

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Факультет «Радиоэлектроника и лазерная техника»

Кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»

Семинар №1

по дисциплине

«Электроника»

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ВАХ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ

Выполнили студенты группы РЛ-41

Филимонов С.В.

Мухин Г. А.

Сиятелев А.Ю.

Фамилия И.О.

Проверил проф. Крайний В.И.

Оценка в баллах _____

Москва, 2022

Сокращения терминов и аббревиатур:

ВАХ - Вольт амперная характеристика

МС - Micro-CAP12

Цель работы:

Моделирование лабораторных исследований в программах схемотехнического моделирования, расчёт параметров модели по результатам моделирования. Приобретение навыков в использовании базовых возможностей программ схемотехнического анализа для исследования статических и динамических характеристик полупроводниковых диодов с последующим расчётом параметров модели полупроводникового диода. Приобретение навыков в исследовании полупроводниковых приборов и освоение математических программ расчёта параметров модели полупроводниковых приборов на основе проведённых экспериментальных исследований.

Начальные данные

Диод модели: KD204B

R1: 1 Ом

R2: 5000 Ом

V1: 1 В

Ход работы

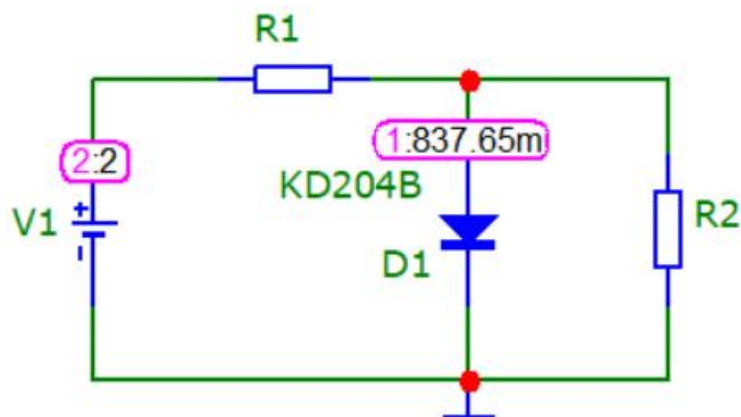


Рис. 1 Схема

Diode

Name: MODEL Value: KD204B Show Change

Display: ☐ Pin Markers ☐ Pin Names ☐ Pin Numbers ☒ Current ☒ Power ☒ Condition Shape: Border D Fill D

PART=D1
VALUE=
MODEL=KD204B
SMOKE=
COST=
POWER=
SHAPEGROUP=Default
PACKAGE=DO-35

OK Cancel Font... Add Delete Browse...
New Find... Plot... Syntax... IBIS... Help...

Enabled: TRUE Columns: 3

☒ Help Bar [File Link](#)

☐ Show Data on Exit

Source: Local page 'Models'

LEVEL 1	AF 1	BV 0
CJO 0	EG 1.11	FC 500m
IBV 100p	IBVL 0	IKF 0
IS 10f	ISR 0	KF 0
M 500m	N 1	NBV 1
NBVL 1	NR 2	RL 0
RS 0	T_ABS undefined	T_MEASURED undefined
T_REL_GLOBAL undefined	T_REL_LOCAL undefined	TBV1 0
TBV2 0	TIKF 0	TRS1 0
TRS2 0	TT 0	VJ 1
XTI 3		

Controls the display of pin markers.

Рис.2 Описание диода в программе МС

DC Analysis Limits

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

Sweep

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

Temperature

Method	Range
Linear	27

Number of Points: 51 Maximum Change %: 1

Run Options: Normal ☐ Auto Scale Ranges ☐ Accumulate Plots

Page	P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
1	1	DCINPUT1	I(D1)	1,4,0,0,2	0,5,0,1

