

В таблицу сведены амплитуды (V_1, V_2, V_3) и задержки (τ_c, τ_o, τ_e) первых трех импульсов по уровню 0,5: перекрестной наводки на ближнем конце от фронта основного сигнала, нечетной и четной мод.

Условие измерения	τ_c , нс	τ_o , нс	τ_e , нс	V_1 , В	V_2 , В	V_3 , В
Без учета перемычки	0,02	0,518	0,754	0,207	0,207	0,207
С учетом перемычки	0,02	0,518	0,754	0,207	0,207	0,207
С учетом перемычки и емкостей	0,02	0,519	0,756	0,207	0,208	0,209

Таким образом, наглядно продемонстрировано влияние перемычки на форму и амплитуду сигнала в витке меандровой линии. Показано незначительное влияние перемычки и емкостей на амплитуду и задержку второго и третьего импульсов (нечетной и четной мод). Так, максимальное отклонение амплитуды сигнала на выходе линии составляет 0,97 %. Такое незначительное влияние перемычки на форму сигнала может быть обусловлено тем, что длина линии l_n определяется расстоянием между проводниками s и составляет всего 23 мкм. Поэтому в других структурах на основе меандровых линий перемычка между проводниками может оказать более существенное влияние на форму и амплитуду сверхкороткого импульса в конце линии.

Литература

1. *Protection of the fuel and energy sector of threats of electromagnetic influence* / O. Pektau [et al.] // The security and safety of fuel and energy complex facilities. 2014. No. 2 (6). P. 74 – 76.
2. *Gizatullin Z. M., Gizatullin R. M. Investigation of the Immunity of Computer Equipment to the Power-Line electromagnetic Interference* // J. of Communications Technology and Electronics. 2016. No. 5. P. 546 – 550.
3. *Protection against ultrashort pulses based on a turn of meander microstrip line* / R. S. Surovtsev [et al.] // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines : Proc. 10th Inter. IEEE Scient. and Tech. Conf. Omsk, 2016. P. 151 – 154.
4. *Surovtsev R. S., Nosov A. V., Zabolotsky A. M. Simple Method of Protection against UWB Pulses Based on a Turn of Meander Microstrip Line* // Proc. 16th Inter. Conf. of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). 2015. P. 175 – 177.

СОГЛАСОВАНИЕ ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА

Черникова Е. Б., Белоусов А. О.

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

В настоящее время наблюдается массовое внедрение радиоэлектронной аппаратуры практически во все отрасли жизнедеятельности человека, в том числе военную, атомную, космическую, промышленную. Как результат необходима защита ее от электромагнитных помех, в частности от сверхкороткого импульса. Для этого предложена технология модальной фильтрации, основанная на его модальном разложении на импульсы меньшей амплитуды [1].

Данный подход к совершенствованию модальной фильтрации за счет зеркальной симметрии модального фильтра (МФ) [2] показывает, что при моделировании диагональные элементы матрицы характеристического импеданса \mathbf{Z} одинаковы. Таким образом, условие согласования достигается путем задания амплитуды сигнала в начале линии, равной половине ЭДС источника сигнала [3]. Между тем можно предположить, что значения элементов матрицы \mathbf{Z} по главной диагонали в зеркально-симметричном МФ соответствуют максимальному согласованию в тракте. В таком случае вычисление затратного временного отклика для обеспечения согласования может не требоваться.

С этой целью необходимо исследовать зеркально-симметричный МФ, для чего использовать несколько его вариантов, соответствующих рис. 1, с различными расстояниями s между проводниками: 0,51; 1,6 и 4 мм. Ширина проводников $w=1600$ мкм, а их толщина $t=18$ мкм, толщина диэлектрика $h=500$ мкм, относительная диэлектрическая проницаемость среды $\epsilon_{r2}=1$, а диэлектрика $\epsilon_{r1}=4,5$ при длине линии $l=1$ м.

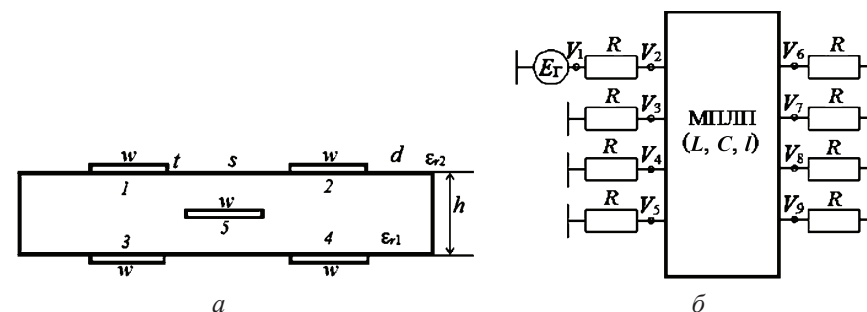
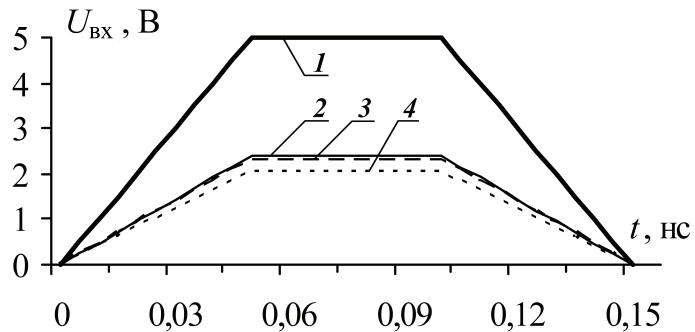


