

МГТУ им. Н. Э. Баумана  
Курс «Основы Электроники»

Лабораторная работа №4  
«ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ  
ДИОДОВ В MULTISIM»

Работу выполнил:  
Студент группы ИУ7-32Б  
Апсуваев Рамазан

**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

Построим цепь на рисунке 1

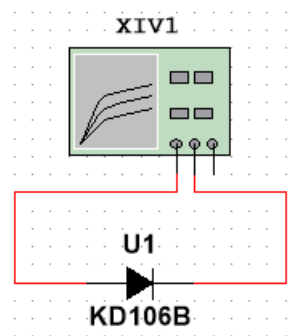


Рис. 1, построенная цепь

Настроим IV analyzer в соответствии с рисунком 2

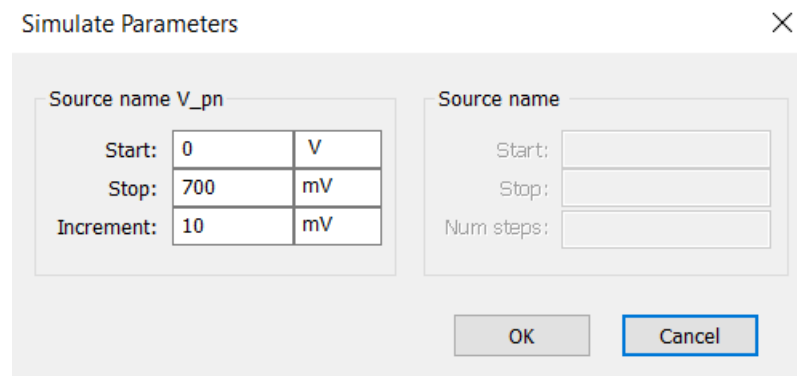


Рис. 2, настройки IV analyzer

Запустим цепь, получим следующую цепь, показанную на рисунке 3

