

# ПРОГРАММА MODEL

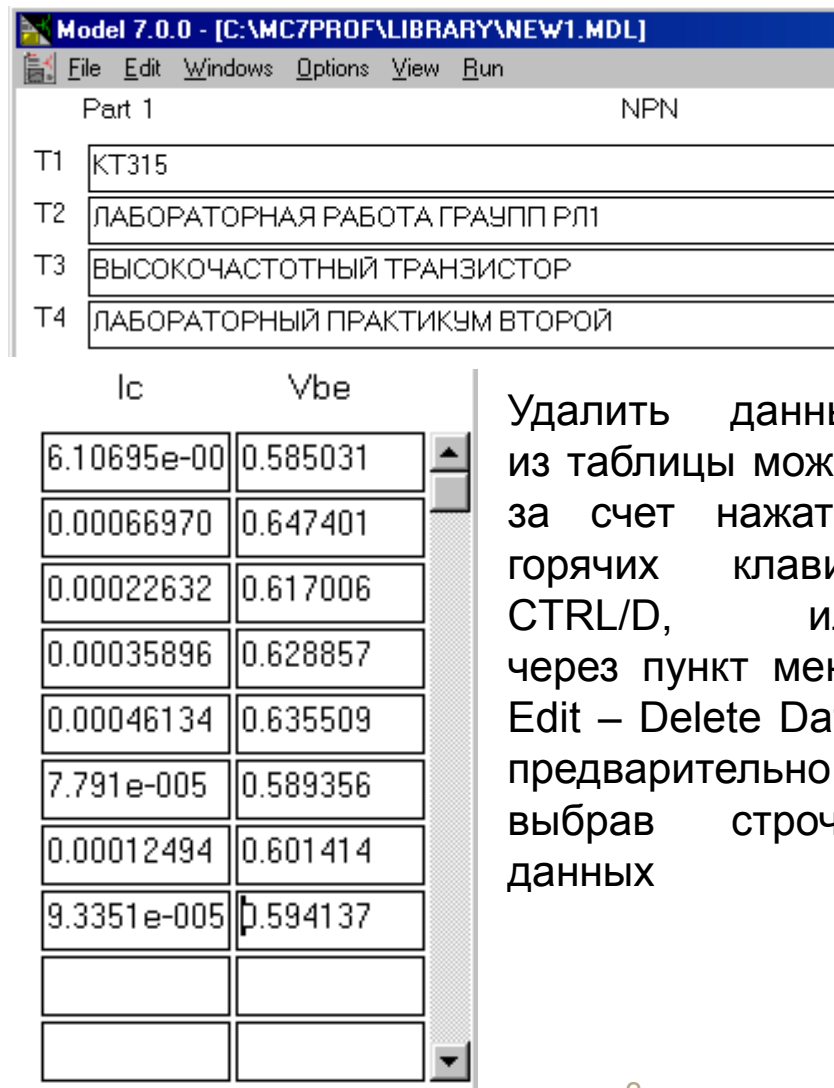
Программа предназначена для создания модели (определение параметров моделей приборов, входящих в МС7) прибора из данных, полученных экспериментальным путем или же справочных данных. Данные обрабатываются численными методами и оптимизируются для получения наиболее точного задания параметров.

# ПРОГРАММА MODEL

- Как правило необходимо ввести от двух до пяти значений в таблицу данных. Если такого количества данных нет, то можно использовать единственное значение, взятое из справочников.
- Отсутствие данных предполагает использование в параметрах значение по умолчанию, назначенные для комнатной температуры. После ввода Данных, использование опция Initialize подменю Run для первой оценки параметров, после этого, для оптимизации используют опцию Optimize подменю Run.

# ОКНО ПРОГРАММЫ

- Основные компоненты окна MODEL следующие:
- **Текстовые поля:** имеются четыре поля текстовые поля: 'T1', 'T2', 'T3', и 'T4'.
- 'T1' и 'T3' импортируются в библиотеки модели MC7. Поле 'T1' определяет название компонента и используется в библиотеке. Другие текстовые поля служат только как дополнительная документация.
- **Числовые поля данных:** имеют от одного до трех полей данных, в зависимости от Типа устройства и исходных графиков. В поле данных может быть введено от одной до пятидесяти позиций. Данные обычно получаются по ВАХ прибора. Если ВАХ нет, то может быть использована единственная пара значений, найденная в справочниках. Если же и в справочниках нет данных, то параметры модели задаются по умолчанию.



