



**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 ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ (ИУ7)

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ 09.03.04 Программная инженерия

ОТЧЕТ

По лабораторной работе № 1

«Исследование ВАХ полупроводниковых диодов»

Дисциплина: Основы электроники

Студент

ИУ7-35Б

А. В. Толмачев

(Группа)

(И.О. Фамилия)

Преподаватель

Оглоблин Дмитрий Игоревич

Москва, 2022

Цель лабораторной работы:

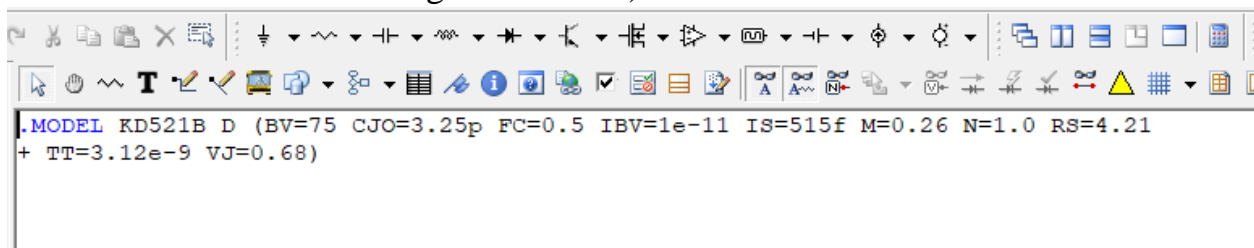
Получение в программе схемотехнического анализа Microcap XX и исследование статических характеристик кремниевого полупроводникового диода с целью определения по ним параметров модели полупроводниковых диодов, размещения моделей в базе данных. Освоение программы Mathcad для расчёта параметров модели полупроводниковых приборов на основе данных экспериментальных исследований.

Эксперимент по исследованию ВАХ полупроводниковых диодов на модели лабораторного стенда в программе MicroCap

1. Параметры диода, используемого в работе

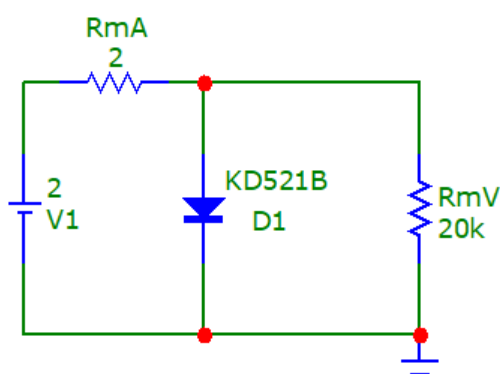
Модель диода: KD521B

Параметры диода: ($I_s=515f$ $N=1.0$ $R_s=4.21$ $C_{jo}=3.25p$ $T_t=3.12e-9$ $M=0.26$ $V_j=0.68$ $F_c=0.5$ $B_v=75$ $I_{Bv}=1e-11$ $E_g=1.11$ $X_{ti}=3$)

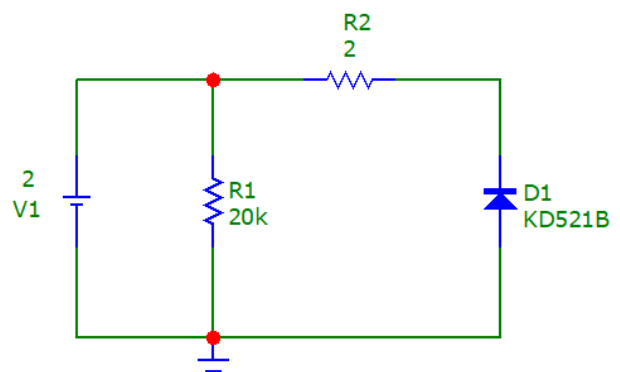


2. Получение ВАХ

Было проведено моделирование лабораторного стенда для получения ВАХ диода на прямой и обратных ветвях в программе MicroCap. Для этого были построены цепи:



Рисунки 2; Прямая ветвь



Рисунки 1; Обратная ветвь

3. Получение значений тока и напряжения

Получим показания с помощью “DC Analysis”. Для получения выражений по осям X и Y воспользуемся правилом Кирхгофа:

Формула для оси OX учитывает падение напряжения на миллиамперметре.

При этом ток через миллиамперметр определяется суммой двух токов- точка

через диод и через милливольтметр, соответственно ток диода по ОУ будет являться разностью двух токов.

