



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	Принцип работы устройства.	3
2	Синтез топологии платы в программе AWR Design Environment 2009.	6
3	Расчет рабочих параметров.	12
4	Анализ влияния ПД на параметры диода на рабочие характеристики устройства.	13
5	Технология изготовления.	14

# 1 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.

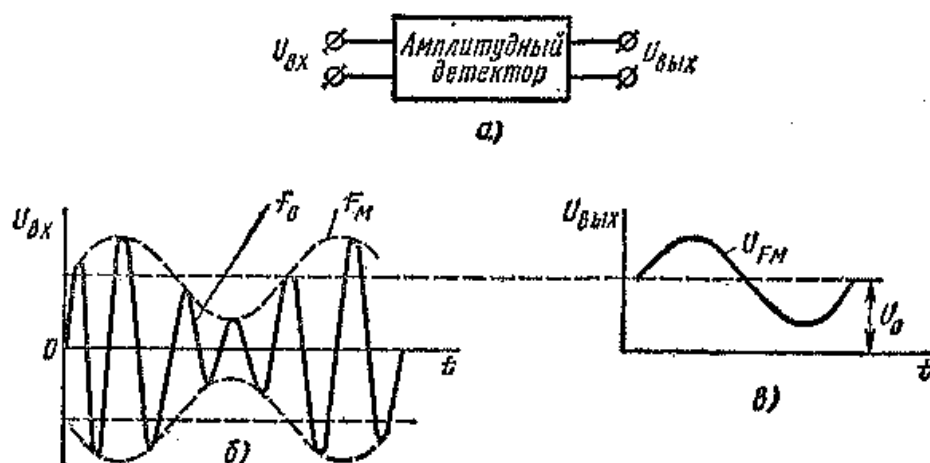


Рис. 13.1. Графики, поясняющие результат детектирования АМС

Рисунок 1.1 – 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.

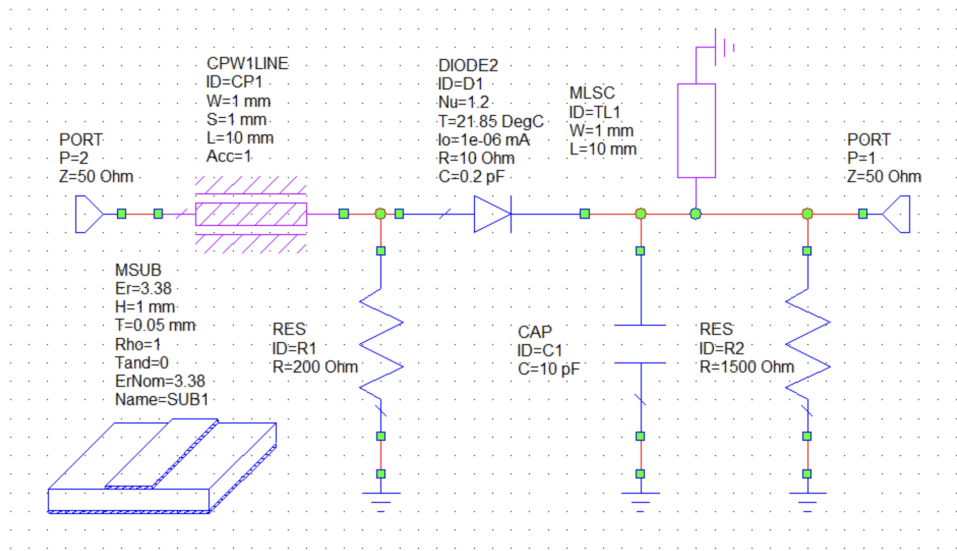


Рисунок 1.2 – Детектирование АМ сигналов.

На рисунке 1.2 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.

## 2 Синтез топологии платы в программе AWR Design Environment 2009.

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 2.1 – Параметры диода 3A206A-6.

Рассчитаем детктор в программе AWR Design.

