

Теоретическое и экспериментальное исследование делителя мощности на симметричной полосковой линии

В.В. Демшевский¹, А.А. Цитович¹, М.С. Левашов¹, Д.В. Багно^{1,2}, А.Е. Зайкин^{1,2}, Е.В. Ильин^{1,2}

¹АО «НПП «Исток» им. Шокина»

²Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

Аннотация: обсуждаются результаты разработки, изготовления и измерения характеристик делителя мощности на основе симметричной полосковой линии. Приведена топология базовых узлов и графики частотных характеристик согласования и развязки.

Ключевые слова: симметричная полосковая линия, система распределения СВЧ-сигнала, мост Уилкинсона, делитель мощности, интерфейс SMP

1. Введение

Системы распределения СВЧ-сигнала (СРС) применяют в диаграммообразующих схемах, в связи с чем важными параметрами являются равномерность амплитудных и фазовых характеристик на выходах, развязка между каналами и минимальные потери. В целях уменьшения массогабаритных характеристик и повышения точности изготовления используют планарную технологию изготовления СРС.

При проектировании СРС на отрезках линий передачи микрополоскового типа можно добиться малых габаритов и потерь, но линия такого типа не защищена от внешних паразитных влияний. Это ограничивает применение микрополосковых линий только сравнительно простыми схемами, где паразитными взаимосвязями можно пренебречь. В достаточно сложных, многокаскадных распределительных схемах в замкнутом объеме паразитные электромагнитные связи, полный учет которых при проектировании не всегда возможен, могут стать препятствием нормальной работе устройства. В связи с этим, предпочтительно использовать линии передачи закрытого типа, такие как симметричная полосковая линия и волновод, интегрированный в основание печатной платы СВЧ (SIW). При прочих равных условиях габариты схемы на симметричной полосковой линии будут меньше чем схемы на SIW. Преимущество в использовании SIW проявляется однозначно, если все узлы, подключаемые к СРС, также будут реализованы на SIW.

2. Разработка делителя мощности и экспериментальные результаты

При разработке печатной платы СВЧ делителя мощности на отрезках линии передачи симметричного полоскового типа были выделены основные узлы:

- поворот
- межслойный переход
- поглощающая нагрузка
- мост
- контактная площадка радиочастотного соединителя

В качестве основания был взят материал Rogers RT/duroid 5880 с толщиной 0.508 мм. Оптимизация была проведена методом Нелдера-Мида по минимаксному критерию в полосе частот 0...13 ГГц, прямая задача решалась путем полноволнового электродинамического моделирования методом конечных элементов (FEM).

Для примера рассмотрим более подробно разработку поворота. Элемент выполнен на симметричной полосковой линии, топология модели показана на рисунке 1а. Параметры топологии: $W = 0.034\lambda$ мм – ширина полоска; α – требуемый угол поворота полосковой линии; $W2$ – параметр обрезки («согласующего зеркала»), он введен также, как и в [1, с. 109], его значение подлежит оптимизации. Для оптимизации $W2$ для каждого требуемого $\angle\alpha$, а также для последующего расчета радиотехнических характеристик использована модель, показанная на рисунке 1б, в которой с целью размещения портов 1 и 2 на противоположных краях основания 1 (то есть параллельно друг другу, в одной из главных координатных плоскостей) реализованы два идентичных поворота 2 и 4, расположенных зеркально симметрично.

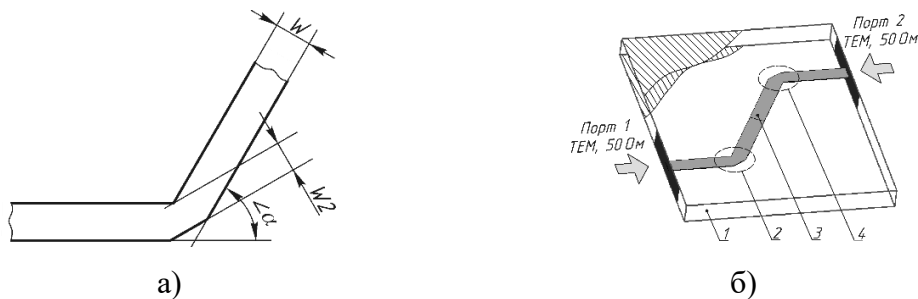


Рисунок 1. Топология поворота полосковой линии с «согласующим зеркалом» (а) и модель с двумя поворотами для оптимизации параметра $W2$ и расчета качества согласования (б).

