

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Дисциплина электроника

Лабораторный практикум №4

по теме: «Полупроводниковые диоды»

Работу выполнил:

студентка группы ИУ7-34Б

Ильченко Ева

Работу проверил:

Цель работы

Получение и исследование статических и динамических характеристик германиевого и кремниевого полупроводниковых диодов с целью определение 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.

Эксперимент 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИБОРА IV ANALYZER

Получим ВАХ своего диода в программе Multisim с применением виртуального прибора IV analyzer, используемого для снятия ВАХ p-п-переходов, диодов, транзисторов

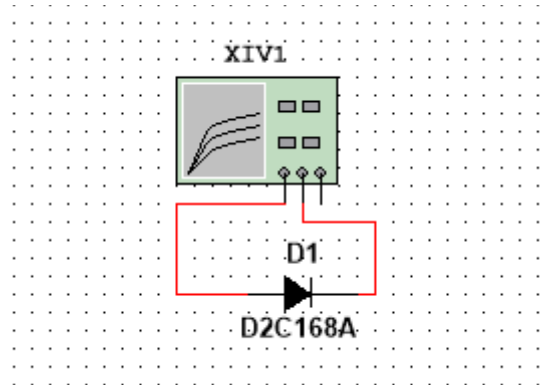


Рис. 1 IV analyzer.

Укажем диапазон от 0 до 750 mV

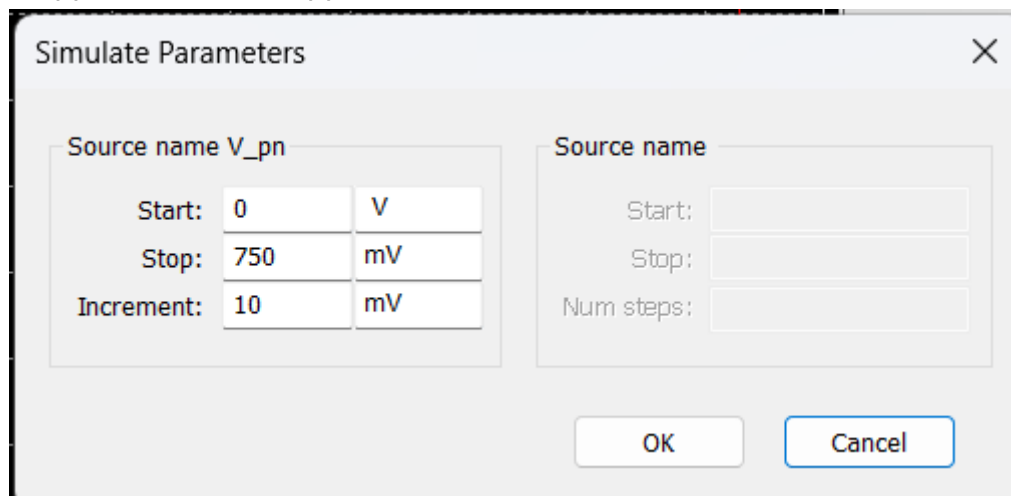


Рис.2 Настройка диапазона измерения

Запустим симуляцию и получим ВАХ диода

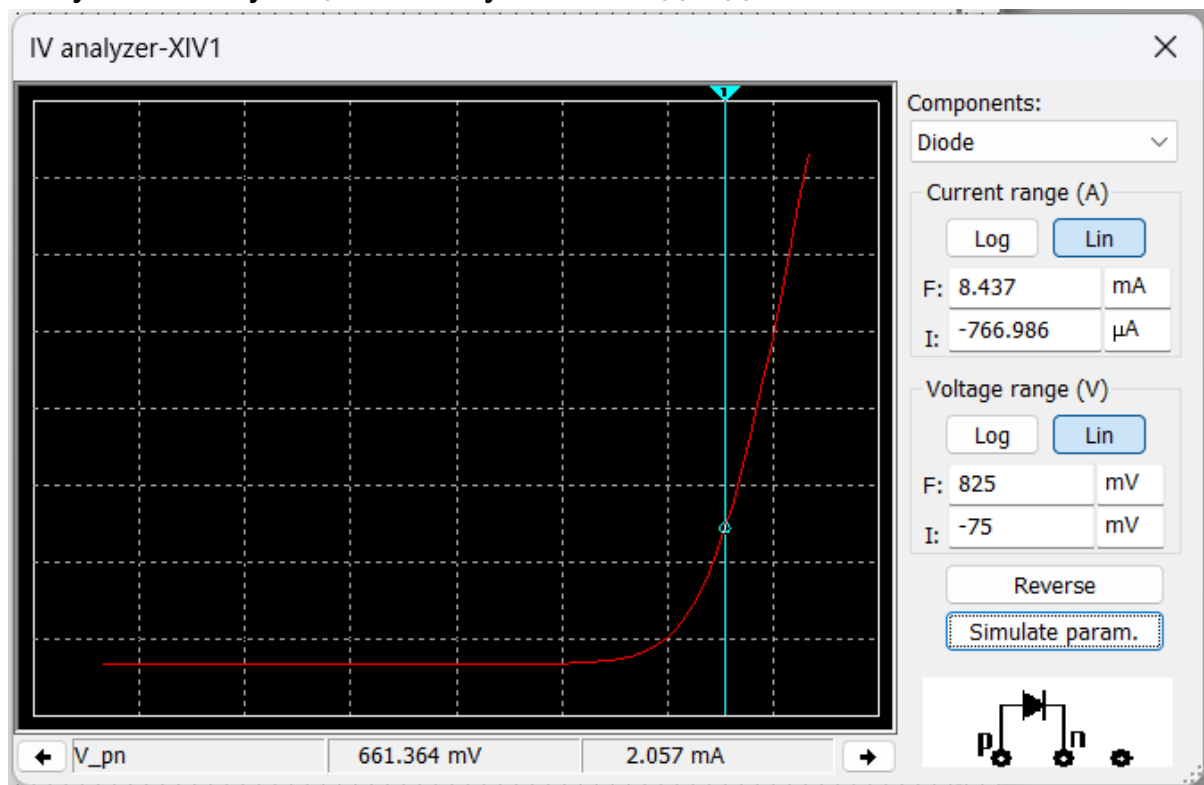


Рис.3 ВАХ диода D2C168A

Исследовать ВАХ в диапазоне температур - 30 – 70 град. Цельсия. анализом влияния изменения температуры на характеристики устройства (Temperature sweep).

