

УДК 621.396

СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ РАЗМЕРОВ МИКРОПОЛОСКОВОГО ДВУХШЛЕЙФНОГО МОСТА

Д. А. Летавин

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д.32

Статья поступила в редакцию 27 июля 2017 г.

Аннотация. В данной работе приводится описание метода миниатюризации двухшлейфного моста. Процедура, на которой основан принцип уменьшения геометрических размеров устройства, заключается в замене четвертьволновых отрезков микрополосковой линии передачи на структуры, которые будут обладать схожими характеристиками с заменяемыми отрезками в определенной полосе частот. С помощью программы трехмерного электродинамического анализа получены частотные характеристики устройства. Используя стандартный метод изготовления печатных плат, был изготовлен опытный образец и измерены его характеристики, которые подтвердили работоспособность устройства и метода в целом.

Ключевые слова: микрополосковая линия, миниатюризация, двухшлейфный мост.

Abstract. At present passive microstrip devices have found wide application in the modern radio engineering. Directional couplers can be used in communication, antennas, radio measurements. Also they can be implemented in the power splitters, modulators, adders, shifters. Standard design branch-line coupler consists of four quarter-wave sections of transmission line. It should be noted that the dimensions of the device depend on the frequency. The higher it is, the greater the area of the device. Therefore it is necessary to use different approaches to reduce the size of such devices, maintaining their original characteristics in a wide band of frequencies. In order to eliminate the spurious bandwidth, to reduce the size and efficiency of production, structures which function as quarter-wave segments are used. Such structures are much shorter in length, and they can be made by standard techniques:

the etching of printed circuit boards. Microstrip capacitances, which are the part of the proposed structures, are placed inside the free space of the device. To account for the influence of adjacent conductive lines to each other and other factors we use the AWR DE 13. The compact design has an area of 554 mm², which is 78% less than conventional construction. The simulation results were made as prototype of a compact clutch. Measurement of parameters was carried out using a vector network analyzer Rohde & Schwarz ZVA 24 and calibration kit K52. As a result we obtained compact design, easy to manufacture, which may find various applications in microwave technology. Further reduction of the area of the coupler is possible by optimizing the structures and their location. However, the increasing of the degree of miniaturization leads to the decrease in bandwidth.

Key words: microstrip line, miniaturization, branch-line coupler.

1. Введение

Двухшлейфный мост является одним из видов квадратурных мостов. Такие мосты используются при построении таких устройств, как фазовращатели, сумматоры и делители мощности, диаграммо-образующие схемы антенных решеток и др. Однако в дециметровом диапазоне радиоволн такие устройства получаются громоздкими и в некоторых практических случаях не пригодными для использования. Поэтому миниатюризация мостовых устройств в данном диапазоне является актуальной. На сегодняшний день в литературе представлено множество способов, которые позволяют уменьшить площадь, занимаемую микрополосковыми устройствами на печатной плате.

Рассмотрим лишь некоторые из них, например, в работе [1] предложено уменьшение габаритов при помощи нагруженных шлейфов, встречно-штыревых конденсаторов [2], высокоомных структур [3], плоских искусственных линий передачи [4,5], квази-сосредоточенные элементы [6,7,8] несимметричных Т-образных структур [9], периодические емкостные нагрузки [10] замедляющих структур [11], фрактальных структур [12].

Однако не все предложенные методы позволяют сохранить характеристики устройства примерно на том же уровне, что и для стандартных размеров. В

данной работе представлен способ, с помощью которого можно быстро и просто спроектировать компактные мостовые устройства. Для этого потребуется спроектировать структуры, которые будут обладать схожими характеристиками с микрополосковыми отрезками линии передачи, но при этом будут обладать меньшей физической длиной.

2. Методика проектирования

Двухшлейфный мост, как правило, используется для равномерного деления поступающей мощности на вход между двумя его выходами, при том, что оставшийся вход является развязанным. Стандартная реализация такого моста это две микрополосковые линии передачи (МПЛ) с сопротивлением, равным 50 Ом, соединенные четвертьволновыми отрезками линии передачи с сопротивлением 35 Ом на расстоянии четверть длины волны друг от друга. В качестве материала подложки был выбран стандартный СВЧ-материал – стеклотекстолит, с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 4.4$, тангенсом угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta = 0.02$ и толщиной $h = 1$ мм.

