



Акционерное общество «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»

Акционерное общество
«Центральное конструкторское бюро автоматики»



Направленный ответитель СВЧ диапазона

Выполнила:

Техник-технолог отдела микроэлектроники

Мария Олеговна Феллер

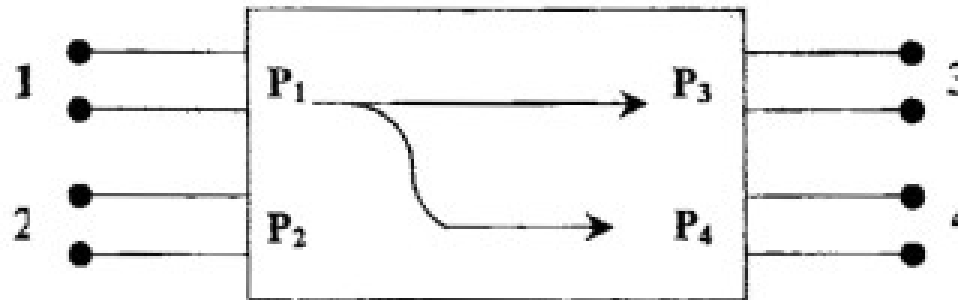
Стандарты беспроводной связи

Технология	Стандарт	Использование	Пропускная способность	Радиус действия	Частоты
Wi-Fi	802.11a	WLAN	до 54 Мбит/с	до 100 метров	5,0 ГГц
	802.11b		до 11 Мбит/с		2,4 ГГц
	802.11g		до 54 Мбит/с		2,4—2,5 или 5,0 ГГц
	802.11n		до 300 Мбит/с (в перспективе до 450, а затем до 600 Мбит/с)		
	802.11ac		до 3.39 Гбит/с / клиент; 6.77 Гбит/с / AP		2.4 + 5.0 ГГц
WiMax	802.16d	WMAN	до 75 Мбит/с	6-10 км	1,5—11 ГГц
	802.16e	Mobile WMAN	до 40 Мбит/с	1—5 км	2,3—13,6 ГГц
	802.16m	WMAN, Mobile WMAN	до 1 Гбит/с (WMAN), до 100 Мбит/с (Mobile WMAN)	н/д (стандарт в разработке)	
Bluetooth v. 1.1	802.15.1	WPAN	до 0,7 Мбит/с	до 10 метров	2,4 ГГц
Bluetooth v. 2.0	802.15.3		до 3 Мбит/с	до 100 метров	
Bluetooth v. 3.0	802.11		от 3 Мбит/с до 24 Мбит/с		
UWB	802.15.3a		110—480 Мбит/с	до 10 метров	3,1—10,6 ГГц
ZigBee	802.15.4		от 20 до 250 Кбит/с	1—100 м	2,4 ГГц (16 каналов), 915 МГц (10 каналов), 868 МГц (один канал)
Инфракрасный порт	IrDa		до 16 Мбит/с	от 5 до 50 сантиметров, односторонняя связь — до 10 метров	

Цель работы:

Разработка гибридного (3 дБ) направленного ответвителя на диапазон 3,5-6,5 ГГц, реализованного по технологии МДМ (металл-диэлектрик-металл).

Направленный ответвитель в виде элементарного восьмиполюсника



На вход 1 поступает СВЧ мощность P_1 , на выходе 3 основного канала мощность P_3 , а на выходах 2 и 4 вспомогательных каналов – соответственно мощности P_2 и P_4 .

Основные характеристики НО

- Переходное ослабление

$$C_{14} = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_1}{P_4} \right) = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{|S_{14}|^2} \right]$$

- Направленность

$$C_{42} = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_4}{P_2} \right) = 10 \cdot \lg \left[\frac{|S_{14}|^2}{|S_{12}|^2} \right]$$

- Развязка

$$C_{12} = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{|S_{12}|^2} \right]$$

- Рабочее затухание

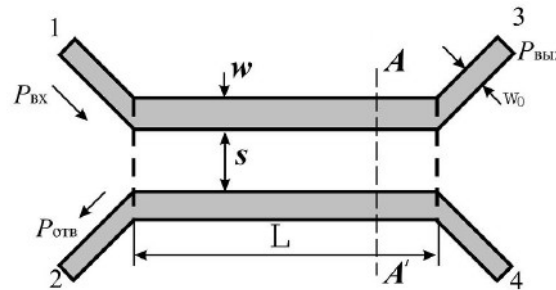
$$C_{13} = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_1}{P_3} \right) = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{|S_{13}|^2} \right]$$

- Коэффициент стоячей волны первичной и вторичной линии (КСВ)

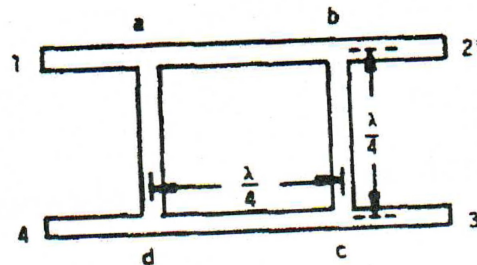
$$КСВ_1 = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|}; \quad КСВ_2 = \frac{1 + |S_{22}|}{1 - |S_{22}|}; \quad КСВ_3 = \frac{1 + |S_{33}|}{1 - |S_{33}|}; \quad КСВ_4 = \frac{1 + |S_{44}|}{1 - |S_{44}|}$$

