

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

Лабораторная работа №1  
«ИССЛЕДОВАНИЕ ВАХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ  
ДИОДОВ НА МОДЕЛИ ЛАБОРАТОРНОГО  
СТЕНДА В ПРОГРАММЕ MICROCAP»

Работу выполнил:  
Студент группы ИУ7-32Б  
Апсуваев Рамазан

**Цель работы** - проведение исследований в программах MicroCap 12 и Mathcad 15 полупроводникового диода для получения данных для расчёта параметров модели полупроводникового диода и внесение модели в базу данных программ для анализа.

## Получение данных для обработки в Mathcad, используя Microcap

В данной лабораторной работе используется модель диода варианта 1 KD106B. Параметры модели диода следующие:

```
.MODEL KD106B D (BV=100 CJO=130p FC=0.5 IBV=1e-10 IS=214.3p M=0.33 N=1.23  
+ RS=6.3e-2 TT=3.85e-8 VJ=0.71)
```

Для получения ВАХ диода в прямой и обратной цепях построим в программе MicroCap следующие цепи (рисунки 1 и 2):

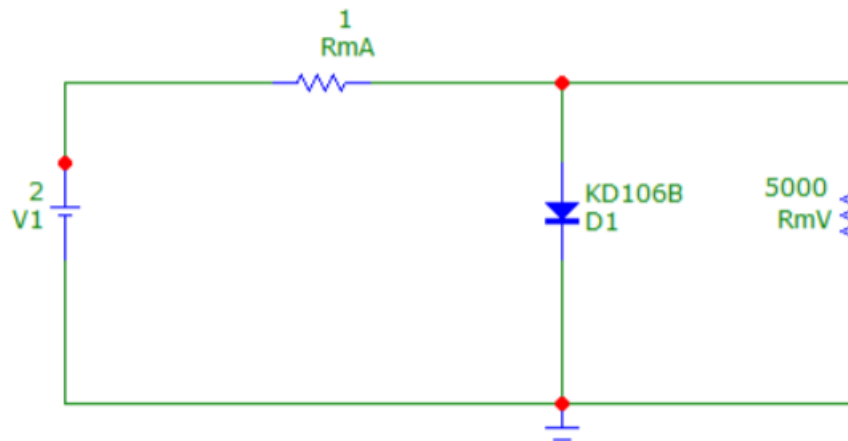


Рисунок 1. Прямая цепь

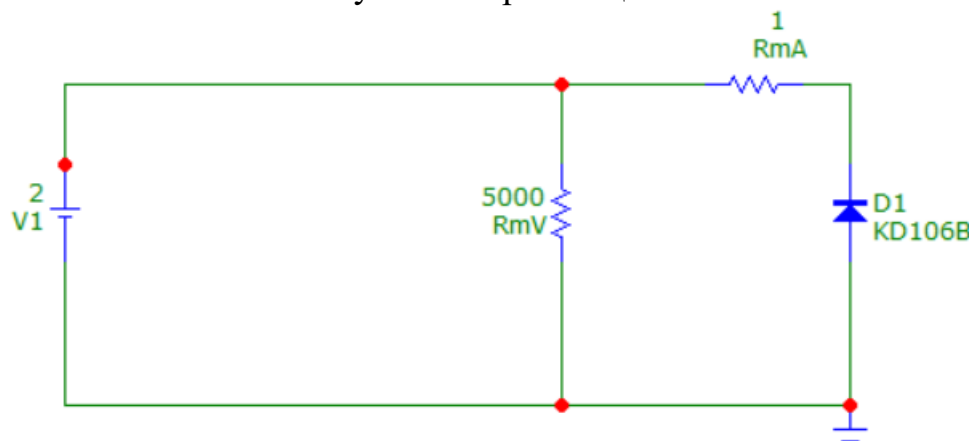


Рисунок 2. Обратная цепь

Сопротивление вольтметра должно быть высоким, а сопротивление амперметра маленьким для того, чтобы получить измерения с наименьшими искажениями. Для построения графиков воспользуемся следующими параметрами (рисунок 3):

DC Analysis Limits

Run Add Delete Expand... Stepping... Properties... Help...

