



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 «Информатика и системы управления» (ИУ)

КАФЕДРА «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии» (ИУ7)

**ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №4**  
**«ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ**  
**ДИОДОВ В MULTISIM»**

по курсу:

**«ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ»**

Вариант: 51

Студент:

Авдейкина Валерия Павловна, группа ИУ7-33Б

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

Руководитель:

Преподаватель РК6

Оглоблин Дмитрий Игоревич

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

Оценка: \_\_\_\_\_

# Оглавление

ОГЛАВЛЕНИЕ .....	1
ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ .....	2
ВЫПОЛНЕНИЕ.....	3
Эксперимент 5: «Исследование ВАХ полупроводниковых диодов с использованием прибора IV Analyzer» .....	3
Эксперимент 6: «Исследование вольтфарадной характеристики полупроводникового диода» .....	6
ВЫВОДЫ.....	11

## **Цель и задачи работы**

Цель работы: Получение и исследование статических и динамических характеристик германиевого и кремниевого полупроводниковых диодов с целью определения по ним параметров модели полупроводниковых диодов, размещения моделей в базе данных программ схемотехнического анализа. Приобретение навыков расчета моделей полупроводниковых приборов в программах Multisim и Mathcad по данным, полученным в экспериментальных исследованиях, а также включение модели в базу компонентов.

## Выполнение

### Эксперимент 5: «Исследование ВАХ полупроводниковых диодов с использованием прибора IV Analyzer»

Получим ВАХ полупроводникового диода KD204V с помощью виртуального прибора IV Analyzer, построив необходимую схему (рис. 1) и настроив границы измерения. Затем выберем случайную рабочую точку диода (рис. 1, голубая вертикальная линия).

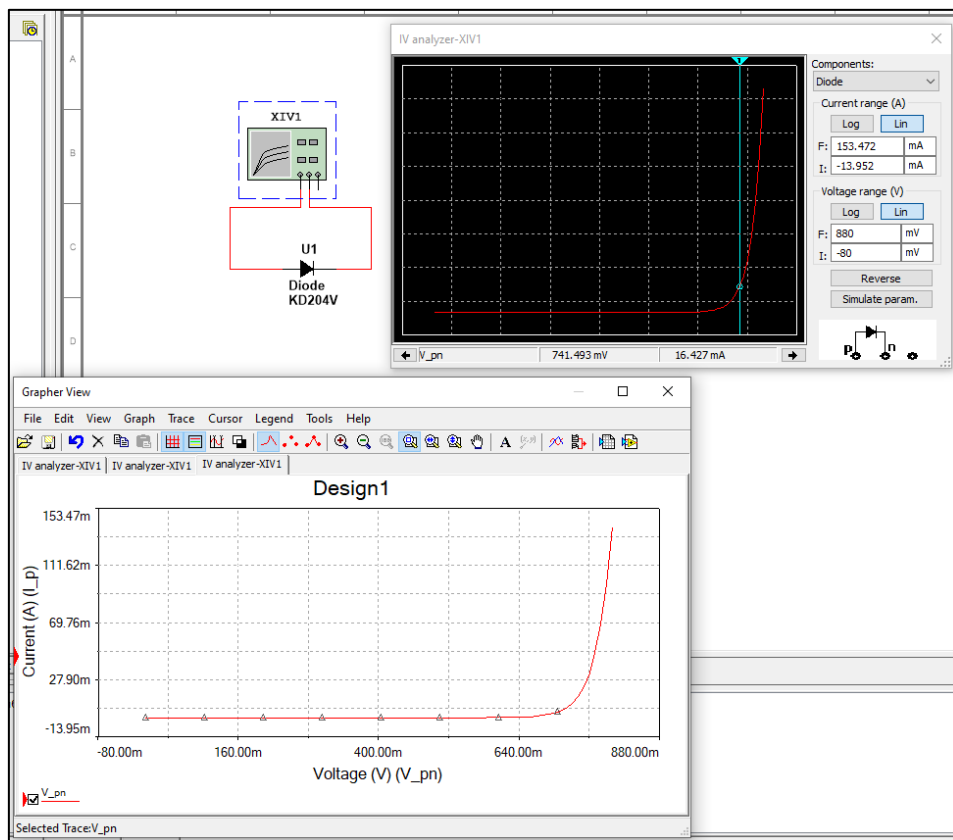


Рисунок 1. Получение ВАХ с помощью IV Analyzer

Выбранная нами рабочая точка имеет характеристики:

