

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1</b>	<b>Цель работы</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Выполнение работы в microsar</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Выполнение работы в microsar</b>	<b>7</b>
3.1	Сравнение результатов . . . . .	8

## 1 Цель работы

Исследование и моделирование статических и динамических характеристик кремниевого полупроводникового диода с использованием программы схемотехнического анализа **Microcap** для определения параметров модели. Освоение инструментов **Microcap** позволит эффективно проводить анализ и расчёты параметров диодов на основе их характеристик.

Дополнительно, освоение программы **Mathcad** для выполнения математических расчётов, связанных с моделированием полупроводниковых приборов, на основе данных экспериментальных исследований. **Mathcad** будет использован для точного вычисления параметров модели полупроводникового диода, что позволяет автоматизировать и упростить процесс анализа.

## 2 Выполнение работы в microcap

Для диода D2d2998d, я выполнил моделирование лабораторного стенда в программе **Microcap** для получения его ВАХ как на прямой цепи, так и на обратной.

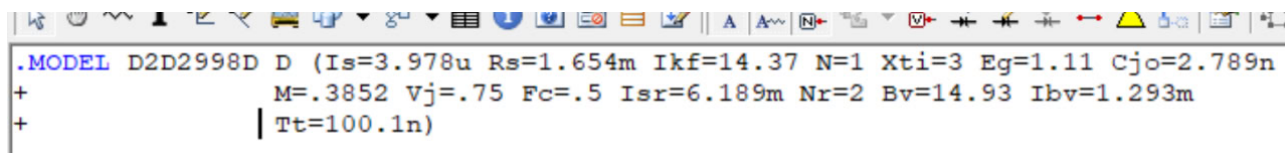


Рисунок 1. Характеристики моего диода. Вар по списку: 16. Вари диода: 148

При обратном смещении диод ведёт себя как переменная ёмкость, величина которой зависит от приложенного напряжения. Для определения этой ёмкости можно использовать косвенный метод, измеряя резонансную частоту контура с подключённым диодом. Для этого можно собрать следующую схему, которая позволит измерить резонансную частоту.

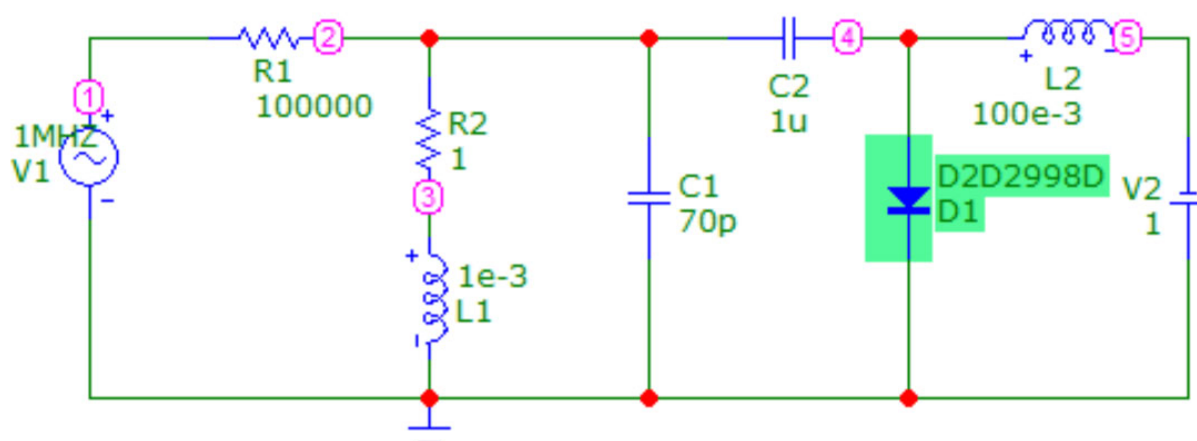


Рисунок 2. Схема для исследования

Резонансную частоту параллельного колебательного контура можно предварительно рассчитать с помощью формулы Томпсона:

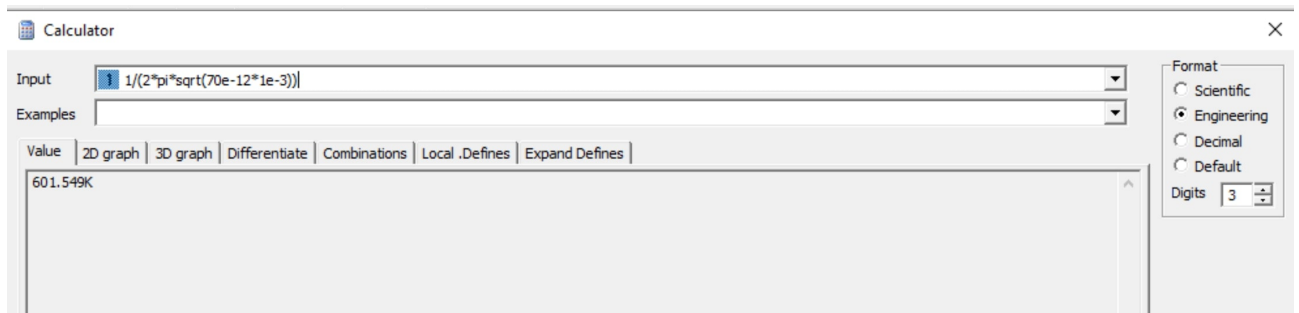


Рисунок 3. Частота контура

Затем я подключил диод параллельно к схеме и экспериментально определил резонансную частоту нового контура при различных значениях напряжения  $V$ . Для этого проводим анализ переменного тока **AC analysis**, задавая диапазон частот от 200 кГц до 600 кГц. Этот диапазон выбран на основе формулы Томпсона, которая показывает, что частота колебаний контура без диода составляет 600 кГц, а подключение диода снизит эту частоту.