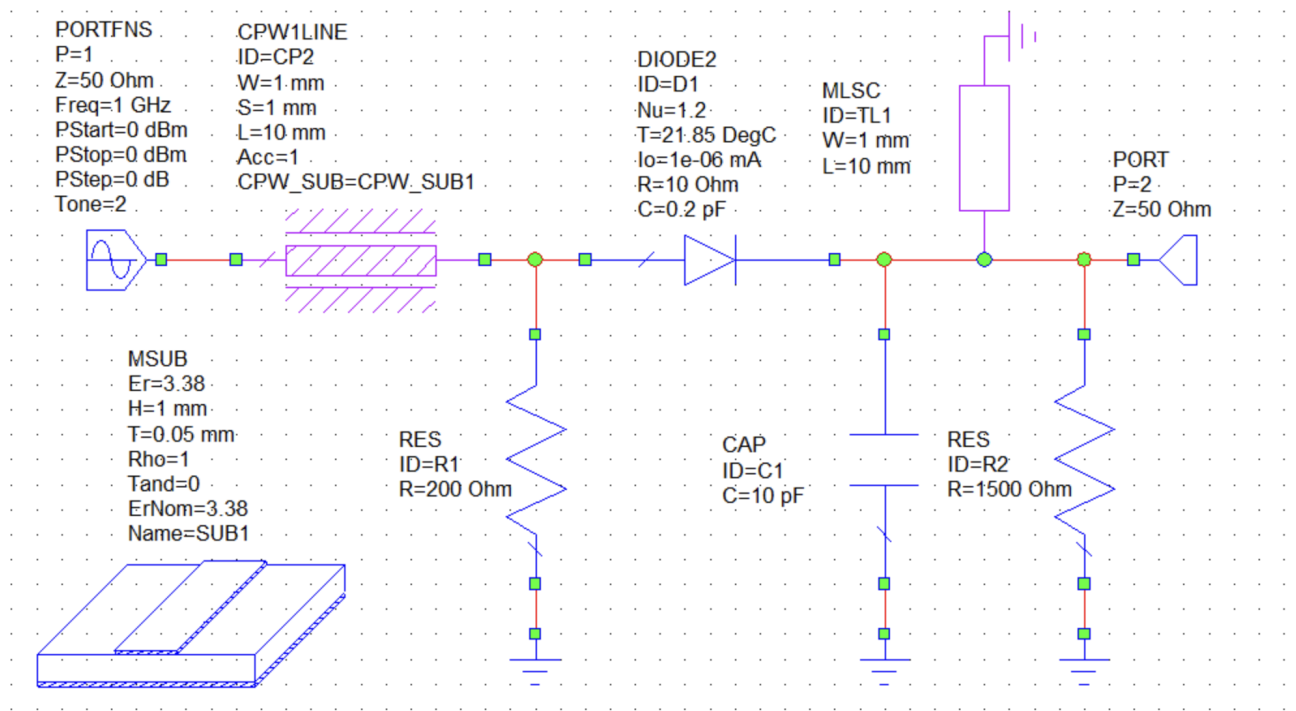


Рисунок 2.2 – Схема микрополоскового детектора на копланарной линии.

