



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 (РЛ)»

КАФЕДРА «Технологии приборостроения (РЛ6)»

РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

НА ТЕМУ:

*«Проектирование конструкции микрополоскового
детектора»*

Студент РЛ6-61
(Группа)

(Подпись, дата)

Филимонов С. В.
(И. О. Фамилия)

Руководитель курсовой работы

(Подпись, дата)

Федоркова Н.В.
(И. О. Фамилия)

2023 г.

Оглавление

1	Условие.	3
2	Принцип работы устройства.	4
3	Синтез топологии платы в программе AWR Design Environment.	7
4	Расчет рабочих параметров.	11
5	Анализ влияния ПД на параметры диода и рабочие характеристики устройства.	14
6	Технология изготовления.	15

1 Условие.

**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: Филимонов С.В. **Группа:** РЛ6-61

Тема работы: Проектирование конструкции микрополоскового детектора

Задание по конструкторской части

Разработать конструкцию микрополоскового детектора мощности на базе копланарных линий передачи и диода 3A206 А-6.

Исходные данные:

Требования к электрическим параметрам: частота сигнала $8 \pm 0,3$ ГГц.
Материал подложки – поликор. Технология изготовления – толсто пленочная.
Ориентировочные габариты: 10 x 15 x 0,5 мм.

Объем работы:

графической части - 3 листа,
расчетно-пояснительной записки – 35 - 50 листов.

Содержание графической части:

Лист 1. Эскиз микрополосковой платы.
Лист 2. Электрическая принципиальная схема.
Лист 3. Эскизы конструкций ЭРЭ.

Содержание расчетно-пояснительной записки

1. Принцип работы устройства.
2. Синтез топологии платы в программе MWO.
3. Расчет рабочих параметров.
4. Анализ влияния ПД на параметры диода на рабочие характеристики устройства.
5. Технология изготовления.

Руководитель работы: Федоркова Н.В.

Студент: Филимонов С.В.

Дата выдачи задания: 24.02.2023

2 Принцип работы устройства.

Амплитудный детектор – это устройство, предназначенное для получения на выходе напряжения, изменяющегося в соответствии с законом модуляции амплитуды входного гармонического сигнала. Процесс детектирования амплитудно-модулированных (АМ) сигналов вида

$$U_c(t) = u_a(t) \cdot \cos(\omega_c \cdot t), \text{ где } u_a(t) = U_c[1 + m_a x(t)],$$

где $m_a < 1$ - коэффициент глубины модуляции, U_c амплитуда несущего колебания с частотой ω_c , заключается в воспроизведении модулирующего сообщения $x(t)$ с наименьшими искажениями. Спектр сообщения $x(t)$ сосредоточен в области низких частот (частот модуляции), а спектр сигнала $U_c(t)$ – в области частоты ω_c , значение которой обычно намного превышает значение наивысшей частоты модуляции. Преобразование спектра при демодуляции возможно только в устройствах, выполняющих нелинейное или параметрическое преобразование входного сигнала $U_c(t)$. В качестве подобного устройства может быть использован диод или транзистор.

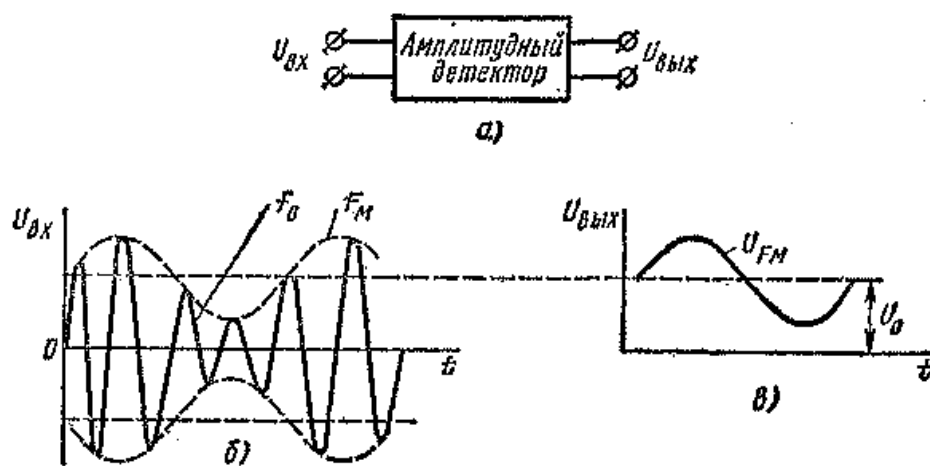


Рис. 13.1. Графики, поясняющие результат детектирования АМС

Рисунок 2.1 – Принцип работы детектора.

При использовании нелинейного устройства, обладающего квадратичной вольт-амперной характеристикой, выходной ток имеет вид

$$i = Bu_c^2(t) = Bu_a^2(t)[0.5 + 0.5\cos(2\omega_c t)],$$

где B - постоянный коэффициент. После устранения фильтром низких частот (ФНЧ) составляющей с частотой $2\omega_c$ получим

$$i = 0.5BU_c^2[1 + 2m_ax(t) + m_a^2x^2(t)].$$

В этом токе содержится составляющая вида $BU_c^2m_ax(t)$, пропорциональная передаваемому сообщению, а также составляющая $0.5BU_c^2m_a^2x^2(t)$, которая определяет степень нелинейных искажений модулирующего сообщения $x(t)$. Параметрическое преобразование осуществляется путем умножения $U_c(t)$ на опорное колебание, имеющее вид

$$U_0(t) = U_0\cos(\omega_ct).$$

В этом случае результат перемножения определяется следующим выражением

$$U_c(t)U_0(t) = u_a(t)U_0[0.5 + 0.5\cos(2\omega_ct)].$$

Составляющая с частотой $2\omega_c$ устраняется ФНЧ и в результате формируется низкочастотный сигнал вида $0.5U_0u_a(t)$. Отделяя постоянную составляющую $0.5U_0U_c$, например, при помощи разделительного конденсатора, получаем сигнал вида $0.5U_0U_c\max(t)$, форма которого определяется передаваемым сообщением $x(t)$.

