



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»
Кафедра «Программное обеспечение ЭВМ и
информационные технологии»

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

по курсу «Основы электроники»

Студент: Беляк Софья Сергеевна

Группа: ИУ7-32Б

Вариант: 52

Студент

Беляк С.С.

Преподаватель

Оглоблин Д.И.

Оценка _____

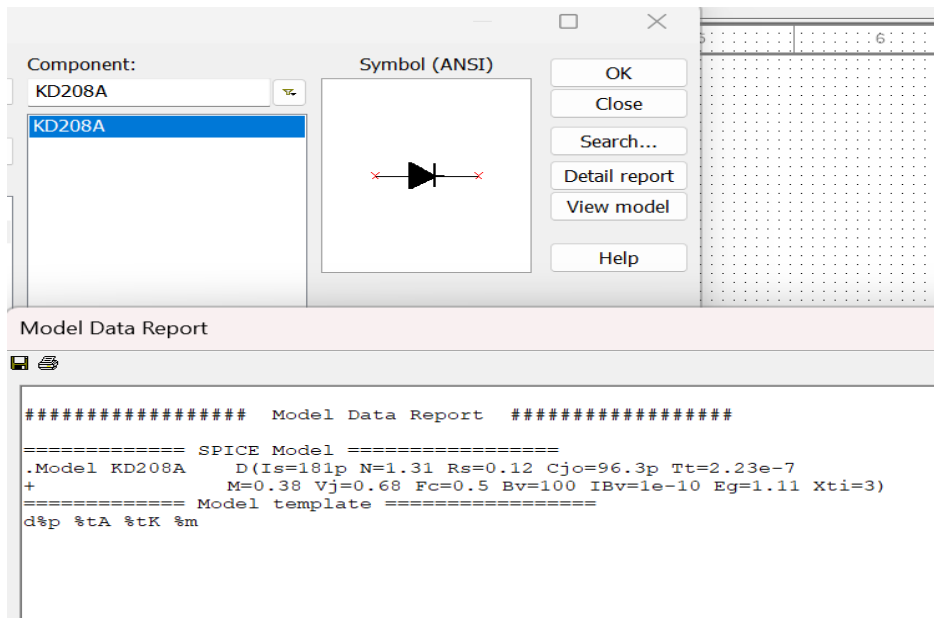
2023 г.

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.

Параметры диода

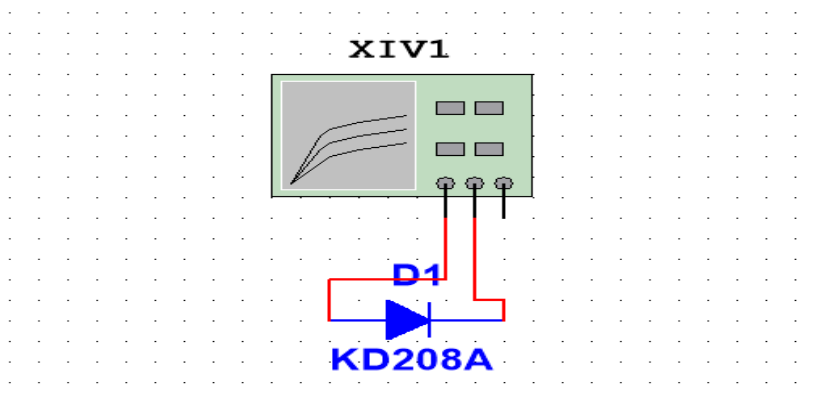
Для работы используется полупроводниковый диод KD208A, который был предварительно добавлен в базу данных программы Multisim в рамках лабораторной работы №3.



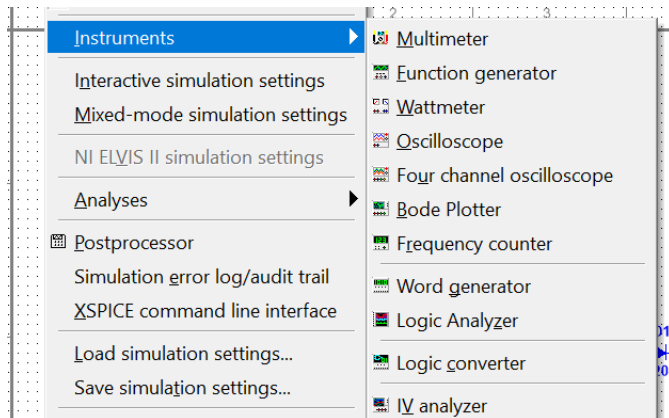
Эксперимент 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИБОРА IV ANALYZER

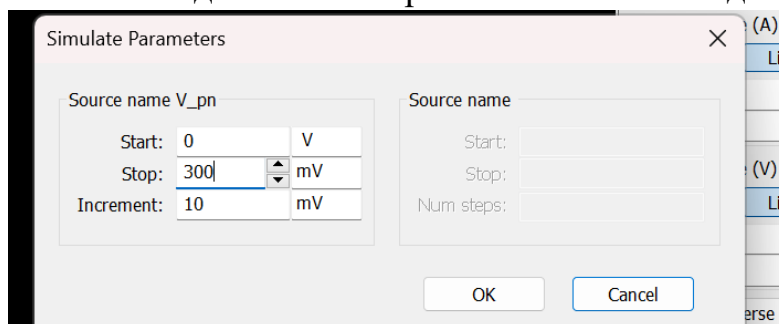
Получим ВАХ диода в программе Multisim с применением виртуального прибора IV analyzer. Разместим прибор IV Analyzer на схеме (Simulate/Instruments/IV Analyzer) и соединим его с диодом.



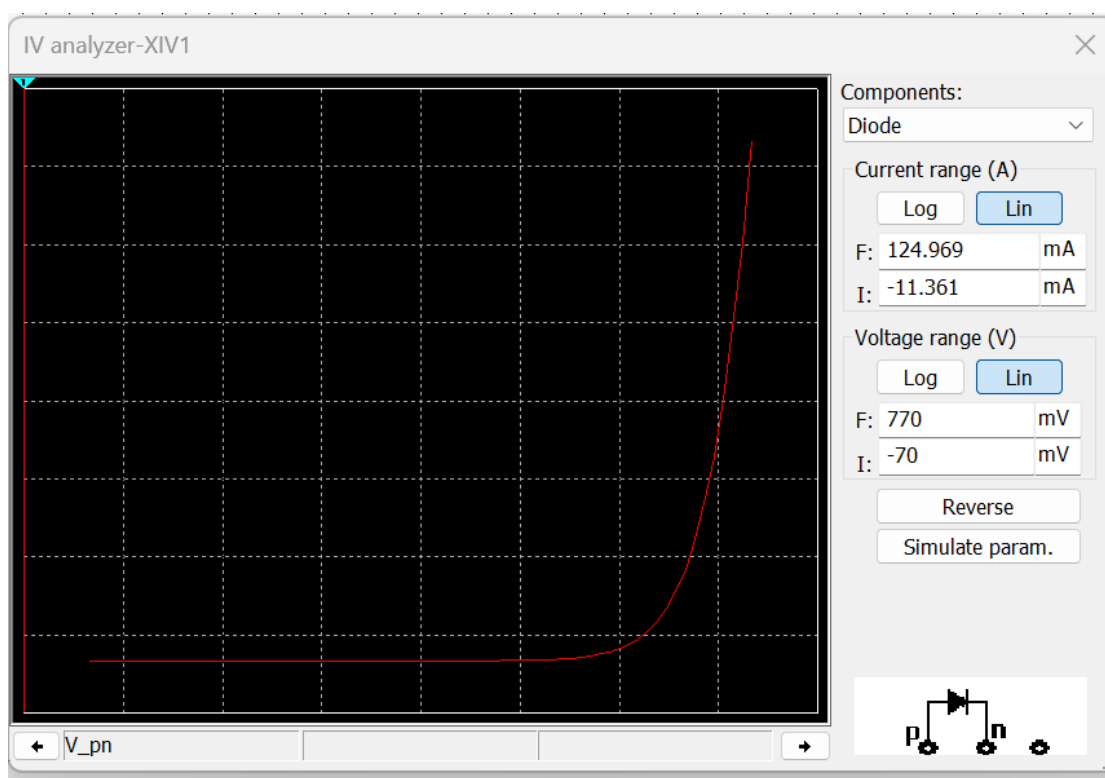
Для начала настроим виртуальный прибор IV analyzer через пункт меню:



