



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 «Технология 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  $\omega_c$ , 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  $\omega_c$ , 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.

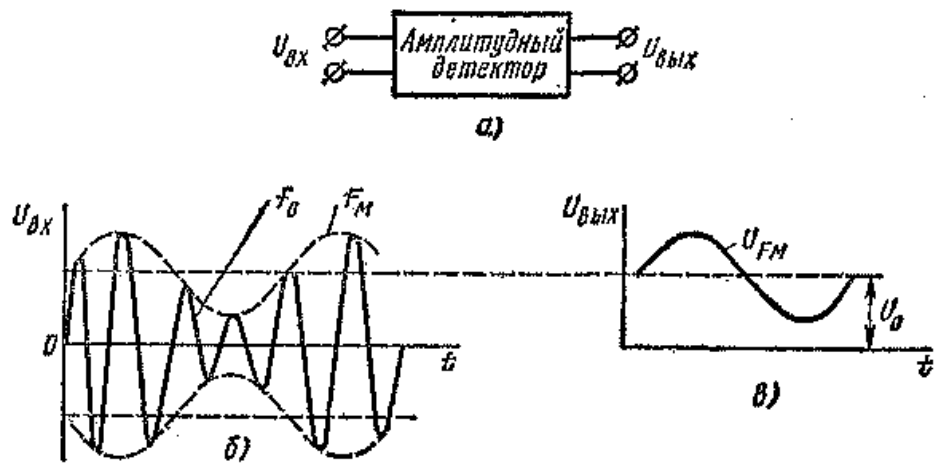


Рис. 13.1. Графики, поясняющие результат детектирования АМС

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.

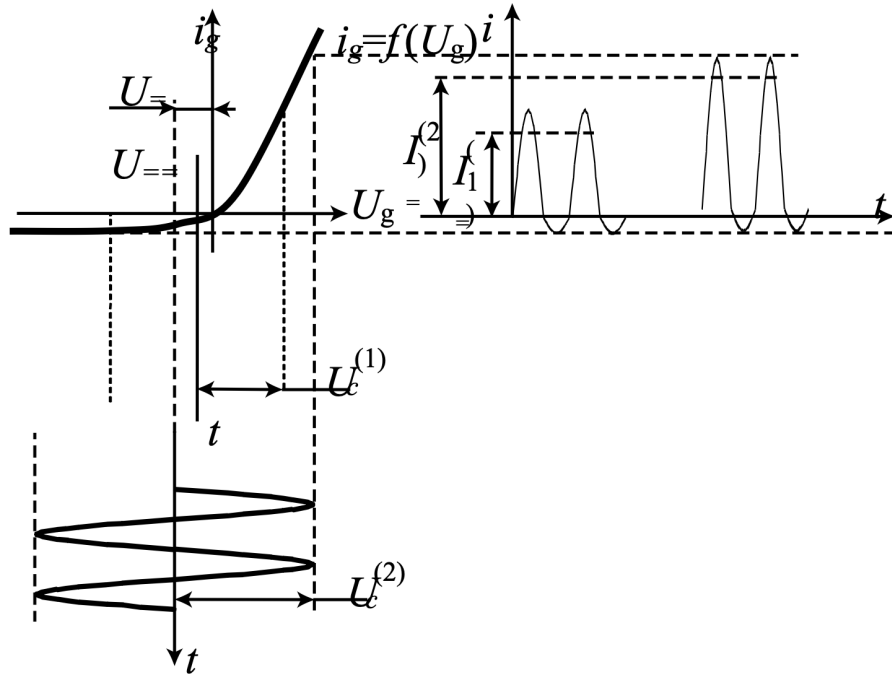


Рисунок 2.2 – Детектирование АМ сигналов.

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,  $\phi_T$  – 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 ( $\epsilon_r = 9.8$ ;  $T_{and} = 0.001$ ). Диод – 3A206A-6 [9].

