

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧЕТЫРЕХСЛОЙНОГО
ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА
В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ
PATHWAVE ADVANCED DESIGN SYSTEM**

*А.С. Козинец, С.В. Власов, М.С. Мурманский,
Н.С. Павлов, студенты*

*Научный руководитель Е.С. Жечев, ассистент каф. ТУ
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, kozinets.a.141-m5@e.tusur.ru*

Представлены результаты проектирования четырехслойного зеркально-симметричного модального фильтра в системе PathWave Advanced Design System. Получены частотные и временные характеристики устройства с помощью электродинамического подхода. Результаты работы можно использовать при разработке зеркально-симметричных помехозащитных устройств.

Ключевые слова: зеркально-симметричный модальный фильтр, электродинамическое моделирование, сверхширокополосная помеха.

В процессе работы мощных передающих или коммутационных устройств возникают сверхширокополосные помехи в виде сверхкоротких импульсов (СКИ) [1], которые могут вывести из строя как отдельные элементы, так и целые системы радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). В качестве возможных средств защиты предлагаются фильтрующие устройства, основанные на эффекте модальных искажений сигнала в связанных линиях передачи, – модальные фильтры. Одной из разновидностей таких устройств является зеркально-симметричный модальный фильтр (ЗС МФ) [2, 3]. Создание рабочей модели ЗС МФ возможно с использованием программного обеспечения Advanced Design System (ADS). Проведение электродинамического моделирования в частотной области позволяет получить комплексные частотно-зависимые S-параметры для ЗС МФ, с помощью которых в дальнейшем можно получить отклик на воздействие СКИ во временной области.

Цель работы – продемонстрировать результаты моделирования частотных характеристик и временного отклика ЗС МФ на СКИ в ADS.

Структура ЗС МФ. Перед проведением моделирования в ADS структура была послойно задана через раздел Substrate Editor, как показано на рис. 1. Он позволяет настроить положение и количество проводников, диэлектрических подложек, их геометрические размеры, а также выбрать материалы исполнения.

Проводники выполнены из меди. Для моделирования диэлектрической подложки использовался материал Rogers RT/duroid 6010.2lm.

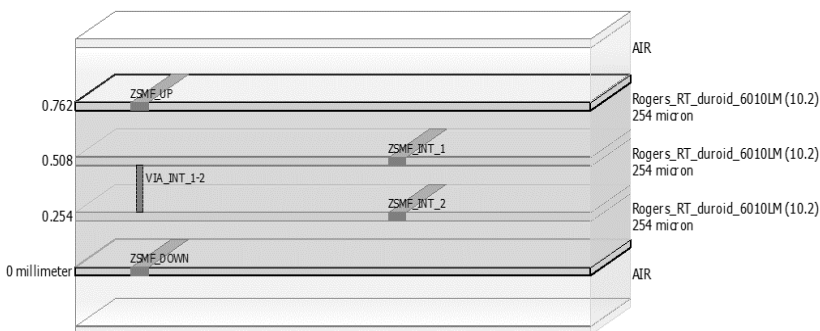


Рис. 1. Поперечное сечение четырехслойного ЗСМФ в Substrate Editor:
 AIR – воздушная прослойка; ZSMF_UP и ZSMF_DOWN – слои с верхними и нижними проводниками; ZSMF_INT_1 и ZSMF_INT_2 – слои с проводниками на верхней и нижней сторонах центральной платы; VIA_INT_1-2 – перемычка между слоями ZSMF_INT_1 и ZSMF_INT_2

На основе созданного в Substrate Editor поперечного сечения в разделе Layout были отрисованы проводники на каждом из слоёв. Пример отрисовки проводников на верхнем слое представлен на рис. 2.



Рис. 2. Верхний слой с проводниками, созданный в Layout

Частотные характеристики ЗСМФ. Построенная структура ЗСМФ была использована для исследования частотных характеристик, в частности, коэффициента передачи $|S_{21}|$. В разделе Layout были установлены порты на концах проводников. На рис. 3, а представлен внешний вид подключенных портов с одной из сторон проектируемого ЗСМФ. После установки портов было запущено электродинамическое моделирование в диапазоне частот от 0 до 10 ГГц.