Амплитудный детектор, выполняемый по микрополосковой технологии, состоит из элемента связи с СВЧ-трактом (согласующего устройства), диода, ФНЧ и вывода сигнала на НЧ.

Значение тока через диод i_g для режима покоя ($u_c(t) = 0$) может быть найдено из уравнений

$$\begin{cases} i_g = f(U_g) \\ i_g = -\frac{u_{\text{ВЫХ}}}{R_{\text{Н}}} \end{cases}$$

где U_g – напряжение на диоде. Первое уравнение является уравнением вольтамперной характеристики (ВАХ) диода как безынерционного нелинейного элемента. Из-за нелинейного характера ВАХ, форма тока через диод i_g при синусоидальной форме сигнала $U_c(t)$ не является синусоидальной. В составе тока появляется постоянная составляющая, которая, протекая по резистору $R_{\text{Н}}$, создает падение напряжения U_g , смещающая положение рабочей точки. При увеличении амплитуды входного напряжения смещение рабочей точки увеличивается, и ток через диод будет приближаться по форме к однополярным импульсам, открывающим диод при положительных значениях входного напряжения.

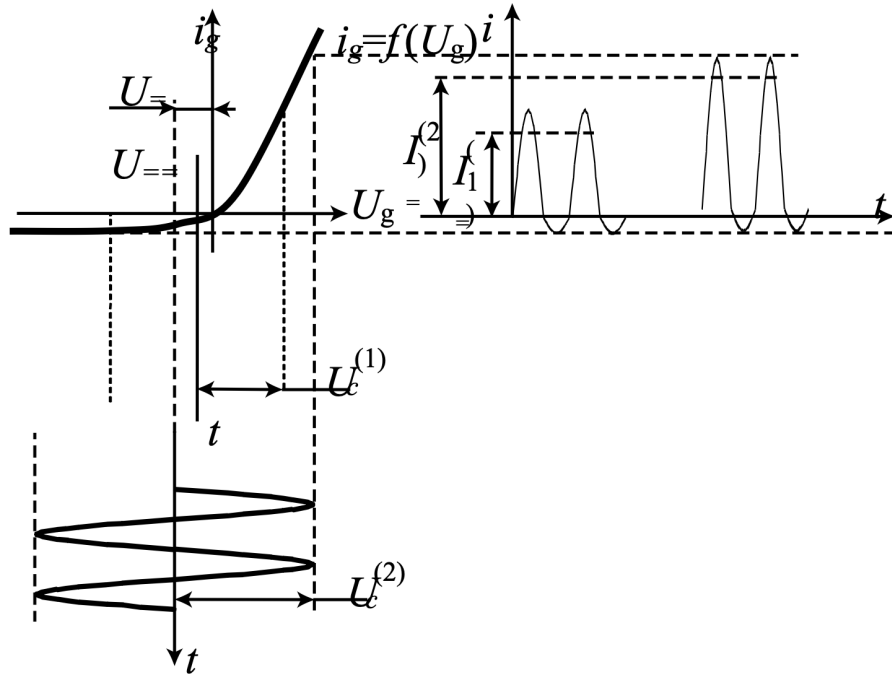


Рисунок 2.2 – Детектирование АМ сигналов.

На рисунке 2.2 приведены формы напряжений и токов на входе детектора для двух случаев, когда амплитуды входных сигналов удовлетворяют неравенству $U_c(1) < U_c(2)$. Тогда постоянные составляющие напряжений $U_c(1) < U_c(2)$ и $I_c(1) < I_c(2)$. На этом же рисунке изображена зависимость $i_g = f(t)$.

Вольтамперная характеристика диода в широком диапазоне токов достаточно точно аппроксимируется экспоненциальной зависимостью

$$i_g = I_{об}(e^{u_g(t)/\phi_T} - 1),$$

где $I_{об}$ – абсолютное значение величины обратного тока диода, ϕ_T – температурный потенциал, равный при $T = 293^\circ$ примерно 26 мВ. Из этой зависимости следует, что

- с увеличением R_n увеличивается крутизна детекторной характеристики,
- с увеличением уровня сигнала снижается нелинейность детекторной характеристики.

Из этого следует, что диодный детектор работает в двух режимах когда на вход поступает «слабый» сигнал и когда – «сильный». В режиме «слабого» сигнала характеристика диода аппроксимируется квадратичной зависимостью, в режиме сильных токов – линейной зависимостью.

3 Синтез топологии платы в программе AWR Design Environment.

Амплитудный детектор, выполняемый по микрополосковой технологии, состоит из копланарной линии, диода, фильтра и вывода сигнала на НЧ. Т.к. информационный сигнал имеет частоту в полосе от 7700 МГц до 8300 МГц, как следует из условия, нужно использовать полосно-пропускной фильтр.

Параметры диода и подложки выбираются по техническому заданию. Подложка – поликор ($\epsilon_r = 9.8$; $T_{and} = 0.0003$). Диод – 3A206A-6 [8].

Электрические параметры

Чувствительность по току при $P_{pd} = 10$ мкВт, $\lambda = 3,2$ см, $I_{пр} = 20$ мкА, $r_{посл} = 30$ Ом, не менее:	
$T = +25$ °C	3,5 мкА/мкВт
$T = +125$ °C	2,5 мкА/мкВт
$T = -60$ °C	3 мкА/мкВт
Коэффициент стоячей волны по напряжению при $P_{pd} = 10$ мкВт, $\lambda = 3,2$ см, $I_{пр} = 20$ мкА, не более	
	2,4
Выходное шумовое отношение	0,6...1,5
Дифференциальное сопротивление при $I_{пр} = 20$ мкА, $f' = 1$ кГц, не более	
	2 кОм
Тангенциальная чувствительность, не менее	54 дБ · м
Общая емкость	0,14...0,35 пФ
Емкость перехода	0,09...0,26 пФ
Емкость держателя	0,05...0,09 пФ
Индуктивность диода	1,2...1,8 нГн

Рисунок 3.1 – Параметры диода 3A206A-6.