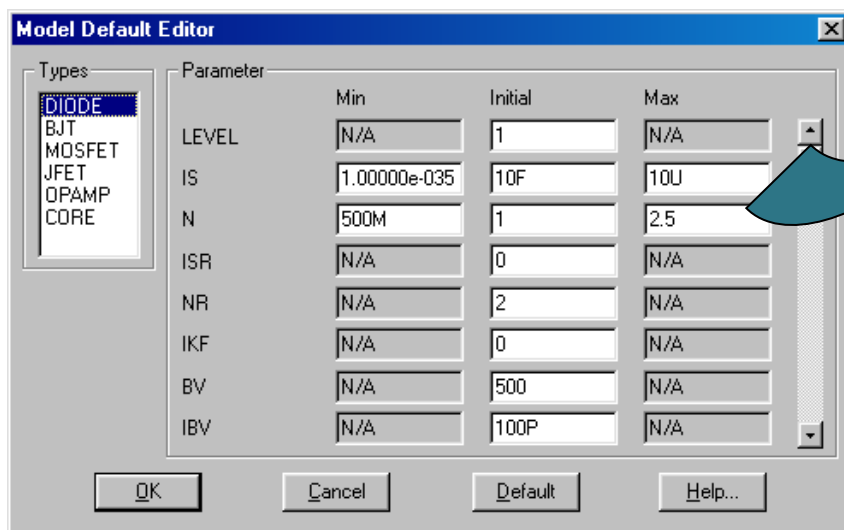
The screenshot shows the 'Model 7.0.0' window with a menu bar (File, Edit, Windows, Options, View, Run). Below the menu, there are two main sections. The top section, titled 'Part 1' and 'NPN', contains four text input fields labeled T1, T2, T3, and T4. The bottom section contains a table with two columns, 'Ic' and 'Vbe', and a vertical scrollbar on the right.

Ic	Vbe
6.10695e-00	0.585031
0.00066970	0.647401
0.00022632	0.617006
0.00035896	0.628857
0.00046134	0.635509
7.791e-005	0.589356
0.00012494	0.601414
9.3351e-005	0.594137

Удалить данные из таблицы можно за счет нажатия горячих клавиш CTRL/D, или через пункт меню Edit – Delete Data, предварительно выбрав строку данных

# ОКНО ПРОГРАММЫ

- В полях **Model Parameters** расположены значения модельных параметров. Они могут быть исправлены пользователем по экспертным значениям.
- Поля Условий эксперимента **Measurement Condition**: здесь приводят значение условия проведения эксперимента в процессе получения исходных данных.



Model Parameters

RE 0.5

NF 1

IS 1e-014

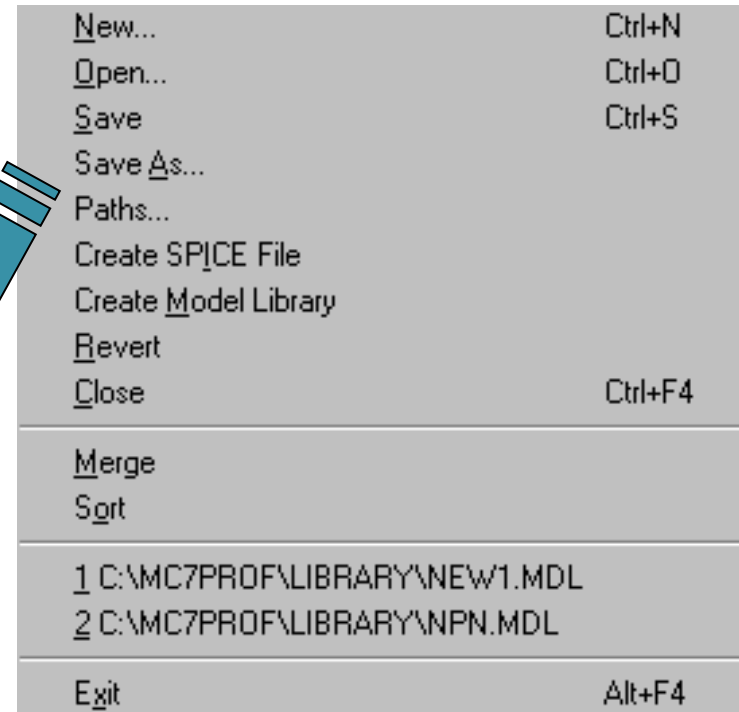
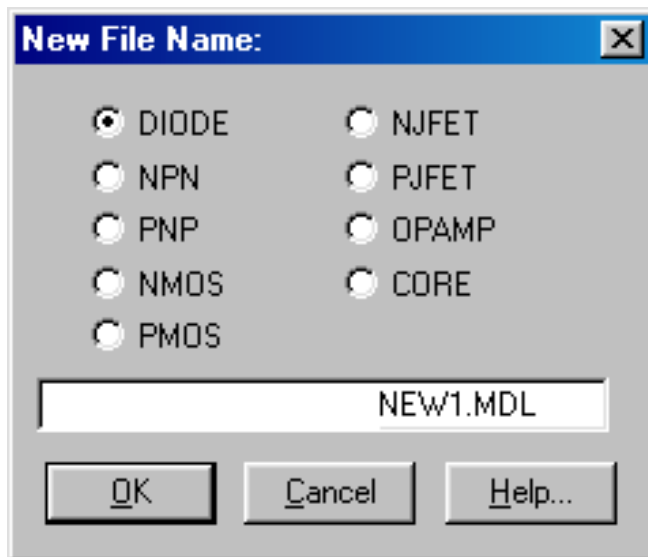
Measurement Conditions

Начальные, по умолчанию параметры задаются в окне Model Default Editor

# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД

Начало работы с программой. После выбора пункта New... в окне New File Name производится выбор типа прибора для ввода данных с целью получения параметров модели.

