

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**«ЛЭТИ» ИМ. В. И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)**  
**Кафедра ТОР**

**КУРСОВАЯ РАБОТА**  
по дисциплине «Теоретическая электродинамика»  
Тема: «Проектирование направленного ответвителя»

Студент гр. 3114  
Преподаватель

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Злобин М. А.  
Балландович С. В.

Санкт-Петербург  
2024

## 1. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Студент Злобин М. А.

Группа 3114

Тема работы: «Проектирование направленного ответвителя» Исходные данные: вариант 8

Тип НО: ШНО;

Частота: 2.3 ГГц;

$S_{1,1} = -1.5$  дБ

Диэлектрик: Duroid 5870

Содержание пояснительной записки:

«Содержание», «Введение», «Расчет параметров ШНО», «Схемотехническое моделирование ШНО», «Электродинамическое моделирование ШНО», «Выводы» Предполагаемый объем пояснительной записки:

Не менее \_\_ страниц.

Дата выдачи задания:

Дата сдачи реферата:

Дата защиты реферата:

Студент гр. 3114

\_\_\_\_\_

Злобин М. А.

Преподаватель

\_\_\_\_\_

Балландович С. В.

## АННОТАЦИЯ

В схемах СВЧ часто возникает необходимость обеспечить разделение мощности для разветвления трактов или объединения мощностей от нескольких источников. Направленный ответвитель — устройство для ответвления части электромагнитной энергии из основного канала передачи во вспомогательный. Направленный ответвитель (НО) представляет собой два (иногда более) отрезка линий передачи, связанных между собой определённым образом, основная линия называется первичной, вспомогательная — вторичной. Для нормальной работы НО один из концов вторичной линии (нерабочее плечо) должен быть заглушён согласованной нагрузкой, со второго (рабочего плеча) снимается ответвлённый сигнал, в зависимости от того, какую волну в первичной линии надо ответить — падающую или отражённую. Шлейфные НО состоят из двух отрезков полосковых линий передачи, соединённых между собой с помощью двух и более шлейфов, длины и расстояния, между которыми равны четверти длины волны, определённой в полосковой линии передачи.

## SUMMARY

In microwave circuits, it is often necessary to provide power separation for branching paths or combining capacities from several sources. A directional coupler is a device for branching a portion of electromagnetic energy from the main transmission channel to an auxiliary one. A directional coupler (NO) is two (sometimes more) segments of transmission lines connected in a certain way, the main line is called the primary, the auxiliary is called the secondary. For normal operation, BUT one of the ends of the secondary The line (non—working arm) must be damped by a coordinated load, and a branch signal is removed from the second (working arm), depending on which wave in the primary line needs to be branched - incident or reflected. Loop cables consist of two segments of strip transmission lines connected to each other by means of two or more loops, the lengths and distances between which are equal to a quarter of the wavelength defined in the strip transmission line.

## **Содержание**

<b>1</b>	<b>ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Расчет параметров ШНО</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Электротехническое моделирование</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Электродинамическое моделирование</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>Выводы</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b>	<b>16</b>

## 2. ВВЕДЕНИЕ

Направленный ответвитель — устройство для ответвления части электромагнитной энергии из основного канала передачи во вспомогательный. Направленный ответвитель (НО) представляет собой два (иногда более) отрезка линий передачи, связанных между собой определённым образом, основная линия называется первичной, вспомогательная — вторичной. Для нормальной работы НО один из концов вторичной линии (нерабочее плечо) должен быть заглушён согласованной нагрузкой, со второго (рабочего плеча) снимается ответвлённый сигнал, в зависимости от того, какую волну в первичной линии надо ответить — падающую или отражённую. Шлейфовые НО состоят из двух отрезков полосковых линий передачи, соединённых между собой с помощью двух и более шлейфов, длины и расстояния, между которыми равны четверти длины волны, определённой в полосковой линии передачи. С увеличением числа шлейфов направленность и диапазонные характеристики шлейфового НО улучшаются.

### 3. Расчет параметров ШНО

Расчитаем значения сопротивлений полосков, соединённых шлейфами  $Z_1$  и  $Z_2$ : Матрица рассеяния для двухшлейфного НО:

$$S = -\frac{1}{\sqrt{1+z_1^2}} \begin{vmatrix} 0 & 0 & j & z_1 \\ 0 & 0 & z_1 & j \\ j & z_1 & 0 & 0 \\ z_1 & j & 0 & 0 \end{vmatrix}, \quad (1)$$

где  $z_i = \frac{Z_0}{Z_i}$ . Условие согласования ( $S(1,1) = 0$ ):  $z_1^2 = z_2^2 - 1$ .

