

*Демшевский В.В., Цитович А.А., Левашов М.С.
АО «НПП «Исток» им. Шокина»*

Теоретическое исследование работы микрополосковой структуры в закрытом объеме

Проведено теоретическое исследование микрополоскового 3-х каскадного делителя\сумматора мощности с неравноплечным делением и выявлены факторы, влияющие на его параметры. Выполнена оценка ожидаемых потерь в исследуемой микрополосковой линии и проведено сравнение полученных результатов.

Ключевые слова: Микрополосковая линия 1; коэффициент передачи 2; электромагнитная совместимость 3; взаимное влияние 4.

При разработке практически любой радиолокационной системы, первостепенной задачей является максимальное уменьшение ее геометрических размеров. Наиболее часто на практике требуется «вписать» разрабатываемую систему в заданный объем. Такие задачи неизбежно ведут к тому, что устройства становятся более сложными и работают в непосредственной близости друг от друга, что само по себе способствует появлению взаимных помех. Требования к устройству значительно возрастают, и оно должно эффективно работать не только в лабораторных условиях, но и сохранять максимальную работоспособность в реальных условиях в непосредственной близости от других систем. Другими словами, разрабатываемое устройство должно быть минимально подвержено влиянию внешних помех и при этом само не должно являться их источником.

Решение задач по миниатюризации разрабатываемых устройств, сводится к решению комплекса задач по электромагнитной совместимости (ЭМС) - способности аппаратуры нормально функционировать в условиях, создаваемых ею самой электромагнитных полей.

Задачи ЭМС необходимо брать во внимание и решать на наиболее ранних этапах разработки устройств, в противном случае их решение в дальнейшем рискует быть трудоемким, долгим и очень дорогостоящим процессом. Методы борьбы с взаимным влиянием устройств на начальном этапе проектирования окажутся значительно проще и дешевле.

Очень тщательно следует учитывать взаимное влияние отдельных частей внутри устройства. Это задача во многих случаях выступает более приоритетной, так как позволяет добиться не только слаженной работы всего устройства в различных условиях, но и свести к минимуму создание им самим паразитных электромагнитных излучений. [1]

Задача – теоретически исследовать работу 3-х каскадного делителя\сумматора мощности с неравноплечным делением, изготовленного по микрополосковой технологии (далее МПЛ), определить потери в линии, выявить основные факторы, влияющие на ЭМС.

В рамках поставленной задачи рассматривается несимметричная МПЛ, которая расположена на диэлектрической подложке RO3010 ($\epsilon=10.2$) с вырезами. Диэлектрическая подложка лежит на металлическом экране. Особенностью МПЛ являются сложная топология и то, что она находится в металлическом корпусе (Рис. 1). Все отдельные каналы в МПЛ имеют одинаковую длину ($L=65$ мм). Ширина полосков $W=0.58$ мм.

Основным ориентиром, указывающим на работоспособность исследуемой микрополосковой линии, является равноамплитудное распределение в выходных каналах.

Чтобы провести общую оценку, для начала определим минимальные ожидаемые потери в исследуемой МПЛ. Так как мы имеем 3 делителя мощности, то на выходе будем иметь минус 9 дБ относительно входного сигнала. Суммарные потери в коаксиальных кабелях на входе и на выходе минус 1,1 дБ. Потери на самой МПЛ рассчитаем по формуле [4]:

потери в проводниках:

$$\alpha_{\text{пр}} = 1.38A \frac{R_s}{hZ_0} \frac{32 - (W_3/h)^2}{32 + (W_3/h)^2} \quad (1)$$

потери в диэлектрике:

$$\alpha_{\text{д}} = 27.3 \frac{\epsilon_r}{\epsilon_r + 1} \frac{\epsilon_{\text{эф}} - 1}{\sqrt{\epsilon_{\text{эф}}}} \frac{\text{tg } \delta}{\lambda_0} \quad (2)$$

$$\epsilon_{\text{эф}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} \frac{\epsilon_r - 1}{2} (1 + 10h/W)^{-1/2} \quad (3)$$

полные потери:

$$\alpha = \alpha_{\text{пр}} + \alpha_{\text{д}} \quad (4)$$

В результате простого расчета минимальные ожидаемые потери в МПЛ составили минус 9.689 дБ/м. Для длины L МПЛ в нашем случае потери составили минус 0.73 дБ. С учетом потерь в кабеле и деления сигнала в МПЛ, уровень ожидаемого сигнала относительно входного, должен составить минус 10.83 дБ.