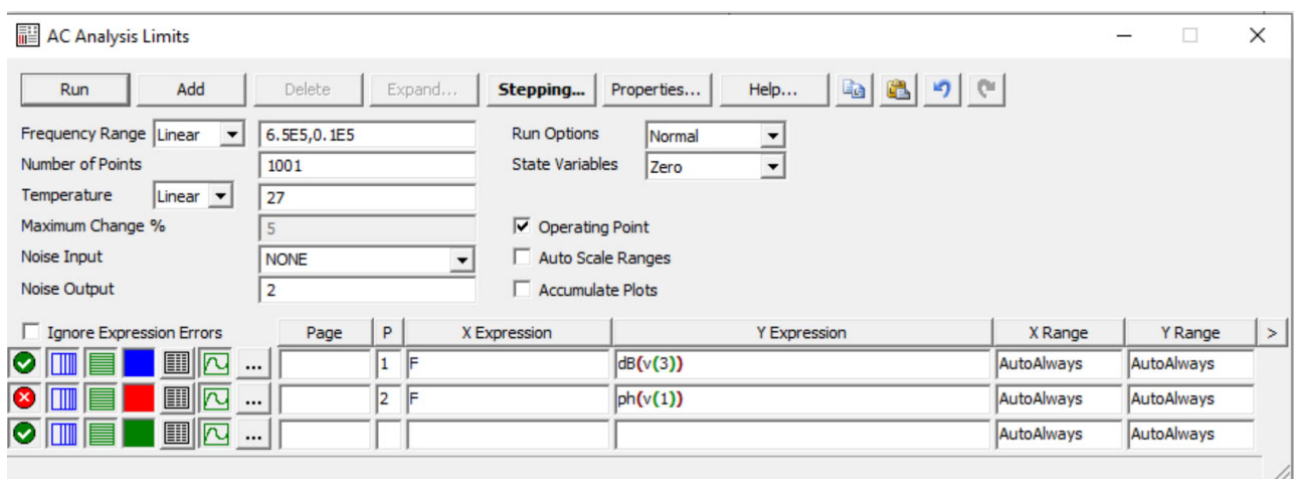


Рисунок 4. Диапазон значений переменного тока

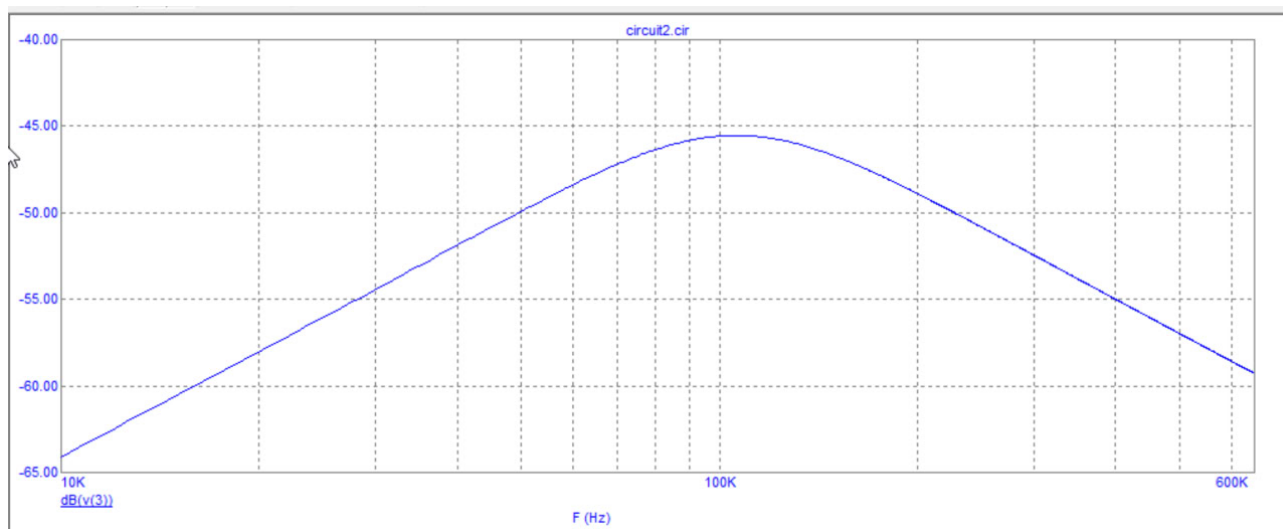


Рисунок 5. Резонансная кривая

Устанавливая различные значения напряжения на источнике управления V2, можно зафиксировать зависимость резонансной частоты от этого напряжения. Для этого включаем многовариантный режим анализа, используя функцию **Stepping**, и выполняем анализ для напряжений от 1 до 10 вольт с шагом 1 ВОЛЬТ.

