

**Зикий Анатолий Николаевич,**  
К.т.н., старший научный сотрудник,  
АО ТНИИС

**Дёмочкин Денис Игоревич,**  
Инженер, АО ТНИИС

**Ремпе Антон Борисович,**  
Инженер 3 категории, АО ТНИИС

**Сташок Павел Александрович,**  
Инженер 1 категории, АО ТНИИС

## КОЛЬЦЕВОЙ ДЕЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ ДЕСЯТИСАНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН

**Аннотация.** В статье проведено исследование двухканального делителя мощности, работающего в широком диапазоне частот. Даны описания схемы и конструкции делителя мощности на микрополосковых линиях передачи. Проведен анализ амплитудно-частотных характеристик разных каналов с помощью пакета Microwave Office. Экспериментально исследован макет делителя мощности, получены следующие результаты: в полосе от 2 до 4 ГГц потери не превышают 5,5 дБ, неравномерность не превышает 2 дБ, а неидентичность каналов не превышает 0,5 дБ.

**Ключевые слова:** Делитель мощности; микрополосковые линии; амплитудно-частотные характеристики; потери; неравномерность; неидентичность; моделирование; эксперимент.

### Введение

Делители мощности нашли широкое применение в приемно-передающей аппаратуре связи, навигации и радиолокации. Их разработке, исследованию и применению уделяется постоянное внимание. В связи с широким использованием антенных решеток важное значение имеет миниатюризация делителей мощности, поэтому целью настоящей работы является экспериментальное исследование малогабаритного делителя мощности.

По делителям мощности имеется обширная литература, в том числе монографии [1-3], учебные пособия [4], статьи [5-7], реклама [8-10], патенты [11].

Объектом исследования в данной работе является корпусированный модуль СВЧ производства фирмы «Тесла».

К модулю предъявляются следующие требования:

- диапазон рабочих частот от 2 до 4 ГГц;
- потери не более 5,5 дБ;
- развязка между выходными плечами не менее 10 дБ;
- волновое сопротивление входа и выхода 50 Ом.

### Схема и конструкция

Принципиальная схема делителя мощности приведена на рисунке 1. Делитель мощности построен на однокольцевой схеме Вилкоксона, на несимметричной микрополосковой линии передачи. Линии передачи напылены на одной стороне поликоровой подложки, а другая сторона подложки имеет сплошную металлизацию. Плата закреплена в корпусе чашечного типа из алюминиевого сплава. В качестве соединителей используются



коаксиально-микрополосковые переходы типа SMA. Для защиты от внешних воздействий корпус закрывается крышкой. Фото делителя мощности со снятой крышкой можно видеть на рисунке 2. В таблице 1 приведены основные геометрические размеры делителя мощности.