Рассчитаем детектор в программе AWR Design.

Для расчёта копланарной линии с $R=50$ Ом прибегнем к помощи инструмента TXLine.

TXLINE 2003 - CPW

Microstrip | Stripline | CPW | CPW Ground | Round Coaxial | Slotline | Coupled MSLine | Coupled Stripline

Material Parameters

Dielectric: GaAs
 Dielectric Constant: 9.8
 Loss Tangent: 0.001

Conductor: Silver
 Conductivity: 5.88E+07 S/m

Electrical Characteristics

Impedance: 50.0156 Ohms
 Frequency: 8 GHz
 Electrical Length: 360 deg
 Phase Constant: 16099.5 deg/m
 Effective Diel. Const.: 2.80855
 Loss: 25.4396 dB/m

Physical Characteristic

Physical Length (L): 22.3609 mm
 Width (W): 0.014574 mm
 Gap (G): 0.04 mm
 Height (H): 0.5 mm
 Thickness (T): 0.05 mm

Diagram: A schematic of a CPW structure showing a central signal strip of width W, separated by gaps of width G from two ground planes. The substrate has a height H and permittivity ϵ_r . The conductor thickness is T.

Рисунок 3.2 – Результат расчёта копланарной линии.

Заметим, что результаты вычисления копланарной линии не удовлетворяют нас по предельным возможностям технологий. Введём изменение – уменьшим толщину проводящего слоя до 10 мкм.

TXLINE 2003 - CPW

Microstrip | Stripline | CPW | CPW Ground | Round Coaxial | Slotline | Coupled MSLine | Coupled Stripline

Material Parameters

Dielectric: GaAs
 Dielectric Constant: 9.8
 Loss Tangent: 0.001

Conductor: Silver
 Conductivity: 5.88E+07 S/m

Electrical Characteristics

Impedance: 50.0304 Ohms
 Frequency: 8 GHz
 Electrical Length: 360 deg
 Phase Constant: 21205 deg/m
 Effective Diel. Const.: 4.87231
 Loss: 19.0438 dB/m

Physical Characteristic

Physical Length (L): 16.9771 mm
 Width (W): 0.112019 mm
 Gap (G): 0.06 mm
 Height (H): 0.5 mm
 Thickness (T): 0.01 mm

Diagram: A schematic of a CPW structure showing a central signal strip of width W, separated by gaps of width G from two ground planes. The substrate has a height H and permittivity ϵ_r . The conductor thickness is T.

Рисунок 3.3 – Откорректированные результаты расчёта.

Введём полученные значения в схему.

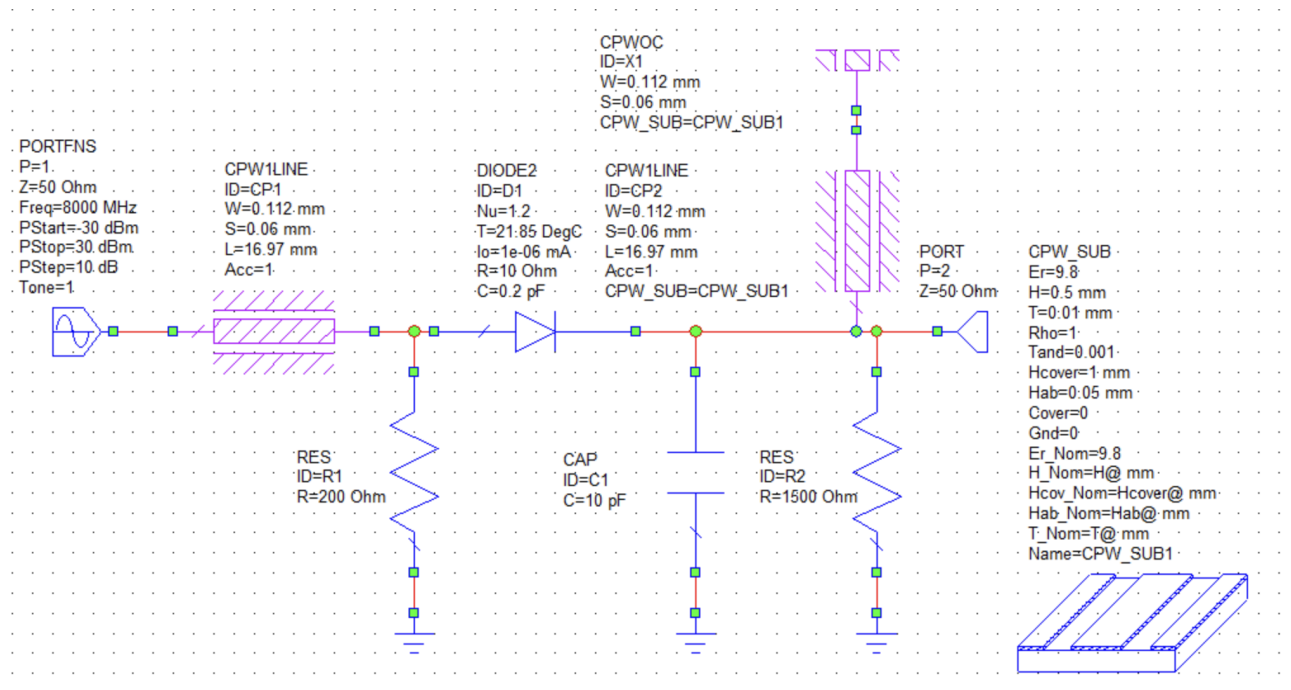


Рисунок 3.4 – Схема с обновленными параметрами.