Полученные в результате оптимизации значения $W2$ для $\angle\alpha = 30, 45, 60, 75$ и 90° , а также графики достигнутого качества согласования ($20\lg|S_{11}|$, дБ) в полосе частот показаны на рисунке 2. Осциллирующий характер графиков (в частности, провал на графике $|S_{11}|$ в диапазоне СВЧ) обусловлен интерференцией двух волн, отраженных от двух поворотов (2 и 4 на рисунке 1б), разделенных прямолинейным отрезком 3 полосковой линии, длина которого определяет положение провала на графике $|S_{11}|$ на оси частот. Значение коэффициента отражения от одиночного поворота в требуемой полосе частот не превышает минус 40 дБ (вносимый КСВ – не более 1.02).

В качестве базового элемента делителей мощности выбран кольцевой синфазный мост (мост Уилкинсона) [2]. Известно несколько вариантов топологии синфазного моста, выполненного на отрезках микрополосковой и симметричной полосковой линий. Для реализации в разрабатываемом распределителе выбрана топология в форме ромба, широко используемая в распределителях X-диапазона разработки АО «НИИП имени В. В. Тихомирова» [3]. В [3] балластный резистор моста монтируется непосредственно на контактные площадки сигнального слоя проводящего рисунка и встраивается внутрь многослойной печатной платы СВЧ. Для упрощения конструкции печатной платы СВЧ разрабатываемого делителя мощности балластный резистор был размещен на внешней поверхности печатной платы СВЧ, а его контактные площадки во внешнем слое соединялись с сигнальным слоем через переходные глухие отверстия с металлизированными стенками.

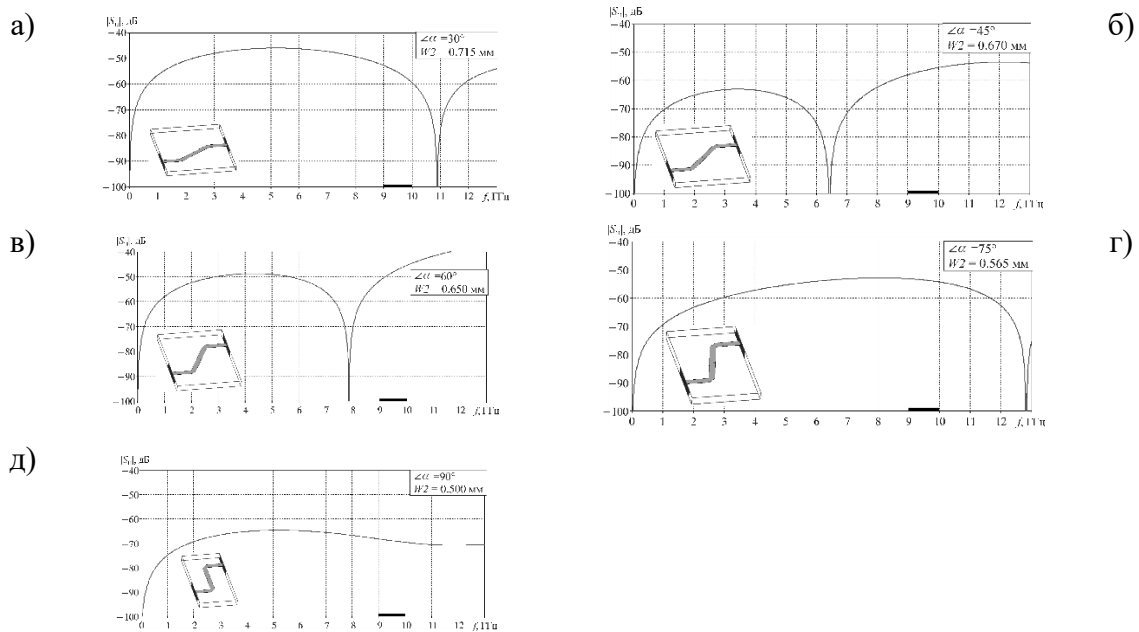
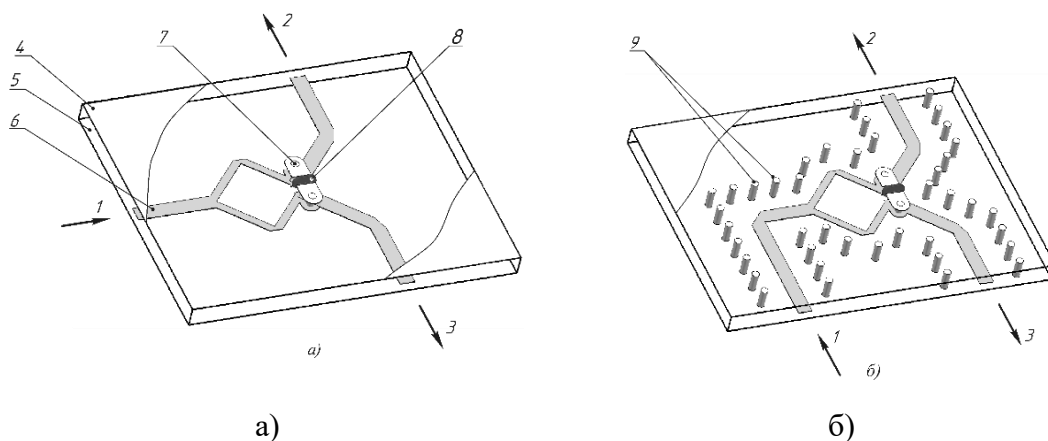