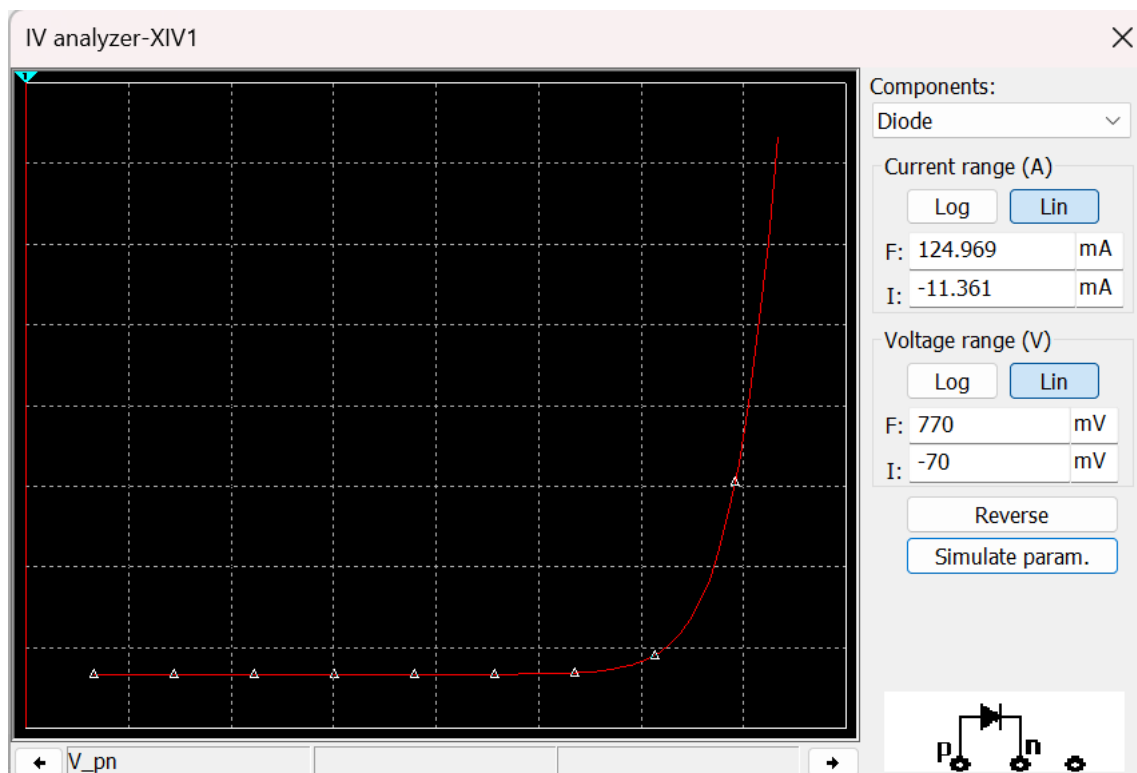
Установим диапазон напряжения от 0 Вольт до 300 мВ с интервалом 10 мВ.



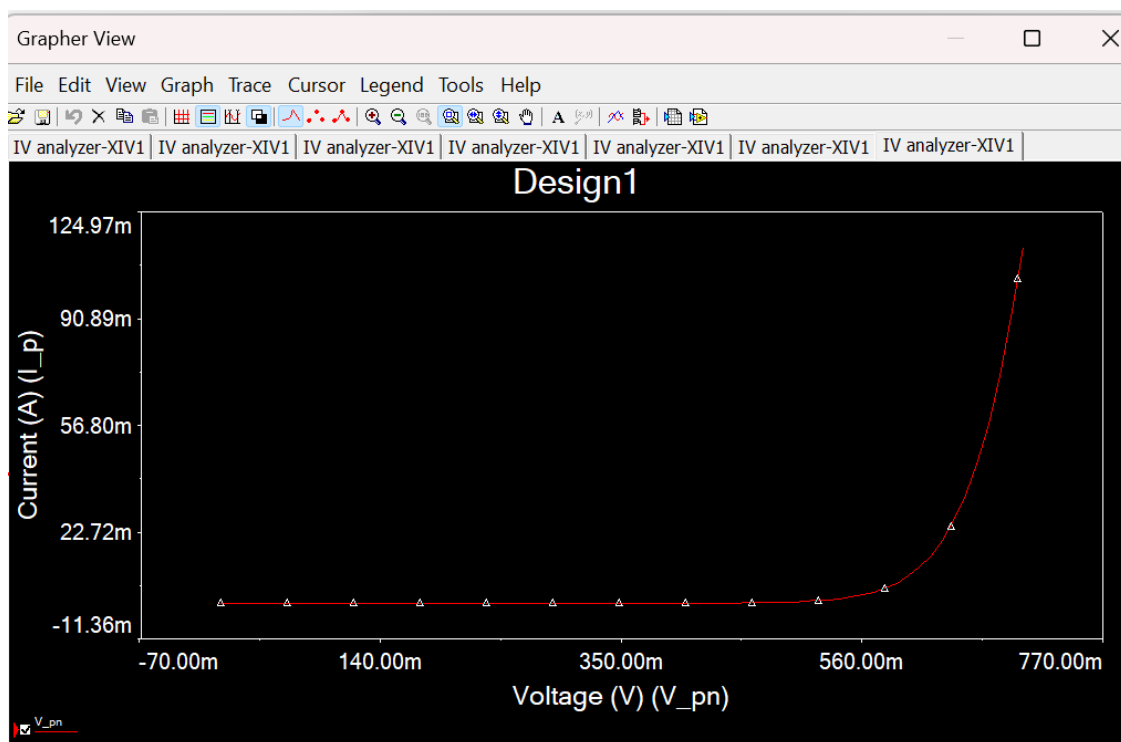
После выполнения настроек, мы получаем ВАХ (вольт-амперную характеристику) для данной схемы и диода.



