

МГТУ им. Баумана

Дисциплина “Основы электроники”

**Лабораторная работа №4**

**Исследование характеристик и параметров  
полупроводниковых диодов.**

Работу выполнила:

Ляпина Н.В.

группа ИУ7-32Б

вариант №12

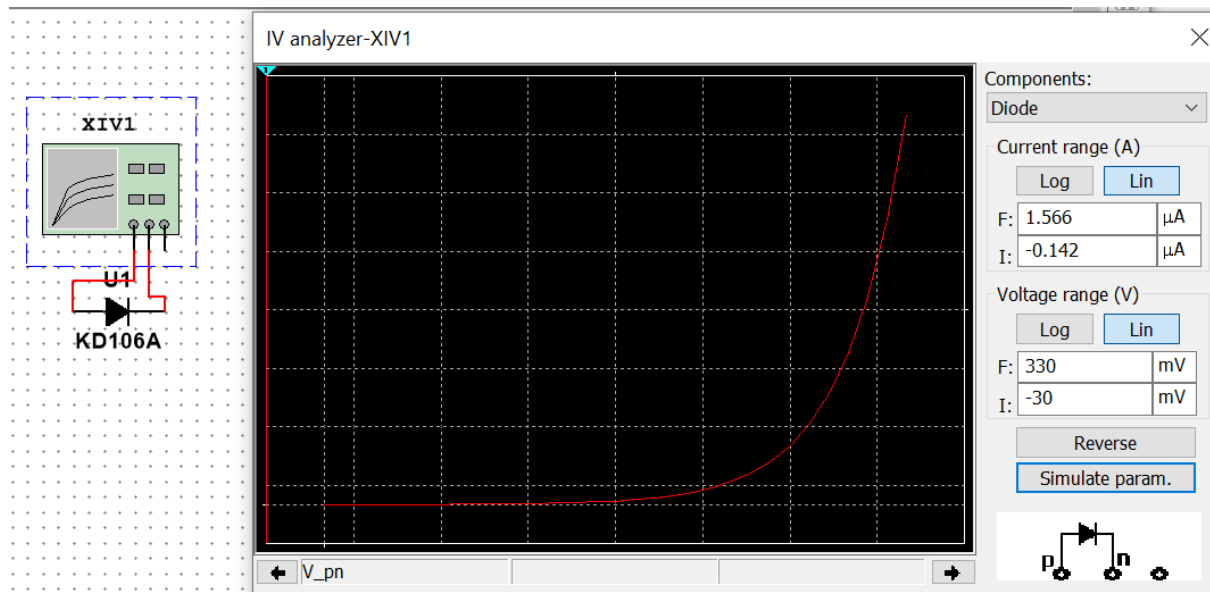
Работу проверил:

2021г.

**Цель работы:** Получение и исследование статических и динамических характеристик германиевого и кремниевых полупроводниковых диодов с целью определения по ним параметров модели полупроводниковых диодов, размещения моделей в базе данных программ схемотехнического анализа. Приобрести навыки в использовании базовых возможностей программ схемотехнического анализа, на примере программы Multisim, для исследования статических и динамических характеристик полупроводниковых диодов с последующим расчетом параметров модели полупроводникового диода. Приобретение навыков расчета моделей полупроводниковых приборов по данным, полученным в экспериментальных исследованиях и включение модели в базу компонентов.

