

**ФРТ**

**Кафедра ТОР**

## **КУРСОВАЯ РАБОТА**

**По дисциплине: «Техническая электродинамика»**

**На тему: «Мостовые устройства СВЧ»**

**(Вариант № 3 )**

**Выполнил  
студент гр.**

**Оценка \_\_\_\_\_  
Проверил**

**Дата \_\_\_\_\_**

**Санкт-Петербург  
2009 г.**

## СОДЕРЖАНИЕ

Задание.....	3
1. Проектирование делителя (сумматора) мощности пополам (моста Уилкинсона) на микрополосковых ЛП.....	4
1.1. Теоретические сведения.....	4
1.2. Расчет конструкции МУ на микрополосковых ЛП.....	6
2. Проектирование делителя (сумматора) мощности пополам (моста Уилкинсона) на основе сосредоточенных реактивных элементов.....	9
2.1. Анализ схемы МУ.....	10
2.2. Расчет МУ на сосредоточенных элементах.....	11
Заключение.....	12

## *Задание*

В данной работе требуется рассчитать структуру мостовых устройств СВЧ, а именно, делителя мощности на два как на микрополосковых линиях, так и на сосредоточенных элементах (центральная частота  $f_0 = 1.5$  ГГц).

# 1. Проектирование делителя (сумматора) мощности пополам (моста Уилкинсона) на микрополосковых ЛП

## 1.1. Теоретические сведения

Это устройство представляет собой шестиполюсник (т.е. устройство с тремя портами, каждый из которых может рассматриваться как двухполюсник). Входной порт соединен отрезками линий передачи с двумя выходными портами. Сумма мощностей, выходящих из выходных портов, должна равняться мощности, входящей во входной порт. Структура устройства изображена на рис. 1

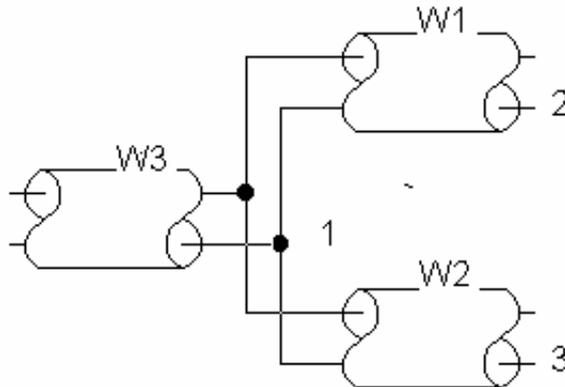


Рис.1. Структура делителя (сумматора)

Отрезок линии W1 соединяет входной порт с первым выходным портом, отрезок W2 – со вторым выходным портом. Пусть входной порт имеет номер 1, первый выходной – номер 2, второй выходной – номер 3.

Тогда матрица рассеяния будет иметь вид:

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{bmatrix}.$$

Осью симметрии является горизонталь, проходящая через W3, и, ввиду этого, должны выполняться равенства:

$$S_{12} = S_{13}, \quad S_{21} = S_{31}, \quad S_{23} = S_{32}, \quad S_{22} = S_{33}$$

Будем предполагать, что волновые сопротивления линий, питающих все порты, одинаковы и равны  $Z_0$ . Очевидно, что отрезки линий передач W1 и W2 должны трансформировать сопротивление  $Z_0$  в величину  $2 \cdot Z_0$ , чтобы суммарное сопротивление на входе первого порта было бы равно  $Z_0$ . Для этого отрезки

должны иметь длину  $\frac{\lambda}{4}$  и волновое сопротивление  $Z_{01}$ , удовлетворяющее условию

$$2 \cdot Z_0 = \frac{Z_{01}^2}{Z_0}, \text{ откуда } Z_{01} = \sqrt{2} \cdot Z_0. \text{ Очевидно, что при этом порт 1 будет согласован, а}$$

мощности в портах 2 и 3 будут равны половине мощности, входящей в порт 1. Учитывая фазовые сдвиги, о которых говорилось выше, матрица рассеяния будет иметь вид:

$$[S] = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & -i & -i \\ -i & 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \\ -i & -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix}$$