Результаты моделирования, представленные на рис. 3, б, были выгружены в файл с форматом .s8r для создания ЗСМФ в виде компонента в ADS.

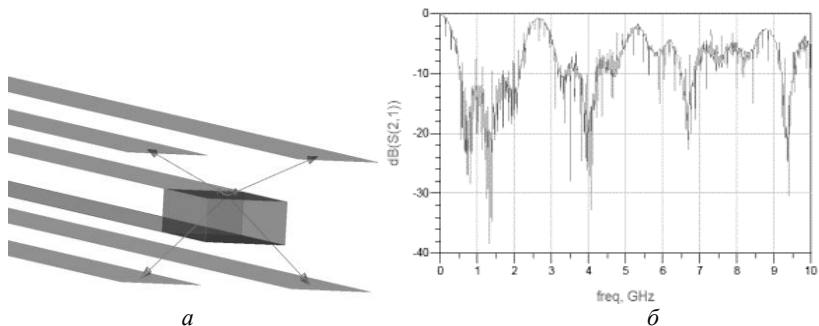


Рис. 3. Подключенные порты с одной из сторон ЗС МФ в разделе 3D EM Preview (а) и полученная зависимость $|S_{21}|$ ЗС МФ (б)

Подавление СШП-помехи. Завершающей частью моделирования является получение временного отклика проектируемого ЗС МФ на воздействие СКИ. График отклика является визуальной демонстрацией работы ЗС МФ, на его основе можно сделать вывод о работоспособности и эффективности проектируемого устройства. В разделе Schematic была построена схема, реализующая функции ЗС МФ (рис. 4).

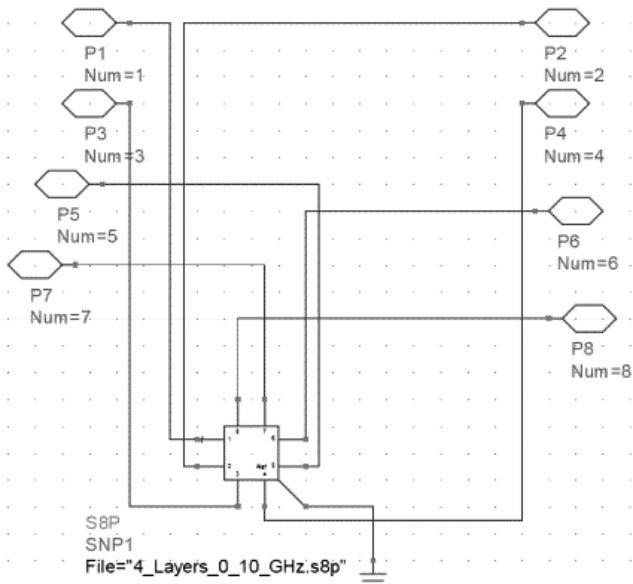
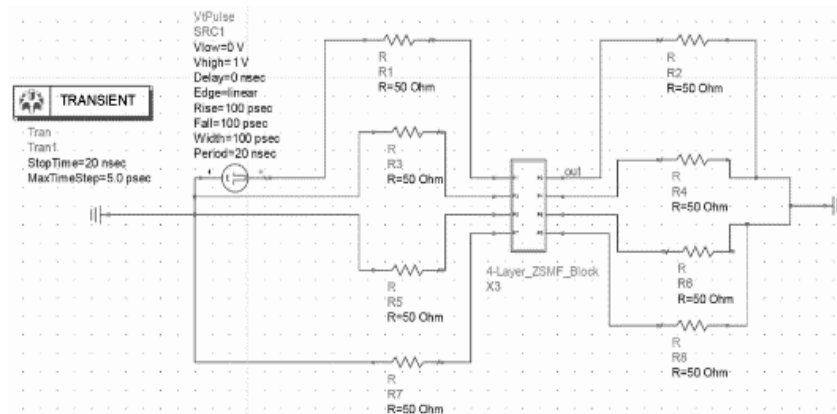
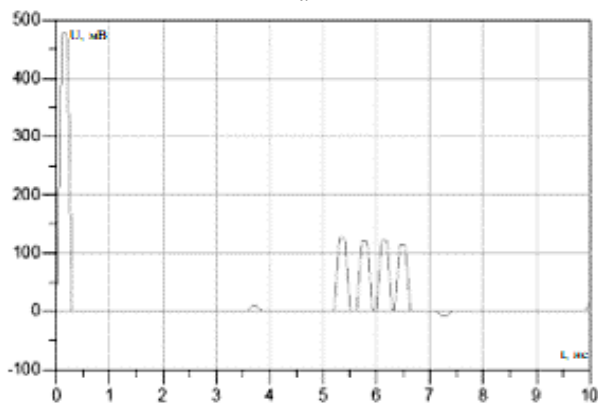