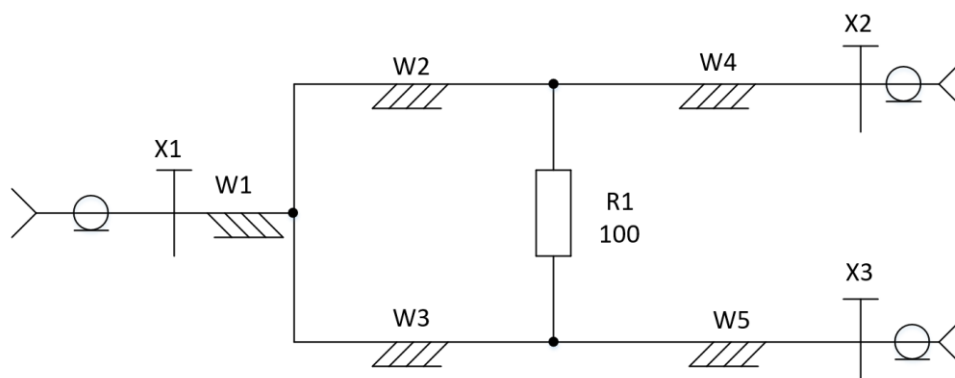


Рисунок 1. Принципиальная схема кольцевого делителя мощности

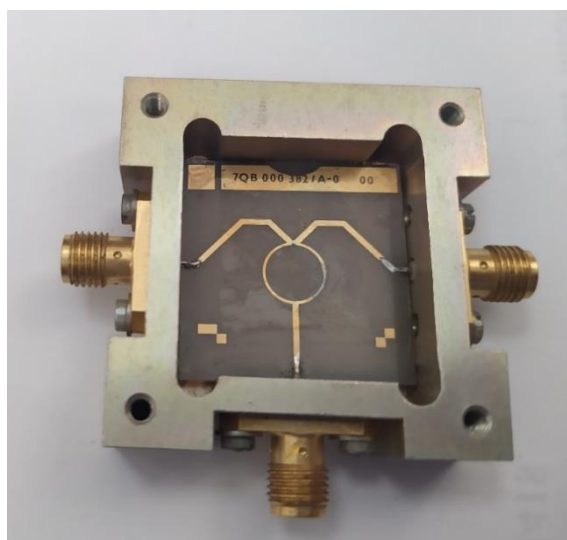


Рисунок 2. Фото кольцевого делителя мощности со снятой крышкой

Таблица 1

Геометрические размеры делителя мощности

	Длина, мм	Ширина, мм	Наименование
W1	8	0,98	Регулярная микрополосковая линия
W2, W3	10,7	0,68	Микрополосковая линия
W4, W5	13	0,98	Регулярная микрополосковая линия
	25×25×1		Подложка поликор, мм
X1-X3	Гнездо SMA		Соединитель
$\epsilon_r$	9,8		Относительная диэлектрическая проницаемость подложки



$tg \delta$	$10^{-4}$	Тангенс угла диэлектрических потерь
–	$22 \times 22 \times 3$	Поглотитель на крышке, мм
–	$39 \times 39 \times 13,5$	Наружный размер корпуса, мм

### Моделирование

Моделирование ДМ проводилось в среде Microwave Office (MWO). Модель ДМ в MWO приведена на рисунке 3. В ней использованы геометрические и электрические параметры, приведённые в таблице 1. На рисунке 4 можно видеть амплитудно-частотную характеристику S21 в полосе от 2 до 4 ГГц. На рисунке 5 показана частотная характеристика S31 в той же полосе. На рисунке 6 изображена частотная зависимость развязки между вторым и третьим портами S32.

