

**МГТУ им. Н.Э. Баумана**

**Дисциплина электроника**

**Лабораторный практикум №1**

**по теме: «Исследование характеристик и параметров полупроводниковых  
диодов»**

Работу выполнил:

студент группы ИУ7-34

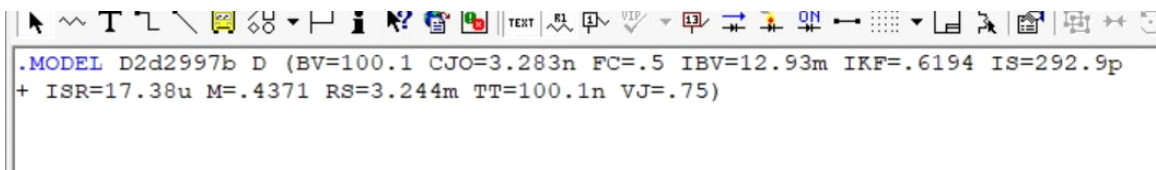
Воякин Алексей

Работу проверил:

Москва, 2019 г.

Цель работы - проведение экспериментальных исследований (натурных и модельных в программах схемотехнического анализа MathCad 14 и Micro-Cap 9) полупроводникового диода с целью получения исходных данных для расчёта параметров модели полупроводникового диода и внесение модели в базу данных программ схемотехнического анализа.

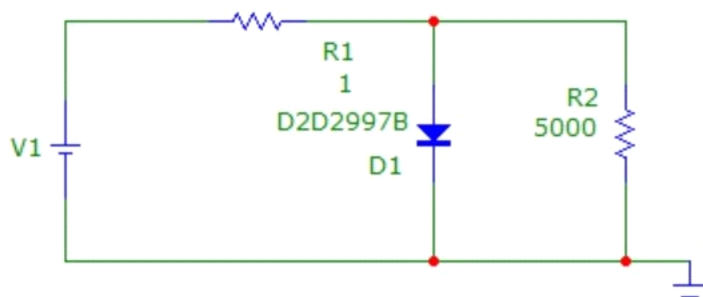
## Часть 1



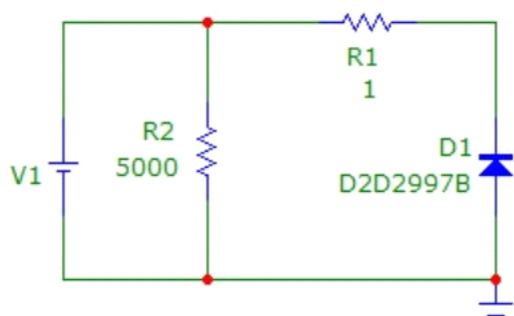
### Пункт №1

Для заданного диода марки D2d2997b, соответствующий моему варианту, проведем моделирование лабораторного стенда для получения ВАХ диода в программе Micro-Cap 9 как на прямой, так и на обратной ветвях по показанным ниже схемам:

- Схема для снятия ВАХ с прямой ветви



- Схема для снятия ВАХ с обратной ветви



Данный выбор схем объясняется следующими соображениями. Несмотря на то, что идеальных измерительных приборов не существует, все-таки амперметр должен обладать относительно малым сопротивлением, а вольтметр, наоборот, довольно значительным. При прямом включении диод имеет малое сопротивление, и, если параллельно к нему подключить вольтметр, то потери в токе будут не значительны, т.к. сопротивление вольтметра во много раз превышает сопротивление диода при прямом включении. При обратном включении такая схема не прокатит, т.к. сопротивления диода и вольтметра станут соизмеримы, и потери в токе окажутся весомыми. Поэтому следует точно измерить ток на ветви диода, вставив в нее амперметр, потерями напряжения можно пренебречь, т.к. падение напряжения на диоде при обратном включении будет гораздо больше потерь на амперметре. Проиллюстрируем сказанное графиками, построенным в Micro-Cap 9 по схемам, приведенным выше.