#### Электрические параметры

<b>Чувствительность по току при <math>P_{pd} = 10</math> мкВт, <math>\lambda = 3,2</math> см, <math>I_{pr} = 20</math> мкА, <math>r_{посл} = 30</math> Ом, не менее:</b>	
$T = +25$ °C .....	3,5 мкА/мкВт
$T = +125$ °C .....	2,5 мкА/мкВт
$T = -60$ °C .....	3 мкА/мкВт
<b>Коэффициент стоячей волны по напряжению при <math>P_{pd} = 10</math> мкВт, <math>\lambda = 3,2</math> см, <math>I_{pr} = 20</math> мкА, не более .....</b>	
	2,4
<b>Выходное шумовое отношение .....</b>	0,6...1,5
<b>Дифференциальное сопротивление при <math>I_{pr} = 20</math> мкА, <math>f = 1</math> кГц, не более .....</b>	
	2 кОм
<b>Тангенциальная чувствительность, не менее ....</b>	54 дБ · м
<b>Общая емкость .....</b>	0,14...0,35 пФ
<b>Емкость перехода .....</b>	0,09...0,26 пФ
<b>Емкость держателя .....</b>	0,05...0,09 пФ
<b>Индуктивность диода .....</b>	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

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

Рисунок 3.3 – Откорректированные результаты расчёта.



Введём полученные значения в схему.

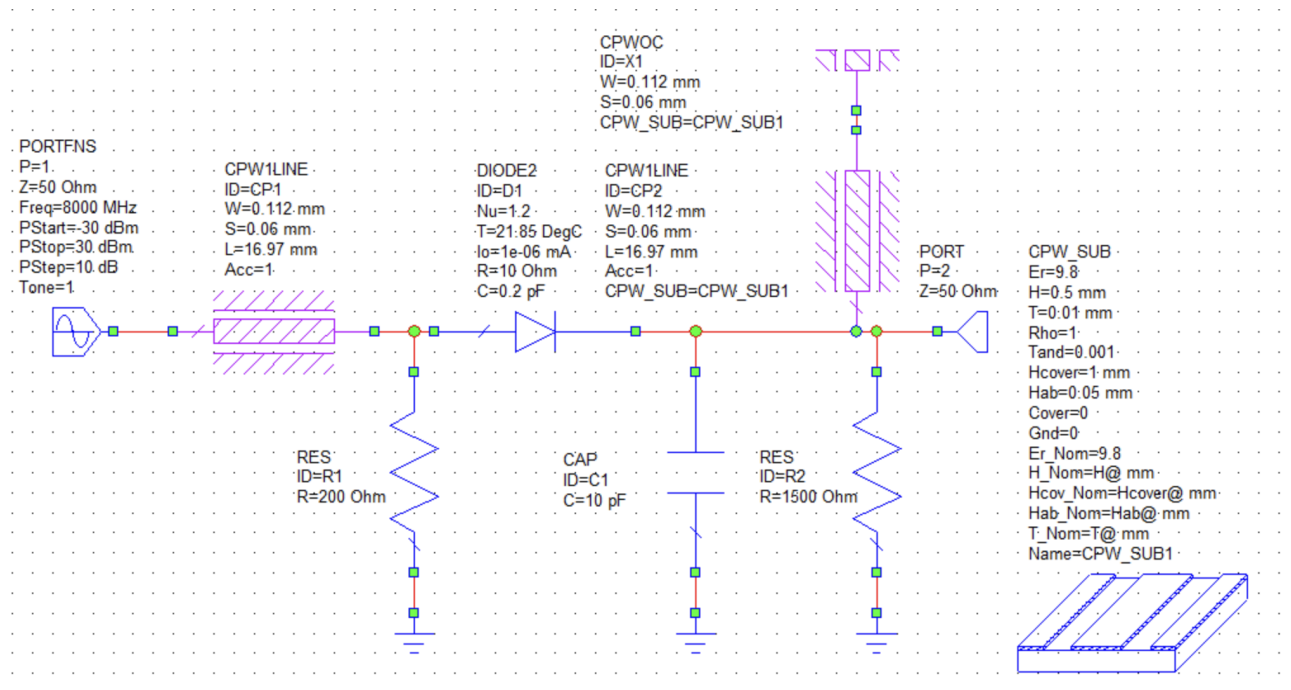


Рисунок 3.4 – Схема с обновленными параметрами.