Коэффициент деления мощности между плечами:

$$k = \frac{|S(3,1)|^2}{|S(4,1)|^2} = \frac{1}{z_1^2} = \frac{1}{z_2^2 - 1} \quad (2)$$

Найдем  $k$ :

$$S(1,2) = 10^{\frac{-1.5}{10}} = 0.701 \approx 0.7.$$

Т. к.

$$|S(1,1)|^2 + |S(1,2)|^2 + |S(1,3)|^2 = 1, \quad (3)$$

где  $|S(1,1)| = 0$ , получаем  $|S(1,3)| = 0.3$ .

$k = \frac{7}{3}$ , по формуле 2 находим  $Z_1$  и  $Z_2$ :

$$Z_1 = Z_0 \sqrt{k}; Z_2 = Z_0 \sqrt{\frac{k}{k+1}}, \quad (4)$$

$$Z_1 = 76.376 \text{ Ом};$$

$$Z_2 = 41.83 \text{ Ом}.$$

### 4. Электротехническое моделирование

Электротехническое моделирование будет выполнено в пакете AWR Design Environment.

С помощью компонента TXLine рассчитаем физические параметры  $\frac{\lambda}{4}$ -отрезков:

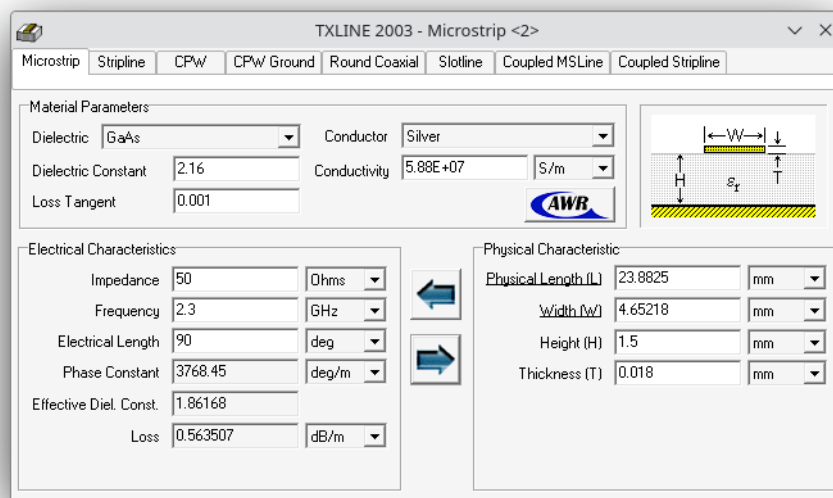


Рисунок 1 – Расчет параметра 50-омного полоска

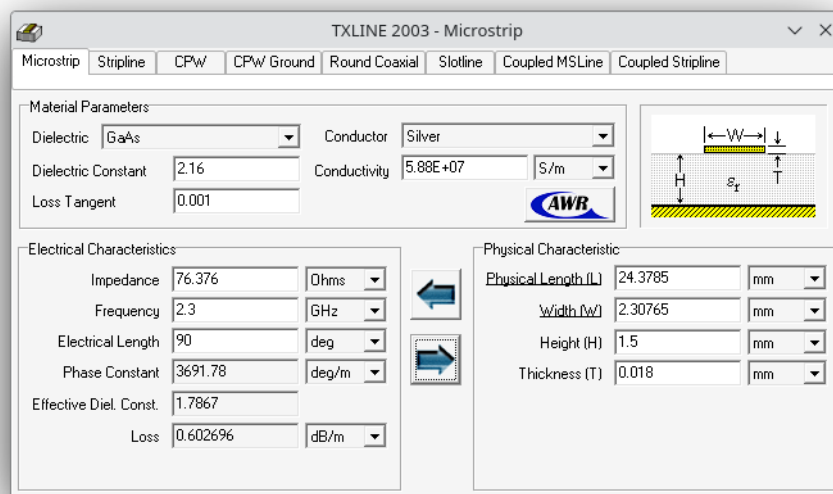


Рисунок 2 – Расчет параметра 76.376-омного полоска

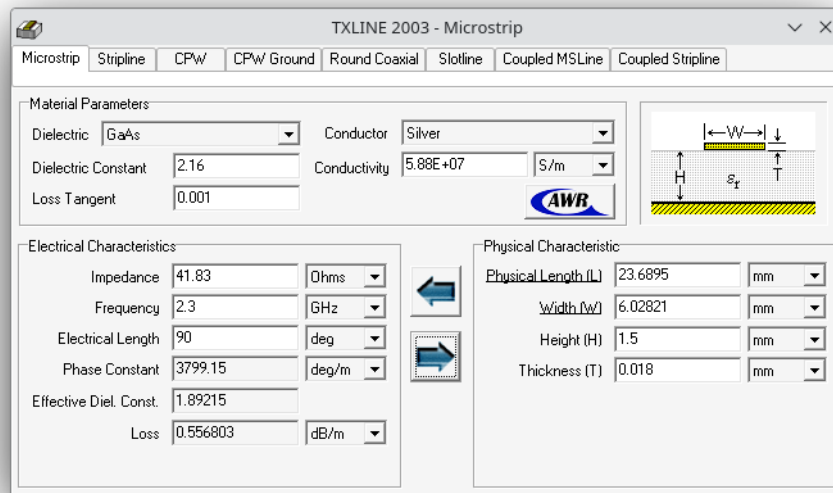


Рисунок 3 – Расчет параметров 41.83-омного полоска

Построим схему ШНО:

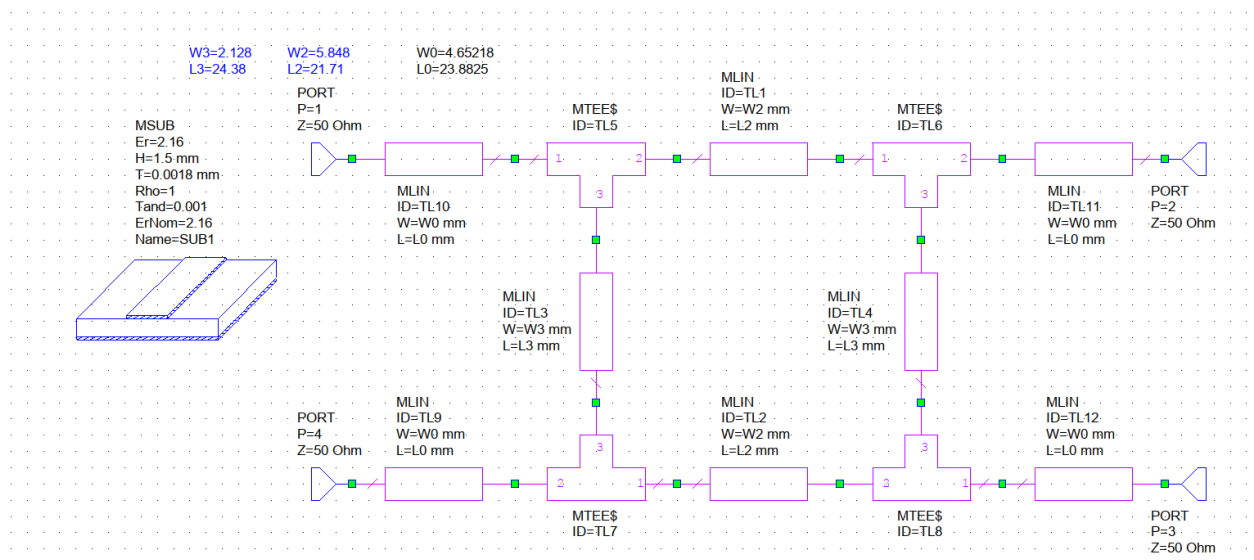


Рисунок 4 – Схема ШНО



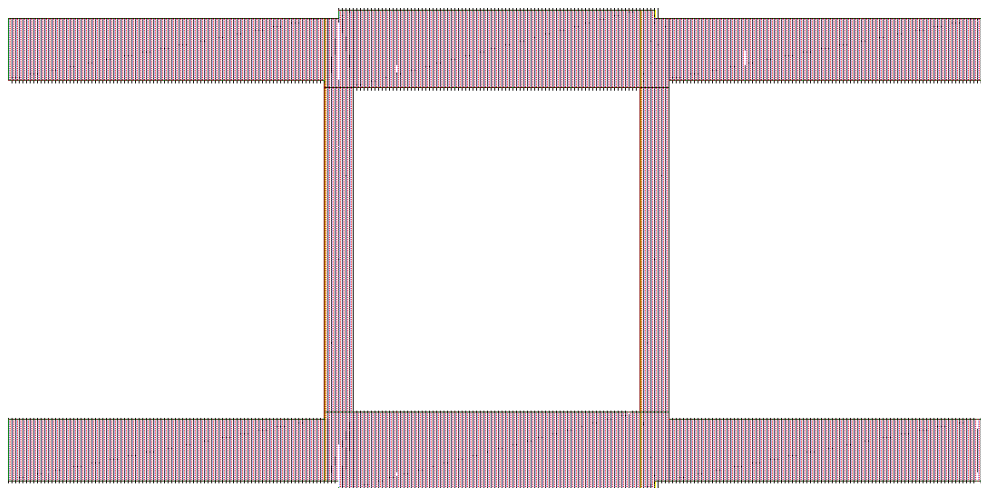


Рисунок 5 – Модель ШНО

Построим графики  $S(1,1)$ ,  $S(1,2)$ ,  $S(1,3)$ ,  $S(1,4)$  в диапазоне 1.8-2.8 ГГц с шагом 0.01 ГГц:

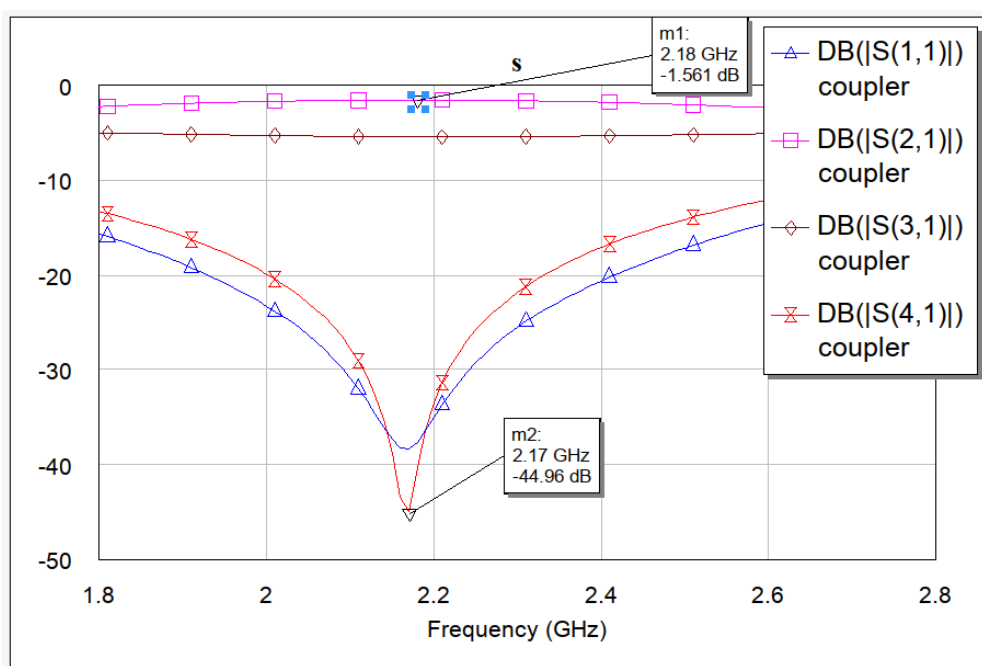


Рисунок 6 – Модули коэффициентов отражения, дБ

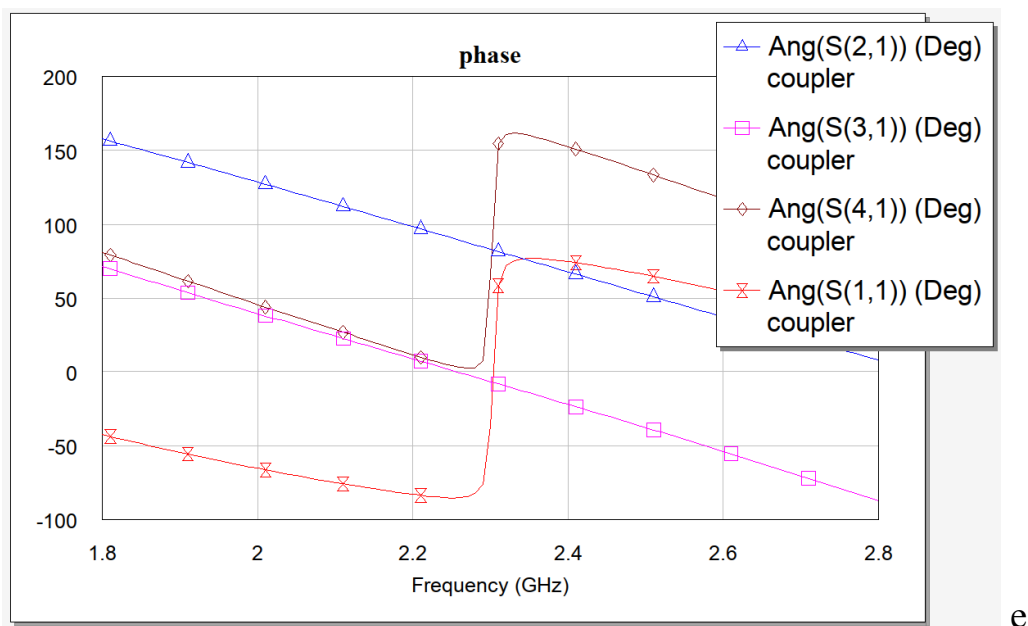
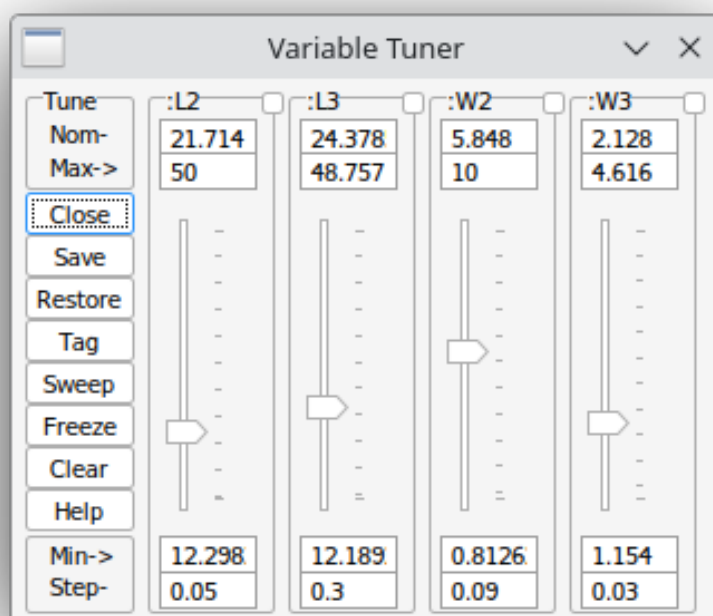


