

Дисциплина электроника
Лабораторный практикум №1
по теме: «Исследование характеристик и параметров
полупроводниковых диодов»

Факирзай Амджад
Группа ИУ7-366

Цель исследования:

Заполучить микросхему в программе анализа схем Micro-Cap 12 и изучить статические характеристики кремниевого полупроводникового диода с целью определения параметров модели полупроводниковых диодов. Освоить программу MathCAD для вычисления параметров модели полупроводниковых устройств на основе данных экспериментальных исследований.

Параметры диода

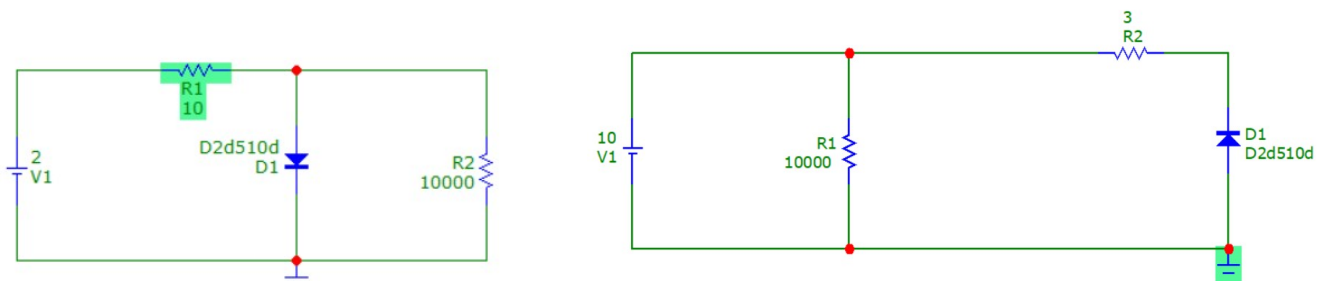
В данной лабораторной работе используется диод с номером 156, типа D2d510d. Параметры данного диода приведены на прикрепленном скриншоте.

* Variant 156

```
.model D2d510d D(Is=88.25p Rs=1.475 Ikf=0 N=1 Xti=3 Eg=1.11 Cjo=4p M=.3333  
+ Vj=.75 Fc=.5 Isr=1.227u Nr=2 Bv=50.22 Ibv=517.3u Tt=2.232n)
```

Получение ВАХ в программе Micro-Cap

Давайте создадим схему как для прямой, так и для обратной ветви в программе Micro-Cap:



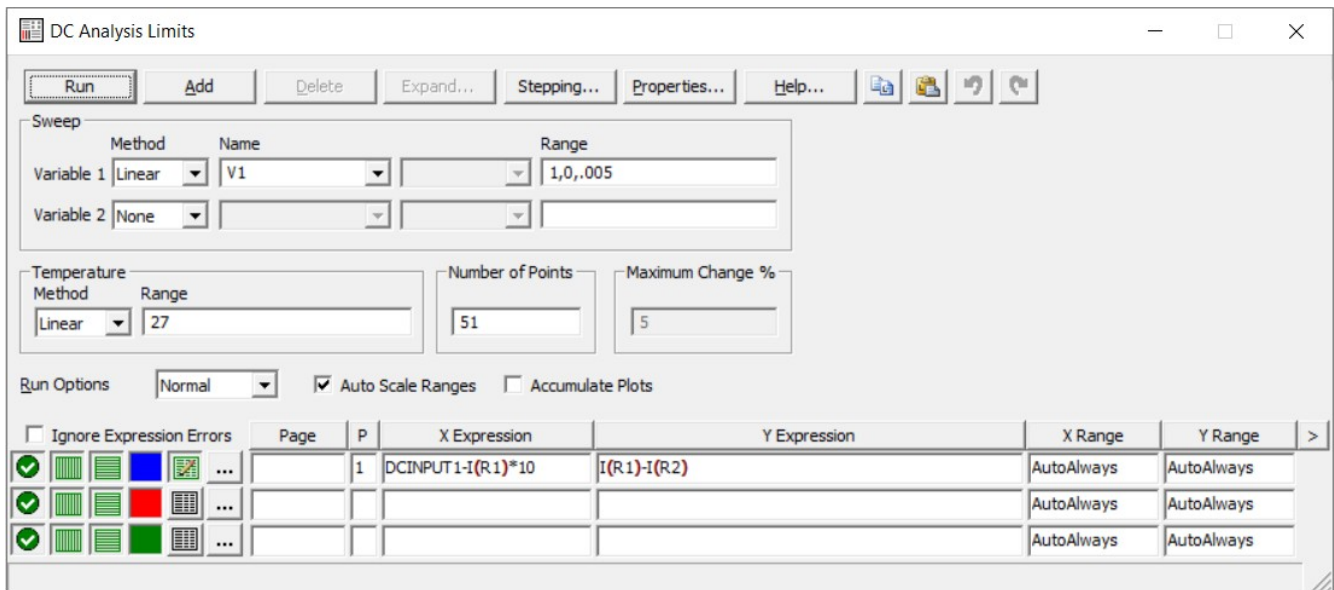
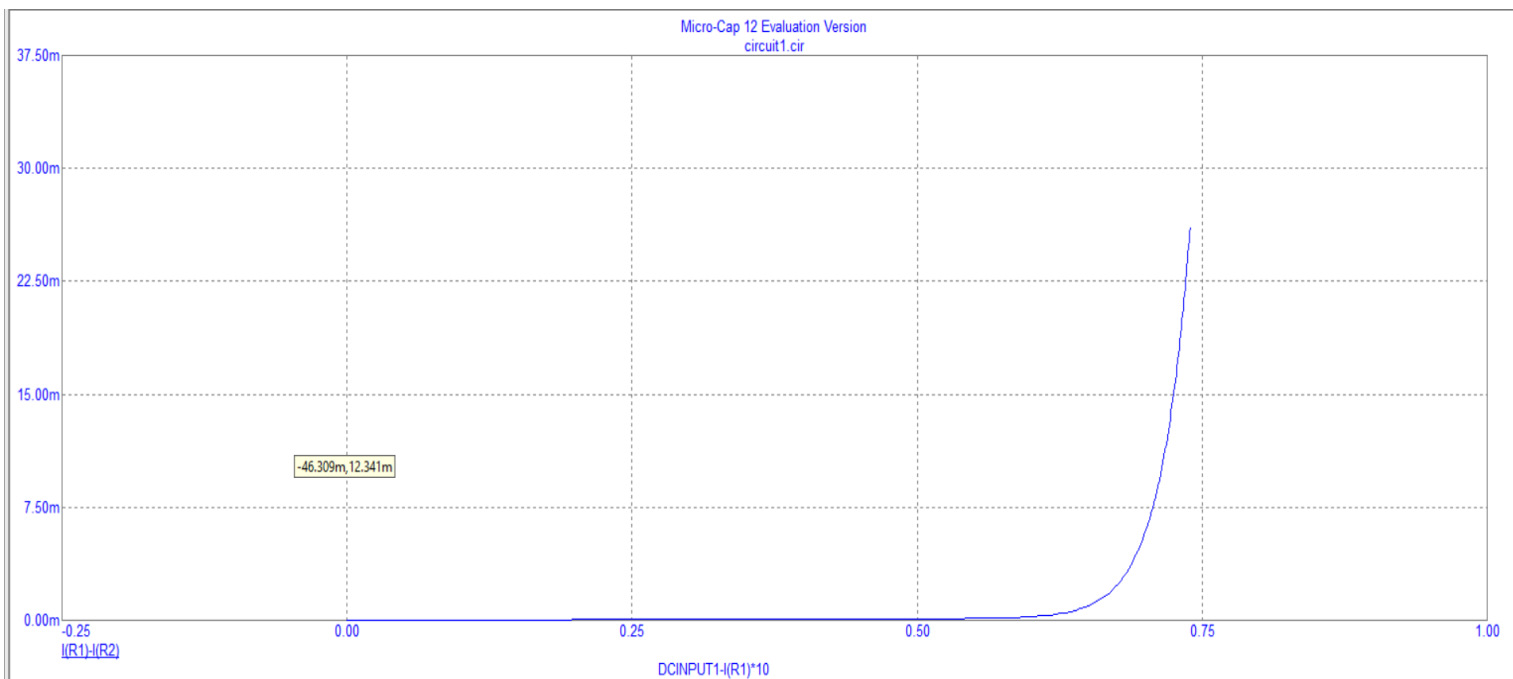


Рис. 2. Цепь для прямой ветви

Рис. 3. Цепь для обратной ветви



Продолжим, создав графики на основе данных схем с указанными настройками:

Рисунок 1 Снятие ВАХ с прямой ветви

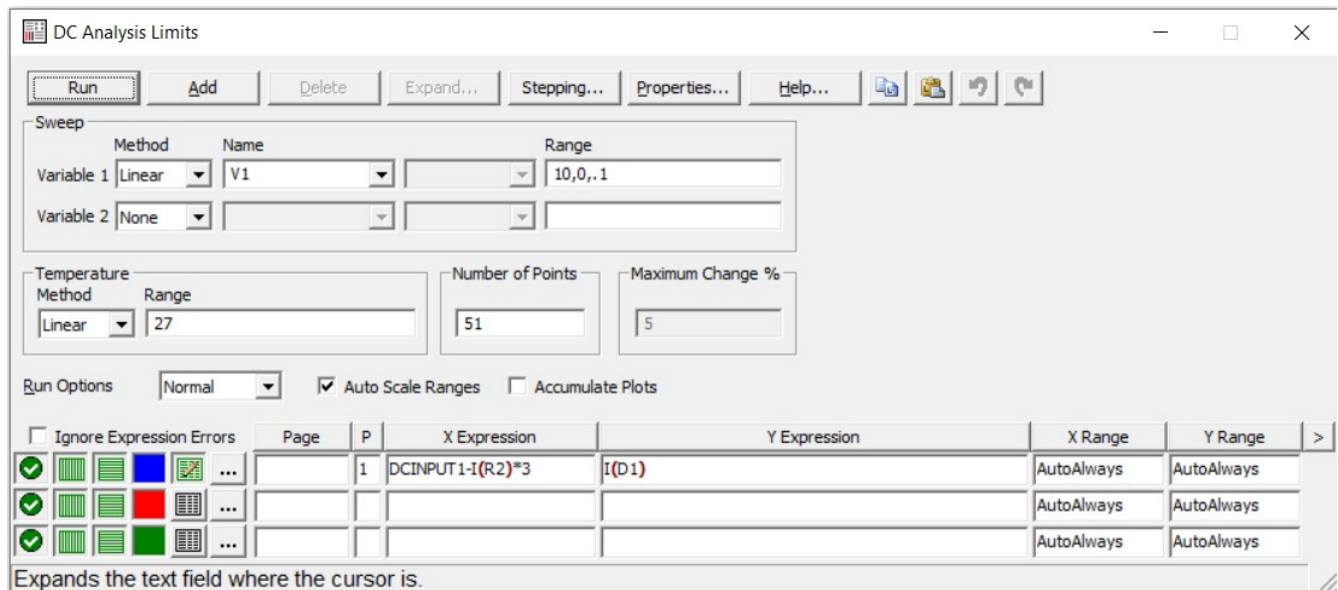


график для обратной ветви.

