|  |  |
| --- | --- |
| Gerb-BMSTU_01 | **Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  **высшего образования**  **«Московский государственный технический университет**  **имени Н.Э. Баумана**  **(национальный исследовательский университет)»**  **(МГТУ им. Н.Э. Баумана)** |

ФАКУЛЬТЕТ: Радиоэлектроника и лазерная техника

КАФЕДРА: РЛ6 «Технология Приборостроения»

**РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

НА ТЕМУ:

Проектирование конструкции микрополоскового СВЧ смесителя

Студент РЛ6-61 **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** Д.В. Омаров

(Группа) (Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

Руководитель курсовой работы **\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** Н. В. Федоркова

(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

*2022г.*

# Оглавление

[Оглавление 2](#_Toc104658582)

[Задание на выполнение курсовой работы 3](#_Toc104658583)

[Техническое задание 4](#_Toc104658584)

[План работы 5](#_Toc104658585)

[Задание по конструкторской части 5](#_Toc104658586)

[Исходные данные: 5](#_Toc104658587)

[Содержание графической части: 5](#_Toc104658588)

[Содержание расчетно-пояснительной записки 5](#_Toc104658589)

[Принцип работы устройства 6](#_Toc104658590)

[Конструкторская часть 8](#_Toc104658591)

[Проектирование диодной секции на базе диода 3А147В-3 8](#_Toc104658592)

[Проектирование направленного ответвителя Ланге 10](#_Toc104658593)

[Проектирование конструкции микрополоскового балансного смесителя 13](#_Toc104658594)

[Расчет зависимости потерь преобразования смесителя от уровня мощности гетеродина 14](#_Toc104658595)

[Расчет зависимости потерь преобразования смесителя от уровня мощности сигнала 17](#_Toc104658596)

[Используемая литература 20](#_Toc104658597)

[Приложение 1. Эскиз микрополосковой платы смесителя 21](#_Toc104658598)

[Приложение 2. Электрическая принципиальная схема 22](#_Toc104658599)

[Приложение 3. Схема выводов диода 3А147В-3 23](#_Toc104658600)

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**

**высшего образования**

**«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана**

**(национальный исследовательский университет)»**

**(МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(Индекс)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(И.О.Фамилия)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

# Задание на выполнение курсовой работы

по дисциплине: «Устройства СВЧ и антенны»

Студент группы РЛ6-61

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Омаров Денис Владимирович\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(Фамилия, имя, отчество)

Тема курсовой работы: \_\_Проектирование конструкции микрополоскового СВЧ смесителя\_\_\_\_\_\_\_

Направленность КР (учебная, исследовательская, практическая, производственная, др.)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Источник тематики (кафедра, предприятие, НИР): Кафедра

График выполнения работы: 25% к \_\_\_ нед., 50% к \_\_\_ нед., 75% к \_\_ нед., 100% к \_\_\_ нед.

***Задание*** Разработать конструкцию микрополоскового балансного смесителя на базе направленного ответвителя Ланге и диода 3А147В-3

***Оформление курсовой работы:***

Расчетно-пояснительная записка на \_\_\_\_\_ листах формата А4.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Дата выдачи задания « \_\_\_ » \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Руководитель курсовой работы**  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_Н. В. Федоркова

(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

**Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_**Д.В. Омаров

(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

Московский государственный технический университет им.Н.Э.Баумана

Кафедра «Технология приборостроения»

# Техническое задание

на курсовую работу по курсу

«Устройства СВЧ и антенны»

**Ф.И.О. студента** Омаров Д.В.

**Группа** РЛ6-61

**Тема работы:** Проектирование конструкции микрополоскового СВЧ смесителя

**Задание по конструкторской части**

Разработать конструкцию микрополоскового балансного смесителя на базе направленного ответвителя Ланге и диода 3А147В-3.

**Исходные данные:**

Требования к электрическим параметрам: частота сигнала 11,7 – 12,3 ГГц, частота гетеродина 11 ГГц. Материал подложки – поликор. Ориентировочные габариты: 30 х 24 х 0,25 мм.

**Объем работы:**

графической части - 3 листа,

расчетно-пояснительной записки – 35 - 50 листов.

**Содержание графической части:**

Лист 1. Эскиз микрополосковой платы смесителя

Лист 2. Электрическая принципиальная схема.

Лист 3. Эскиз конструкции диода.

**Содержание расчетно-пояснительной записки**

1. Принцип работы устройства
2. Синтез топологии платы в программе MWO.
3. Расчет рабочих параметров.