При отклонении частоты от номинальной, (при которой длина отрезков равна  $\frac{\lambda}{4}$ ), коэффициенты матрицы будут изменяться, так как при трансформации  $Z_0$  из портов 2 и 3 в порт 1 на его входе суммарное сопротивление уже не будет равно  $Z_0$ . Для улучшения согласования входного порта 1 при отклонении нагрузок в портах 2 и 3 от величины  $Z_0$ , между портами 2 и 3 включается балластное сопротивление величиной  $2 \cdot Z_0$

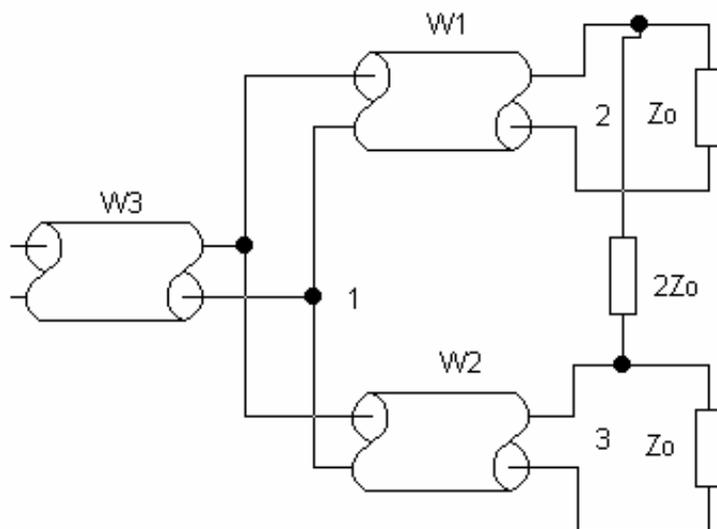


Рис. 2. Структура МУ с нагрузками и балластным сопротивлением

## 1.2. Расчет конструкции МУ на микрополосковых ЛП

В настоящее время конструкции СВЧ устройств для мощностей до десятка ватт базируются исключительно на микрополосковых ЛП.

В качестве подложки используем материал поликор ( $\epsilon_r = 9.8$ ,  $\text{tg } \delta = 0.001$ ), толщиной  $h = 2.5$  мм.

Минимально необходимая толщина слоя фольги  $t$  равна, примерно, 2–5 толщинам скин-слоя. Величина скин-слоя для меди может быть оценена как

$$t = 18 \text{ мкм}$$

$$\text{Проводимость меди равна } 5.88 \cdot 10^{-7} \text{ См.}$$

Длина подводящей МП (отрезок  $W_3$  на рис. 1) выбирается произвольной, так как она просто соединяет порт 1 с остальной частью схемы всего устройства. Теперь на основе полученных размеров необходимо выбрать топологию МУ. Обратившись к рис. 2 мы видим, что концы МП  $W_1$  и  $W_2$  нагружены на порты 2 и 3 и балластное сопротивление. Так как размеры его невелики, концы отрезков  $W_1$  и  $W_2$  должны быть расположены близко друг от друга. Для получения компактной структуры отрезки изгибаются в виде буквы П (или полуколец), как показано на рис. 3.

