

## Моделирование и экспериментальное исследование синфазного кольцевого делителя мощности

Д.Е.Губарев<sup>1</sup>, А.Н.Зикий<sup>2</sup>, Г.В.Сперанская<sup>1</sup>, П.А.Сташок<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Таганрогский научно-исследовательский институт связи, Таганрог

<sup>2</sup>Южный Федеральный Университет, Таганрог

**Аннотация:** Проведено моделирование и экспериментальное исследование синфазного кольцевого делителя мощности в диапазоне рабочих частот 2-4 ГГц. Моделирование проводилось в пакете прикладных программ Microwave Office. Эксперимент проводился на макете, изготовленном на материале ПТ-3 толщиной 2мм. В качестве результатов моделирования и эксперимента приведены четыре частотные зависимости коэффициентов передачи S<sub>21</sub> и S<sub>31</sub>.

**Ключевые слова:** делитель мощности, симметричная полосковая линия, коэффициент передачи, описание конструкции, моделирование, эксперимент.

В приёмно-передающей аппаратуре, антенных решётках, измерительной технике широко используются синфазные делители мощности, поэтому их исследование является актуальным. Исследованию делителей мощности посвящено значительное число публикаций, однако многообразие вариантов схемотехнических решений, топологий, материалов для подложек делает эту тему неиссякаемой.

К делителю мощности предъявляются следующие требования:

- диапазон рабочих частот от 2 до 4 ГГц;
- потери не более 4±1 дБ;
- волновое сопротивление входа и выходов 50 Ом;

Такие требования можно реализовать в двухкольцевом делителе мощности [1-5]. В основу расчёта ДМ положены данные из [4] для случая  $n=2$  и  $K=f_2/f_1=2$ . Результаты расчёта приведены в таблице 1 для следующих исходных данных: материал подложки ПТ-3 [2] толщиной 2 мм и  $\varepsilon=2,74\pm 0,14$ .

Таблица 1. Геометрические размеры ДМ и некоторые электрические параметры

Позиционное обозначение	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Волновое сопротивление, Ом	Наименование элемента платы
W1	12	2,8	0,05	50	Отрезок регулярной линии
W2, W3	17	1,5	0,05	82	Первое кольцо
W4, W5	15,5	2,0	0,05	61	Второе кольцо
W6, W7	25,5	2,8	0,05	50	Отрезок регулярной линии
t1	2,1				Толщина платы с учётом металлизации, мм
t2	35				Толщина меди, мкм
t3	15				Толщина серебра, мкм
$\epsilon$	2,6				Диэлектрическая проницаемость двух плат
t4	2,0				Толщина платы без меди и серебряного покрытия
t5	2,0				Толщина верхней платы без металлизации
R1				98	Балластный резистор, Ом
R2				241	Балластный резистор, Ом

### Моделирование

Моделирование ДМ проводилось в пакете прикладных программ Microwave Office[6]. Модель ДМ показана на рисунке 1. Частотные характеристики обоих каналов ДМ приведены на рисунке 2. Из этого рисунка видно, что все требования к ДМ выполняются, потери не превышают 3,24 дБ.