Рис.3 DC Analysis Limits

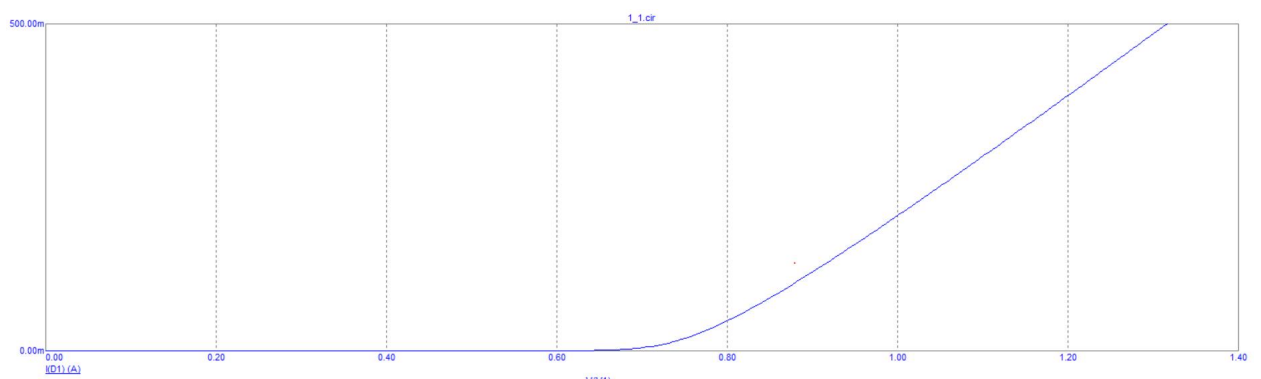


Рис.4 ВАХ прямой ветви

Проводим многовариантный анализ (stepping) для $R2 = 1\text{K}..10\text{K}$, $R1 = 1..10\ \Omega$.