В этом же окне задаётся и путь до файла с расширением MDL – файла программы MODEL.



# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД

Part 1

DIODE

T1	D234
T2	Высокочастотный диод
T3	Лабораторный практикум РЛ
T4	Расчет параметров модели диода

Описание полей первого экрана расчёта параметров модели биполярного транзистора:

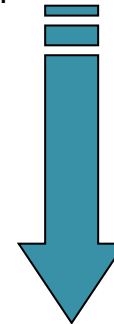
**T1** – название прибора, только латинские буквы,

**T2, T3, T4** – поля произвольных комментариев, можно использовать и кириллицу.

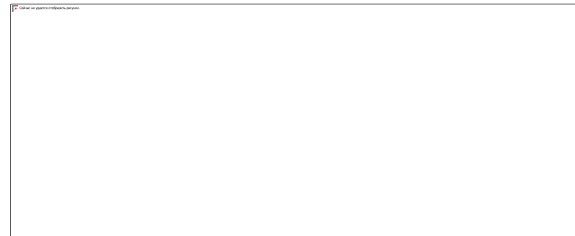
# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД



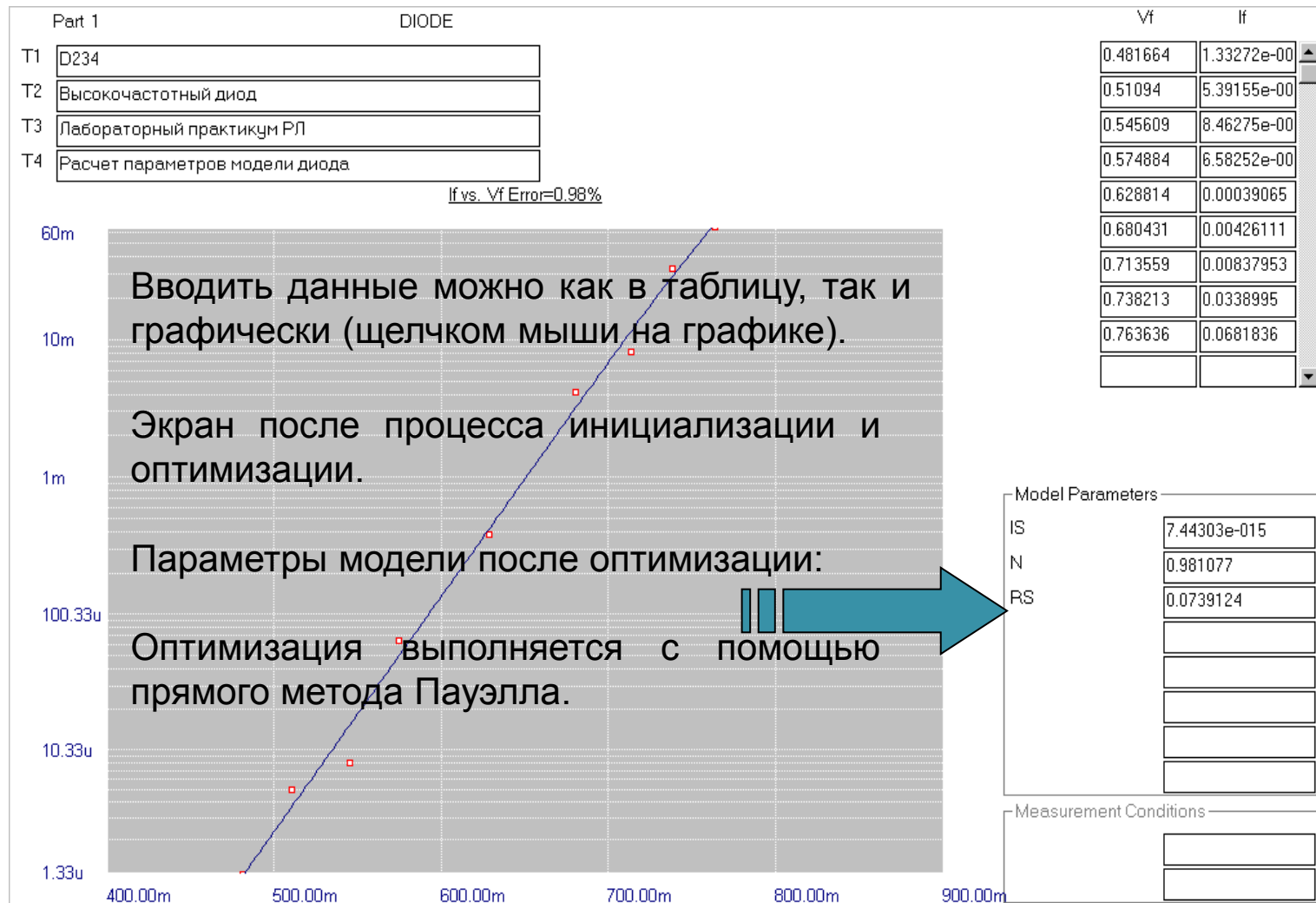
Параметры модели:



Расчёт параметров модели  $I_S$ ,  $N$ , и  $R_S$ .  
Уравнение для модели при расчёте:  
$$V_f = V_T \cdot \log(I_f / I_S) + I_f \cdot R_S$$

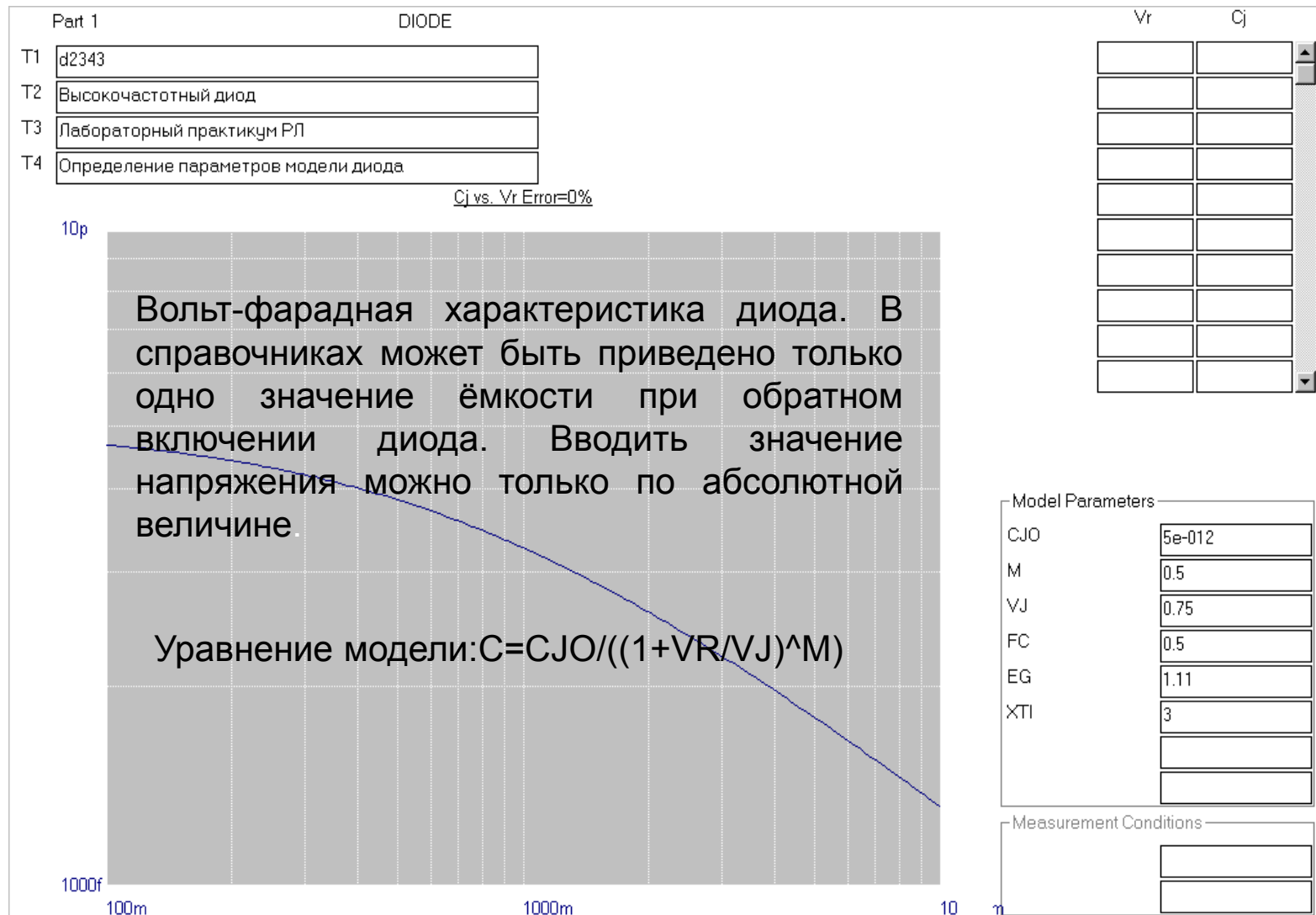


# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД

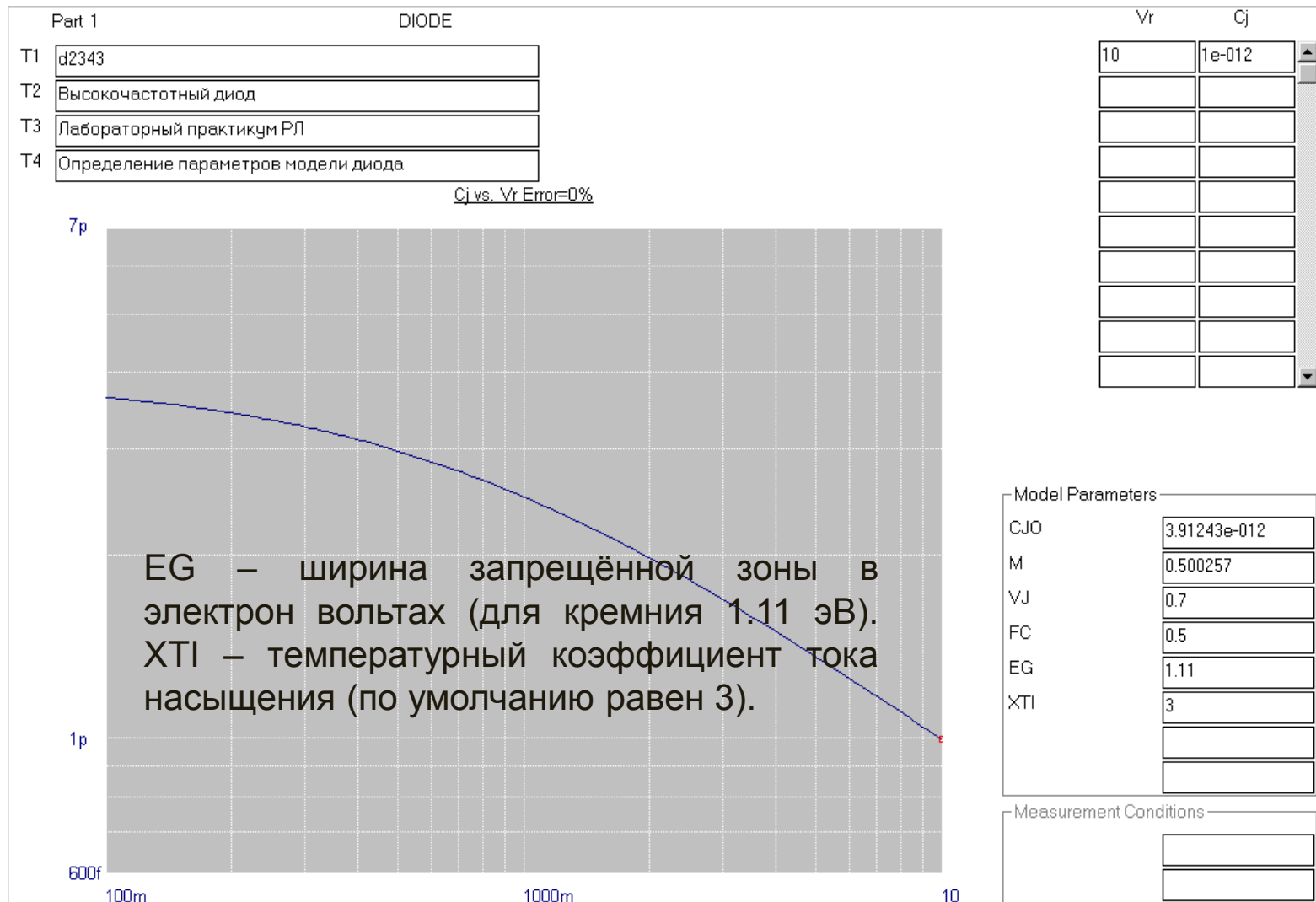




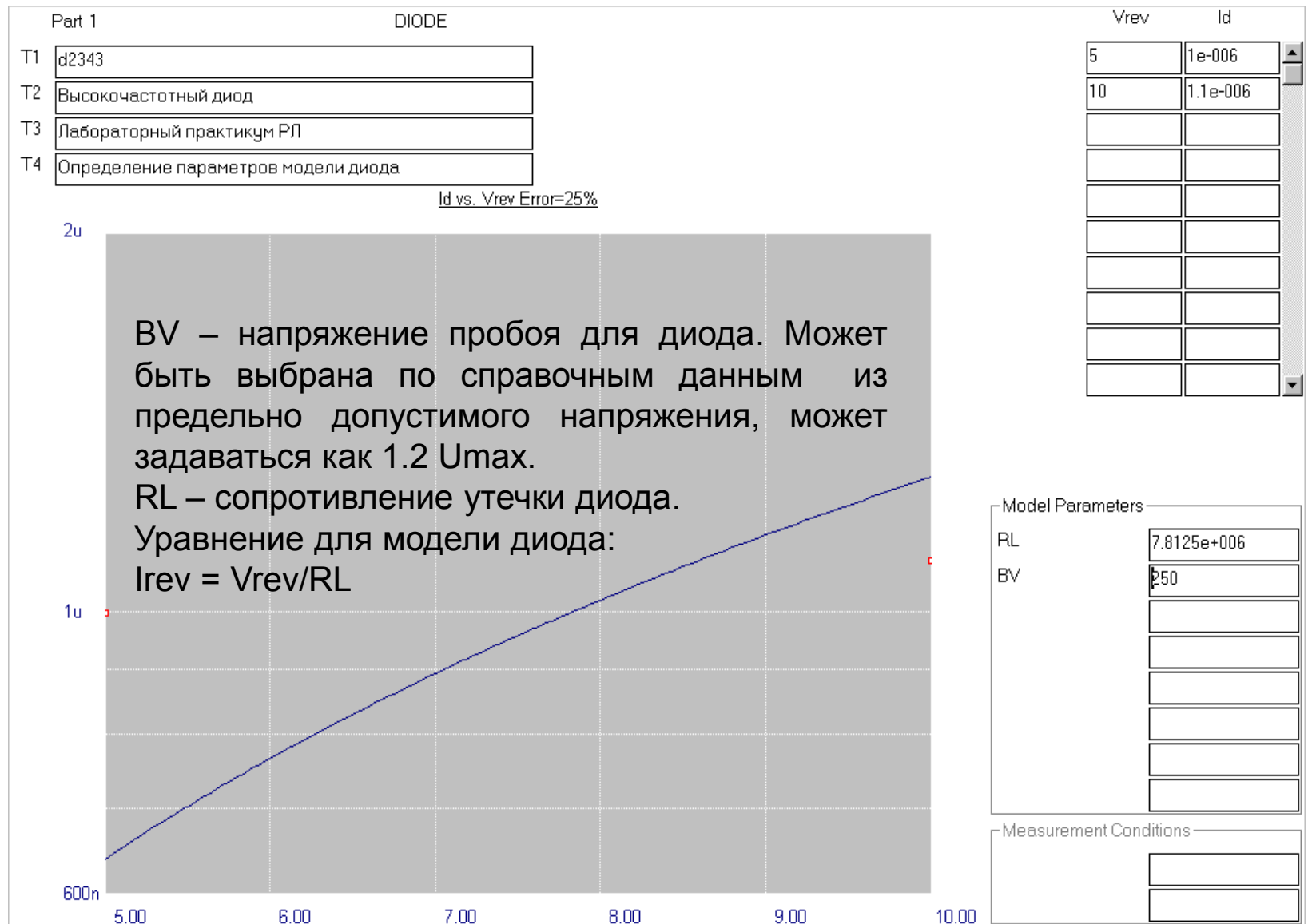
# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД



# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД



# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД



# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД

Числовая характеристика процесса восстановления равновесной концентрации определяется значением постоянной времени (обозначается как  $T_T$ ) для диода (среднее время жизни носителей). Это время можно определить следующими способами:

Постоянная времени для диода при сплавной технологии может быть определено как

$$T_T = 4 t_{\text{вос}} (1 + \ln(I_{\text{пр}}/I_{\text{обр}})) \quad \text{--} \quad [4 T_{\text{rr}} (1 + \ln(I_{\text{rr}}/I_f))].$$

где –  $t_{\text{вос}}$  время восстановления обратного сопротивления,  $I_{\text{пр}}$  - значение прямого тока при котором было измерено значение времени восстановления обратного сопротивления (если данный параметр не указан в ТУ на диод, то вместо вводим значение постоянного прямого тока),  $I_{\text{обр}}$  - постоянный обратный ток.

При диффузионной технологии можно положить  $T_T = 1.6 t_{\text{вос}}$ .

При известной максимальной частоте выпрямления  $f_{\text{max}}$  можно оценить время постоянную времени как  $T_T = [1/(2 \cdot \pi \cdot f_{\text{max}})]$

# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД



# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД

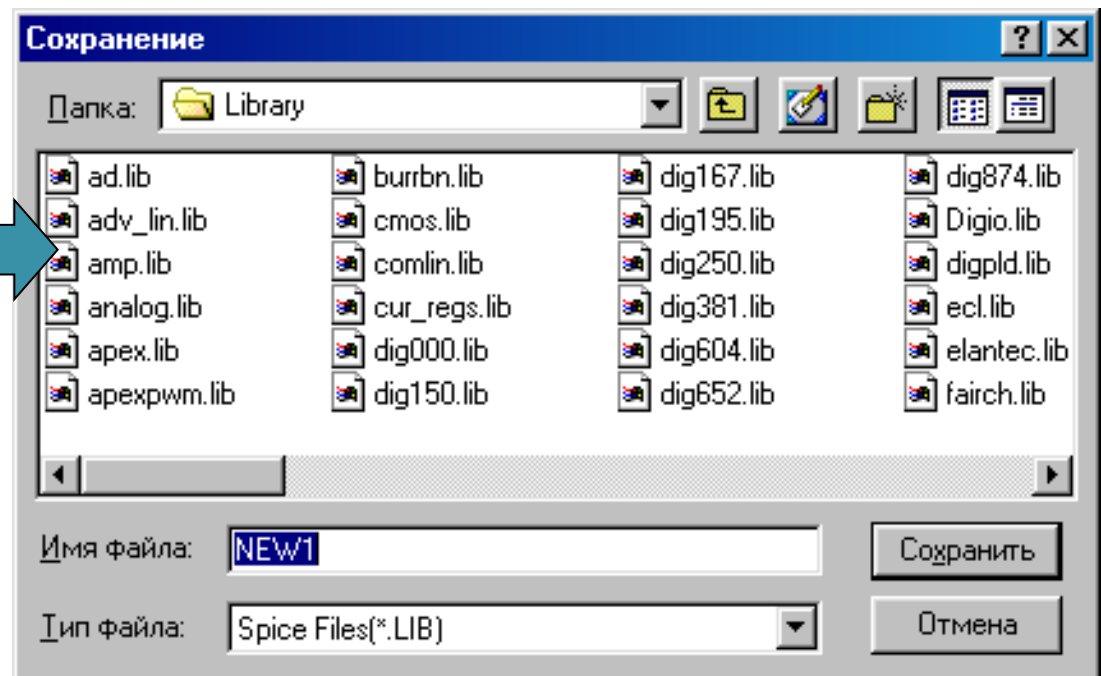
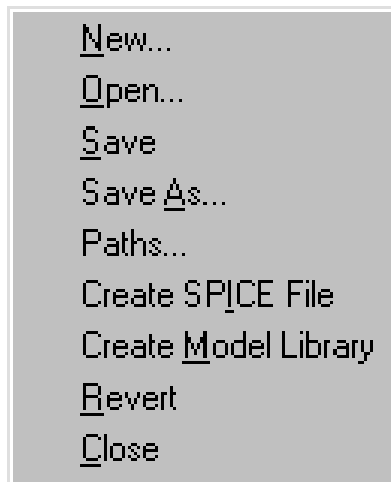
После расчёта параметров модели можно сохранить данные в форматах:

В формате SPICE (файл с расширением LIB) и формате упакованного файла для MC7 (расширение LBR).

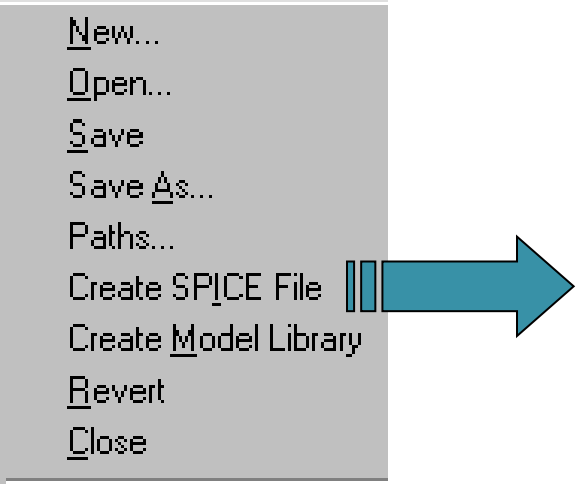
Соответственно пункты меню:

Create SPICE File

Create Model Library



# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД



New...  
Open...  
Save  
Save As...  
Paths...  
Create SPICE File  
Create Model Library  
Revert  
Close

Create SPICE File  
В формате SPICE (файл с расширением LIB)

Содержимое файла в формате SPICE:

\*\*\*\*\*

\* NEW1.LIB

\*\*\*\*\*

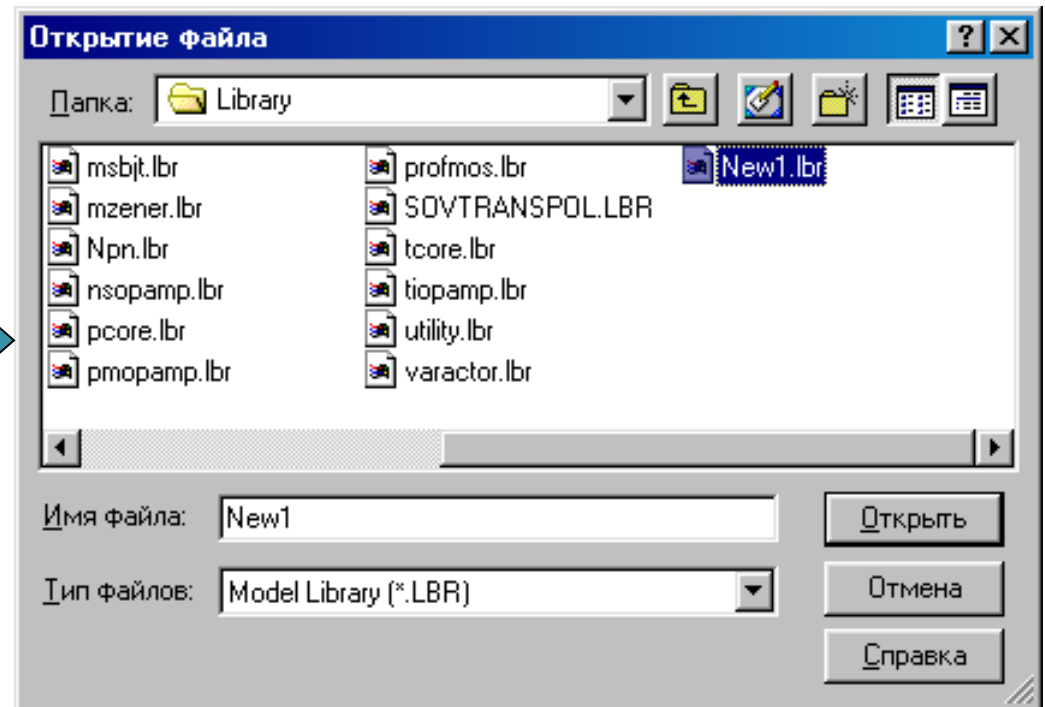
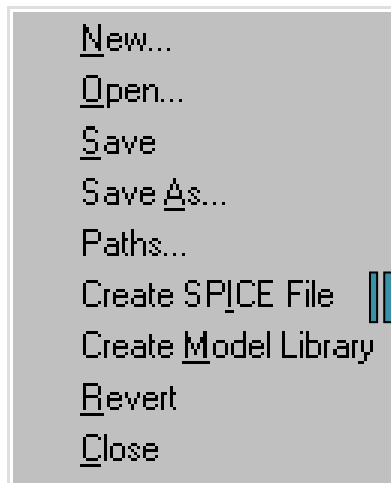
\*\*\* Лабораторный практикум РЛ