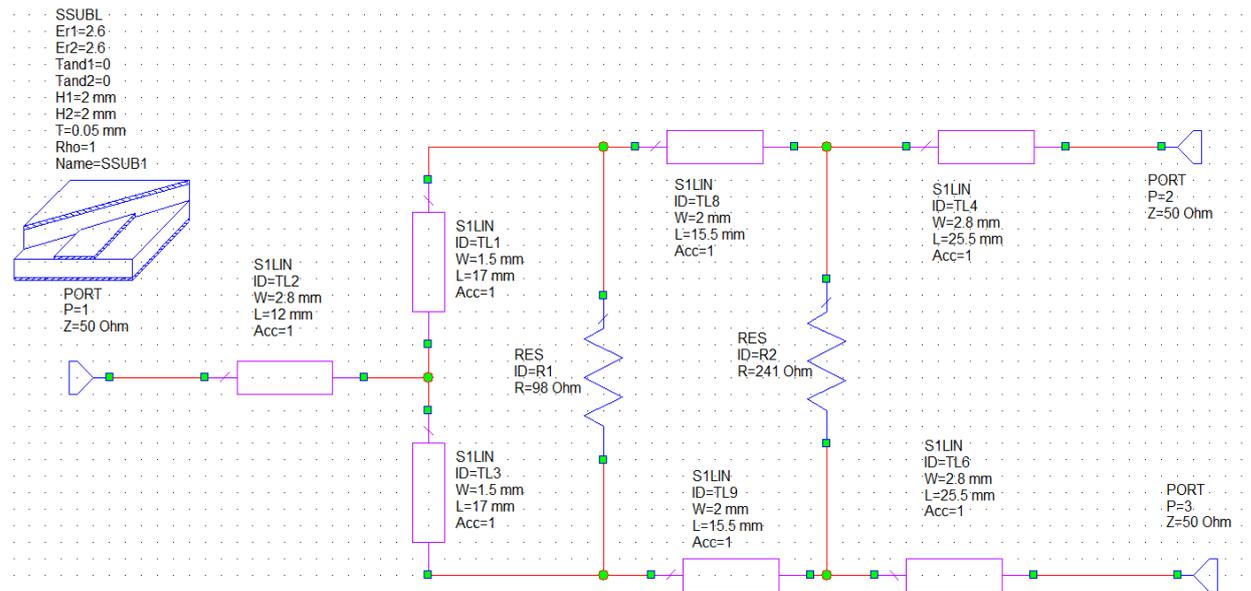


Рис. 1. – Модель делителя мощности в MWO

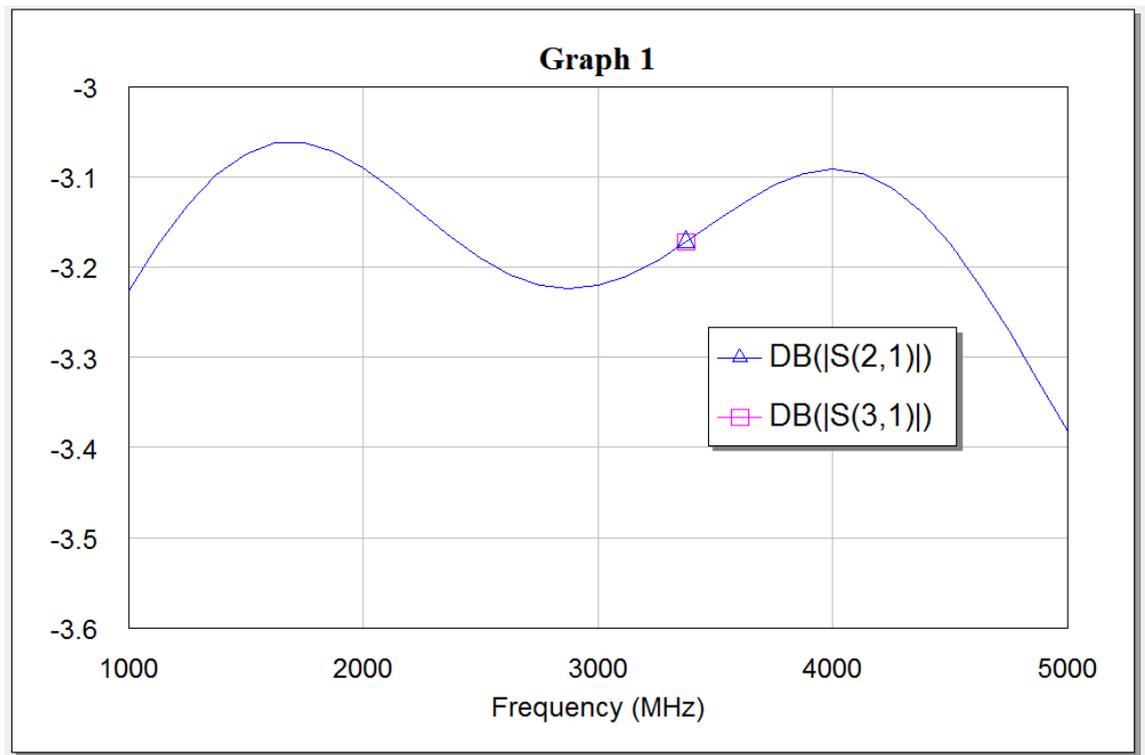


Рис. 2. – АЧХ двух каналов в MWO

### Эксперимент

Эксперимент проводился на установке, содержащей векторный анализатор цепей типа PNA, согласованную нагрузку, комплект кабелей и переходов. В качестве объекта испытаний использован ДМ, изготовленный

по данным таблицы 1. На рисунке 3 можно видеть фото одной из двух печатных плат ДМ. Эти платы зажимаются между двумя жёсткими алюминиевыми пластинами. Для подключения ДМ к измерительным приборам он имеет три соединителя типа VI по ГОСТ 20265-83 вилка.