Виды направленных микрополосковых направленных ответвителей

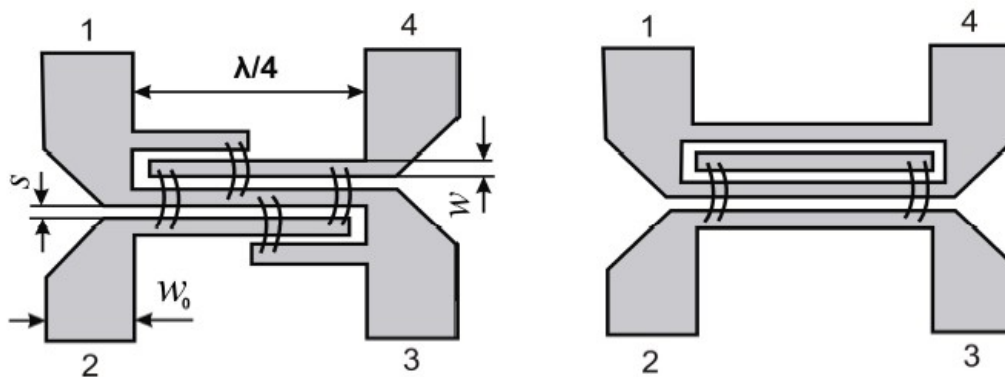
Направленный ответвитель на связанных линиях



Направленный ответвитель шлейфного типа

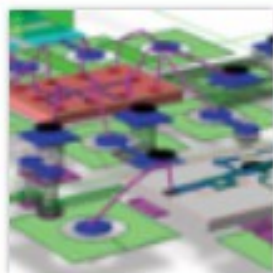


Встречно-штыревой направленный ответвитель Ланге



САПР NI AWR Design Environment

Microwave Office

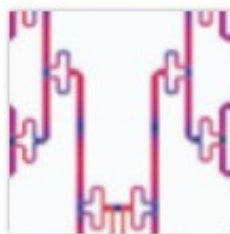


Проектирование радиочастотных и СВЧ устройств

Выбор ЭМ-симулятора

- Метод моментов (MoM)
- Метод конечных элементов

AXIEM



3D планарный электромагнитный симулятор

► Подробнее

Analyst

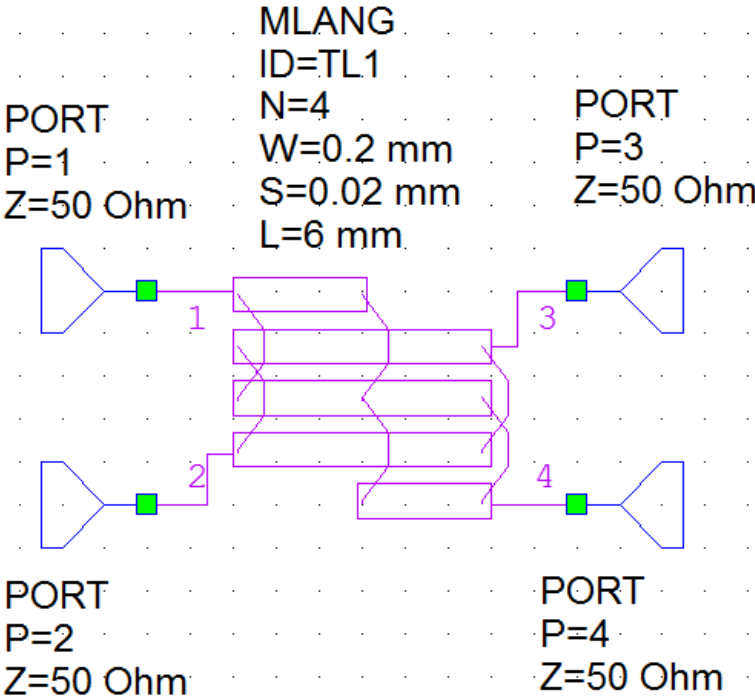
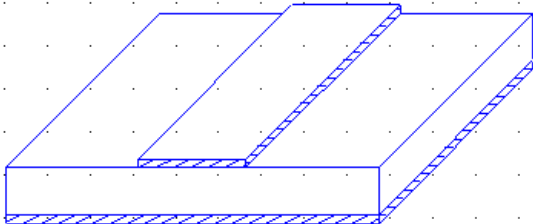