Построим график передачи мощности.

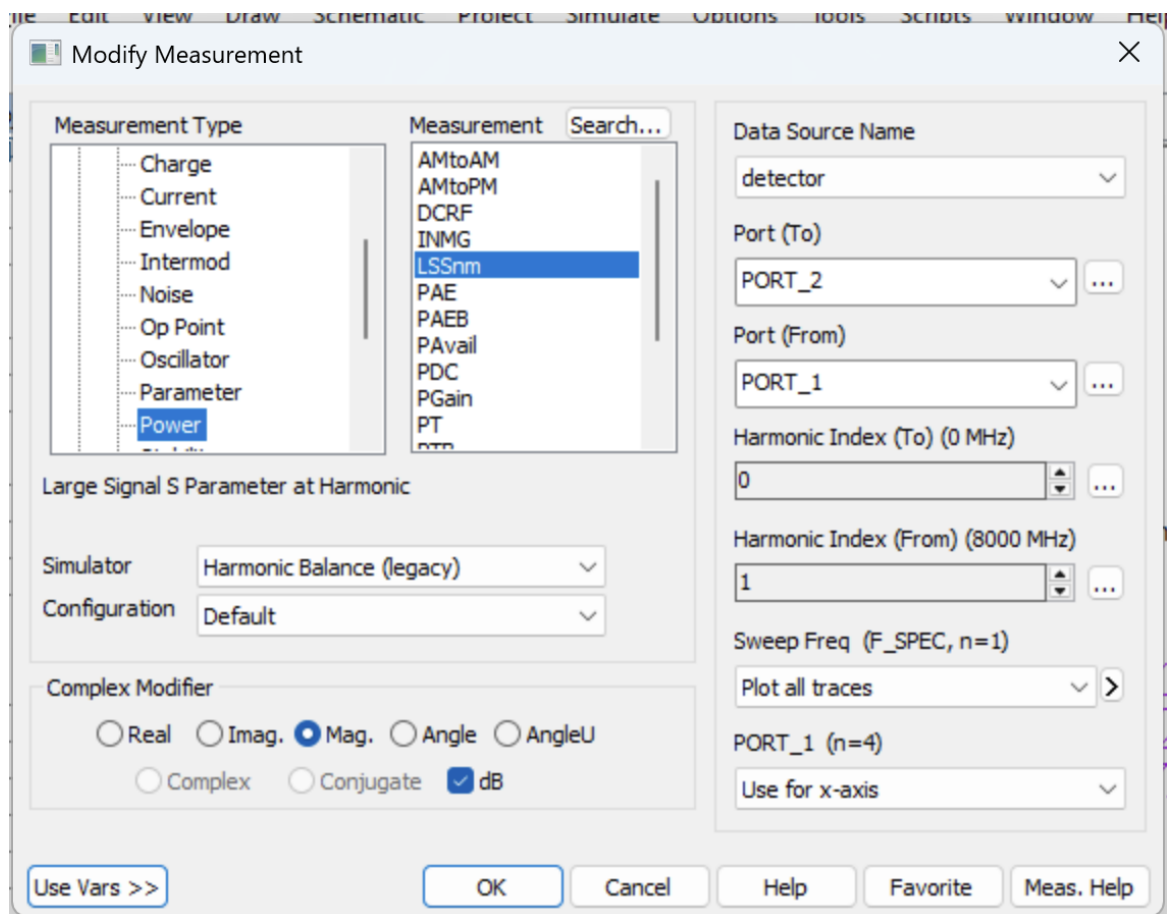


Рисунок 3.5 – Параметры графика.