- $U_d = 741,493 \text{ мВ}$
- $I_d = 16,427 \text{ мА}$

Рассчитаем величину сопротивления, которое обеспечит работу исследуемого диода в режиме выбранной рабочей точки с подаваемым напряжением  $U_{ист} = 1 \text{ В}$ :

$$R1 = \frac{U_{ист} - U_d}{I_d} = \frac{1 - 0,741493}{0,016427} \approx 15,7 \text{ Ом}$$

Проверим вычисления, построив схему с рис. 2 и получив те же самые  $U_d$  и  $I_d$ :

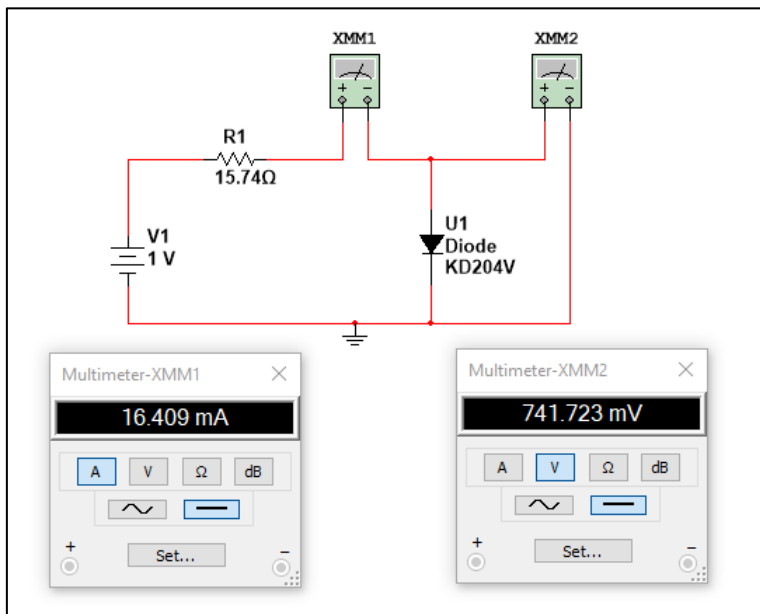


Рисунок 2. Проверка расчета сопротивления для искомой рабочей точки

Теперь мы можем провести анализ влияния изменения температуры на характеристики устройства («Temperature Sweep»). Установив пределы температуры на  $[-30; 70]^\circ\text{C}$ , изменение на линейное, тип анализа на DC Analysis, анализируем для схемы выбранной рабочей точки с рис. 2 следующее:

- зависимость падений напряжения  $V_1$ ,  $V_2$  от температуры (рис. 3)
- зависимость тока  $I(R_1)$  – тока диода – от температуры (рис. 4)

