L**.

Матрица модальных напряжений шестипроводного зеркально-симметричного МФ имеет вид

$$S_v = \begin{bmatrix} 0,417 & 0,369 & 0,499 & 0,5 & -0,343 & 0,49 \\ 0,388 & 0,475 & 2,147 & 1,868 & 0,513 & -0,139 \\ 0,417 & 0,369 & -0,499 & -0,5 & -0,343 & 0,49 \\ 0,417 & -0,369 & -0,5 & 0,5 & 0,343 & 0,49 \\ 0,388 & -0,475 & -2,12 & 2,075 & -0,513 & -0,139 \\ 0,417 & -0,369 & 0,5 & -0,5 & 0,343 & 0,49 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

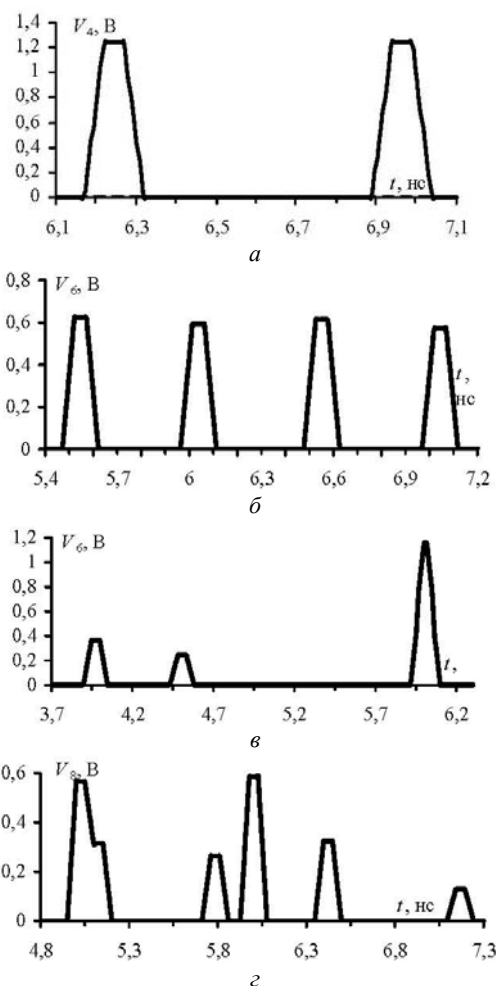


Рис. 4. Формы сигналов выходе структуры 1 (а); 2 (б); 3 (в) и 4 (г)

На рис. 4, г представлена форма сигнала на выходе структуры. Напряжения импульсов в конце активного проводника: $U_1 = 0,56$ В, $U_2 = 0,31$ В, $U_3 = 0,26$ В, $U_4 = 0,59$ В, $U_5 = 0,32$ В, $U_6 = 0,13$ В, разница между погонными задержками мод составляет $\Delta t_1 = 0,11$ нс/м, $\Delta t_2 = 0,65$ нс/м, $\Delta t_3 = 0,22$ нс/м, $\Delta t_4 = 0,42$ нс/м, $\Delta t_5 = 0,75$ нс/м. Максимальный уровень напряжения в конце активного проводника 0,59 В, что в 4,23 раза меньше входного сигнала. Из рис. 4, г видно наложение импульсов разложения, что привело к росту максимальной амплитуды. Этого можно избежать, используя оптимизацию данной структуры, в таком случае после увеличения временных интервалов между импульсами одновременно с этим уменьшится максимальная амплитуда на выходе линии.

Таким образом, на основании выполненного моделирования можно выделить несколько особенностей зеркально-симметричных структур.

1. В зеркально-симметричном МФ диагональные и взаимные элементы матриц L и C одинаковы в зависимости от расположения проводников относительно земли. Эту особенность можно использовать для расчета погонных задержек мод с помощью аналитических выражений в сокращенном виде.

2. Значения матрицы модальных напряжений в проводниках четырехпроводного МФ равны по модулю. Выявлено, что изменения параметров структуры изменяют значения погонных задержек, но не влияют на элементы матрицы модальных напряжений S_{ν} .

3. Обеспечение одновременно лицевой и торцевой связи в зеркально-симметричном МФ позволяет получить выравненные интервалы между импульсами разложения.

Заключение

В результате моделирования двухпроводной, четырехпроводной и шестипроводных линий передач выявлены особенности зеркально-симметричных МФ, что позволяет определить свойства, которыми обладают зеркально-симметричные структуры, и использовать их для оптимизации и получения требуемых характеристик фильтра.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации МД 365.2018.8.

Литература

1. Заболоцкий А.М. Теоретические основы модальной фильтрации / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов // Техника радиосвязи. – 2014. – № 3. – С. 79–83.

2. Заболоцкий А.М. Использование зеркальной симметрии для совершенствования модальной фильтрации // Томск: Изд-во ТУСУРа, 2015. – С. 41–44.

3. Белоусов А.О. Трехкритериальная оптимизация как ресурс для совершенствования зеркально-симметричного модального фильтра / А.О. Белоусов, Е.Б. Черникова, А.М. Заболоцкий // Матер. 23-й Междунар. науч.-практ. конф. «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (Сибресурс-23–2017)». – г. Томск, 24 ноября 2017. – С. 150–154.

4. Черникова Е.Б. Моделирование и разработка макета зеркально-симметричного модального фильтра / Е.Б. Черникова, А.О. Белоусов, А.М. Заболоцкий // Матер. 13-й Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления», посвященной 55-летию ТУСУРа. – г. Томск, 29 ноября – 1 декабря 2017 г. – С. 5–7.

5. Вейль Г. Симметрия. – М.: Изд-во ЛКИ, 2007. – 3-е изд. – 192 с.

6. 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.

7. Черникова Е.Б. Аналитические выражения для вычисления погонных задержек мод зеркально-симметричного модального фильтра / Е.Б. Черникова, А.О. Белоусов // Матер. Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2018». – г. Томск, 10–12 мая 2017. – С. 240–243.

Черникова Евгения Борисовна
Магистрант каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: chernikova96@mail.ru

Белоусов Антон Олегович
Аспирант каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: ant1lafleur@gmail.com

УДК 621.372.8

А.В. Демаков

Обзор коаксиальных камер для измерения эффективности экранирования композитных материалов

Представлен обзор коаксиальных камер для проведения измерений эффективности экранирования (ЭЭ) композитных материалов. Рассмотрены варианты исполнения конструкций коаксиальных камер с разрывным и неразрывным центральным проводником. Представлены аналитические выражения для расчета оптимальных геометрических параметров проводников и приведены варианты обеспечения согласования конструкции камеры. Описаны принцип и методики проведения измерений ЭЭ согласно стандартам ASTM ES-7 и ASTM-D4935.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, коаксиальная камера, экранирование, композитные материалы.

Одним из конструкторских средств обеспечения ЭМС является электромагнитное экранирование, обеспечивающее защиту узлов и блоков радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) от излучаемых помех [1]. Традиционно электромагнитные экраны выполняются из стали, меди, алюминия и других металлов, что оказывает влияние на массу РЭА в целом и является критичным для космического и авиационного приборостроения [2]. В настоящее время активно

исследуются электромагнитные экраны из композитных материалов, измерение эффективности экранирования (ЭЭ) которых выполняют с использованием различных методов и устройств. Так, известен метод антенных измерений [3], согласно которому ЭЭ материала определяется через количественную меру затухания электромагнитной волны (ЭМВ), распространяющейся через плоский экран из исследуемого материала, расположенного между прием-