3D ЭМ симулятор на базе метода КЭ

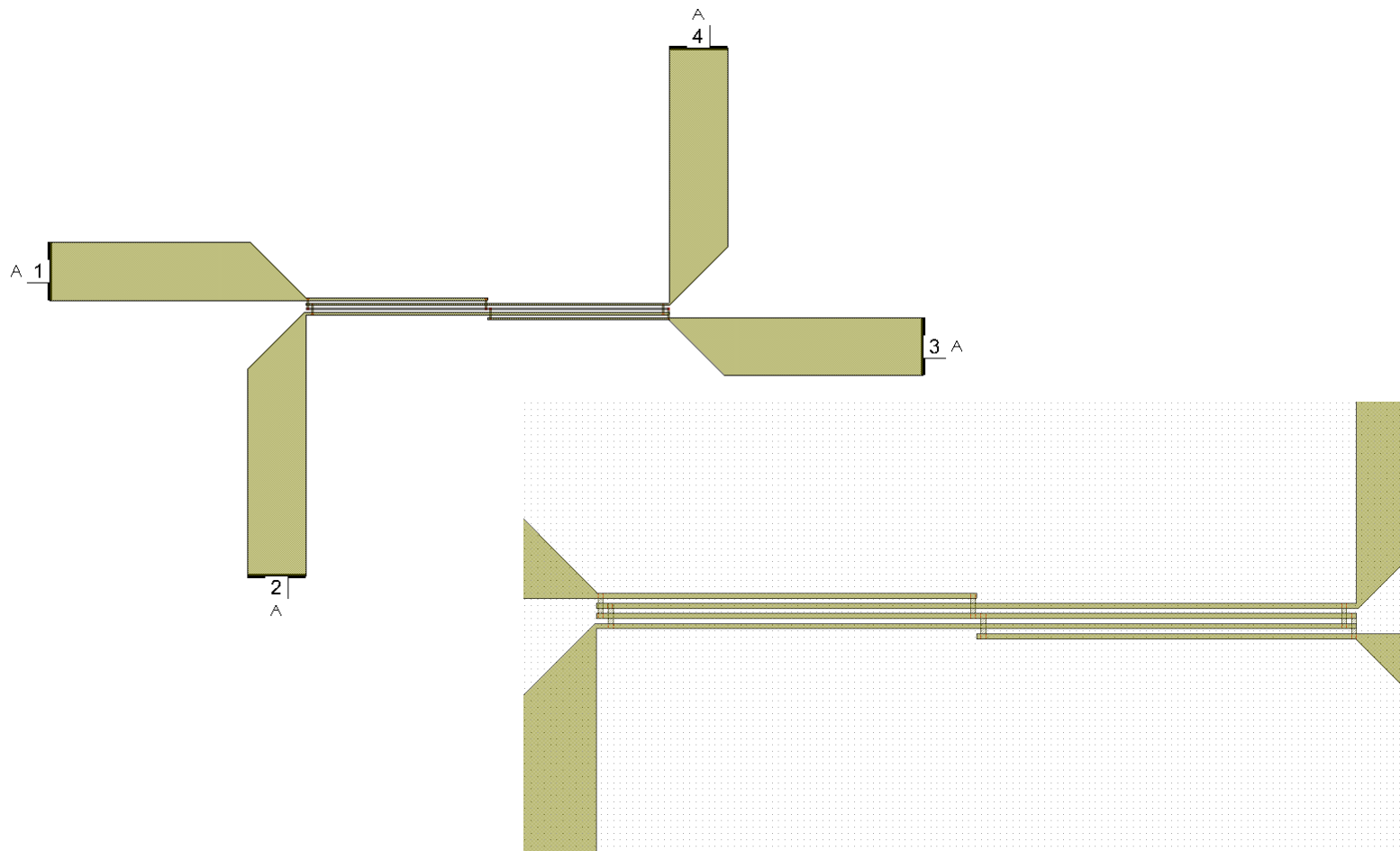
► Подробнее

Математическая модель НО

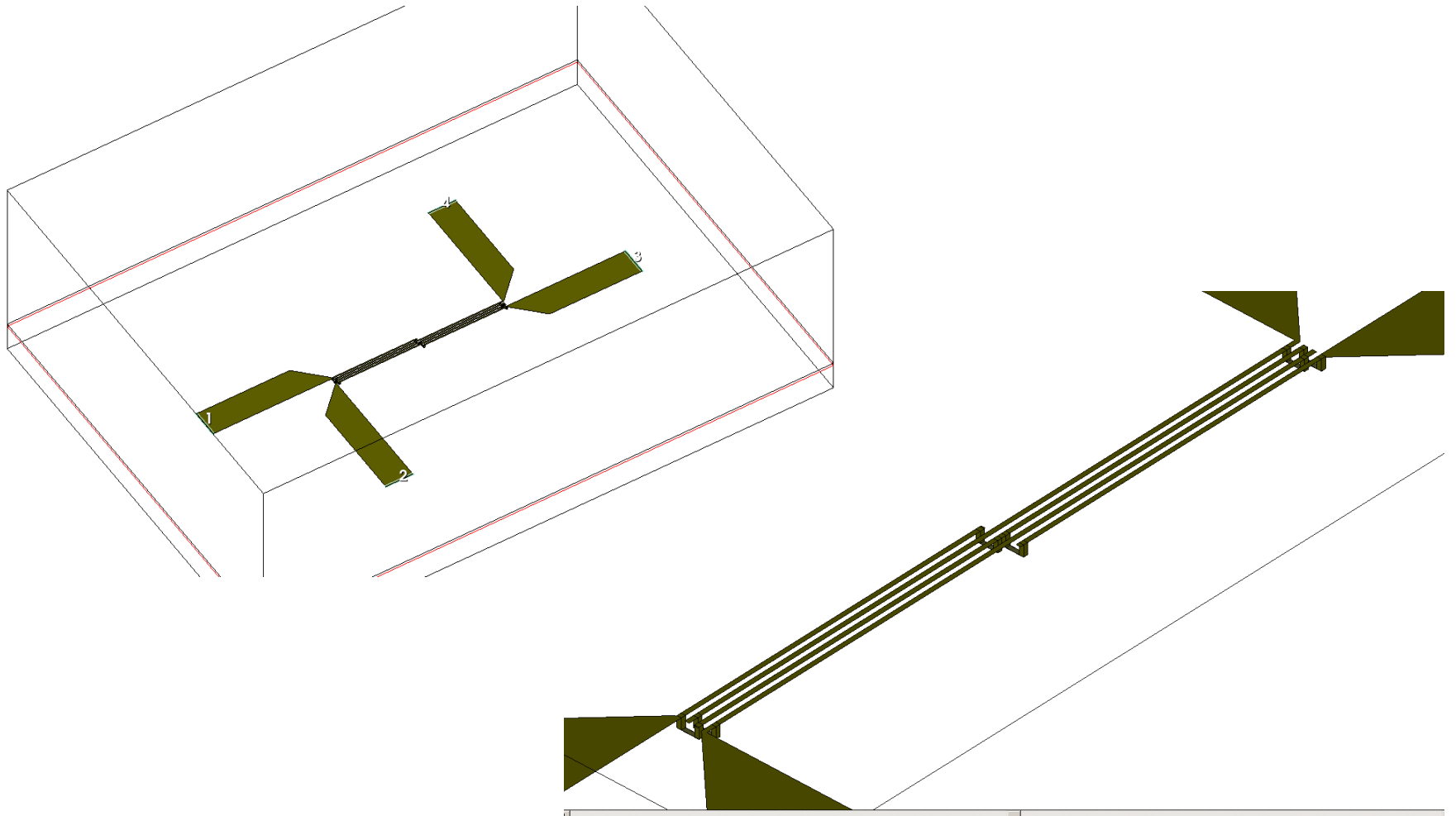
MSUB
Er=9.8
H=0.5 mm
T=0.007 mm
Rho=1
Tand=0.0034
ErNom=9.8
Name=SUB1