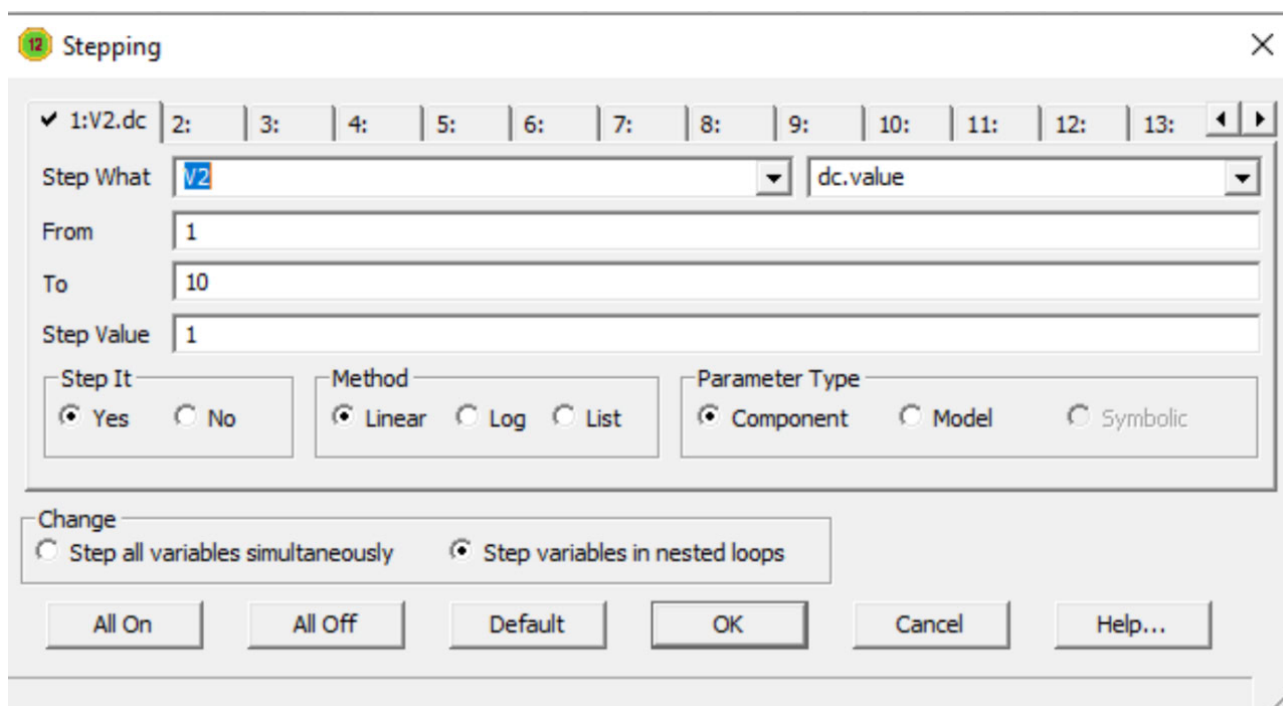


Рисунок 6. Конфигурация Stepping

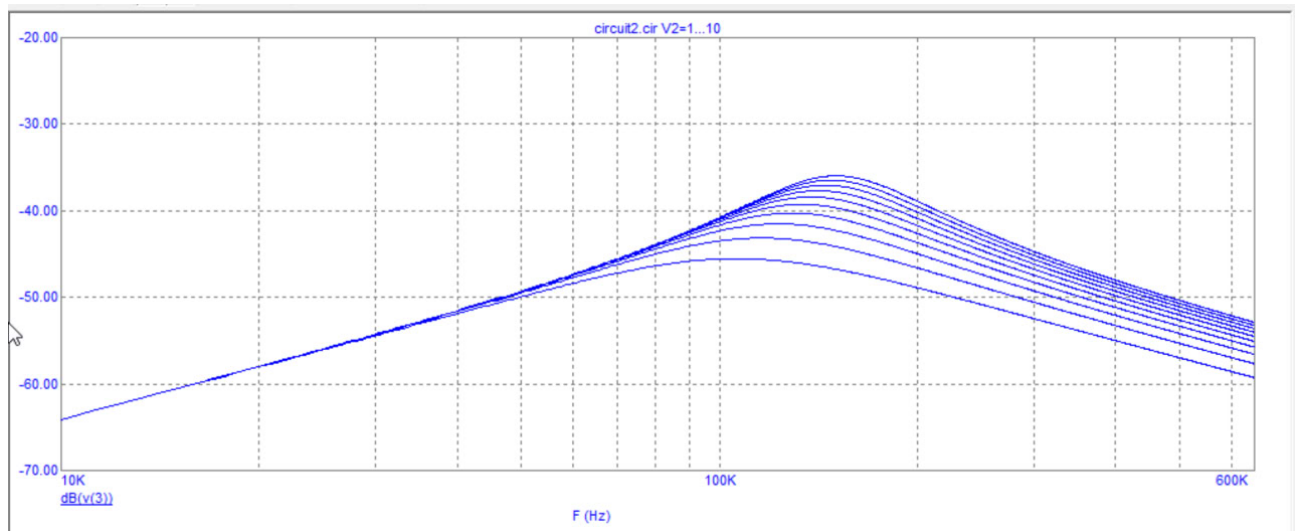


Рисунок 7. Резонансные кривые в зависимости от смещения на диоде

Исходя из графиков, можно отметить резонансные частоты, а именно точки максимума, при различных уровнях напряжения.