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

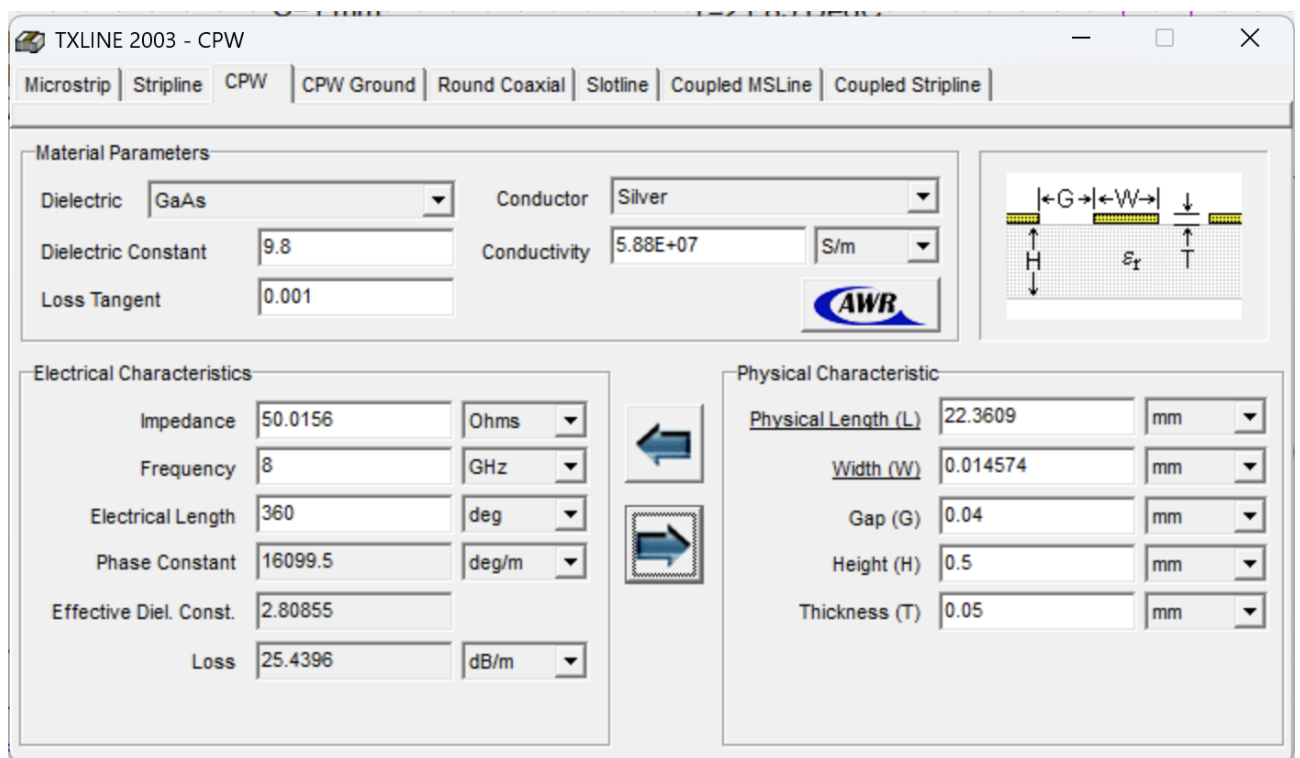


Рисунок 2.3 – Результат расчёта копланарной линии.

Заметим, что результаты вычисления копланарной линии не удовле-

творяют нас по предельным возможностям технологий. Введём изменение – уменьшим толщину проводящего слоя до 10 мкм.