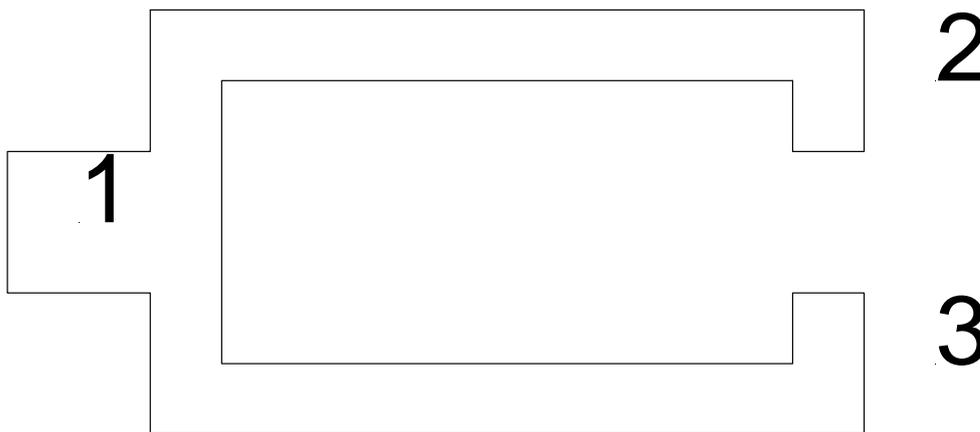


Рис. 3. Схематический вид топологии МУ

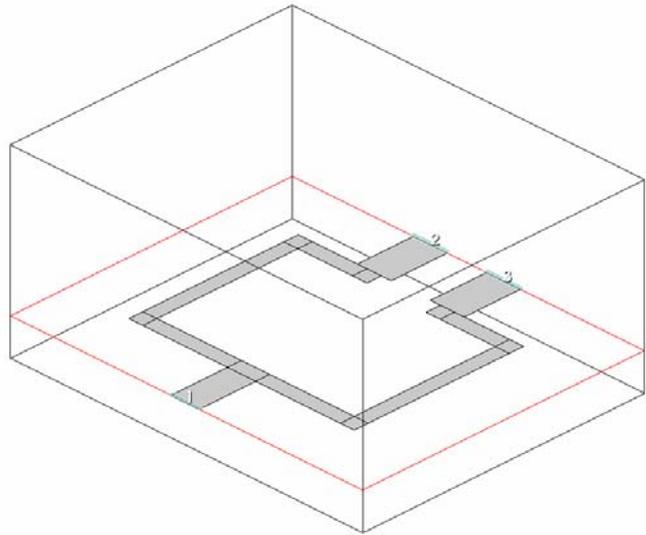
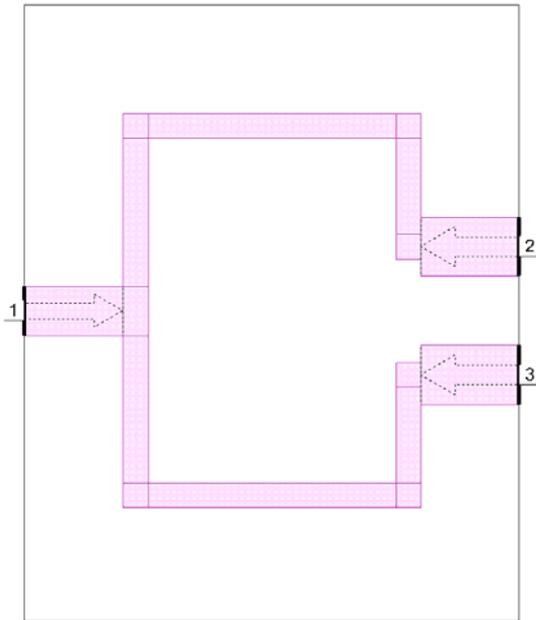
МП у порта 1 имеет  $Z_0$ , равное 50 Ом. Тогда МП, ведущие к портам 2 и 3, имеют  $Z_0$  по 70.7 Ом. Между портами 2 и 3 должно быть подсоединено балластное сопротивление 100 Ом.

Теперь, с помощью калькулятора TxLine определяем размеры МП. В результате получаем следующие размеры:

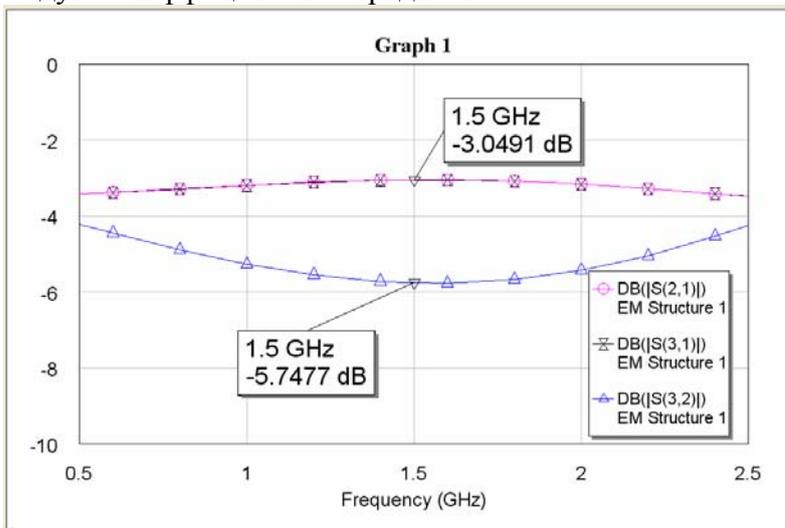
для МП 50 Ом —  $W = 2.41$  мм, длина выбирается из конструктивных соображений.