## Эксперимент 5

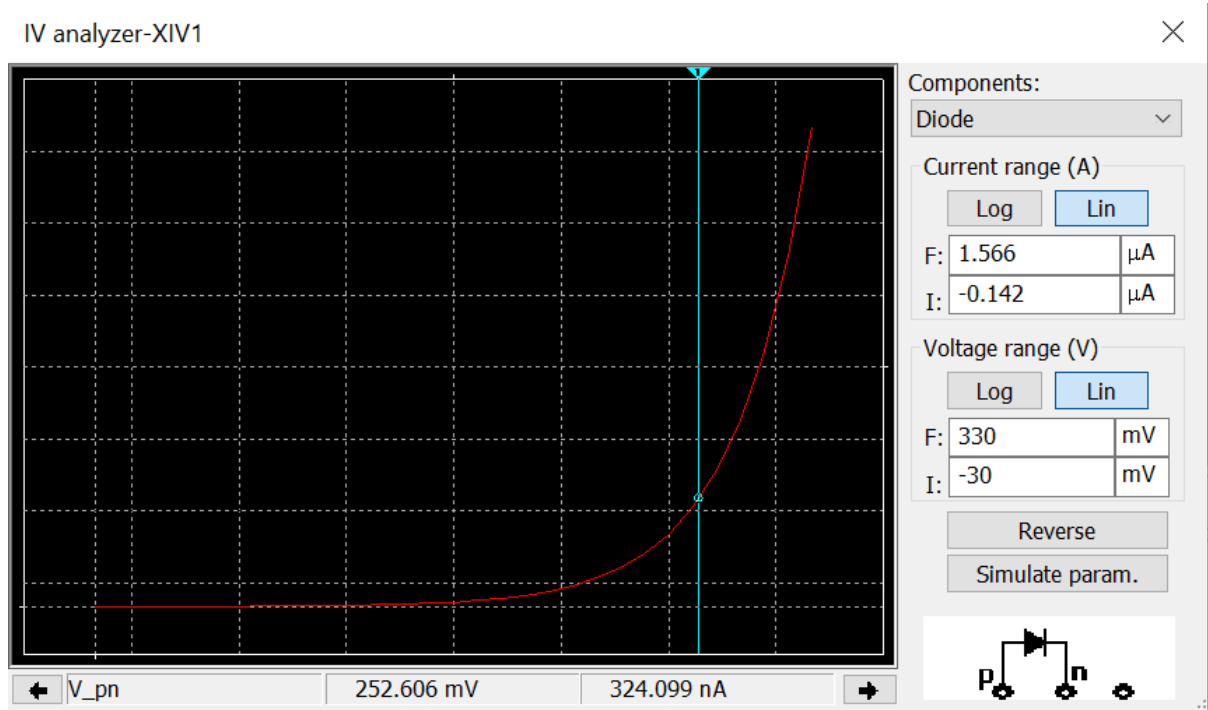
### Схема установки



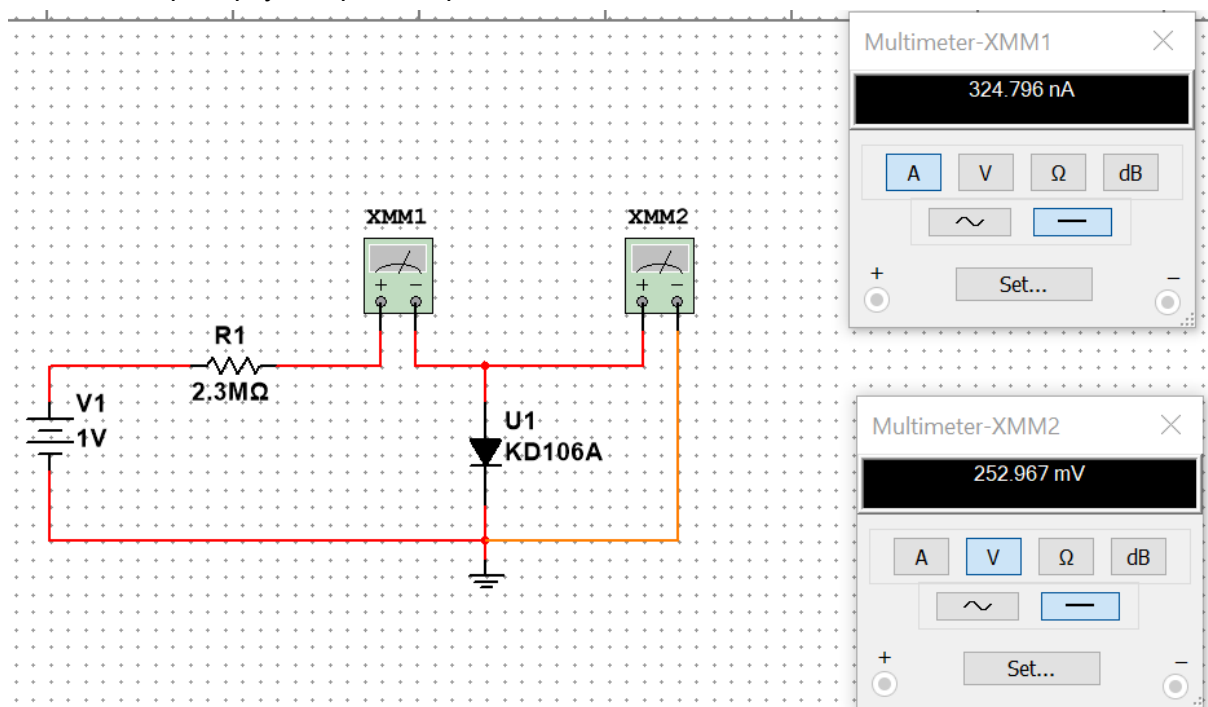
Экспортируем данные в файл

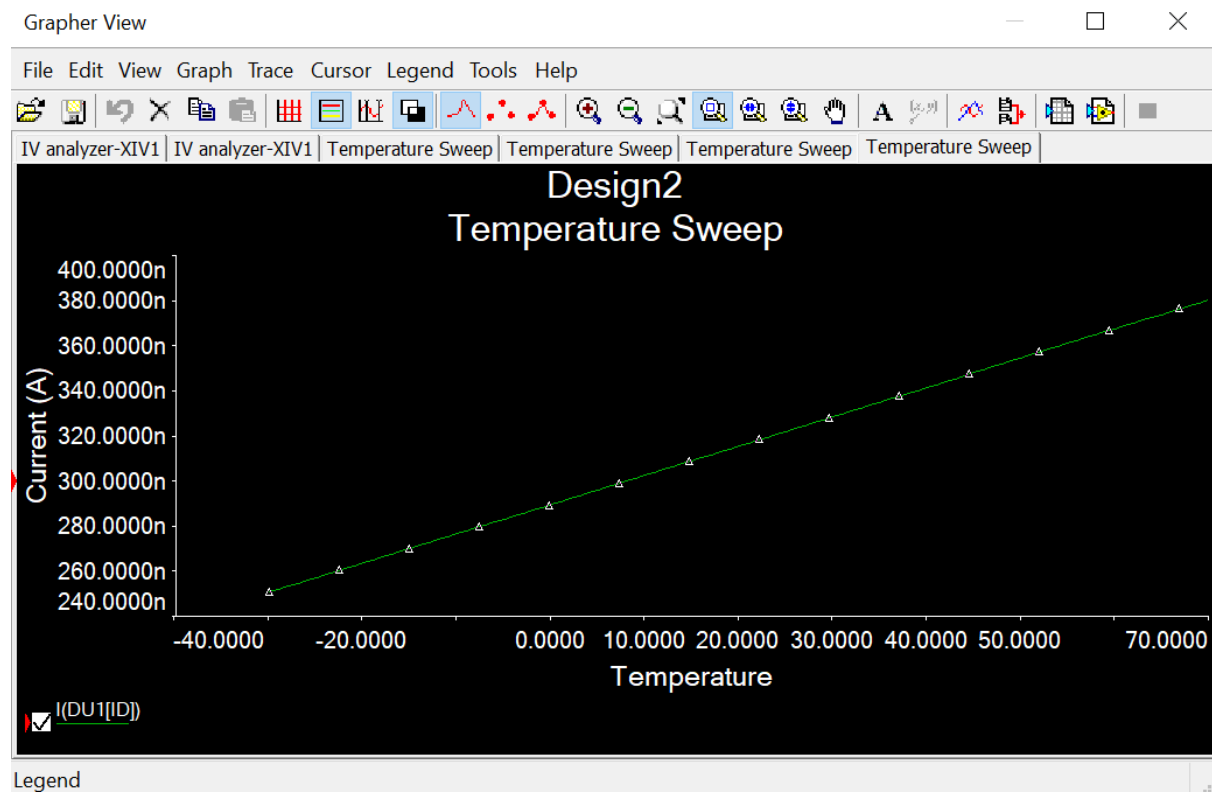
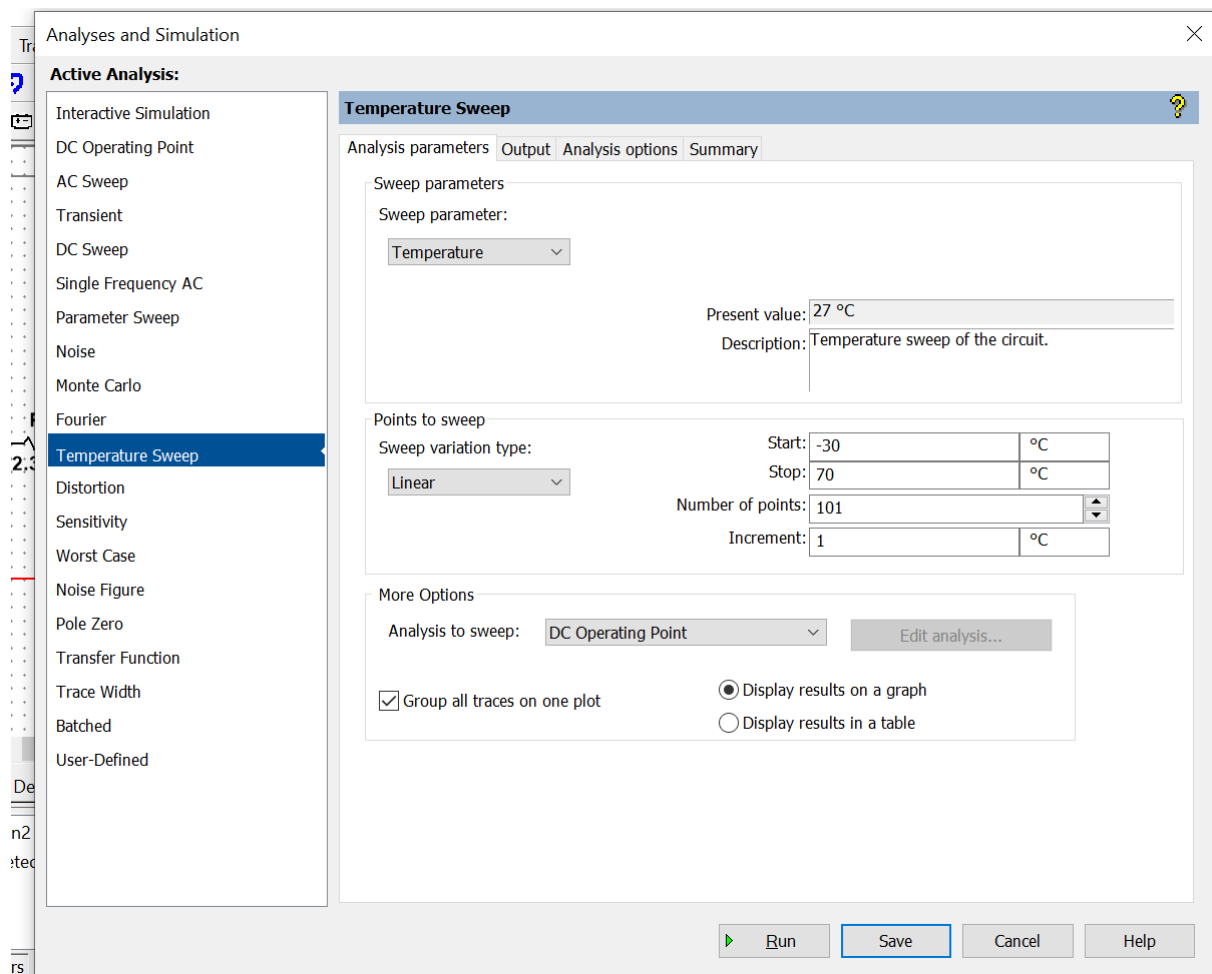
```
X_Unit_Label      V) (V_pn
X0      0.000000e+000
Delta_X      1.000000e-002
***End_of_Header***
X_Value_1      Trace_1(V_pn)      Comment
0.000000e+000      -1.085467e-036      ---
1.000000e-002      4.224687e-011      ---
2.000000e-002      1.000867e-010      ---
3.000000e-002      1.792786e-010      ---
4.000000e-002      2.877091e-010      ---
5.000000e-002      4.361775e-010      ---
6.000000e-002      6.394720e-010      ---
7.000000e-002      9.178425e-010      ---
8.000000e-002      1.299018e-009      ---
9.000000e-002      1.820971e-009      ---
1.000000e-001      2.535697e-009      ---
1.100000e-001      3.514397e-009      ---
1.200000e-001      4.854571e-009      ---
1.300000e-001      6.689729e-009      ---
1.400000e-001      9.202694e-009      ---
1.500000e-001      1.264382e-008      ---
```