Построим график передачи мощности.

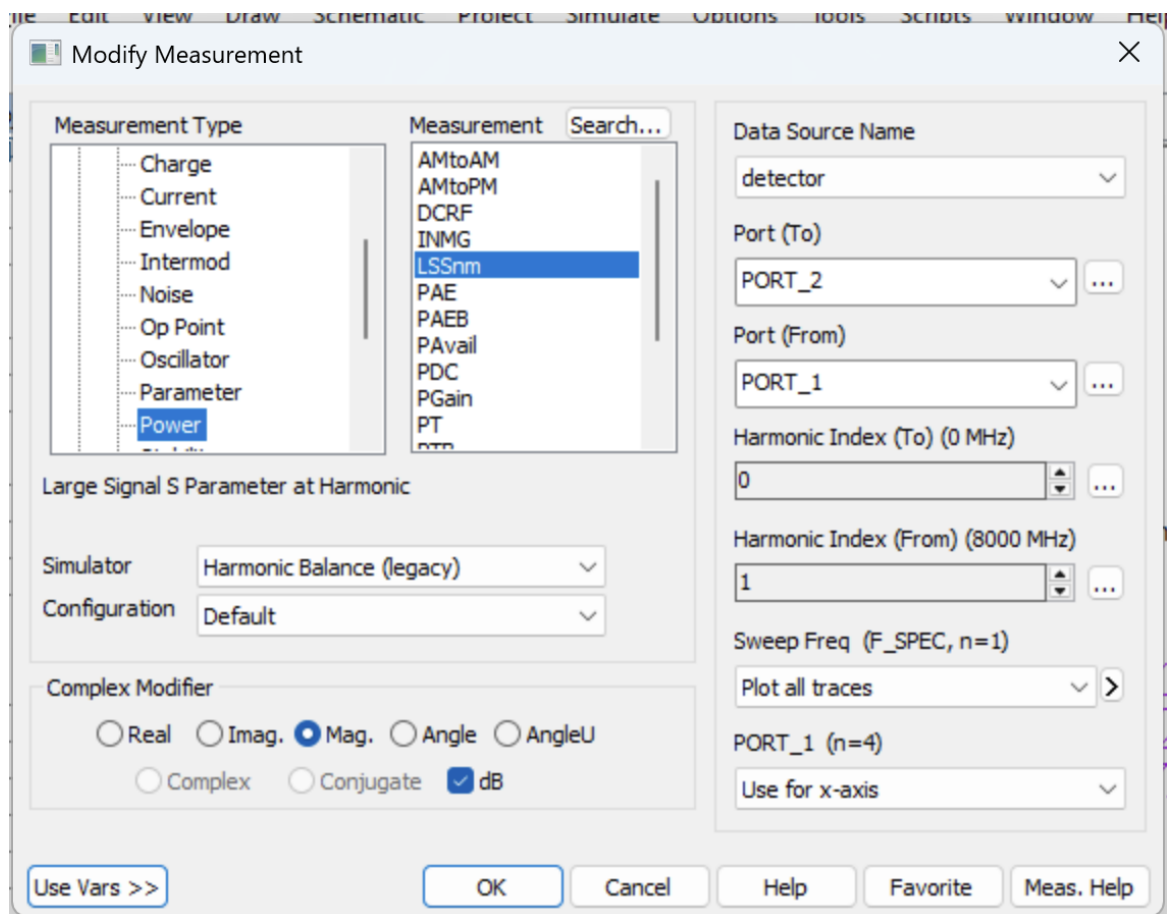


Рисунок 3.5 – Параметры графика.

В результате получим:

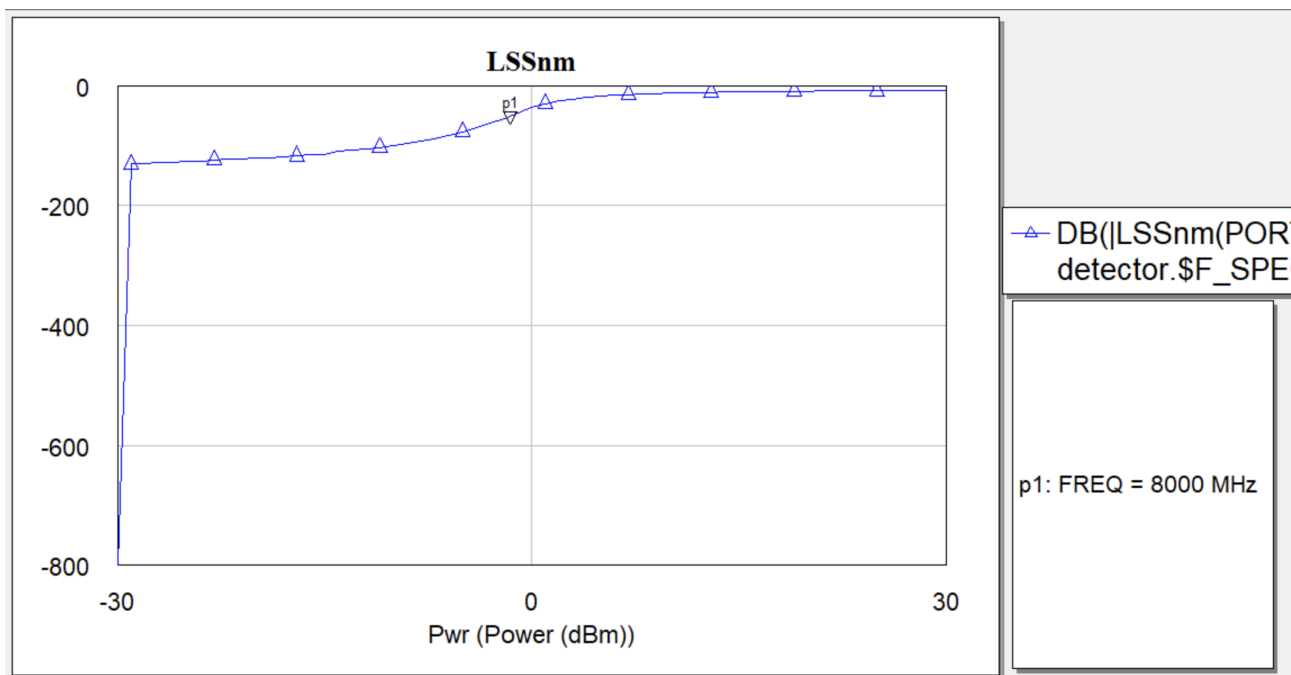


Рисунок 3.6 – График LSSnm.

Из графика не понятно где происходит переход, зададим границы от -10 до -3 дБ. В результате получим:

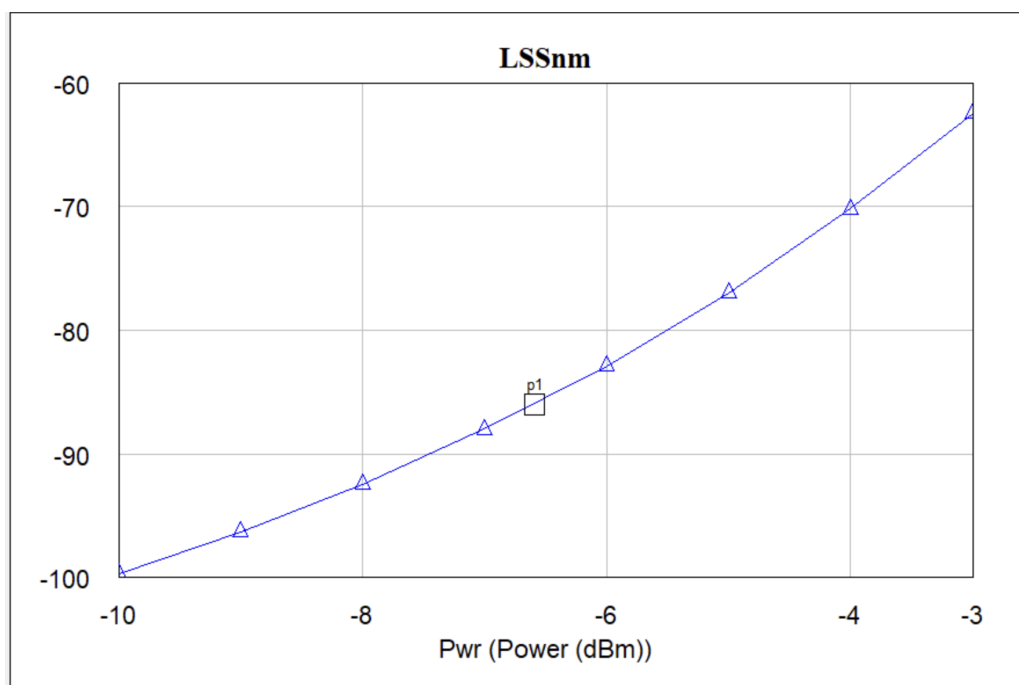


Рисунок 3.7 – График LSSnm.

Исследуя зависимость от тока, согласно полученным данным характеристика имеет линейный характер на участке от -10 дБ до -3 дБ.

3.1 График тока.