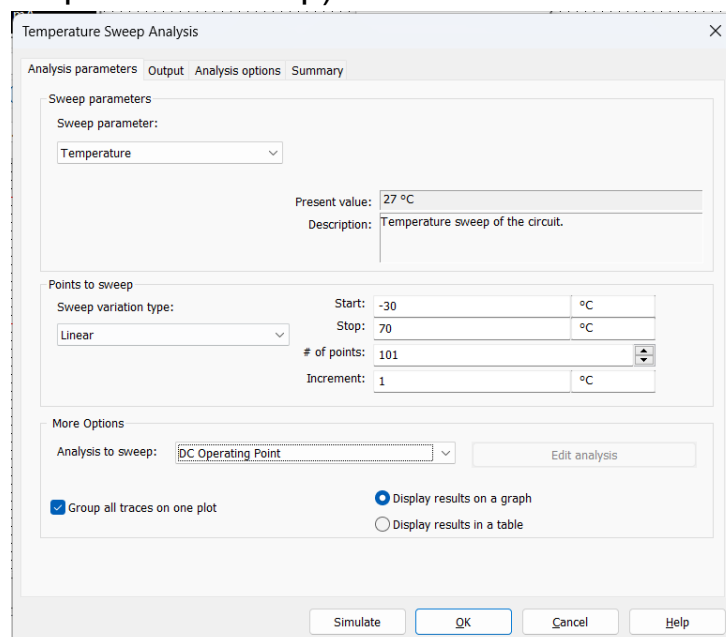


Рис.4 Установка измеряемых значений

В качестве рабочей точки будут взяты значения рабочей точки из рисунка 3: $I = 2 \text{ mA}$, $U = 661 \text{ mV}$. Рассчитаем сопротивление для обеспечения такого режима при работе 1В: $R = (U_{\text{ист}} - U_D)/I_D = (1 - 0.661)/0.002 = \sim 164 \text{ Ом}$. Проверим полученные данные экспериментально.

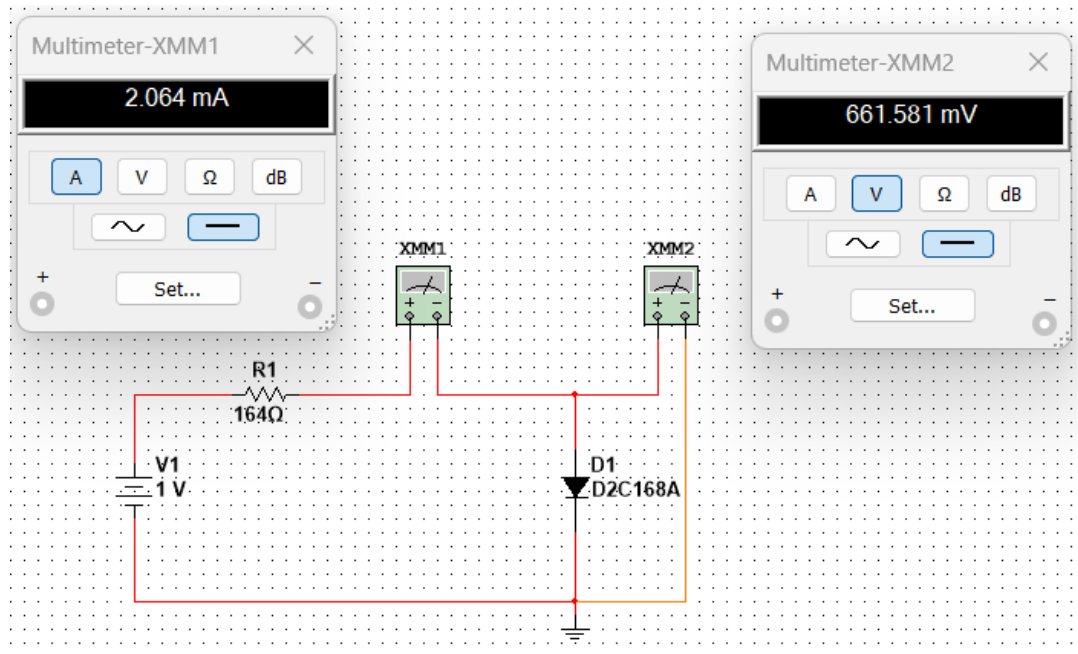
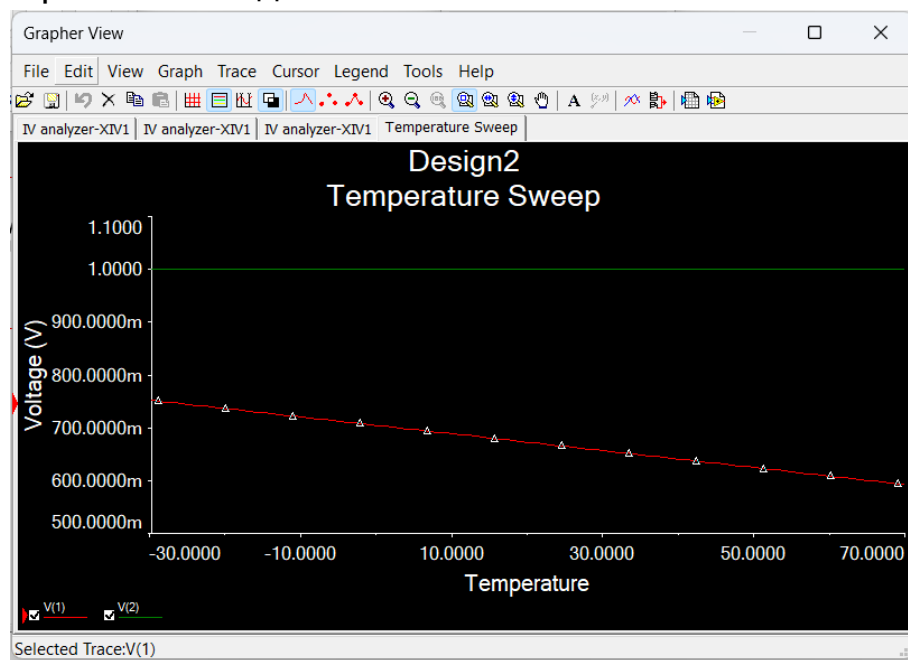