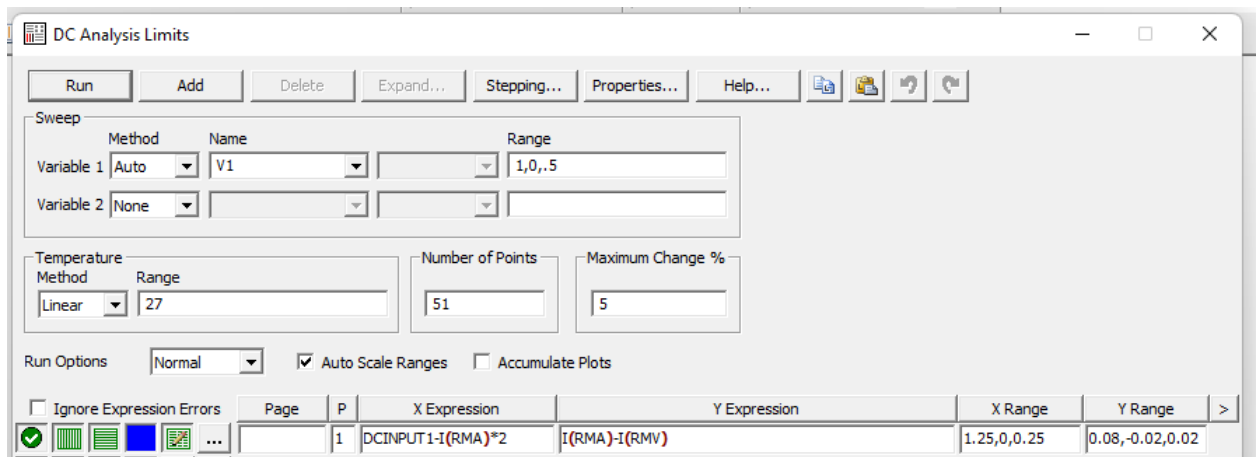


Рисунок 3; для прямой ветви

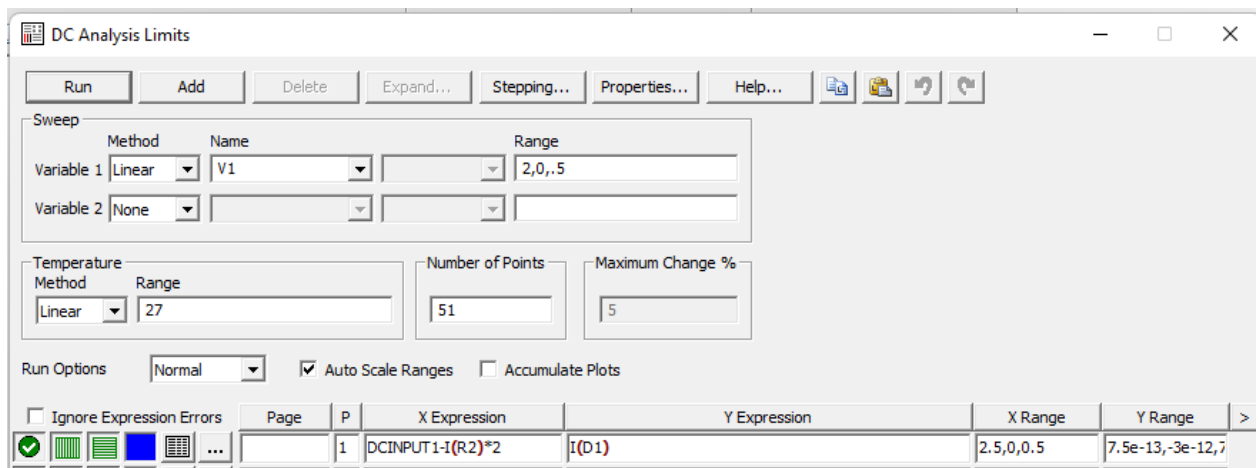
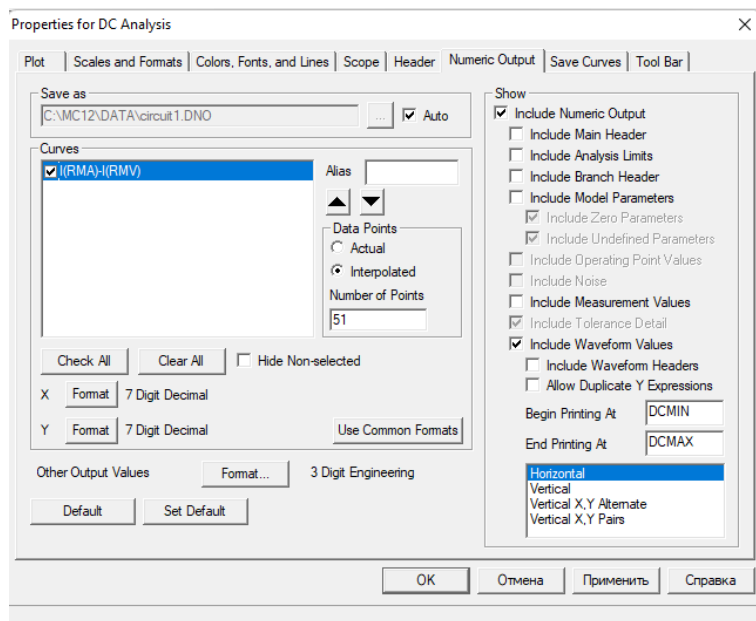