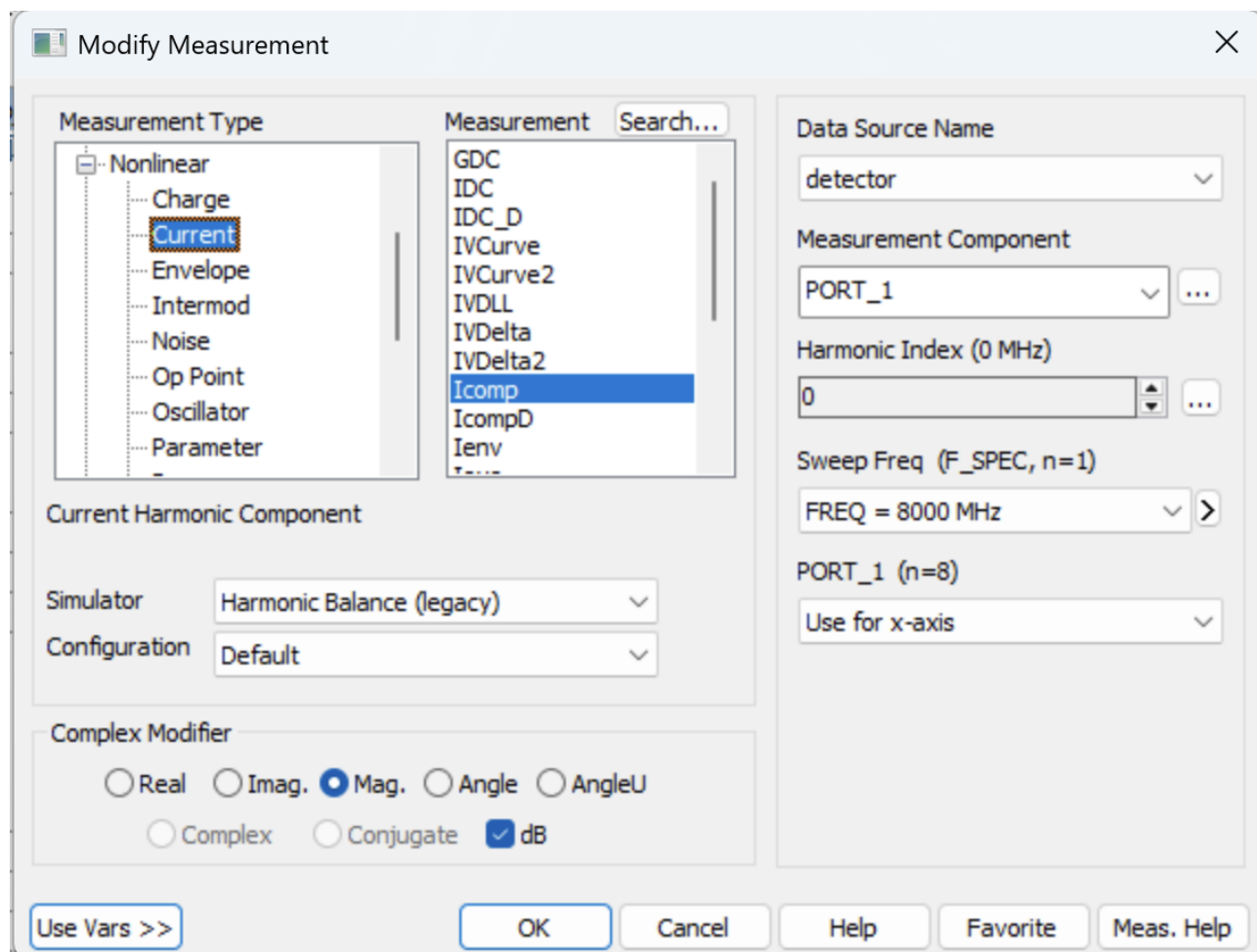


Рисунок 3.8 – Настройки для графика тока.

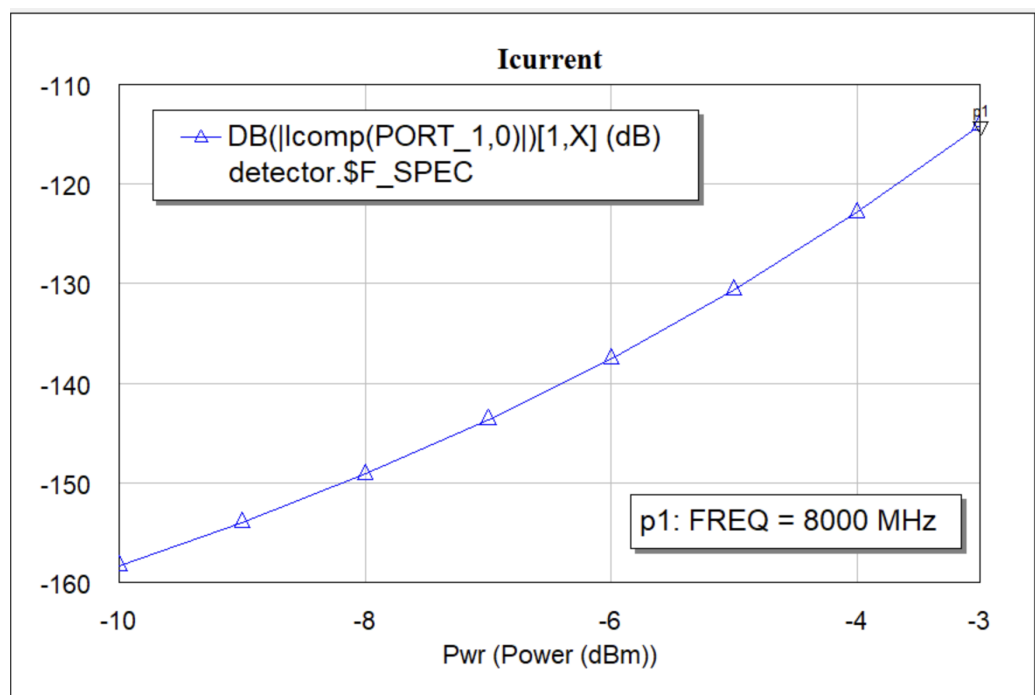


Рисунок 3.9 – График Icurrent.

4 Расчет рабочих параметров.

Параметры диода и подложки выбираются по техническому заданию.
Подложка – поликор ($\epsilon_r = 9.8$; $T_{and} = 0.001$). Диод – 3A206A-6 [8].

Электрические параметры

**Чувствительность по току при $P_{нд} = 10$ мкВт,
 $\lambda = 3,2$ см, $I_{пр} = 20$ мкА, $r_{посл} = 30$ Ом,
не менее:**

$T = +25$ °C	3,5 мкА/мкВт
$T = +125$ °C	2,5 мкА/мкВт
$T = -60$ °C	3 мкА/мкВт

**Коэффициент стоячей волны по напряжению
при $P_{нд} = 10$ мкВт, $\lambda = 3,2$ см, $I_{пр} = 20$ мкА,
не более**

2,4

Выходное шумовое отношение

0,6...1,5

Дифференциальное сопротивление

при $I_{пр} = 20$ мкА, $f' = 1$ кГц, не более

2 кОм

Тангенциальная чувствительность, не менее

54 дБ · м

Общая емкость

0,14...0,35 пФ

Емкость перехода

0,09...0,26 пФ

Емкость держателя

0,05...0,09 пФ

Индуктивность диода

1,2...1,8 нГн

Рисунок 4.1 – Параметры диода 3A206A-6.