Резисторы R1 и R2 типа С6-4-0,05 закреплены клеем в углублениях платы диаметром 3 мм и глубиной 0,8 мм.

Результаты эксперимента для двух плеч S21 и S31 можно видеть на рисунках 4 и 5. Из них видно, что требования к делителю мощности выполняются.

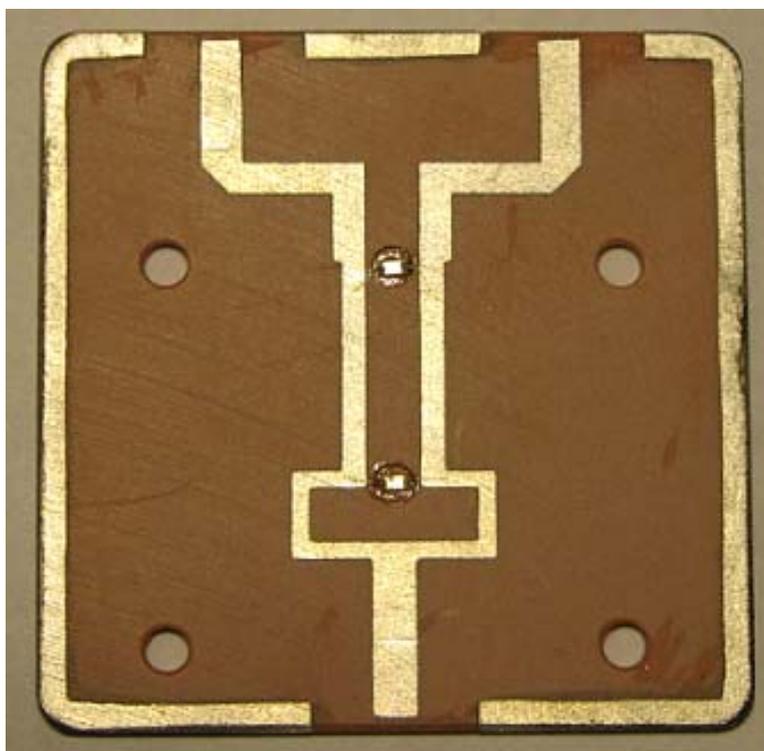


Рис. 3. – Топология печатной платы

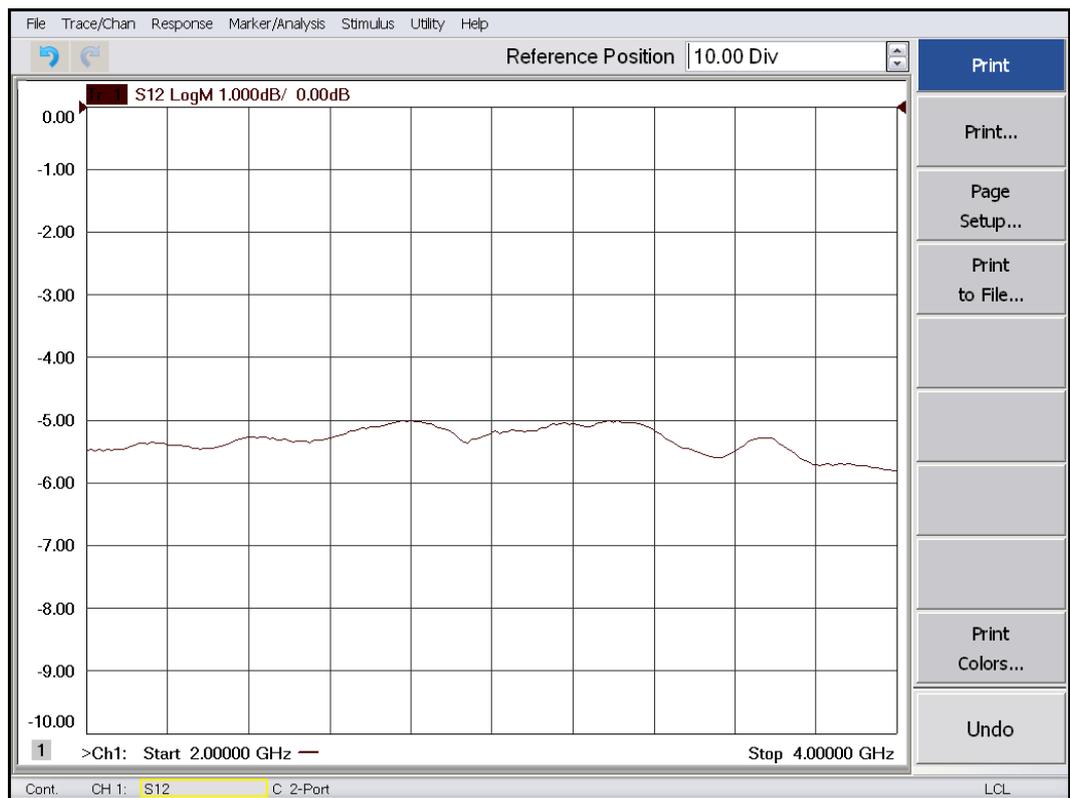


Рис. 4. – Частотная зависимость коэффициента передачи делителя мощности S21

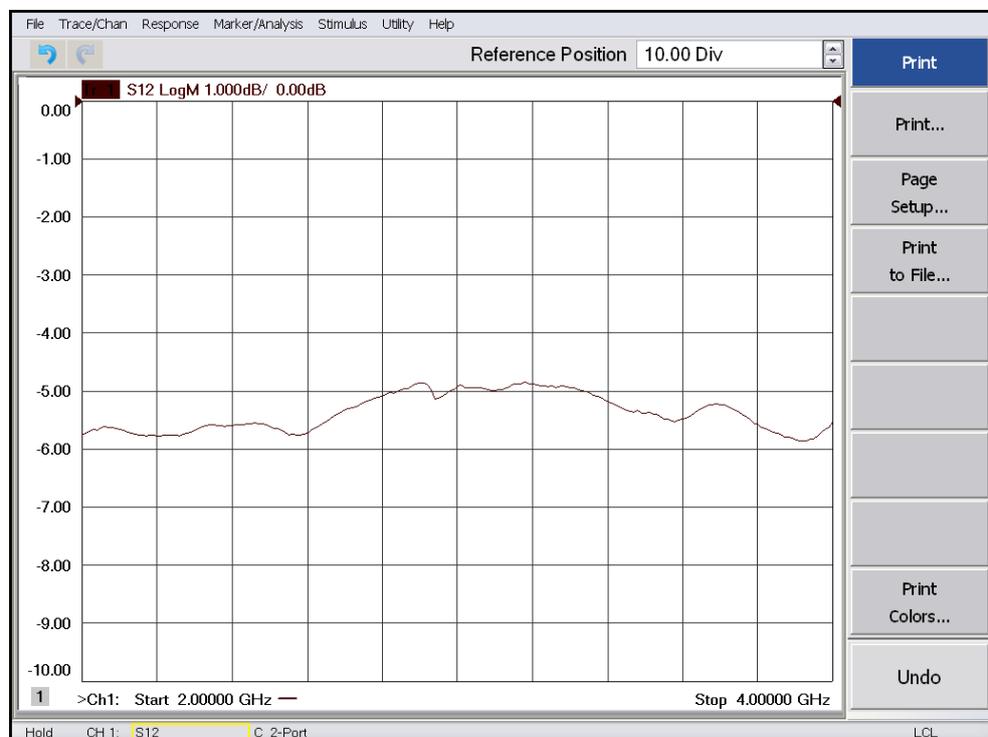


Рис. 5. – Частотная зависимость коэффициента передачи делителя мощности S31

## Выводы

Ниже в таблице 2 проведено сравнение заданных и достигнутых параметров делителя мощности (при моделировании и в эксперименте).

Таблица 2. Сравнение параметров ДМ

Наименование параметра, размерность	Задано	Моделирование	Эксперимент
Диапазон рабочих частот, ГГц	2-4	2-4	2-4
Потери не более, дБ	4	3,25	5,8 дБ вместе с двумя кабелями 3,8 за вычетом потерь в двух кабелях
Волновое сопротивление входа и выходов, Ом	50	50	50

Из этой таблицы видно, что все требования к делителю мощности выполняются.