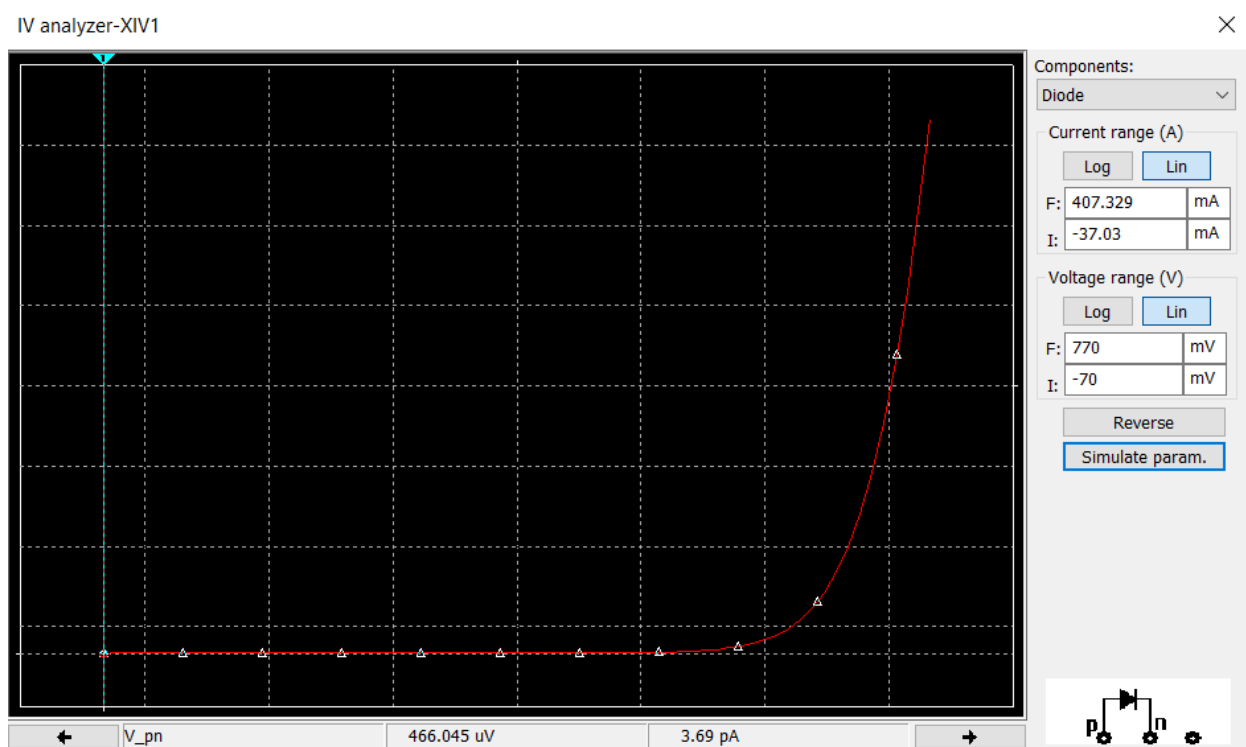


Рис. 3, график на IV analyzer

Запустив Grapher View (рис. 4), экспортируем данные, показанные на рисунке 5

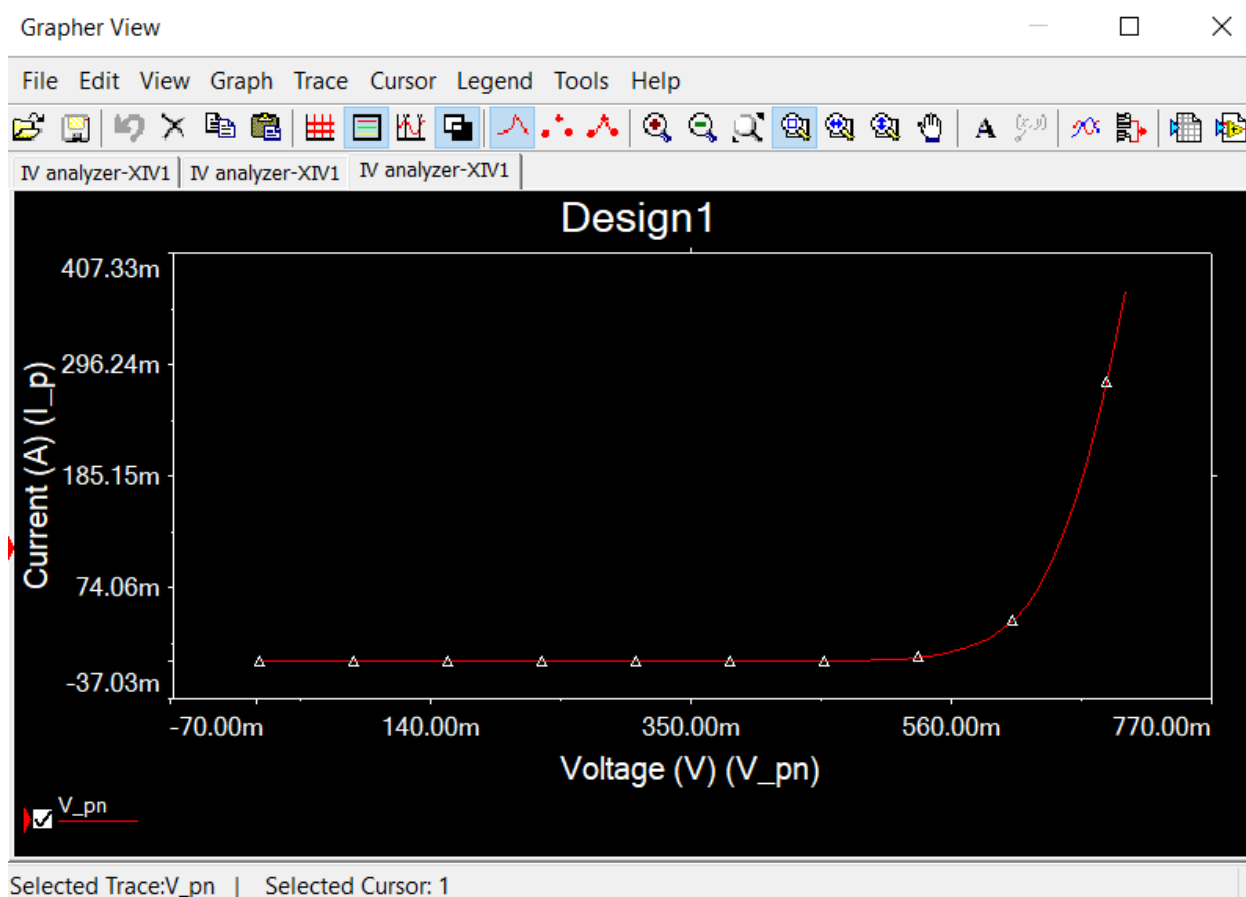


Рис. 4, открытый в Grapher View график

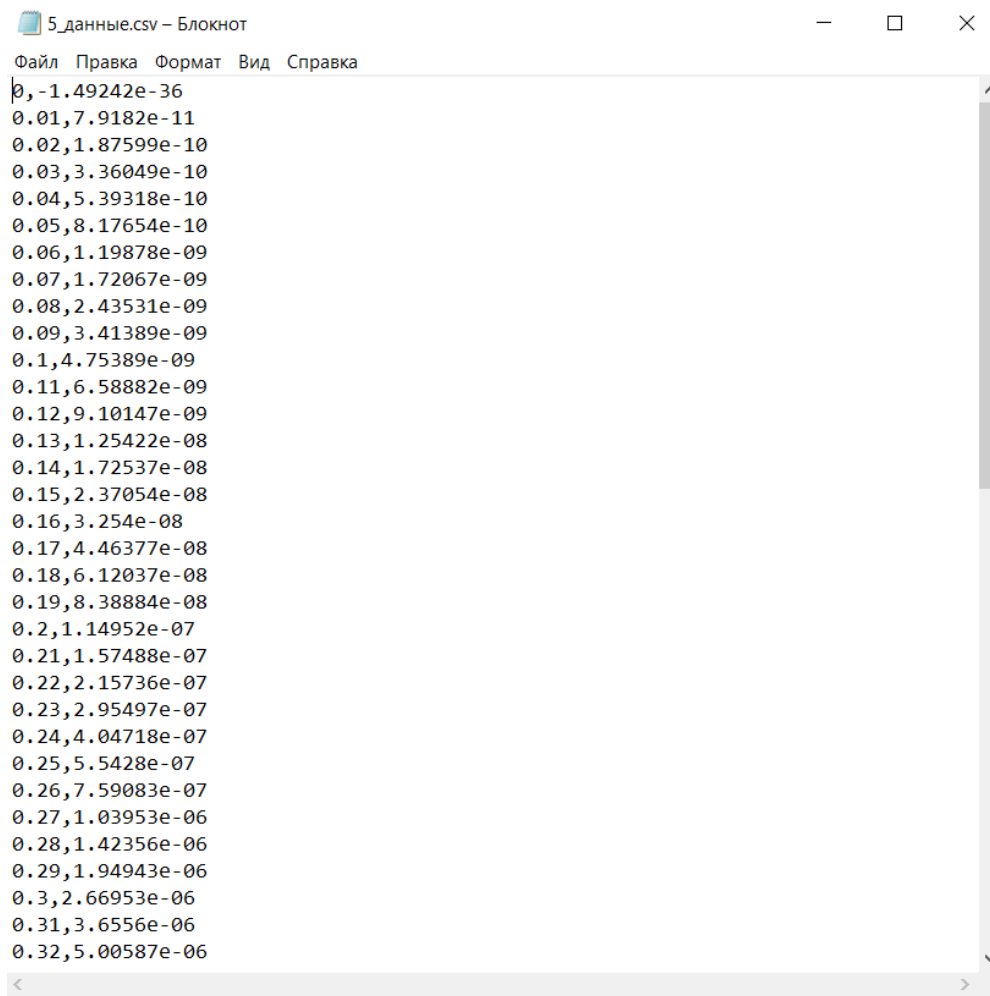


Рис. 5, экспортированные данные

Проведем анализ влияния изменения температуры на характеристики устройства. Для этого построим цепь, изображенную на рисунке 6

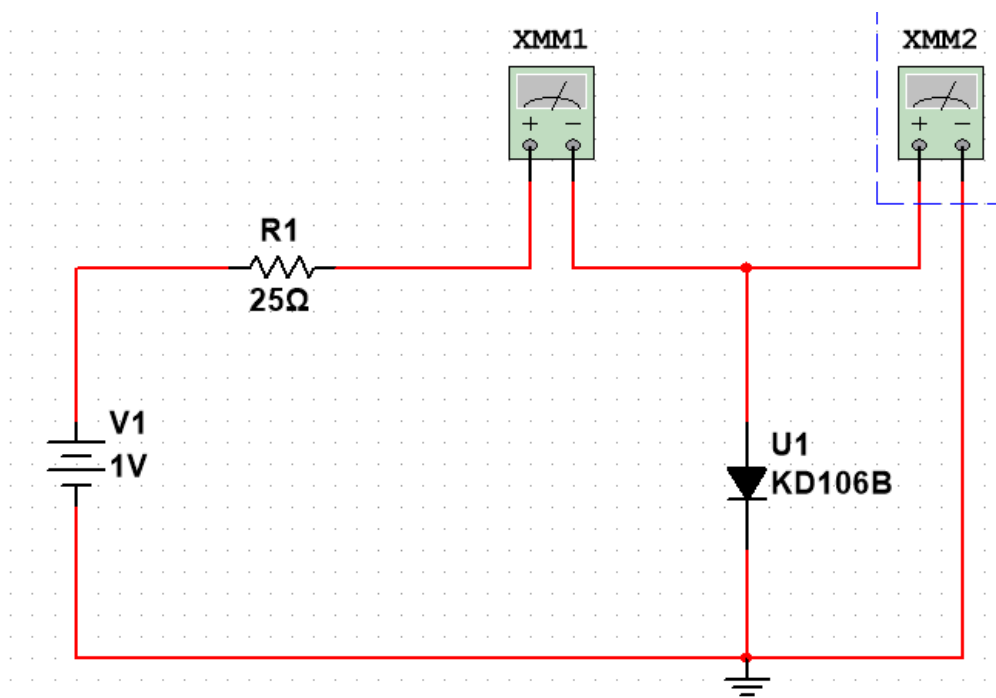


Рис. 6, цепь для анализа влияния температуры

Выберем рабочую точку диода, указанную на рисунке 7.