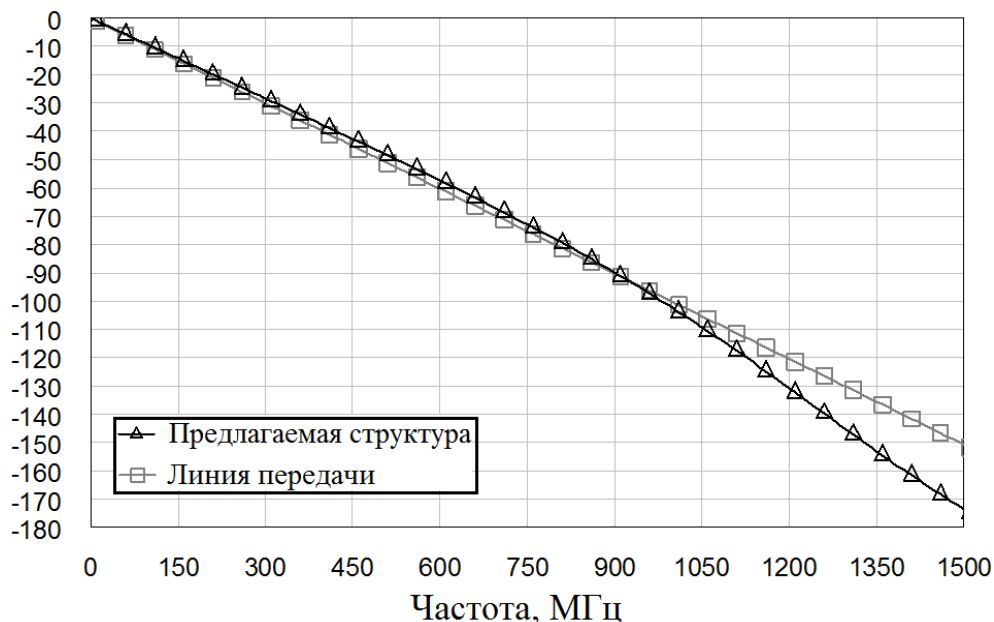


Рис. 1. Сравнение значений фазы микрополосковой линии и предлагаемой структуры.

Первоначально при проектировании миниатюрной конструкции первым шагом будет проектирование структур на соответствующие волновые сопротивления, которые будут обладать схожими характеристиками с обычной

линией. Топология предлагаемых структур состоит из высокоомной линии передачи, к которой параллельно, с помощью такой же высокоомной линии передачи подключена П-образная емкость. Размеры всех элементов такой топологии подбираются таким образом, чтобы общий фазовый сдвиг на центральной рабочей частоте был равен 90 градусов. Для сравнения получаемых характеристик на рис.1 представлена фазо-частотная характеристика (ФЧХ) обычного четвертьволнового отрезка и проектируемой структуры. Исходя из полученных данных, видно, что значения фазы для линии передачи и структуры одинаковы на центральной частоте равной 0.9 ГГц.

Также стоит отметить, что полученные ФЧХ с не большой погрешностью совпадают в диапазоне частот от 0 до 1.1 ГГц. При изготовлении конструкции важно точно реализовать все размеры элементов, но особенно это касается высокоомных отрезков, иначе возможно получить изменение волнового сопротивления, а следовательно, изменятся все характеристики проектируемой структуры.

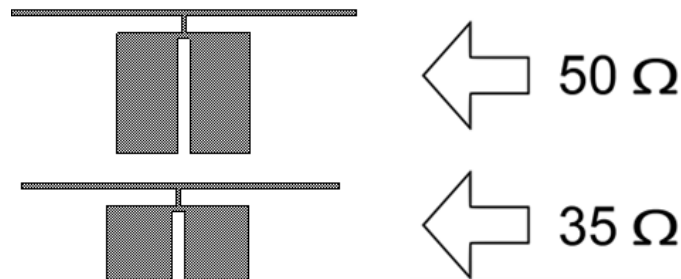


Рис. 2. Предлагаемые структуры с входными сопротивлениями 35 и 50 Ом.