Sweep

Variable	Method	Name	Range
Variable 1	Linear	V1	1,0,.005
Variable 2	None		

Temperature

Method	Range
Linear	27

Number of Points: 51

Maximum Change %: 5

Run Options: Normal ☒ Auto Scale Ranges ☐ Accumulate Plots

☐ Ignore Expression Errors

Page	P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
1	1	DCINPUT1-I(RMA)*1	I(RMA)-I(RMV)	AutoAlways	0.48,-0.12,0.12
				AutoAlways	Auto
				AutoAlways	Auto

Рисунок 3. Параметры для построения графика прямой цепи

Для прямой и обратной цепей получаем следующие графики (рисунки 4 и 5):

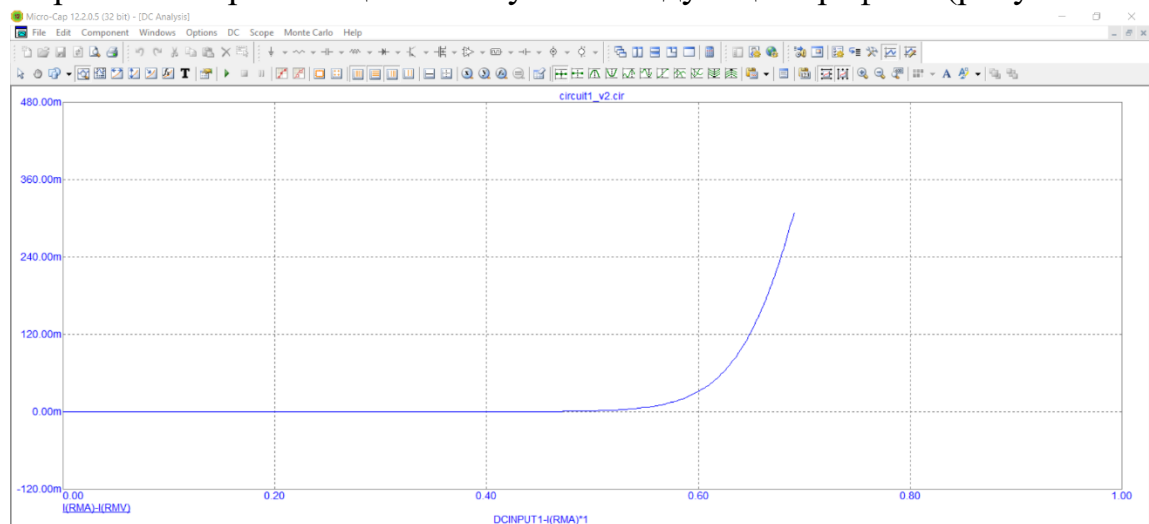


Рисунок 4. График прямой цепи

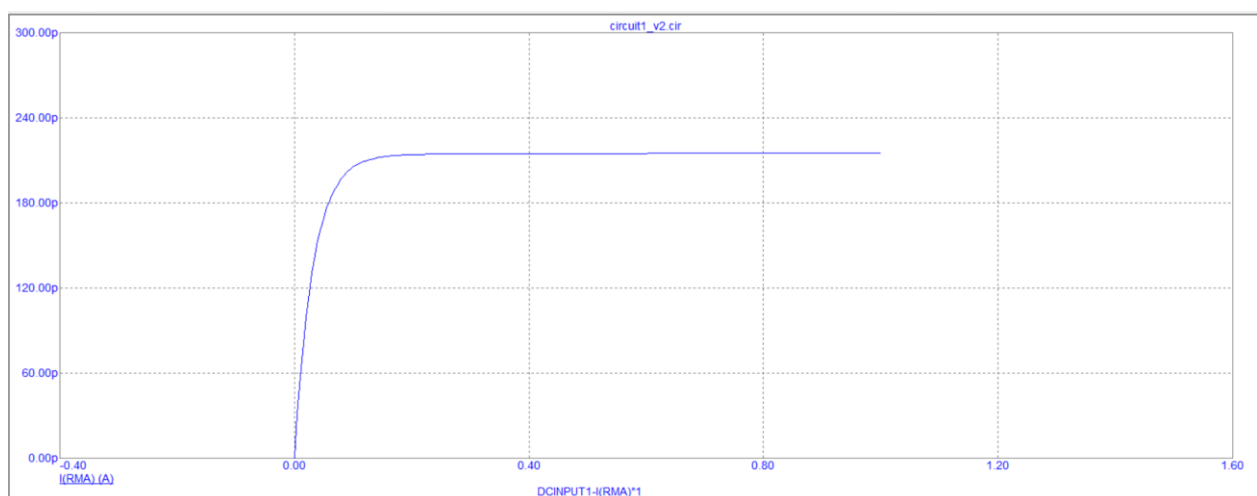


Рисунок 5. График обратной цепи

Перед получением числовых данных для дальнейшей обработки кликнем по графику два раза и скорректируем параметры в окне Numeric Output (рисунок 6). Такие настройки нужны для того, чтобы Mathcad смог корректно обработать числа