Рис.5 Проверка вычисленного значения сопротивления

Получим зависимости напряжения и силы тока на диоде в зависимости от температуры, напряжение падает с 750 до 600 mV, сила тока растет с 1.5 до 2.5 mA



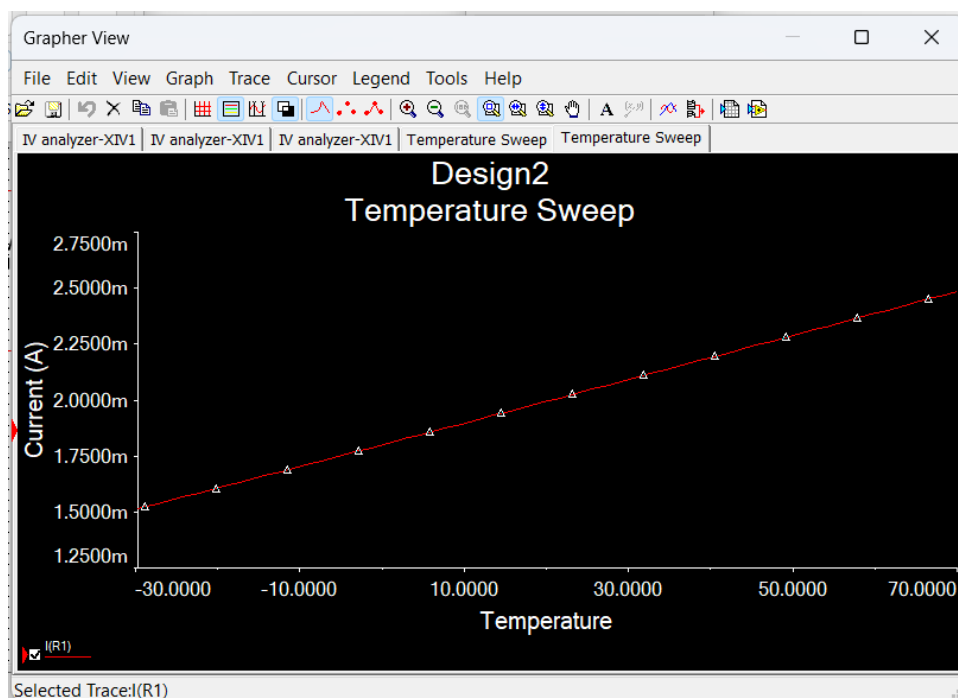


Рис.6-7 Графики зависимости напряжения и силы тока

В окне Grapher View формируем выходной текстовый файл с данными расчёта

Переносим данные в Mathcad и проведем расчет параметров диода, используя метод GivenMinerr:

VAX := READPRN("D:\BAX.txt")

	0	1
0	0	0
1	0.01	$4.312 \cdot 10^{-10}$
2	0.02	$9.468 \cdot 10^{-10}$
3	0.03	$1.564 \cdot 10^{-9}$
4	0.04	$2.302 \cdot 10^{-9}$
5	0.05	$3.187 \cdot 10^{-9}$
6	0.06	$4.248 \cdot 10^{-9}$
7	0.07	$5.52 \cdot 10^{-9}$
8	0.08	$7.045 \cdot 10^{-9}$
9	0.09	$8.875 \cdot 10^{-9}$
10	0.1	$1.107 \cdot 10^{-8}$
11	0.11	$1.37 \cdot 10^{-8}$
12	0.12	$1.687 \cdot 10^{-8}$
13	0.13	$2.066 \cdot 10^{-8}$
14	0.14	$2.521 \cdot 10^{-8}$
15	0.15	...