Для получения компактной конструкции необходимо спроектировать структуры с входными сопротивлениями 35 и 50 Ом. Полученные размеры обычных линий и предлагаемых структур представлены в табл.1. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что 50-Омная структура оказалась короче на 27,5 мм, чем обычная линия, а 35-Омная структура на 25,8 мм. При этом ширина таких структур превышает ширину обычных линий, поэтому П-образные емкости будут располагаться во внутренней части прямоугольника. На рис.2. показаны топологии полученных структур в результате проектирования.

Таблица 1. Сравнение размеров МПЛ и структур.

Конструкция		L, мм	W, мм
50 Ом	Стандартная линия	51.6	1.9
	Предлагаемая структура	24.1	10
35 Ом	Стандартная линия	48.8	3.3
	Предлагаемая структура	23	6.7

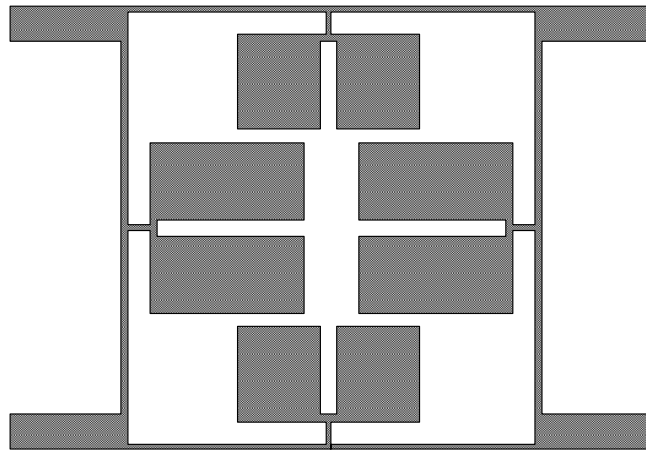


Рис. 3. Компактный мост, полученный в программе AWR

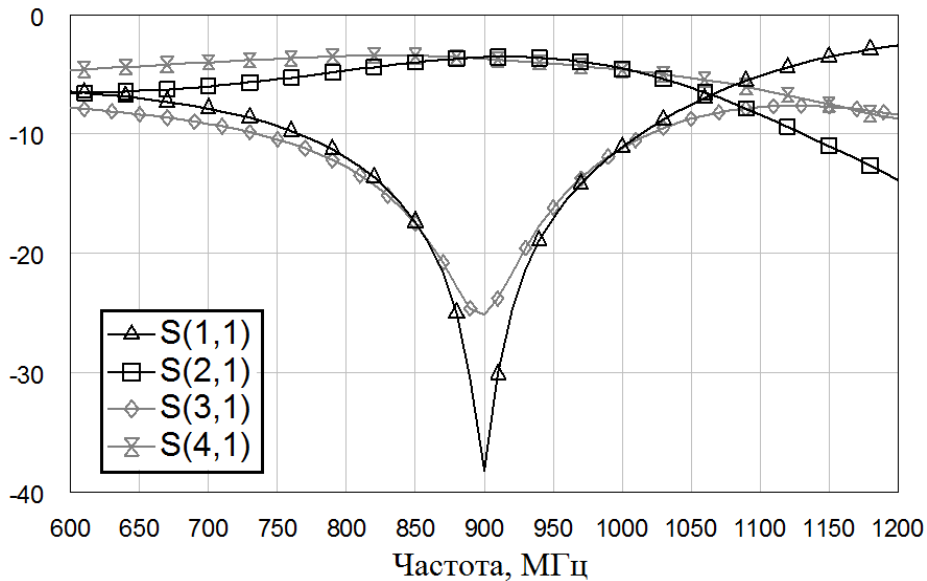


Рис. 4. Зависимость S-параметров от частоты для компактного моста

После того, как все структуры спроектированы, устанавливаем их на место стандартных МПЛ, как показано на рис.3. Затем из-за небольших отклонений

получаемых характеристик необходимо произвести оптимизацию всей конструкции. Данные отклонения могут быть вызваны влиянием элементов соседних структур. Компактный мост занимает площадь, равную $24,1 \text{ мм} \times 23 \text{ мм} = 554,3 \text{ мм}^2$. Результаты численного моделирования предлагаемого устройства были получены с помощью программы AWR DE и представлены на рис.4, 5. Рабочая полоса частот, оцениваемая по уровню развязки -20 дБ , равна 72 МГц , дисбаланс коэффициентов передачи в полосе частот не превышает $0,3 \text{ дБ}$, разность фаз между выходами устройства на центральной частоте составляет 89 градусов . Коэффициент отражения, отвечающий за согласование, имеет значение менее -24 дБ на центральной частоте.

