



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 «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»

ОТЧЁТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №1
«ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ»
по курсу «Основы электроники»

Студент: Талышева Олеся Николаевна

Группа: ИУ7-35Б

Студент _____ Талышева О. Н.
подпись, дата

Преподаватель _____ Оглоблин Д. И.
подпись, дата

Оценка _____

2023 г

Оглавление

Сокращения терминов, аббревиатуры	3
Цель практикума.....	3
Номер варианта задания	3
Часть 1. Эксперимент 1	4
Исследование ВАХ полупроводниковых диодов на модели лабораторного стенда в программе MICROCAP	4
Вывод данных решения MICROCAP во внешний текстовый файл	6
Чтение данных из текстового файла в MCXX в программу MATHCAD (MCAD)	7
Построение графика ВАХ, заданного таблицей, в MCAD.....	8
Приближенный расчет параметров модели полупроводникового диода методом трех ординат	8
Точный расчет параметров модели полупроводникового диода методом GIVEN MINERR	9
Построение ВАХ заданной таблицей и функциональной зависимостью на одном графике.....	11

СОКРАЩЕНИЯ ТЕРМИНОВ, АББРЕВИАТУРЫ:

- ✓ ВАХ — вольтамперная характеристика;
- ✓ ВФХ — вольтфарадная характеристика;
- ✓ MSxx — программная среда NI Multisim 12 или 14 версии;
- ✓ MCxx — программная среда Microcap версии 9 – 12.
- ✓ MCAD – программная среда MathCAD версии 14, 15.

ЦЕЛЬ ПРАКТИКУМА:

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

НОМЕР ВАРИАНТА ЗАДАНИЯ:

* Variant 125

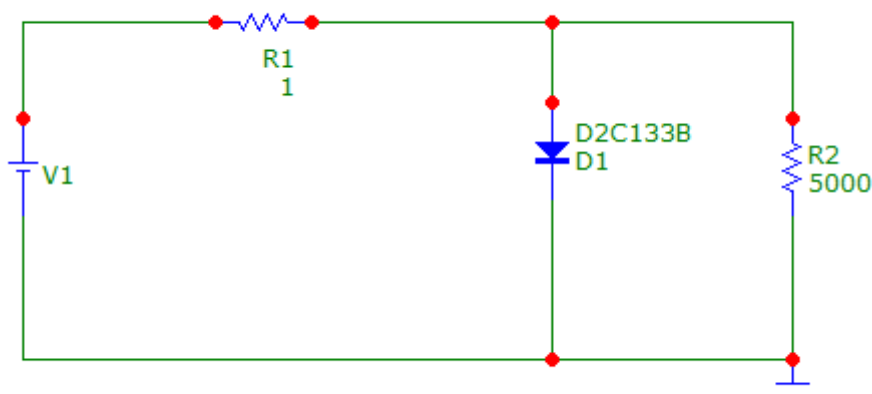
```
.MODEL D2C133B D (BV=3.371 CJO=220p FC=.5 IBV=47.97m IS=31.47f ISR=2.035n  
+ M=.5959 NBV=3 RS=0.3655 VJ=.75)  
*          Ibvl=48.16m  
*          Tbv1=-1.1m)
```

ЧАСТЬ. 1 . ЭКСПЕРИМЕНТ 1

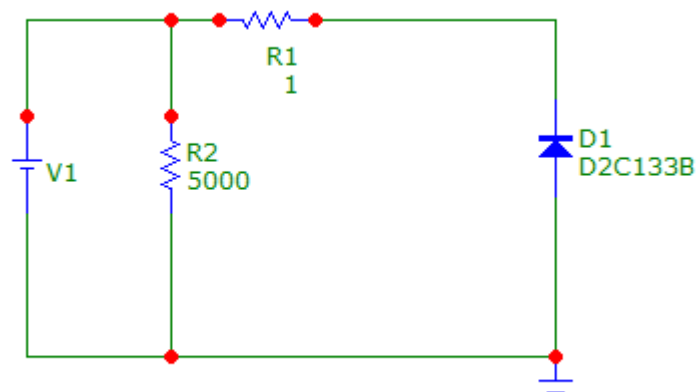
Исследование ВАХ полупроводниковых диодов на модели лабораторного стенда в программе MICROCAP

Для заданного варианта диода проведено моделирование лабораторного стенда получения ВАХ диода в программе Microcap 12 как на прямой ветви, так и на обратной ветви:

1) на прямой ветви



2) на обратной ветви



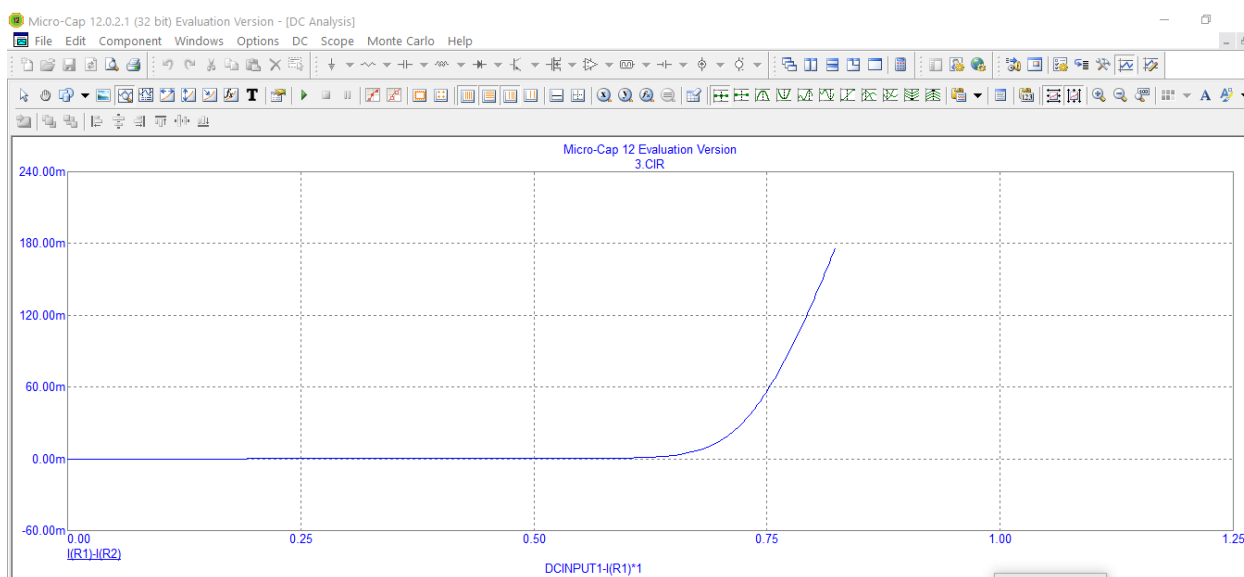
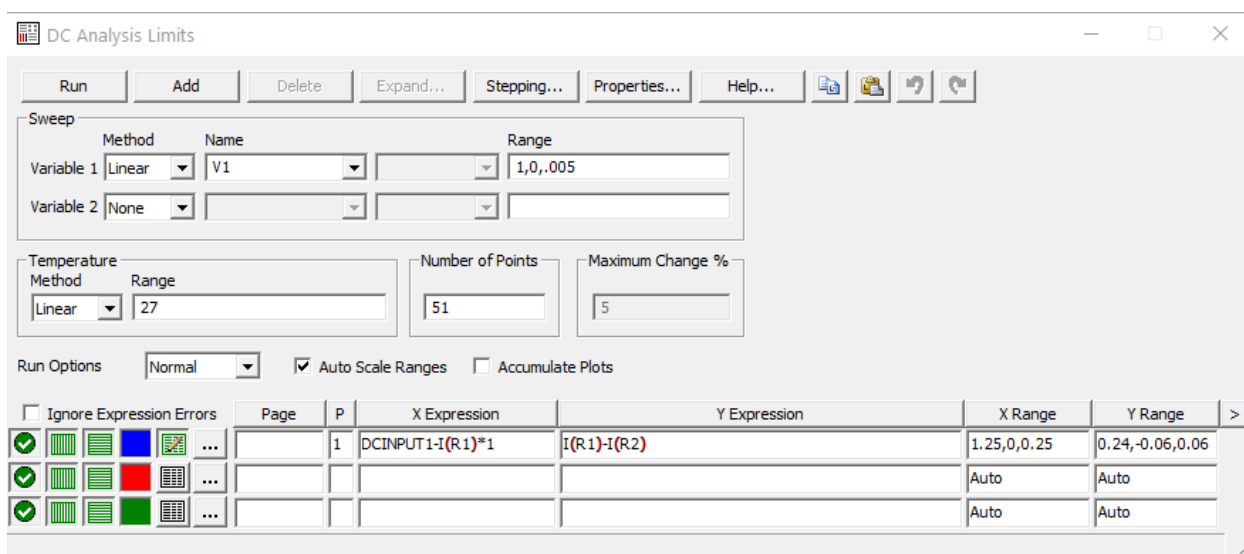
Формула для определения значений по оси X (напряжение V1) учитывает, что для построения графика зависимости тока диода от напряжения на диоде, необходимо учесть падение напряжения на миллиамперметре. В конкретном случае сопротивление миллиамперметра определено как 10 Ом, поэтому истинное напряжение на диоде и будет определяться выражением:

$$U_d = DCINPUT1 - I(RMA)*10.$$

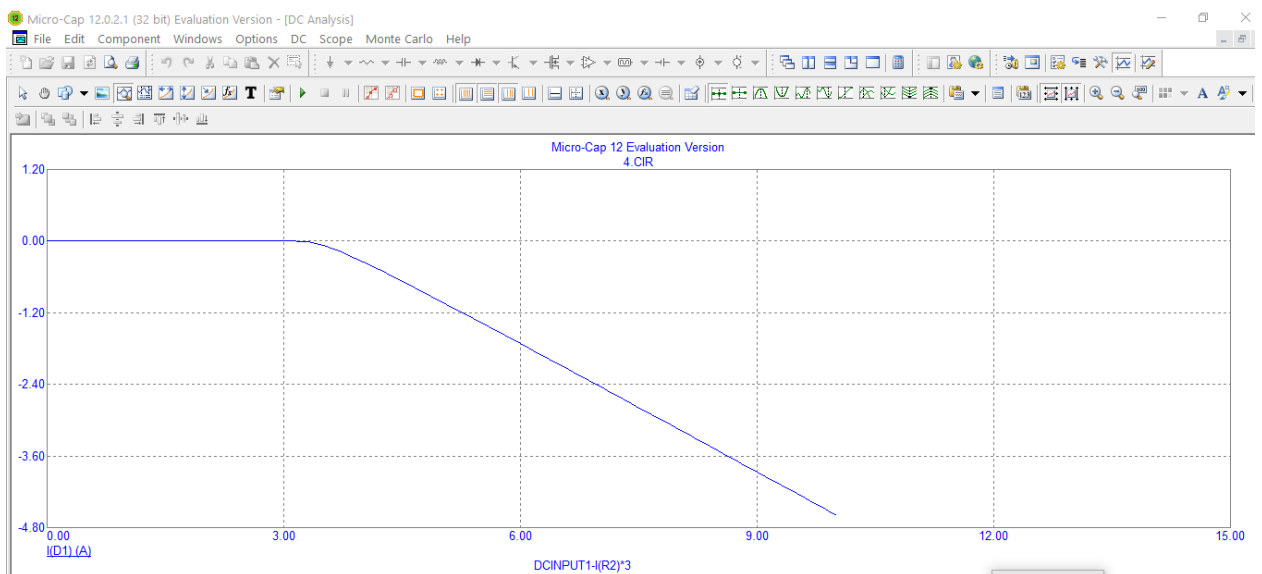
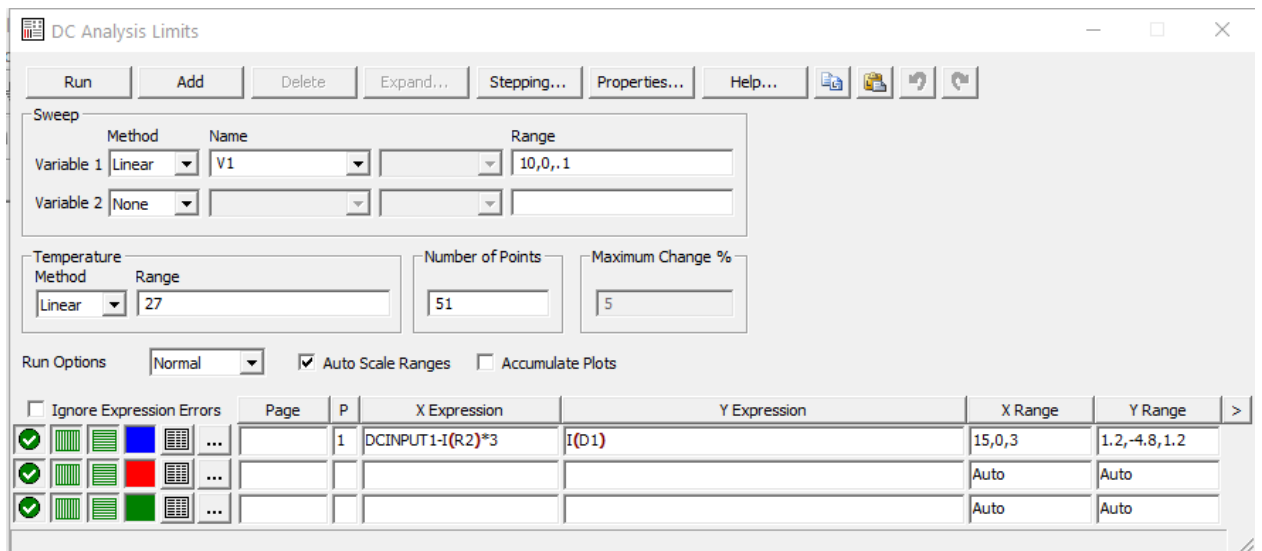
Здесь DCINPUT1 – значение изменяемого напряжения