В результате получим:

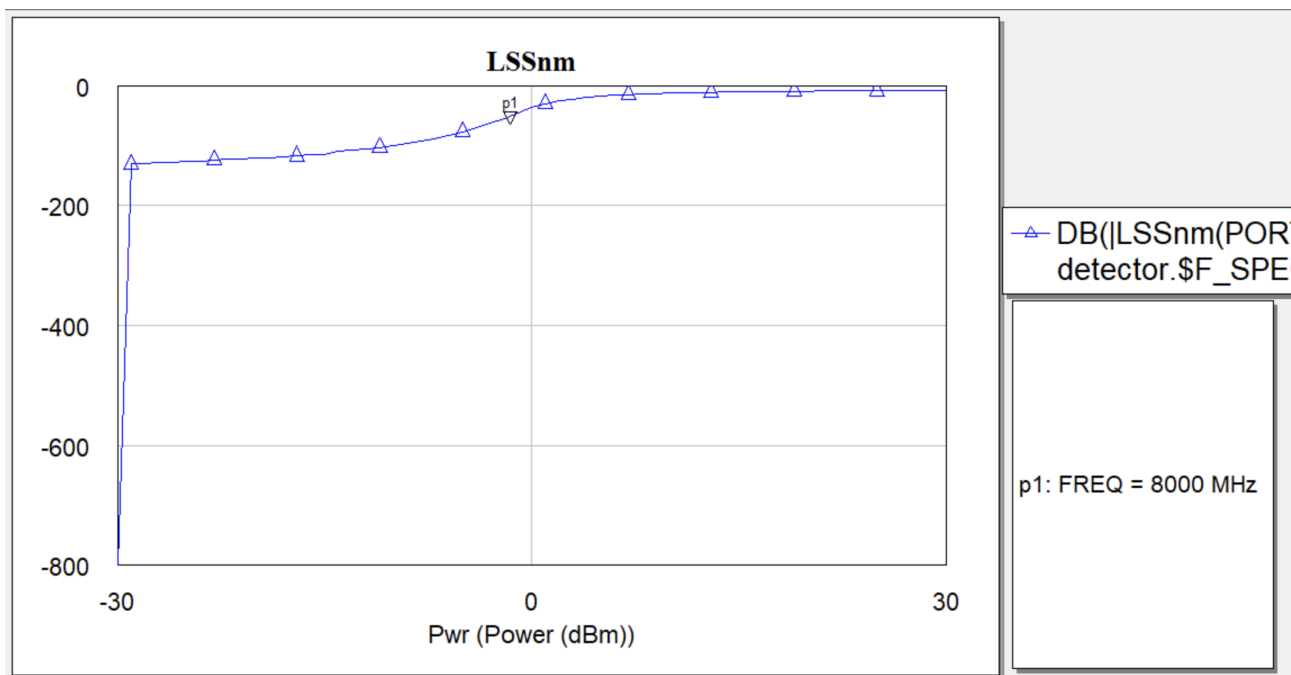


Рисунок 3.6 – График LSSnm.