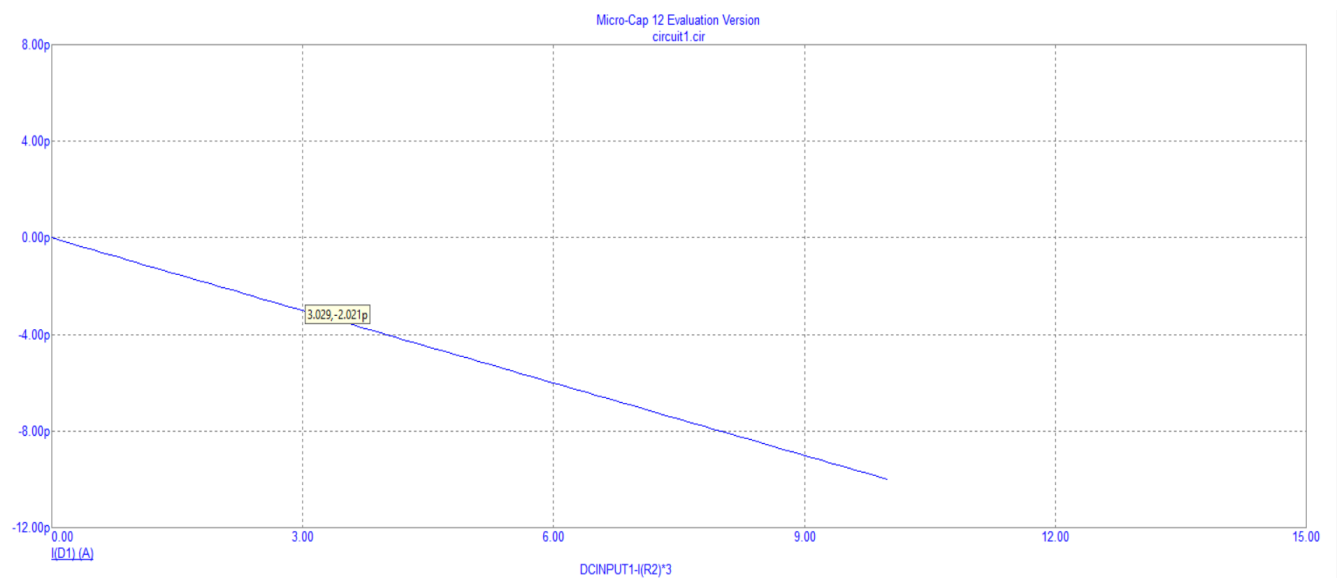
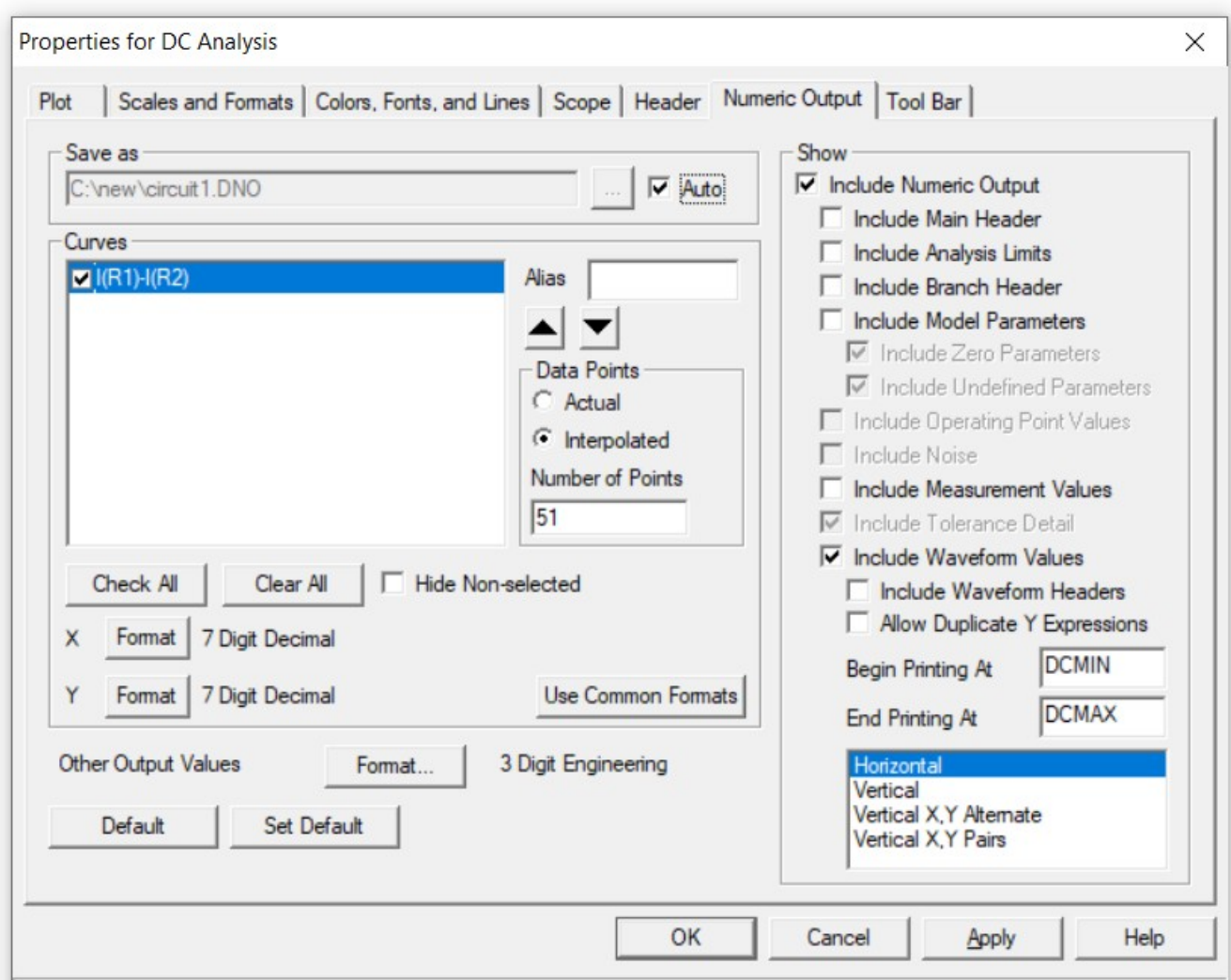


Рисунок 2 Снятие ВАХ с обратной ветви

Чтобы получить только числовые результаты вычислений в нужном формате, выполните программную настройку параметров вывода, перейдя в окно Properties -> Numeric Output.