Топология НО



ЭМ модель НО



Чертеж НО

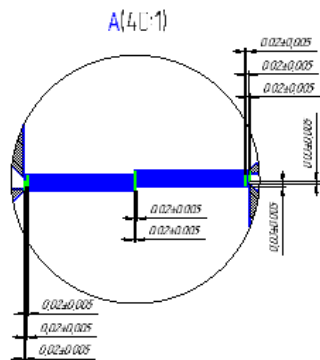
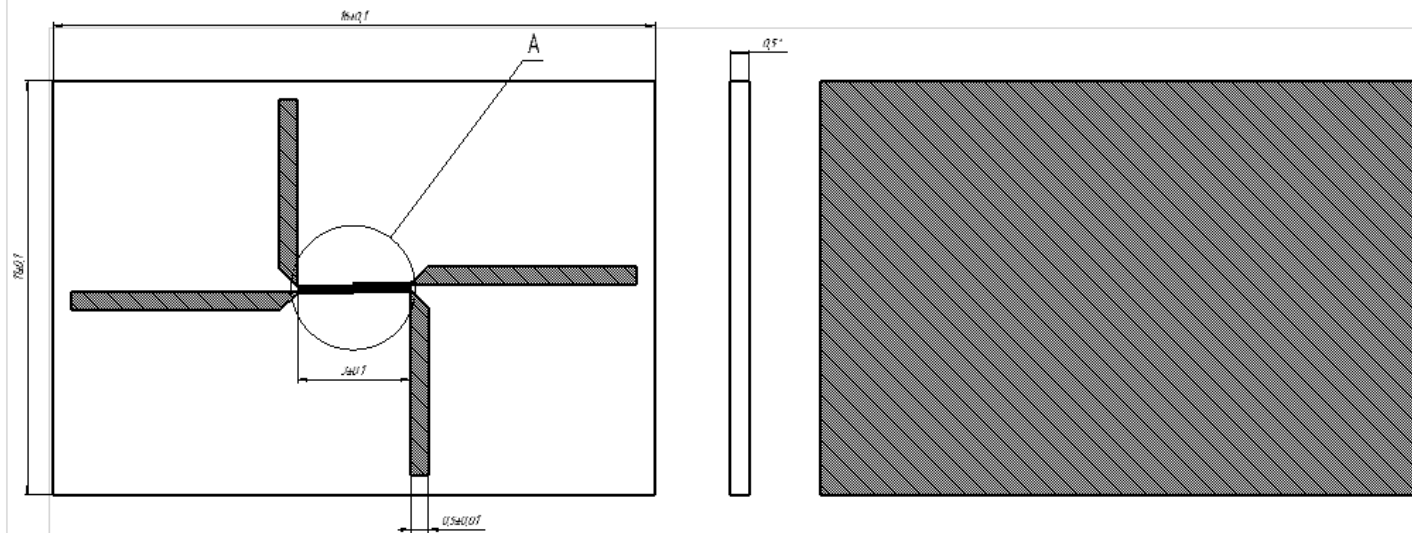


Таблица 1

№ п/п	Порядковый номер	Наименование	Единица измерения	Материал	Технические характеристики	Примечания
1	05h11	Клей	кг	Эпокси-двухкомпонентный	Эпокси-двухкомпонентный ЭП-627-86-2002 Модуль упругости: 10 ¹⁰ Па	Применение: склеивание
2	0.5h11	Клей	кг	Эпокси-двухкомпонентный	Эпокси-двухкомпонентный ЭП-627-86-2002 Модуль упругости: 10 ¹⁰ Па	Применение: склеивание
3	6h11	Клей	кг	Эпокси-двухкомпонентный	Эпокси-двухкомпонентный ЭП-627-86-2002 Модуль упругости: 10 ¹⁰ Па	Применение: склеивание
4	-	Клей	кг	Эпокси-двухкомпонентный	Эпокси-двухкомпонентный ЭП-627-86-2002 Модуль упругости: 10 ¹⁰ Па	Применение: склеивание