Руководитель работы

Студент

Дата выдачи задания:

# План работы

## Задание по конструкторской части

Разработать конструкцию микрополоскового балансного смесителя на базе направленного ответвителя Ланге и диода 3А147В-3:

* Разработать диодную секцию на базе диода 3А147В-3
* Разработать направленный ответвитель Ланге
* Разработать конструкцию микрополоскового балансного смесителя

## Исходные данные:

Требования к электрическим параметрам: частота сигнала 11,7 – 12,3 ГГц, частота гетеродина 11 ГГц. Материал подложки – поликор. Ориентировочные габариты: 30 х 24 х 0,25 мм:

* Частота сигнала
* Частота гетеродина
* Материал подложки поликор
* Технология изготовления – тонкоплёночная
* Ориентировочные габариты: 30 х 24 х 0,25 мм

## Содержание графической части:

Приложение 1. Эскиз микрополосковой платы смесителя

Приложение 2. Электрическая принципиальная схема.

Приложение 3. Эскиз конструкции диода.

## Содержание расчетно-пояснительной записки

1. Принцип работы устройства
2. Синтез топологии платы в программе MWO.
3. Расчет рабочих параметров.

# Принцип работы устройства

В измерительных приборах высоких частот (ВЧ) и СВЧ (анализаторах спектра, частотомерах и пр.) входной сигнал с помощью преобразователя частоты переносится на более низкую промежуточную частоту (ПЧ). На этой частоте осуществляется основное усиление сигнала и измерение его параметров. От свойств преобразователя частоты зависит степень искажения исходного сигнала и погрешность его измерения.

Структурная схема преобразователя частоты представлена на рисунке 1. Он состоит из смесителя (обычно на основе СВЧ полупроводникового диода) и гетеродина (маломощного генератора СВЧ). На выходе предусмотрен усилитель с ППФ, выделяющим сигнал с промежуточной частотой.

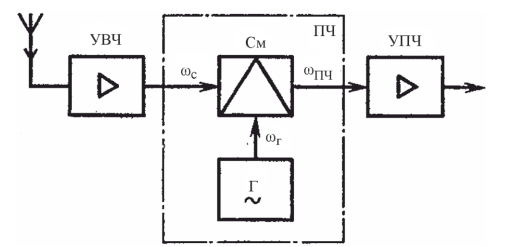


Рисунок – Структурная схема преобразователя частоты

Преобразование частоты сигнала происходит за счет нелинейности характеристик смесительного диода, в качестве которого используют точечно-контактные диоды (ТКД) и диоды с контактом Шотки (ДШ). Последние обладают более крутой вольт-амперной характеристкой (ВАХ) по сравнению с точечными полупроводниковыми диодами, лучшей электрической и механической прочностью, однако требуют значительной мощности гетеродина.

Колебания сигнала и гетеродина суммируются и подаются на смесительный диод. Мощность сигнала гетеродина делают значительно выше мощности входного сигнала. Поэтому для сигнала гетеродина диод представляет собой нелинейный элемент. В токе диода возникает как первая, так и высшие гармоники сигнала гетеродина. Для входного сигнала малого уровня диод представляет собой резистор, проводимость которого меняется во времени сигналом гетеродина. Проводимость определяется крутизной ВАХ диода, которую удобно аппроксимировать степенным рядом. В спектре тока диода можно выделить постоянную составляющую , а также многочисленные комбинационные составляющие с частотами , где и – целые числа.

На выходе смесителя фильтром ПЧ выделяют основной продукт преобразования – разностную промежуточную частоту .

Для уменьшения влияния шумов гетеродина применяются балансные смесители различного типа: двухдиодные, двойные балансные, кольцевые и двойные кольцевые. Балансная схема имеет малый коэффициент шума. Вся мощность гетеродина приложена к диодам и не поступает в нагрузку и в источник сигнала. Это позволяет уменьшить уровень сигнала гетеродина.

# Конструкторская часть

## Проектирование диодной секции на базе диода 3А147В-3

Используемые данные:

1. Анализируемая полоса частот ГГц
2. Параметры диода:
   1. Коэффициент идеальности