Рис. 4. Верхний слой с проводниками, созданный в Layout, где P1–P8 – входы и выходы ЗС МФ

С помощью функции Create Hierarchy создан блок на основе схемы, приведённой на рис. 4. На основе блока в разделе Schematic была создана схема подключения ЗС МФ для получения временного отклика на воздействие СКИ. На вход ЗС МФ подавался СКИ со следующими параметрами: амплитуда – 1 В, время нарастания фронта – 0,1 нс, время спада – 0,1 нс, ширина импульса – 0,1 нс. Моделирование выполнено во временном диапазоне от 0 до 10 нс.



a



б

Рис. 5. Схема подключения ЗС МФ для исследования временного отклика ЗС МФ на воздействие СКИ в ADS (*a*) и полученный отклик (*б*)

Отклик ЗС МФ на воздействие СКИ отображает разложение одного входного импульса на четыре импульса меньшей амплитуды, что показывает работоспособность смоделированного ЗС МФ.

Заключение. В работе представлены результаты моделирования четырехслойного ЗС МФ в системе ADS. С помощью встроенного функционала программы создана проектируемая структура, проведено электродинамическое моделирование для снятия частотных характеристик, получен временной отклик на воздействие СКИ.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект FEWM-2022-0001).

ЛИТЕРАТУРА

1. Weber T. Linear and non-linear filters suppressing UWB pulses / T. Weber, R. Krzikalla, J.L. Ter Haseborg // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2004. – Vol. 46, No. 3. – P. 423–430.
2. Заболоцкий А.М. Использование зеркальной симметрии для совершенствования модальной фильтрации // Доклады ТУСУР. – 2015. – № 2 (36). – С. 41–44.
3. Пат. на изобретение №2624465 РФ. Четырехпроводная зеркально-симметричная структура, защищающая от сверхкоротких импульсов / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов, С.П. Куксенко. – Заявка № 2015137546; приоритет 02.09.2015; опубли. 04.07.2017; Бюл. № 19.
4. Начало работы с системой проектирования Advanced Design System (ADS) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.keysight.com/ru/ru/assets/7018-05088/technical-overviews/5992-1309.pdf>, свободный (дата обращения: 18.02.2022).

УДК 621.391

ПОЛУЧЕНИЕ ПОГОННЫХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ ПРИ РАЗЛИЧНОМ ВРЕМЕНИ ТРАВЛЕНИЯ Н.О. Кузьмин, студент; Е.С. Жечев, ассистент

*Проект ГПО ТУ-1903. Проектирование и разработка фильтров
подавления электромагнитных помех
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, nikita.kuzjmin@tu.tusur.ru*

На примере одиночной и связанной микрополосковых линий передачи рассматривается влияние времени травления на их характеристики. С помощью квазистатического анализа получены первичные параметры рассматриваемых структур при различном времени травления.

Ключевые слова: квазистатический анализ, микрополосковая линия передачи, печатная плата.

При проектировании микрополосковых пассивных устройств, например копланарных линий передачи, линий задержки и т.п., необ-