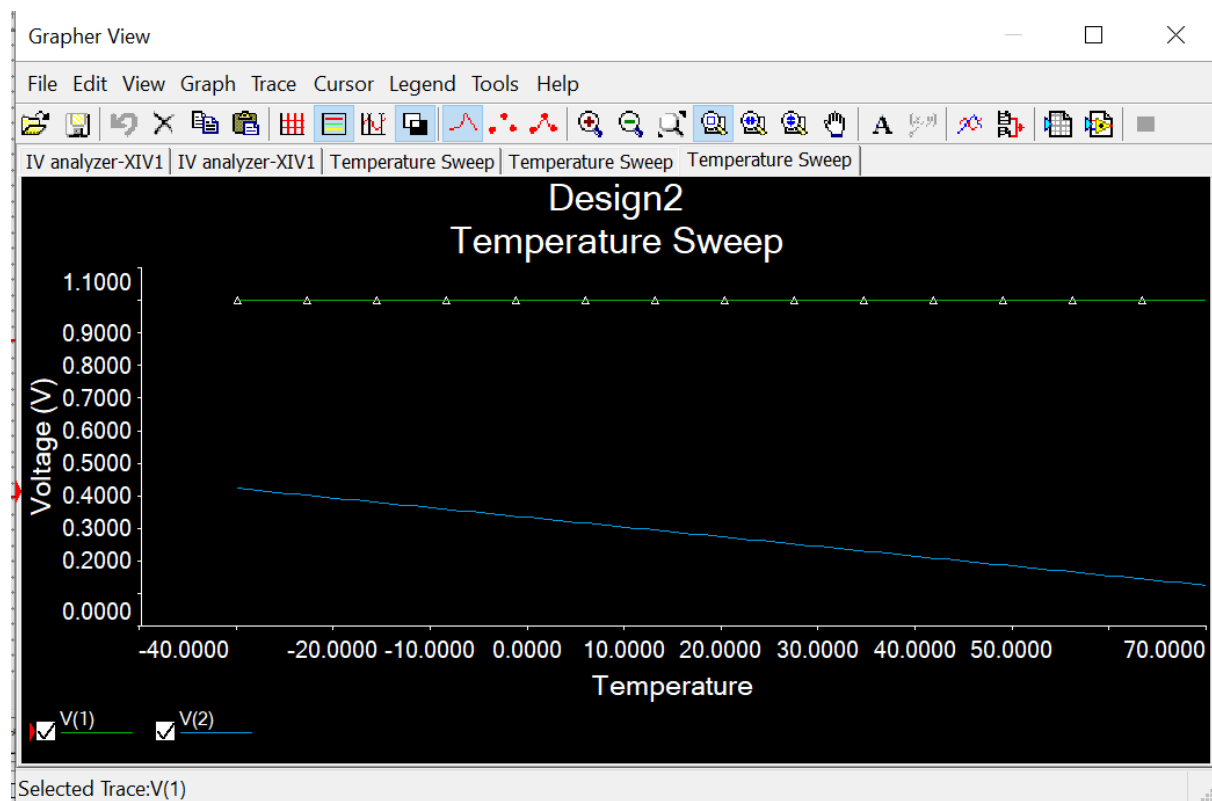
Исследуем ВАХ в диапазоне температур до -30 до 70 градусов Цельсия. Для начала рассчитаем R1, которое обеспечивает работу диода. Для этого выберем произвольную рабочую точку диода на графике ВАХ, снятом IV analyzer.