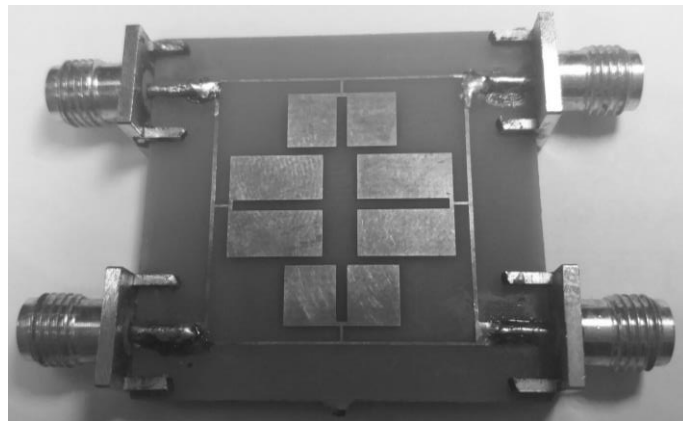


Рис. 5. Прототип компактного моста

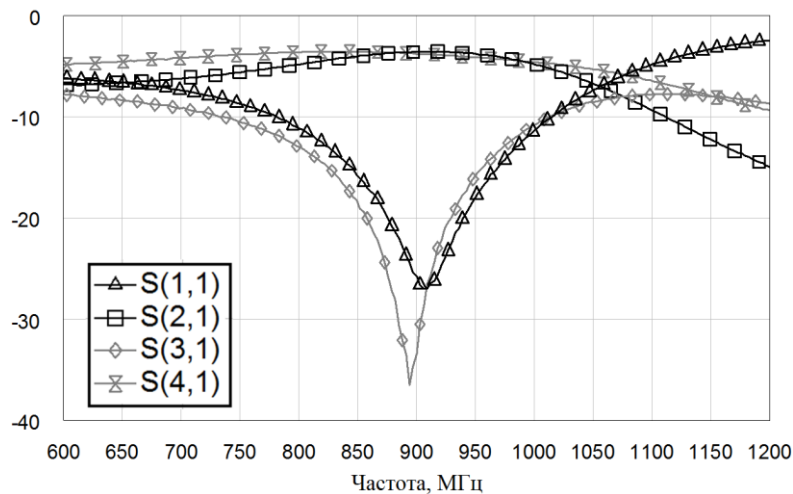


Рис. 6. Измеренная зависимость S-параметров от частоты для прототипа компактного моста

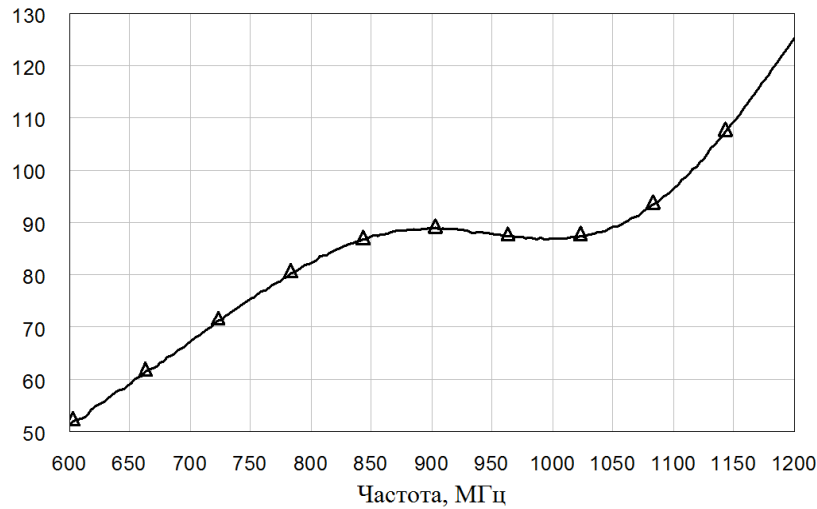


Рис. 7. Измеренная разность фаз между выходами компактного моста

На основе полученных результатов проектирования с помощью стандартного метода изготовления печатных плат был изготовлен макет устройства, и измерены его частотные характеристики с помощью векторного анализатора цепей R&S ZVA-24 и калибровочного набора ZV-Z52. Результаты моделирования и экспериментальные исследования хорошо согласуются между собой. Все полученные результаты сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Характеристики исследованных микрополосковых мостовых устройств.