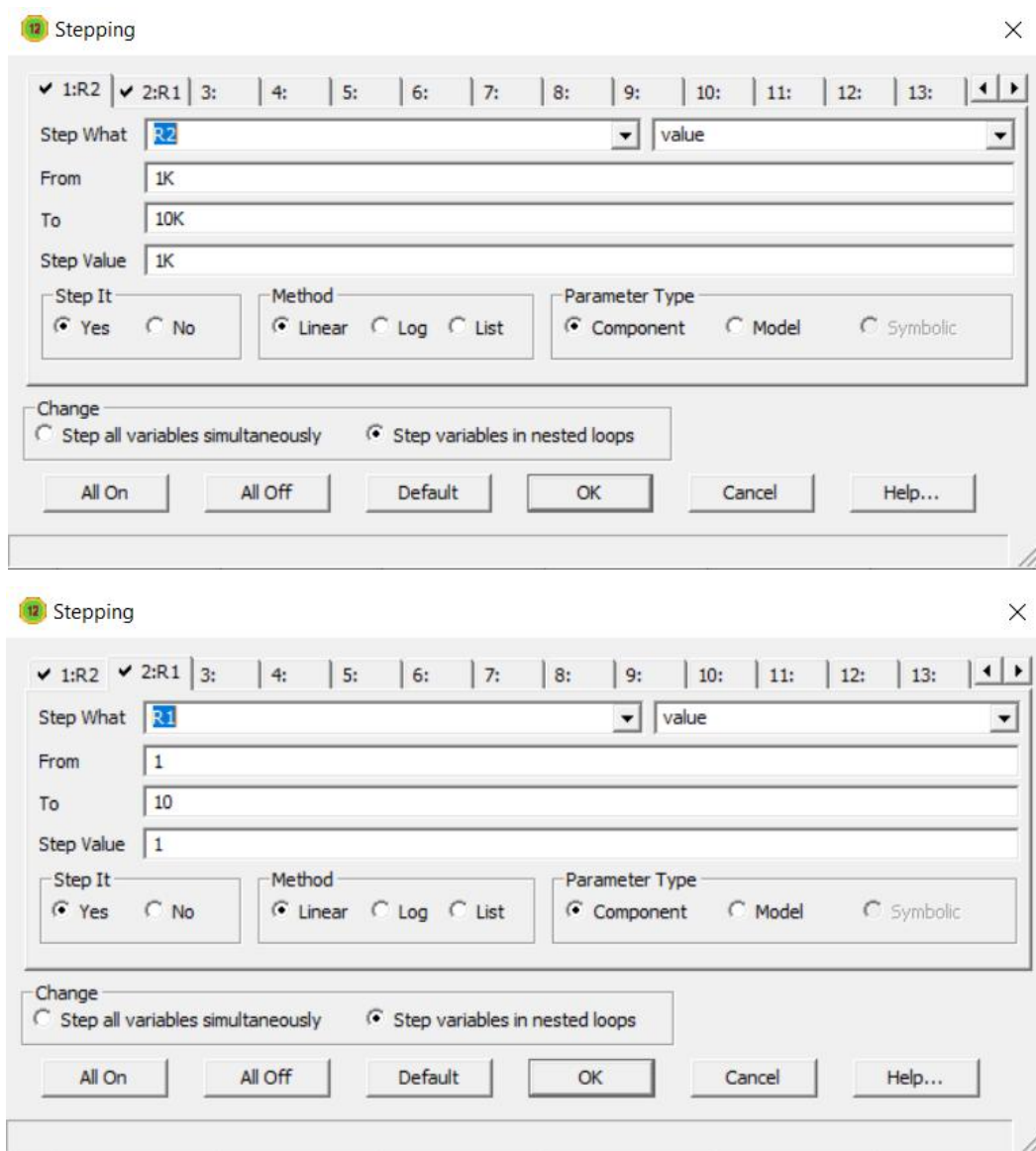


Рис.5 Настройка Stepping

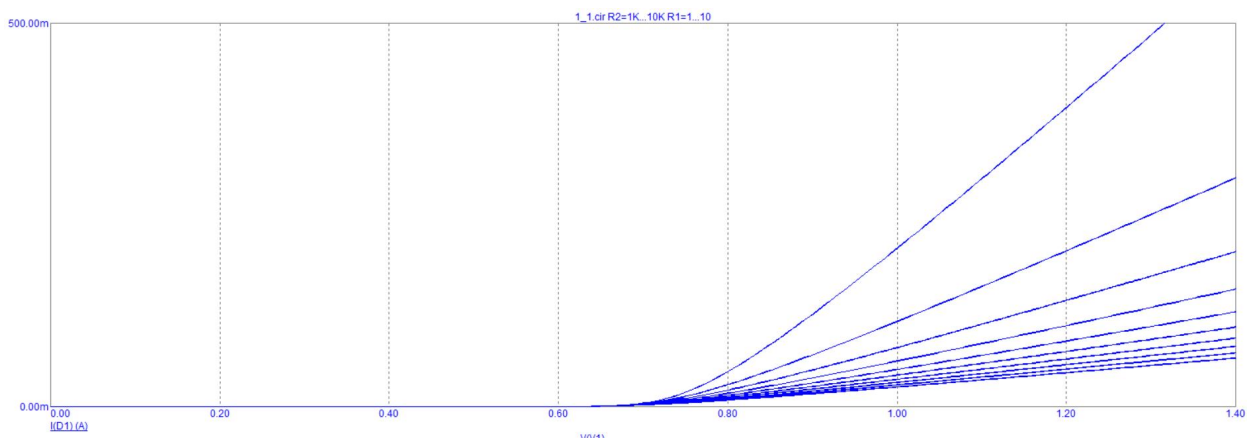


Рис. 6 График ВАХ

Для $R1=1..10$ Ом. При увеличении величины сопротивления $R1$ ВАХ смещается из-за увеличения падения напряжения на $R1$.

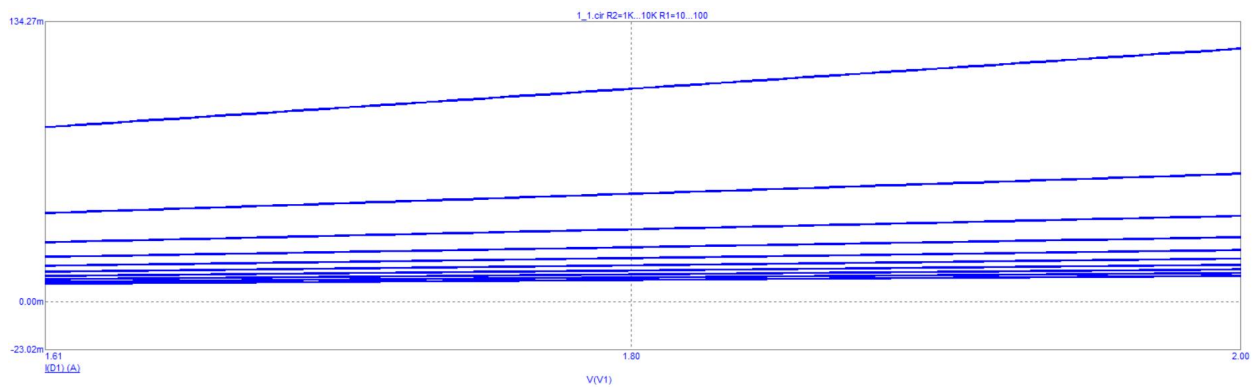


Рис. 7 $R1$ увеличивается

Графики расположены очень близко друг к другу поскольку сопротивления $R2$ и диод включены параллельно и $R_{\text{дио́да}} \ll R2$.

