электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

УДК 621.396.67

Исследование особенностей моделирования микрополосковых устройств на примере неравновесного делителя мощности

 # 05, май 2012

Семерня Р.Е.

Студент,
кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»

Научный руководитель: Фадеева Н.Ю. ,
ассистент кафедры «Радиоэлектронные системы и устройства»

МГТУ им. Н.Э. Баумана
whip2op@gmail.com

За последнее время, в антенной технике все больше и больше начинают получать распространение системы, выполненные преимущественно или полностью на микрополосковых элементах. Низкая стоимость производства, малые габариты и высокая степень интеграции делают эти устройства крайне привлекательными для разработчиков [1]. Однако, по сравнению с обычной аппаратурой микрополосковые и полосковые схемы более трудоемки в разработке, поскольку связь между элементами схемы за счет краевых полей и полей излучения более трудно поддается учету, расчет многих элементов схемы производится приближенно, а подстройка готовых схем затруднена. Окончательные размеры схем приходится отрабатывать путем оптимизации множества параметров. Использование программ электродинамического моделирования сопряженно с рядом допущений и тонкостей, некоторые из которых рассмотрены в данной работе.

Одной из важных составляющих антенной решетки является система распределения мощности. Конструкция такой системы зависит от требуемой диаграммы направленности, т.е. от амплитудного и фазового распределения поля по раскрыву решетки. В этом случае делитель является диаграммообразующим устройством. На рисунке 1 представлен фрагмент делителя на шестнадцать каналов, задающего амплитудное распределение (АР) вида $I(x) = \frac{1+t}{2} + \frac{1-t}{2} \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot x}{15}\right)$, где t - ступенька.

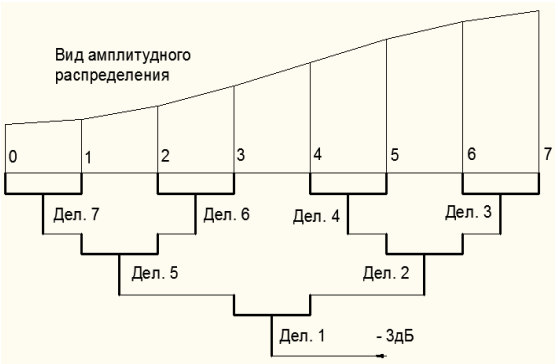


Рис. 1. Функциональная схема делителя, задающего АР косинус квадрат

Зная вид АР, можно найти значения относительной входной амплитуды на каждом канале I_i. На примере делителя 1, формула для вычисления коэффициента деления имеет вид:

$$q_1 = \frac{\sum_{i=4}^{7} I_i}{\sum_{i=0}^{3} I_i}.$$

На рисунке 2 приведена схема микрополоскового делителя на 2 канала с неравновесным делением. Методика моделирования микрополоскового делителя на шестнадцать показана на примере делителя на два.

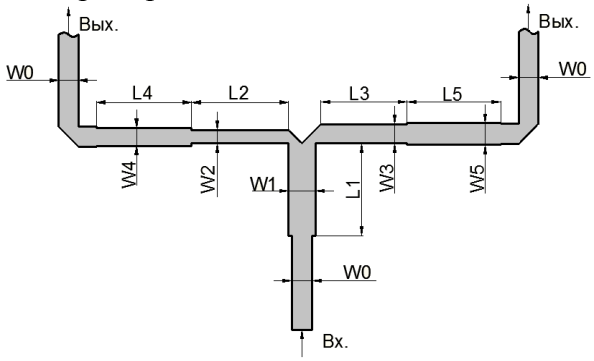


Рис. 2. Схема делителя мощности на два канала

Сопротивления отрезков делителя можно оценить, используя приблизительные соотношения для инженерного расчета [1],[2]:

$$Z_1 = \left(\frac{k}{k^2+1}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot Z_0 \quad Z_2 = k^{\frac{3}{4}} \cdot (k^2+1)^{\frac{1}{4}} \cdot Z_0 \quad Z_3 = \frac{(k^2+1)^{\frac{1}{4}} \cdot Z_0}{k^{\frac{5}{4}}} \quad Z_4 = \sqrt{k} \cdot Z_0 \quad Z_5 = \frac{1}{\sqrt{k}} \cdot Z_0$$