Variable 1, в качестве которого используется напряжение источника V1.

Ток через миллиамперметр определяется суммой двух токов – тока через диод и тока через милливольтметр. Поэтому для построения графика, связывающего ток диода (по оси Y) с напряжением на диоде (по оси X), используется выражение $I_d = I(RMA) - I(RMV)$. После записи выражений напряжения и тока по осям графика, нажимаем «Run» и получаем следующий результат:

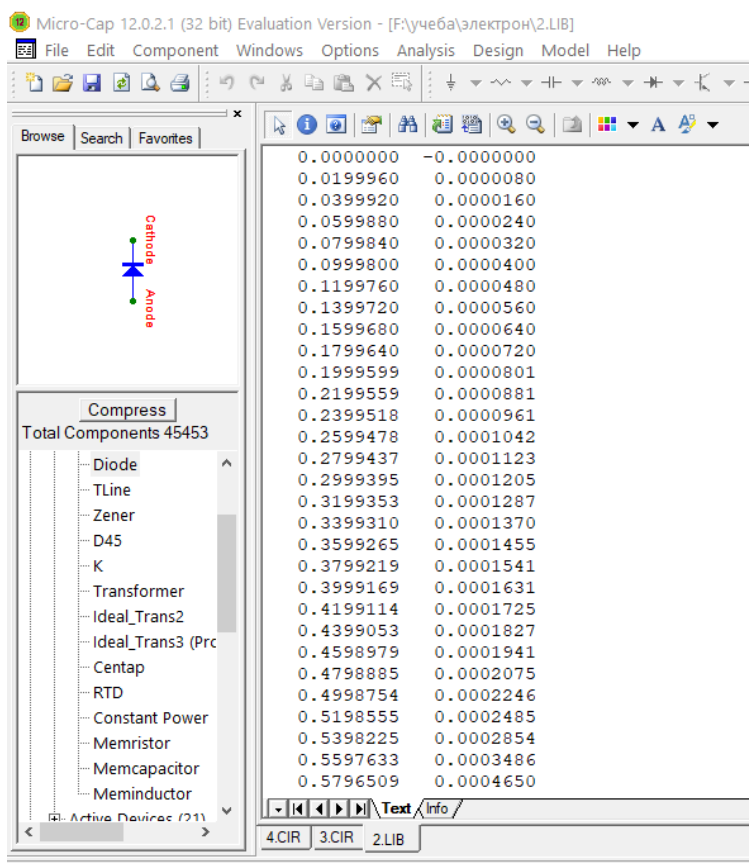


В схеме определения обратного тока диода запись тока и напряжения на диоде меняются: поскольку ток через вольтметр с внутренним сопротивлением R1 значительно больше обратного тока диода, его надо исключить из измерений. При этом напряжение на амперметре очень мало (микро или нановольты), поскольку обратный ток диода очень мал.



Вывод данных решения MICROCAP во внешний текстовый файл.

Выводим только измерения прямого тока, осуществив программную настройку опций вывода только численных результатов расчёта и исправив формат на читаемый MCAD-ом десятичный:



Чтение данных из текстового файла в MCXX в программу MATHCAD (MCAD).