Рисунок 4; для обратной ветви

4. Обработка вывода

Для того, чтобы Mathcad мог обработать файл с полученными значениями, необходимо убрать из вывода лишнюю информацию: информацию о задаче, версии программы, и т. д., а также изменить формат вывод числовых значений на десятичный. Эта настройка была произведена в Numeric Output:



Получаем выходные данные в circuit1.DNO

5. Получаем графики для прямой и обратной ветви:

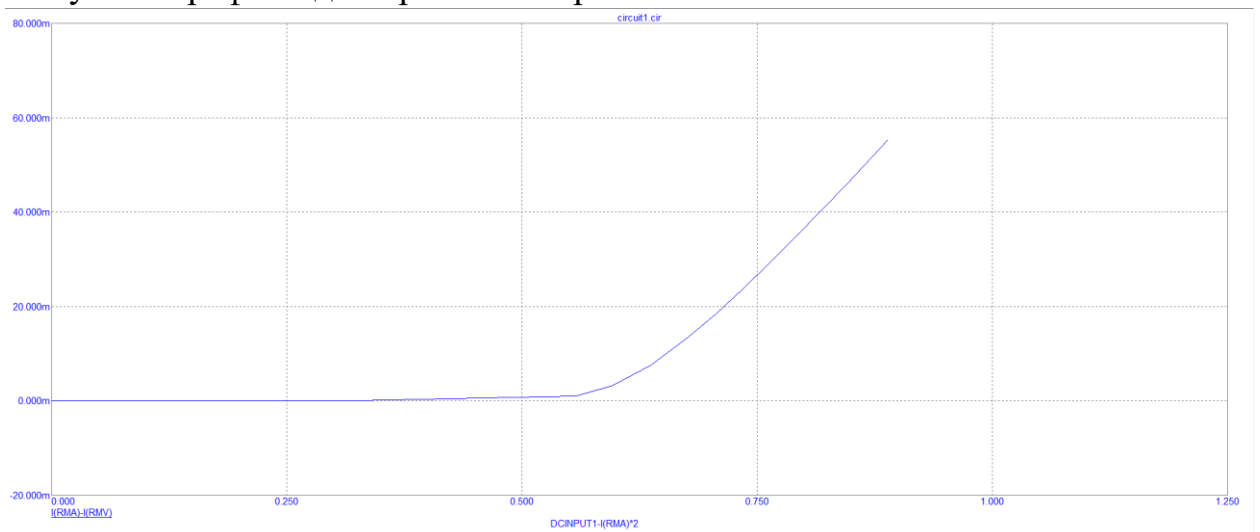


Рисунок 5; для прямой ветви

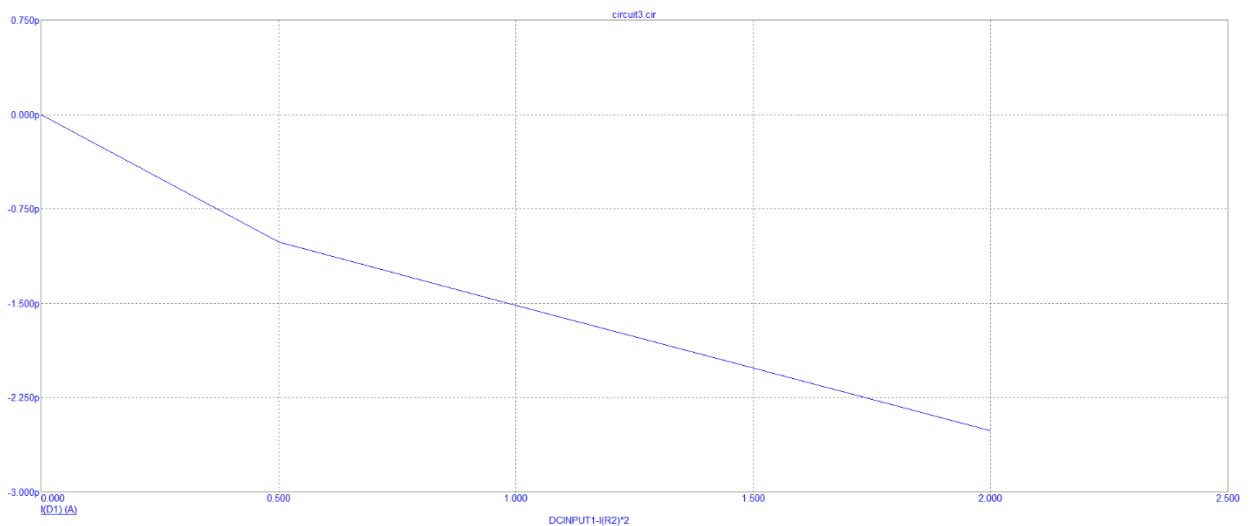


Рисунок 6; для обратной ветви

Приближенный расчет параметров диода в Mathcad

1. Считываем полученные данные из файла в VAX