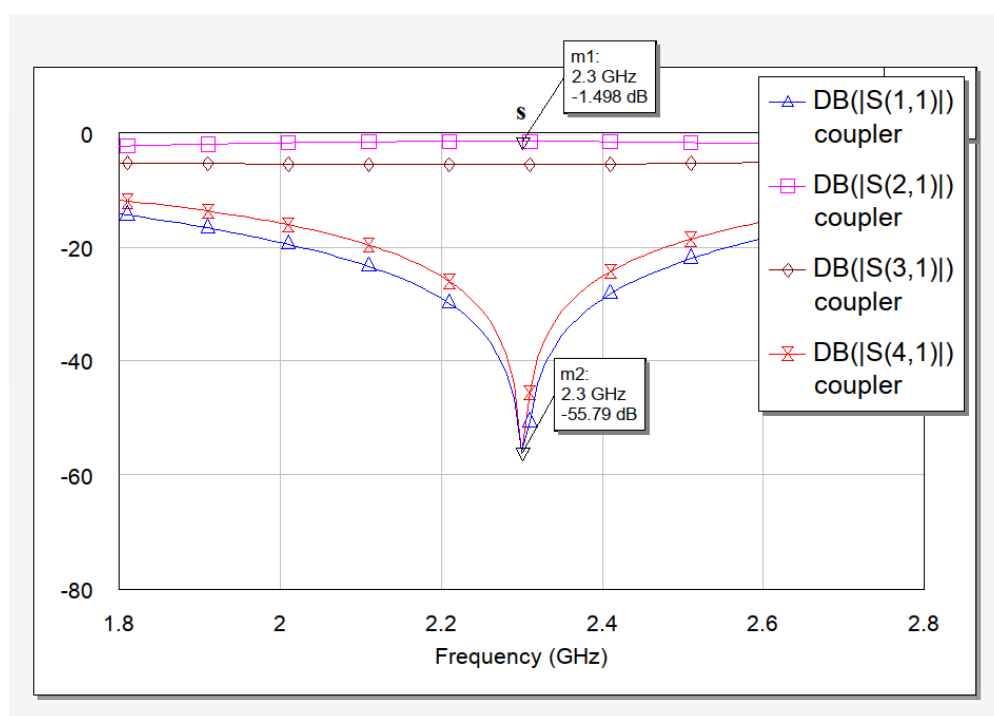
Рисунок 7 – Фазы коэффициентов отражения