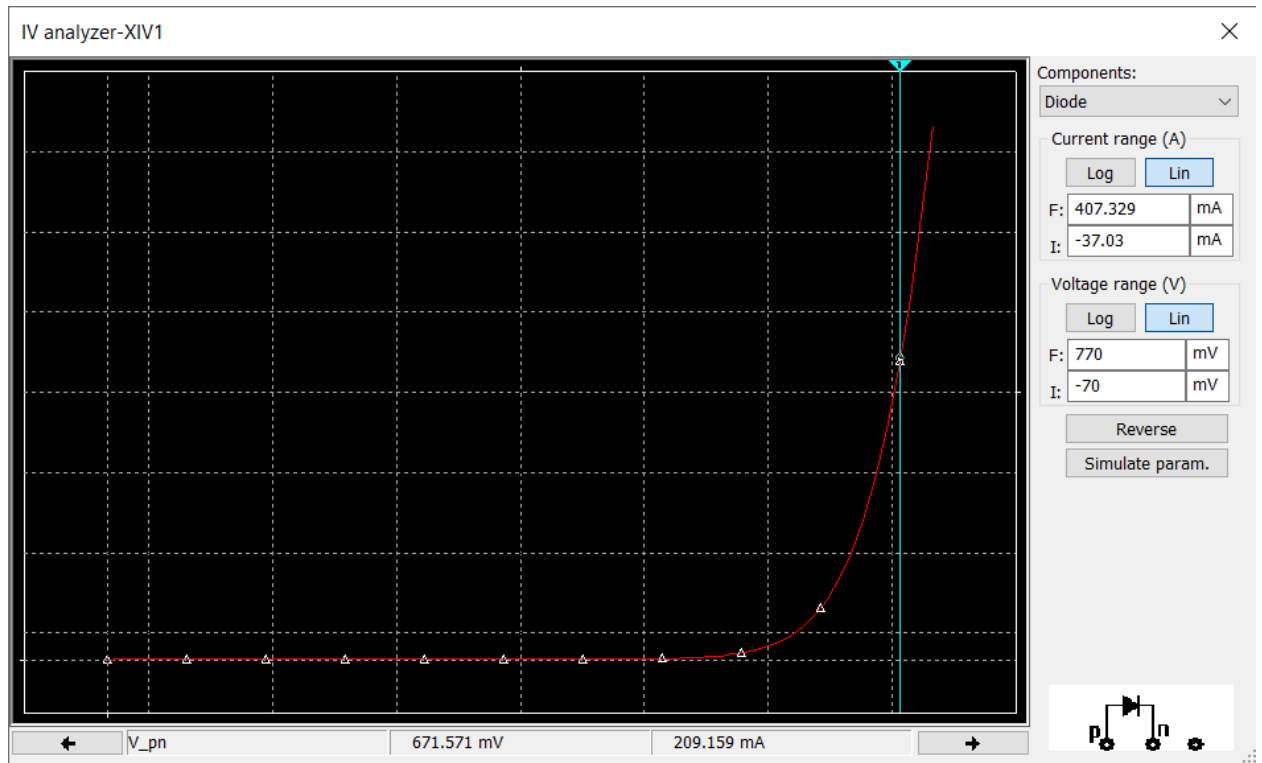


Рис. 7, рабочая точка диода

На выбранной точке диода напряжение равно 671.571 мВ, 209.156 мА.

Расчитаем величину сопротивления R1, которое обеспечит работу диода в выбранной рабочей точке с источником V1 по формуле  $R1 = (U_{ист} - U_{диод}) / I_{диод}$ . Расчеты показаны на рисунке 8.

$$(1 - 0,671517) \div 0,209159 =$$

$$1,5704942173179255972728$$

$$88089922$$

Рис. 8, расчеты R1

То есть R1 примерно равно 1.6. Проверим эти расчеты экспериментально (рисунок 9)

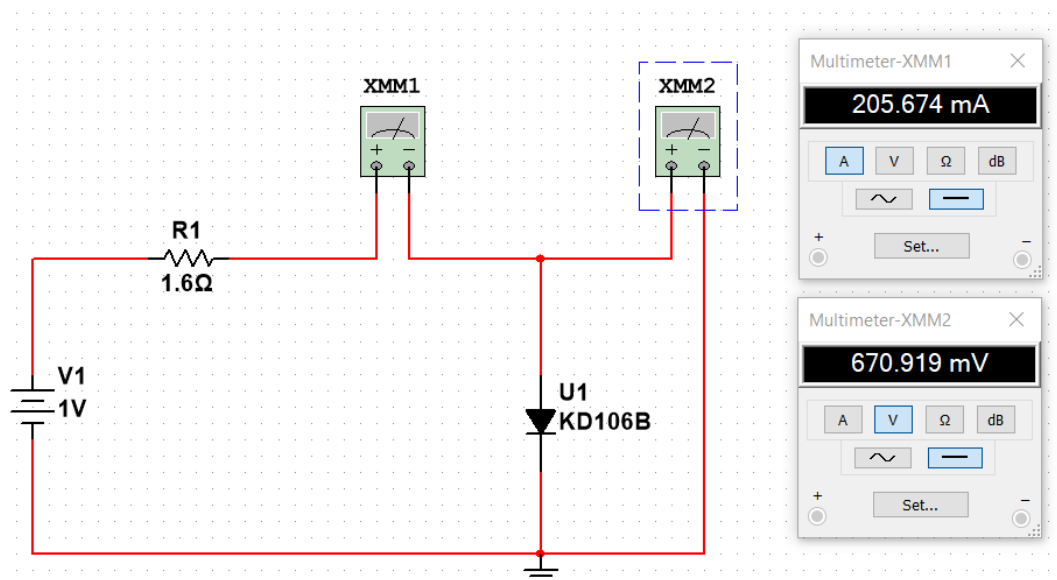


Рис. 10, проверка расчетов

Далее, настроим Temperature Sweep как на рисунке 11, для получения данных напряжения и тока также настроим Temperature Sweep в соответствии с рисунками 12, 13 соответственно.