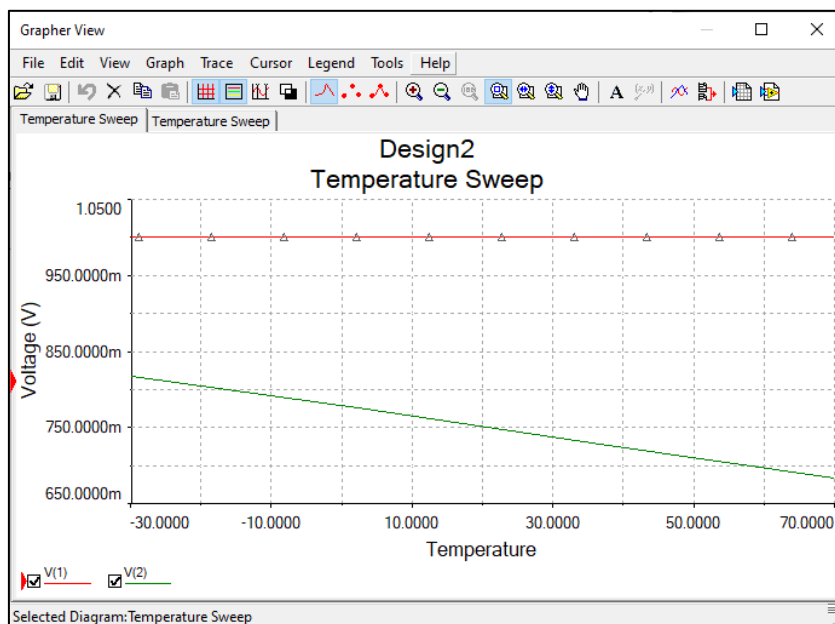


Рисунок 3. Зависимость  $V_1$ ,  $V_2$  от температуры

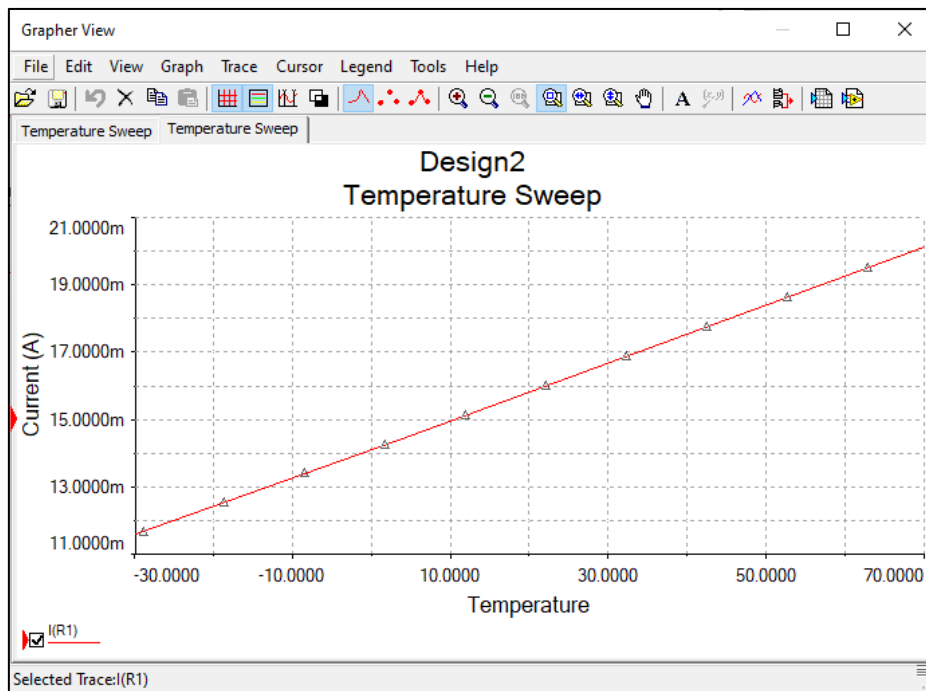


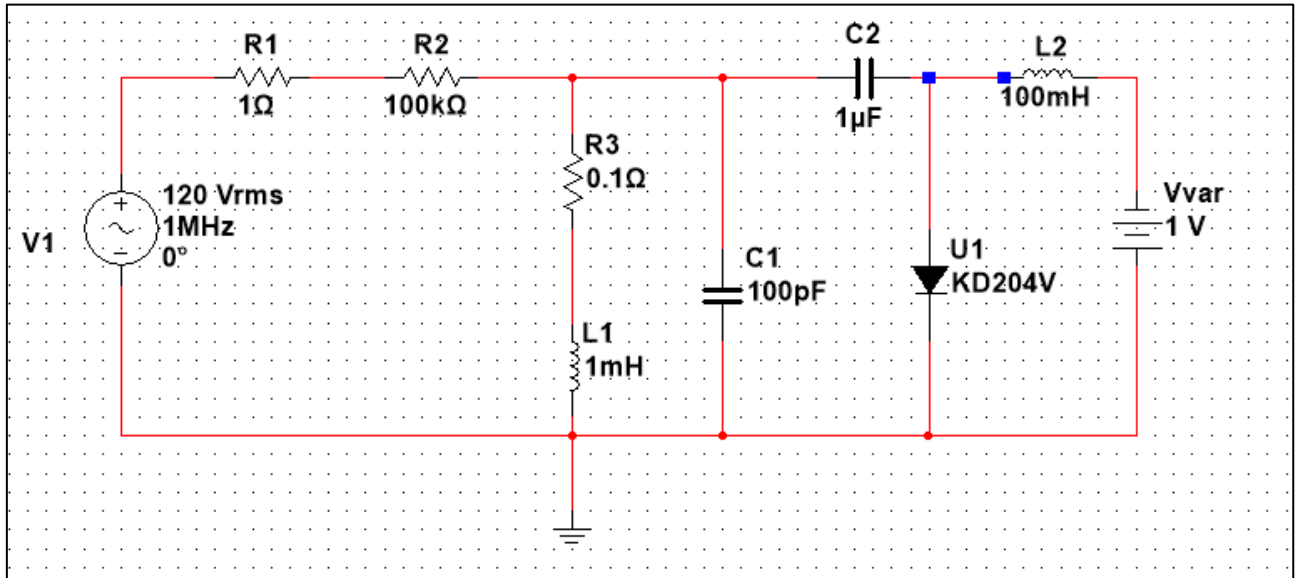
Рисунок 4. Зависимость тока на диоде от температуры