Установки анализа по постоянному току (DC)

Запустить    Добавить    Удалить    Расширить    С шагом...    Свойства    Помощь

Воздействие

Variable	Метод	Имя	Диапазон изменения
Variable 1	Linear	V1	10,0,005
Variable 2	None		

Температура

Метод	Диапазон
Linear	27

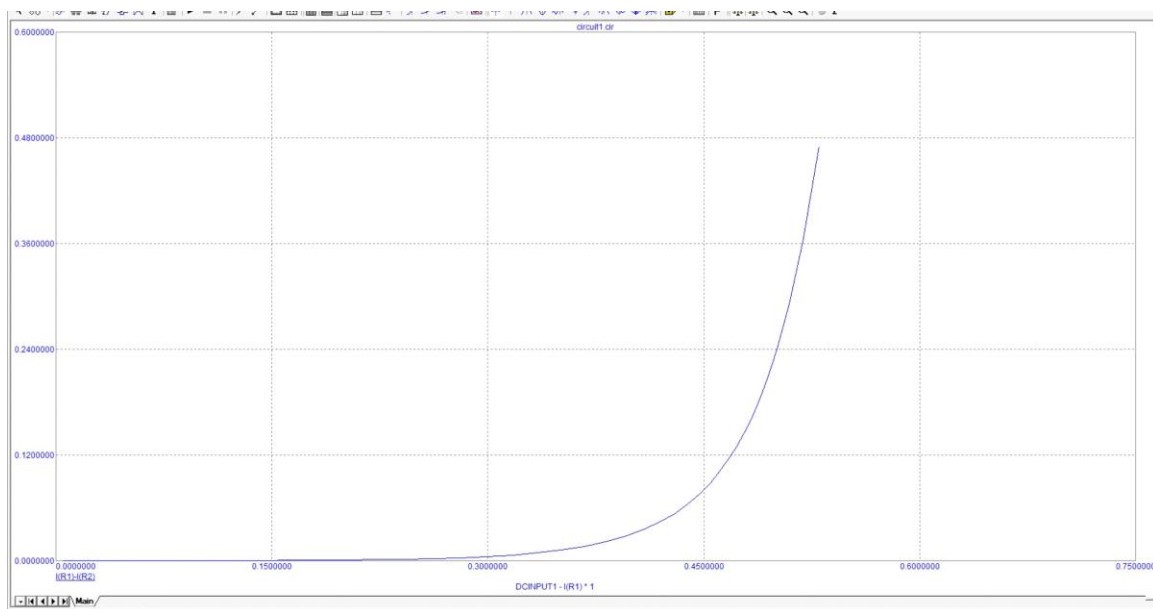
Число точек: 51

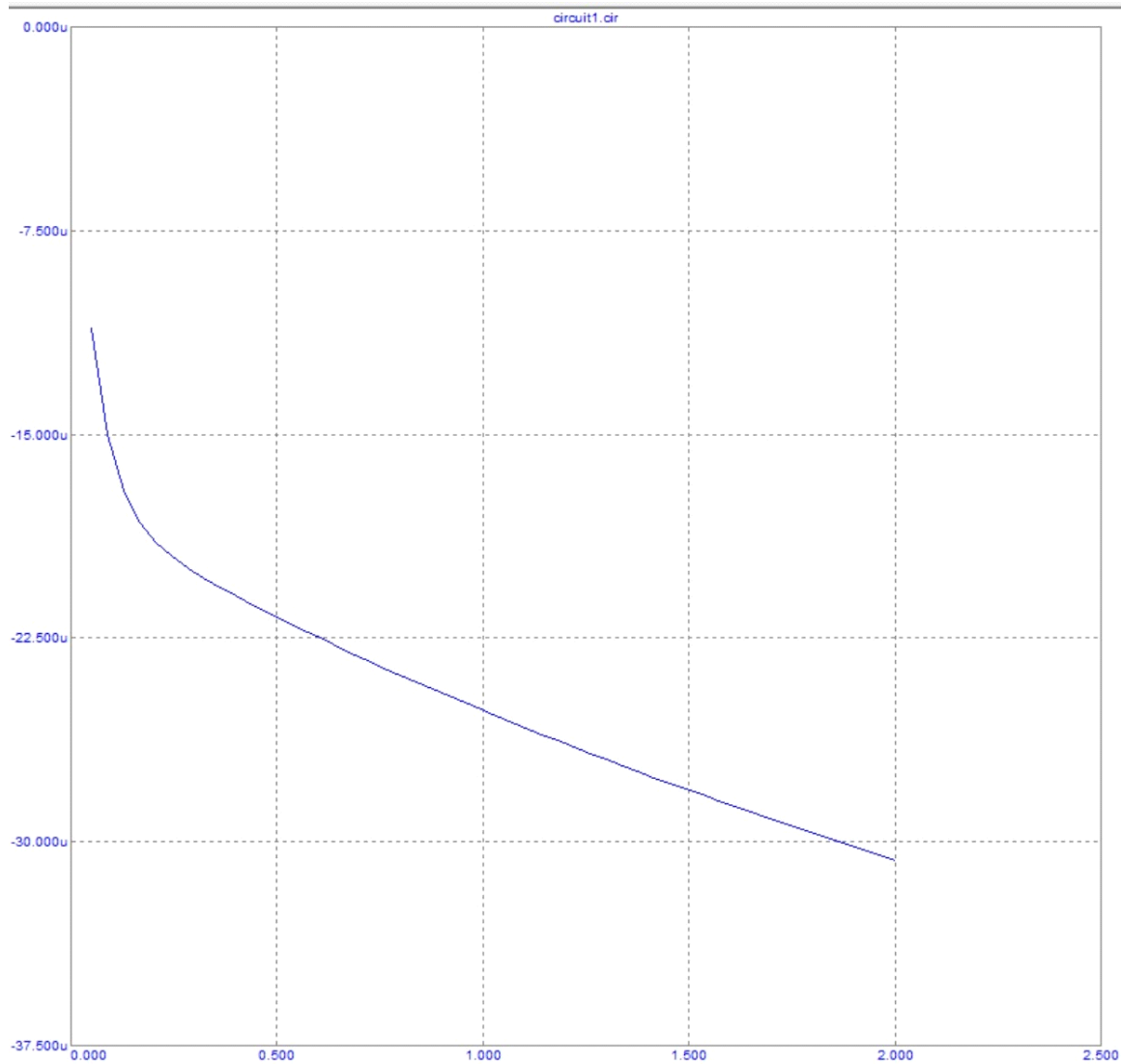
Макс. изменение %: 5

Run Options: Normal    ☐ Автомасштаб    ☐ Накапливание графиков

Страница	P	Выражение по оси X	Выражение по оси Y	Масштаб оси X	Масштаб оси Y
1		DCINPUT1+I(R1)*1	I(R1)+I(R2)	AutoAlways	AutoAlways
				AutoAlways	AutoAlways
				AutoAlways	AutoAlways

Задаёт масштаб по оси X. Формат <макс>[,<мин>[,<шаг сетки>[,<шаг утолщенной сетки>]]