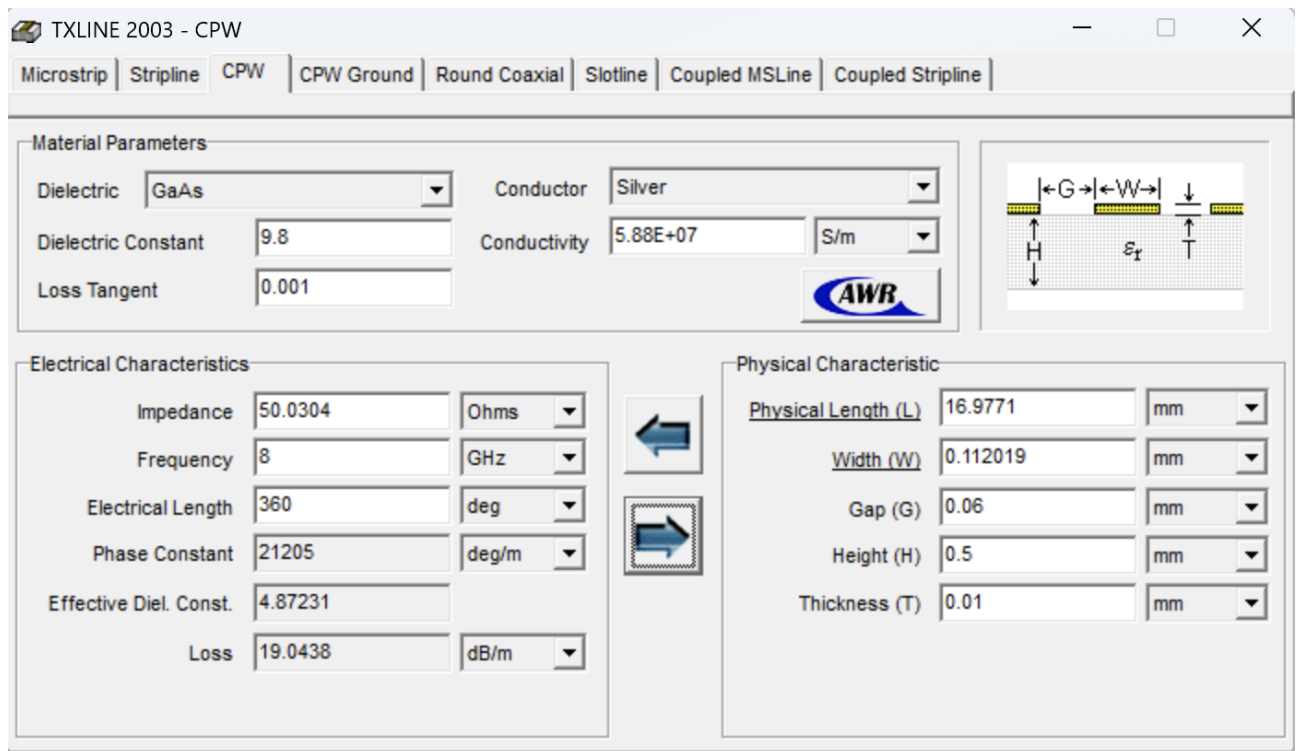


Рисунок 2.4 – Откорректированные результаты расчёта.

Введём полученные значения в схему.

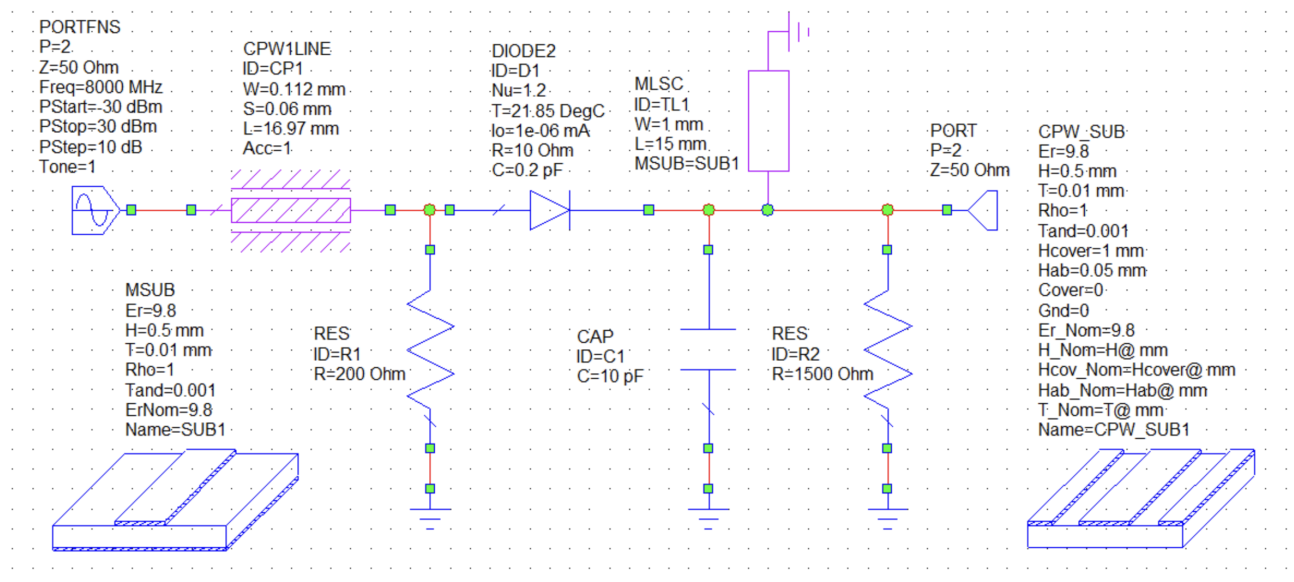


Рисунок 2.5 – Схема с обновленными параметрами.

Построим график передачи мощности.