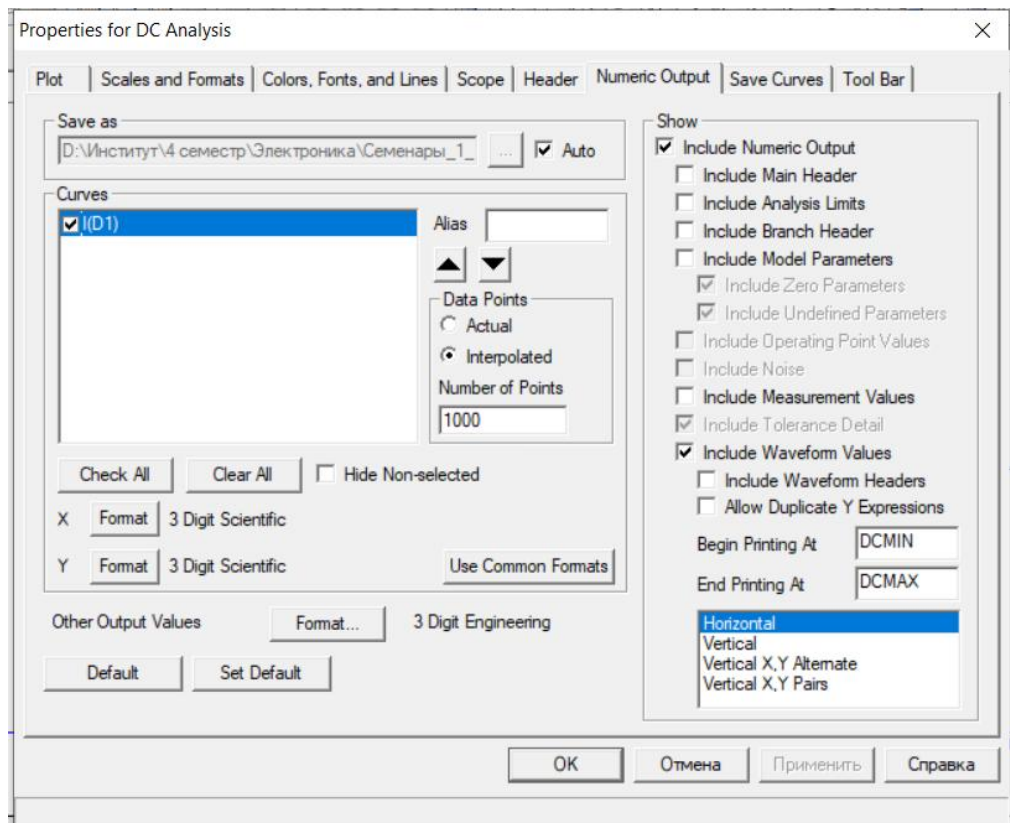


Рис. 8 Настройка для сохранения точек.

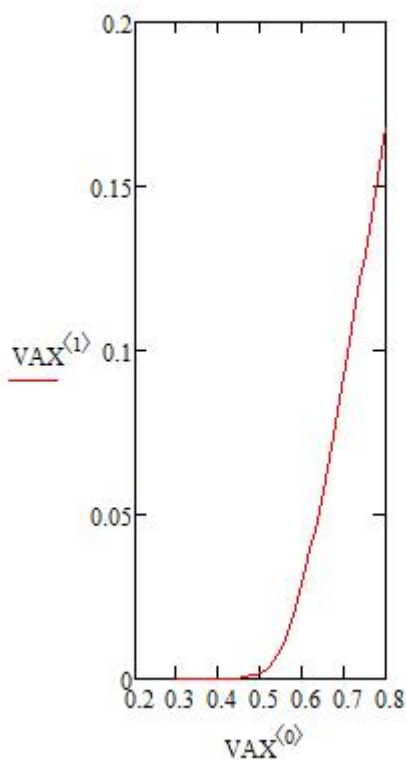
Вывод данных:

Run	F2	0.000000	0.000000
✓ Limits...	F9	0.012000	0.000000
Stepping...	F11	0.024000	0.000000
Optimize...	Ctrl+F11	0.036000	0.000000
Worst Case...	Alt+6	0.048000	0.000000
✓ Analysis Window	F4	0.060000	0.000000
Watch	Ctrl+W	0.072000	0.000000
Breakpoints...	Alt+F9	0.084000	0.000000
Operating Point Methods...	Ctrl+Shift+O	0.096000	0.000000
3D Windows	>	0.108000	0.000000
Performance Windows	>	0.120000	0.000000
Fourier Windows	>	0.132000	0.000000
Slider	>	0.144000	0.000000
Numeric Output	F5	0.156000	0.000000
State Variables Editor...	F12	0.168000	0.000000
Reduce Data Points...		0.180000	0.000000
Smoke		0.192000	0.000000
Exit Analysis	F3	0.204000	0.000000
		0.216000	0.000000
		0.228000	0.000001
		0.240000	0.000001
		0.252000	0.000001
		0.264000	0.000002
		0.276000	0.000004
		0.288000	0.000006
		0.300000	0.000009
		0.312000	0.000015
		0.324000	0.000023
		0.336000	0.000037
		0.348000	0.000059
		0.360000	0.000093
		0.372000	0.000148
		0.384000	0.000236
		0.396000	0.000375
		0.408000	0.000596
		0.420000	0.000946
		0.432000	0.001500
		0.444000	0.002376
		0.456000	0.003756
		0.468000	0.005915
		0.480000	0.009268
		0.492000	0.014202
		0.504000	0.021803
		0.516000	0.033065
		0.528000	0.049074

Close Ctrl+F4
Save Ctrl+S
Copy Name To Clipboard

Обработка результатов в Mathcad

```
VAX := READPRN("VAX ДИОДА ПРЯМАЯ ВЕТВЬ.DNO")
```



VAX =

	0	1
30	0.6	0.029
31	0.61	0.034
32	0.62	0.039
33	0.63	0.045
34	0.64	0.051
35	0.65	0.058
36	0.66	0.064
37	0.67	0.071
38	0.68	0.078
39	0.69	...

$\text{длина}(VAX^{(1)}) = 51$

$Id3 := \max(VAX^{(1)})$

$Id3 = 0.168$

Значение индекса максимального тока

$nMax := \text{match}(Id3, VAX^{(1)})$

$nMax = (50)$

Значение максимального напряжения для максимального тока

$Ud3 := (VAX^{(0)})_{50} \quad Ud3 = 0.8$

+

$$\frac{Id3}{4} = 0.042$$

вычисленное значение тока Id1

$$Id1 := 0.00570438$$

определенное значение тока Id1 и напряжения Ud1

$$Ud1 := 0.69735$$

$$Ud1 := \text{linterp}\left(VAX^{(1)}, VAX^{(0)}, \frac{Id3}{4}\right)$$

$$Ud1 = 0.625$$

$$Id1 := \frac{Id3}{4}$$

$$Ud2 := \text{linterp}\left(VAX^{(1)}, VAX^{(0)}, \frac{Id3}{2}\right)$$

$$Ud2 = 0.689$$

$$Id2 := \frac{Id3}{2}$$

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

$$Rb = 1.106$$

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

$$NFt = 0.026$$

$$Is0 := Id1 \cdot \exp\left[\frac{-1}{NFt} \cdot (2 \cdot Ud1 - Ud3)\right]$$

$$Is0 = 1.331E-009$$

$$Ltab := \text{длина}(VAX^{(0)}) \quad \min(VAX^{(1)}) = 9 \times 10^{-3}; \max(VAX^{(1)}) = 0.168$$