VAX =

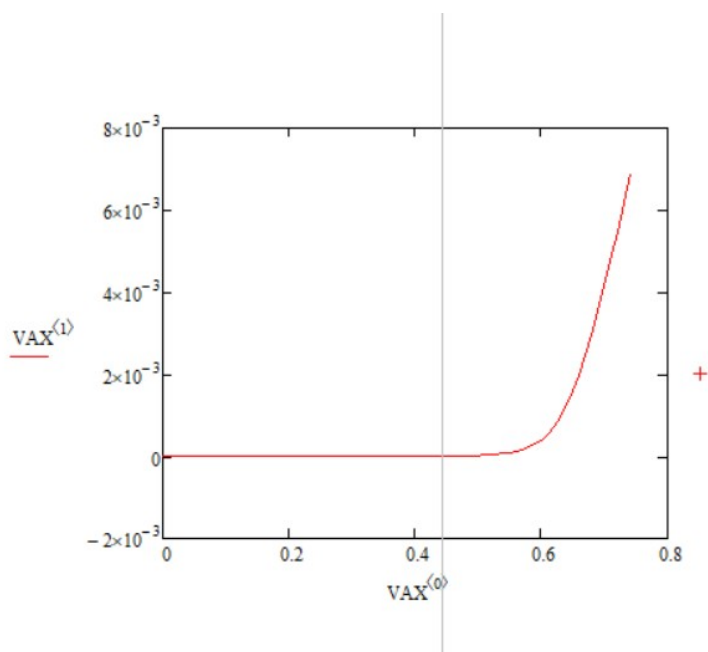


Рис.8. Данные в Mathcad.

$$\begin{aligned}
 U_{d1} &:= (VAX^{(0)})_{60} = 0.6 & U_{d2} &:= (VAX^{(0)})_{64} = 0.64 & U_{d3} &:= (VAX^{(0)})_{70} = 0.7 \\
 I_{d1} &:= (VAX^{(1)})_{60} = 4.05 \times 10^{-4} & I_{d2} &:= (VAX^{(1)})_{64} = 1.247 \times 10^{-3} & I_{d3} &:= (VAX^{(1)})_{70} = 4.135 \times 10^{-3} \\
 R_b &:= \frac{U_{d1} - 2 \cdot U_{d2} + U_{d3}}{I_{d1}} = 49.377 \\
 NFt &:= \frac{3 \cdot U_{d2} - 2 \cdot U_{d1} - U_{d3}}{\ln(2)} = 0.029 \\
 I_o &:= I_{d1} \cdot \exp\left(\frac{U_{d3} - 2 \cdot U_{d2}}{NFt}\right) = 7.545 \times 10^{-13}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \underline{R_b} &:= 1 & I_{s0} &:= 0.0000001 & \underline{m} &:= 2 & Ft &:= 0.02
 \end{aligned}$$

Given

$$U_{d1} = I_{d1} \cdot R_b + \ln\left(\frac{I_{s0} + I_{d1}}{I_{s0}}\right) \cdot m \cdot Ft$$

$$U_{d2} = I_{d2} \cdot R_b + \ln\left(\frac{I_{s0} + I_{d2}}{I_{s0}}\right) \cdot m \cdot Ft$$

$$U_{d3} = I_{d3} \cdot R_b + \ln\left(\frac{I_{s0} + I_{d3}}{I_{s0}}\right) \cdot m \cdot Ft$$

$$U_{d4} = I_{d4} \cdot R_b + \ln\left(\frac{I_{s0} + I_{d4}}{I_{s0}}\right) \cdot m \cdot Ft$$

$$Diod_P := \text{Minerr}(I_{s0}, R_b, m, Ft)$$

$$Diod_P = \begin{pmatrix} 9.474 \times 10^{-16} \\ 1.537 \times 10^1 \\ 1.488 \times 10^0 \\ 1.491 \times 10^{-2} \end{pmatrix}$$

Рис. 9. Расчет параметров диода

Строим графики по данным из Multisim и по полученным с помощью Given-Minerr данным:

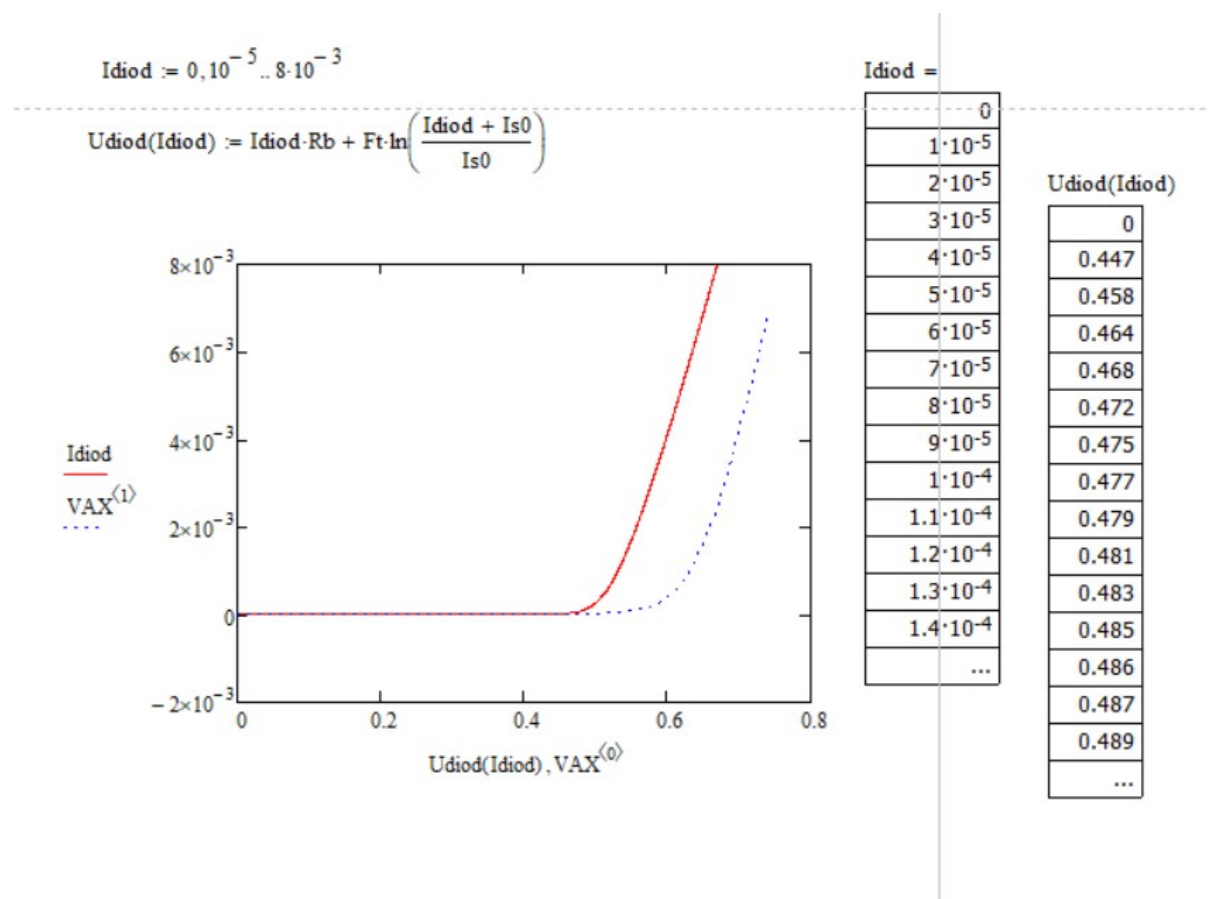


Рис.10.Обработка полученной ВАХ в программе Mathcad

Эксперимент 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТФАРАДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА

Построим схему параллельного колебательного контура с подключенным к контуру полупроводниковым диодом в качестве переменной емкости.

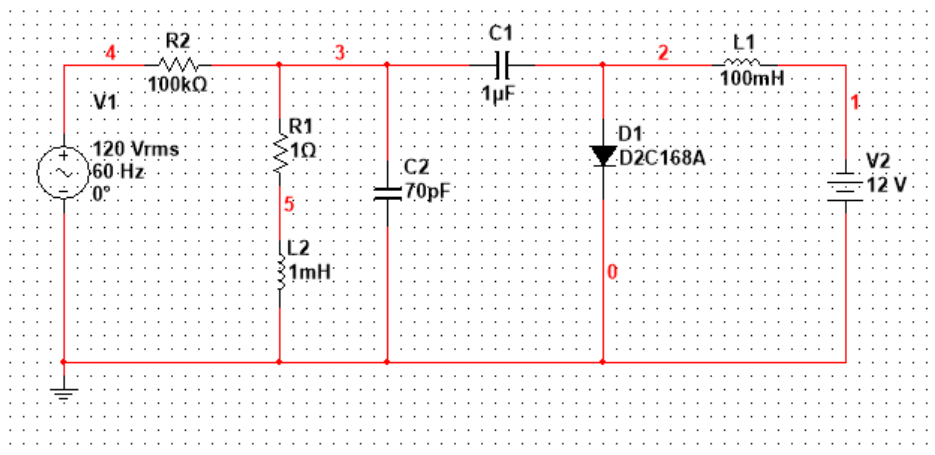
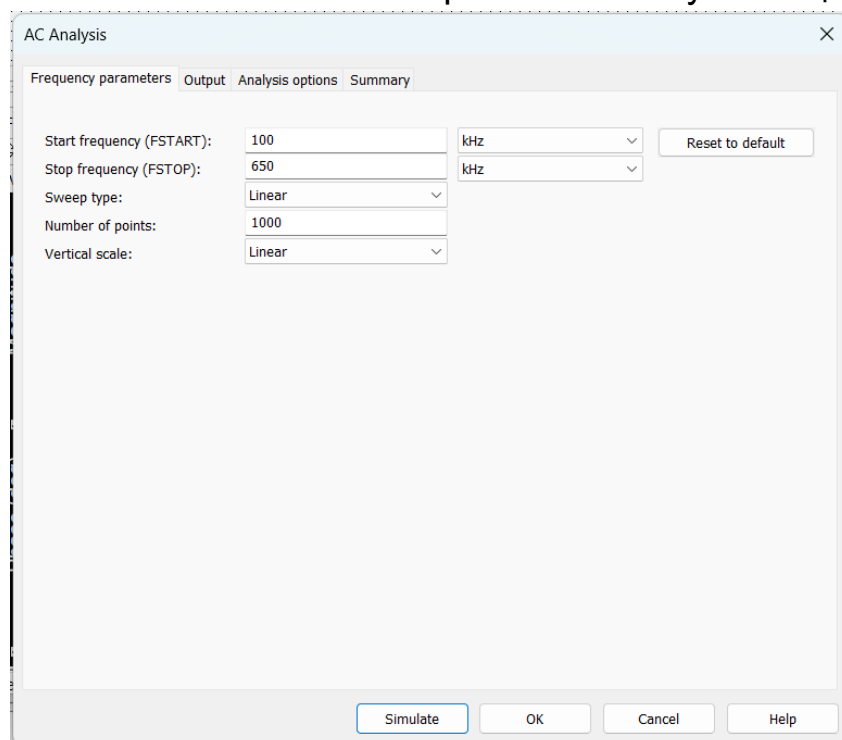


Рис. 11. Схема колебательного контура

Пределы анализа установим после открытия диалогового окна пределов анализа и назначения переменных визуализации