для МП 70.7 Ом при электрической длине  $\frac{\lambda}{4}$  получаем  $W = 1$  мм (ширина),  $L = 19.94$  мм (полная длина).

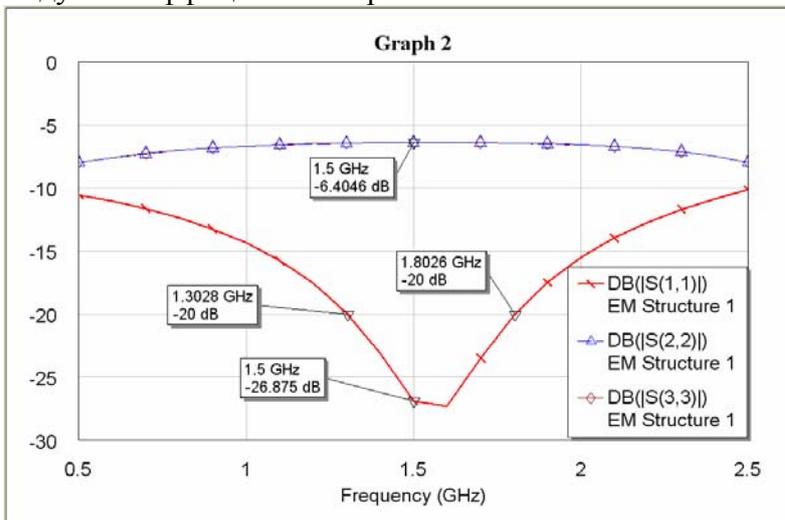
Структура МП на верхней части подложки:



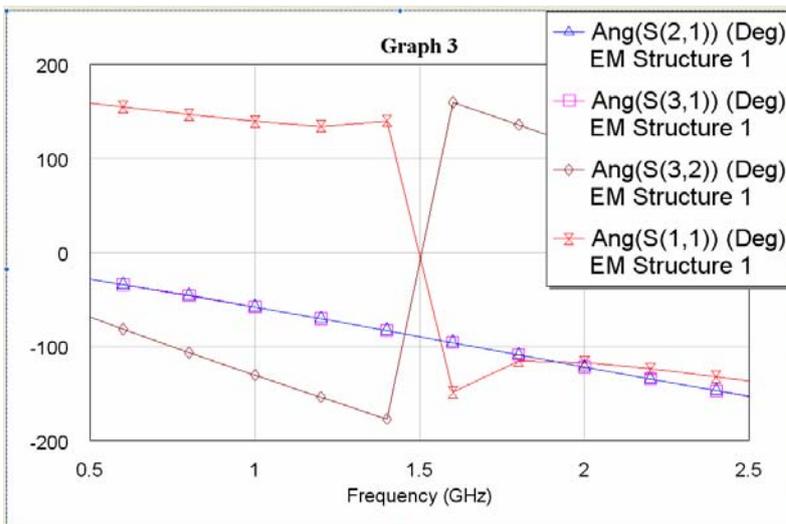
модули коэффициентов передачи:



модули коэффициентов отражения:



фазы коэффициентов отражения и передачи:



Как видно из графиков, полученная структура удовлетворяет заданным требованиям. Также видно, что в МУ существует довольно сильная связь между портами 2 и 3. Это объясняется тем, что в структуре отсутствует навесное балластное сопротивление 100 Ом между портами 2 и 3. К сожалению, в программе MWO EMSight отсутствует возможность введения такого дополнительного элемента.

На графике для  $|S_{11}|$  отмечены точки со значениями  $-20dB$ . При таком значении от порта 1 отражается 1% падающей мощности. Будем считать, что это границы полос пропускания моста. Полоса МУ на уровне  $-20$  дБ по  $|S_{11}| = 500$  МГц

Определим центральную частоту как

$$f_0 = \sqrt{f_{\min} \cdot f_{\max}} = \sqrt{1.3 \cdot 1.8} = 1.53 \text{ ГГц}$$

Таким образом, мы можем считать, что вариант ЭД структуры удовлетворяет заданию.