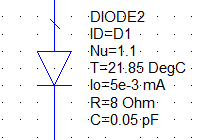


Рисунок 2 – Диод 3А147В-3 в AWR

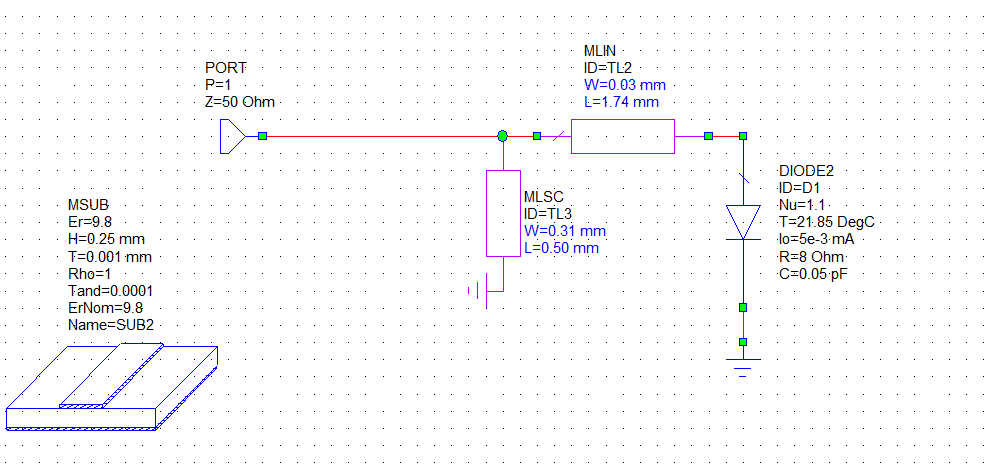


Рисунок 3 – Принципиальная схема диодной секции

Осуществляемая оптимизация по параметру



Рисунок 4 –Цель оптимизации диодной секции

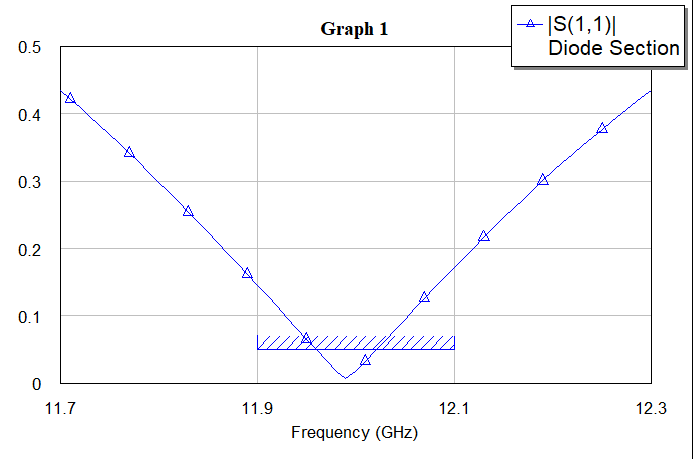


Рисунок 5 – Зависимость диодной секции от частоты

## Проектирование направленного ответвителя Ланге

Используемые данные:

1. Анализируемая полоса частот ГГц
2. Развязка в полосе частот менее дБ, коэффициент отражения менее , переходное затухание в рабочих плечах в полосе частот от ГГц более дБ.
3. Материал подложки поликор , тангенс диэлектрических потерь , толщина подложки мм, толщина металлизации мкм.

Рассчитаем оптимальные параметры направленного ответвителя Ланге используя САПР AWR design environment 13.

