

М.А. САМОЙЛИЧЕНКО, аспирант каф. ТУ, ТУСУР, Томск

УВЕЛИЧЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ФОЛЬГИ КАК РЕСУРС СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА С ПАССИВНЫМ ПРОВОДНИКОМ В ОПОРНОЙ ПЛОСКОСТИ

Рассматривается структура модального фильтра (МФ), полученная за счет вырезания пассивного проводника в опорной плоскости микрополосковой линии. Выполнено моделирование распространения сверхкороткого импульса в таком МФ. Изменяется толщина фольги МФ. Для разных параметров МФ получены зависимости задержек мод от ширины проводников. Выявлены параметры, при которых разность задержек мод максимальна. Приведены ее зависимости, и вычислен временной отклик для этого случая.

Актуальность защиты оборудования от электромагнитных помех обусловлена возрастанием общего числа одновременно действующей радиоэлектронной аппаратуры, повышением мощности радиопередатчиков, расширением полосы частот, увеличением загрузки диапазона радиочастот, ростом плотности компоновки аппаратуры. Особо опасны подаваемые по проводникам кондуктивные помехи, в частности сверхкороткие импульсы (СКИ) [1]. В результате действия таких помех возникают различные нарушения в работе оборудования, приводящие к выходу его из строя, авариям и сбоям. Все это вызывает необходимость совершенствования соответствующей защиты.

Новым средством защиты от СКИ является модальный фильтр (МФ) [2, 3], в котором происходит разложение СКИ на импульсы меньшей амплитуды вследствие разных погонных задержек мод сигнала в связанной линии с неоднородным диэлектрическим заполнением. Модальная фильтрация позволяет защищать РЭА на разных структурных уровнях: с помощью кабелей [4], в виде отдельных блоков и компонентов [5], в том числе печатных [6], но у любого МФ есть пассивный проводник, который занимает место и имеет массу. Поэтому актуален поиск

новых устройств защиты. Так, предложено использовать слой земли, ранее мало используемый ресурс в печатных платах, и исследовать его в новой конструкции МФ, где пассивный проводник расположен в вырезе опорной плоскости [7]. Поперечное сечение и параметры такого МФ показаны на рисунке 1,а, где ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость; w , w_1 , w_2 и t – ширина и толщина проводников; h – толщина диэлектрика; s – расстояние между проводниками.

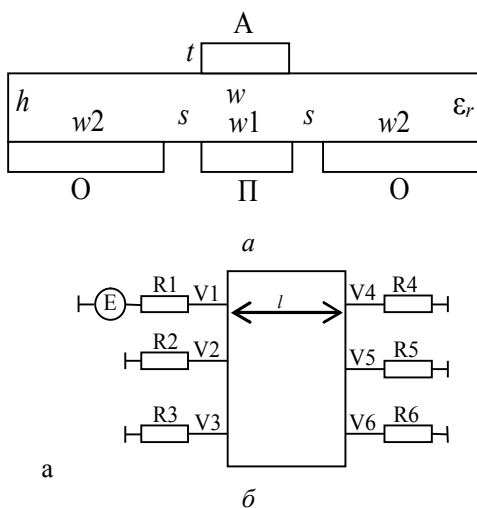


Рисунок 1. Поперечное сечение (а) и схема включения (б) МФ
Проводники: О – опорный, П – пассивный, А – активный

Рассмотрено влияние параметров s , h , w на разность задержек мод при одном значении толщины фольги $t = 18$ мкм [8]. Показано, что для увеличения разности погонных задержек мод надо увеличивать s и w , а также уменьшать h . Однако не было аналогичных исследований при других значениях t , а между тем они важны, поскольку есть и другие широко используемые значения t . Поэтому важно оценить возможность использования этого ресурса.

При многократных изменениях в диапазоне параметров целесообразно использовать моделирование. Для этого необходимо построить геометрическую модель поперечного сечения исследуемого МФ и составить его эквивалентную схему.

Вычисление параметров и форм сигналов выполнялось в программном продукте TALGAT [9]. Допускалось, что в рассматриваемой линии распространяются только волны квази-Т. Потери в проводниках и диэлектриках не учитывались.

Значение параметров: $t = 18; 35; 70$ мкм, ширина проводников $w = w_1 = w_2$ менялась в диапазоне от 0,1 мм до 1 мм, $h = 0,5; 1,0; 1,5; 2$ мм, $s = 0,2; 0,3; 0,4$ мм, $\epsilon_r = 5$. На рисунке 1,б приведена эквивалентная схема МФ. Она состоит из трех проводников длиной $l = 1$ м каждый. Первый проводник соединен с источником импульсных сигналов, представленным на схеме идеальным источником э.д.с. E и внутренним сопротивлением R_1 . На другом конце первый проводник соединен с R_4 . Значения сопротивлений R_1, R_2, R_4, R_5 приняты одинаковыми и равными 50 Ом, а для соединения крайних проводников – $R_3 = R_6 = 0,001$ Ом. Воздействующий импульс имеет форму трапеции с параметрами: амплитуда – 2 В, нарастание – 150 пс, плоская вершина – 200 пс, спад – 150 пс.

Получено 48 графиков, но приведены результаты лишь для наилучших результатов. На рисунке 2 приведены зависимости $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_3 - \tau_2$ от w для разных значений t , при $h = 0,5$ мм, и $s = 0,4$ мм. Видно, что значения τ_1 и τ_2 близки, а τ_3 имеет гораздо большие значения. Так что максимальная разность погонных задержек мод составляет 1,56 нс/м. Также видно, что для τ_1 и τ_2 наблюдается максимум в точке $w = 0,2$ мм, а далее идет монотонное убывание, тогда как для τ_3 – монотонное возрастание. В итоге моделирование показало, что для увеличения разности задержек мод МФ надо увеличивать s, w и t , а также уменьшать h .