Сопротивление при источнике 1 Вольт :  $R = 2,3 \text{ МОм}$   
Выполним проверку выбранной рабочей точки





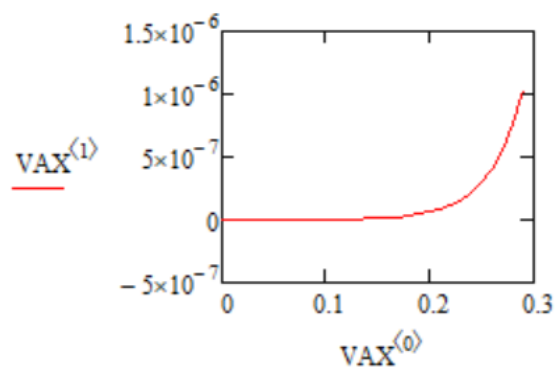


Теперь построим BAX в Mathcad, рассчитаем параметры модели и сравним две BAX (исходную и модельную)

$VAX := \text{READPRN}("C:\text{MC12}\text{lab\_04.txt}")$

VAX =

	0	1
0	0	0
1	0.01	$4.225 \cdot 10^{-11}$
2	0.02	$1.001 \cdot 10^{-10}$
3	0.03	$1.793 \cdot 10^{-10}$
4	0.04	$2.877 \cdot 10^{-10}$
5	0.05	$4.362 \cdot 10^{-10}$
6	0.06	$6.395 \cdot 10^{-10}$
7	0.07	$9.178 \cdot 10^{-10}$
8	0.08	$1.299 \cdot 10^{-9}$
9	0.09	$1.821 \cdot 10^{-9}$
10	0.1	$2.536 \cdot 10^{-9}$
11	0.11	$3.514 \cdot 10^{-9}$
12	0.12	$4.855 \cdot 10^{-9}$
13	0.13	$6.69 \cdot 10^{-9}$
14	0.14	$9.203 \cdot 10^{-9}$
15	0.15	...