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

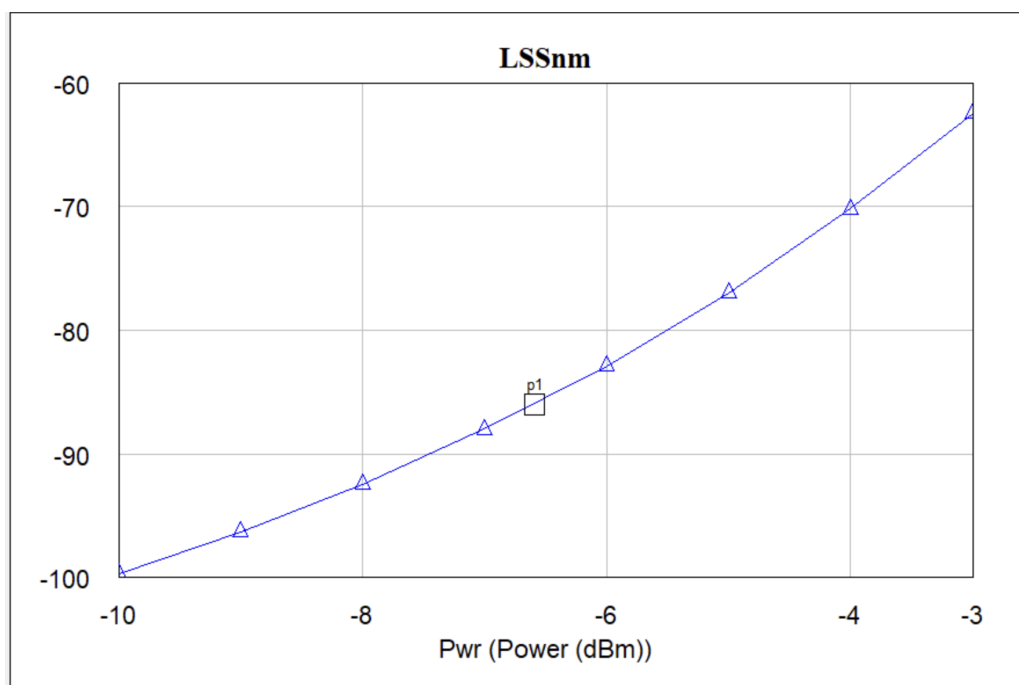


Рисунок 3.7 – График LSSnm.

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

#### 4 Расчет рабочих параметров.

Параметры диода и подложки выбираются по техническому заданию.  
Подложка – поликор ( $\epsilon_r = 9.8$ ;  $T_{and} = 0.001$ ). Диод – 3А206А-6 [9].

##### **Электрические параметры**

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

<b><math>T = +25</math> °С .....</b>	<b>3,5 мкА/мкВт</b>
<b><math>T = +125</math> °С .....</b>	<b>2,5 мкА/мкВт</b>
<b><math>T = -60</math> °С .....</b>	<b>3 мкА/мкВт</b>

**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 3А206А-6.





## **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 107.750 878.001 – 87 «Технология изготовления тонкопленочных плат» приводит следующую схему (порядок выполнения операций) изготовления микрополосковой платы, содержащей резистивные элементы и тонкопленочные конденсаторы:

1. Очистка подложек (подраздел 5.2)
2. Вакуумное напыление резистивного слоя (подраздел 5.3)
3. Контроль качества резистивного слоя (пп. 6.6 и 6.7 )
4. Изготовление фоторезистивной маски (подраздел 5.4)
5. Травление резистивного слоя (подраздел 5.5)
6. Удаление фоторезистивной маски (подраздел 5.4)
7. Вакуумное напыление структуры ванадий-алюминий (подраздел 5.3)
8. Изготовление фоторезистивной маски (подраздел 5.4)
9. Травление проводниковой структуры (подраздел 5.5)
10. Удаление фоторезистивной маски (подраздел 5.4)
11. Нанесение диэлектрического слоя (подраздел 5.3)
12. Изготовление фоторезистивной маски (подраздел 5.4)
13. Травление диэлектрического слоя (подраздел 5.5)
14. Удаление фоторезистивной маски (подраздел 5.4)
15. Вакуумное напыление слоя алюминия (подраздел 5.3)
16. Изготовление фоторезистивной маски (подраздел 5.4)
17. Травление слоя алюминия (подраздел 5.5)
18. Удаление фоторезистивной маски (подраздел 5.4)
19. Вакуумное напыление проводниковой структуры (подраздел 5.3)
20. Изготовление фоторезистивной маски (подраздел 5.4)
21. Травление проводниковой структуры (подраздел 5.5)
22. Удаление фоторезистивной маски (подраздел 5.4)
23. Контроль плат (ОСТ 107.750871.001-86)
24. Подгонка резисторов (подраздел 5.7)
25. Изготовление защитного слоя (подраздел 5.4)
26. Химическое осаждение олова (подраздел 5.6)
27. Разделение подложек на платы (подраздел 5.8)
28. Контроль плат (ОСТ 107.750871.001-86)

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.