Вычислен временной отклик на входе и выходе МФ (рисунок 3). Первый импульс с задержкой 4,64 нс имеет пренебрежительно малую амплитуду и не виден. Вторым импульсом приходит с задержкой 5 нс, а третий – 6,56 нс. Таким образом, работа МФ определяется разностью $\tau_3 - \tau_2$, которая может быть увеличена выбором более толстой фольги, как видно на рисунке 2. Видно, что амплитуда импульсов уменьшается два раза, но не достигнуто выравнивание амплитуд. Данный факт делает актуальным аналогичное исследование по выравниванию амплитуд импульсов разложения.

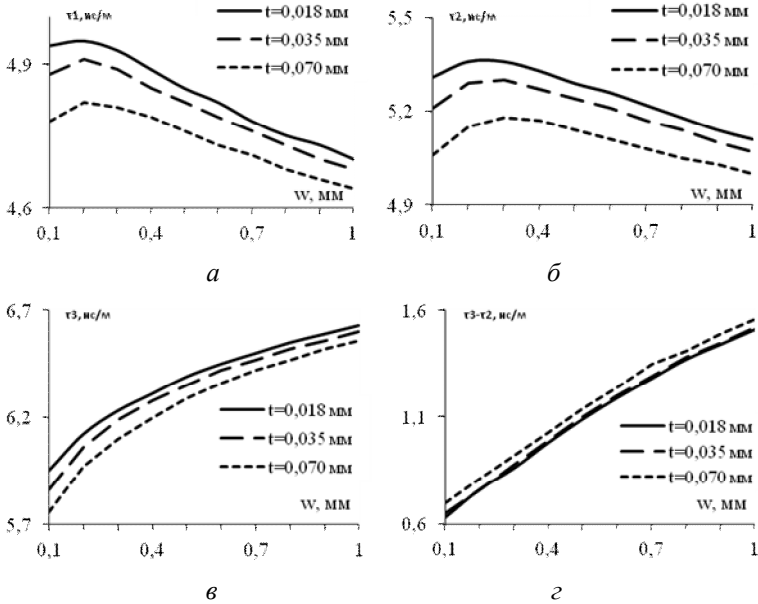


Рисунок 2. Зависимости $a - \tau_1$; $б - \tau_2$; $в - \tau_3$; $г - \tau_3 - \tau_2$ от w , при разных t , для $s = 0,4$ мм, $h = 0,5$ мм

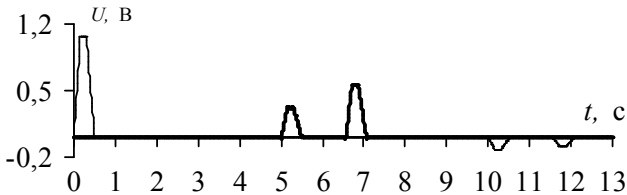


Рисунок 3. Форма сигналов в начале и в конце линии при $s = 0,4$ мм; $h = 0,5$ мм; $w = 1$ мм; $t = 70$ мкм

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование функционирования локальной вычислительной сети в условиях воздействия сверхкоротких электромагнитных импульсов / К.Ю. Сахаров, А.А. Соколов, О.В. Михеев,

В.А. Туркин, А.Н. Корнев, С.Н. Долбня, А.В. Певнев // Технологии ЭМС. 2006. № 3 (18). С. 36–45.

2. Газизов Т.Р., Заболоцкий А.М., Кузнецова-Таджибаева О.М. Исследование модальных искажений импульсного сигнала в многопроводных линиях с неоднородным диэлектрическим заполнением // Электромагнитные волны и электронные системы. 2004. Т. 11, № 11. С. 18–22.

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

4. Gazizov T.R., Zabolotsky A.M., Samotin I.E. Experimental results on ultra wide band pulse propagation in three-conductor power cables of flat and circular cross sections // Proc. of Int. Siberian conf. on control and communications (SIBCON-2009). Russia, Tomsk. March 27–28, 2009. 2009. P. 264–269.

5. Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р. Временной отклик многопроводных линий передачи. Томск: Том. гос. ун-т, 2007. 152 с.

6. Gazizov T.R., Zabolotsky A.M. New approach to EMC protection // Proceedings of the 18-th International Zurich Symposium on EMC. Germany, Munich. September 24–28, 2007. 2007. P. 273–276.

7. Самойличенко М.А., Газизов Т.Т. Моделирование модального фильтра с пассивным проводником в опорной плоскости // Научная сессия ТУСУР-2016: материалы междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых ТУСУРа. Томск, Россия 25–27 мая, 2016. Ч. 2. С. 325–327.

8. Самойличенко М.А., Газизов Т.Т. Анализ влияния параметров модального фильтра с пассивным проводником в опорной плоскости на погонные задержки мод // Научная сессия ТУСУР-2017: материалы Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 55-летию ТУСУРа. Томск, Россия 10–12 мая, 2017. Ч. 3. С. 80–82.

9. 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.

М.А. Samoylichenko

Increasing of foil thickness as a resource for improvement of a modal filter with a passive conductor in a reference plane

Structure of a modal filter (MF), obtained by cutting a passive conductor in the reference plane of a microstrip line, is considered. The simulation of the propagation of an ultrashort pulse in such a MF was performed.

Changing Thickness of the is changed foil MF. The dependences of the mode delays on the width of the conductors are obtained for different parameters of the MF. The parameters are found at which the difference in the mode delays is maximum. Its dependencies are given, and the time response for this case is calculated.

1993mary2011@mail.ru