Из графиков с рис. 3 и рис. 4 замечаем, что при изменении температуры от  $-30$  до  $70^{\circ}\text{C}$ :

- напряжение на диоде упало с  $\sim 820$  мВ до  $\sim 680$  мВ
- ток диода увеличился с  $\sim 11,5$  мА до  $\sim 20,1$  мА

## Эксперимент 6: «Исследование вольтфарадной характеристики полупроводникового диода»

Для исследования ВФХ полупроводникового диода построим схему параллельного колебательного контура с исследуемым диодом в качестве переменной емкости (рис. 5).



С помощью инструмента «AC Analysis» построим зависимость резонансной частоты от напряжения управления. Для этого настроим анализ (рис. 6), а затем получим график вольтфарадной характеристики (рис. 8).

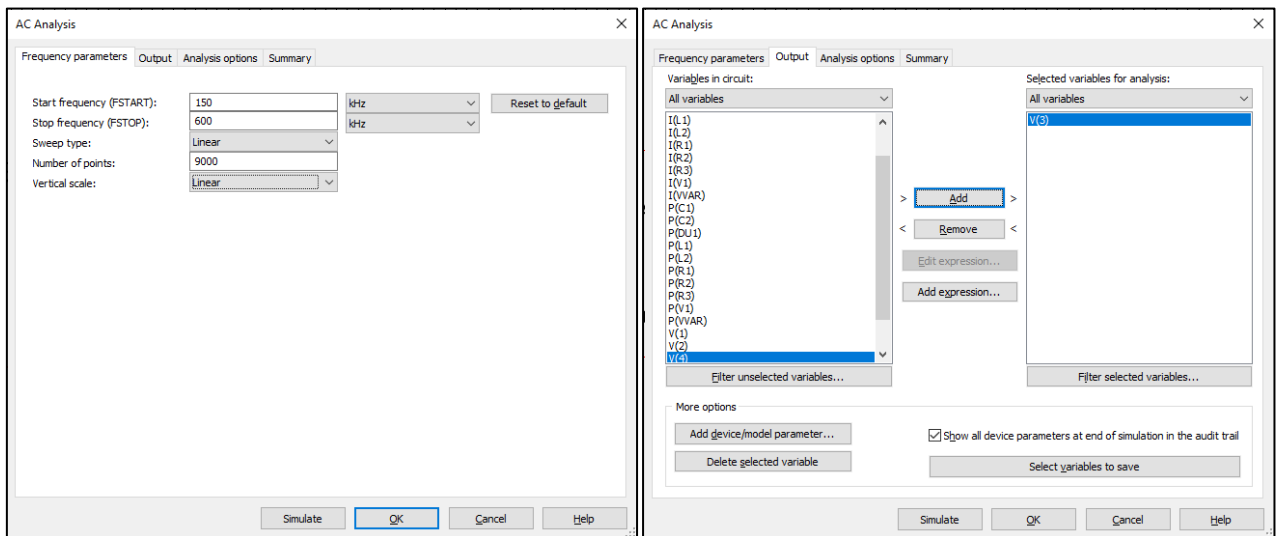


Рисунок 5. Настройка AC Analysis

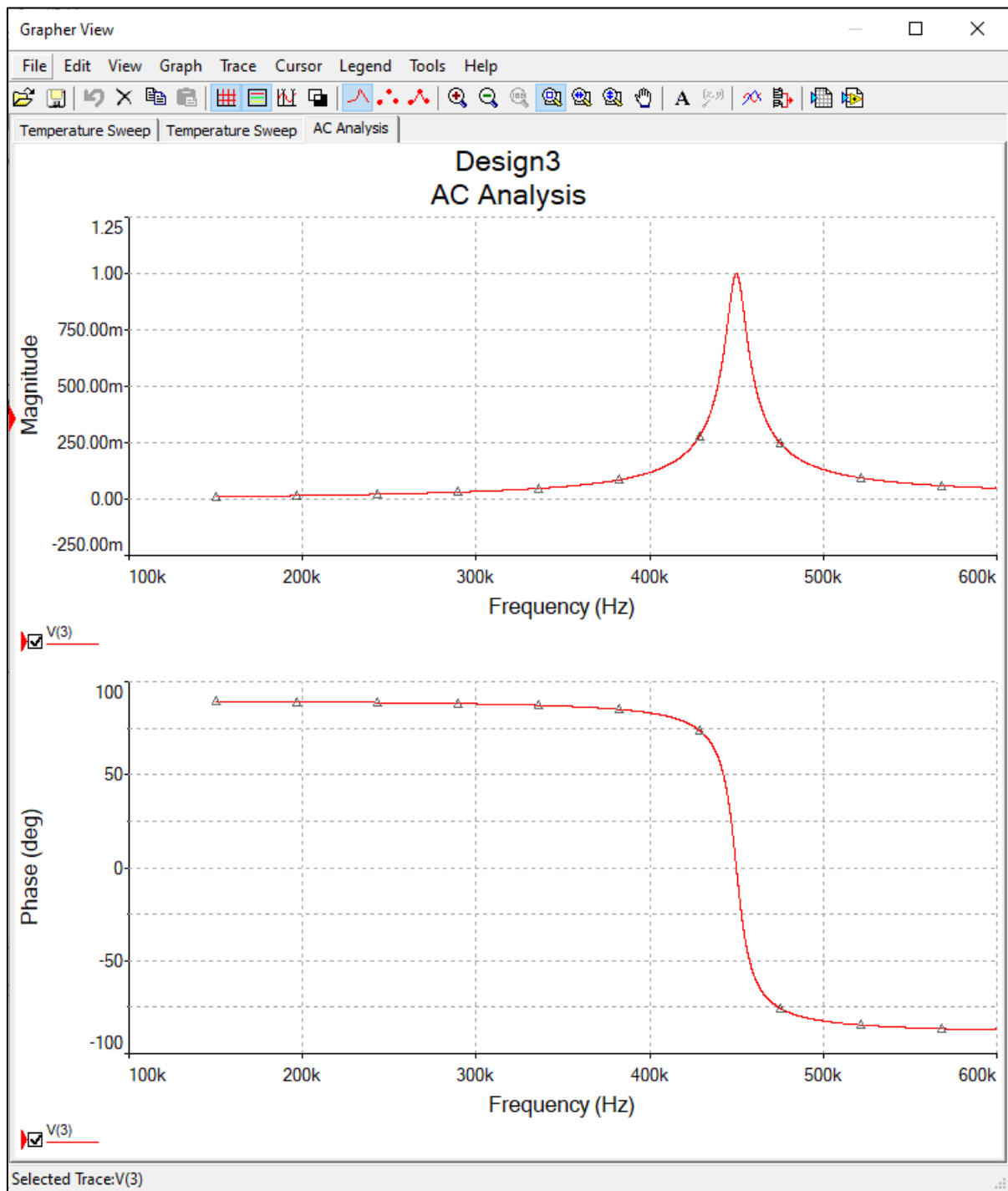


Рисунок 6. ВФХ полупроводникового диода

Для включения многовариантного режима анализа частоты колебаний в зависимости от напряжения  $V_{var}$  используем инструмент «Parameter Sweep...». Настроим его таким образом, чтобы  $V_{var}$  менялось от 1 В до 10 В с шагом 2,25 В (5 точек), а также настроим сам частотный анализ. В результате получим семейство резонансных кривых (рис. 7), для которых с помощью режима курсора определим значения резонансной частоты (рис. 8).