### 3 Выполнение работы в microcap

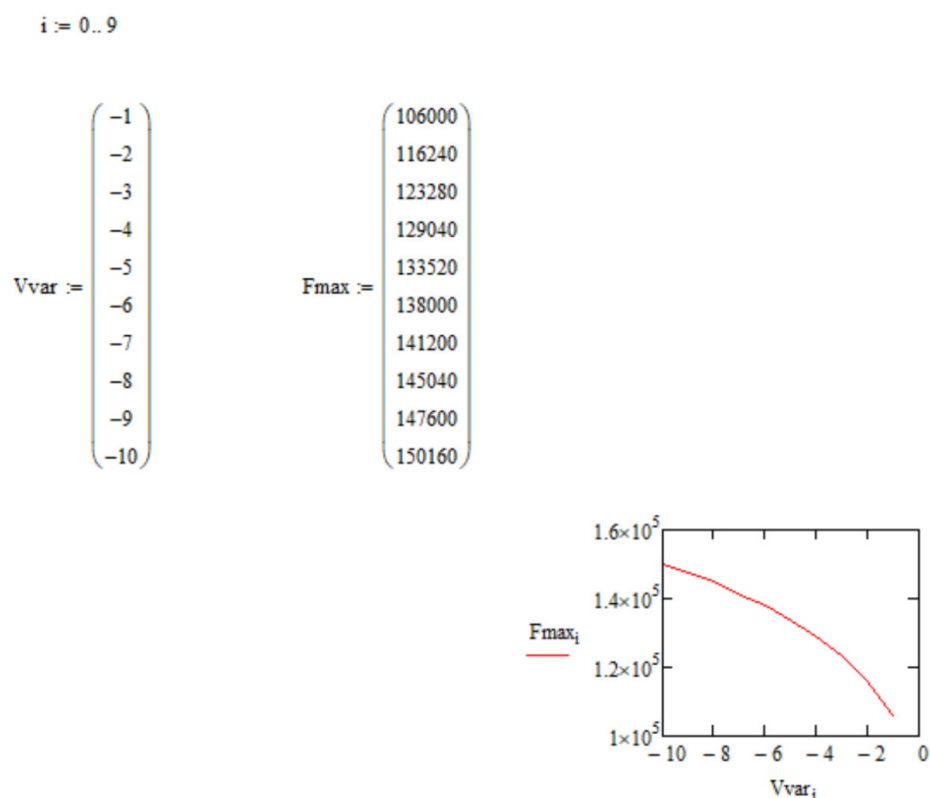


Рисунок 8. Перенос данных в mathcad

$Ck := 70 \cdot 10^{-12}$      $Lk := 10^{-3}$      $pi := 3.14$      $Fr_i := Fmax_i$

$$Cd := \frac{-\left(Ck \cdot Lk - \frac{1}{4 \cdot Fr_i^2 \cdot pi^2}\right)}{Lk}$$

$Cd =$

	0
0	$2.187 \cdot 10^{-9}$
1	$1.807 \cdot 10^{-9}$
2	$1.598 \cdot 10^{-9}$
3	$1.453 \cdot 10^{-9}$
4	$1.352 \cdot 10^{-9}$
5	$1.261 \cdot 10^{-9}$
6	$1.202 \cdot 10^{-9}$
7	$1.135 \cdot 10^{-9}$
8	$1.094 \cdot 10^{-9}$
9	$1.055 \cdot 10^{-9}$