Однако, проведенное электродинамическое моделирование (Рис.1 а) показало, что потери в исследуемой МПЛ выше ожидаемых, амплитуда сигнала на выходах не совпадает. Расхождение в значениях амплитуды на выходах в отдельных каналах при заданных параметрах достигает 3 дБ (Рис. 2).

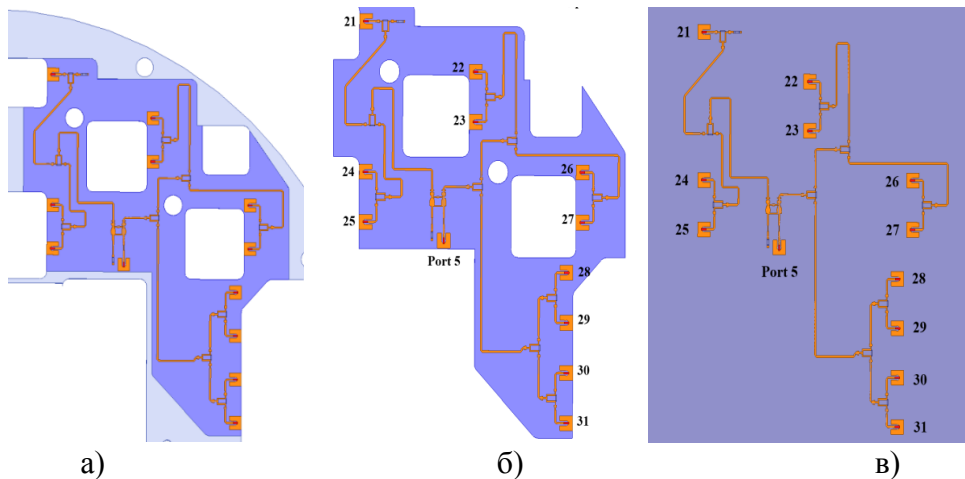


Рис.1. Общий вид исследуемой микрополосковой структуры

а) МПЛ с учетом формы диэлектрика и металлического основания

б) МПЛ только с учетом формы диэлектрика

в) МПЛ без учета формы диэлектрика и металлического основания

Были проведены дополнительные расчеты и электродинамическое моделирование, направленные на выяснение причины возросших потерь в МПЛ и различия в уровнях сигнала на выходах. Для этого вначале уберем металлический корпус (Рис.1 б), а потом уберем вырезы в диэлектрике и увеличим его площадь (Рис. 1 в), тем самым убрав влияние краевых эффектов.

Расчеты для случая, когда металлический корпус отсутствует, показали увеличение коэффициента передачи во всех каналах от 1.7 до 3.5 дБ. Более того, расхождение в значениях амплитуды поля в отдельных каналах, сократилось до 1.8 дБ. Такой результат прямо указывает на то, что металлический корпус в значительной степени оказывает влияние на передачу сигнала в микрополосковой линии, находящейся вблизи него.

Расчеты для случая (Рис. 1в), показали уменьшение коэффициента передачи (0.2-2 дБ) в сравнении со случаем на Рис. 1б, а расхождение в значениях амплитуды поля в отдельных каналах увеличилось до 2.5 дБ. Полученный результат говорит о том, что неравномерное расположение диэлектрической подложки может влиять на коэффициент передачи в микрополосковой линии и это нужно учитывать при проектировании устройств.