## 2. Проектирование делителя (сумматора) мощности пополам (моста Уилкинсона) на основе сосредоточенных реактивных элементов

### 2.1. Анализ схемы МУ

В настоящее время в распоряжении разработчиков СВЧ устройств имеются индуктивности и емкости в виде "чипов" — маленьких кирпичиков, противоположные торцы которых облужены для впаивания в структуру проводников печатной платы. Номиналы значений индуктивностей — от единиц нГн до сотен мкГн, емкостей — от долей пФ до десятков нФ. Так как размеры этих элементов малы, то с их помощью можно реализовать устройства, рассчитанные на небольшую мощность (порядка единиц ватт). Эти элементы можно рассматривать как сосредоточенные, до частот порядка нескольких ГГц. Таким образом вполне реально построение МУ на сосредоточенных элементах достаточно малых размеров.

Рассчитаем мостовой делитель мощности на два (мост Уилкинсона) на центральную частоту 1500 МГц с волновым сопротивлением линий, питающих порты, равным 50 Омам. Очевидно, что для реализации МУ нам потребуется две одинаковые цепи типа ФНЧ с характеристическим сопротивлением  $R = 70.7$  Ом и частотой  $f_0 = 1500$  МГц.

$$L = \frac{R}{\omega_0}, \quad C = \frac{1}{\omega_0 \cdot R}$$

$$L = 7,5 \text{ нГн}, \quad C = 1,5 \text{ пФ (такие номиналы как раз есть в ряде E24)}$$

Тогда схема МУ будет иметь вид, показанный на рис. 1.

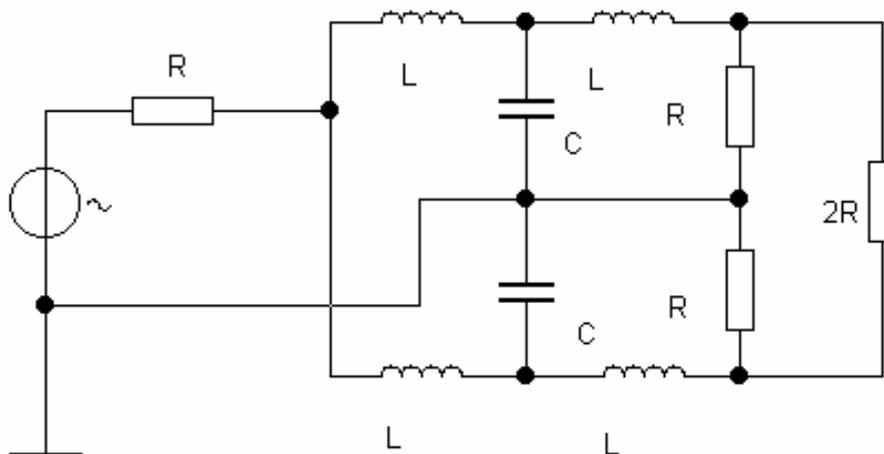


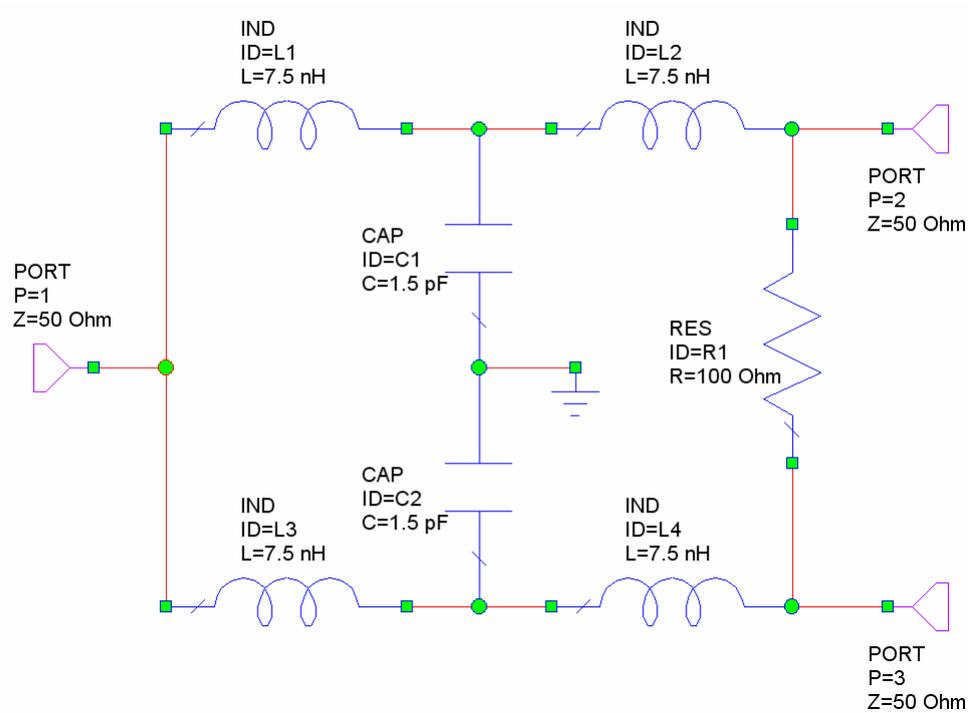
Рис. 1. Схема МУ на сосредоточенных элементах