Properties for DC Analysis

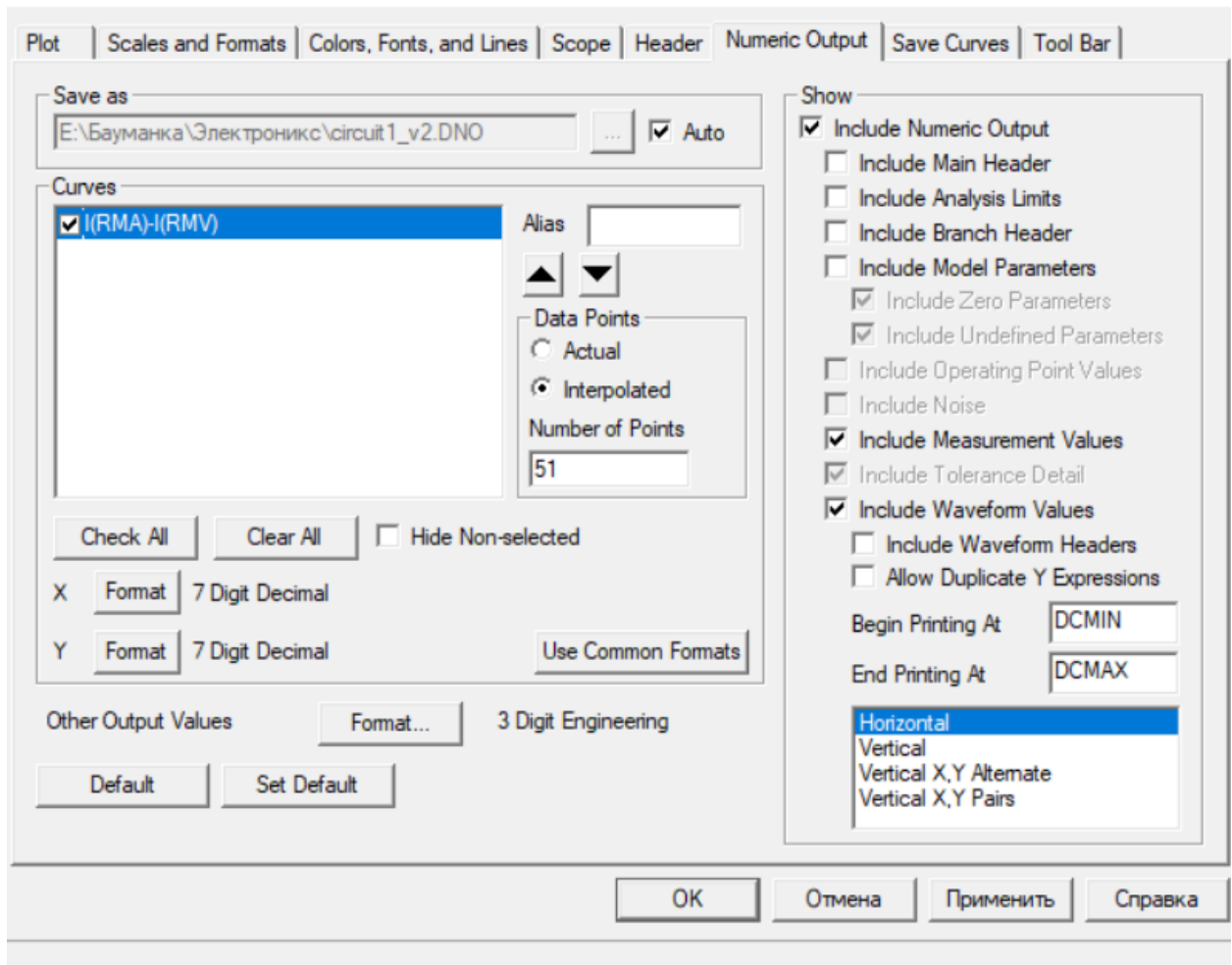


Рисунок 6. Параметры Numeric Output.