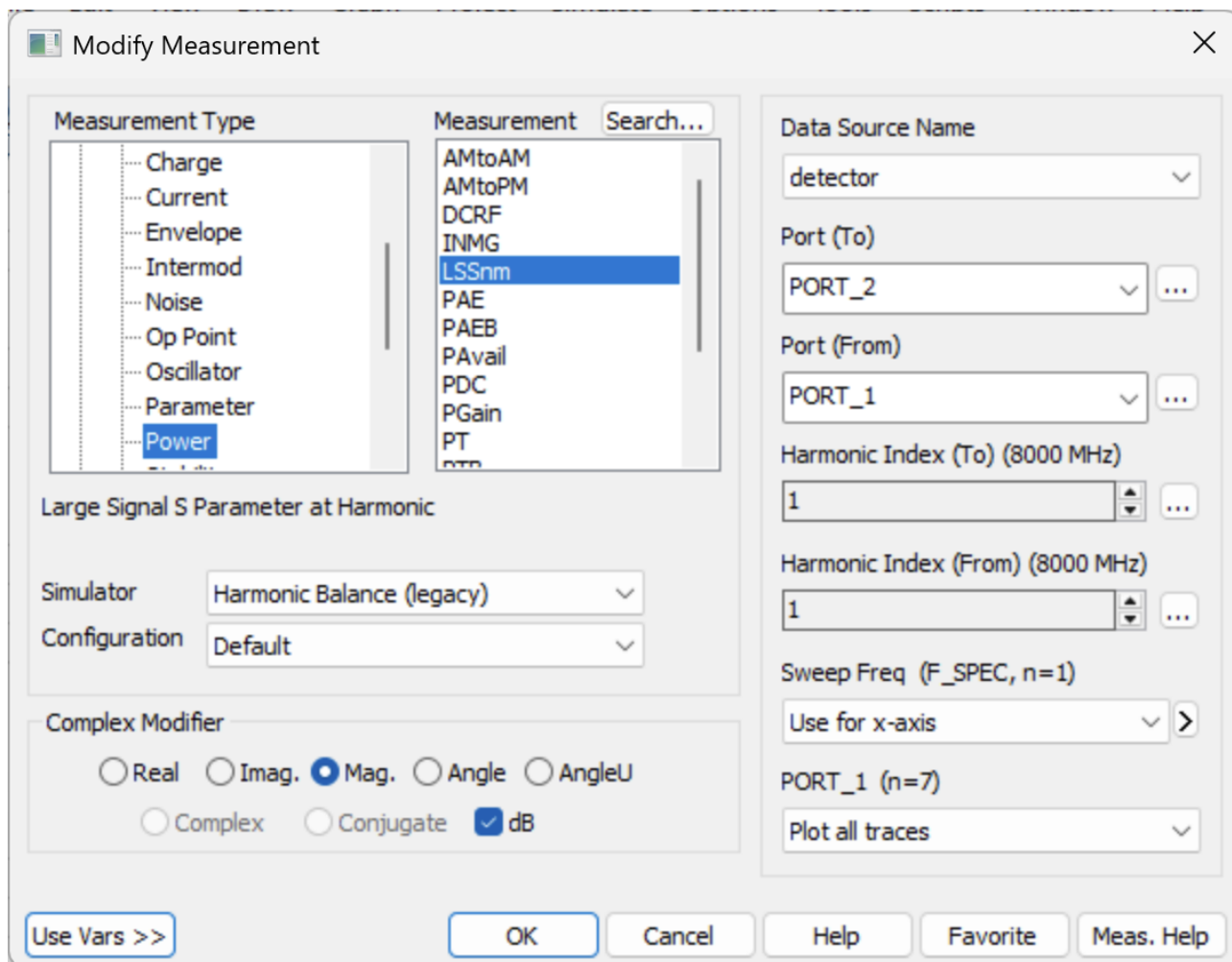


Рисунок 2.6 – Параметры графика.