где волновое сопротивление Z_0 определяется по формуле

$$Z_0 = \begin{cases} \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\varepsilon_{эф}}} \cdot \ln\left(\frac{8 \cdot h}{W_{эф}} + 0.25 \cdot \frac{W_{эф}}{h}\right), \frac{W}{h} \le 1 \\ \frac{376{,}7}{\sqrt{\varepsilon_{эф}}} \cdot \left[\frac{W_{эф}}{h} + 1{,}393 + 0{,}667 \cdot \ln\left(\frac{W_{эф}}{h} + 1{,}444\right)\right]^{-1}, \frac{W}{h} \ge 1 \end{cases},$$

в которой $\varepsilon_{эф} = \frac{\varepsilon+1}{2} + \frac{\varepsilon-1}{2} \cdot \left(1 + 10 \cdot \frac{h}{W}\right)^{\frac{-1}{2}} - \frac{\varepsilon-1}{4{,}6} \cdot \frac{t/h}{\sqrt{W/h}}$ – эффективная диэлектрическая проницаемость,

$$W/h = \begin{cases} \frac{8\exp(A)}{\exp(2A)-2}, A > 1{,}52 \\ \frac{2}{\pi}\left[B - 1 - \ln(2B-1) + \frac{\varepsilon-1}{2\varepsilon}\left(\ln(b-1) + 0{,}39 - \frac{0.11}{\varepsilon}\right)\right], A < 1{,}52 \end{cases},$$

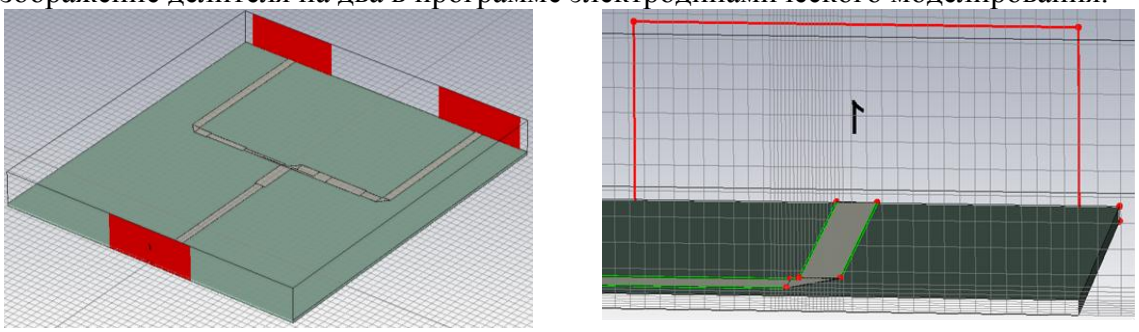
$$W_{эф} = \begin{cases} \frac{1{,}25}{\pi} \cdot \frac{t}{h} \cdot \left(1 + \ln \frac{4 \cdot \pi \cdot W}{t}\right), & \frac{W}{h} \leq 2\pi \\ \frac{1{,}25}{\pi} \cdot \frac{t}{h} \cdot \left(1 + \ln \frac{2 \cdot h}{t}\right), & \frac{W}{h} \geq 2\pi \end{cases}$$ – эффективная ширина полоска,

$A = \frac{Z_0}{60}\left(\frac{\varepsilon+1}{2}\right)^{1/2} + \frac{\varepsilon-1}{\varepsilon+1}\left(0{,}23 + \frac{0{,}11}{\varepsilon}\right)$, $B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\varepsilon}}$ – параметры.

В нашем случае волновое сопротивление регулярной линии принимается равным 50 Ом, параметр $k = \sqrt{q}$. Длина секции определяется по формуле

$$l_i = \frac{\lambda_0}{4 \cdot \sqrt{\varepsilon_{эфф_i}(w_{эфф_i})}}$$

При получении первичных размеров структура делителя может быть внесена в программу электродинамического моделирования. На рисунке 3 приведено изображение делителя на два в программе электродинамического моделирования.