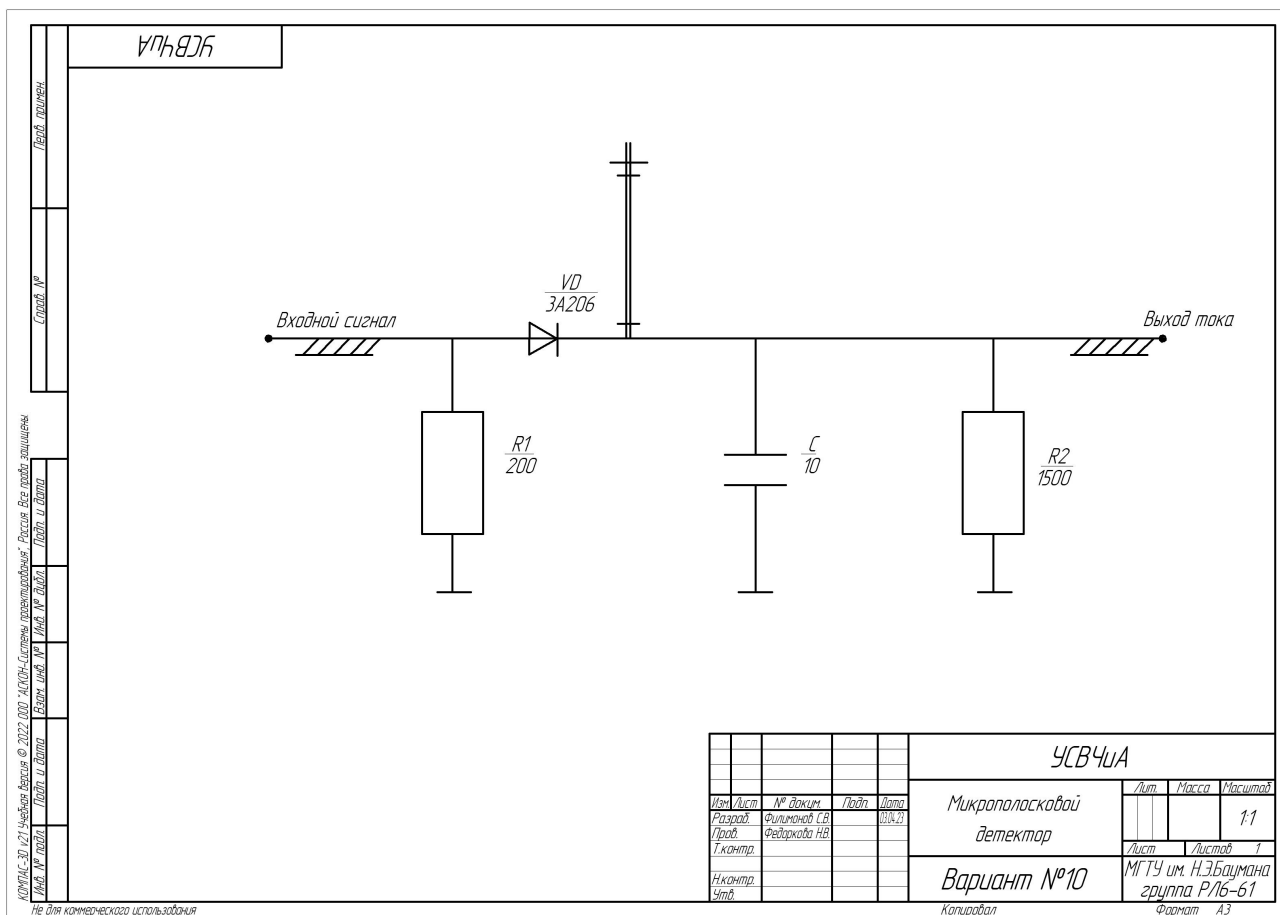


Рисунок 4.2 – Принципиальная схема микрополосового детектора.

5 Анализ влияния ПД на параметры диода и рабочие характеристики устройства.

Проводить анализ влияние ПД на параметры диода и на рабочие характеристики устройства не нужно.

6 Технология изготовления.

ОСТ 107.750878.002-87 «Технология изготовления толсто пленочных плат» приводит следующую схему (порядок выполнения операций) изготовления микрополосковой платы, содержащей резистивные элементы и тонкопленочные конденсаторы:

1. Отмывка подложек (подраздел 5.1.6)
2. Изготовление проводников, нижних обкладок конденсаторов (подраздел 5.1.3)
3. Изготовление диэлектрика конденсаторов (подраздел 5.1.3)
4. Изготовление межуровневой изоляции (подраздел 5.1.3)
5. Изготовление проводников, верхних обкладок конденсаторов и контактных площадок (подраздел 5.1.3)
6. Изготовление защитного слоя (подраздел 5.1.3)
7. Изготовление резисторов (подраздел 5.1.4)
8. Контроль плат (ОСТ 107.750878.002-87)

Рассмотрим два основных метода нанесения, применяемых для рассматриваемого устройства: вакуумное напыление и гальваническое наращивание.

Вакуумная технология обеспечивает получение пленок с заданными электрофизическими свойствами и хорошей адгезией на полированных диэлектрических подложках. Сущность метода термического испарения в вакууме состоит в том, что при температуре, когда давление собственных паров испаряемого вещества значительно превышает силу сцепления между атомами, происходит термическое испарение материала. При этом в сторону подложки направляется прямолинейный молекулярный поток испаряемого вещества.