Для того, чтобы установить контрольные точки на ВАХ, необходимо нажать правой кнопкой мыши на линии ВАХ (вольт-амперной характеристики) и после этого выбрать опцию "Show Select Marks on Trace".



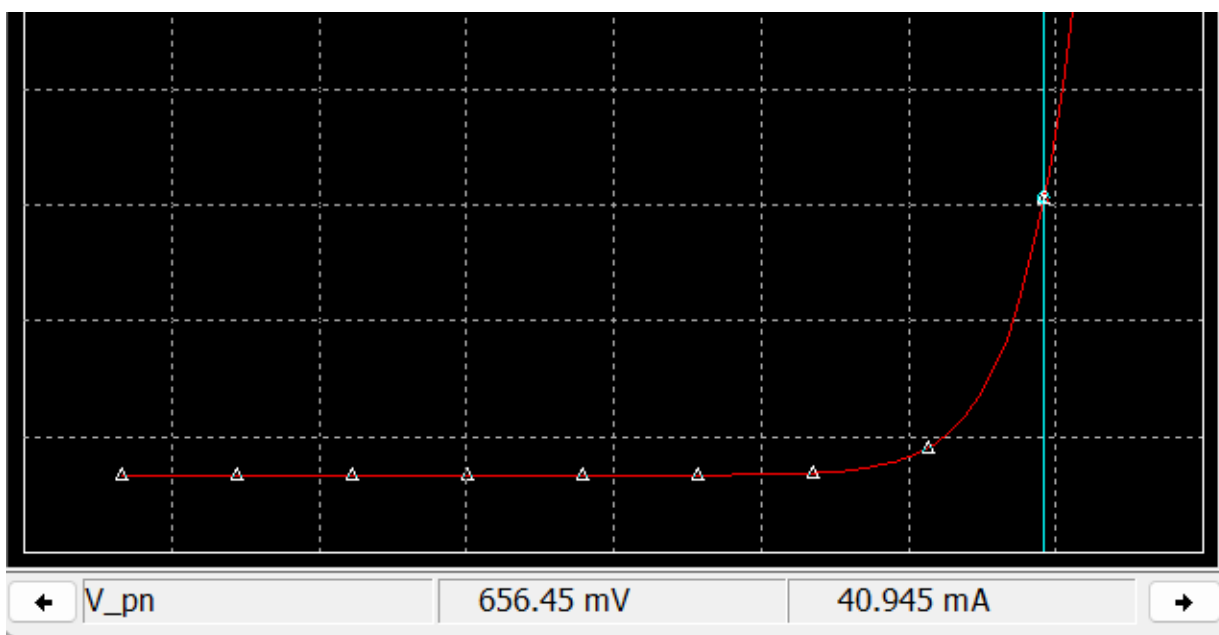
Откроем ВАХ в режиме Grapher View.



В окне Grapher View сгенерируем выходной текстовый файл с результатами расчёта.

1	0	2.48312e-045
2	0.01	6.21702e-011
3	0.02	1.45674e-010
4	0.03	2.57836e-010
5	0.04	4.08495e-010
6	0.05	6.10866e-010
7	0.06	8.82705e-010
8	0.07	1.24786e-009
9	0.08	1.73837e-009
10	0.09	2.39727e-009
11	0.1	3.28236e-009
12	0.11	4.47132e-009
13	0.12	6.06845e-009
14	0.13	8.2139e-009
15	0.14	1.10959e-008
16	0.15	1.49673e-008
17	0.16	2.01679e-008
18	0.17	2.71538e-008
19	0.18	3.65382e-008
20	0.19	4.91443e-008
21	0.2	6.60783e-008
22	0.21	8.88259e-008
23	0.22	1.19383e-007

Для проведения анализа температур выберем рабочую точку, которая находится при напряжении 1 В и имеет координаты 0.65645 В и 0.040945 А.

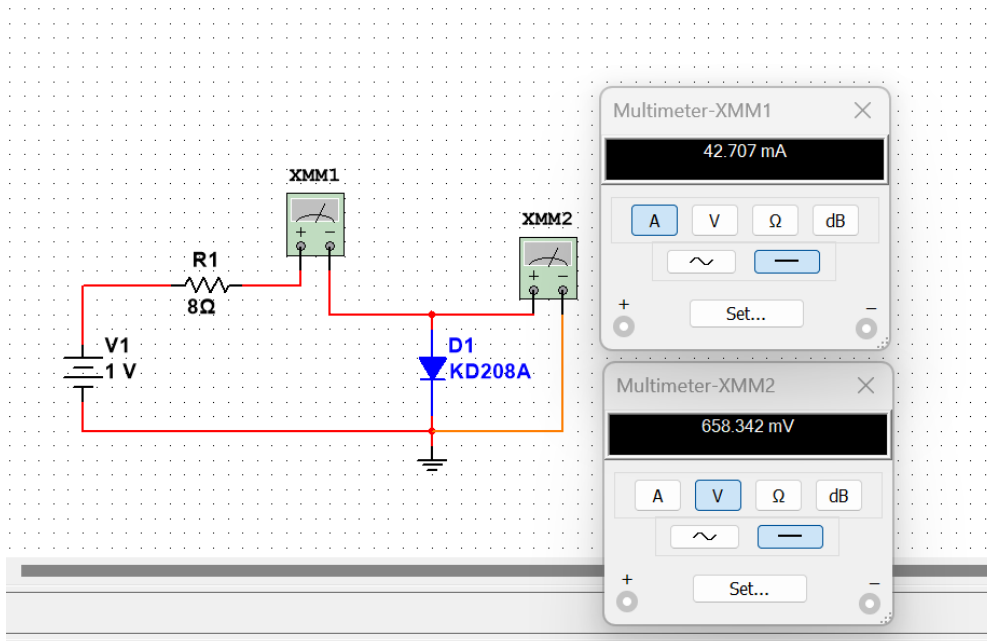


Для этой точки сопротивление будет равно 8 Ом, вычисленное по формуле:

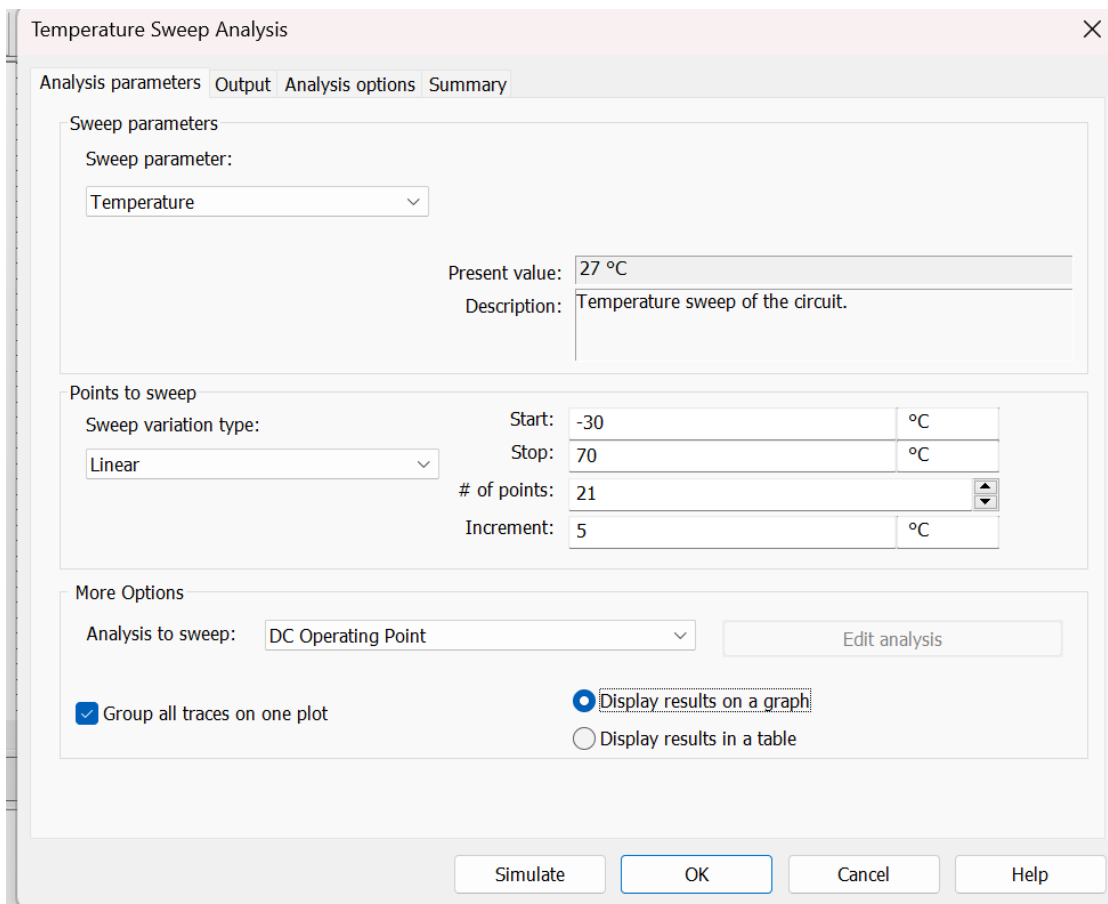
Сопротивление (R) = (Напряжение источника - Напряжение на диоде) / Ток через диод

Сопротивление (R) = (1 В - 0.65645 В) / 0.040945 А = 8 Ом

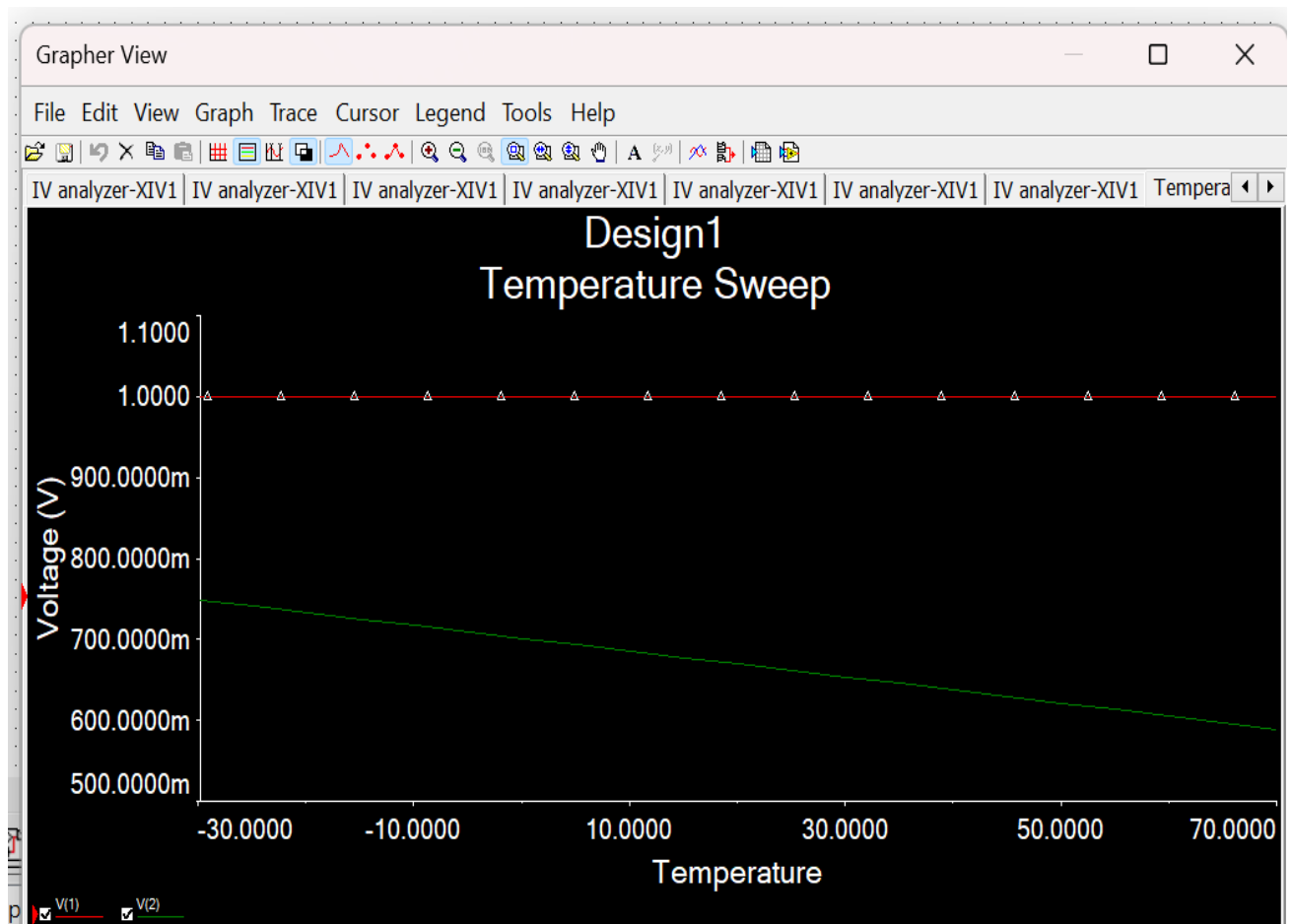
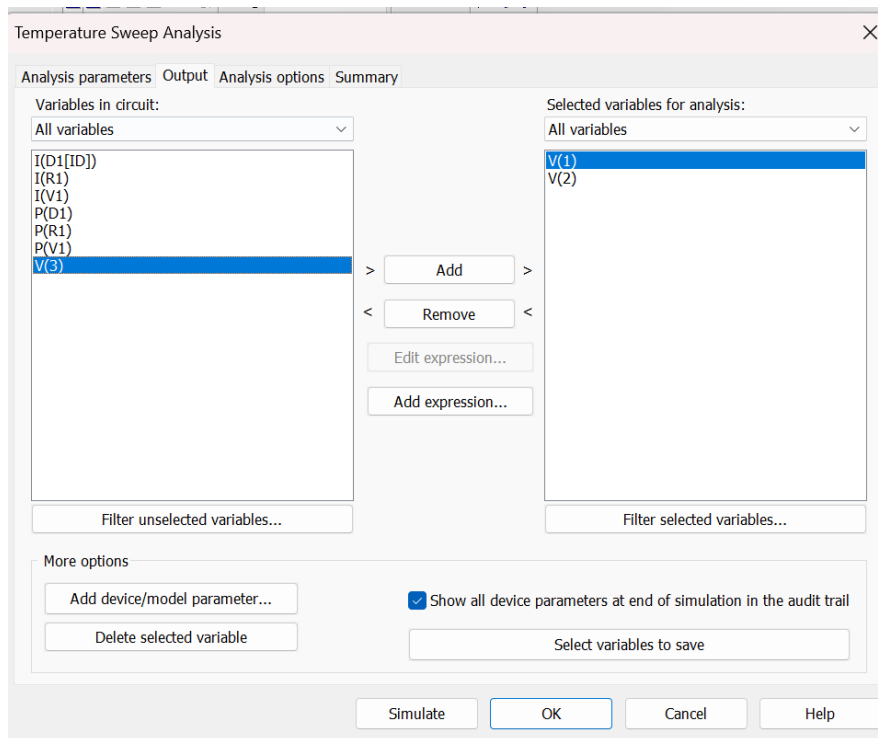
Проверим:



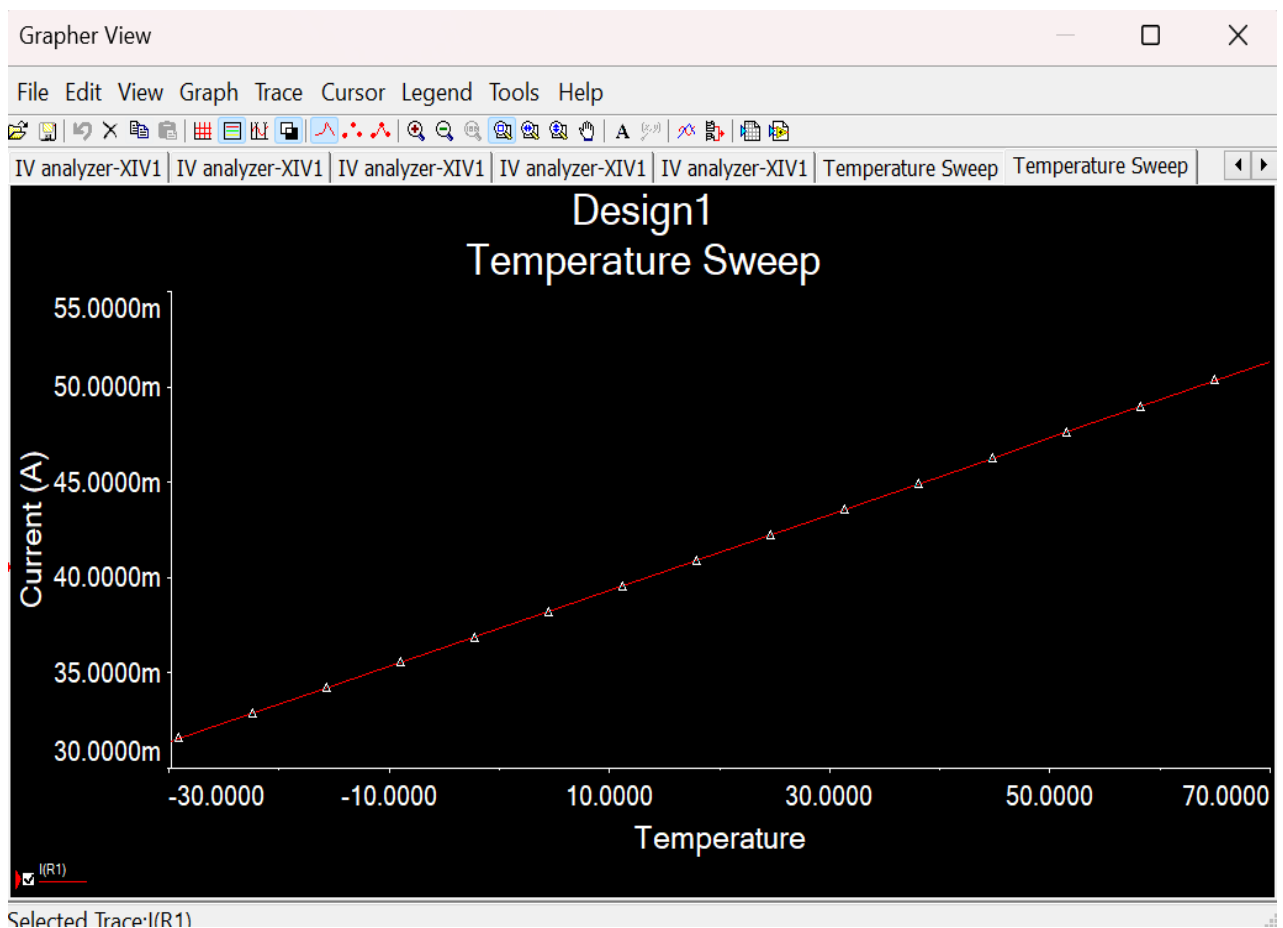
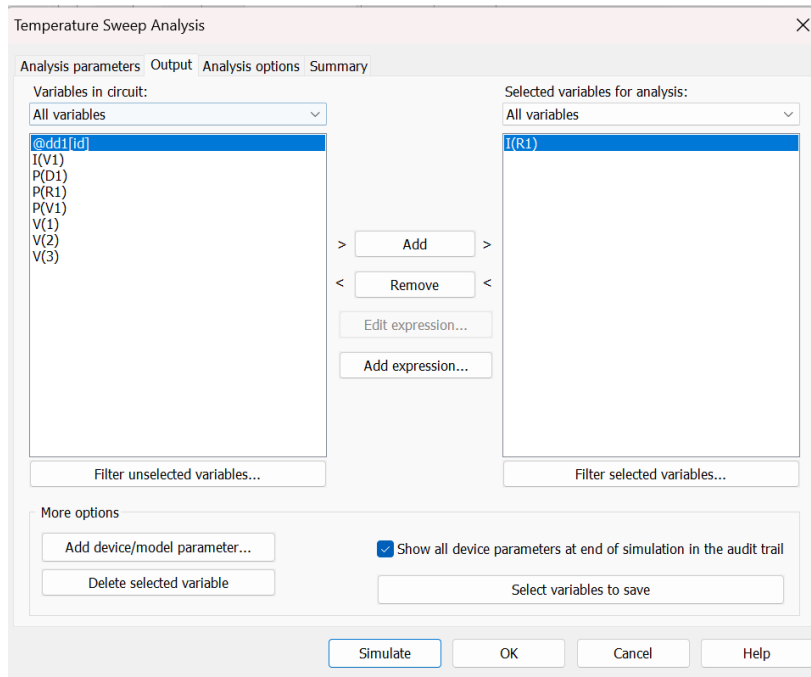
Произведем анализ ВАХ при разных температурах в диапазоне от -30 до 70 градусов Цельсия. Устанавливаем параметры температуры:



Для анализа изменения напряжения, укажем значения напряжения источника и напряжения на диоде.



