

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский федеральный университет

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Сборник научных трудов

Электронное издание

Научный редактор А. И. Громыко

Красноярск
СФУ
2017

УДК 621.37/.39(066)
ББК 32я43
С568

Редакционная коллегия:

А. И. Громыко – д-р техн. наук, проф. (науч. ред.); А. А. Левицкий – канд. физ.-мат. наук, доц. (отв. за вып.); В. В. Воног – канд. культурологии, доц.; А. В. Гребенников – канд. техн. наук; Ф. В. Зандер – канд. техн. наук, доц.; Ф. Г. Зограф – канд. техн. наук; Е. В. Кузьмин – канд. техн. наук, доц.; К. В. Лемберг – канд. физ.-мат. наук; В. В. Сухотин – канд. техн. наук, доц.; С. И. Трегубов – доц.; П. П. Турчин – канд. физ.-мат. наук, доц.; С. А. Рябушкин; Д. Ю. Черников – канд. техн. наук, доц.

Ответственный за выпуск: Левицкий Алексей Александрович

С568 Современные проблемы радиоэлектроники : сб. науч. тр. [Электронный ресурс] / науч. ред. А. И. Громыко ; отв. за вып. А. А. Левицкий. – Электрон. дан. (31,5 Мб). – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2017. – 1 электрон. опт. диск. – Систем. требования : PC не ниже класса Pentium I ; 128 Mb Ram ; Windows 98/XP/7 ; Adobe Reader v 8.0 и выше. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-7638-3646-2

Представлены научные труды участников ежегодной Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и студентов, посвященной 122-й годовщине Дня радио, состоявшейся в г. Красноярске 4–5 мая 2017 г.

Отражены разработки в области радиотехники и радиоэлектроники по направлениям: радиотехнические системы; радионавигация; СВЧ-технологии, антенны и устройства; информационные спутниковые системы и технологии; полупроводниковая электроника и наноэлектроника; конструирование и технология электронных средств; приборостроение; телекоммуникации и интеллектуальные сети; функциональные материалы микро- и наноэлектроники.

Предназначен для научных работников, аспирантов и студентов, обучающихся по направлениям и специальностям радиотехнического профиля.

УДК 621.37/.39(066)
ББК 32я43

© Институт инженерной физики
и радиоэлектроники СФУ, 2017

© Сибирский федеральный
университет, 2017

ISBN 978-5-7638-3646-2

Электронное научное издание

Печатается в авторской редакции
Компьютерная верстка *Т. М. Бовкун*

Подписано в свет 10.04.2017. Объем: 31,5 Мб. Заказ 974
Тиражируется на машиночитаемых носителях

Библиотечно-издательский комплекс Сибирского федерального университета
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82а. Тел/факс (391) 206-26-67.
E-mail: publishing_house@sfu-kras.ru; <http://bik.sfu-kras.ru>

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНЫХ ПОЛОСКОВЫХ МОДАЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ ПО ДВУМ КРИТЕРИЯМ

Е. Б. Черникова, А. О. Белоусов, А. М. Заболоцкий (научный руководитель)

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
634000, г. Томск, ул. Вершинина, 47
E-mail: chernikova96@mail.ru

Рассматривается параметрическая оптимизация эвристическим поиском. Выполнена оптимизация четырех зеркально-симметричных полосковых структур модальных фильтров (МФ). Оптимизация выполнялась по двум критериям: выравнивание амплитуд импульсов на выходе МФ и выравнивание разностей задержек импульсов разложения. Приведено сравнение результатов, полученных при оптимизации для каждой из структур. В результате четыре структуры зеркально-симметричных МФ длиной $l = 1$ м могут разложить сигнал длительностью до $t_2 = 490$ пс при коэффициенте ослабления 4 раза. Результаты показали важность оптимизации зеркально-симметричных МФ по нескольким критериям.