На графиках видно, что частота согласования и величина  $S(2,1)$  отличаются от заданных. Подгоним параметры длинной линии: изменяя величину длины полоска можно смещать положение резонанса, а меняя ширины  $W_2$ ,  $W_3$  можно менять модули коэффициентов отражения:



e

Рисунок 8 – Итоговые параметры



e

Рисунок 9 – Моудли коэффициентов отражения после подгонки

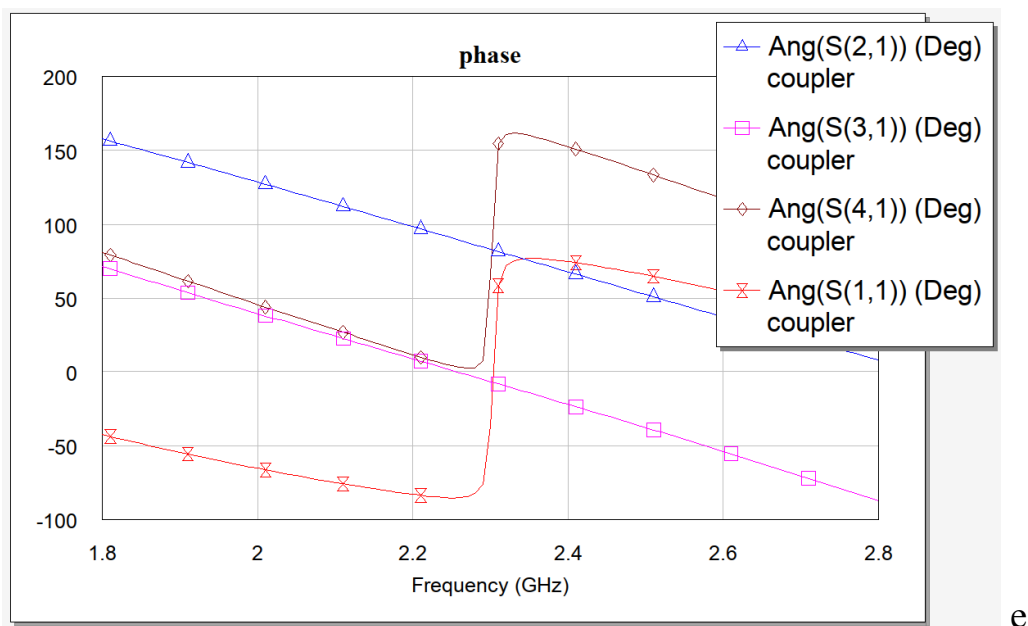


Рисунок 10 – Фазы коэффициентов после подгонки

## 5. Электродинамическое моделирование

Создадим элемент EM Structure и зададим параметры параметры:

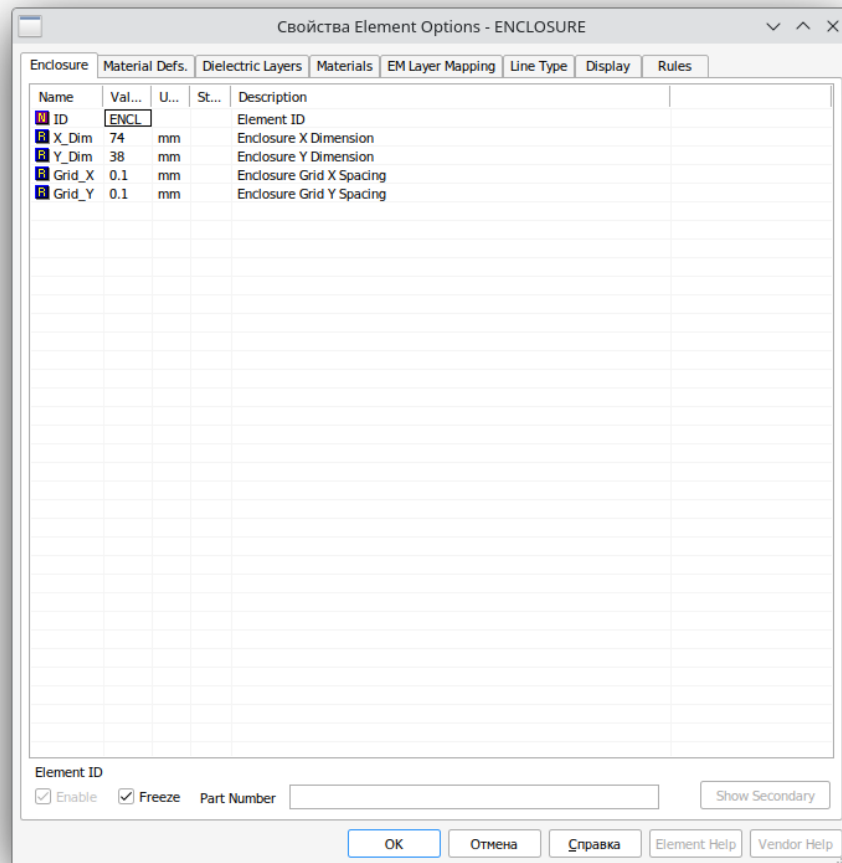


Рисунок 11 – Размеры EM Structure, соответствующие размерам ШНО

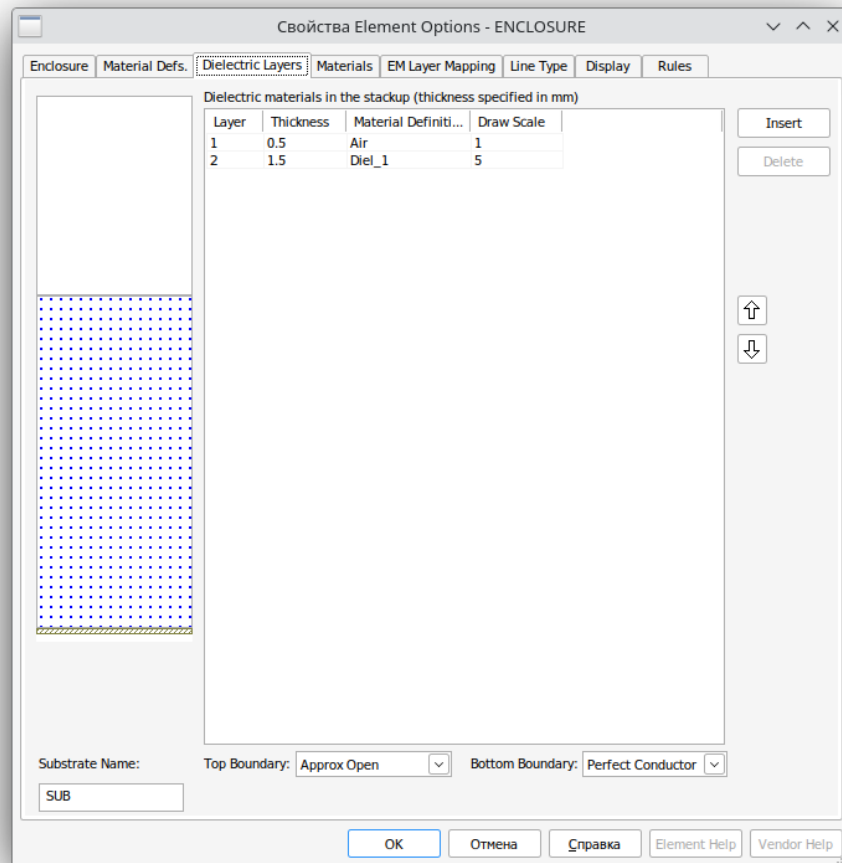


Рисунок 12 – Параметры диэлектрика в EM Structure

Впишем построенный ранее ШНО в структуру и зададим выходные порты:

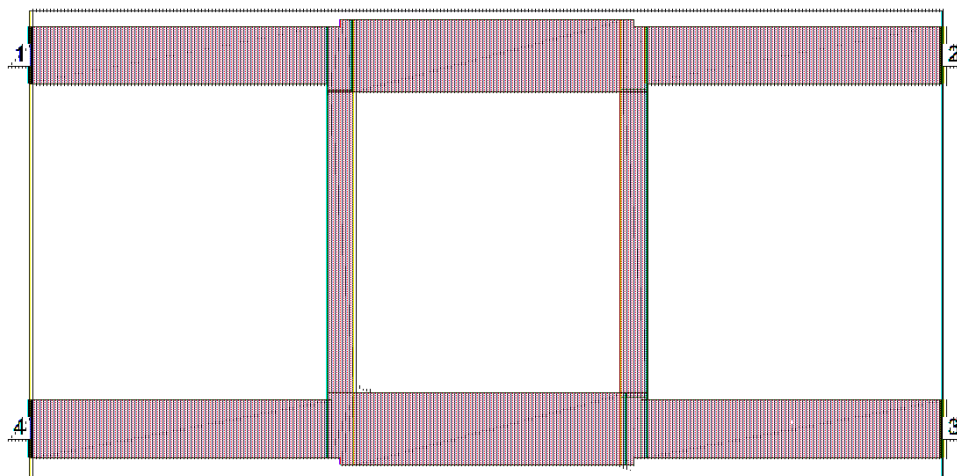


Рисунок 13 – ШНО в EM Structure

Электродинамическое моделирование проведем для шага сетки, равно-го 0.1 мм, и диапазона частот 1.8-2.8 ГГц с шагом 0.1 ГГц.