Пункт № 2:

После получения необходимых графиков, необходимо настроить правильный вывод данных, который можно будет импортировать в программу MathCAD. В результате, содержимое нашего файла состоит только из чисел.

```
-0.0000000 0.0000000
0.0199800 0.0000040
0.0399600 0.0000080
0.0599401 0.0000120
0.0799201 0.0000160
0.0999001 0.0000200
0.1198801 0.0000240
0.1398601 0.0000280
0.1598402 0.0000320
0.1798202 0.0000360
0.1998002 0.0000400
```

| | |
|-----------|-----------|
| 0.2197802 | 0.0000440 |
| 0.2397602 | 0.0000480 |
| 0.2597403 | 0.0000519 |
| 0.2797203 | 0.0000559 |
| 0.2997003 | 0.0000599 |
| 0.3196803 | 0.0000639 |
| 0.3396603 | 0.0000679 |
| 0.3596403 | 0.0000719 |
| 0.3796201 | 0.0000759 |
| 0.3995999 | 0.0000800 |
| 0.4195793 | 0.0000840 |
| 0.4395580 | 0.0000882 |
| 0.4595353 | 0.0000924 |
| 0.4795092 | 0.0000970 |
| 0.4994762 | 0.0001023 |
| 0.5194279 | 0.0001092 |
| 0.5393468 | 0.0001193 |
| 0.5591955 | 0.0001364 |
| 0.5788958 | 0.0001683 |
| 0.5982897 | 0.0002309 |
| 0.6170833 | 0.0003534 |
| 0.6348028 | 0.0005832 |
| 0.6508607 | 0.0009790 |
| 0.6647901 | 0.0015875 |
| 0.6764732 | 0.0024203 |
| 0.6861261 | 0.0034560 |
| 0.6941122 | 0.0046582 |
| 0.7007907 | 0.0059910 |
| 0.7064564 | 0.0074250 |
| 0.7113342 | 0.0089377 |
| 0.7155917 | 0.0105124 |
| 0.7193537 | 0.0121366 |
| 0.7227137 | 0.0138009 |
| 0.7257428 | 0.0154983 |
| 0.7284959 | 0.0172233 |
| 0.7310160 | 0.0189715 |
| 0.7333372 | 0.0207396 |
| 0.7354870 | 0.0225248 |
| 0.7374877 | 0.0243250 |
| 0.7393577 | 0.0261382 |

. Результаты измерений

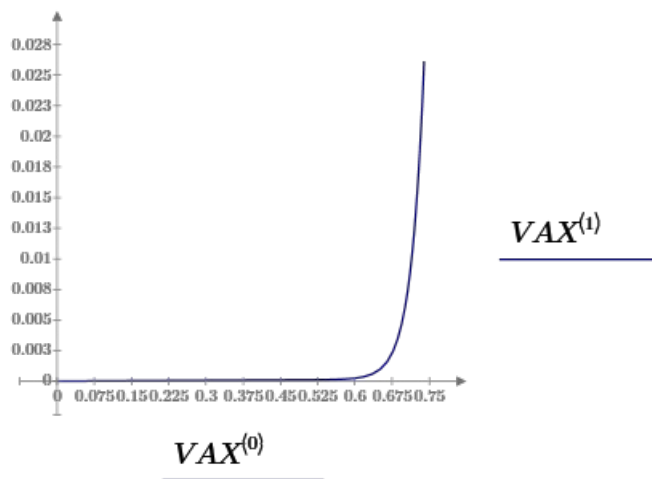
Открываем MathCAD после получения такого файла.