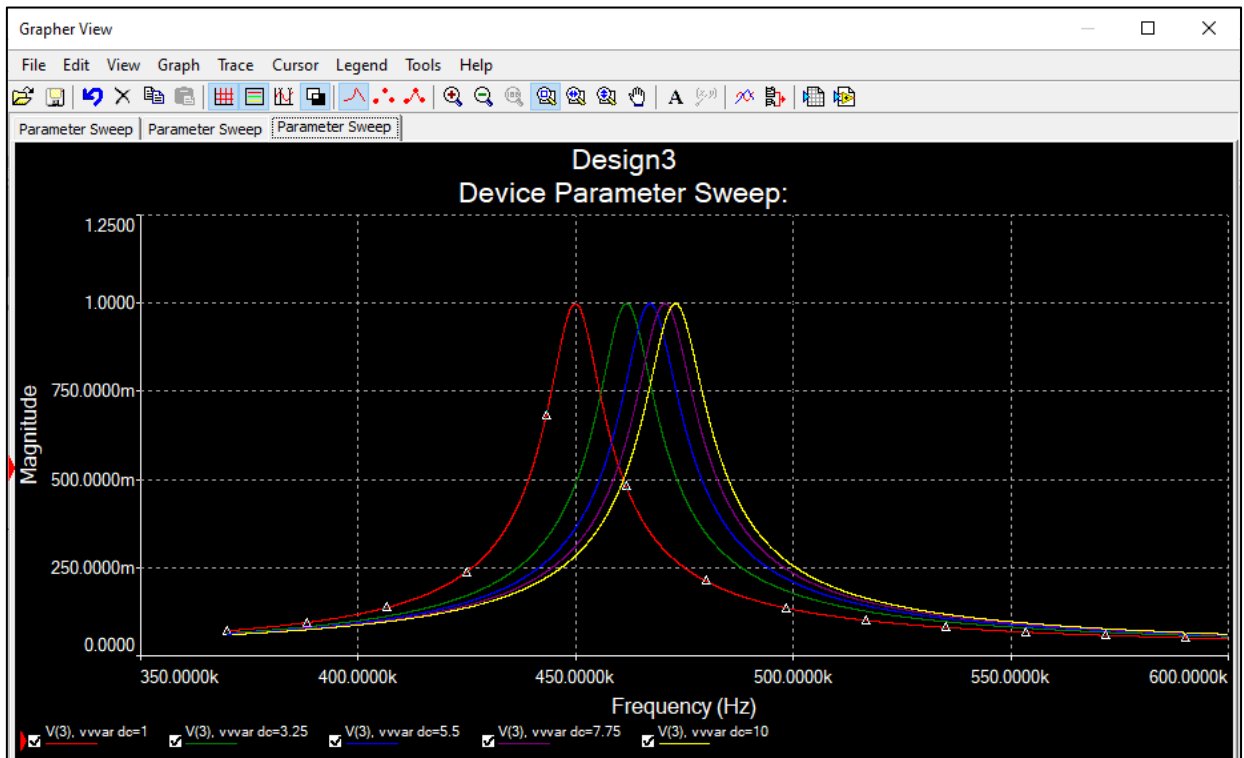


Рисунок 7. Семейство резонансных кривых

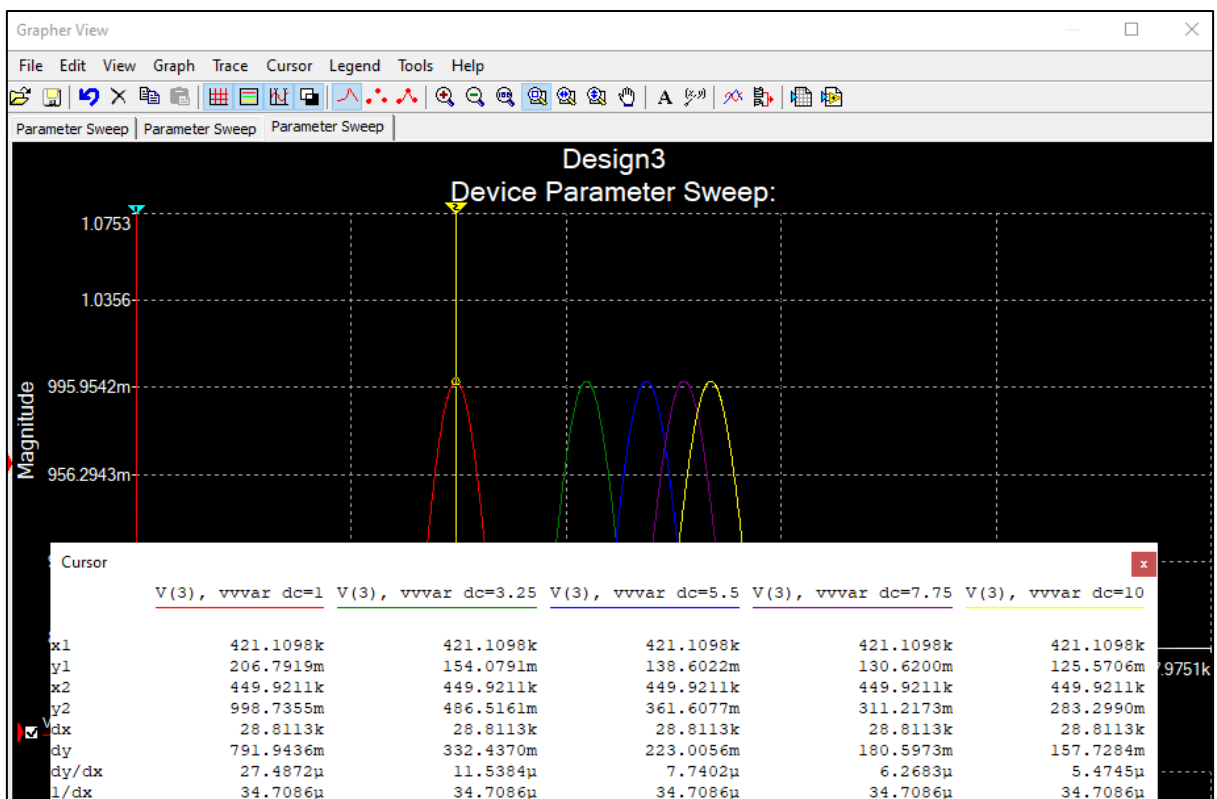


Рисунок 8. Получение максимума резонансной кривой

Используя формулу Томсона, рассчитаем значение емкости диода в зависимости от напряжения управления и построим вольтфарадную характеристику в программе Mathcad (рис. 9):