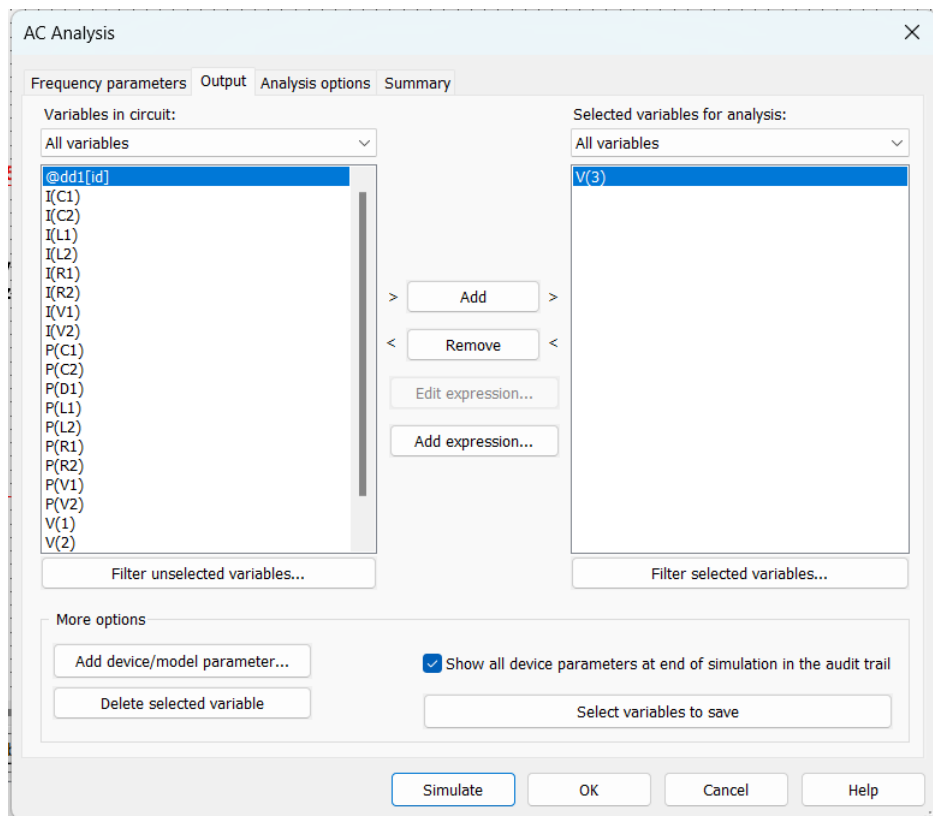


Рис. 12-13. Установка значений анализа

Запустим симуляцию и получим следующие графики

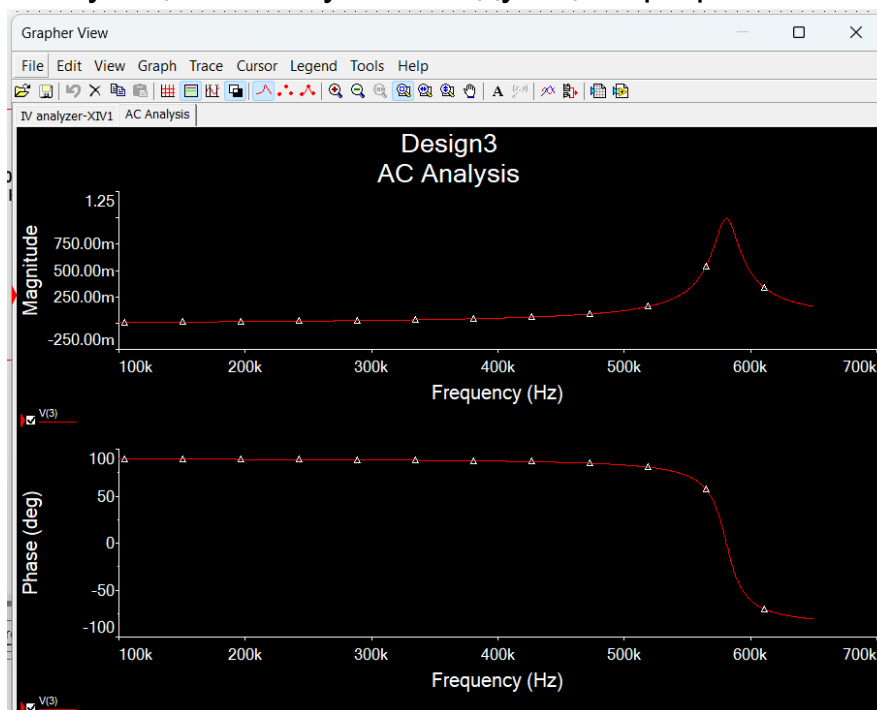


Рис. 14. График для единичного измерения

Зададим вид анализа с варьируемыми параметрами. Здесь же отредактируем и параметры основного анализа.