а б

Рис. 3. Делитель 1: а – модель, выполненная в программе электродинамического моделирования; б – сетка разбиения

Следует отметить некоторые особенности создания электродинамической модели микрополоскового тракта по сравнению с аналогичными моделями тракта волноводного. Первая особенность, это расположение и размер порта. По определению разработчиков программного пакета, порт представляет собой особый тип граничных условий в расчетной области, которые позволяют проводить моделирование, а также поглощать мощность. Для замкнутых структур не возникает трудностей с определением положения порта, однако есть особенность расположения порта для микрополосков.

На рисунке 4 представлено расположение порта для моделирования микрополосковой линии.

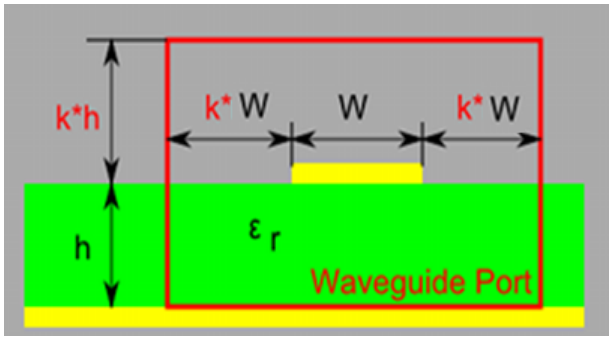


Рис. 4. Расположение порта для модели микрополосковой линии

Как видно из рисунка 4, размеры порта ставятся в соответствие с высотой подложки и шириной полоска. В зависимости от размеров порта меняется волновое сопротивление, определяемое программой для одной и той же линии, меняется уровень отражений. Далее приведена зависимость изменения волнового сопротивления и коэффициента отражения от площади порта, при разных соотношениях высоты и ширины порта. Зависимости представлены без учета дисперсии в материале.

Теоретически посчитанное волновое сопротивление равно 49.9 Ом.

Результаты, полученные для линии шириной 1.14 мм на подложке с высотой 0.38 мм и диэлектрической проницаемостью 2.2, представлены на рисунке 5.

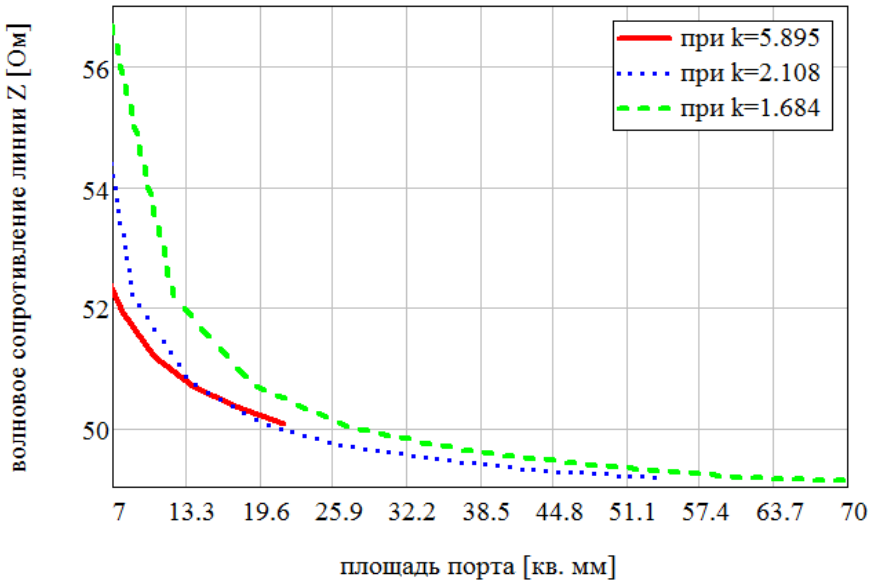


Рис.5. Зависимость волнового сопротивления микрополосковой линии от площади порта

Из графиков видно, что оптимальным является случай $k = 2.108$, где k – отношение ширины порта к высоте, т.к. при относительно небольших габаритах порта волновое сопротивление близко к полученному теоретически. Для $k = 1.684$, точность возрастает при значительном увеличении площади порта, однако, возникает неудобство использования порта при плотном расположении передающих линий.