В результате получим:

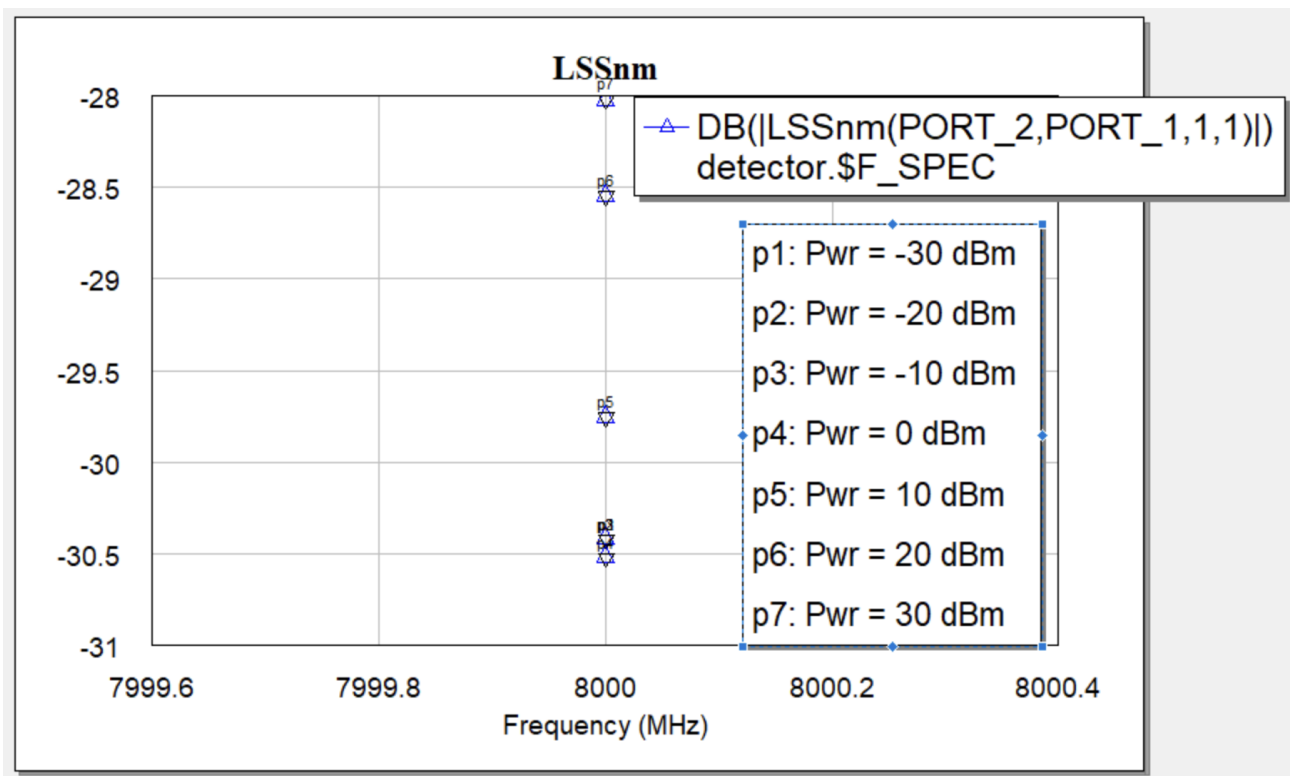


Рисунок 2.7 – График LSSnm.

Найдём S-параметры. Для этого заменим порт PORTFNS на порт PORT\_PS1.