Трассировкой выбраны 4 точки и рассчитаны приближения

Метод GIVEN MINERR

Начальное приближение

$R_b := 1$   $Is0 := 0.0000001$   $m := 2$   $Ft := 0.02$

Given

$$Ud4 = Id4 \cdot R_b + \ln \left[ \frac{(Is0 + Id4)}{Is0} \right] \cdot m \cdot Ft$$

$$Ud1 = Id1 \cdot R_b + \ln \left[ \frac{(Is0 + Id1)}{Is0} \right] \cdot m \cdot Ft$$

$$Ud2 = Id2 \cdot R_b + \ln \left[ \frac{(Is0 + Id2)}{Is0} \right] \cdot m \cdot Ft$$

$$Ud3 = Id3 \cdot R_b + \ln \left[ \frac{(Is0 + Id3)}{Is0} \right] \cdot m \cdot Ft$$

$$Ud1 := 0.14 \quad Id1 := 9.202694e-009$$

$$Ud2 := 0.19 \quad Id2 := 4.474337e-008$$

$$Ud3 := 0.24 \quad Id3 := 2.158627e-007$$

$$Ud4 := 0.27 \quad Id4 := 5.544494e-007$$

$$R_b := \frac{(Ud1 - 2 \cdot Ud2 + Ud3)}{Id1} = 0$$

$$NFt := \frac{[(3Ud2 - 2Ud1) - Ud3]}{\ln(2)} = 0.072$$

$$Is0 := Id1 \cdot \exp \left[ \frac{(Ud2 - 2Ud1)}{NFt} \right] = 2.643 \times 10^{-9}$$

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

$$Diod\_P = \begin{pmatrix} 1.143 \times 10^{-10} \\ -1.87 \\ 1.669 \\ 0.019 \end{pmatrix}$$

ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА ВАХ МОДЕЛИ И ИСХОДНЫХ ТАБЛИЧНЫХ ДАННЫХ:

данные расчета  $Rb1 := 1.143 \times 10^{-10}$   $NFt1 := 0.015 \cdot 2.727$   $Is01 := 7.005 \cdot 10^{-10}$

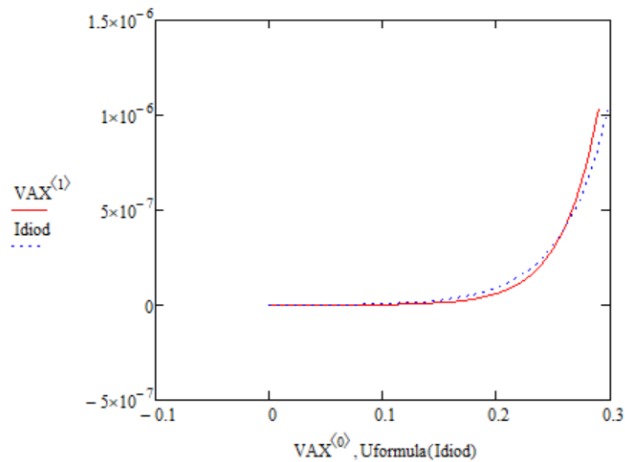
$$Idiod := 0, 10^{-5} \dots 0.023$$

$$Uformula(Idiod) := Idiod \cdot Rb1 + NFt1 \cdot \ln \left[ \frac{(Idiod + Is01)}{Is01} \right]$$