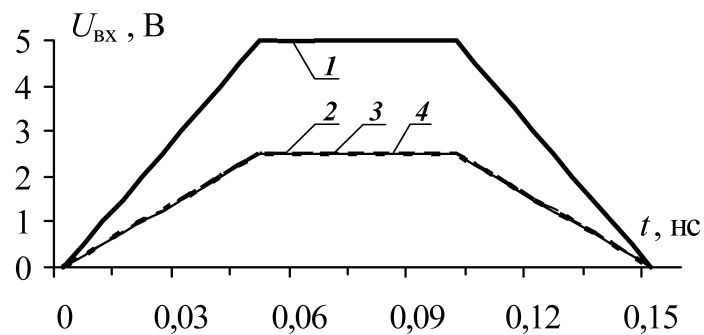
Рис. 1. Поперечное сечение (а) и электрическая схема (б) зеркально-симметричного МФ многопроводной линии передачи (МПЛЛ)

Вычисление параметров МФ и определение форм сигнала выполнялось в системе TALGAT [4]. При этом допускалось, что в рассматриваемых линиях распространяется Т-волна. Потери в проводниках и диэлектриках не учитывались. Источник импульсных сигналов представлен идеальным источником ЭДС с общей длительностью воздействующего импульса $t_{\Sigma} = 150$ пс и амплитудой 5 В.

По форме входного сигнала (рис. 2, а) видно, что значения сопротивления резисторов на концах линии равны значениям элементов главной диагонали матрицы \mathbf{Z} , из чего следует, что напряжение на входе линии не соответствует половине ЭДС. На основании этого выполнен подбор сопротивлений резисторов, при которых условие согласования соблюдается (рис. 2, б).



а



б

Рис. 2. Формы ЭДС (1) и напряжения в начале МФ с $s = 0,51$ мм (2); $s = 1,6$ мм (3) и $s = 4$ мм (4)

Результаты сведены в таблицу, где R_d – сопротивление элементов на главной диагонали матрицы \mathbf{Z} , R_h – сопротивление резисторов, при котором соблюдается условие согласования, $U_{\text{вх}}$ – амплитуда сигнала на входе.

s , мкм	R_d , Ом	$U_{\text{вх}}$, В	R_h , Ом	$U_{\text{вх}}$, В
510	53,05	2,395	49	2,491
1600	74,96	2,296	54	2,497
4000	140,26	2,065	91	2,496

В итоге получены такие значения сопротивления резисторов, при которых соблюдается условие согласования тракта. Отметим, что идея соответствия значений параметров диагональных элементов матрицы \mathbf{Z} в зеркально-симметричном МФ максимальному согласованию в тракте наиболее выражена при $s = 0,51$ мм. Это, возможно, объясняется тем, что данное значение s ранее было получено при одновременной оптимизации зеркально-симметричного МФ по трем критериям [5]. Таким образом, ясно, что для обеспечения условия согласования тракта актуальна целенаправленная оптимизация.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417X0172.

Литература

1. Заболоцкий А. М., Газизов Т. Р. Теоретические основы модальной фильтрации // Техника радиосвязи. 2014. № 3 (23). С. 79 – 83.
2. Заболоцкий А. М. Использование зеркальной симметрии для совершенствования модальной фильтрации // Доклады ТУСУРа. 2015. № 2 (36). С. 41 – 44.
3. Belousov A. O., Gazizov T. T., Gazizov T. R. Multicriteria optimization of four-conductor modal filter by genetic algorithms // 2017 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). Novosibirsk, 2017. P. 445 – 448.
4. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT / С. П. Куксенко [и др.] // Доклады ТУСУРа. 2015. № 2 (36). С. 45 – 50.
5. Белоусов А. О., Черникова Е. Б., Заболоцкий А. М. Трехкритериальная оптимизация как ресурс для совершенствования зеркально-симметричного модального фильтра // Материалы 23-й междунар. науч.-практ. конф. «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (Сибресурс-23-2017)». Томск, 2017. С. 150 – 154.