Для анализа изменений в токе, укажем значения тока.



Напряжение уменьшилось с 750 мВ до 600 мВ, а ток увеличился с 30 мА до 55 мА.

Построим ВАХ в программе Mathcad и рассчитаем параметры модели (IS, Ft) методом Given Minerr:

VAX := READPRN("C:\MC12\data\Design_4.DNO")

	0	1
0	0	0
1	0.01	$6.217 \cdot 10^{-11}$
2	0.02	$1.457 \cdot 10^{-10}$
3	0.03	$2.578 \cdot 10^{-10}$
4	0.04	$4.085 \cdot 10^{-10}$
5	0.05	$6.109 \cdot 10^{-10}$
6	0.06	$8.827 \cdot 10^{-10}$
7	0.07	$1.248 \cdot 10^{-9}$
8	0.08	$1.738 \cdot 10^{-9}$
9	0.09	$2.397 \cdot 10^{-9}$
10	0.1	$3.282 \cdot 10^{-9}$
11	0.11	$4.471 \cdot 10^{-9}$
12	0.12	$6.068 \cdot 10^{-9}$
13	0.13	$8.214 \cdot 10^{-9}$
14	0.14	$1.11 \cdot 10^{-8}$
15	0.15	...

VAX =

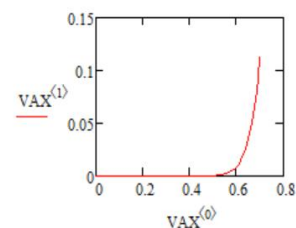
	0
0	0
1	$6.217 \cdot 10^{-11}$
2	$1.457 \cdot 10^{-10}$
3	$2.578 \cdot 10^{-10}$
4	$4.085 \cdot 10^{-10}$
5	$6.109 \cdot 10^{-10}$
6	$8.827 \cdot 10^{-10}$
7	$1.248 \cdot 10^{-9}$
8	$1.738 \cdot 10^{-9}$
9	$2.397 \cdot 10^{-9}$
10	$3.282 \cdot 10^{-9}$
11	$4.471 \cdot 10^{-9}$
12	$6.068 \cdot 10^{-9}$
13	$8.214 \cdot 10^{-9}$
14	$1.11 \cdot 10^{-8}$
15	...

VAX⁽¹⁾ =

	0
0	0
1	0.01
2	0.02
3	0.03
4	0.04
5	0.05
6	0.06
7	0.07
8	0.08
9	0.09
10	0.1
11	0.11
12	0.12
13	0.13
14	0.14
15	...

VAX⁽⁰⁾ =

+



Выберем четыре точки и составим четыре уравнения с параметрами диода.

$$V1 := 0.6$$

$$i1 := 0.0086124$$

$$V2 := 0.65$$

$$i2 := 0.034385$$

$$V3 := 0.68$$

$$i3 := 0.072759$$

$$V4 := 0.7$$

$$i4 := 0.11361$$

$$Rb := 1 \quad m := 2$$

$$Is0 := 10^{-7} \quad Ft := 0.02$$

Given

$$V1 = i1 \cdot Rb + Ft \cdot m \cdot \ln \left[\frac{(i1 + Is0)}{Is0} \right]$$

$$V2 = i2 \cdot Rb + Ft \cdot m \cdot \ln \left[\frac{(i2 + Is0)}{Is0} \right]$$

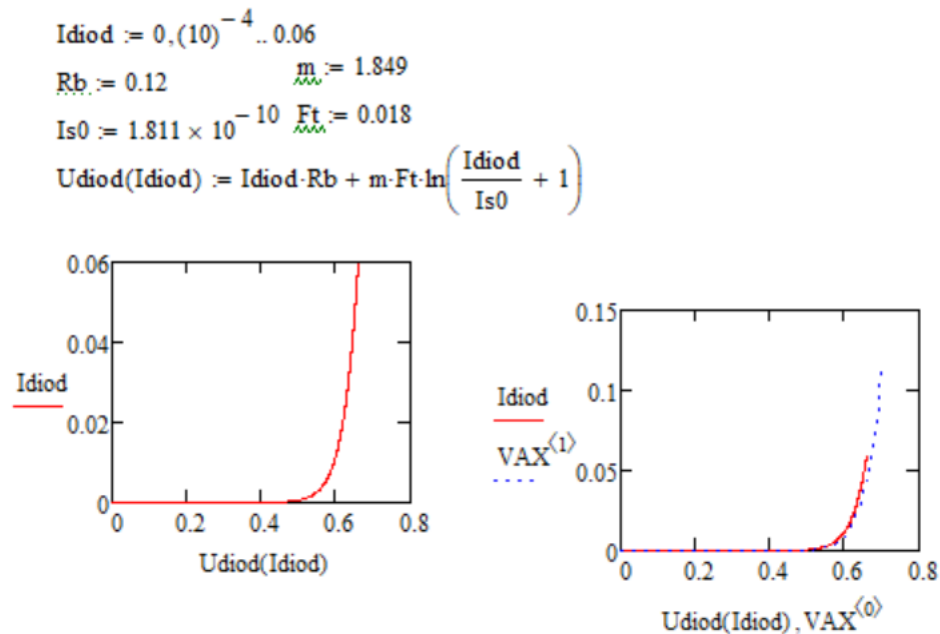
$$V3 = i3 \cdot Rb + Ft \cdot m \cdot \ln \left[\frac{(i3 + Is0)}{Is0} \right]$$

$$V4 = i4 \cdot Rb + Ft \cdot m \cdot \ln \left[\frac{(i4 + Is0)}{Is0} \right]$$

$$Diod := \text{Minerr}(Is0, Rb, m, Ft)$$

$$Diod = \begin{pmatrix} 1.811 \times 10^{-10} \\ 0.12 \\ 1.349 \\ 0.018 \end{pmatrix}$$

Теперь, на основе полученных характеристик, построим график и проведем сравнение с исходной ВАХ.

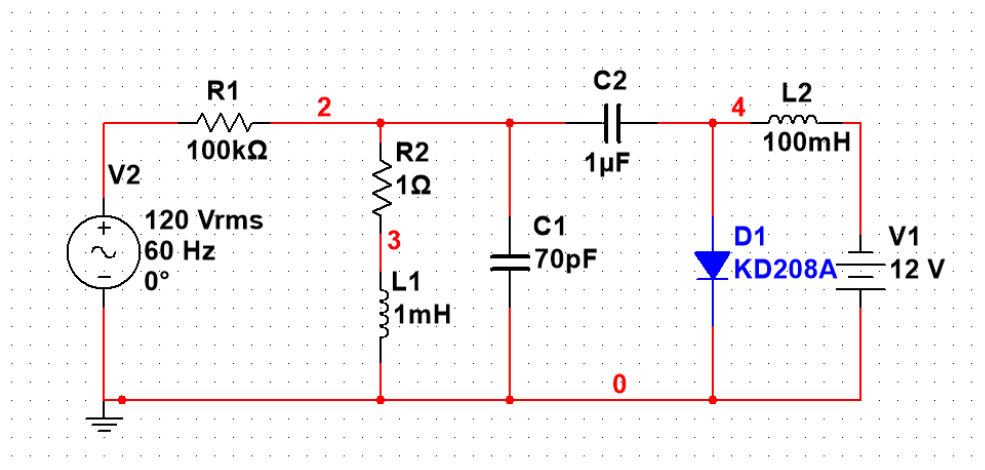


Сравнение двух ВАХ (исходной и модельной) в программе Mathcad показывает, что они практически не различаются.