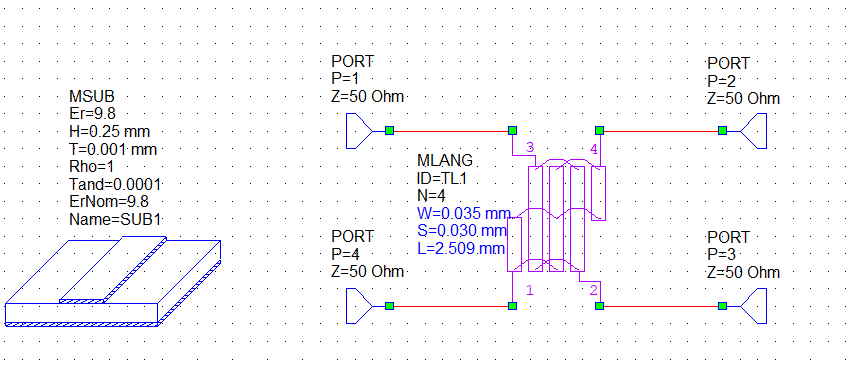


Рисунок 6 – Электрическая схема ответвителя Ланге

Оптимизировать будем по развязке и по переходным затуханиям

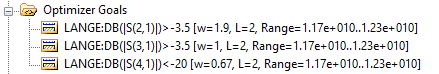


Рисунок 7 – Цели оптимизации ответвителя Ланге

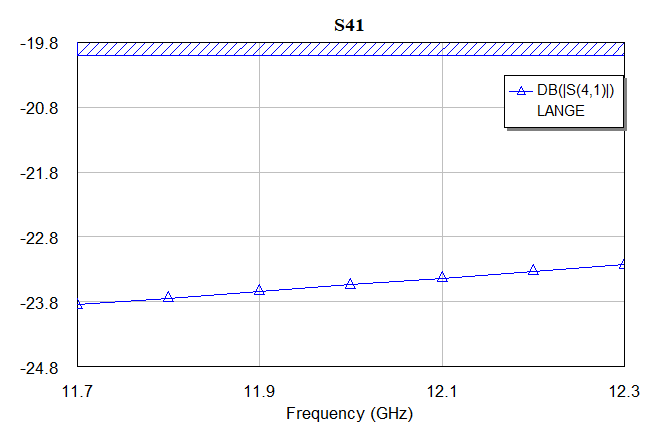


Рисунок 8 – Зависимость ответвителя Ланге от частоты

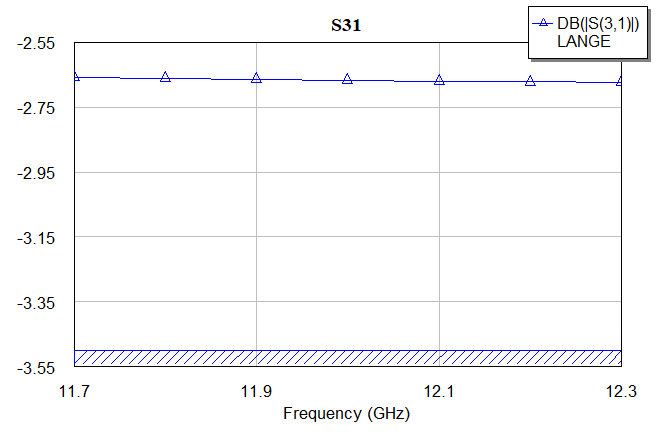


Рисунок 9 – Зависимость ответвителя Ланге от частоты

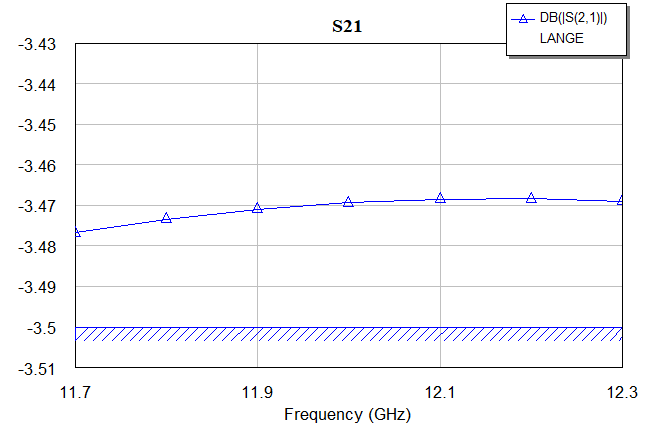


Рисунок 10 – Зависимость ответвителя Ланге от частоты

## Проектирование конструкции микрополоскового балансного смесителя

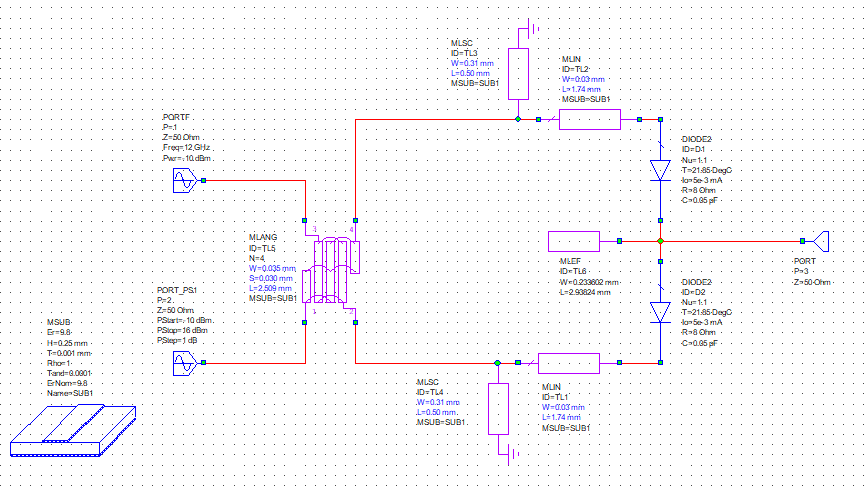


Рисунок 11 – Принципиальная схема балансного смесителя

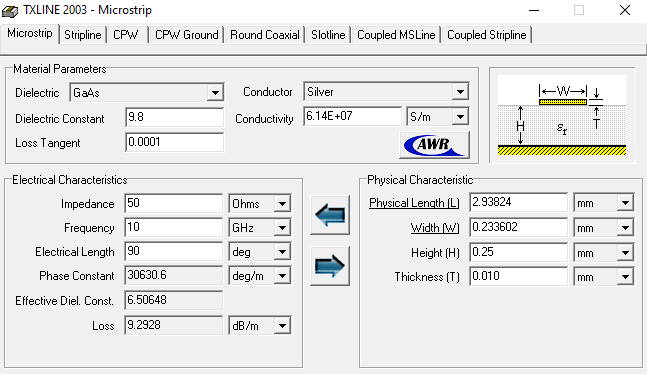


Рисунок 12 – Расчет режекторного фильтра MLEF

### Расчет зависимости потерь преобразования смесителя от уровня мощности гетеродина

В собранную из ранее рассчитанных элементов для исследования зависимости потерь преобразования смесителя от уровня мощности гетеродина подсоединим на место сигнального порта **PORTF** (порт с установленной частотой и мощностью сигнала), а на место порта гетеродина **PORT\_PS1** (порт с фиксированной частотой и изменяемой в заданных пределах мощностью гетеродина Power Sweeping) и зададим необходимые для расчёта параметры.