В настоящее время радиотехнические системы имеют не только широкие функциональные возможности, но и повышенную восприимчивость к электромагнитным помехам. Особо опасными представляются кондуктивные помехи, которые могут подаваться и проникать в аппаратуру непосредственно по проводникам. Для защиты радиоэлектронной аппаратуры от сверхкороткого импульса (СКИ) [1] предложена технология модальной фильтрации [2], основанная на явлении модального разложения импульса на импульсы меньшей амплитуды [3]. Предложен новый подход к совершенствованию модальной фильтрации за счет зеркального добавления к существующей структуре дополнительных слоев диэлектрика и проводников [4]. Выполнена оптимизация параметров четырехпроводного зеркально-симметричного МФ эвристическим поиском по двум критериям [5]. Однако не исследована зависимость параметров четырехпроводных зеркально-симметричных МФ от расположения проводников в одном диэлектрике. Таким образом, возникает необходимость параметрической оптимизации эвристическим поиском таких структур зеркально-симметричного МФ и их сравнения. Цель работы – выполнить такое исследование.

При многократных изменениях в диапазоне параметров целесообразно использовать моделирование. Для этого необходимо построить геометрическую модель поперечного сечения МПЛ, вычислить матрицы погонных коэффициентов электростатической (С) и электромагнитной (L) индукций, составить схему для моделирования, задать нагрузки и воздействие, вычислить временной отклик на импульсное воздействие в диапазоне параметров, а также выполнить оптимизацию параметров МФ. Указанное представляется целесообразным выполнить для 4-х структур зеркально-симметричного МФ (рис. 1).

Вычисление параметров линий и форм сигнала выполнялось в системе TALGAT [6]. Допускалось, что в рассматриваемых линиях распространяется Т-волна. Потери в проводниках и диэлектриках на первом этапе исследования не учитывались, чтобы устранить их влияние.

Принципиальная электрическая схема четырехпроводного зеркально-симметричного МФ представлена на рис. 2, а, а форма входного сигнала – на рис. 2, б.

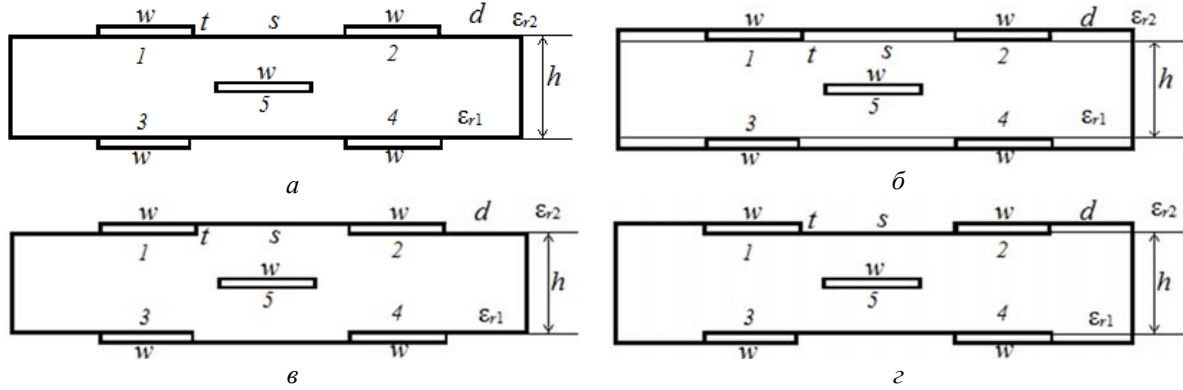


Рис. 1. Поперечные сечения структур зеркально-симметричного МФ: 1 (а); 2 (б); 3 (в); 4 (г)