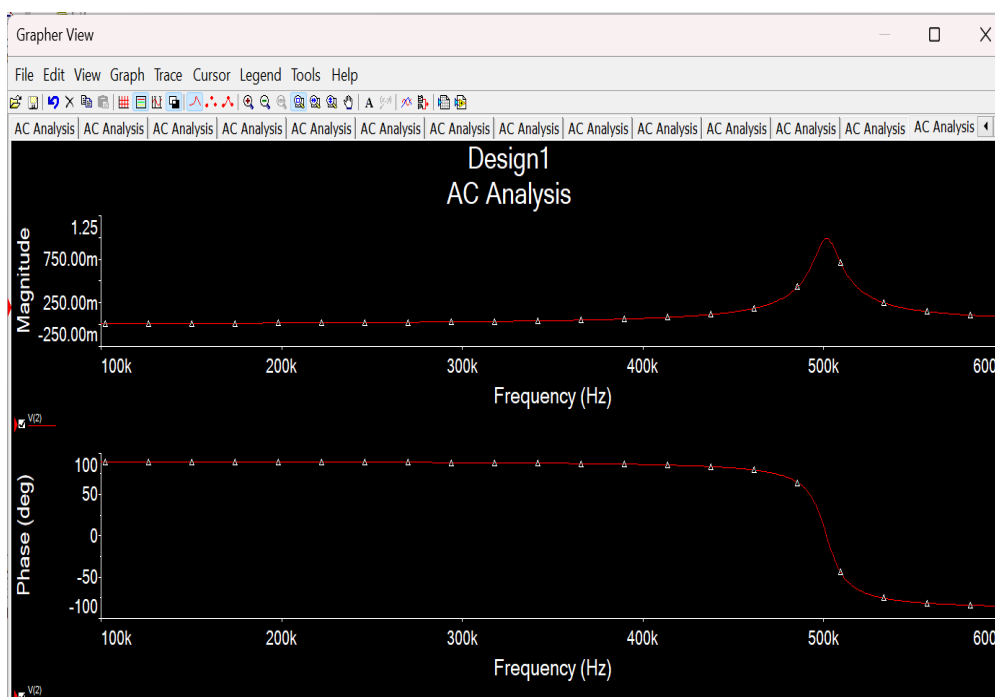
Эксперимент 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТФАРАДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА

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



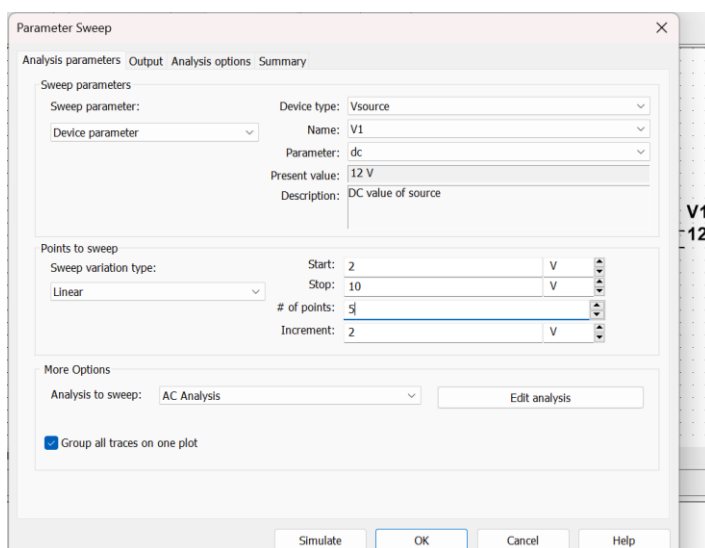
Выбираем пределы анализа так, чтобы резонансная частота контура лежала бы в пределах от FSTART до FSTOP.



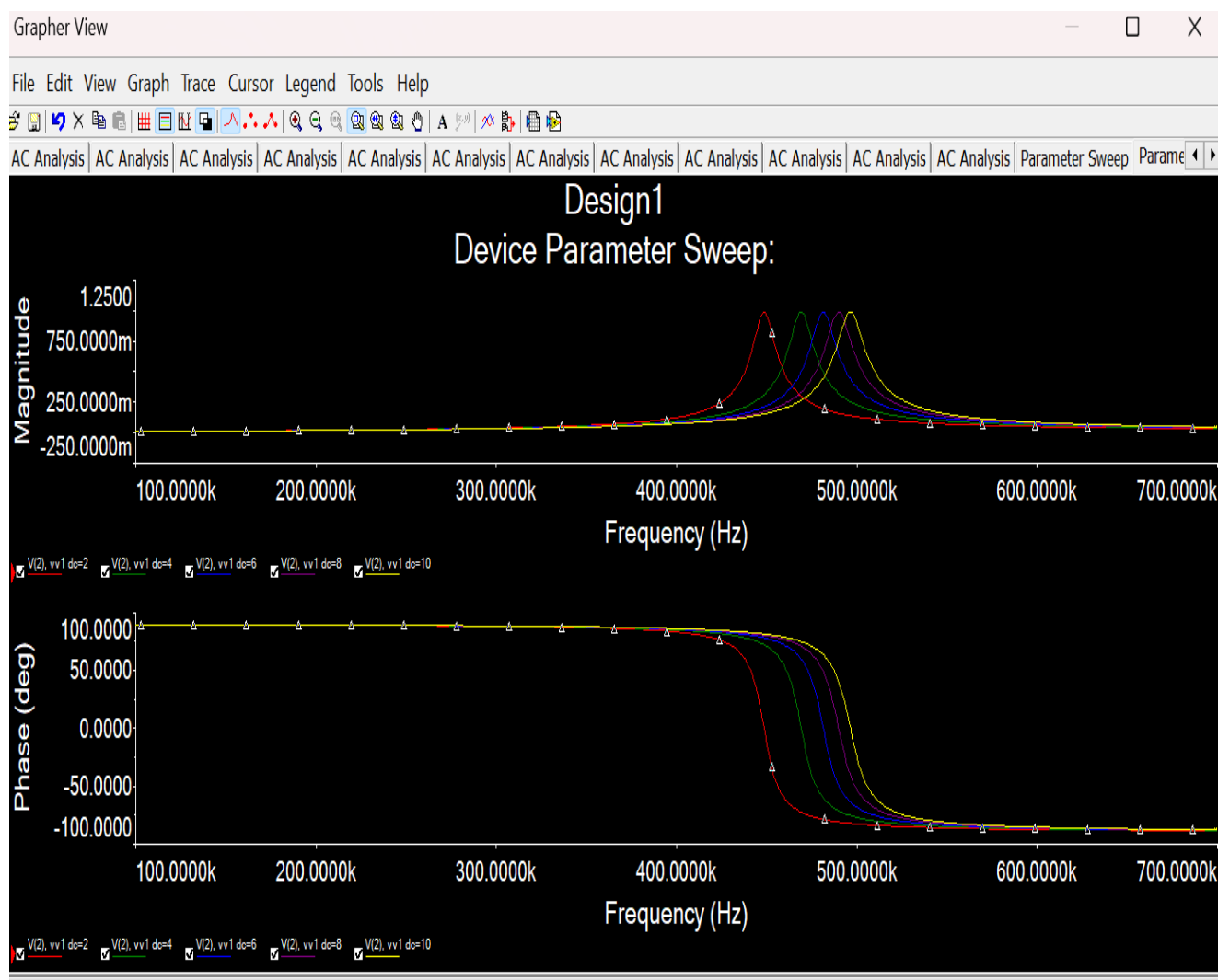
Для получения данных, необходимых для расчета параметров диода, проведем два вида анализов: анализ постоянного тока (DC Sweep), и анализ переменного тока (AC Analysis).