В MathCAD задается переменная VAX (вольтамперная характеристика), которой и был назначен результат чтения из файла данных:

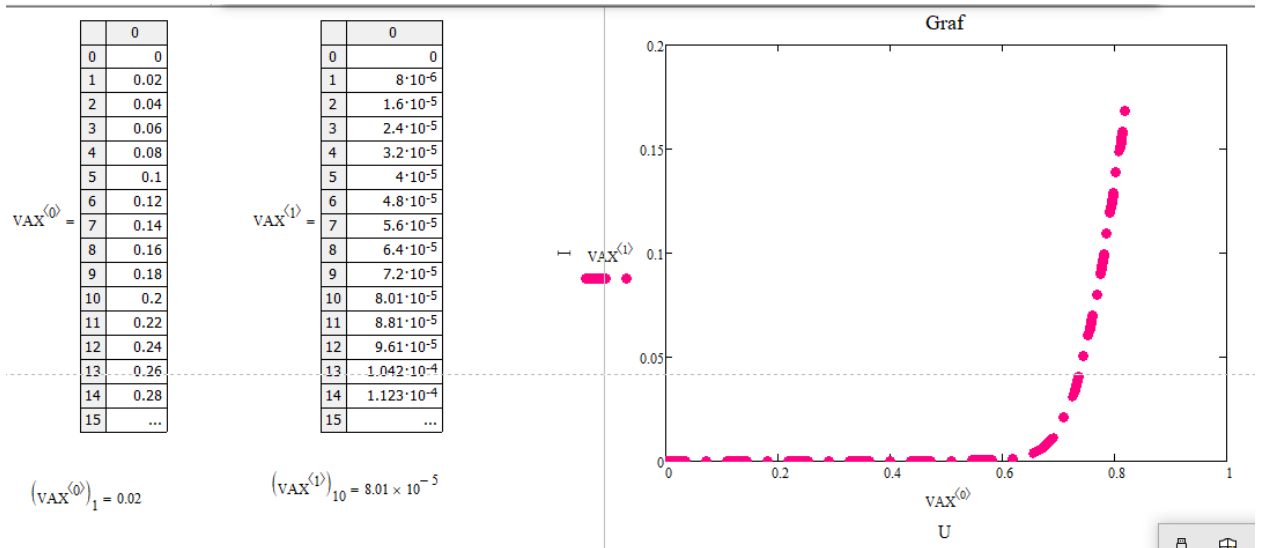
$VAX := \text{READPRN}("2.LIB")$

VAX =

	0	1
0	0	0
1	0.02	$8 \cdot 10^{-6}$
2	0.04	$1.6 \cdot 10^{-5}$
3	0.06	$2.4 \cdot 10^{-5}$
4	0.08	$3.2 \cdot 10^{-5}$
5	0.1	$4 \cdot 10^{-5}$
6	0.12	$4.8 \cdot 10^{-5}$
7	0.14	$5.6 \cdot 10^{-5}$
8	0.16	$6.4 \cdot 10^{-5}$
9	0.18	$7.2 \cdot 10^{-5}$
10	0.2	$8.01 \cdot 10^{-5}$
11	0.22	$8.81 \cdot 10^{-5}$
12	0.24	$9.61 \cdot 10^{-5}$
13	0.26	$1.042 \cdot 10^{-4}$
14	0.28	$1.123 \cdot 10^{-4}$
15	0.3	...

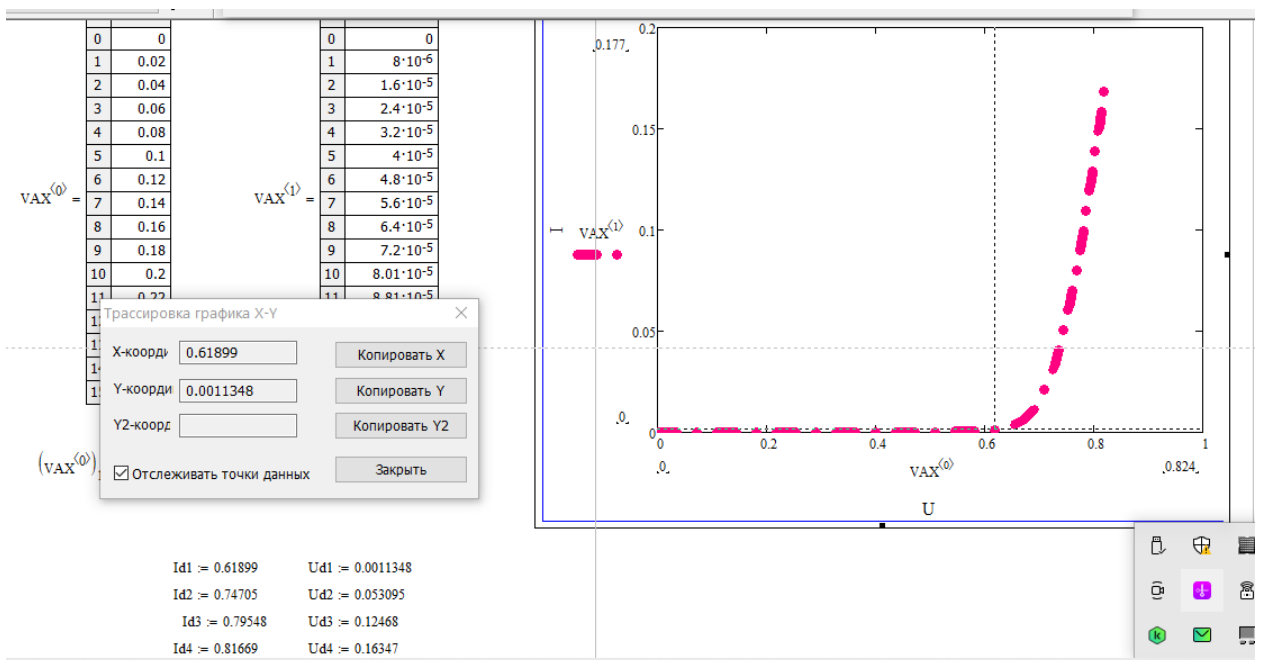
Построение графика ВАХ, заданного таблицей, в MCAD