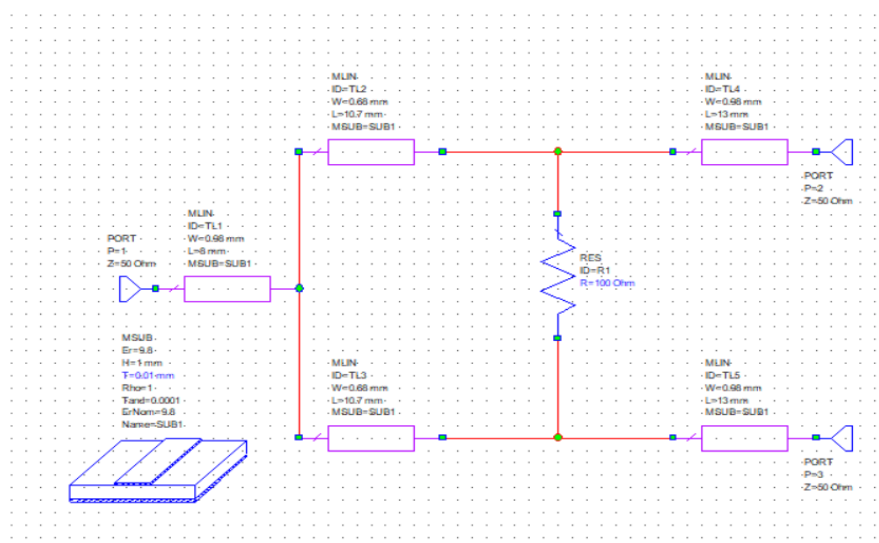


Рисунок 3. Модель ДМ24 в MWO

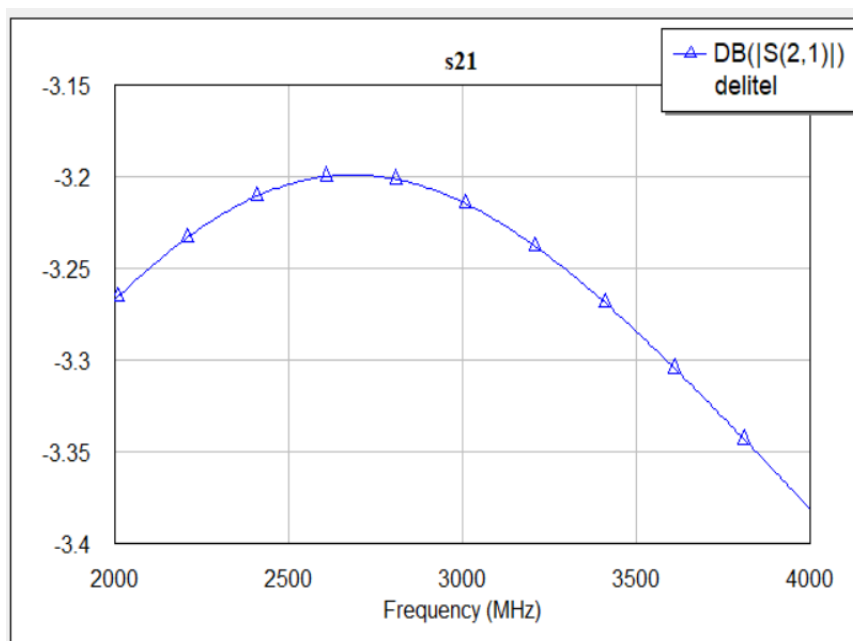


Рисунок 4. АЧХ ДМ24 S21 в полосе от 2 до 4 ГГц



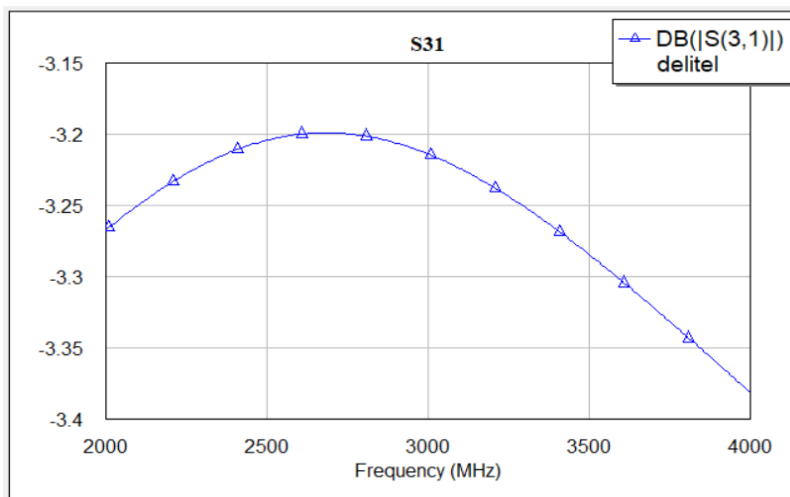


Рисунок 5. АЧХ ДМ24 S31 в полосе от 2 до 4 ГГц

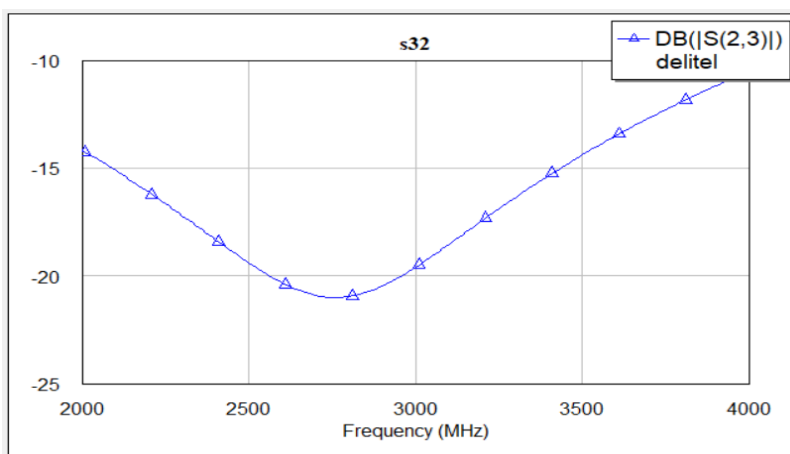


Рисунок 6. Развязка ДМ24 S32 между двумя выходами

### Эксперимент

Эксперименты проводились на установке, содержащей векторный анализатор цепей типа PNA-L, набор кабелей и переходов, согласованную нагрузку 50 Ом.

В первом эксперименте исследован коэффициент передачи  $s_{21}$  (рисунок 7). Недействующий выход соединен с согласованной нагрузкой.