Полученная зависимость позволяет сделать поправку в теоретически рассчитанном волновом сопротивлении, а, следовательно, скорректировать ширину полоска - ω_0 =1.12 мм.

Второй вопрос, связанный с моделированием микрополосковых линий – это размер сетки. Для моделирования микрополосковой техники, в основном применяется прямоугольная сетка. Следует иметь в виду, что увеличение количества разбиений ведет к увеличению точности расчета, также как и ведет к увеличению времени расчета, поэтому немало важной частью моделирования является задание оптимальной сетки. В данной программе имеется возможность задавать локальное разбиение, которое помогает выделять наиболее важные, с точки зрения точности, области модели, например, области с большей неоднородностью. Прямоугольный изгиб с наложенной сеткой показан на рис.1б.

Далее приводится детальное рассмотрение поворота на 90 градусов. Несмотря на то, что отражение от данной неоднородности невелико, множество элементов в

сумме могут внести значительный вклад в значение коэффициента стоячих волн, а, следовательно, повлиять на работу линии. На рисунке 6 представлена зависимость коэффициента стоячей волны от размера d.

По графику видно, что наиболее оптимальным по отражениям является случай для d=0.71 мм, что соответствует 62 % ширины полоска.

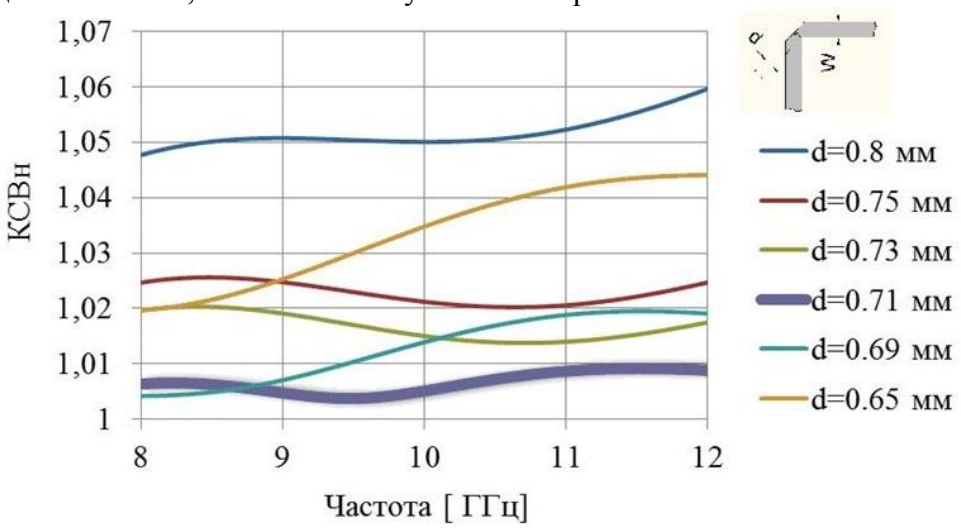


Рис. 6. Микрополосковая линии с поворотом на 90 градусов

Основным этапом моделирования является оптимизация параметров конечного устройства, рассчитанного теоретически. Для оптимизации делителя на 16 удобнее проводить оптимизацию каждого делителя на 2, входящего в его состав. На рисунке 7 показаны зависимости КСВН от частоты для делителя, размеры которого определяются инженерными соотношениями и делителя, параметры которого оптимизированы.