Рисунок 2. Графики частотной зависимости модуля коэффициента отражения $|S_{11}|$ отрезка симметричной полосковой линии с двумя поворотами с оптимизированным параметром W_2 при различных значениях угла поворота α .

Топология базовой модели синфазного моста (синфазного моста с прямым входным плоском) показана на рисунке 3а. В качестве балластного резистора сопротивлением 100 Ом выбран SMD-резистор Vishay Dale Thin Film [15] в корпусе типа 0402. Параметры топологии настроены по интегральному минимаксному критерию, учитывающему качество согласования портов и развязку выходных плеч моста в рабочей полосе частот разрабатываемого распределителя. Топология модели синфазного моста со входом с поворотом на 90° показана на рисунке 3б. Расстояние до поворота выбрано таким, чтобы поворот практически не влиял на частотные характеристики моста.

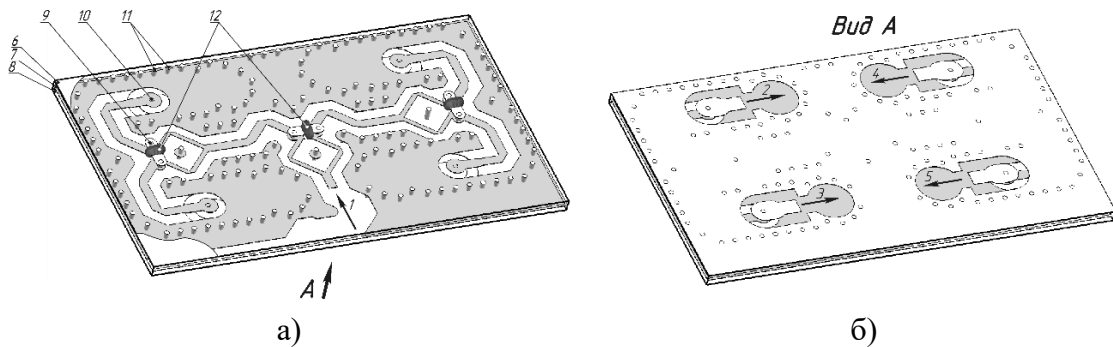


1 – порт входной; 2, 3 – порты выходные; 4, 5 – внешние слои проводящего рисунка; 6 – внутренний слой проводящего рисунка; 7 – глухое отверстие с металлизированными стенками и контактная площадка; 8 – резистор в корпусе 0402 (показан условно); 9 – сквозное отверстие с металлизированными стенками

Рисунок 3. Топология базового элемента – синфазного моста, варианты топологии: а – с прямым входом; б – со входом с поворотом на 90°