1 - для склеивания (1, 2, 3 и 4) в соответствии с таблицей 1

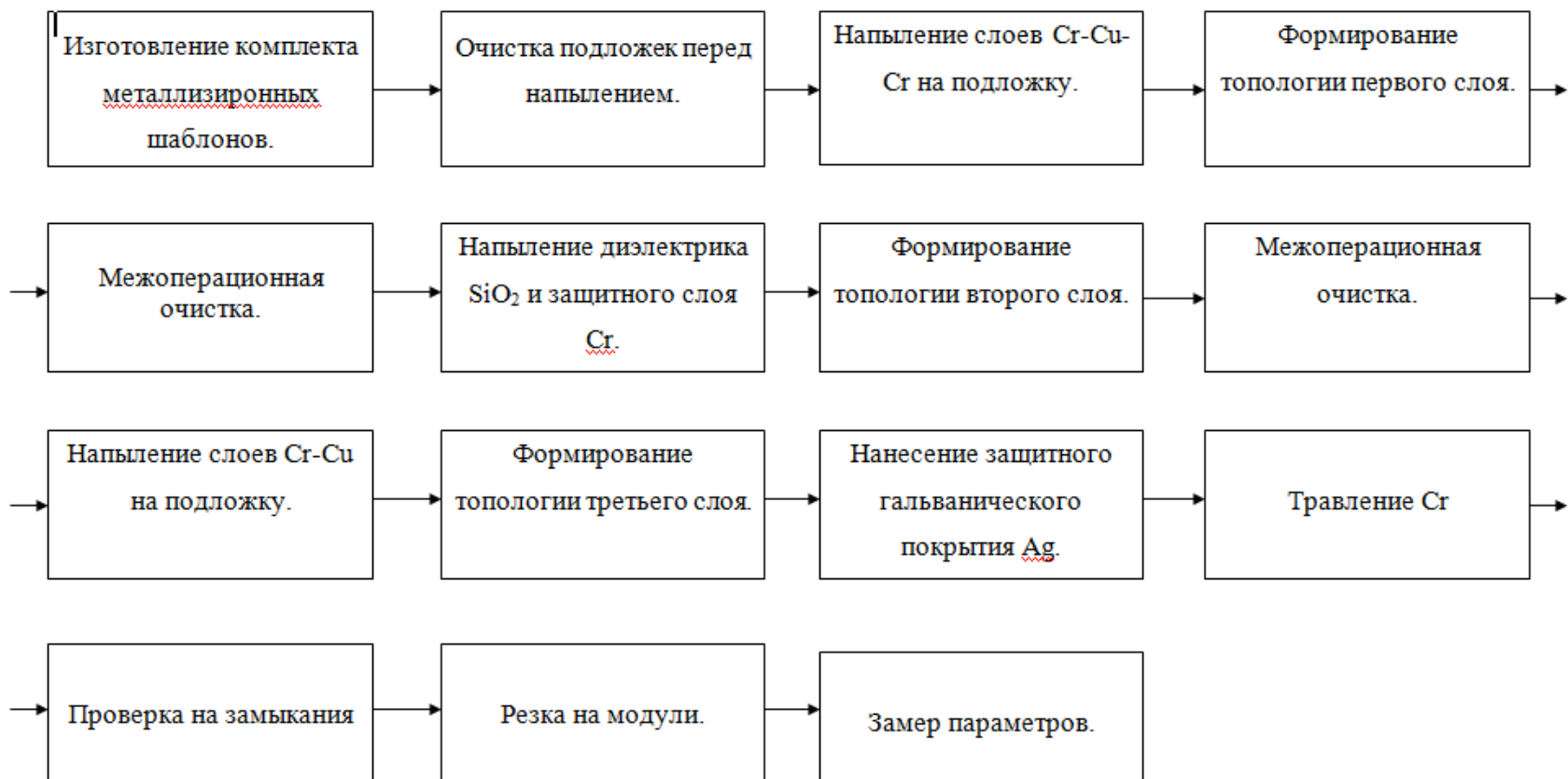
2 - для склеивания

№	Имя	Дата	Статус
1	Иванов	2021	Создан
2	Петров	2021	Изменен
3	Сидоров	2021	Проверен
4	Климов	2021	Утвержден