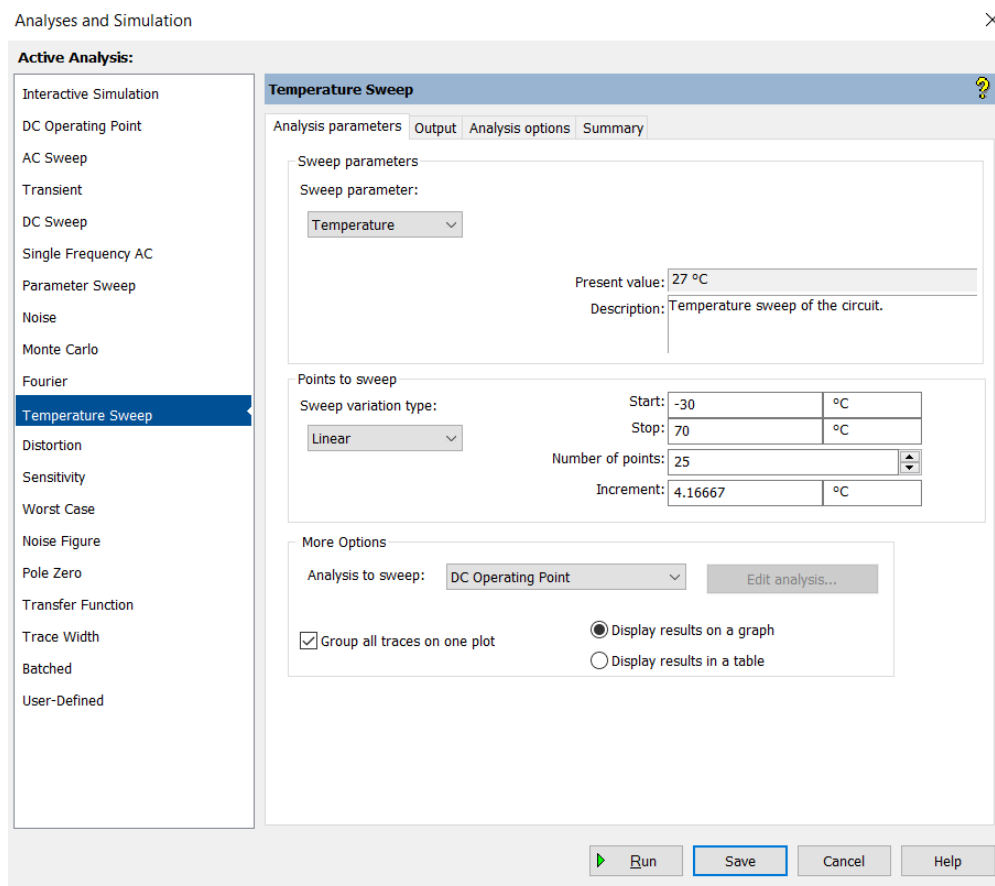


Рис. 11, настройки Temperature Sweep

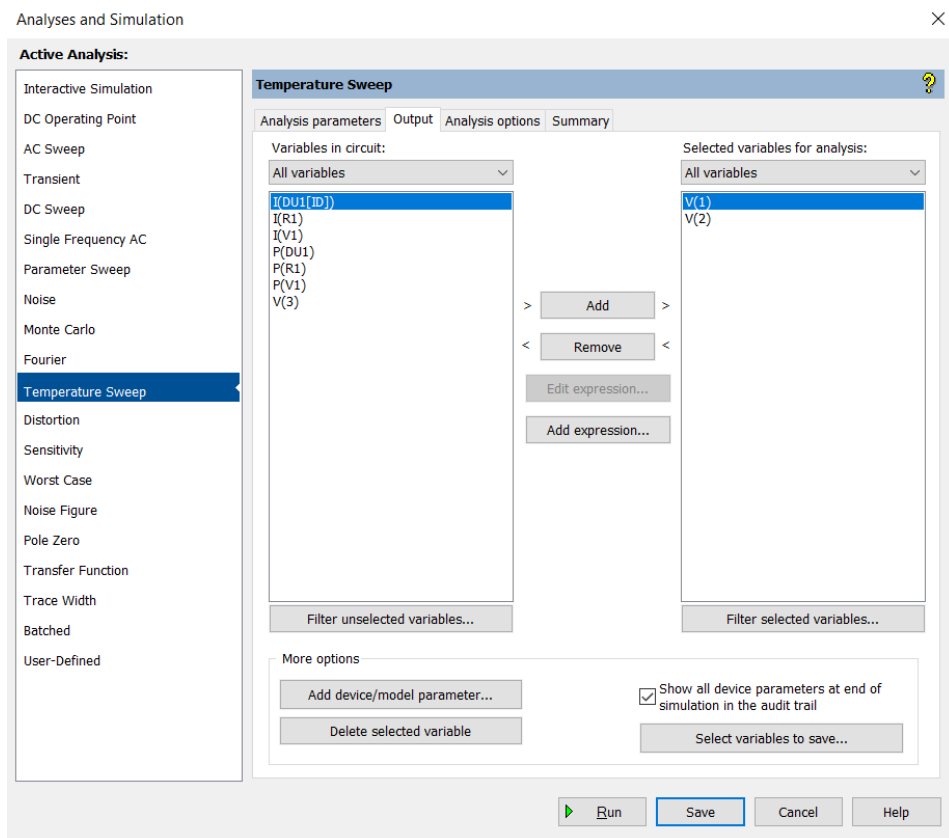


Рис. 12, настройка Output для напряжений

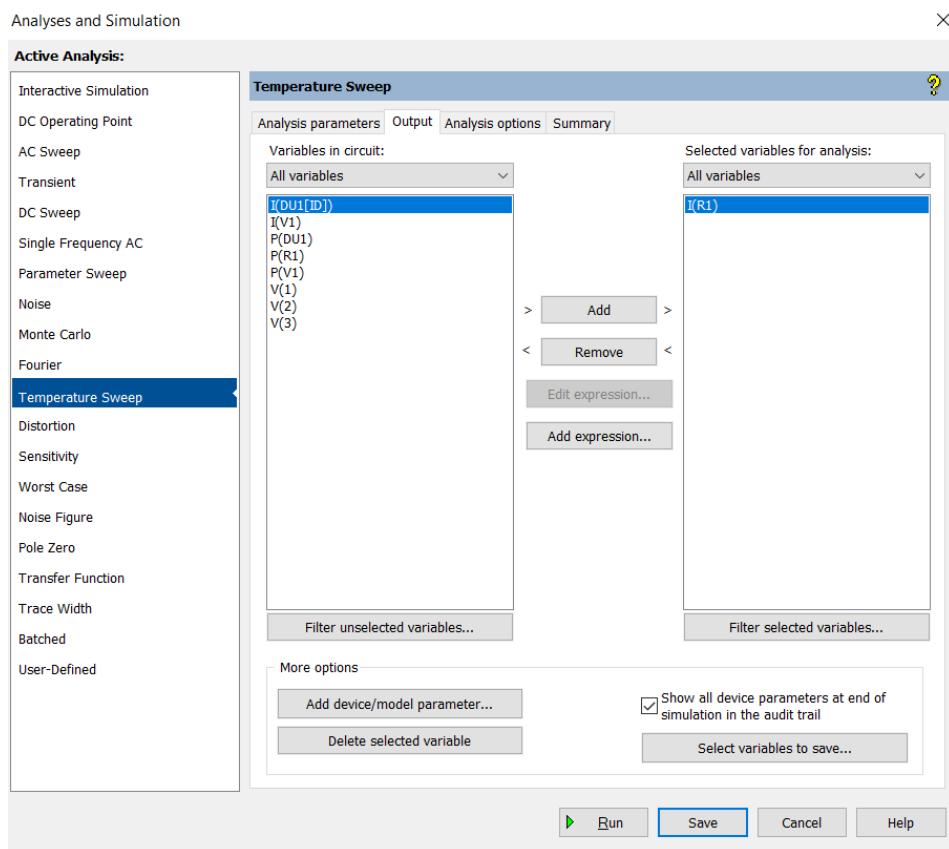


Рис. 13, настройка Output для получения замеров для тока

Запустим тесты и получим следующие графики (рис. 14 и рис. 15)