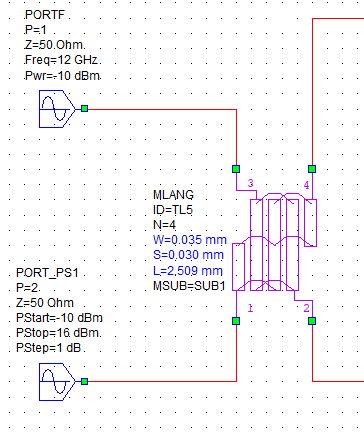


Рисунок 13 – Постановка портов для расчёта рабочей мощности гетеродина

Рассчитаем потери преобразования смесителя как функцию мощности гетеродина:

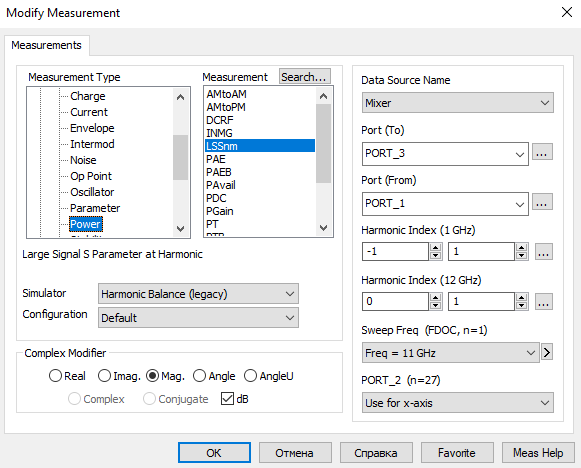


Рисунок 14 – Установка параметров расчета потерь преобразования

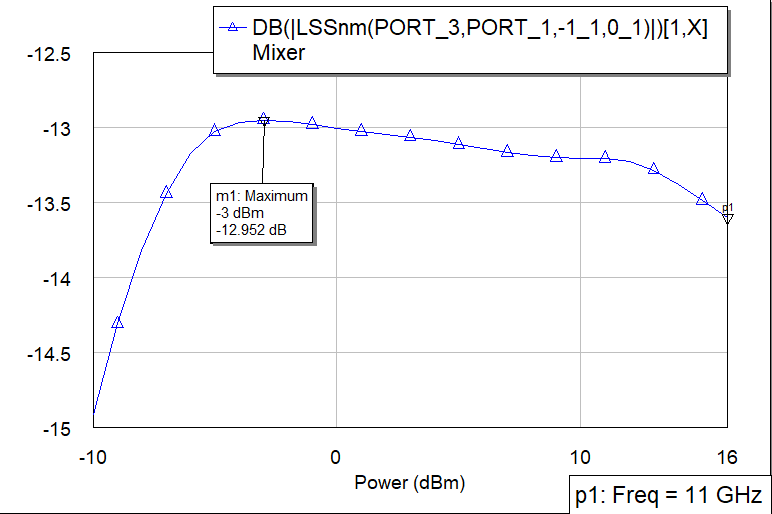


Рисунок 15 – График зависимости коэффициента передачи БСМ от мощности гетеродина

Получим мощность гетеродина на уровне

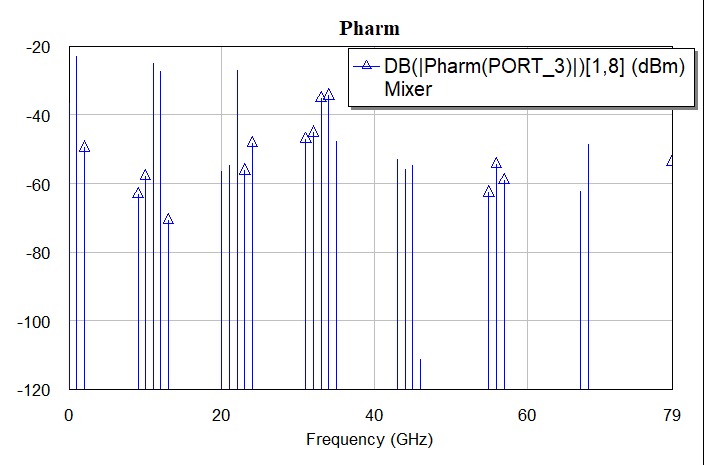


Рисунок 16 – Выходной спектр балансного смесителя

### Расчет зависимости потерь преобразования смесителя от уровня мощности сигнала

В этой задаче параметры гетеродинного входа постоянны, а на сигнальном входе изменяется мощность. Для расчета нужно поменять местами значки портов. Так как схема симметрична, можно, не меняя символов портов, считать порт 1 гетеродинным, а порт 2 сигнальным