Итого: 4

Итого: 4

Технологический маршрут изготовления НО



Фотографии фотошаблонов НО

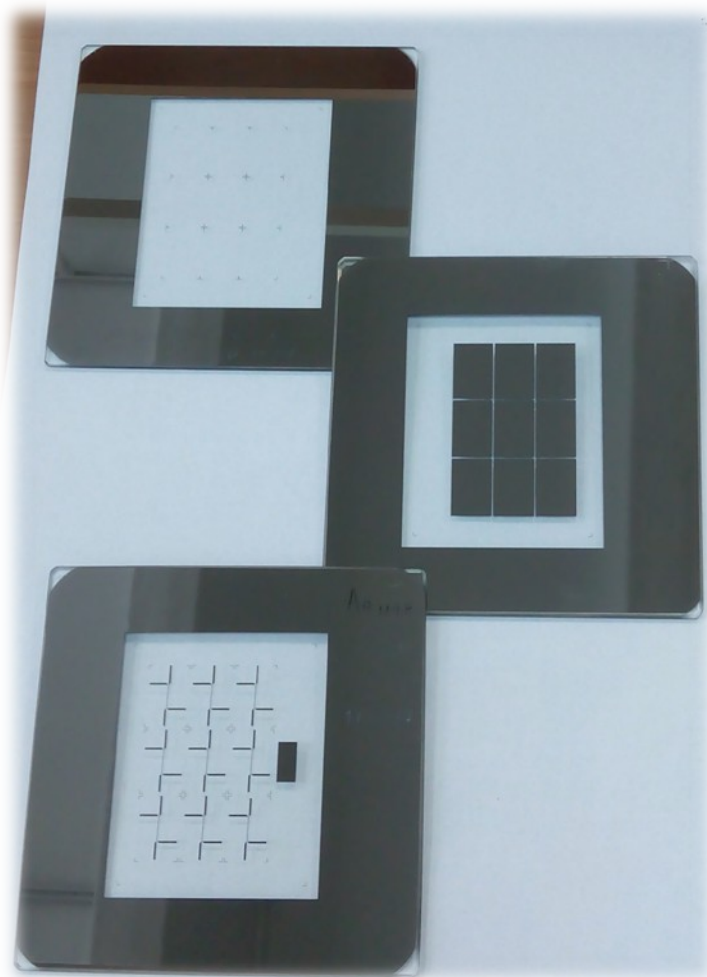


Таблица замеров топологии НО

	По чертежу, мкм	На фотошаблоне, мкм	Модуль 1 (среднее значение), мкм	Модуль 2 (среднее значение), мкм	Модуль 3 (среднее значение), мкм
Ширина зазора	30	26	29	30	29
Ширина полоска	30	34	31	30	31

Фотографии образца НО

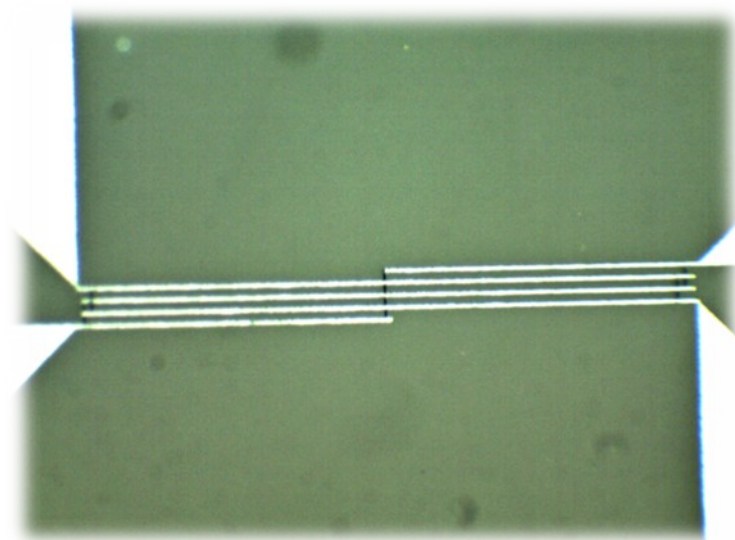
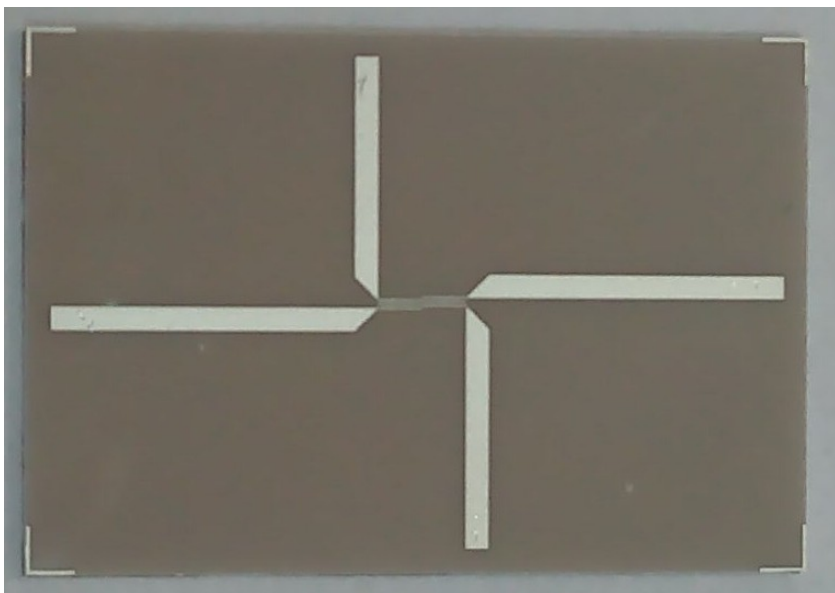
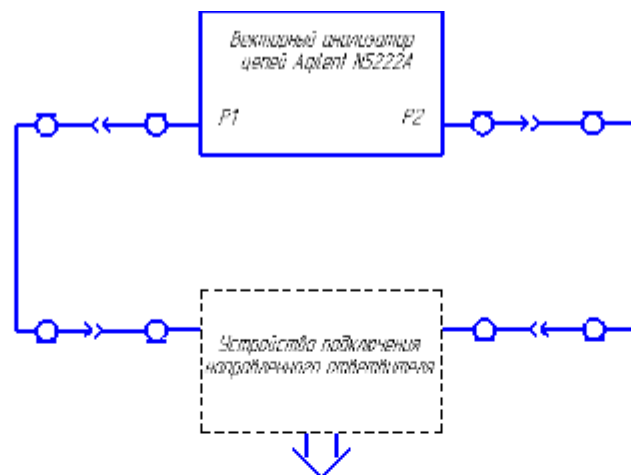
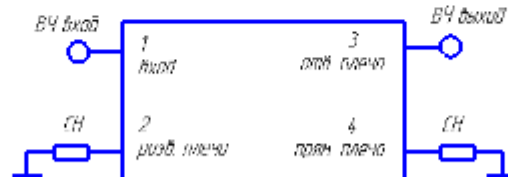