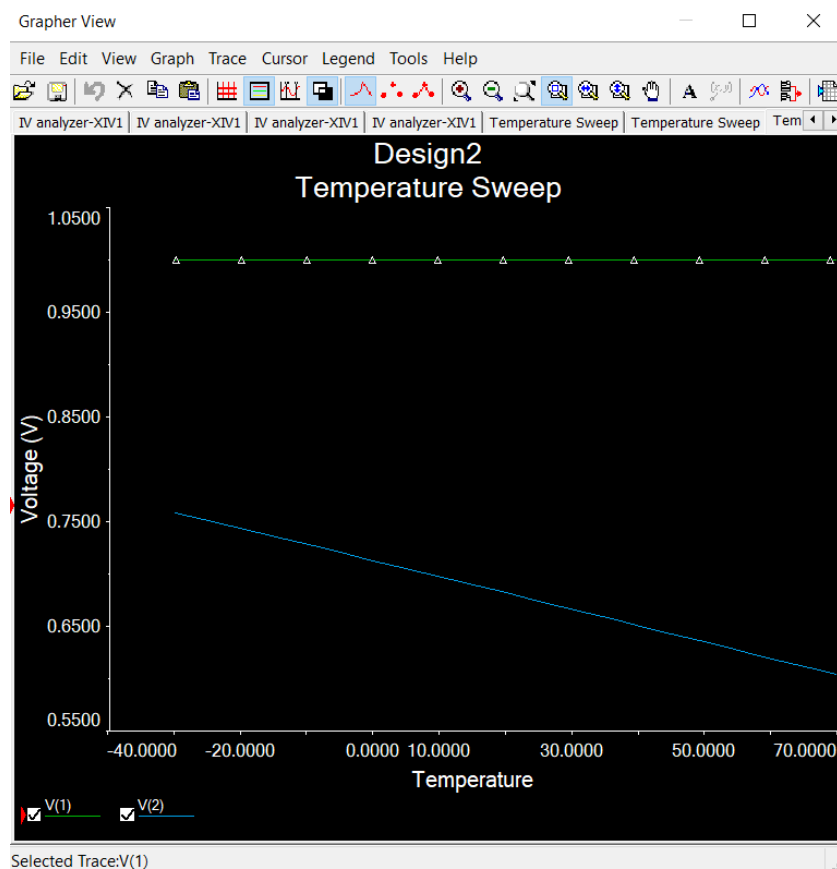


Рис. 14, замеры по напряжению

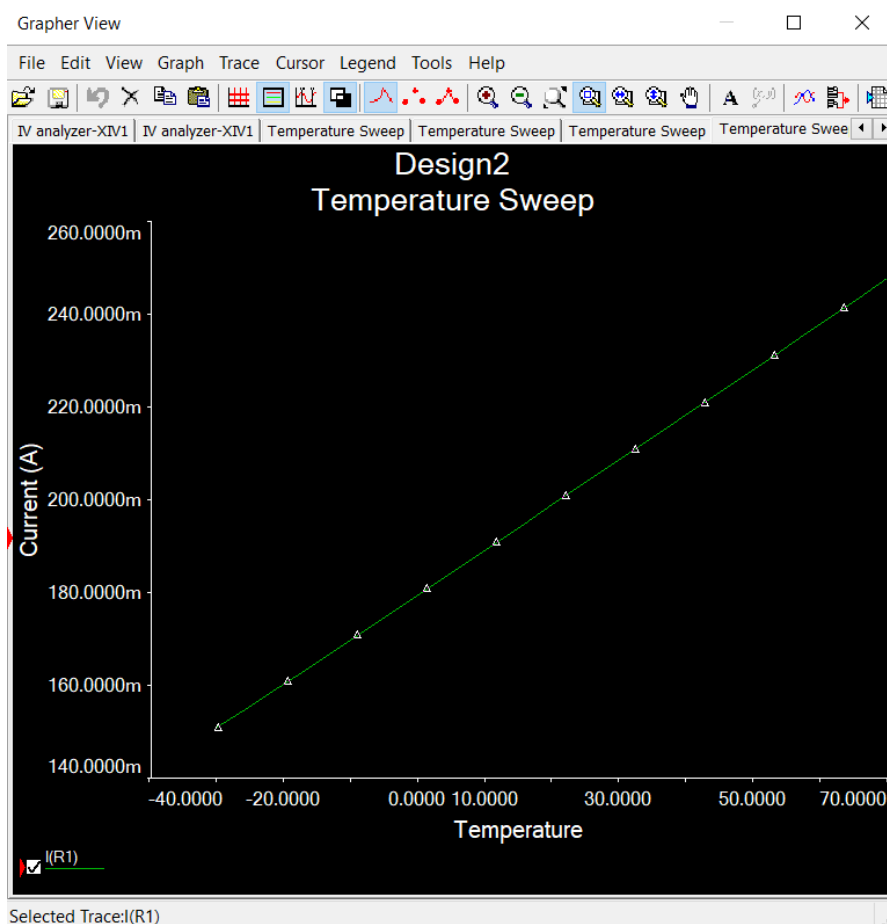


Рис. 15, замеры по току



## Эксперимент 6

Построим цепь, изображенную на рисунке 16.

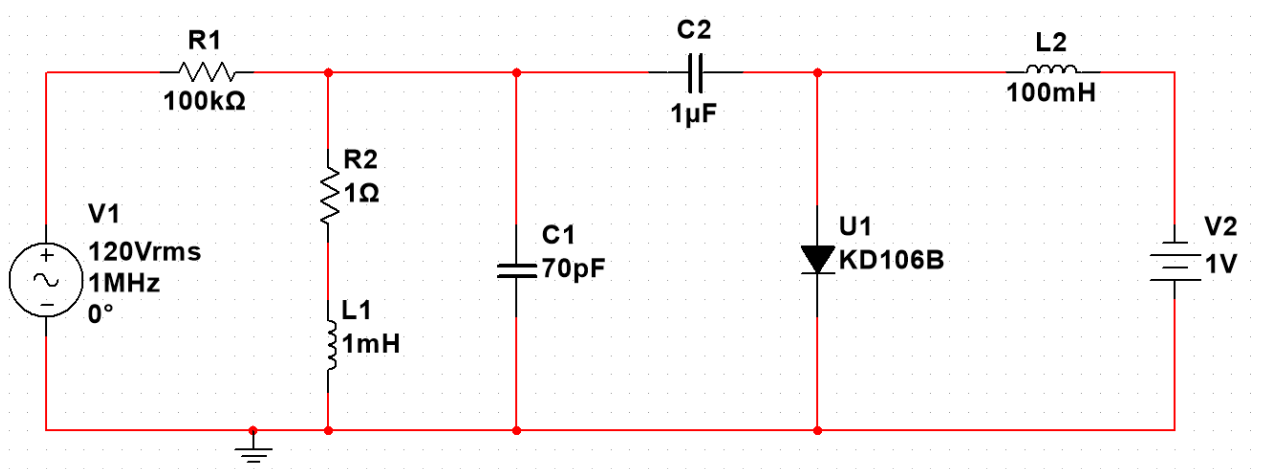


Рис. 16, цепь для исследования ВФХ полупроводникового диода

Проведем частотный (AC) анализ цепи с помощью AC Sweep, используя следующие параметры (рисунок 17)