Использование Т схем в МУ обусловлено конструктивными соображениями размещения элементов на печатной плате.

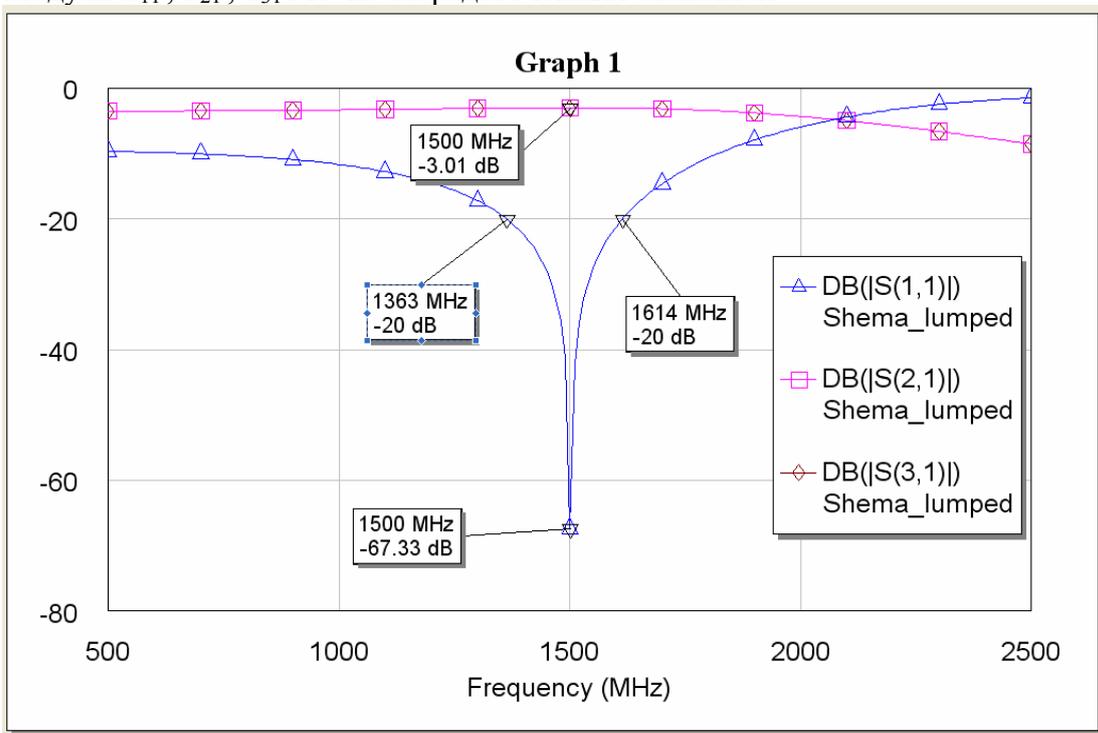
## 2.2. Расчет МУ на сосредоточенных элементах

В пакете программ Microwave Office имеется программа Voltaire XL, предназначенная для анализа линейных цепей на сосредоточенных элементах.