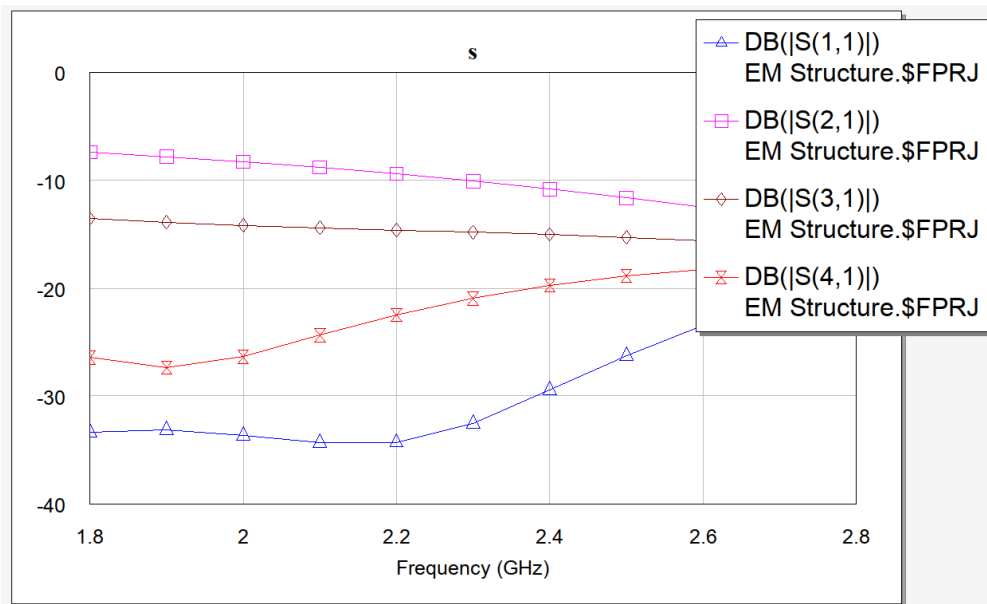


Рисунок 14 – Модули коэффициентов отражения, дБ

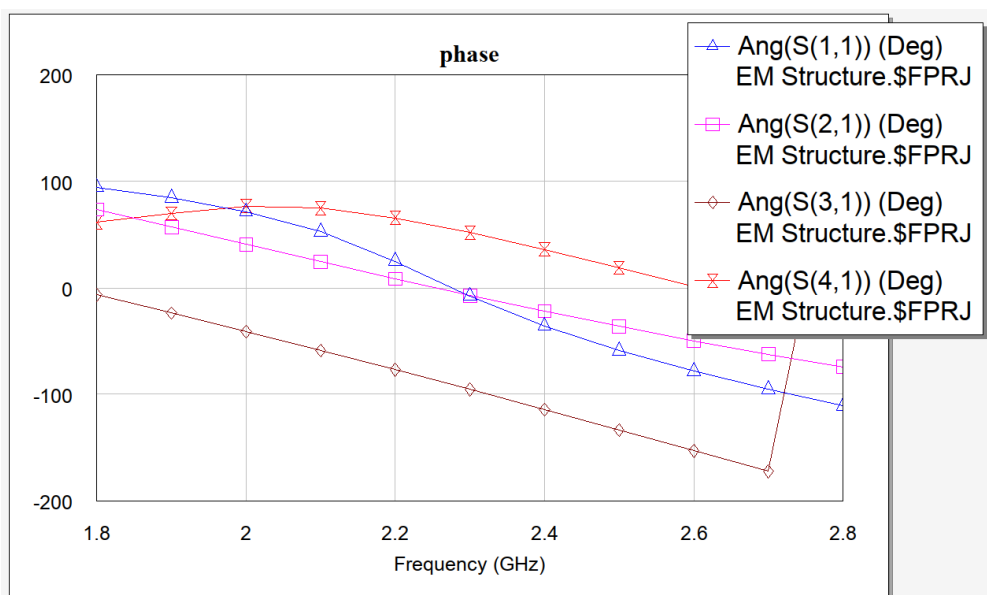


Рисунок 15 – Фазы коэффициентов отражения

Уровень согласования значительно хуже, чем при схемотехническом моделирование, но все равно ниже уровня -30 дБ

## 6. Выводы

В ходе работы были выполнены:

1. Расчет параметров ШНО;
2. Схемотехническое моделирование ШНО;
3. Электродинамическое моделирование ШНО;

Шлейфный направленный ответвитель с неравным делением мощности (7/3), разработанный в данной работе, соответствует заданным требованиям на этапе схемотехнического моделирования, но демонстрирует некоторые расхождения в электродинамическом моделировании.



## **7. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Устройства СВЧ: конспект лекций. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. 92 с.
2. Компьютерное проектирование устройств СВЧ. СПб. Изд-во СПбГЭТУ, «ЛЭТИ», 2010. 120 с.