По оси X (напряжение U) – $VAX^{(0)}$, по оси Y (ток I) – $VAX^{(1)}$:



Приближенный расчет параметров модели полупроводникового диода методом трех ординат.

С помощью метода трассировки выбрали 4 точки на графике:



По указанным выше точкам приближённо вычисляем, при помощи метода трех ординат, параметры диода:

- 1) I_o – обратный ток перехода,
- 2) R_b – сопротивление базы,
- 3) N_{Ft} – тепловой потенциал (зависит от температуры и материала).

$$R_b := \frac{(U_{d1} - 2 \cdot U_{d2} + U_{d3})}{I_{d1}} \quad R_b = 0.032$$

$$N_{Ft} := \frac{[(3 \cdot U_{d2} - 2 \cdot U_{d1}) - U_{d3}]}{\ln(2)} \quad N_{Ft} = 0.047$$

$$I_o := I_{d1} \cdot e^{\frac{(U_{d3} - 2 \cdot U_{d2})}{N_{Ft}}} \quad I_o = 0.92$$

Точный расчет параметров модели полупроводникового диода методом GIVEN MINERR.

Решение систем линейных и нелинейных уравнений и неравенств возможно с помощью вычислительного блока Given, в который входят функции Find, Minerr, Maximize, Minimize.

Minerr рекомендуется использовать, если система не может быть решена точно и следует найти наилучшее приближение, которое обеспечивает минимальную погрешность:

Вычисление параметров ВАХ (I_{s0} , R_b , m , F_t) $U_k := I_k \cdot R_b + \ln \left[\frac{(I_{s0} + I_k)}{I_{s0}} \right] \cdot m \cdot F_t$

$R_b := 1$ $I_{s0} := 0.0000001$ $m := 2$ $F_t := 0.02$ начальные приближения

Given

$$0.619 = \left[1.135 \cdot 10^{-3} \cdot R_b + m \cdot F_t \cdot \ln \left[\frac{(1.135 \cdot 10^{-3} + I_{s0})}{I_{s0}} \right] \right]$$

$$0.747 = \left[0.053 \cdot R_b + m \cdot F_t \cdot \ln \left[\frac{(0.053 + I_{s0})}{I_{s0}} \right] \right] +$$

$$0.795 = \left[0.125 \cdot R_b + m \cdot F_t \cdot \ln \left[\frac{(0.125 + I_{s0})}{I_{s0}} \right] \right]$$

$$0.817 = \left[0.163 \cdot R_b + m \cdot F_t \cdot \ln \left[\frac{(0.163 + I_{s0})}{I_{s0}} \right] \right]$$