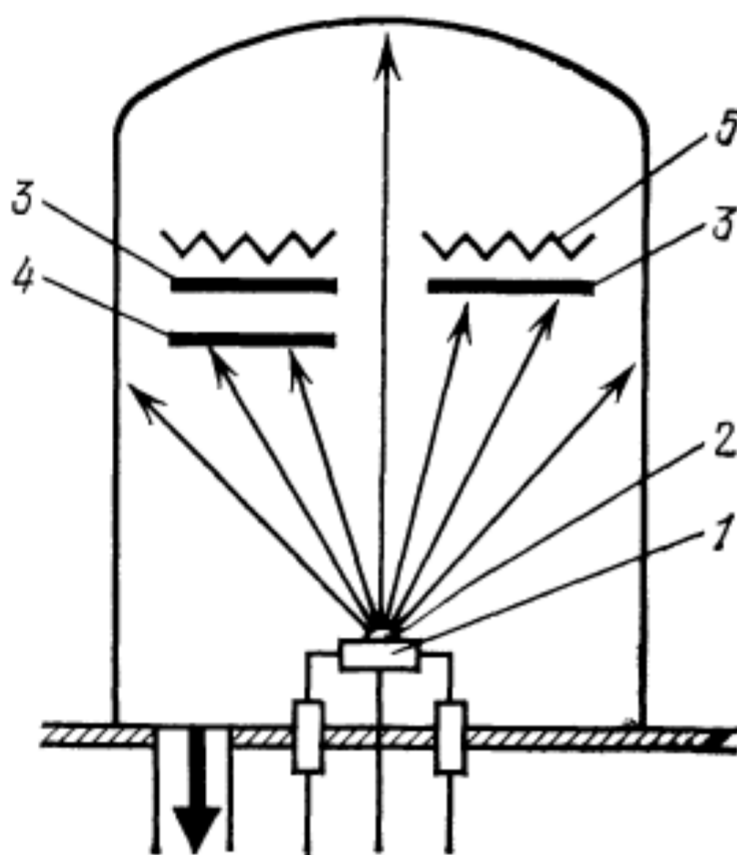


Рисунок 6.1 – Схема подколпачного устройства установки термического испарения в вакууме.

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.

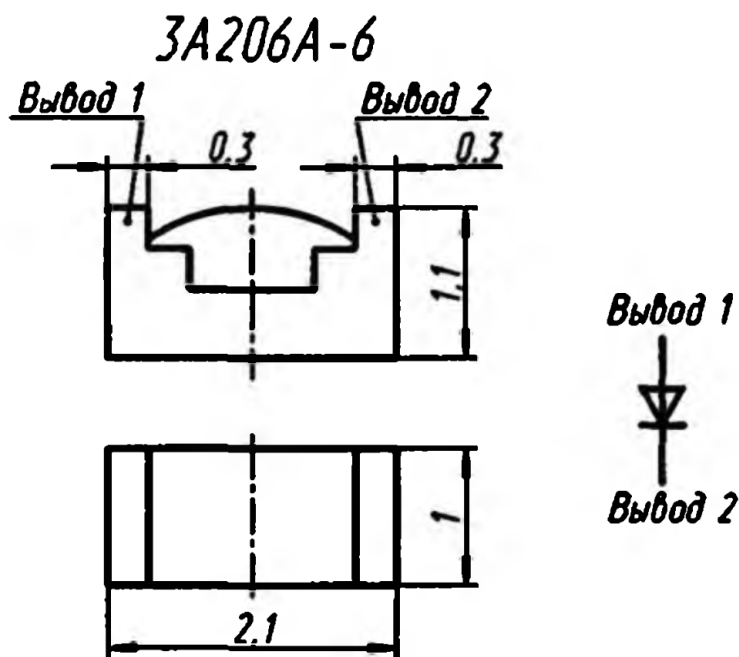


Рисунок 6.2 – Схема диода 3A206A-6.

## 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] Изображение с рисунка 2.1
- [9] 3A206A-6 параметры диода