После корректировки параметров в панели DC (находится сверху графика) нажимаем на Numeric Output и получаем следующий набор данных для прямой и обратной цепей соответственно (рисунки 7 и 8)

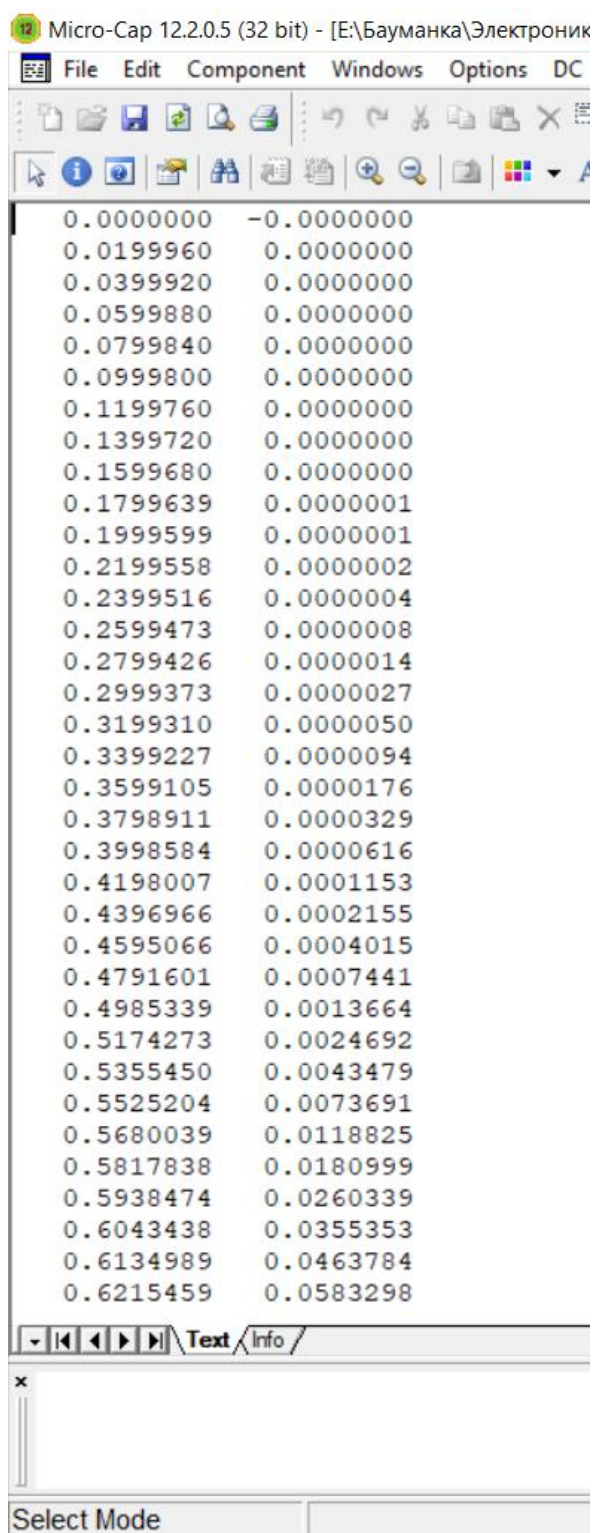


Рисунок 7. Данные прямой цепи

-0.0000000	0.0000000
0.0200000	0.0000000
0.0400000	0.0000000
0.0600000	0.0000000
0.0800000	0.0000000
0.1000000	0.0000000
0.1200000	0.0000000
0.1400000	0.0000000
0.1600000	0.0000000
0.1800000	0.0000000
0.2000000	0.0000000
0.2200000	0.0000000
0.2400000	0.0000000
0.2600000	0.0000000
0.2800000	0.0000000
0.3000000	0.0000000
0.3200000	0.0000000
0.3400000	0.0000000
0.3600000	0.0000000
0.3800000	0.0000000
0.4000000	0.0000000
0.4200000	0.0000000
0.4400000	0.0000000
0.4600000	0.0000000
0.4800000	0.0000000
0.5000000	0.0000000
0.5200000	0.0000000
0.5400000	0.0000000
0.5600000	0.0000000
0.5800000	0.0000000
0.6000000	0.0000000
0.6200000	0.0000000
0.6400000	0.0000000
0.6600000	0.0000000
0.6800000	0.0000000

Рисунок 8. Данные обратной цепи

Сохраняем эти данные

## Обработка данных в Mathcad

Обработаем полученные данные для прямой цепи. Получим данные из сохраненных нами данных. Получаем такую таблицу VAX (рисунок 8).