Для выполнения этих анализов мы воспользуемся функционалом Parameter Sweep (Simulate/Analyses/Parameter Sweep).

Отредактируем параметры основного (в нашем случае – частотного анализа):



В результате этих анализов мы получим несколько графиков, которые будут отображены на одной диаграмме. Каждый из этих графиков демонстрирует, как напряжение на диоде зависит от частоты источника V1 при определенном значении напряжения источника V2.



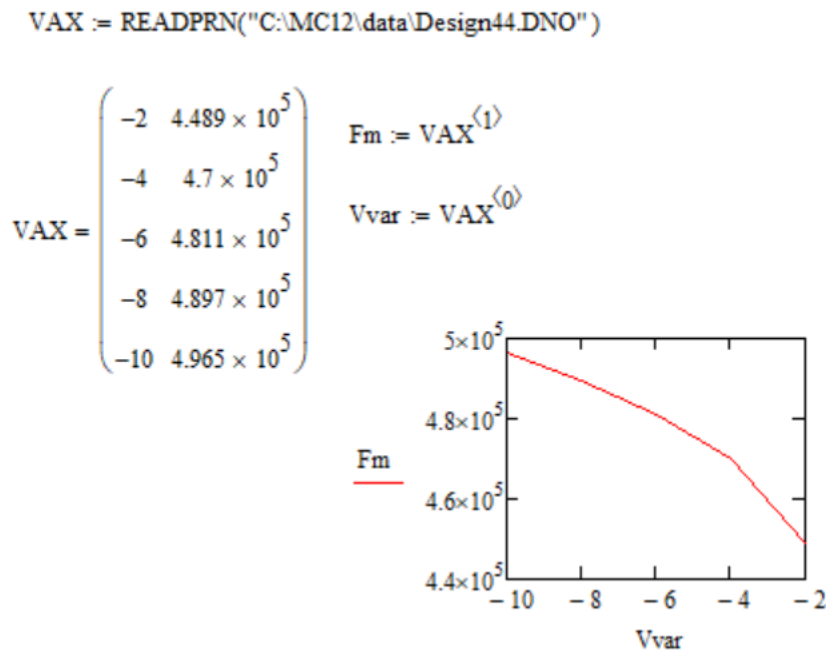
Далее создадим файл, в котором будут указаны резонансные частоты.

1	-2	448851
2	-4	469986
3	-6	481149
4	-8	489663
5	-10	496550

Теперь перенесем этот файл в Mathcad и выполним расчет параметров диода.

После импорта снятых показаний в программу Mathcad и записи их в матрицу DATA, в столбце Vvar содержатся значения напряжения, а в столбце Fm - резонансные частоты.

Построим график зависимости резонансной частоты от напряжения:



Согласно формуле Томпсона, резонансная частота контура связана с

характеристиками следующим образом: $F_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(C_k + C_d) \cdot L_k}}$

- C_k - емкость известного конденсатора ($C1$).
- L_k - известная индуктивность ($L1$).
- C_d - емкость диода

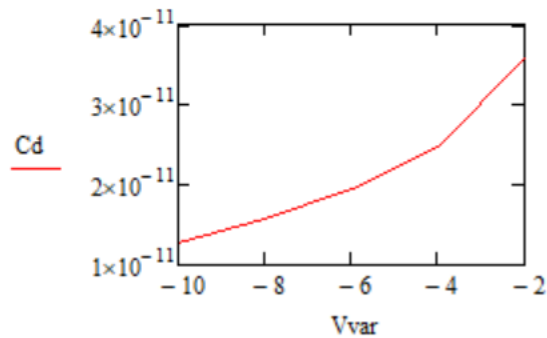
Исходя из этой формулы, емкость диода (C_d) может быть рассчитана следующим

образом: $C_d := \frac{-\left(C_k \cdot L_k - \frac{1}{4 \cdot F_m^2 \cdot \pi^2}\right)}{L_k}$

Проведем расчет емкости диода для всех значений напряжения и получим график зависимости емкости диода от напряжения:

$$C_d := \frac{-\left(C_k \cdot L_k - \frac{1}{4 \cdot F_m^2 \cdot \Pi^2}\right)}{I_k}$$

$$C_d = \begin{pmatrix} 3.586 \times 10^{-11} \\ 2.479 \times 10^{-11} \\ 1.953 \times 10^{-11} \\ 1.575 \times 10^{-11} \\ 1.284 \times 10^{-11} \end{pmatrix}$$



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:

$$\begin{aligned} C_{J0} &:= 10^{-12} \quad M := 0.5 \quad V_{J0} := 0.6 \\ \text{Given} \\ (C_{d0}) &= C_{J0} \cdot \left(1 - \frac{V_{var0}}{V_{J0}}\right)^{-M} \\ (C_{d1}) &= C_{J0} \cdot \left(1 - \frac{V_{var1}}{V_{J0}}\right)^{-M} \\ (C_{d2}) &= C_{J0} \cdot \left(1 - \frac{V_{var2}}{V_{J0}}\right)^{-M} \\ \text{Minerr}(C_{J0}, V_{J0}, M) &= \begin{pmatrix} 8.422 \times 10^{-11} \\ 0.81 \\ 0.687 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

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

.Model KD208A D(Is=181p N=1.31 Rs=0.12 **Cjo=96.3p** Tt=2.23e-7 **M=0.38**
Vj=0.68 Fc=0.5 Vv=100 IBv=1e-10 Eg=1.11 Xti=3)

Cjo: у модели KD208A: 96.3 пФ. Полученные данные: 84.22 пФ. Данные имеют немного меньшее значение Cjo по сравнению с моделью KD208A (12 пикофард), но разница не кажется критической.

Vj: у модели KD208A: 0.68 В. Полученные данные: 0.81 В. Потенциал выше, чем у модели KD208A.

M: у модели KD208A: 0.38. Полученные данные: 0.687. Полученные данные показывают, что значение M больше, чем у модели KD208A.

Это также свидетельствует о небольших различиях в характеристиках. В общем, отклонения между полученными данными и характеристиками модели KD208A 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.