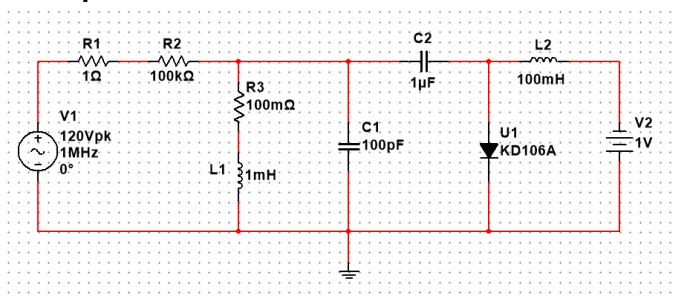
$$Idiod =$$

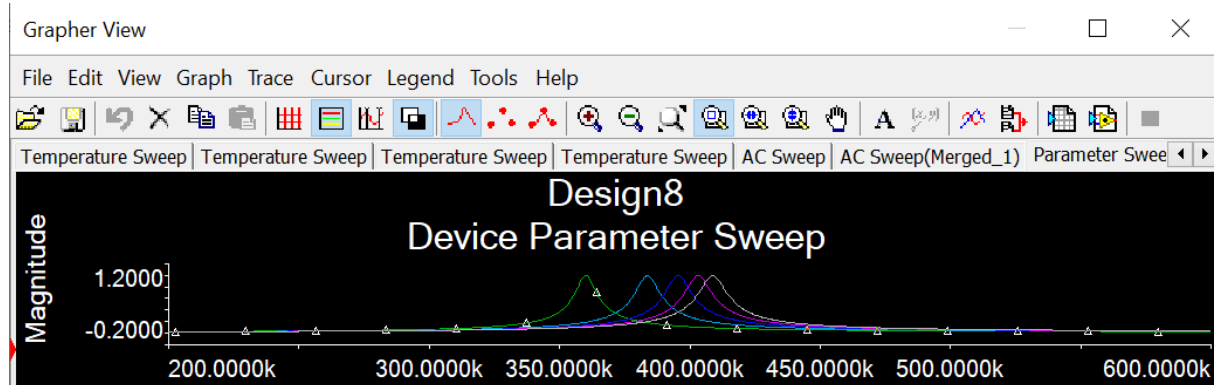
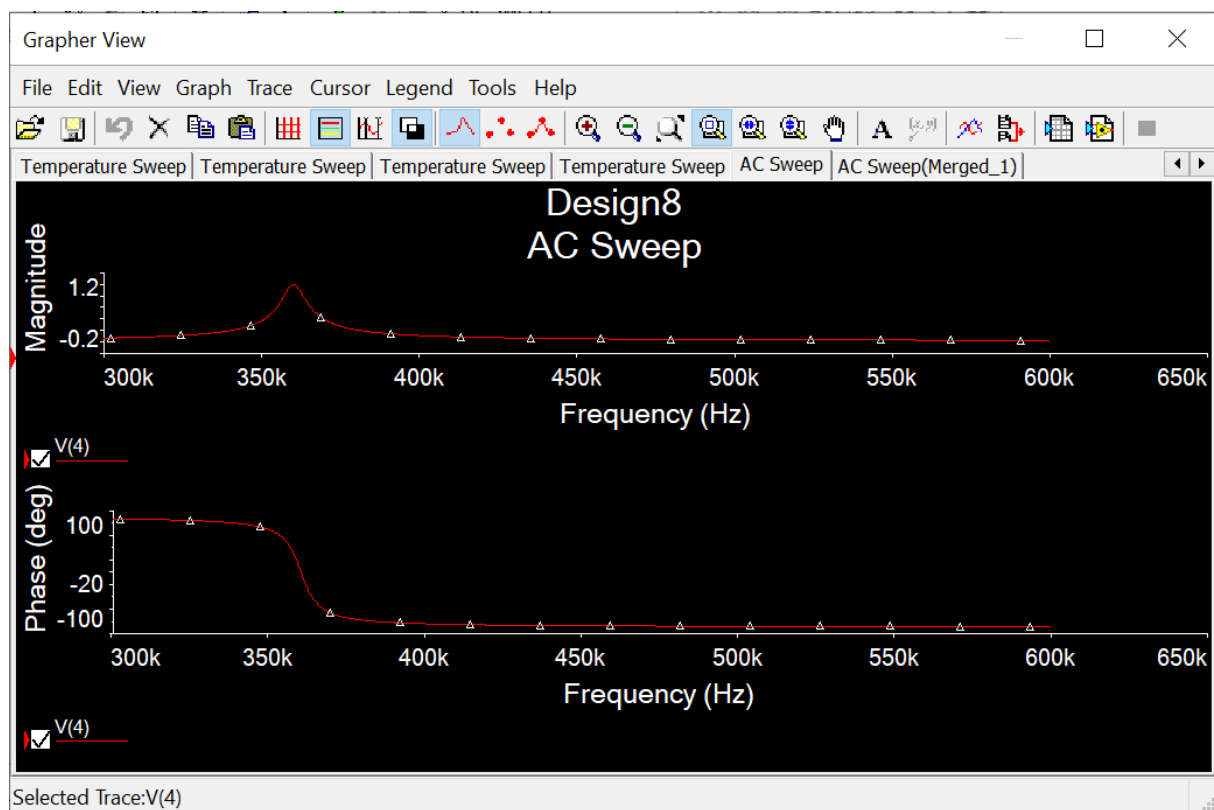
0
1·10 <sup>-5</sup>
2·10 <sup>-5</sup>
3·10 <sup>-5</sup>
4·10 <sup>-5</sup>
5·10 <sup>-5</sup>
6·10 <sup>-5</sup>
7·10 <sup>-5</sup>
8·10 <sup>-5</sup>
9·10 <sup>-5</sup>
1·10 <sup>-4</sup>
1.1·10 <sup>-4</sup>
1.2·10 <sup>-4</sup>
1.3·10 <sup>-4</sup>
1.4·10 <sup>-4</sup>
...