Тип устройства	Площадь, мм ²	Полоса частот по уровню развязки 20 дБ, МГц	Разность фаз на выходах, градусы	Коэффициенты передачи на выходы	
				S ₂₁	S ₄₁
Стандартный	2518	149	90	-3.4	-3.4
Компактный модель	554	72	89	-3.55	-3.55
Компактный прототип	554	71.5	88.9	-3.6	-3.7

4. Заключение

В данной статье предложен метод, позволяющий существенно уменьшить размеры стандартных микрополосковых направленных ответвителей с помощью структур, обладающих схожими характеристиками с традиционными

МПЛ. Компактная конструкция моста с центральной частотой 0,9 ГГц была спроектирована и исследована с помощью программы AWR DE. Размеры компактного устройства оказались на 78% меньше размеров оригинального устройства. При этом такой процент миниатюризации имеет и негативный фактор: уменьшение рабочей полосы частот по уровню развязки -20 дБ примерно на 50% от стандартного устройства.

Полученные результаты показывают, что предложенный способ эффективен и может быть использован для миниатюризации различных СВЧ-устройств, в состав которых входят микрополосковые линии передачи.

Литература

1. Kimberley W. Eccleston, and Sebastian H.M. Ong, "Compact Planar Microstripline Branch-Line and Rat-Race Couplers," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 51, no. 10, pp. 2119-2125, Oct. 2003.
2. Kai-Yu Tsai, Hao-Shun Yang, Jau-Horng Chen, and Yi-Jan Emery Chen, "A miniaturized 2 dB Branch-Line Hybrid Coupler With Harmonics Suppression," IEEE Microw. Wireless Compon.Lett., vol. 21, no. 10, pp. 537-539, Oct. 2011.
3. C. W. Tang and M.-G.Chen, "Synthesizing microstrip branch-line coupler with predetermined compact size and bandwidth," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 55, pp. 1926-1934, Sep. 2007.
4. Chao-Wei Wang, Tzyh-Ghuang Ma and Chang-Fa Yang, "A new planar artificial transmission line and its applications to a miniaturized butler matrix," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 55, no. 12, pp. 2792-2801, Dec. 2007.
5. Kimberley W. Eccleston and Sebastian H. M., "Compact planar microstripline branch-line and rat-race couplers," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 51, no. 10, pp. 2119-2125, Oct. 2003.
6. S.-S. Liao and J.-T. Peng, "Compact planar microstrip branch-line couplers using the quasi-lumped elements approach with nonsymmetrical and symmetrical T-shaped structure," IEEE Trans. Microw. TheoryTech.,vol. 54, pp. 3508-3514, Sep. 2006.

7. Н. Н. Щетинин, В. А. Мельник, «Компактный микрополосковый 3 дБ квадратурный направленный ответвитель», Вестник Воронежского института ФСИН России. 2014. № 4. С. 26-28.
8. Н. Н. Щетинин, А. В. Останков, Е. И. Воробьёва «Математическая модель для проектирования микрополоскового направленного ответвителя на квазисосредоточенных элементах» Вестник Воронежского государственного технического университета. 2014. Т. 10. № 3-1. с. 66-70.
9. Chao-Hsiung Tseng and Chih-Lin Chang, "A rigorous design methodology for compact planar branch-line and rat-race couplers with asymmetrical T-structure," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 60, no. 7, pp. 2085-2092, July 2012.
10. K. W. Eccleston and S. H. M. Ong, "Compact planar microstripline branch-line and rat-race coupler," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 51, pp. 2119-2125, Oct. 2003.
11. Wei-Shin Chang and Chi-Yang Chang, "A high slow-wave factor microstrip structure with simple design formulas and its application to microwave circuit design," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 60, no. 11, pp. 3376-3383, Nov. 2012.
12. Hani Ghali and Tarek A. Moselhy "Miniaturized fractal rat-race, branch-line, and coupled-line hybrids," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 52, no. 11, pp. 2513-2520, Nov. 2004.

Ссылка на статью:

Д. А. Летавин. Способ уменьшения размеров микрополоскового двухшлейфного моста. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №10. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/oct17/1/text.pdf>