$VAX := \text{READPRN}("C:\MC12\DATA\circuit1.dno")$

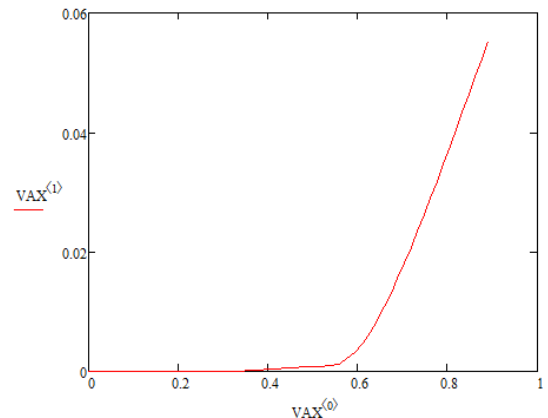
2. Строим график по полученным данным:

$$VAX^{(0)} =$$

0	0
1	0.02
2	0.04
3	0.06
4	0.08
5	0.1
6	0.12
7	0.14
8	0.16
9	0.18
10	0.2
11	0.22
12	0.24
13	0.26
14	0.28
15	...

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

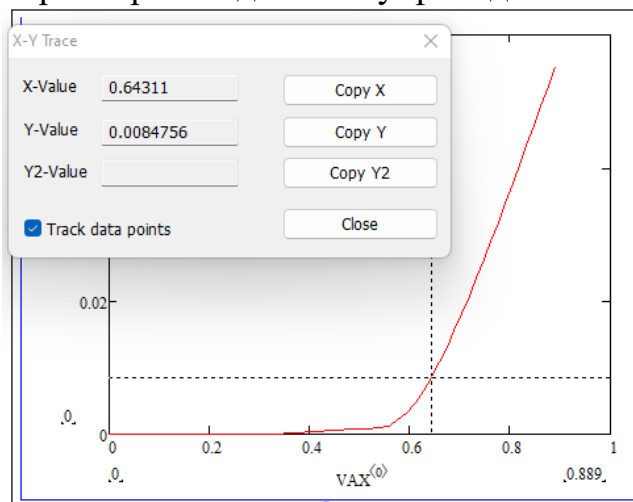
0	0
1	$2 \cdot 10^{-6}$
2	$4 \cdot 10^{-6}$
3	$6 \cdot 10^{-6}$
4	$8 \cdot 10^{-6}$
5	$1 \cdot 10^{-5}$
6	$1.2 \cdot 10^{-5}$
7	$1.4 \cdot 10^{-5}$
8	$1.6 \cdot 10^{-5}$
9	$1.8 \cdot 10^{-5}$
10	$2 \cdot 10^{-5}$
11	$2.2 \cdot 10^{-5}$
12	$2.41 \cdot 10^{-5}$
13	$2.61 \cdot 10^{-5}$
14	$2.81 \cdot 10^{-5}$
15	...