Схема МУ пакете Microwave Office:

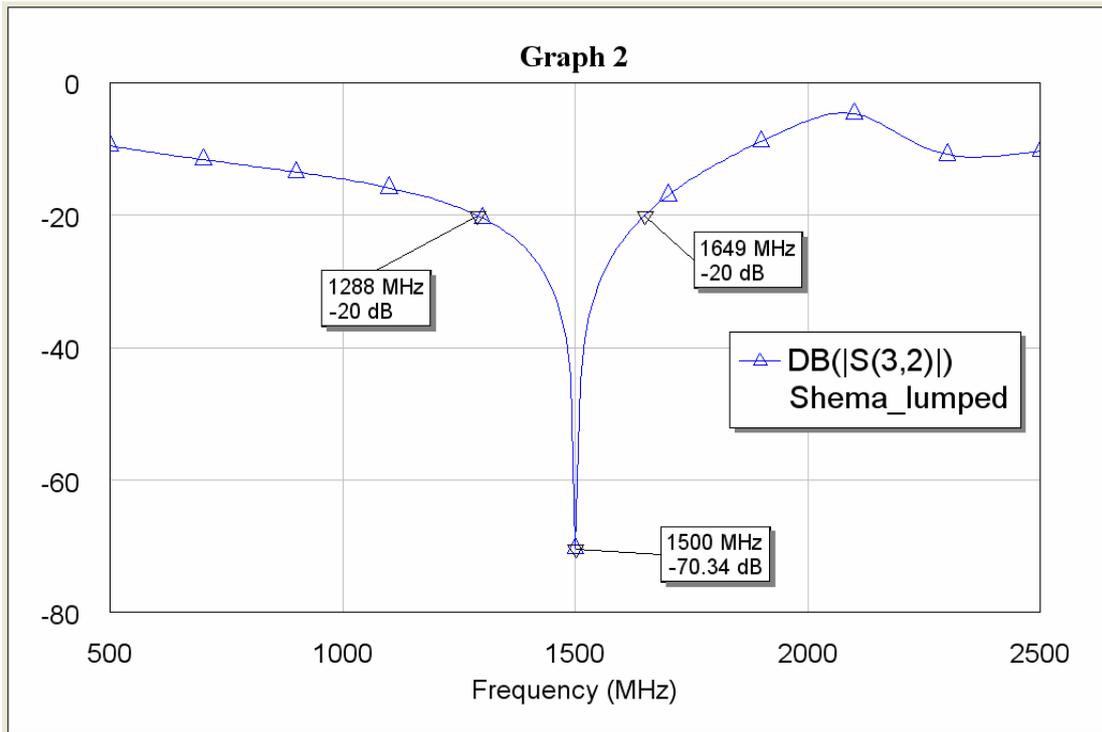


Модули  $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{31}$  МУ на сосредоточенных элементах:



Полоса МУ на уровне -20 дБ по  $|S_{11}| = 251$  МГц (50% от МУ на МП ЛП)

Модуль  $S_{23}$  МУ на сосредоточенных элементах:



Полоса МУ на уровне -20 дБ по  $|S_{23}| = 361$  МГц (72.2%)

Из полученных графиков можно сделать вывод, что центральная частота полосы пропускания практически равна 1500 МГц и коэффициент деления мощности практически равен 0.5, следовательно, подстройки элементов не требуется.

## Заклучение

В результате проделанной работы был рассчитан делитель мощности пополам, обладающий свойствами, близкими к заданному значению. Анализ его параметров проводился в пакете программ MWO.

На рабочей частоте 1.5 ГГц получены следующие значения модулей коэффициентов S-матрицы:

для МУ на микрополосковых ЛП:

$$|S_{11}| = -26,875 \text{ дБ}$$

$$|S_{21}| = |S_{31}| = -3,05 \text{ дБ}$$

$$|S_{33}| = |S_{22}| = -6,4 \text{ дБ}$$

$$|S_{23}| = -5,74 \text{ дБ}$$

полоса МУ на уровне -20 дБ по  $|S_{11}| = 500 \text{ МГц}$

центральная частота  $f_0 = 1,53 \text{ ГГц}$

для МУ на сосредоточенных элементах:

$$|S_{11}| = -67,33 \text{ дБ}$$

$$|S_{21}| = |S_{31}| = -3,01 \text{ дБ}$$

$$|S_{23}| = -70,34 \text{ дБ}$$

полоса МУ на уровне -20 дБ по  $|S_{11}| = 251 \text{ МГц}$

полоса МУ на уровне -20 дБ по  $|S_{23}| = 361 \text{ МГц}$

Мощности, выделяемые в плечи 2 и 3, оказываются примерно равными -3 дБ, и можно сделать вывод, что был получен делитель мощности на 2.