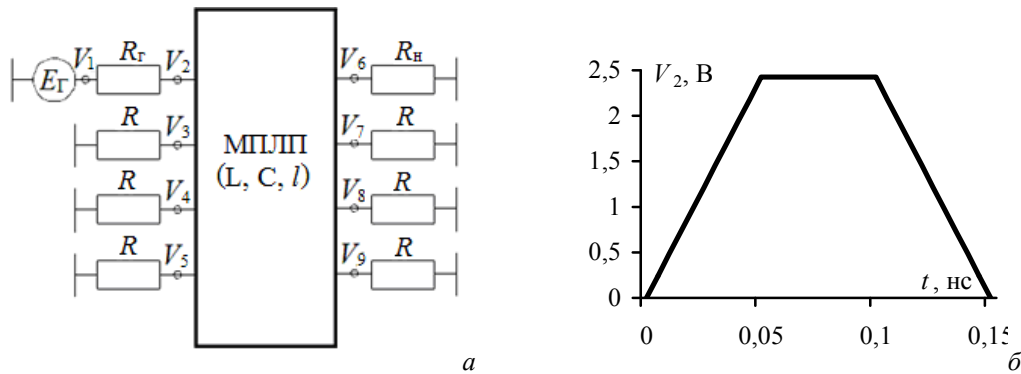
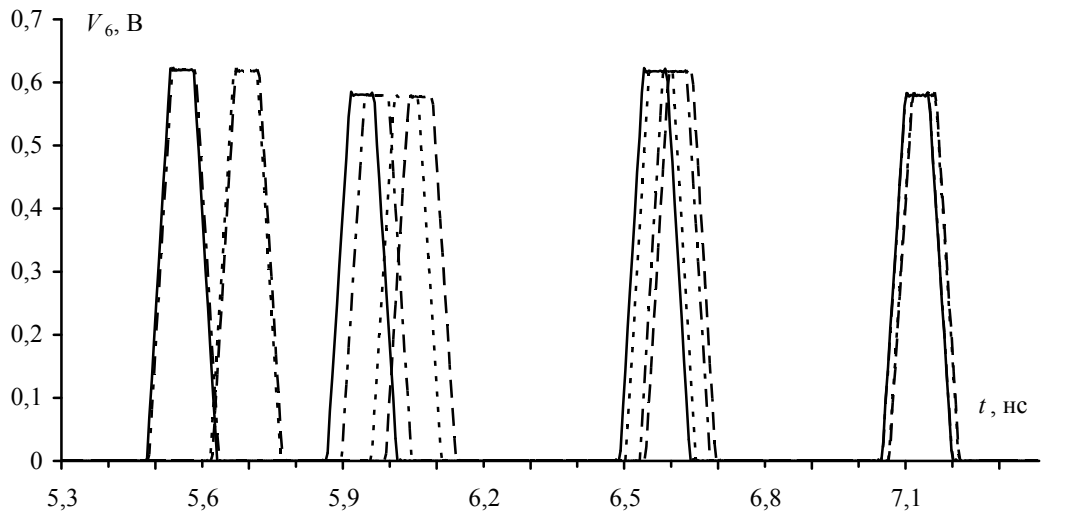


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема для моделирования (а) и форма сигнала на входе МФ (б)