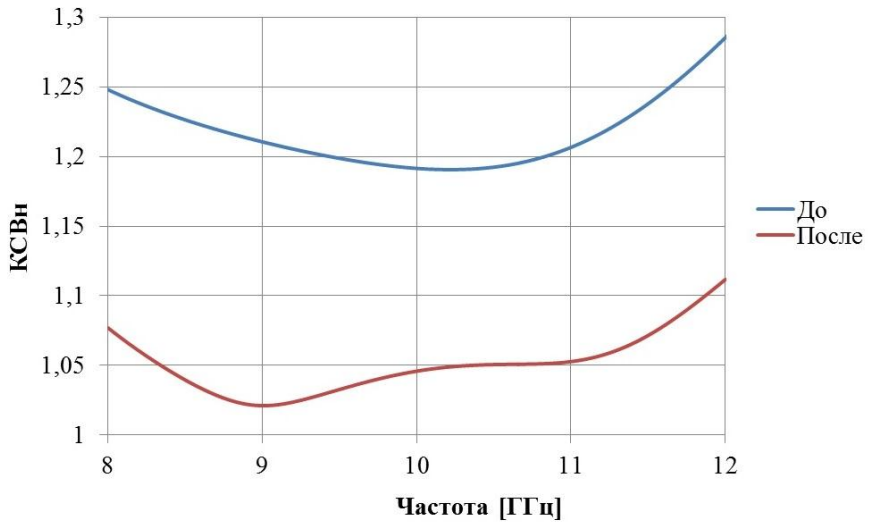


Рис. 7. КСВН оптимизированного и неоптимизированного делителя.

Рассмотрим коэффициент деления на примере делителя 1. В таблице 1 приведены значения коэффициентов деления между двумя каналами, рассчитанные теоретически, а также по результатам первичного моделирования и после оптимизации.

Коэффициенты деления делителя 1

	Требуемое значение	Теоретическая модель	Оптимизированная модель
Коэффициент деления в разах	2,165	2,26	2,12

После проведения моделирования делителя на 16 и его оптимизации удалось достигнуть хорошего уровня согласования в полосе 8-12 ГГц. Результат моделирования представлен на рисунке 8.

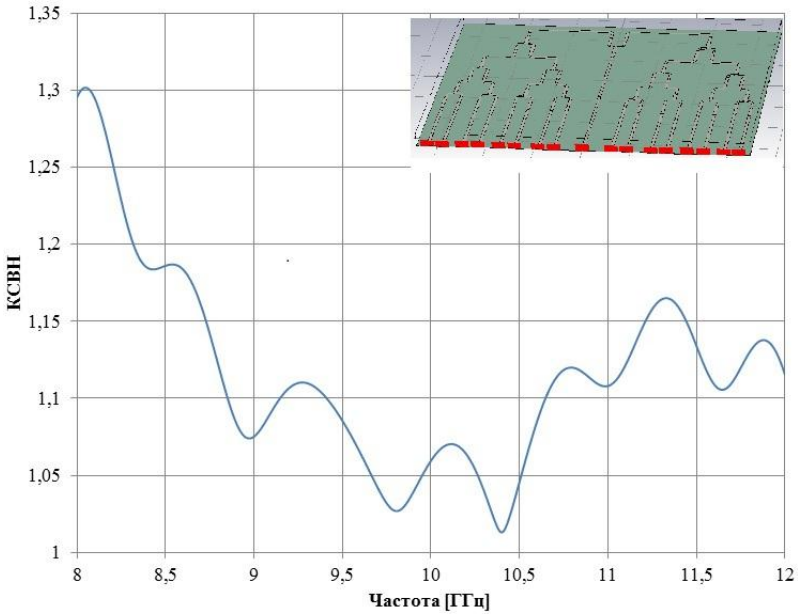


Рис. 8. КСВН делителя на 16 в X-диапазоне.

Полученный результат показывает, что, разбиение сложной структуры на отдельные блоки и их оптимизация в программах электродинамического моделирования, является достаточно удобным способом разработки микрополосковых устройств, обладающих хорошим уровнем согласования по входу, а также коэффициентами передачи, совпадающими с требуемыми значениями.

Список литературы:

1. Устройства сверхвысоких частот : учеб. пособие / Н.А. Малков, А.П. Пудовкин. Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та,2008. – 92 с.
2. Мещанов В.П., Фельдштейн А.П. Автоматизированное проектирование направленных ответвителей СВЧ. - М.: Связь, 1980. - 144 с.
3. Справочник по элементам полосковой техники (направленные ответвители 1-3 класса) / Под ред. А.Л. Фельдштейна. – М.: Связь, 1979. – 336 с.
4. Foundations of interconnect and microstrip design /T.C. Edwards, M.B. Steer. -3rd ed., 548 p., 1991.