$Diod_M := Minerr(I_{s0}, R_b, m, F_t)$

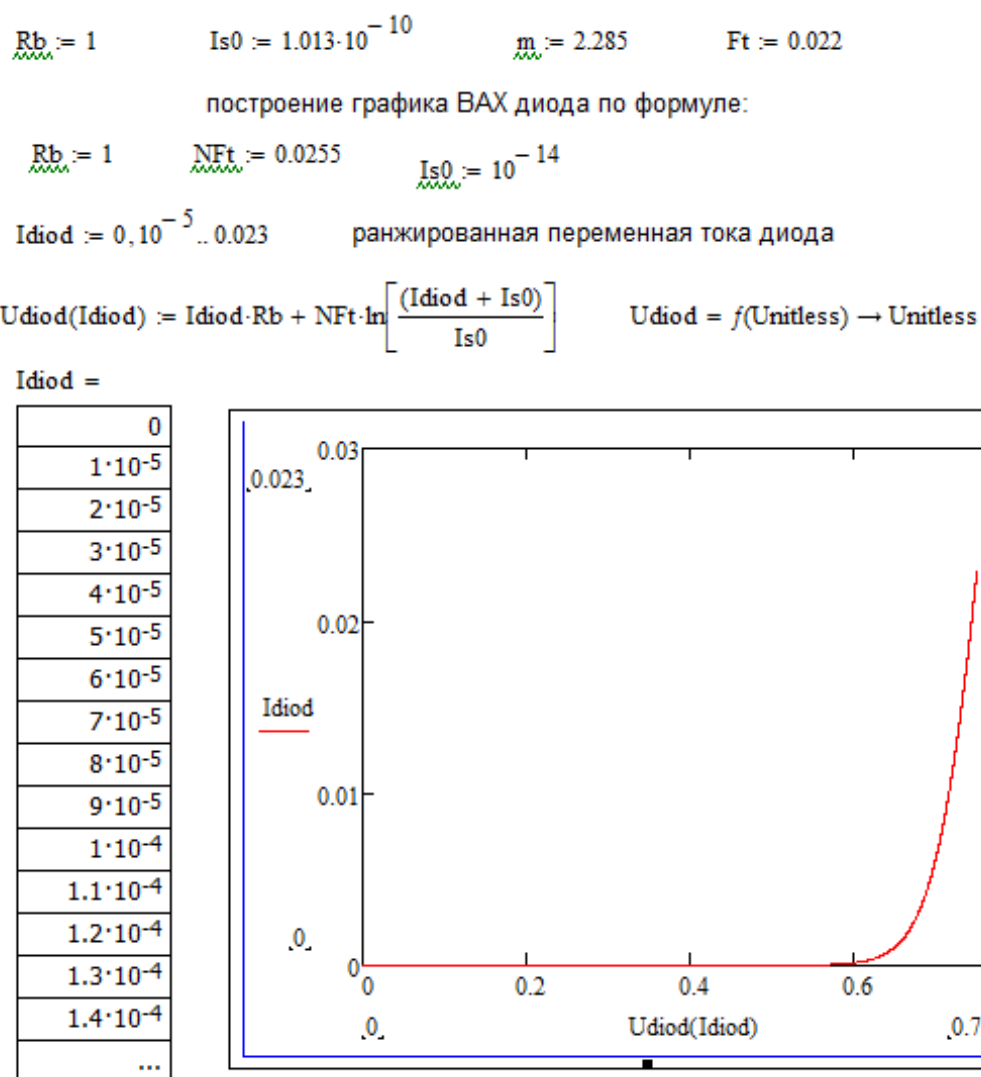
$Diod_M = \begin{pmatrix} 4.517 \times 10^{-13} \\ 0.343 \\ 1.613 \\ 0.018 \end{pmatrix}$

$I_{d1} = 0.619$	$U_{d1} = 1.135 \times 10^{-3}$
$I_{d2} = 0.747$	$U_{d2} = 0.053$
$I_{d3} = 0.795$	$U_{d3} = 0.125$
$I_{d4} = 0.817$	$U_{d4} = 0.163$

Функция Minner очень похожа на функцию Find (использует тот же алгоритм). Если в результате поиска не может быть получено дальнейшее уточнение текущего приближения к решению, Minner возвращает это приближение.

Построение ВАХ заданной таблицей и функциональной зависимостью на одном графике:

Сравнить результат моделирования и эксперимента можно, построив на одном графике ВАХ экспериментальную и ВАХ теоретическую. Использована модель диода с учетом объемного сопротивления базы. Свои параметры предыдущего расчета R_b , I_{s0} , m и F_t выведены прямым присвоением, поскольку на они находятся в векторе:

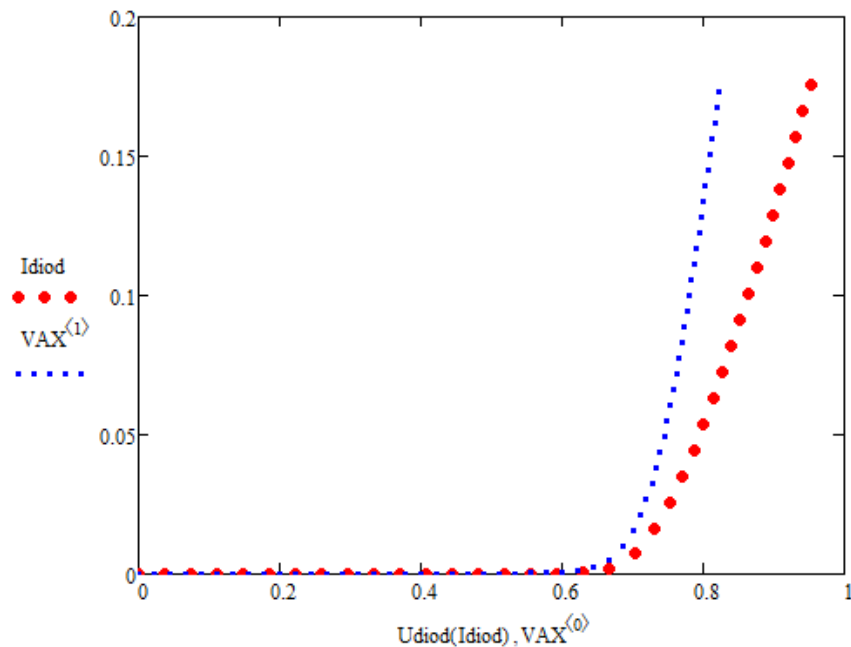


На последнем графике необходимо совместить исходную кривую, представленную входными табличными данными и теоретический график модели, определенный формулой:

проверка по напряжению модели и эксперимента $(VAX^{(0)})_{45} = 0.788$

$I_{proverka} := (VAX^{(1)})_{45}$ $U_{diod}(I_{proverka}) = 0.878$ $(VAX^{(1)})_{45} = 0.112$

$I_{diod} := VAX^{(1)}$ $U_{diod}(I_{diod}) := I_{diod} \cdot R_b + N F t \cdot \ln \left[\frac{(I_{diod} + I_{s0})}{I_{s0}} \right]$

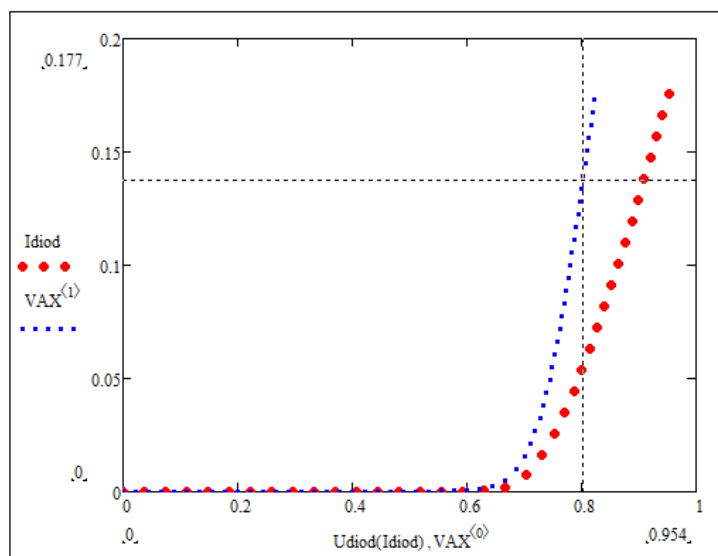


Проверить совпадение результатов можно с использованием приема трассировки графика средствами MCAD. Перемещая курсор внутри графика, определяются значения тока и напряжения первого и второго графика:

проверка по напряжению модели и эксперимента $(VAX^{(0)})_{45} = 0.788$

$I_{proverka} := (VAX^{(1)})_{45}$ $U_{diod}(I_{proverka}) = 0.878$ $(VAX^{(1)})_{45} = 0.112$

$I_{diod} := VAX^{(1)}$ $U_{diod}(I_{diod}) := I_{diod} \cdot R_b + N F t \cdot \ln \left[\frac{(I_{diod} + I_{s0})}{I_{s0}} \right]$



Трассировка графика X-Y		
X-коорд:	0.80269	Копировать X
Y-коорд:	0.13747	Копировать Y
Y2-коорд:		Копировать Y2
<input checked="" type="checkbox"/> Отслеживать точки данных		Заккрыть