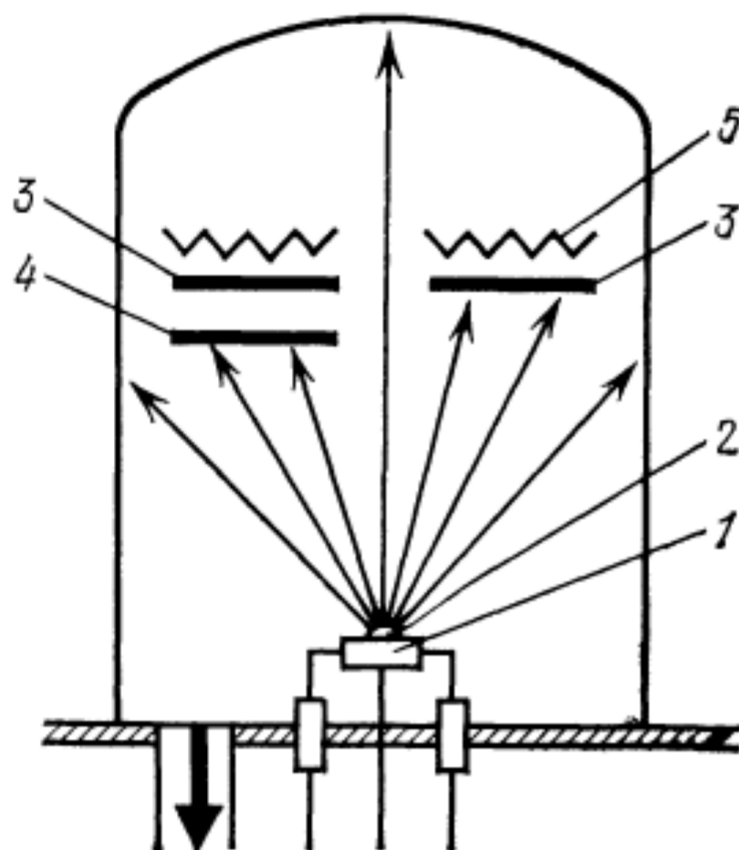


Рисунок 6.1 – Схема подколпачного устройства установки термического испарения в вакууме.

Согласно схеме 6.1, из испарителя 1 испаряемое вещество 2 осаждается на подложку 3 или на заслонку 4, контролирующую начало и окончание осаждения материала на подложку. Подложка подогревается с помощью нагревателя 5. Во время испарения контролируется температура подложки, температура испарителя, скорость конденсации испаряемого вещества, толщина пленок, давление остаточных газов и т.д., для чего вакуумные установки оснащены специальными датчиками и приборами. За один цикл откачки возможно нанесение нескольких материалов при смене испарителей. Возможно внедрение т.н. «каруселей» для одновременной обработки нескольких подложек.

Гальваническое наращивание основано на электролизе растворов под действием электрического тока и осаждении металла на катоде. Методом электролитического осаждения изготавливают токопроводящие элементы схемы (Cu, Ag) и защитные антикоррозионные покрытия (Ni, Au, Sn-Bi, Sn-Co и др.).

В зависимости от технологии осаждение слоя металла проводится по

всей поверхности подложки (субтрактивная технология) или по сформированному рисунку схемы, соединенному в единую электрическую цепь с помощью технологических перемычек. Равномерность нанесения электролитических покрытий зависит от геометрических и электрохимических условий из осаждения. При заниженных плотностях тока возможно утоньшение покрытия в середине платы, при завышенных – образование утолщений и шероховатостей на углах и торцах платы. Для увеличения производительности, а также получения более плотных и качественных покрытий применяют реверсирование тока, т.е. периодическое переключение полюсов на шинах ванн с помощью автоматического реле времени.

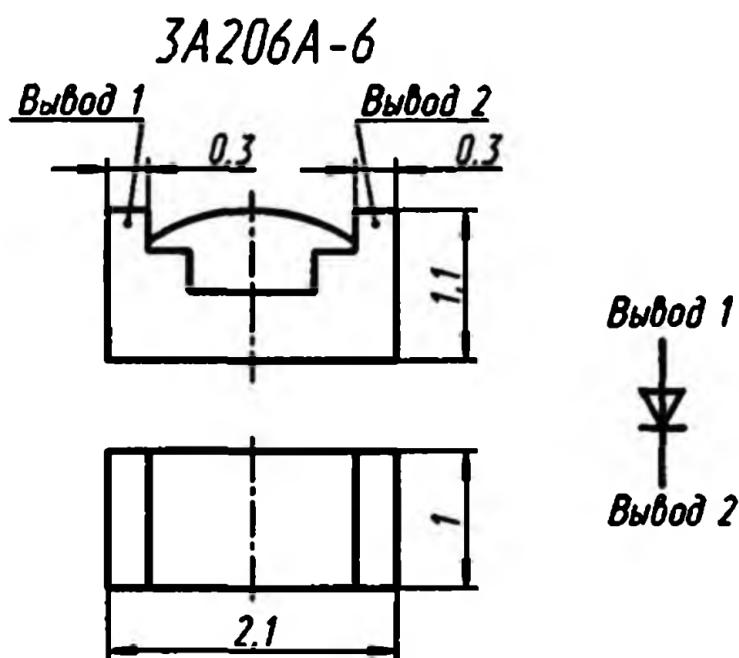


Рисунок 6.2 – Схема диода 3A206A-6.

Список литературы

- [1] Твердотельные устройства в технике связи/ Л.Г. Гассанов и др. – М.: Радио и связь, 1988.
- [2] Малорацкий Л.Г., Микроминиатюризация элементов и устройств СВЧ., М., «Сов. Радио», 1976.
- [3] Бушминский И.П., Гудков А.Г., Дергачев В.Ф. Конструкторское проектирование микросхем СВЧ: Учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1991, 225 с.
- [4] Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств / С.И.Бахарев, В.И.Вольман и др.: Под. ред. В.И.Вольмана. М.: Радио и связь, 1982, 328 с.
- [5] Полупроводниковые приборы. Сверхвысокочастотные диоды. Справочник /Б.А. Наливайко и др. Под ред. Б.А. Наливайко. – Томск: МГП «РАСКО», 1992.
- [6] ГОСТ 2.734 – 68. Обозначения условные графические в схемах. Линии сверхвысокой частоты и их элементы.
- [7] ОСТ 107.750 878.002 – 87 - Технология изготовления толсто пленочных плат.
- [8] 3А206А-6 параметры диода