При проведении данного исследования были использованы работы [7,8], а также предыдущий опыт авторов [9,10]

## Литература

1. Сверхширокополосные микроволновые устройства. Под ред. Креницкого А.П. и Мещанова В.П. –М.: Радио и связь, 2001. – 560 с.
2. Справочник по расчёту и конструированию СВЧ полосковых устройств. Под ред. Вольмана В.И. –М.: Радио и связь, 1982. – 328 с.
3. Печурин В.А., Петров А.С. Широкополосные кольцевые делители-сумматоры мощности СВЧ диапазона. LAP Lambert Academic Publishing .2011. – 144 с.
4. Светличный Ю.Н., Воробьевский Е.М. Справочник по расчёту элементов СВЧ на симметричных полосковых линиях. – М.: НИИЭИР, 1973. – 84 с.

5. Гостев В.И., Конин В.В., Мацепура А.Л. Линейные многоканальные устройства СВЧ. Киев, Изд-во «Радіаматор», 1997. – 315 с.

6. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office. – М.: Солон-Пресс, 2003. – 496 с.

7. DAS. A.C. A Compact Branch-Line Coupler Using Folded Microstrip Lines//Das. A/C/. L/ Murmu. S/ Dwari // IEEE Microw. Wireless Compon. Lett. Dec/2013, V.10.№ 7, pp.1-3.

8. Tsai, K.-Yu. A miniaturized 3dB branch-line hybrid coupler with harmonics suppression// K.-Yu Tsai. H.-Sh. Yangg, j. –H. Chen, Yi-j.E. Chen// IEEE Microw. Wireless Compon. Lett. Oct.2011, V.21.№ 10, pp.537-539.

9. Андрианов А.В., Губарев Д.Е., Зикий, А.Н., Сленчковский В.Г. Делитель мощности на основе 4-х шлейфного квадратурного моста. Инженерный вестник Дона, 2018, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5105.

10. Андрианов А.В., Губарев Д.Е., Зикий, А.Н., Сленчковский В.Г. Исследование направленного ответвителя на связанных полосковых линиях. Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5266.

### References

1. Sverhshirokopolosnye mikrovolnovye ustrojstva. Pod red. Krenickogo A.P. i Meshchanova V.P. [Ultra-wideband microwave devices]. М.: Radio i svyaz', 2001. 560 p.

2. Spravochnik po raschyotu i konstruirovaniyu SVCh poloskovykh ustrojstv. Pod red. Vol'mana V.I. [Handbook for design and construction of microwave strip devices] М.: Radio i svyaz', 1982. 328 p.

3. Pechurin V.A., Petrov A.S. Shirokopolosnye kol'cevye deliteli-summatory moshchnosti SVCh diapazona. LAP Lambert Academic Publishing [Pechurin

V.A., Petrov A.S. Broadband ring dividers-power adders microwave range. LAP Lambert Academic Publishing].2011.144 p.

4. Svetlichnyj Yu.N., Vorob'evskij E.M. Spravochnik po raschyotu elementov SVCh na simmetrichnyh poloskovykh liniyah [Handbook for the calculation of microwave elements on symmetric strip lines].M.: NIIEIR, 1973.84 p.

5. Gostev V.I., Konin V.V., Macepura A.L. Linejnye mnogokanal'nye ustrojstva SVCh [Linear multi-channel microwave devices]. Kiev, Izdatel'stvo «Radiamator», 1997.315 p.

6. Razevig V.D., Potapov Y.V., Kurushin A.A. Proektirovanie SVCH ustrojstv s pomoschyu Microwave Office [Designing of microwave devices using Microwave Office]. Moscow: Solon-Press, 2003.496 p.

7. DAS. A.C. A Compact Branch- Line Couper Using Folded Microstrip Lines Das. A C. L Murmu. S Dwari IEEE Microw. Wireless Compon. Lett. Dec2013, V.10.№ 7, pp.1-3.

8. Tsai, K.-Yu. A miniaturized 3dB branch-line hybrid coupler with harmonics suppression K.-Yu Tsai. H.-Sh. Yangg, j.H. Chen, Yi-j.E. Chen IEEE Microw. Wireless Compon. Lett. Oct.2011, V.21.№ 10, pp.537-539.

9. Andrianov A.V., Gubarev D.E., Zikij, A.N., Slenchkovskij V.G. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5105](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5105).

10. Andrianov A.V., Gubarev D.E., Zikij, A.N., Slenchkovskij V.G. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5266](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5266).