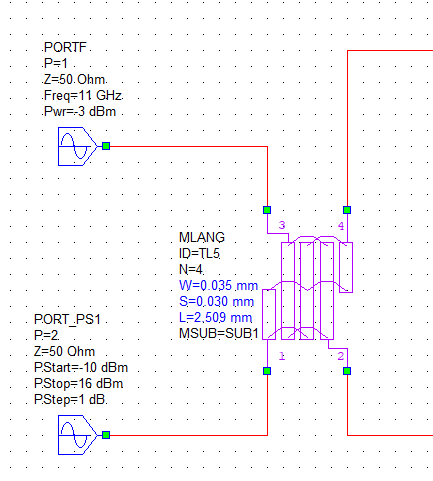


Рисунок 17 – Постановка портов для расчёта рабочей мощности сигнала

Рассчитаем один децибел компрессию. Для этого рассчитаем потери преобразования сигнала:

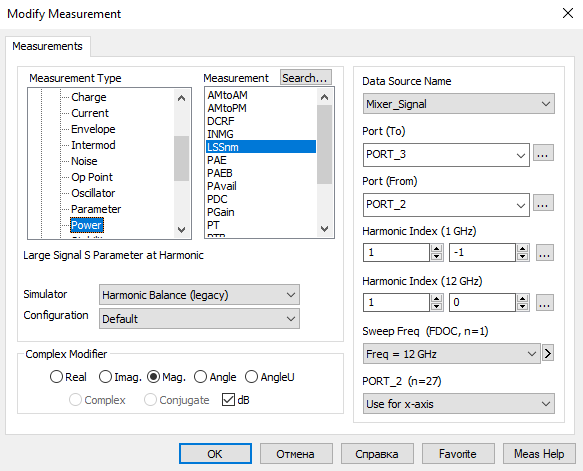


Рисунок 18 – Установка параметров расчета потерь преобразования сигнала

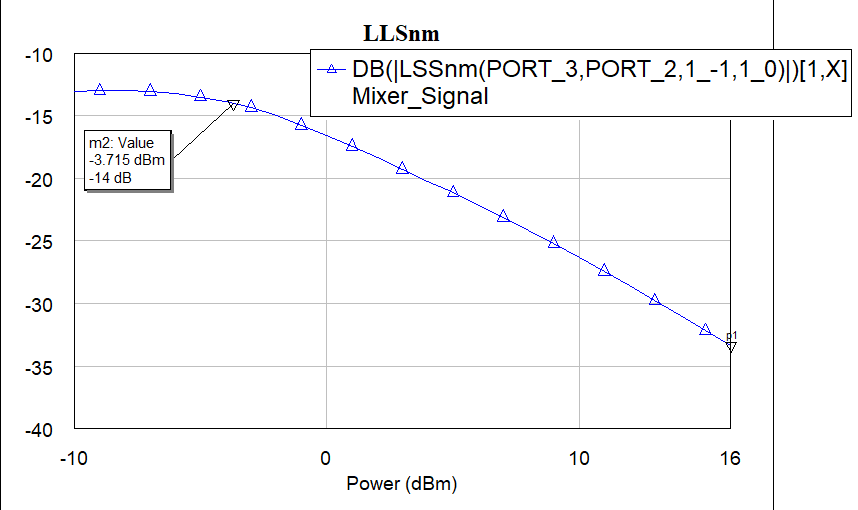


Рисунок 19 – График зависимости коэффициента передачи БСМ от мощности сигнала

Находим точку один децибел компрессии:

Рассчитаем точку пересечения 3-го порядка IP3 – уровень двух расстроенных по частоте сигналов помех одинаковой мощности на входе смесителя, при котором мощность составляющих 3-го порядка или равна мощности полезного входного сигнала.

Для этого воспользуемся встроенным функционалом AWR, а именно опцией OIPN.