---

VAX := READPRN("E:\Programms\MC12\data\circuit1.DNO")

VAX =

	0	1
0	0	0
1	0.02	0
2	0.04	0
3	0.06	0
4	0.08	0
5	0.1	0
6	0.12	0
7	0.14	0
8	0.16	0
9	0.18	$1 \cdot 10^{-7}$
10	0.2	$1 \cdot 10^{-7}$
11	0.22	$2 \cdot 10^{-7}$
12	0.24	$4 \cdot 10^{-7}$
13	0.26	$8 \cdot 10^{-7}$
14	0.28	$1.4 \cdot 10^{-6}$
15	0.3	...

Рисунок 8. VAX

Построим график на основе этой таблицы. Для этого в верхней панели Mathcad выбираем Вставка, затем График типа X-Y. Слева и снизу графика выбираем второй и первый столбцы соответственно (рисунок 9)

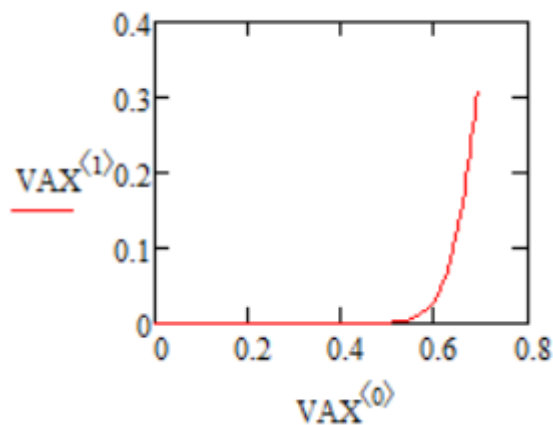


Рисунок 9. Таблица VAX

Кликнув по графику правой кнопкой мыши, вызовем меню и выберем “Трассировка”. Выберем четыре точки на графике, проводя по графику левой кнопкой мыши, создадим новые переменные Ud1, Id1, Ud2, Id2... Id4, где будут храниться соответствующие значения напряжения и тока точек. Точки выбраны по возрастанию. Трассировка и новые переменные указаны на рисунках 10 и 11 соответственно

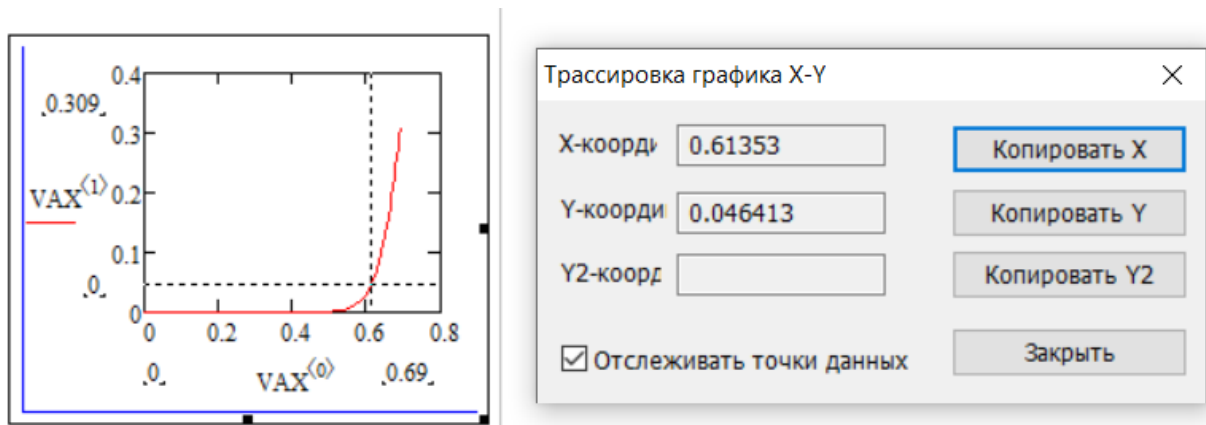


Рисунок 10. Трассировка графика

Ud1 := 0.56805	Ud2 := 0.60437	Ud3 := 0.62157	Ud4 := 0.64094
Id1 := 0.011898	Id2 := 0.035566	Id3 := 0.058368	Id4 := 0.098999