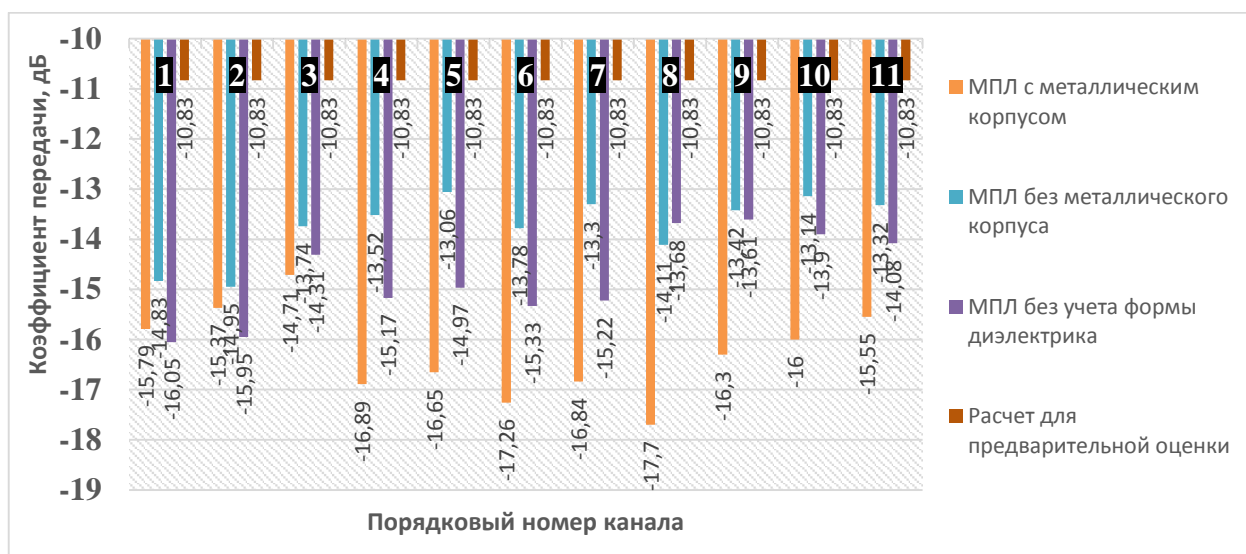


Рис.2 Коэффициенты передачи для разных конфигураций МПП

Отличительная черта рассмотренных конструкций, изображённых на рис. 1 а-в, в том что с точки зрения схемотехники они одинаковы (одинаковая электрическая длина проводников и топология делителя мощности). Различия наблюдаются в форме диэлектрика, в тех местах где отсутствует металлизация, и наличии металлического основания.

Основой для рассмотрения разных конструкций были приняты потери в разных каналах. На рис.2 видны значительные изменения в коэффициенте передачи от случая к случаю. При изменении формы диэлектрика видно уменьшение потерь в каналах, но характер изменения сильно зависит от отсутствия симметрии в изменении формы, и уже на этом этапе требуется отдельная доработка конструкции. Избежать данную проблему возможно, если изменять форму симметрично, но имеющаяся конструкция изначально не обладает симметрией и ограничена заданным объемом. Так как необходимость доработки определена, важно определить и влияние металлического корпуса. При добавлении металлического корпуса потери возрастают и становятся даже больше чем они были без учета формы платы, а следовательно есть влияние корпуса на передачу сигнала по микрополосковой линии. Также видно, что отсутствует симметрия, а значит, требуется учитывать форму металлического корпуса.

Проведенное исследование показало, что целесообразно проводить расчет и доработку исследуемых МПП с учетом места их установки и окружающих металлических конструкций. Взаимное влияние микрополосковых линий, принадлежащих отдельным каналам, а так же влияние пассивных элементов, входящих в состав МПП в значительной

степени может повлиять на передачу сигнала и общие потери, а результаты первоначальных расчетов могут зачастую не соответствовать реальной ситуации. Как результат, доработка топологии может стать очень сложной задачей и не иметь конечного решения.

Исследование дает возможность разработки некоторых рекомендаций для проектирования микрополосковых плат-СВЧ, находящихся в закрытом объеме, отвечающих высоким требованиям по надежности, технологичности и ЭМС.

Библиографический список

1. Г. Отт «Методы подавления шумов и помех в электронных системах», Издательство «Мир», 1979 .
2. А.Г. Малорацкий, Л.Р. Явич. Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях. – М.: Советское радио, 1972.
3. Конструирование и расчет полосковых устройств. Под.ред. Е.П. Котова, В.Д. Каплуна. – М.: Советское радио, 1979.
4. Проектирование полосковых устройств СВЧ. Учебное пособие, УГТУ, Ульяновск, 2001.
5. А.Акулин, «Целостность сигналов на печатной плате и волновое сопротивление проводников», Технологии в электронной промышленности, №1, 2007, стр.18-21.
6. К.Б.Джурицкий, В.Я.Батаев, М.С.Левашов, С.Легенкин, «Соединители SMP, основные типы, параметры и применение», Электроника НТБ, №6 (00146) 2015.
7. David M.Pozar «Microwave Engineering» Fourth Editions, University of Massachusetts at Amherst, John Wiley & Sons, Inc., 2012.