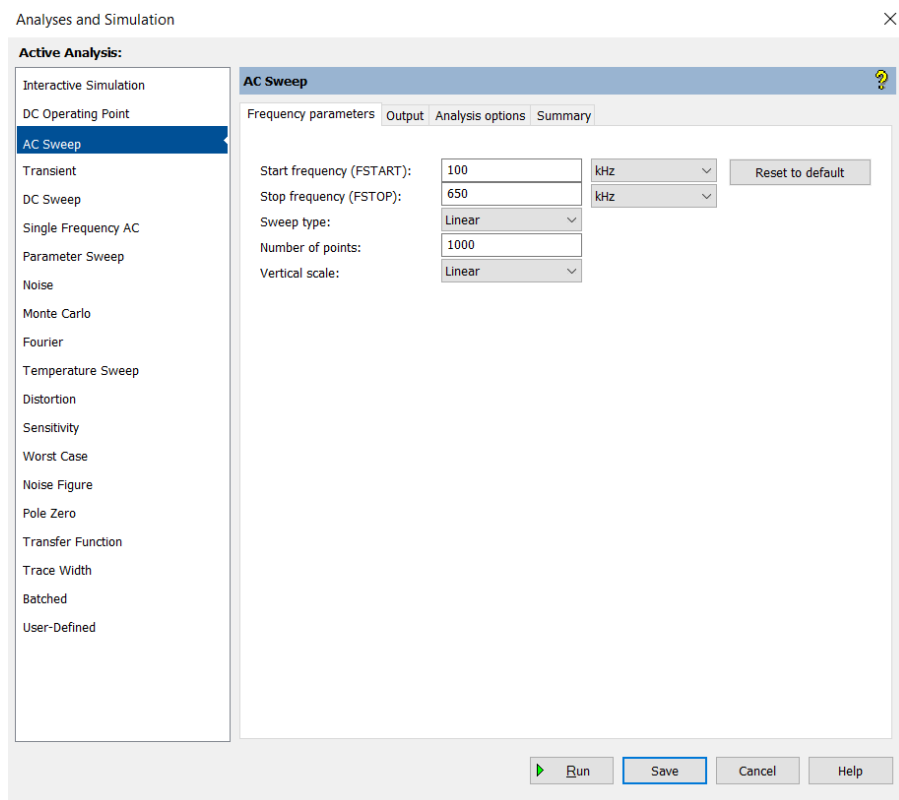


Рис. 17, параметры AC Sweep

Получим следующий график (рис. 18)

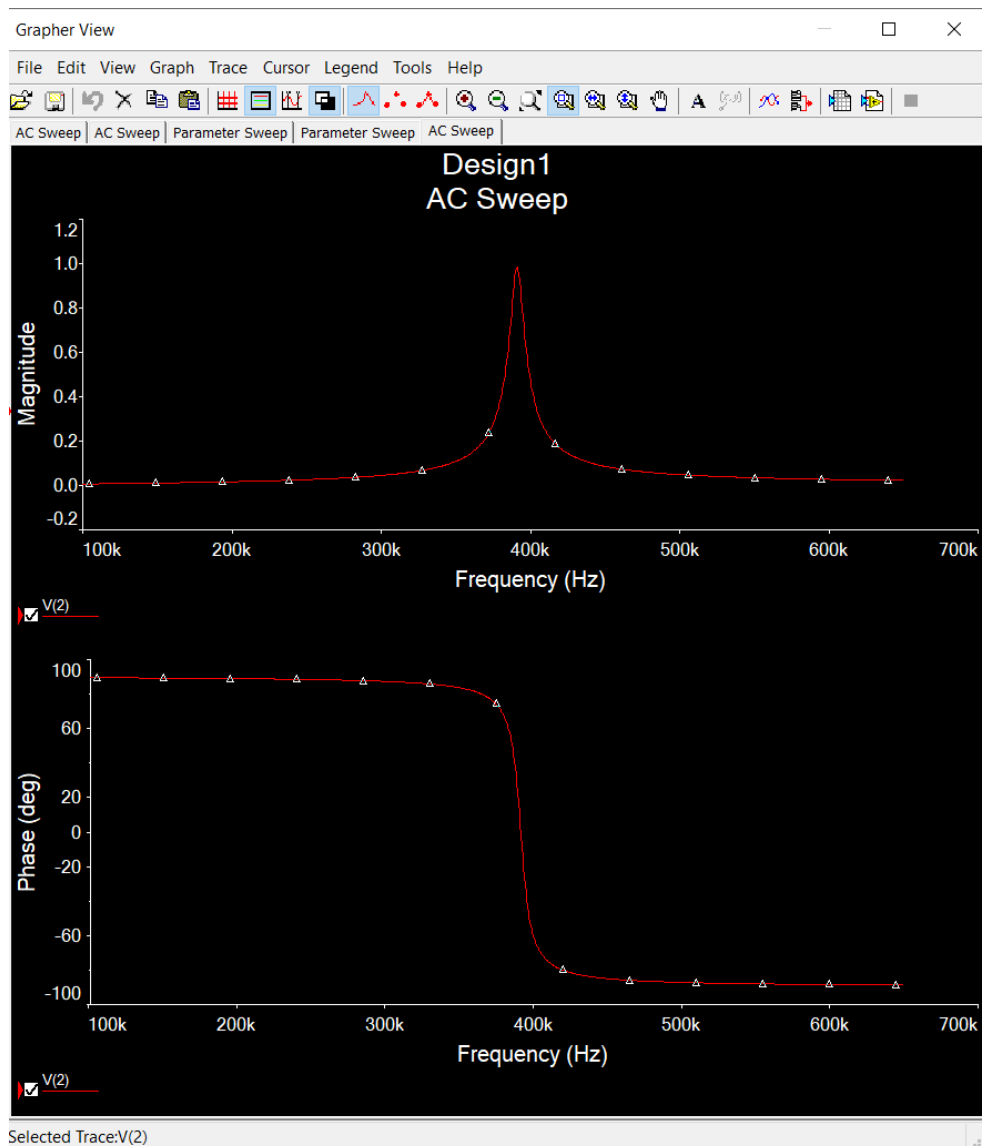


Рис. 18, график, полученный с помощью AC Sweep для V2

Получим графики с шагом с помощью Parameter Sweep. Параметры для Parameter Sweep указаны на рисунке 19