$VAX := \text{READPRN}("C:\text{new}\text{circuit1.DNO}")$

$$VAX = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0.02 & 4 \cdot 10^{-6} \\ 0.04 & 8 \cdot 10^{-6} \\ 0.06 & 1.2 \cdot 10^{-5} \\ 0.08 & 1.6 \cdot 10^{-5} \\ 0.1 & 2 \cdot 10^{-5} \\ 0.12 & 2.4 \cdot 10^{-5} \\ 0.14 & 2.8 \cdot 10^{-5} \\ 0.16 & 3.2 \cdot 10^{-5} \\ 0.18 & 3.6 \cdot 10^{-5} \\ 0.2 & 4 \cdot 10^{-5} \\ 0.22 & 4.4 \cdot 10^{-5} \\ \vdots & \end{bmatrix}$$

$$VAX^{(0)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.02 \\ 0.04 \\ 0.06 \\ 0.08 \\ 0.1 \\ 0.12 \\ 0.14 \\ 0.16 \\ 0.18 \\ 0.2 \\ 0.22 \\ \vdots \end{bmatrix}$$

$$VAX^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 4 \cdot 10^{-6} \\ 8 \cdot 10^{-6} \\ 1.2 \cdot 10^{-5} \\ 1.6 \cdot 10^{-5} \\ 2 \cdot 10^{-5} \\ 2.4 \cdot 10^{-5} \\ 2.8 \cdot 10^{-5} \\ 3.2 \cdot 10^{-5} \\ 3.6 \cdot 10^{-5} \\ 4 \cdot 10^{-5} \\ 4.4 \cdot 10^{-5} \\ \vdots \end{bmatrix}$$



Пункт № 3

С помощью функции "Трассировка" мы извлекаем координаты трех точек на графике и записываем их в переменные $Ud(1,2,3)$ и $Id(1,2,3)$. Затем, используя метод трех ординат, проводим приблизительные расчеты объемного сопротивления базы (R_b), теплового потенциала (N_{ft}) и обратного тока (I_o).

$$\begin{aligned} Ud1 &:= 0.602 & Id1 &:= 0.0001763 \\ Ud2 &:= 0.65 & Id2 &:= 0.001 \\ Ud3 &:= 0.705 & Id3 &:= 0.008 \end{aligned}$$

$$Rb := \frac{(Ud1 - 2 \cdot Ud2 + Ud3)}{Id1} = 39.705$$

$$NFt := \frac{[(3 \cdot Ud2 - 2 \cdot Ud1) - Ud3]}{\ln(2)} = [0.059]$$

$$I0 := Id1 \cdot \exp\left(\frac{Ud3 - 2 \cdot Ud2}{NFt}\right) = [7.545 \cdot 10^{-9}]$$

Вычислить параметры модели полупроводникового диода с использованием метода Майнера. С помощью функции "Трассировка" скопировать координаты четырех точек с переменными Ud(1,2,3,4) и Id(1,2,3,4). Установить начальные приближения для неизвестных параметров Rb, Is0, m, Ft. Функция Minerr находит оптимальные приближенные значения неизвестных, обеспечивая минимальную погрешность. Результаты записываются в вектор Diod_Plut.

$$\begin{aligned} Ud4 &:= 0.719 & Id4 &:= 0.013 \\ Rb &:= 1 & Is0 &:= 0.0000001 \\ m &:= 2 & Ft &:= 0.02 \end{aligned}$$

| | |
|-------------|---|
| Constraints | Given |
| | $0.602 = Id1 \cdot Rb + \ln\left(\frac{Is0 + Id1}{Is0}\right) \cdot m \cdot Ft$ |
| | $0.65 = Id2 \cdot Rb + \ln\left(\frac{Is0 + Id2}{Is0}\right) \cdot m \cdot Ft$ |
| | $0.705 = Id3 \cdot Rb + \ln\left(\frac{Is0 + Id3}{Is0}\right) \cdot m \cdot Ft$ |
| | $0.719 = Id4 \cdot Rb + \ln\left(\frac{Is0 + Id4}{Is0}\right) \cdot m \cdot Ft$ |
| Solver | $Diod_P := \text{Minerr}(Is0, Rb, m, Ft)$ |
| | $Diod_P = \begin{bmatrix} 4.333 \cdot 10^{-14} \\ -0.053 \\ 1.66 \\ 0.016 \end{bmatrix}$ |

Для создания графика, основанного на параметрах полупроводникового диода, вычисленных с использованием метода Минерга, мы определяем функцию I_{diod} , которая связывает ток диода и его напряжение. Мы строим экспериментальную ВАХ и теоретическую ВАХ на одном и том же графике. В результате графики находятся довольно близко друг к другу.

$$R_b := -0.053 \quad F_t := 0.016 \quad m := 1.66 \quad I_{s0} := 4.333 \cdot 10^{-14}$$

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

$$U_{diod}(I_{diod}) := I_{diod} \cdot R_b + m \cdot F_t \cdot \ln\left(\frac{I_{diod} + I_{s0}}{I_{s0}}\right)$$