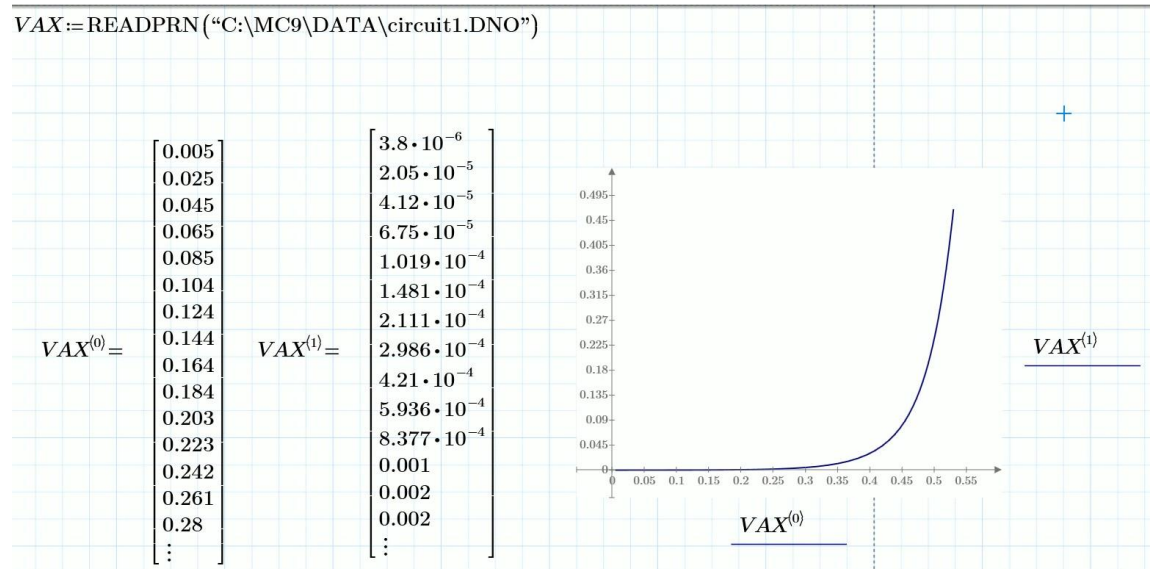


### Пункт №2

Полученные данные ВАХ сохраняю в виде текстового файла в формате, пригодном для передачи данных в программу MCAD и строю график:

0.0049972	0.0000038
0.0248844	0.0000205
0.0447677	0.0000412
0.0646454	0.0000675
0.0845150	0.0001019
0.1043728	0.0001481
0.1242137	0.0002111
0.1440302	0.0002986
0.1638117	0.0004210
0.1835431	0.0005936
0.2032029	0.0008377
0.2227614	0.0011832
0.2421770	0.0016714
0.2613938	0.0023585
0.2803374	0.0033187
0.2989124	0.0046474
0.3170016	0.0064618
0.3344691	0.0088977
0.3511688	0.0121014
0.3669579	0.0162155
0.3817144	0.0213619
0.3953530	0.0276260
0.4078348	0.0350468
0.4191683	0.0436156
0.4294026	0.0532833
0.4386157	0.0639720
0.4469019	0.0755875
0.4543608	0.0880301
0.4610901	0.1012021
0.4671809	0.1150125
0.4727149	0.1293796
0.4777642	0.1442313
0.4823914	0.1595051
0.4866502	0.1751471
0.4905868	0.1911113
0.4942405	0.2073583
0.4976450	0.2238545
0.5008291	0.2405711
0.5038174	0.2574834
0.5066312	0.2745701
0.5092889	0.2918130
0.5118062	0.3091962
0.5141970	0.3267059
0.5164732	0.3443301
0.5186455	0.3620583
0.5207229	0.3798812
0.5227138	0.3977907
0.5246253	0.4157796
0.5264993	0.4338060

Для анализа нашей ВАХ и нахождения физических параметров диода воспользуемся программой MathCAD.



### Пункт №3

Находим параметры диода в MCAD. Следую инструкции из методички.

- Методом трех ординат и методом вычислительного блока

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

$$Id3 = 0.47$$

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

$$nMax = [50]$$

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

$$Ud3 = 0.53$$

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

$$Ud1 = 0.468$$

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

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

$$Ud2 = 0.5$$

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

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

$$Rb = -0.012$$

$$Id1 = 0.118$$

$$Id2 = 0.235$$

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

$$NFt = 0.048$$

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

$$Is0 = 2.349 \cdot 10^{-5}$$

+

Находим параметры диода MCAD, следуя инструкции из методички Методом трех ординат и методом вычислительного блока.



Начальные приближения

$$IS := 1 \cdot 10^{-10}$$

$$Rb := 1$$

$$m := 2$$

$$Ft := 0.04$$

Ограничения

$$0.005 = 3.8 \cdot 10^{-6} \cdot Rb + \ln \left( \frac{(IS + 3.8 \cdot 10^{-6})}{IS} \right) \cdot m \cdot Ft$$

$$0.065 = 6.75 \cdot 10^{-5} \cdot Rb + \ln \left( \frac{(IS + 6.75 \cdot 10^{-5})}{IS} \right) \cdot m \cdot Ft$$

$$0.104 = 1.481 \cdot 10^{-4} \cdot Rb + \ln \left( \frac{(IS + 1.481 \cdot 10^{-4})}{IS} \right) \cdot m \cdot Ft$$

$$0.203 = 5.936 \cdot 10^{-4} \cdot Rb + \ln \left( \frac{(IS + 5.936 \cdot 10^{-4})}{IS} \right) \cdot m \cdot Ft$$