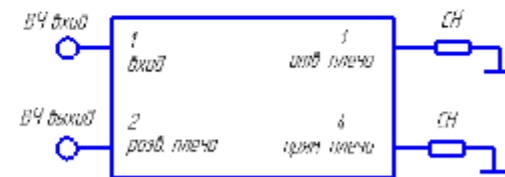
Схема измерений АЧХ НО



Измерение переходного ослабления НУ



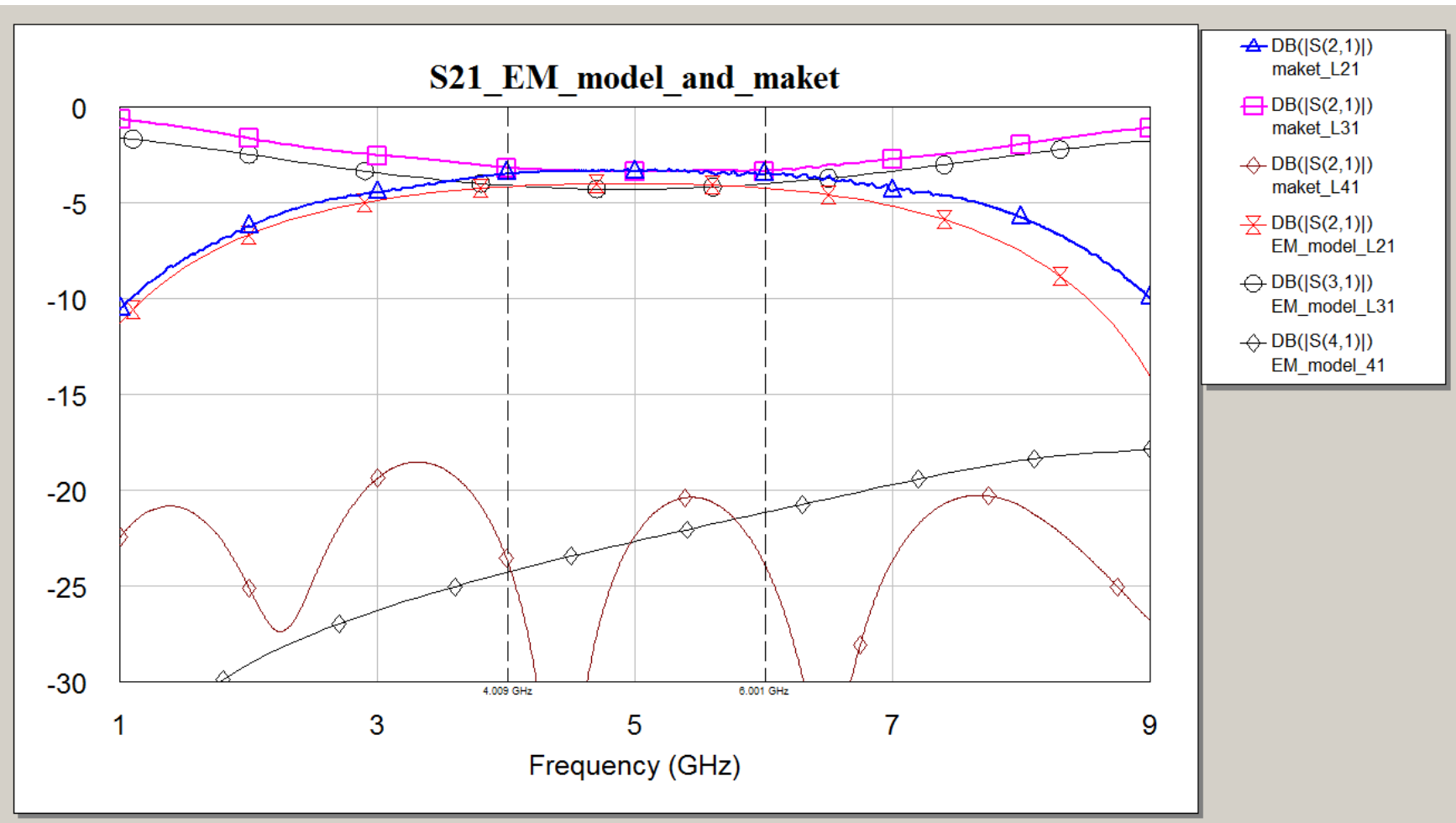
Измерение рабочего затухания НУ



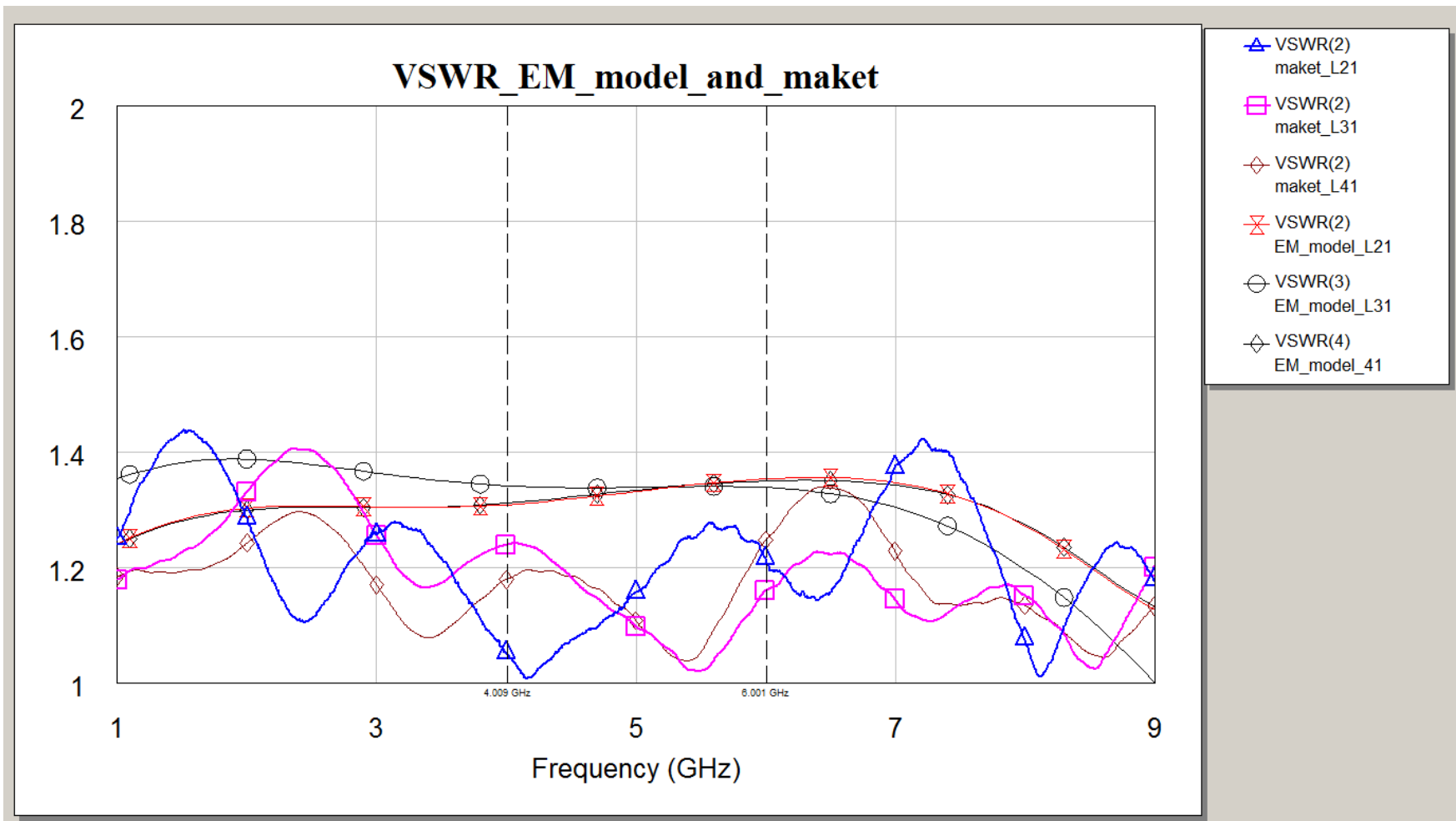
Измерение развязки НУ

СН – согласованная нагрузка 50 Ом

АЧХ ЭМ модели и макета НО



КСВН ЭМ модели и макета НО



Заключение

В ходе выполнения работы были достигнуты следующие результаты:

1. Проведен анализ существующих реализации НО в сантиметровом радиодиапазоне и сделан выбор в пользу разработки нового конструкторско-технологического решения, с заменой проволочных перемычек на полосковые МДМ соединения.
2. Создана в САПР NI AWR DE электро-магнитная структура НО с ДРЧ 3,5..6,5 ГГц и неравномерностью деления мощности 3 дБ.
3. Экстрагирована послойная топология НО, разработана конструкторская документация.
4. Разработан маршрут изготовления НО по МДМ технологии, создан комплект фотошаблонов, изготовлены образцы НО для испытаний.
5. Получены АЧХ образцов НО. Достигнуто практически полное совпадение данных ЭМ моделирования и эксперимента
6. Продемонстрирована перспективность разработанного конструкторско-технологического решения в реализации НО для мобильных устройств связи и радиолокации, особенно при переходе от сантиметрового к миллиметровому диапазону длин волн.

Список литературы:

1. Основы проектирования СВЧ интегральных схем, учеб.- метод. Пособие. В 2 ч. 4.2: Элементная база СВЧ интегральных схем/ В.Б. Кирильчук, Д.В. Лихачевский. Минск: БГУИР, 2012.-308 с.: ил.
2. Основы векторного анализа цепей/Михаэль Хибель. – пер. с англ. С.М. Смольского; под ред. У.Филипп.- М.: Издательский дом МЭУ, 2009. – 500 [4] с.: ил.
3. Малорацкий Л. Г., Явич Л. Р. Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях. М.: Советское радио, 1972. 233 с.

Спасибо за внимание