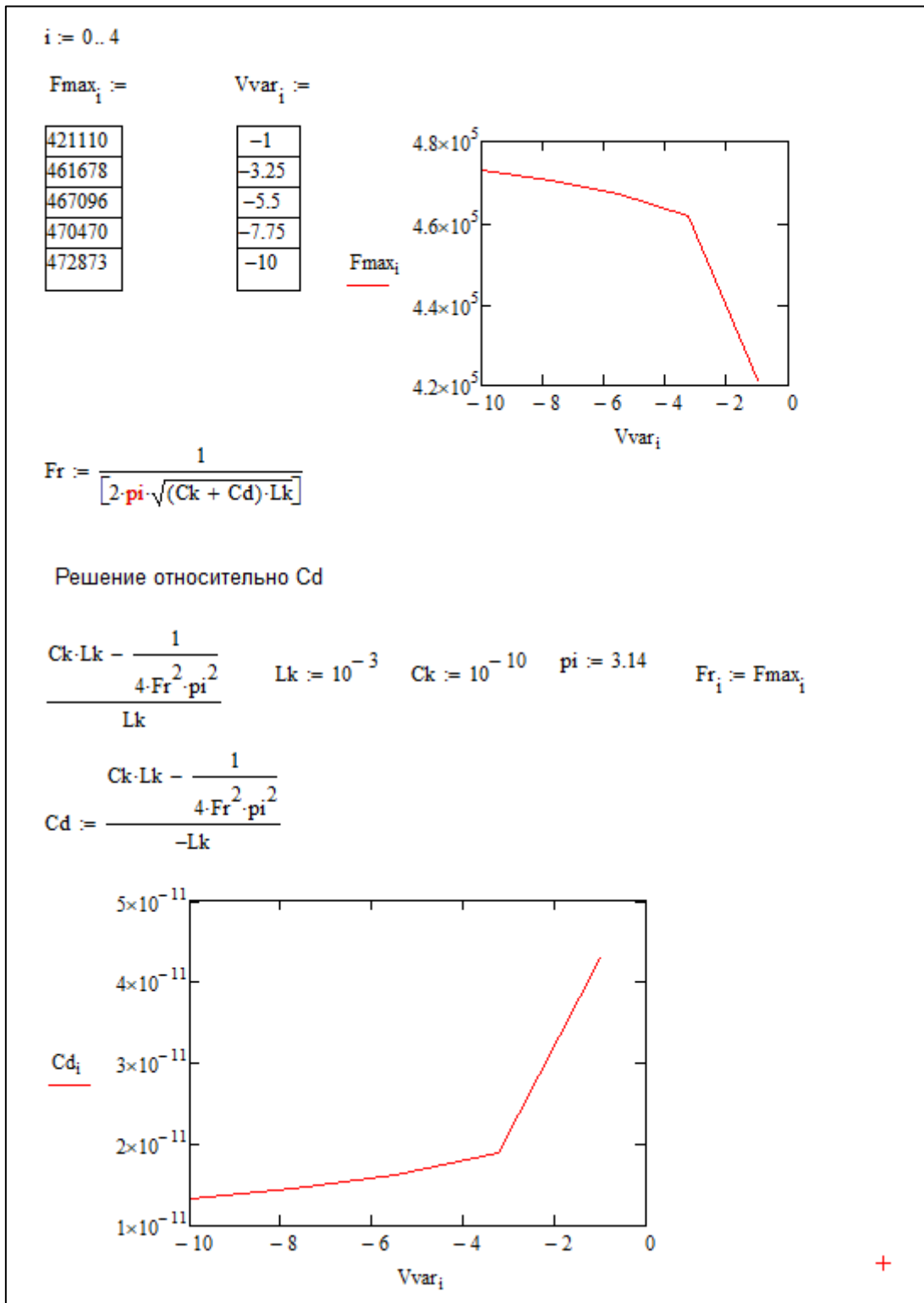


Рисунок 9. Построение ВФХ в Mathcad

Наконец, рассчитаем параметры барьерной емкости полупроводникового диода с помощью решения системы нелинейных уравнений, используя метод Given-Minerr (рис. 10):

$$Cd1(U) := CJO \cdot \left(1 - \frac{U}{VJ0}\right)^{-M}$$

$$Cd_i =$$

$4.298 \cdot 10^{-11}$
$1.896 \cdot 10^{-11}$
$1.622 \cdot 10^{-11}$
$1.456 \cdot 10^{-11}$
$1.339 \cdot 10^{-11}$

$$Vvar_i =$$

-1
-3.25
-5.5
-7.75
-10

$$M := 0.33$$

$$VJ0 := 0.75$$

$$CJO := 10^{-12} \cdot 35$$

+

Given

$$\left(4.298 \times 10^{-11}\right) = CJO \cdot \left(1 - \frac{-1}{VJ0}\right)^{-M}$$

$$\left[1.896 \times 10^{-11}\right] = CJO \cdot \left(1 - \frac{-3.25}{VJ0}\right)^{-M}$$

$$\left(1.622 \times 10^{-11}\right) = CJO \cdot \left(1 - \frac{-5.5}{VJ0}\right)^{-M}$$

$$\left(1.456 \times 10^{-11}\right) = CJO \cdot \left(1 - \frac{-7.75}{VJ0}\right)^{-M}$$

$$\left(1.339 \times 10^{-11}\right) = CJO \cdot \left(1 - \frac{-10}{VJ0}\right)^{-M}$$

$$\text{Minerr}(CJO, VJ0, M) = \begin{pmatrix} 3.5 \times 10^{-11} \\ 0.75 \\ 0.33 \end{pmatrix}$$

Рисунок 10. Расчет параметров барьерной емкости диода

## Выводы

В качестве вывода сравним полученные в ходе расчетов параметры исследуемого элемента с заданными в библиотеке одноименными параметрами модели диода:

- $C_{J0}$  (емкость перехода при нулевом смещении):
  - Рассчитанное: 35 пФ
  - Моделируемое: 35 пФ
- $V_{J0}$  (контактная разность потенциалов перехода):
  - Рассчитанное: 0,75 В
  - Моделируемое: 0,75 В
- $M$  (коэффициент плавности перехода):
  - Рассчитанное: 0,33
  - Моделируемое: 0,333