УДК 621.3.049

DOI: 10.36845/2073-8250-2020-259-4-63-69

МАКЕТИРОВАНИЕ НАПРАВЛЕННОГО ОТВЕТВИТЕЛЯ МОЩНОСТИ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ 3,0 – 4,5 ГГц НА МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ

Н.С. Николаенков, Д.А. Сарapulцев

*РТУ «МИРЭА», Научно-технологический центр «Твердотельная СВЧ-электроника»,
119454, ЦФО, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78*

Проведено моделирование направленного ответвителя. Моделирование проводилось при помощи пакета прикладных программ, встроенных в САПР Microwave Office. В настоящей статье обобщены результаты проведенной работы. Диапазон рабочих частот направленного ответвителя составляет от 3,0 до 4,5 ГГц. Результатом проведенной работы является модель направленного ответвителя мощности с рассчитанными показателями электро-технических характеристик: амплитудно-частотные характеристики и КСВН плеч. Направленный ответвитель может быть использован в приёмно-передающей и измерительной технике.

Ключевые слова: направленный ответвитель, моделирование, амплитудно-частотная характеристика, микрополосковые линии

Сведения об авторах: Николаенков Никита Сергеевич, nikolaenkov_n@pulsarnpp.ru; Сарapulцев Данила Алексеевич, sarapulcev@mirea.ru

3-4,5 HHZ MMIC QUADRATURE COUPLER DESIGN

N. S. Nikolaenkov, D. A. Sarapulcev

*Science&Technology Center «Solid state UHF electronics»,
119454, Moscow, Prospekt Vernadskogo, 78*

The 3-4,5 HHZ MMIC quadrature coupler model is presented. The designing process was performed at AWR Software® Microwave Office. The resulting model includes the estimation of key electrical attributes: amplitude-frequency and standing wave ratio indicators. The model could be effectively used in transmit-receive and measuring equipment.

Keywords: quadrature coupler, modeling, amplitude-frequency attributes, microstrip

Authors: Nikita Sergeevich Nikolaenkov, nikolaenkov_n@pulsarnpp.ru; Sarapulcev Danila Alekseevich, sarapulcev@mirea.ru

В ходе выполнения научно-исследовательской работы «Исследование возможности создания направленного ответвителя мощности в диапазоне частот 3,0 – 4,5 ГГц на многослойных печатных платах» проведено исследование особенностей различных конструкций направленных ответвителей (далее – НО), а также проведено моделирование предлагаемой конструкции прибора.

Направленные ответвители широко используются в приёмно-передающей аппаратуре и измерительной технике. В дециметровом (0,3 – 3,0 ГГц) и сантиметровом (3,0 – 30,0 ГГц) диапазонах волн используются направленные ответвители на полосковых и микрополосковых линиях. В миллиметровом диапазоне волн (30,0 – 300,0 ГГц) используются волноводные направленные ответвители. По конструкции, направленные ответвители представляют собой две микрополосковых линии передач (основную и вспомогательную), связанные между собой посредством нескольких отверстий связи. Допустимая передаваемая мощность зависит от типа линии, размера полосков и расстояния до заземленной стороны платы.

Направленный ответвитель – восьмиполусное устройство, осуществляющее направленное ответвление энергии. При возбуждении одного из плеч НО часть энергии передается во второе плечо основной линии, а часть – во вспомогательное. При этом второе плечо вспомогательной линии является изолированным, и оно оказывается развязанным относительно возбуждаемого плеча основной линии. Разделение линий передач на основную и вспомогательную является условным и используется чтобы упростить понимание процесса, происходящего в НО.

Идеальный направленный ответвитель представляется не имеющим потерь взаимным восьмиполусником, который может быть описан матрицей рассеяния (1)

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{14} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{41} & \cdots & S_{44} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

В матрице идеального НО элементы S_{11} , S_{22} , S_{33} , S_{44} и S_{14} , S_{41} , S_{23} , S_{32} равны нулю. В реальности эти соотношения не выполняются, так как развязка имеет конечное значение, а значит в развязанное плечо поступает незначительная часть входной мощности (рис. 1). Распространяющаяся в первичной линии волна частично ответвляется от вторичной, где она распространяется в противоположном направлении. Из-за этого направленный ответвитель на связанных линиях является противонаправленным.