$VAX^{(0)}$ - по оси OX – напряжение на диоде

$VAX^{(1)}$ - по оси OY – ток на диоде

3. С помощью трассировки получим три точки, которые будут использованы в качестве входных данных для приближенного расчета параметров модели полупроводникового диода методом трех ординат



$Ud1 := 0.627 \quad Id1 := 0.0065328$

$Ud2 := 0.65852 \quad Id2 := 0.010771$

$Ud3 := 0.68895 \quad Id3 := 0.01556$

4. Определим параметры диода методом трех ординат:

$$\begin{aligned}
 Rb(Ud1, Ud2, Ud3, Id1) &:= \frac{(Ud1 - 2 \cdot Ud2 + Ud3)}{Id1} \\
 rb &:= Rb(Ud1, Ud2, Ud3, Id1) = -0.167 \\
 NFt(Ud1, Ud2, Ud3) &:= \frac{[(3 \cdot Ud2 - 2 \cdot Ud1) - Ud3]}{\ln(2)} \\
 nft &:= NFt(Ud1, Ud2, Ud3) = 0.047 \\
 Io(Id1, Ud3, Ud2, nft) &:= Id1 \cdot e^{\left[\frac{(Ud3 - 2 \cdot Ud2)}{nft} \right]} \\
 io &:= Io(Id1, Ud3, Ud2, nft) = 1.04 \times 10^{-8}
 \end{aligned}$$

Точный расчет параметров модели полупроводникового диода методом Given Minerr

Для того, чтобы решить систему уравнений, можно воспользоваться вычислительным блоком Given, в частности входящей в него функцией Minerr. Метод является итерационным.

Для решения системы уравнение функцией Minerr нужно задать начальное приближение для всех неизвестных, напечатать слово Given, и ввести уравнения в любом порядке, после чего воспользоваться функцией.

1. Необходимо определить 4 неизвестных, т. е. необходимо 4 уравнения. Для этого выберем произвольных точки из набора данных, полученного при моделировании, и составим систему из четырех уравнений.

$$\begin{aligned}
 rb_a &:= 1 & Is0 &:= 0.00000001 & m1 &:= 2 & Ft &:= 0.02 & Uk &:= Ik \cdot rb_a + \ln \left[\frac{(Is0 + Ik)}{Is0} \right] \cdot m1 \cdot Ft \\
 \text{Given} \\
 0.611 &= rb_a \cdot 4.762 \times 10^{-3} + \ln \left[\frac{(Is0 + 4.762 \times 10^{-3})}{Is0} \right] \cdot m1 \cdot Ft \\
 0.659 &= rb_a \cdot 0.011 + \ln \left[\frac{(Is0 + 0.011)}{Is0} \right] \cdot m1 \cdot Ft \\
 0.704 &= rb_a \cdot 0.018 + \ln \left[\frac{(Is0 + 0.018)}{Is0} \right] \cdot m1 \cdot Ft \\
 0.748 &= rb_a \cdot 0.026 + \ln \left[\frac{(Is0 + 0.026)}{Is0} \right] \cdot m1 \cdot Ft \\
 Diode_P &:= Minerr(Is0, rb_a, m1, Ft) \\
 Diode_P &= \begin{pmatrix} 2.154 \times 10^{-13} \\ 4.493 \\ 1.573 \\ 0.016 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

2. Получим формулу, связывающую ток и напряжение на диоде, на основе вычисленных параметров методом Minerr:

$$Idiod := 0,10^{-5} \dots 0.055$$

$$m2 := 1.573 \quad Ft2 := 0.016$$

$$Rb1 := 4.493$$

$$NFt1 := m2 \cdot Ft2 = 0.025$$

$$Is01 := 2.154 \cdot 10^{-13}$$

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

Изменение ток зададим ранжированной переменной Idiod

3. Данные, для построения графиков:

$$VAX^{(0)} =$$

	0
0	0
1	0.02
2	0.04
3	0.06
4	0.08
5	0.1
6	0.12
7	0.14
8	0.16
9	0.18
10	0.2
11	0.22
12	0.24
13	0.26
14	0.28
15	...

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

	0
0	0
1	$2 \cdot 10^{-6}$
2	$4 \cdot 10^{-6}$
3	$6 \cdot 10^{-6}$
4	$8 \cdot 10^{-6}$
5	$1 \cdot 10^{-5}$
6	$1.2 \cdot 10^{-5}$
7	$1.4 \cdot 10^{-5}$
8	$1.6 \cdot 10^{-5}$
9	$1.8 \cdot 10^{-5}$
10	$2 \cdot 10^{-5}$
11	$2.2 \cdot 10^{-5}$
12	$2.41 \cdot 10^{-5}$
13	$2.61 \cdot 10^{-5}$
14	$2.81 \cdot 10^{-5}$
15	...