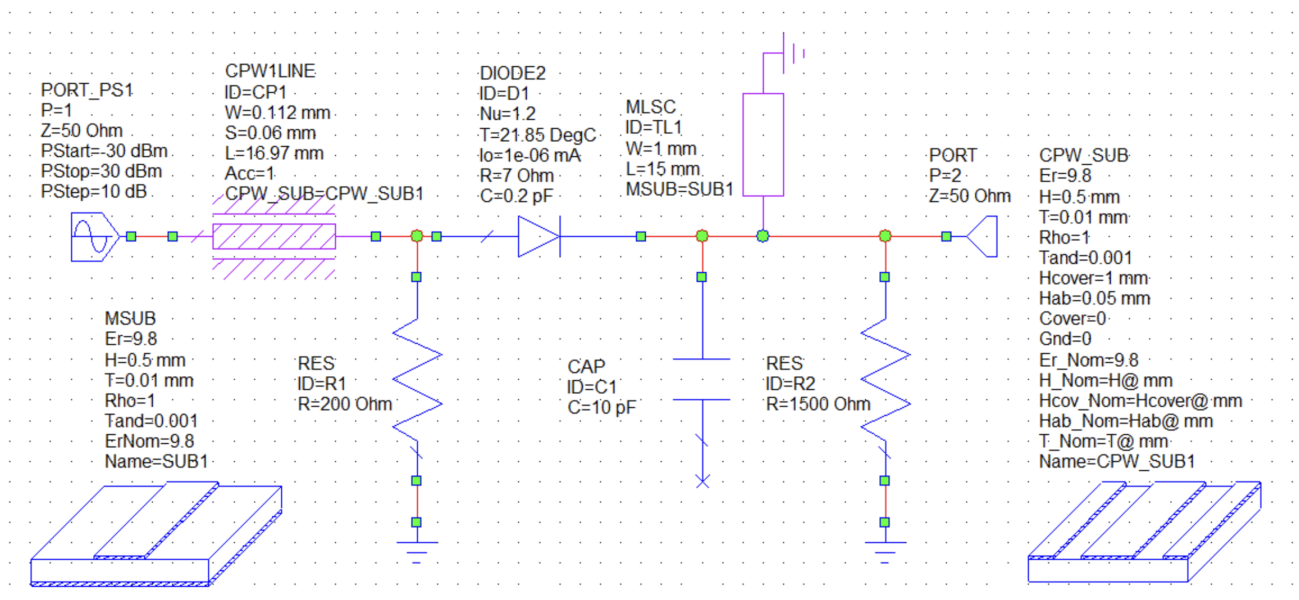


Рисунок 2.8 – Схема с изменённым портом №1.

Построим график передачи мощности.