Решатель

$$Diod\_P := \text{Minerr}(IS, Rb, m, Ft)$$

$$Diod\_P = \begin{bmatrix} 4.277 \cdot 10^{-5} \\ 45.961 \\ 0.887 \\ 0.073 \end{bmatrix}$$

$$Rb1 := -0.012$$

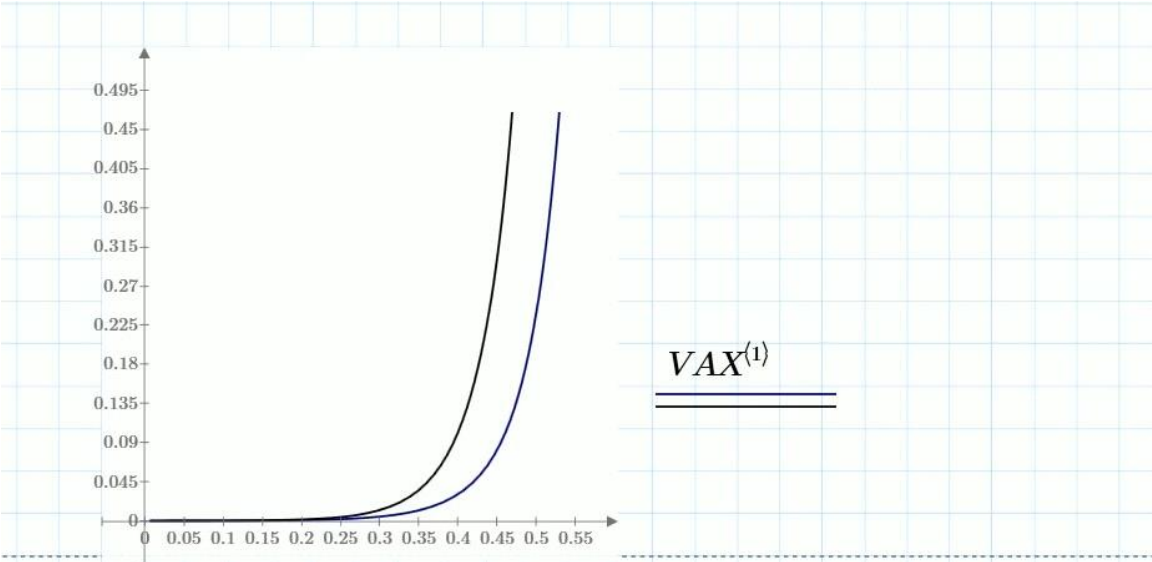
$$NFt1 := 0.048$$

$$Is01 := 2.349 \cdot 10^{-5}$$

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

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

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



$VAX^{(0)}$

$Uformula(Idiod)$

$VAX^{(0)} =$

- 0.005
- 0.025
- 0.045
- 0.065
- 0.085
- 0.104
- 0.124
- 0.144
- 0.164
- 0.184
- 0.203
- 0.223
- $\vdots$

$VAX^{(1)} =$

- $3.8 \cdot 10^{-6}$
- $2.05 \cdot 10^{-5}$
- $4.12 \cdot 10^{-5}$
- $6.75 \cdot 10^{-5}$
- $1.019 \cdot 10^{-4}$
- $1.481 \cdot 10^{-4}$
- $2.111 \cdot 10^{-4}$
- $2.986 \cdot 10^{-4}$
- $4.21 \cdot 10^{-4}$
- $5.936 \cdot 10^{-4}$
- $8.377 \cdot 10^{-4}$
- 0.001
- $\vdots$

$Idiod =$

- $3.8 \cdot 10^{-6}$
- $2.05 \cdot 10^{-5}$
- $4.12 \cdot 10^{-5}$
- $6.75 \cdot 10^{-5}$
- $1.019 \cdot 10^{-4}$
- $1.481 \cdot 10^{-4}$
- $2.111 \cdot 10^{-4}$
- $2.986 \cdot 10^{-4}$
- $4.21 \cdot 10^{-4}$
- $5.936 \cdot 10^{-4}$
- $8.377 \cdot 10^{-4}$
- 0.001
- $\vdots$