$$\Delta I := \left(\frac{\max(VAX^{(1)}) - \min(VAX^{(1)})}{Ltab} \right)$$

$$\Delta I = 3.295 \times 10^{-3}$$

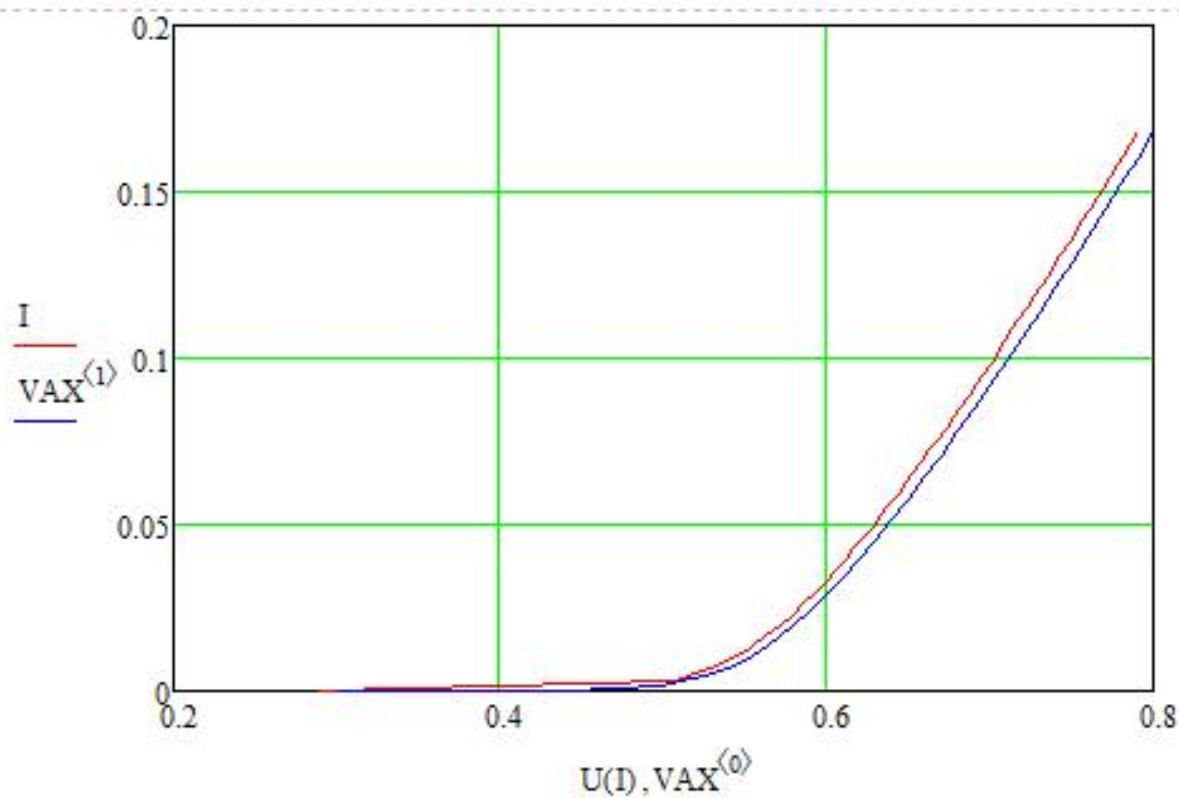
$$I := \min(VAX^{(1)}), (\min(VAX^{(1)}) + \Delta I) .. \max(VAX^{(1)})$$

$$Is0 = 1.331 \times 10^{-9}$$

$$Rb = 1.106$$

$$U(I) := I \cdot Rb + \ln\left[\frac{(I + Is0)}{(Is0)}\right] \cdot NFt$$

+



$$Is0 := 1.572 \times 10^{-8}$$

$$Rb := 0.414$$

$$NFt := (0.0255 \cdot 1.42)$$

Делаем вывод, что погрешность меньше 10%, а значит, результаты, полученные в программе MC12 и теоретическим путем с помощью программы Mathcad, почти сходятся.

График обратной ветви ВАХ.

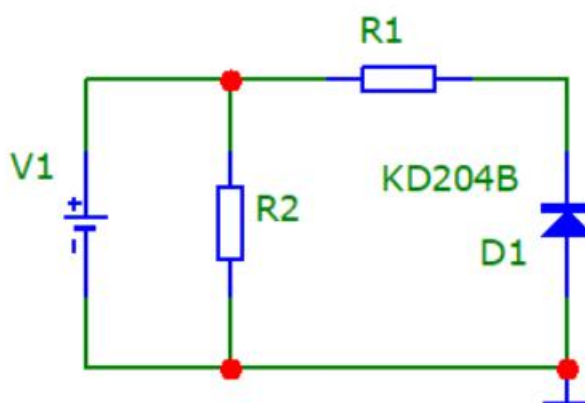


Рис. 1 Схема

Строим обратную ветвь ВАХ диода. Диалоговое окно задания параметров для построения ВАХ следующее:

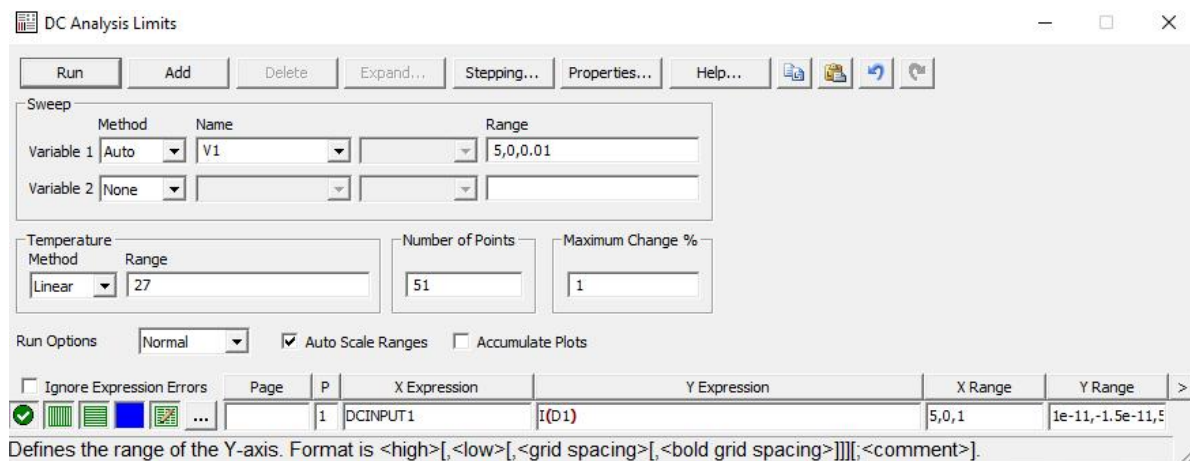


Рис. 2 Настройка пределов

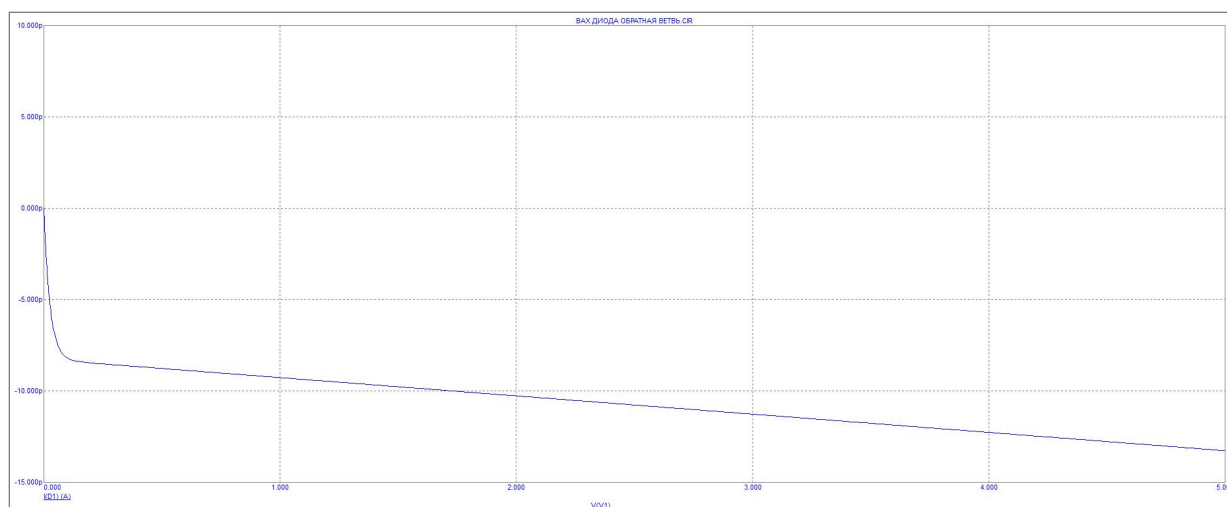


Рис. 3 График обратного ВАХ

Вывод.

Мы научились пользоваться программой МС. Провели теоретическое и практическое исследование полупроводникового диода KD204B.