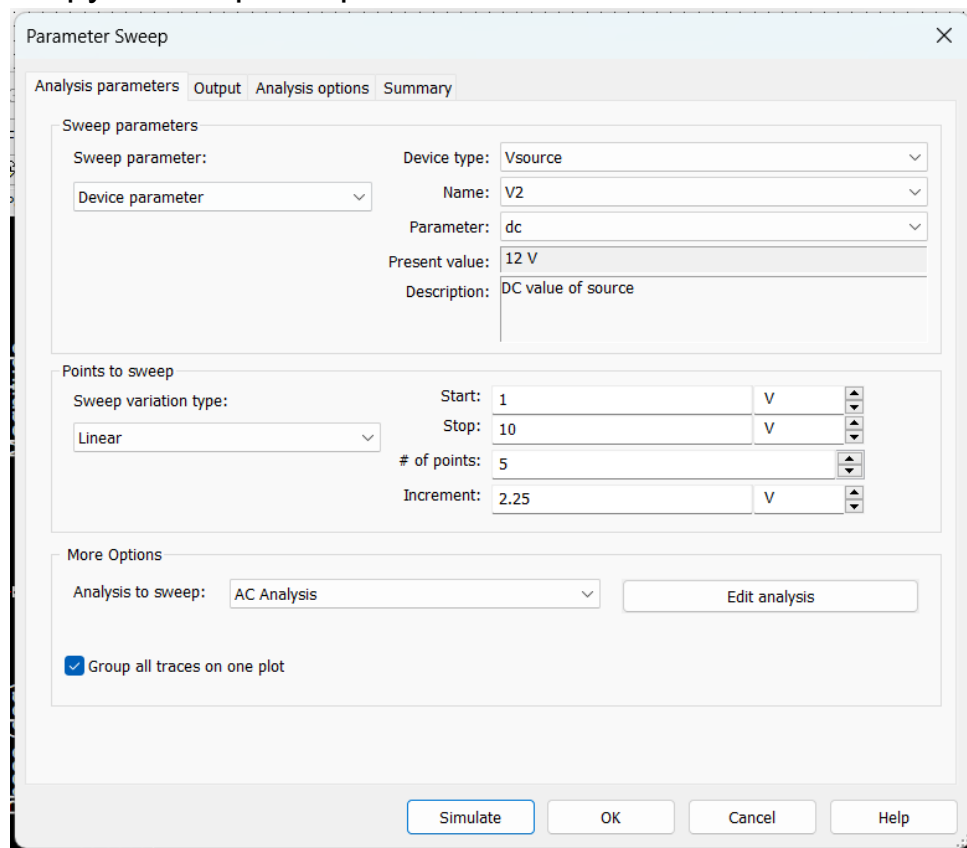


Рис. 15. Параметры анализа

Получим следующие графики при запуске симуляции

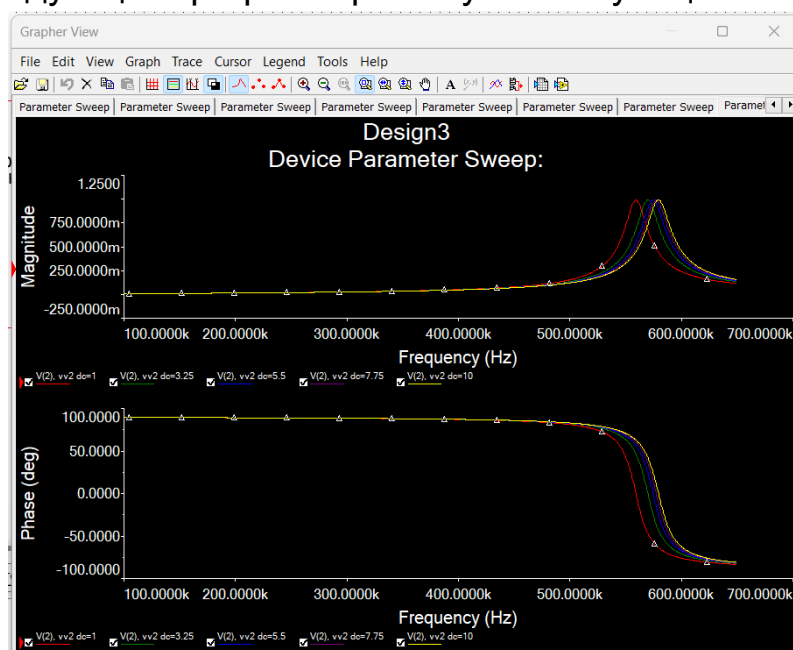


Рис. 16. Графики для разного значения напряжения

Построим график зависимости резонансной частоты от напряжения:

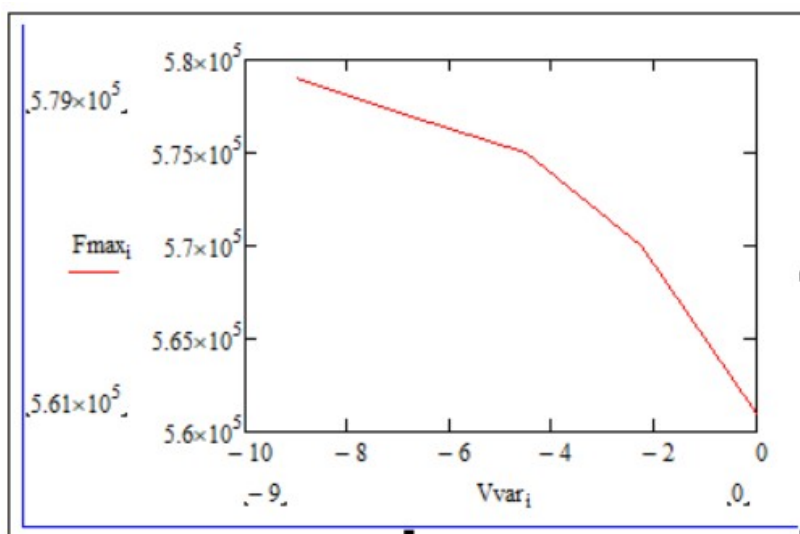


Рис. 17. График зависимости резонансной частоты от напряжения.

Емкость диода (Cd) может быть рассчитана следующим образом

$$Cd = \frac{Ck \cdot Lk - \frac{1}{4 \cdot Fr_i^2 \cdot \pi^2}}{Lk}$$

Перенесем из программы Мисросар известные значения, относящиеся к характеристикам контура:

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

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

$$Cd = \begin{pmatrix} 1.057 \times 10^{-11} \\ 8.042 \times 10^{-12} \\ 6.691 \times 10^{-12} \\ 6.16 \times 10^{-12} \\ 5.635 \times 10^{-12} \end{pmatrix}$$

Рис. 18 Таблица емкостей диода.