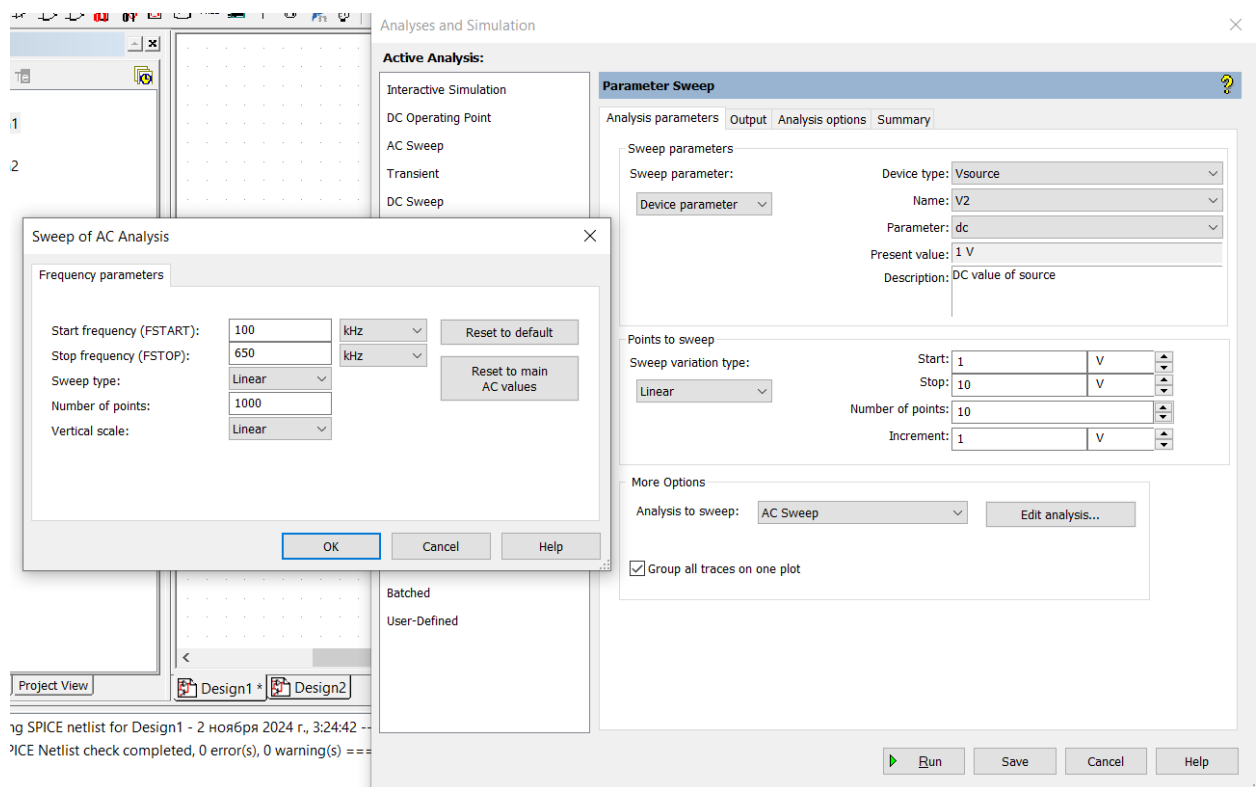


Рисунок 19, параметры Parameter Sweep

Получим следующий график (рисунок 20)

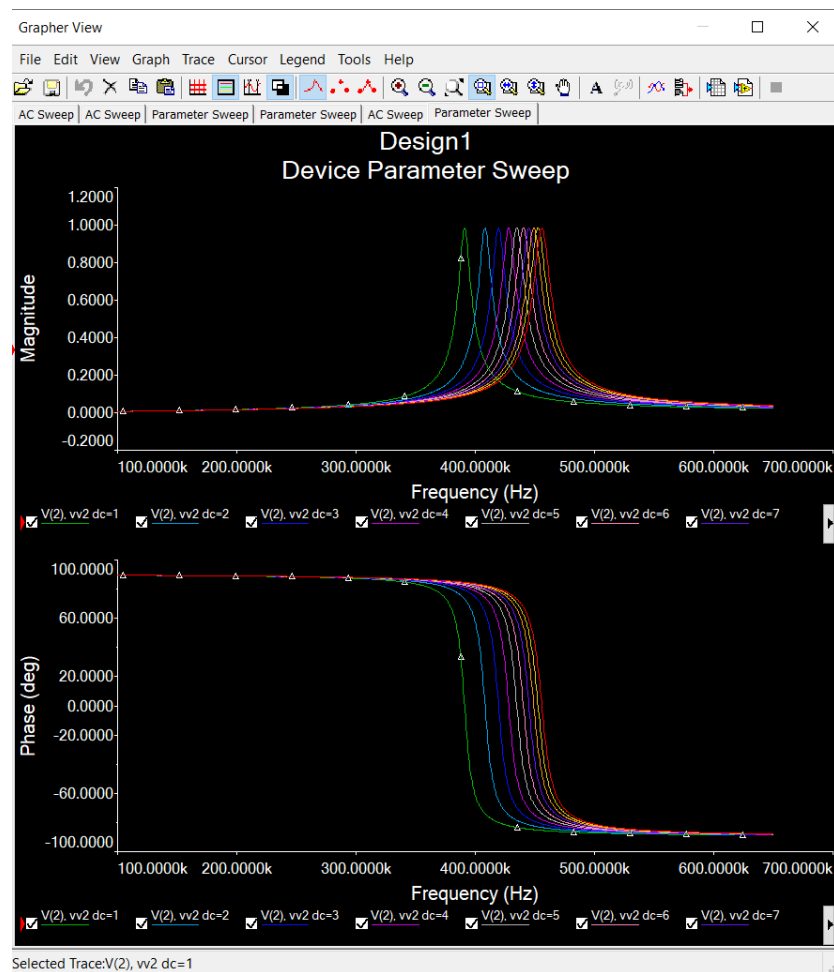


Рис. 20, график с шагом для V2

Включим опцию “Show Cursor” на графике в меню Cursor и, передвигая наш курсор, получим данные нужные резонансные данные. Те данные, с которыми мы будем работать в Mathcad, помечены на рисунке 21 красной линией