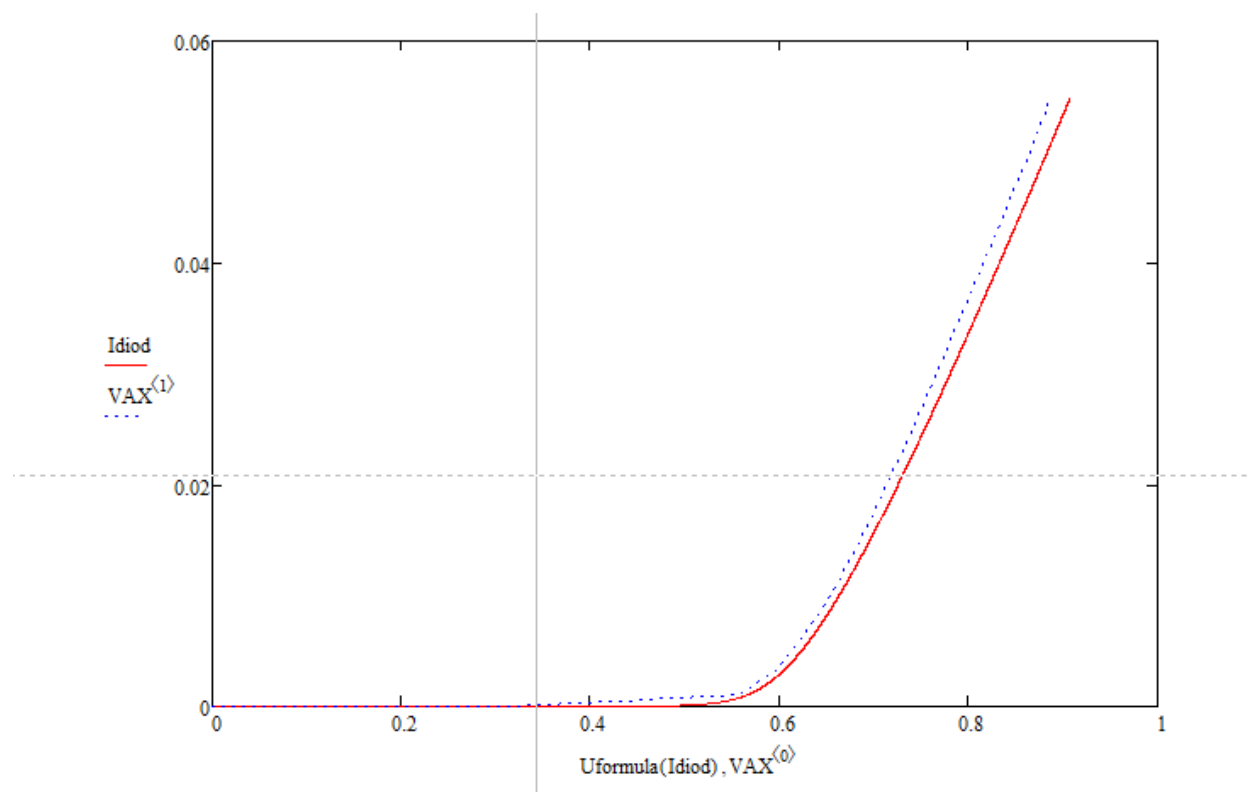
Uformula(Idiod)

0
0.444
0.462
0.472
0.479
0.485
0.49
0.494
0.497
0.5
0.503
0.505
0.507
0.509
0.511
...

Idiod =

0
$1 \cdot 10^{-5}$
$2 \cdot 10^{-5}$
$3 \cdot 10^{-5}$
$4 \cdot 10^{-5}$
$5 \cdot 10^{-5}$
$6 \cdot 10^{-5}$
$7 \cdot 10^{-5}$
$8 \cdot 10^{-5}$
$9 \cdot 10^{-5}$
$1 \cdot 10^{-4}$
$1.1 \cdot 10^{-4}$
$1.2 \cdot 10^{-4}$
$1.3 \cdot 10^{-4}$
$1.4 \cdot 10^{-4}$
...

4. Построим 2 графика – график по формуле с точно рассчитанными параметрами диода и график по исходным данным на 1 холсте:



5. Выполним проверку по напряжению модели и эксперимента:

$$\text{Iprov} := (\text{VAX}^{(1)})_{45} = 0.041$$

$$\text{Uformula}(\text{Iprov}) = 0.835$$

$$(\text{VAX}^{(0)})_{45} = 0.819$$