Рис. 1

Направленный ответвитель

Проведены исследования, касающиеся создания квадратурного микрополоскового направленного ответвителя на многослойной печатной плате с относительно высокими электро-техническими показателями. Предметом исследования являются основные характеристики: диапазон частот, коэффициент передачи прямого/связанного плеча, абсолютная разность коэффициента передачи в прямом/связанном плечах, развязка между выходами плечами, КСВН входа/выхода.

Рис. 2

Виды направленных ответвителей, где 1, 2, 3, 4 – плечи:

а – шлейфный; б – одноступенчатый; в – на основе тандемного соединения
двух связанных линий передачи 1, 2, 3, 4 – плечи НО

Выбор схемных решений, используемых для построения направленных ответвителей, осуществляется в зависимости от конкретных технических требований к электрическим параметрам, диапазону рабочих частот и от возможностей технологической базы. Практически всё многообразие структур НО, реализованных на элементах, являются результатом модификации простейших структур. К основным видам направленных ответвителей относятся шлейфные, одноступенчатый и на основе тандемного соединения (рис. 2).

Известна конструкция направленных ответвителей шлейфного типа, состоящих из двух параллельных передающих микрополосковых линий, связанных рядом параллельными шлейфами [1]. Длина шлейфов и расстояние между ними равны четверти длины волны в микрополосковой линии на средней частоте. Ответвленная в дополнительный канал мощность распространяется в нем в том же направлении, как и в основной микрополосковой линии. Фазовый сдвиг напряжений на выходных плечах такого ответвителя составляет 90° . Недостатками этого технического решения являются сравнительно узкая рабочая полоса и относительно большие габаритные размеры.

Также известна конструкция одноступенчатого направленного ответвителя, выполненного на симметричных полосковых линиях передачи и представляющая собой полностью симметричное взаимное четырехплечное устройство (восьмиполосник), осуществляющее направленный отбор некоторой части высокочастотного сигнала из основного в другой дополнительный канал [1]. Он выполнен на трех диэлектрических платах симметричными полосковыми линиями с фронтальной связью, расположенными параллельно заземленным пластинам. Длина области связи при этом составляет $\sim \lambda_n/4$, где λ_n – длина волны в диэлектрике нижней границы частотного диапазона. При идеальном согласовании одно из плеч дополнительного канала развязано, и мощность в него не поступает. Входная мощность при этом распределяется в двух других (рабочих) плечах направленного ответвителя в соответствии с выбранной величиной связи между каналами, а напряжения в рабочих плечах имеют фазовый сдвиг, равный 90° . К недостаткам такой конструкции ответвителя можно отнести большой разброс коэффициента передачи на краях рабочего диапазона, а также недостаточную развязку.

Другой известной конструкцией является тандемный микрополосковый направленный ответвитель, представляющий собой функциональный узел из двух идентичных микрополосковых ответвителей, содержащих две электромагнитно связанные линии передачи, сформированные параллельно друг другу на диэлектрической подложке, реализованные методами тонкопленочной технологии на стандартных подложках [2]. За счет определенного порядка соединения полюсов этих ответвителей удастся реализовать тандемный микрополосковый ответвитель с полосой пропускания 60-65%. Однако, оба образующих ответвителя не должны иметь непосредственную электромагнитную связь между собой, что заставляет при практической реализации разносить их на подложке на заметные расстояния. Это увеличивает габариты тандемного ответвителя в целом и ограничивает область его использования в технике ВЧ и СВЧ.

Предложено построение ответвителя по схеме тандемного соединения двух связанных линий передачи (рис. 2в). Были

проведены расчеты предполагаемых электро-технических характеристик, показавшие расчетную возможность достижения требуемых показателей при технической реализуемости такой конструкции. Модель НО, выполненного на основе тандемного соединения двух одинаковых отрезков однородных связанных линий передач показана на рис. 3. Разность фаз выходных сигналов $\varphi = \frac{\pi}{2}$ (рис. 4).