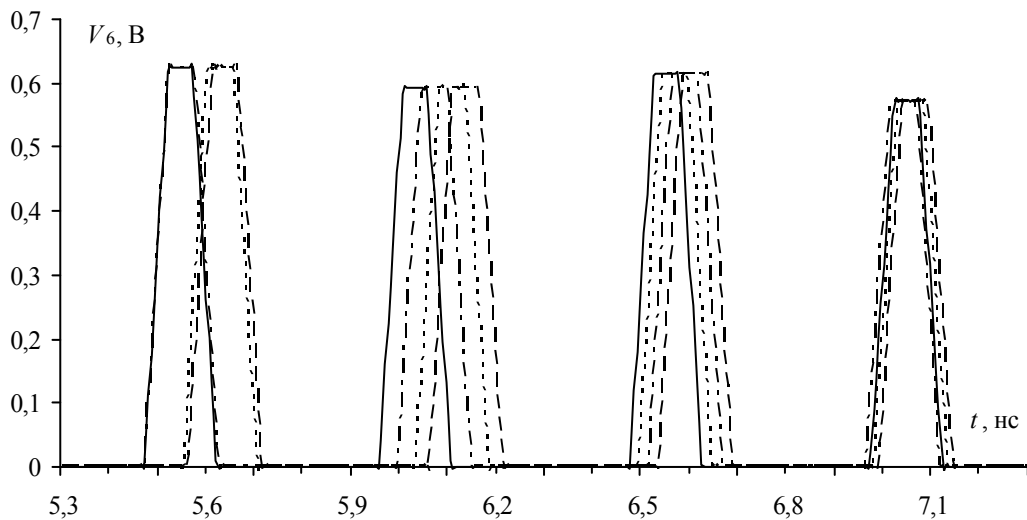
Исследовались четырехпроводные зеркально-симметричные МФ при следующих параметрах: толщина проводников $t = 18$ мкм, толщина диэлектрика $h = 500$ мкм, относительная диэлектрическая проницаемость среды $\epsilon_{r2} = 1$, а диэлектрика – $\epsilon_{r1} = 4,5$ при длине проводников $l = 1$ м. Значения сопротивлений резисторов $R_{\Gamma} = R_{\text{H}} = R$ выбраны равными 50 Ом, а источник импульсных сигналов представлен идеальным источником ЭДС. Его длительности фронта, спада и плоской вершины выбраны равными по 50 пс, так что $t_{\Sigma} = 150$ пс, а амплитуда – 5 В (рис. 2, б). При оптимизации МФ ширина проводников w и расстояние между проводниками s менялись в диапазоне 250–2000 мкм при $d = w$.

В результате для структуры 1 получены значения $w = 1600$ мкм, $s = 250$ мкм (рис. 1, а), позволяющие обеспечить выполнение первого критерия – выравнивание амплитуд импульсов на выходе МФ (рис. 3, а). Значения $w = 1600$ мкм, $s = 500$ мкм получены при оптимизации по второму критерию – выравнивание разностей задержек импульсов разложения (рис. 3, б) [5]. Структура 2 (рис. 1, б) отличается от структуры 1 (рис. 1, а) тем, что проводники 1, 2, 3, 4 расположены под границей диэлектрика с воздухом. В результате оптимизации по первому критерию получено: $w = 1600$ мкм, $s = 250$ мкм (рис. 3, а), а по второму: $w = 1600$ мкм, $s = 550$ мкм (рис. 3, б). Структура 3 (рис. 1, в) отличается от структуры 1 (рис. 1, а) тем, что расстояния между торцами проводников 1, 2 и 3, 4 залиты диэлектриком. В результате оптимизации по первому критерию получены параметры: $w = 1600$ мкм, $s = 250$ мкм (рис. 3, а), а по второму: $w = 1600$ мкм, $s = 575$ мкм (рис. 3, б). Структура 4 отличается от структуры 1 тем, что диэлектрик залит по внешним торцам проводников 1, 3 и 2, 4 (рис. 1, г). В результате оптимизации по первому критерию получены параметры: $w = 1600$ мкм, $s = 250$ мкм (рис. 3, а), а по второму: $w = 1600$ мкм, $s = 520$ мкм (рис. 3, б).

Результаты оптимизации сведены в табл. 1, 2. Получено, что значения амплитуд импульсов примерно одинаковы для всех рассматриваемых структур и не превышают 0,622 В (табл. 1), что в 4 раза меньше, чем амплитуда входного импульса. Также получены выравненные разницы задержек импульсов, что позволяет исключить наложение импульсов в данных структурах и как следствие – рост амплитуд (табл. 2). Сравнение структур показало, что изменение расположения проводников в одном диэлектрике не сильно влияет на амплитуды импульсов разложения, а значения разности задержек отличаются незначительно.