OIPN – рассчитывает точку пересечения N-го порядка при многотоновом возбуждении портов устройства. В этой точке, пересекаются линейные экстраполяции кривых зависимости выходной мощности основной (фундаментальной) частоты и мощности интермодуляционной составляющей N-го порядка, построенных в масштабе дБм

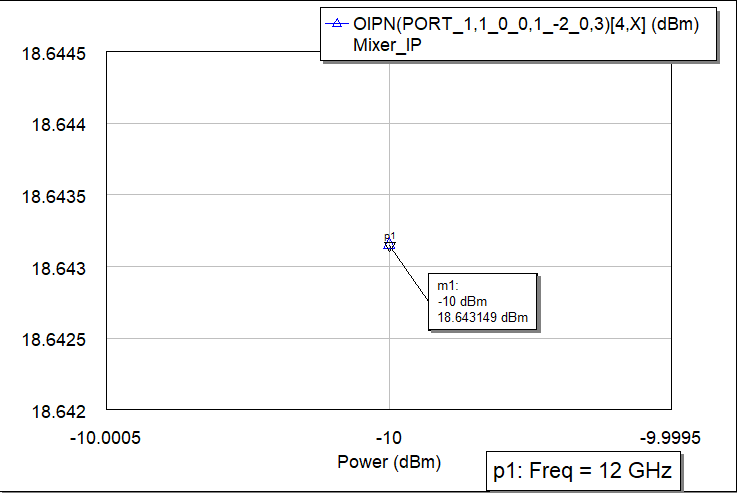
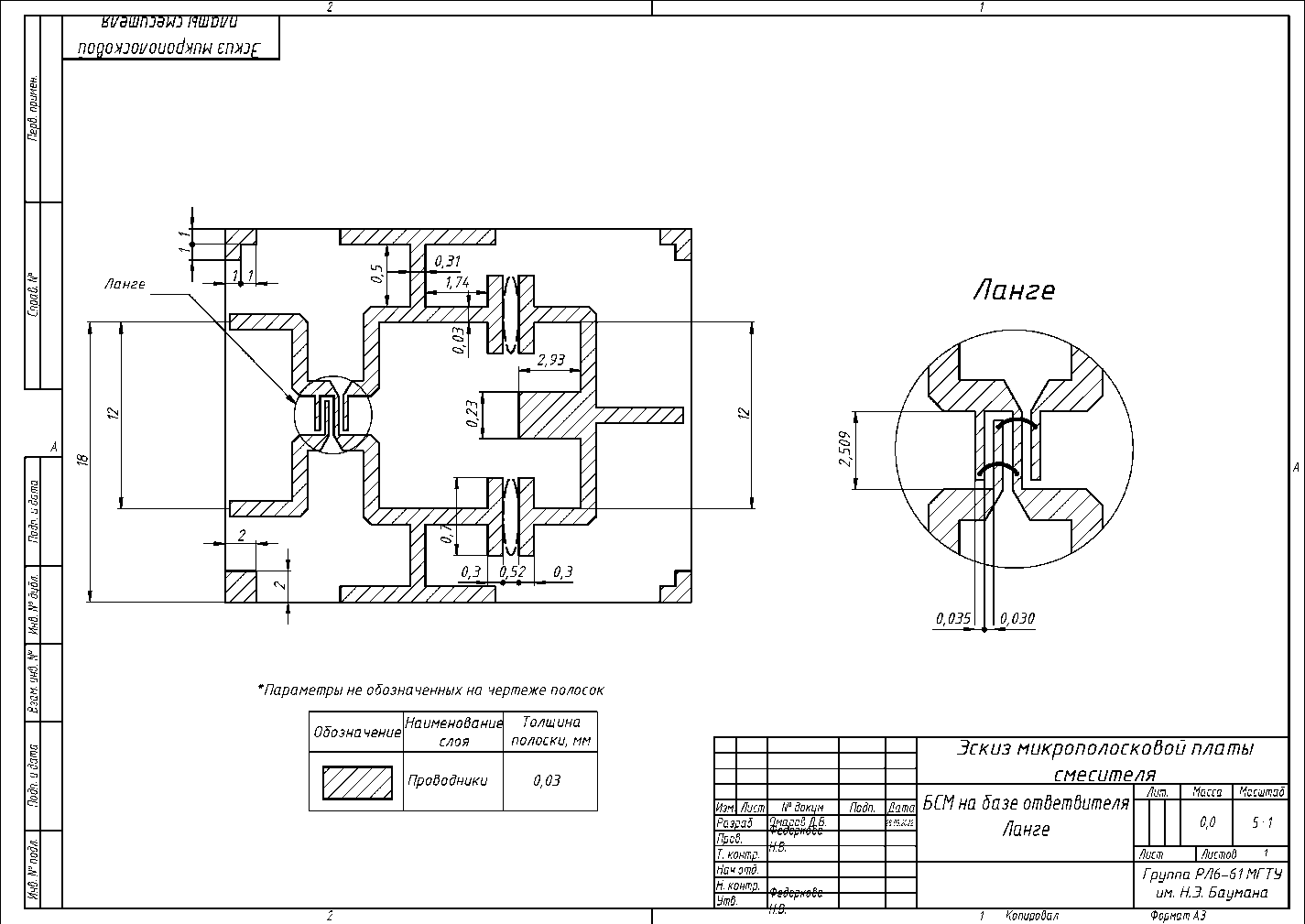