После оптимизации всех основных узлов был спроектирован четырехканальный (1:4) делитель мощности, топология модели которого показана на рисунке 4. Делитель образован двумя зеркально симметричными синфазными мостами, объединенными с помощью третьего моста. Топология выходных плеч 2–5 подготовлена для подключения радиочастотных соединителей с интерфейсом SMP поперечного типа Rosenberger 19S101-40ML5 [4]. Графики частотных характеристик делителя 1:4 показаны на рисунке 5:

- значение коэффициента отражения $|S_{11}|$ по входу в рабочей полосе частот – не более минус 27 дБ (КСВ – не более 1.1);
- значение коэффициента отражения в выходных плечах в рабочей полосе частот – не более минус 34 дБ (КСВ – не более 1.04);
- развязка выходных плеч в рабочей полосе частот – не менее 22 дБ (для плеч, взаимодействующих через три моста – не менее 32 дБ).
- несинфазность (разность фаз) сигналов в выходных плечах – не более 0.3° .



1 – порт входной (симметричная полосковая линия); 2–5 – порты выходные (несимметричная полосковая линия); 6, 8 – внешние слои проводящего рисунка; 7 – внутренний слой проводящего рисунка; 9 – переходное отверстие во внешний слой 6 проводящего рисунка; 10 – переходное отверстие во внешний слой 8 проводящего рисунка; 11 – сквозное отверстие с металлизированными стенками; 12 – резистор тип SMD в корпусе 0402

Рисунок 4. Топология делителя 1:4.

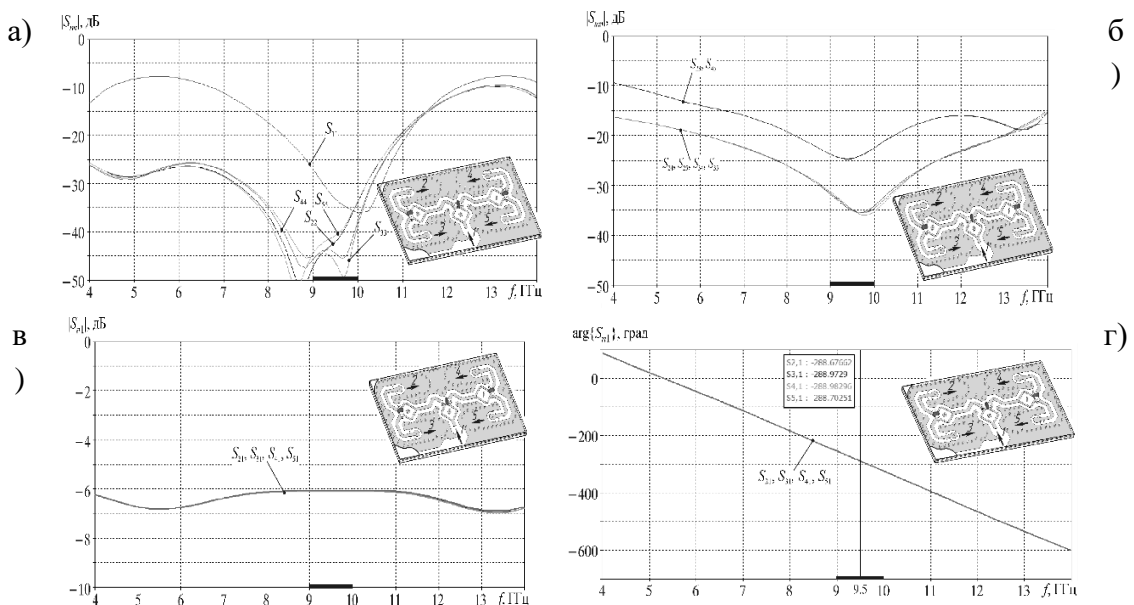


Рисунок 5. Графики частотных характеристик делителя 1:4.