a



б

Рис. 3. Формы сигналов на выходе структур: 1 (—); 2 (---); 3 (···) и 4 (- · - · -) при оптимизации по первому (а) и второму (б) критериям

Таблица 1

Результаты оптимизации по критерию 1

Структура	Значения параметров		Значение амплитуды импульсов U_i , В			
	w , мкм	s , мкм	U_1	U_2	U_3	U_4
1	1600	250	0,622	0,583	0,622	0,58
2	1600	250	0,62	0,58	0,622	0,58
3	1600	250	0,62	0,581	0,622	0,584
4	1600	250	0,622	0,58	0,621	0,584

Таблица 2

Результаты оптимизации по критерию 2

Структура	Значения параметров		Разница задержек импульсов Δt_i , нс		
	w , мкм	s , мкм	t_2-t_1	t_3-t_2	t_4-t_3
1	1600	500	0,4852	0,5191	0,4971
2	1600	550	0,4996	0,4738	0,4573
3	1600	575	0,4794	0,4607	0,4873
4	1600	520	0,5226	0,5188	0,4507

Таким образом, впервые выполнена параметрическая оптимизация 4-х структур зеркально-симметричного МФ по двум критериям. Получено, что при оптимизации структур 2 и 3 по критерию 2 отклонения соседних значений разностей задержек равны 0,02 нс. Оптимизация по критерию 2 для структуры 4 не позволила получить оптимальное значение Δt_4 . Между тем, оптимизация по критерию 2 для всех структур позволила увеличить минимальную разницу задержек. Однако амплитуды импульсов почти одинаковы, а именно: для структуры 1 – 0,627, 0,597, 0,617 и 0,577 В, для структуры 2 – 0,63, 0,595, 0,616 и 0,575 В, для структуры 3 – 0,628, 0,597, 0,617 и 0,574 В и для структуры 4 – 0,63, 0,596, 0,615 и 0,574 В. Отметим, что при выполнении критерия 2 не наблюдается увеличение уровня амплитуд по сравнению с критерием 1. Между тем, в результате оптимизации по критерию 1 для всех структур были получены одинаковые значения w и s .

В результате четыре структуры зеркально-симметричных МФ длиной $l = 1$ м могут разложить сигнал длительностью до $t_{\Sigma} = 490$ пс при коэффициенте ослабления 4 раза.

Математическое моделирование выполнено за счет проекта 8.9562.2017/БЧ Минобрнауки Российской Федерации. Численный эксперимент проведен за счет гранта РФФИ 14-19-01232 в ТУСУРе.

Список литературы

1. Study and classification of potential IEMI sources / N. Mora, F. Vega, G. Lugrin, F. Rachidi, M. Rubinstein // System and assessment notes. Note 41. 8 July 2014.
2. Газизов Т.Р., Заболоцкий А.М. Модальное разложение импульса в отрезках связанных линий как новый принцип защиты от коротких импульсов // Технологии ЭМС. 2006. №4 (19). С. 40–44.
3. Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р. Теоретические основы модальной фильтрации // Техника радиосвязи. 2014. № 3. С. 79–83.
4. Заболоцкий А.М. Использование зеркальной симметрии для совершенствования модальной фильтрации. Томск: Изд-во ТУСУРа, 2015. С. 41–44.
5. Черникова Е.Б., Белоусов А.О. Оптимизация параметров зеркально-симметричного модального фильтра по двум критериям // Материалы Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2017», г. Томск, 10–12 мая 2017 (принята к публикации).
6. KukNew developments for improved simulation of interconnects based on method of moments / S.P. senko, T.R. Gazizov, A.M. Zabolotsky, R.R. Ahunov, R.S. Surovtsev, V.K. Salov, Eg.V. Lezhnin // Advances in Intelligent Systems Research // Proc. of the 2015 Int. Conf. on Modeling, Simulation and Applied Mathematics (MSAM2015). August 23–24, 2015, Phuket, Thailand. P. 293–301.