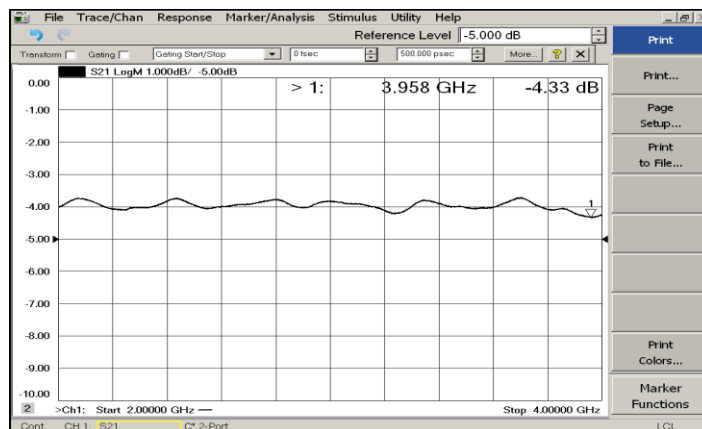


Рисунок 7. АЧХ делителя мощности  $s_{21}$  в диапазоне 2 – 4 ГГц



Во втором эксперименте снята кривая коэффициента передачи  $s_{31}$  (рисунок 8). Незадействованный выход соединен с согласованной нагрузкой.

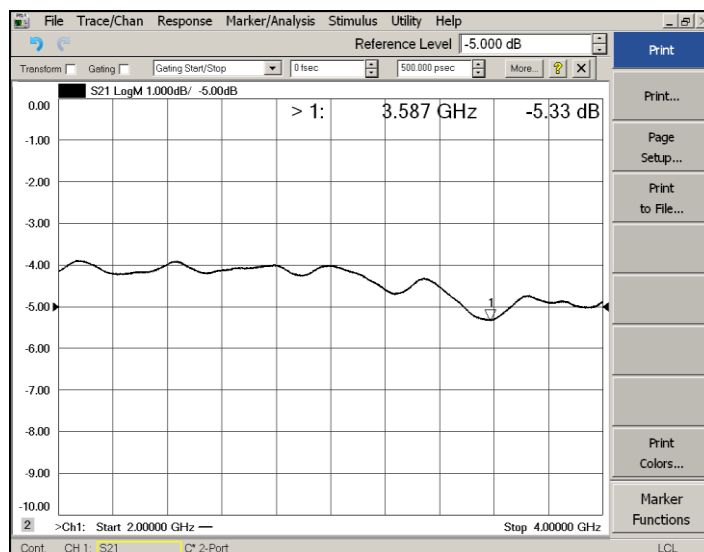


Рисунок 8. АЧХ делителя мощности  $s_{31}$  в диапазоне 2 – 4 ГГц

В третьем эксперименте получена развязка между двумя выходами  $s_{32}$  (рисунок 9). При этом вход делителя мощности соединен с согласованной нагрузкой.