Рисунок 11. Новые точки

По упрощенным формулам для теоретических подсчетов, данным в методичке, подсчитаем  $I_s$  – обратный ток перехода,  $R_b$  – сопротивление базы,  $N_{Ft}$  – тепловой потенциал (рисунок 12).

$$R_b := \frac{(U_{d1} - 2 \cdot U_{d2} + U_{d3})}{I_{d1}} \quad N_{Ft} := \frac{[(3 \cdot U_{d2} - 2 \cdot U_{d1}) - U_{d3}]}{\ln(2)} \quad I_o := I_{d1} \cdot \exp\left[\frac{(U_{d3} - 2 \cdot U_{d2})}{N_{Ft}}\right]$$

$$R_b = -1.607 \quad N_{Ft} = 0.08 \quad I_o = 7.713 \times 10^{-6}$$

Рисунок 12. Теоретические подсчеты

Далее, с помощью конструкции Given Minerr, решим систему из уравнений и получим экспериментальные подсчеты (рисунок 13). Подсчеты делаем, используя ранее выбранные нами четыре точки

Расчеты экспериментальные

$R_b := 1$      $I_{s0} := 0.0000001$      $m := 2$      $Ft := 0.02$

Given

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

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

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

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

$$Diod\_P := Minerr(I_{s0}, R_b, m, Ft)$$

$$Diod\_P = \begin{pmatrix} 2.131 \times 10^{-10} \\ 0.063 \\ 1.781 \\ 0.018 \end{pmatrix}$$

Рисунок 13. Экспериментальные подсчеты

Полученные нами данные будем использовать для построения графика. Для этого зададим изменение тока диода от 0 с шагом  $10^{-5}$  А до верхнего значения, равного максимальному экспериментальному току диода варианта студента при напряжении 1 В. Максимальный экспериментальный ток в данном случае равен примерно 0.3А. Далее опишем функцию для напряжения  $U_{diod}$ , а затем сделаем график (рисунок 14)

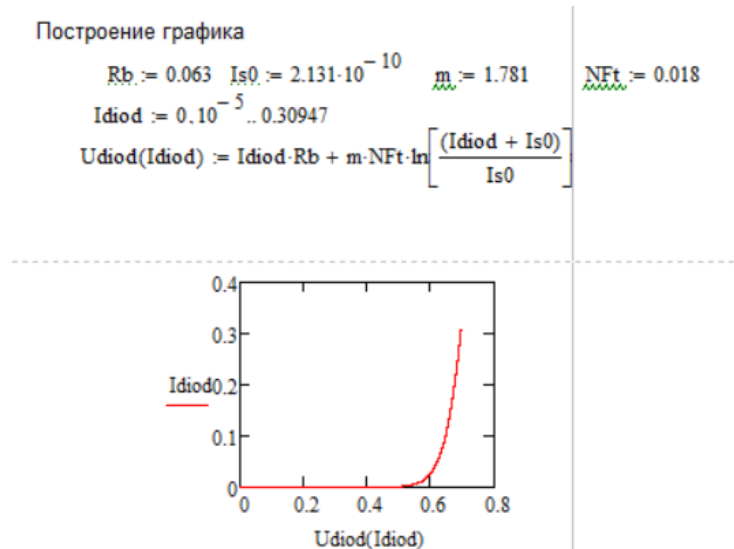


Рисунок 14. График, подсчеты

Расположим две написанные нами кривые на одном графике (рисунок 15).

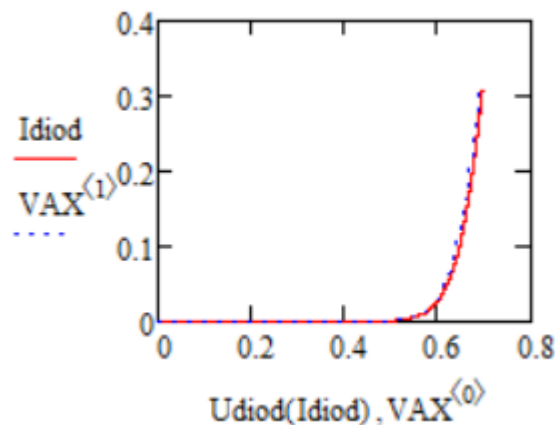


Рисунок 15. Графики, построенные на экспериментальных и теоретических подсчетах.