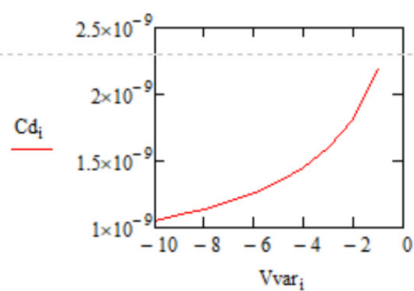


Рисунок 9. Расчёт барьерной ёмкости

Для вычисления параметров барьерной ёмкости по указанной формуле можно использовать метод решения системы нелинейных уравнений, применяя вычислительный блок **Given-Minerr**.

$M := 0.3852$        $CJO := 2.789 \cdot 10^{-9}$        $VJO := 0.75$

$Cd(U) := CJO \cdot \left(1 - \frac{U}{VJO}\right)^{-M}$        $U := -10, -8..0$

$Cd(U) =$	$U =$
$1 \cdot 10^{-9}$	-10
$1.083 \cdot 10^{-9}$	-8
$1.196 \cdot 10^{-9}$	-6
$1.37 \cdot 10^{-9}$	-4
$1.691 \cdot 10^{-9}$	-2
$2.789 \cdot 10^{-9}$	0

**Given**       $1.11353 \cdot 10^{-9} = CJO \cdot \left(1 - \frac{-8}{VJO}\right)^{-M}$   
 $1.26144 \cdot 10^{-9} = CJO \cdot \left(1 - \frac{-6}{VJO}\right)^{-M}$   
 $1.45276 \cdot 10^{-9} = CJO \cdot \left(1 - \frac{-4}{VJO}\right)^{-M}$   
 $2.18667 \cdot 10^{-9} = CJO \cdot \left(1 - \frac{-1}{VJO}\right)^{-M}$

**Minerr**(CJO, VJO, M) =  $\begin{pmatrix} 2.945 \times 10^{-9} \\ 1.082 \\ 0.455 \end{pmatrix}$

Рисунок 10. Результат вычислений методом Given-Minerr

### 3.1 Сравнение результатов

Характеристики	Исходные данные	Вычисленные данные
CJO	2.789n	2,945n
VJO	0.75	1.082
M	0.3852	0.455

Как видно, полученные данных слегка отличаются от исходных.



$$CJ1 := 2.945 \times 10^{-9} \quad VJ1 := 1.082 \quad M1 := 0.455$$

$$Cd1(U) := CJ1 \cdot \left(1 - \frac{U}{VJ1}\right)^{-M1}$$

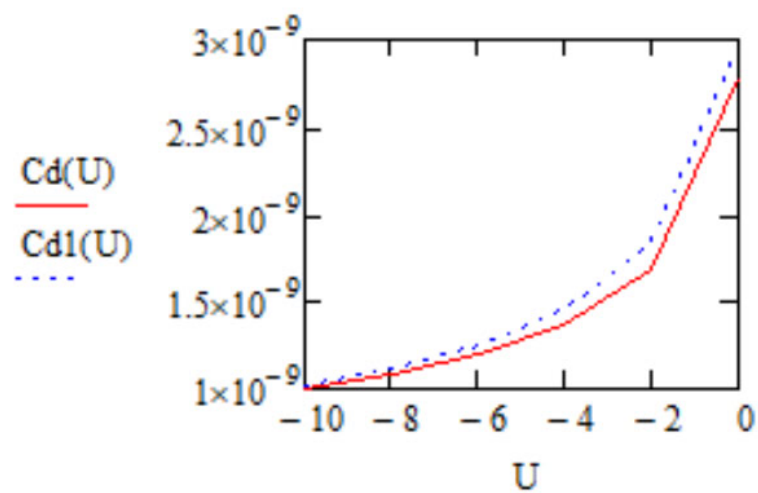


Рисунок 11. Наложение графиков