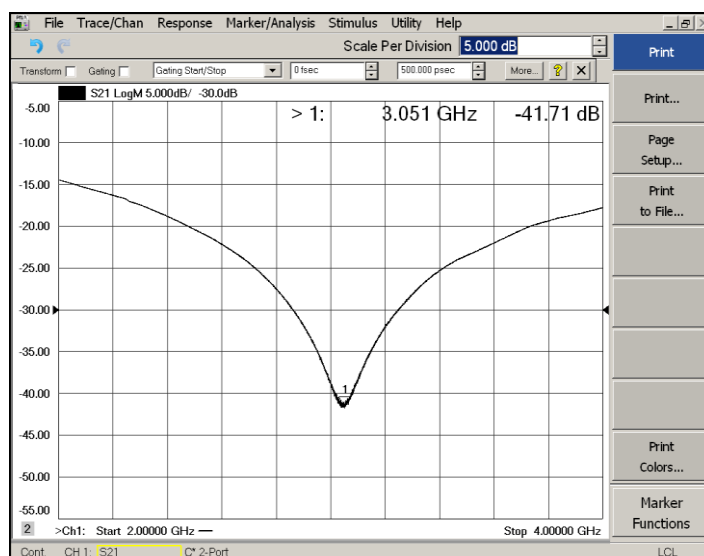


Рисунок 9. АЧХ делителя мощности  $s_{32}$  в диапазоне 2 – 4 ГГц

Полученные результаты соответствуют заданным требованиям и позволяют сформулировать количественные выводы.

#### Выводы

Ниже в таблице 2 приведены основные параметры делителя мощности. Из этой таблицы видно, что все измеренные параметры делителя мощности соответствуют требованиям.



Таблица 2

Основные параметры делителя мощности

Наименование параметра, размерность	Задано	Модель	Измерено
Диапазон рабочих частот, ГГц	2 – 4	2 – 4	2 – 4
Количество каналов	2	2	2
Потери, дБ	5,5	3,4	3,8 – 5,33*
Развязка между выходными плечами, дБ	14	10	14 – 41
Волновое сопротивление входов и выходов, Ом	50	50	50

\* – с учетом двух кабелей

*Список литературы:*

1. Печурин В.А., Петров А.С. Широкополосные кольцевые делители-сумматоры мощности СВЧ-диапазона. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 144 с.
2. Справочник по элементам полосковой техники. Под ред. А.Л. Фельдштейна. – М.: Связь, 1979. – 336 с.
3. Микроэлектронные устройства СВЧ / Бова Н.Т., Ефремов Ю.Г., Конин В.В. и др. – Киев, Техника, 1984. – 183 с.
4. Проектирование фазированных антенных решёток. Учебное пособие. Под ред. Д.И. Воскресенского. 3-е издание. -М.: Радиотехника, 2003. – 632 с.
5. Губарев Д.Е., Зикий А.Н., Сперанская Г.В., Сташок П.А. Моделирование и экспериментальное исследование синфазного кольцевого делителя мощности. Инженерный вестник Дона, 2019 №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5865](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5865).
6. 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](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5105).
7. Кисиленко К.И., Мякишева М.С., Тимофеев Е.П. Разработка трёхканального делителя мощности СВЧ диапазона. Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2016, №3 (114), с. 64.
8. Модуль СВЧ М44454, АПНТ.434820.060ТУ. Информационный лист. Ростов-на-Дону, ФГУП «РНИИРС», 2021 г. 1 стр.
9. Электронные компоненты ЭЛКОТЕХ. Пассивные СВЧ компоненты. <http://www.semiconductors.ru/>
10. ВЧ и СВЧ радиокомпоненты Ведущих мировых производителей. Прайс- лист, выпуск 11. Москва, РАДИОКОМП, 2010. – 88 с.
11. Алыбин В.Г., Зарапин С.А., Яхутин С.А., Авраменко С.В. Делитель мощности для бортовой аппаратуры космического аппарата. Патент РФ №2.608978, гос. рег. 2017 г.