Моделирование направленного ответвителя проводилось при помощи пакета прикладных программ, встроенных в САПР Microwave Office (MWO) из расчета 50 Омной линии [3]. Длина направленного ответвителя была выбрана равной $\lambda/4$.

В качестве материала подложки был выбран FR4 с диэлектрической постоянной 4,6 [4]. Полученные результаты расчетов характеристик НО на основе тандемного соединения изображены на рис. 4-6.

По результатам проведенного проектирования НО получена предполагаемая к осуществлению модель. Далее необходимо сравнение расчетных электро-технических параметров с требуемыми (табл. 1).

Рис. 3

Модель направленного ответвителя в MWO

Рис. 4
Амплитудно-частотные характеристики прямого $DB(|S(2,1)|)$
и связанного $DB(|S(4,1)|)$ плеча HO

Рис. 5
Амплитудно-частотные характеристики отраженного сигнала $DB(|S(2,1)|)$
и изолированного канала $DB(|S(3,1)|)$ HO

Рис. 6
КСВН входных/выходных портов НО

Таблица 1
Сравнение требуемых характеристик НО с результатами моделирования

Наименование параметра, единица измерения (режим измерения)	Значение параметра	
	Задано	Моделирование
Диапазон рабочих частот, ГГц	3,0 – 4,5	2,9 – 4,6
Коэффициент передачи прямого/связанного плечей, дБ	от минус 3,4	минус 3,3
Абсолютная разность коэффициентов передачи в прямом и связанном плечах, дБ	до 0,4	0,35
Развязка между выходными плечами, дБ	до 24	23,9
КСВН входа/выхода, отн. ед.	до 1,5	1,19

Таким образом в ходе выполнения первого этапа научно-исследовательской работы «Исследование возможности создания направленного ответвителя мощности в диапазоне частот 3,0 – 4,5 ГГц на многослойных печатных платах» произведен выбор перспективной конструкции НО, а также разработана модель с расчетными характеристиками, соответствующими установленным требованиям. По диапазону рабочих частот и КСВН модели расчетные показатели несколько превосходят требования.

Описанный в статье направленный ответвитель является симметричным, сле-

довательно, выбор портов осуществляется оператором и не оказывает влияния на характеристики устройства. В предлагаемой конструкции ответвителя достигается высокая стабильность параметров и высокий коэффициент передачи по сравнению с одноступенчатым и шлейфным ответвителями при одинаковых габаритных размерах.

Демонстрируемые моделью характеристики свидетельствуют о высоком техническом уровне и рыночных перспективах таких приборов. На основе представленной модели планируется создание образца и, в перспективе, её промышленное освоение.

Литература

1. Ковалева И.С. Конструирование и расчет полосковых устройств. – М.: Сов. радио, 1974. – 296 с.
2. Малорацкий Л.Г., Явич Л.Р. Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях. – М.: Сов. радио, 1974. – 232 с.
3. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office. – М.: Солон-Пресс, 2003. – 496 с.
4. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств. Под ред. В.И. Вольмана. М.: Радио и связь, 1982. – 328 с.

References

1. Kovaleva I. S. Konstruirovaniye i raschet poloskovykh ustroystv [Design and characterization of microstrip devices]. Moscow, Sovetskoye Radio, 1974, 296 p.
2. Maloratskiy L. G., Yavich L. R. Proyektirovaniye i raschet SVCH elementov na poloskovykh liniyakh [Design and characterization of microstrip-based microwave devices]. Moscow, Sovetskoye Radio, 1972, 232 p.
3. Razevig V. D., Potapov Yu. V., Kurushin A. A. Proyektirovaniye SVCH ustroystv s pomoshch'yu Microwave Office [Design of microwave devices with Microwave Office software]. Moscow, Solon-Press, 2003, 496 p.
4. Handbook for the characterization and design of microstrip microwave devices. Ed. by Volman V. I. Moscow, Radio i Svyaz', 1982, 328 p.