$$Idiod = VAX^{(1)}$$



## Эксперимент 6

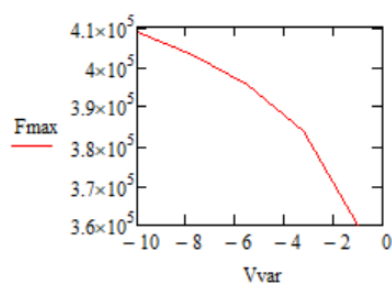




Вручную выпишем пики в Mathcad и производим расчёт параметров диода

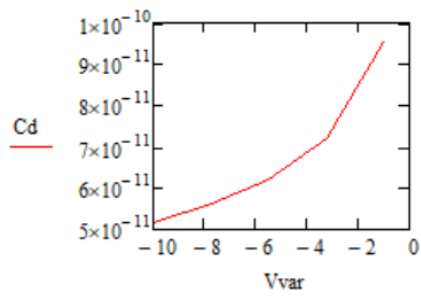
$$F_{max} := \begin{pmatrix} 360160 \\ 383784 \\ 395395 \\ 403003 \\ 408608 \end{pmatrix}$$

$$V_{var} := \begin{pmatrix} -1 \\ -3.25 \\ -5.5 \\ -7.75 \\ -10 \end{pmatrix}$$



$$Lk := 10^{-3} \quad Ck := 10^{-10} \quad \pi := 3.14 \quad Fr := Fmax$$

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



$$M := 0.33 \quad Cj0 := 130 \cdot 10^{-12} \quad Vj0 := 0.71$$

---


$$Cd = \begin{pmatrix} 9.547 \times 10^{-11} \\ 7.215 \times 10^{-11} \\ 6.219 \times 10^{-11} \\ 5.612 \times 10^{-11} \\ 5.187 \times 10^{-11} \end{pmatrix} \quad Vvar = \begin{pmatrix} -1 \\ -3.25 \\ -5.5 \\ -7.75 \\ -10 \end{pmatrix}$$

Given

$$5.187 \times 10^{-11} = Cj0 \cdot \left(1 - \frac{-10}{Vj0}\right)^{-M}$$

$$5.612 \times 10^{-11} = Cj0 \cdot \left(1 - \frac{-7.75}{Vj0}\right)^{-M}$$

$$6.219 \times 10^{-11} = Cj0 \cdot \left(1 - \frac{-5.5}{Vj0}\right)^{-M}$$

$$7.215 \times 10^{-11} = Cj0 \cdot \left(1 - \frac{-3.25}{Vj0}\right)^{-M}$$

$$Diod\_P := Minerr(Cj0, Vj0, M)$$



$$\text{Diod\_P} = \begin{pmatrix} 1.239 \times 10^{-10} \\ 0.819 \\ 0.337 \end{pmatrix}$$

Полученные параметры

$$C_{j1} := 1.239 \times 10^{-10} \quad V_{j1} := 0.819 \quad M1 := 0.337$$

$$Cd1(U) := C_{j1} \cdot \left(1 - \frac{U}{V_{j1}}\right)^{-M1}$$

Параметры из библиотеки

$$C_{j0} = 1.3 \times 10^{-10} \quad V_{j0} = 0.71 \quad M = 0.33$$

$$Cdmain(U) := C_{j0} \cdot \left(1 - \frac{U}{V_{j0}}\right)^{-M}$$