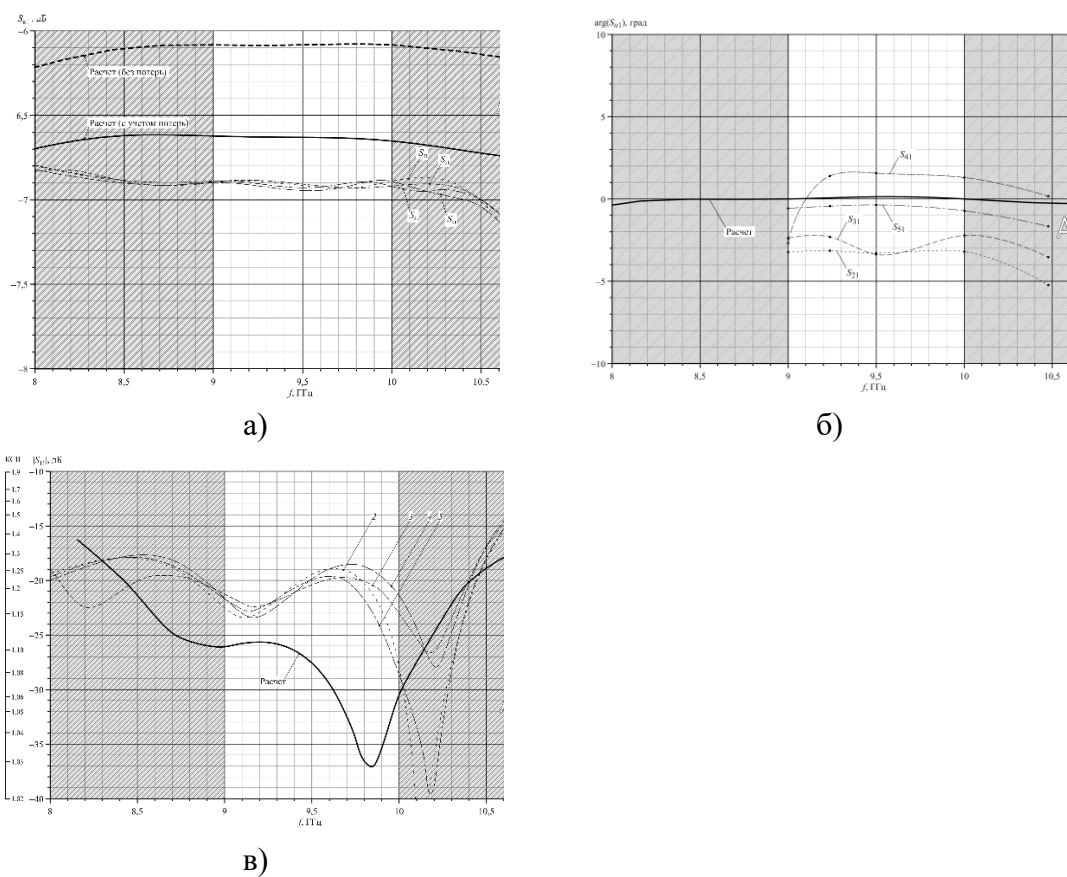


Рисунок 6. Графики частотных характеристик опытного образца делителя 1:4.

3. Заключение

Разработанная топология печатной платы СВЧ четырехканального делителя мощности, выполненного на отрезках линий передачи симметричного полоскового типа, способна обеспечить работу в широкой полосе частот с малыми различиями амплитуд и фаз сигналов на выходах. Измерение частотных характеристик нескольких изготовленных образцов делителей показало, что различие амплитуд сигналов на выходах не превышает 0.3 дБ, различие фаз – не превышает 5°.

Список литературы

1. Бахарев С. И., Вольман И. И., Либ Ю. Н., др. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств / Под ред. В. И. Вольмана. – М.: Радио и связь. 1982.
2. Конин В. В. Полосковые делители мощности СВЧ / В кн.: Проектирование фазированных антенных решёток / Под ред. Д.И. Воскресенского. 4-е изд. М.: Радиотехника. 2012. С. 587–619.
3. В. И. Лапшин, Г. В. Зелепукина, И. В. Труилова, Е. В. Кудряшов. Многослойные распределители мощности с выходами под СВЧ-соединители на пружинных контактах для приемопередающих модулей АФАР X-диапазона / В кн.: Антенны и радары с электронным управлением лучом / Под ред. А. И. Синани, Г. В. Кауфман. – М.: Радиотехника. 2016. С. 87–98.
4. Rosenberger Communication Products. RF Coaxial Connectors, Adaptors & Accessories [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://rosenberger.de/0_documents/de/catalogs/ → [ba_communication/catalog_coax/Coax_2014.pdf](http://rosenberger.de/ba_communication/catalog_coax/Coax_2014.pdf). – 28.12.18.