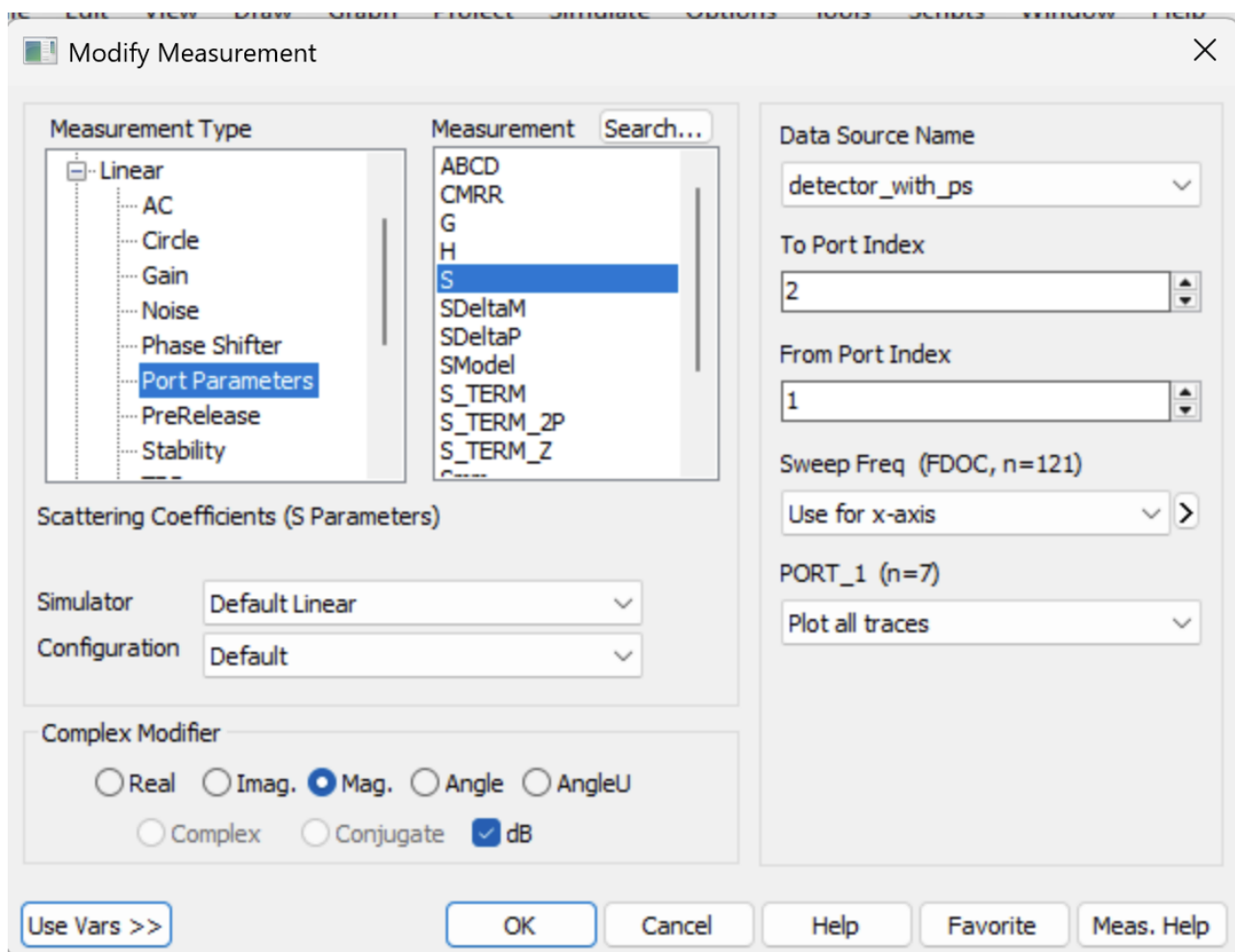


Рисунок 2.9 – Параметры графика.

В результате получим:

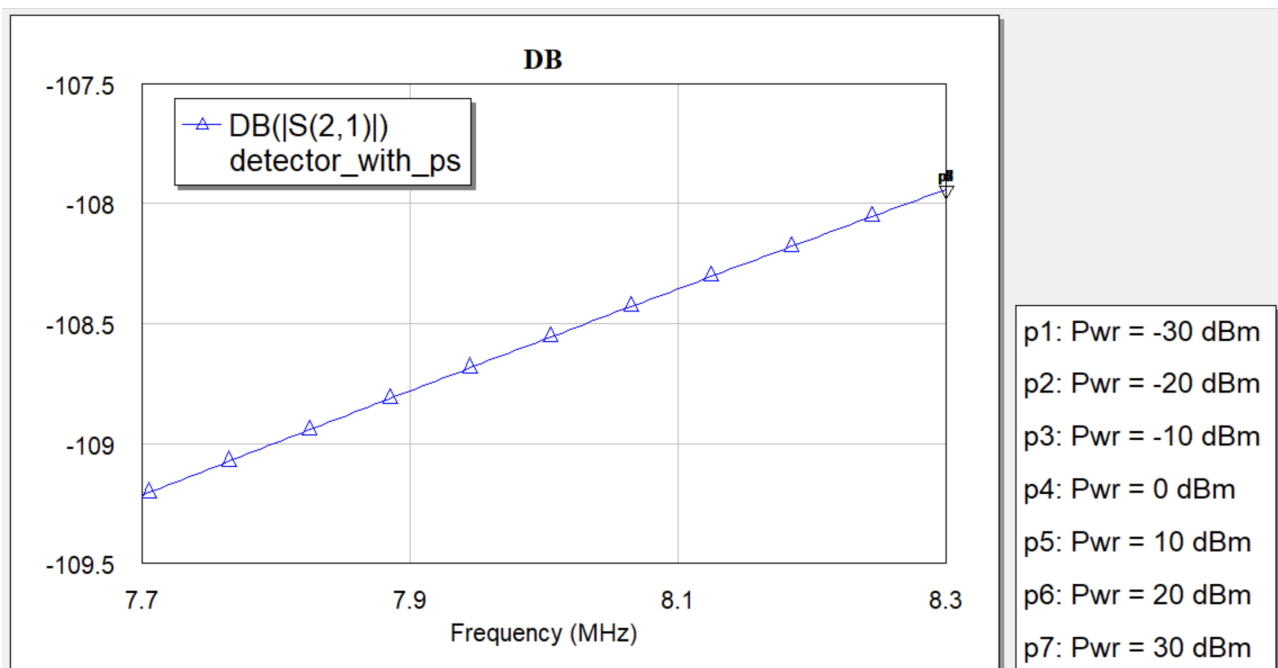


Рисунок 2.10 – График DB.

### 3 Расчет рабочих параметров.

4 Анализ влияния ПД на параметры диода на рабочие характеристики устройства.

## **5 Технология изготовления.**

## 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 1.1
- [9] 3A206A-6 параметры диода