Рисунок 20 – Точка IP3

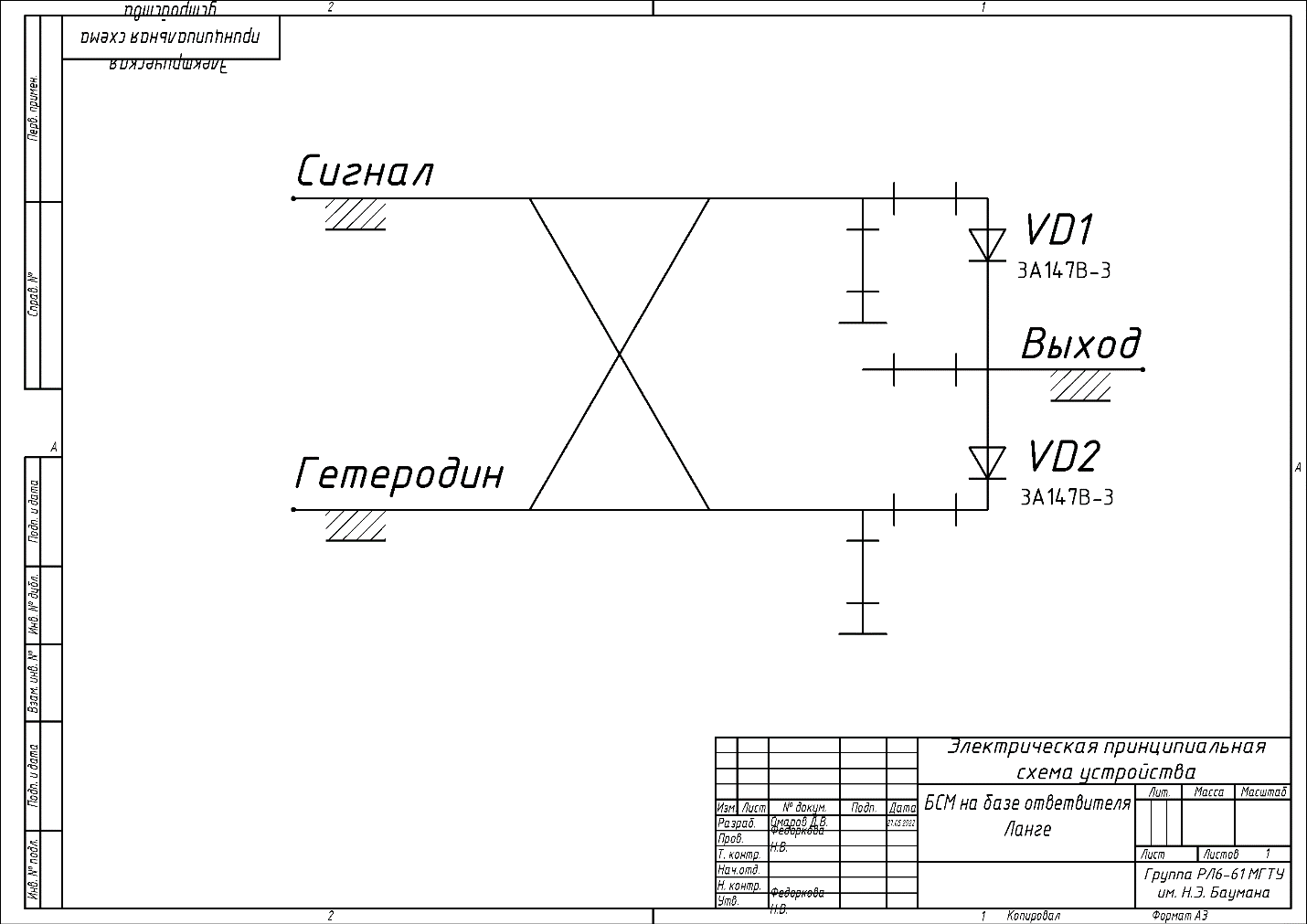
# Используемая литература

1. Метод. указания к лабораторным работам /С.А. Мешков, В.В. Назаров, Н.В. Федоркова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – с., ил.
2. Полупроводниковые приборы. Сверхвысококачественные диоды. Справочник /Б.А. Наливайко, А.С. Берлин, В.Г. Божков и др. Под ред. Б.А. Наливайко.-Томск: МГП «РАСКО», 1992 – 223 с.:ил.
3. Микроэлектроника СВЧ : учеб. пособие / В.С. Данилов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 292 с. («Учебники НГТУ»).
4. ОСТ 107.750 878.001-87 Технология изготовления тонкопленочных плат.

# Приложение 1. Эскиз микрополосковой платы смесителя



# Приложение 2. Электрическая принципиальная схема



# Приложение 3. Схема выводов диода 3А147В-3