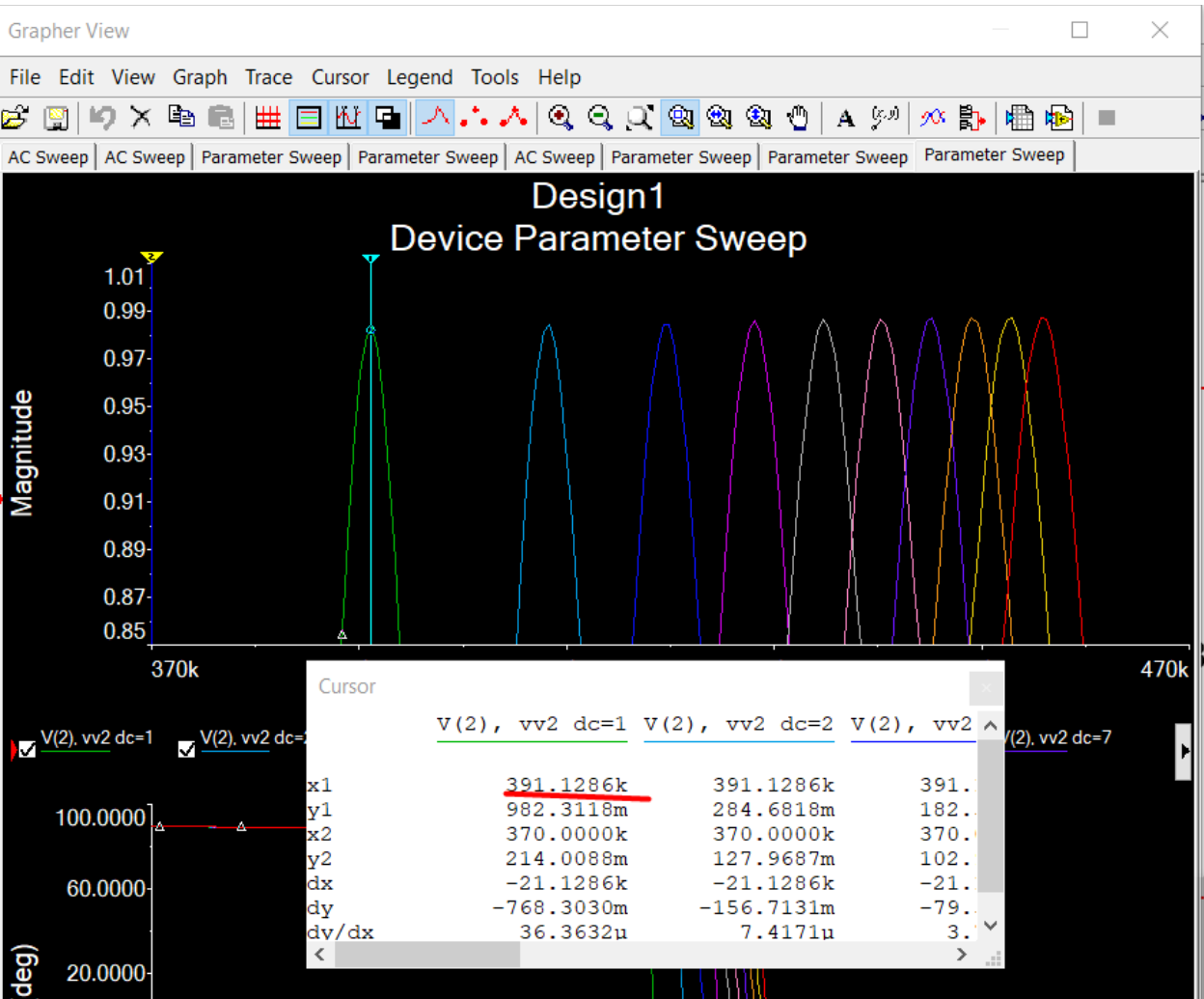


Рис. 21, получение резонансных данных

Чтобы получить данные с разных кривых, нужно сначала кликнуть на нужную кривую и перенести курсор уже на другой резонанс. Внесем полученные данные в Mathcad (рисунок 22)

$$i := 0..9$$

$$F_{\max_i} :=$$

391220
408326
419514
428110
434750
440295
445155
449068
452880
455682

$$V_{\max_i} :=$$

-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10

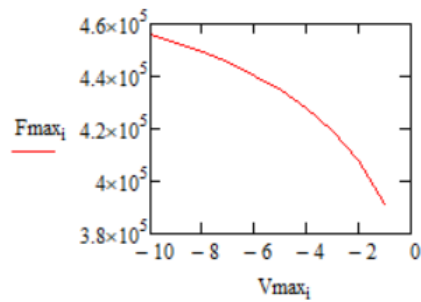


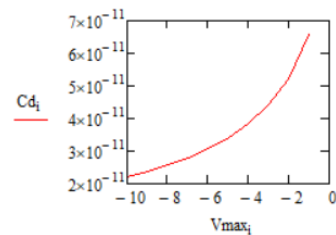
Рис. 22, данные резонансов в Mathcad

Вычислим параметры диода с помощью метода Given-Minerr. Все вычисления приведены на рисунке 23

$$\pi := 3.14 \quad L_k := 10^{-3} \quad C_k := 10^{-10} \quad Fr_i := F_{\max_i}$$

$$Cd := \frac{C_k \cdot L_k - \frac{1}{4 \cdot Fr_i^2 \cdot \pi^2}}{-L_k}$$

	0
0	$6.567 \cdot 10^{-11}$
1	$5.208 \cdot 10^{-11}$
2	$4.407 \cdot 10^{-11}$
3	$3.835 \cdot 10^{-11}$
4	$3.415 \cdot 10^{-11}$
5	$3.08 \cdot 10^{-11}$
6	$2.796 \cdot 10^{-11}$
7	$2.574 \cdot 10^{-11}$
8	$2.363 \cdot 10^{-11}$
9	$2.211 \cdot 10^{-11}$



Расчеты параметров диода

$$M := 0.35 \quad V_{j0} := 0.75 \quad C_{j0} := 10^{-10}$$

Given

$$6.564 \cdot 10^{-11} = C_{j0} \cdot \left(1 - \frac{-15}{V_{j0}}\right)^{-M}$$

$$4.433 \cdot 10^{-11} = C_{j0} \cdot \left(1 - \frac{-15}{V_{j0}}\right)^{-M}$$

$$3.103 \cdot 10^{-11} = C_{j0} \cdot \left(1 - \frac{-15}{V_{j0}}\right)^{-M}$$

$$2.191 \cdot 10^{-11} = C_{j0} \cdot \left(1 - \frac{-15}{V_{j0}}\right)^{-M}$$

$$Res := \text{Minerr}(V_{j0}, M, C_{j0})$$

$$Res = \begin{pmatrix} 0.75 \\ 0.35 \\ 1.182 \times 10^{-10} \end{pmatrix}$$

Рисунок 23, расчеты параметров диода с помощью Given-Minerr

Параметры диода следующие:

```
.MODEL KD106B D(Is=214.3p N=1.23 Rs=6.3e-2 Cjo=130p  
Tt=3.85e-8  
+      M=0.33 Vj=0.71 Fc=0.5 Bv=100 IBv=1e-10 Eg=1.11  
Xti=3)
```

Расчетная емкость перехода  $C_{j0}$  ниже реальной, расчетное падение напряжения  $V_{j0}$  чуть выше реального, расчетный коэффициент плавности перехода  $M$  получился тоже выше реального. Все данные довольно близки к реальным.