Получим график зависимости емкости диода от напряжения:

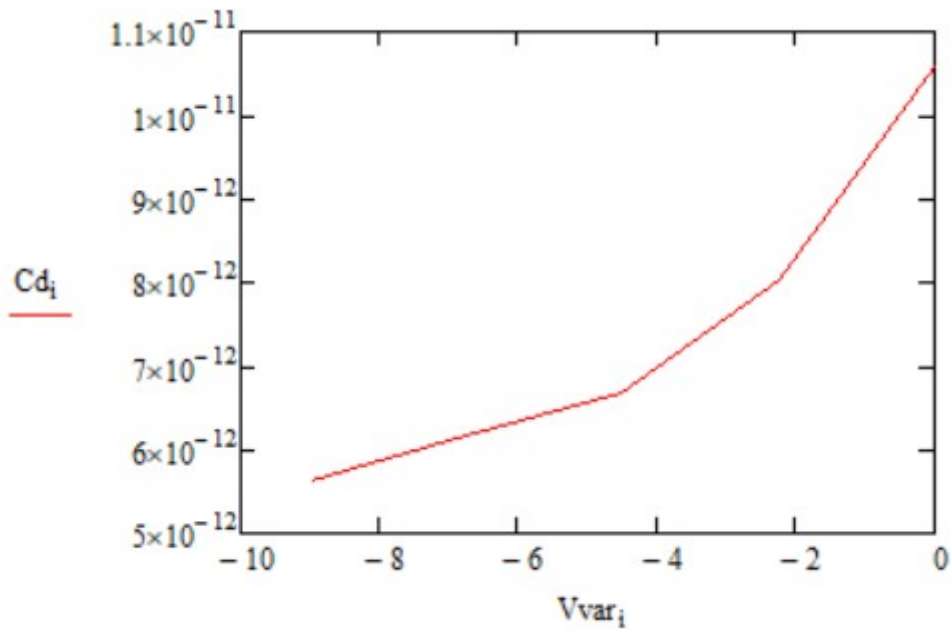
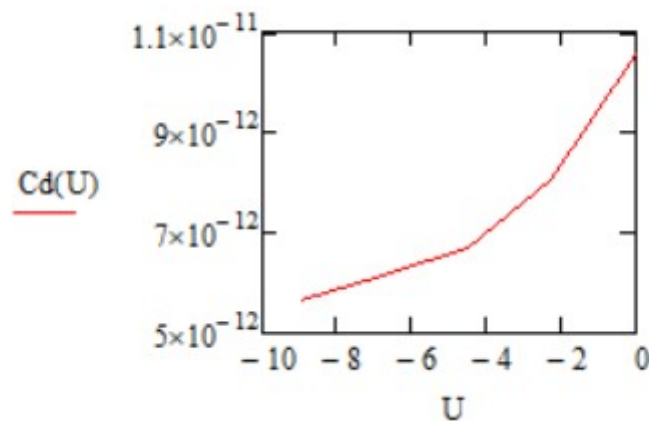


Рис. 19. График зависимости емкости диода от напряжения.

Вычислим характеристики диода: барьерную емкость и контактную разность потенциалов, используя следующую формулу:

$$C_d(U) := C_{J0} \cdot \left(1 - \frac{U}{V_{J0}}\right)^{-M}$$

Для расчета параметров барьерной емкости по указанной формуле, мы можем применить метод решения системы нелинейных уравнений с использованием вычислительного блока Given-Minerr. Для этого мы задаем систему из трех уравнений и начальное приближение:



$$M := 0.6 \quad VJ0 := 0.7 \quad CJ0 := 2 \cdot 10^{-10}$$

Given

$$Cd_0 = CJ0 \cdot \left(1 - \frac{Vvar_0}{VJ0} \right)^{-M}$$

$$Cd_1 = CJ0 \cdot \left(1 - \frac{Vvar_1}{VJ0} \right)^{-M}$$

$$Cd_2 = CJ0 \cdot \left(1 - \frac{Vvar_2}{VJ0} \right)^{-M}$$

$$+ \quad Minerr(CJ0, VJ0, M) = \begin{pmatrix} 2.969 \times 10^{-10} \\ 0.325 \\ 0.314 \end{pmatrix}$$

Рис. 20-21. Значение параметров диода.

Сравним со значениями одноименных параметров, указанных в архиве отечественных полупроводниковых приборов:

model D2C168A D(Is=31.47f Rs=9.494 Ikf=0 N=1 Xti=3 Eg=1.11
Cjo=220p M=.5959 Vj=.75 Fc=.5 Isr=2.035n Nr=2 Bv=6.848
 Ibv=95.79m Nbv=28 Ibv1=3m Nbv1=120 Tbv1=600u)

Cj0: Полученные данные немного больше истинных данных, но разница не кажется критической

Vj: Полученные данные немного ниже истинных

M: Полученные данные немного ниже истинных

В целом, различия между полученными данными и характеристиками модели не кажутся критически важными, но они могут повлиять на работу диода

Вывод

Целью данного исследования было получение и анализ статических и динамических характеристик германиевых и кремниевых полупроводниковых диодов с целью определения параметров модели полупроводниковых диодов и их последующего включения в базу данных программ для схемотехнического анализа. Я приобрела навыки расчета моделей полупроводниковых приборов с использованием программных средств, таких как Multisim и Mathcad, на основе данных, полученных в ходе экспериментальных исследований. Это позволило внедрить полученные модели в базу компонентов для будущих проектов и анализа полупроводниковых приборов.