.MODEL d2343 D (IS=10.5505F N=999.868M BV=250 IBV=100P TT=1.4427N CJO=3.91243P  
+ UJ=700M M=500.257M EG=1.11 RL=7.8125MEG)

Содержимое файла в формате библиотеки LBR можно просмотреть непосредственно в программе MC7.

# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД

Содержимое файла в формате библиотеки LBR можно просмотреть непосредственно в программе MC7.





# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД

Diode ▾ Add Delete... Pack Copy... Merge... Go To...

Name d2343

Мемо Лабораторный практикум РЛ

Name List

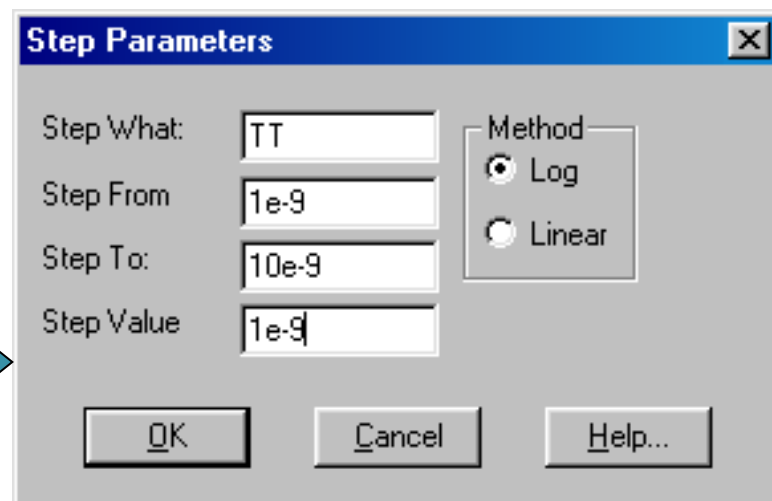
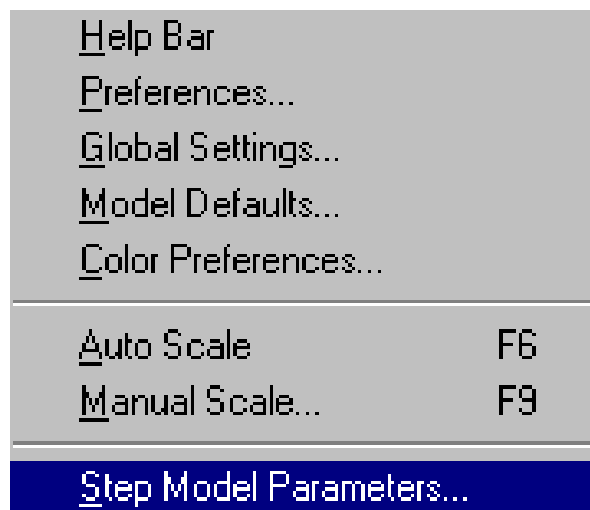
- d2343

Parameters

LEVEL	1	IS	10.5505F	N	999.868M
ISR	0	NR	2	IKF	0
BV	250	IBV	100P	NBV	1
IBVL	0	NBVL	1	RS	0
TT	1.4427N	CJO	3.91244P	VJ	700M
M	500.257M	FC	500M	EG	1.11
XTI	3	TIKF	0	TBV1	0
TBV2	0	TRS1	0	TRS2	0
KF	0	AF	1	RL	7.8125MEG
T_MEASURED	undefined	T_ABS	undefined	T_REL_GLOBAL	undefined
T_REL_LOCAL	undefined				

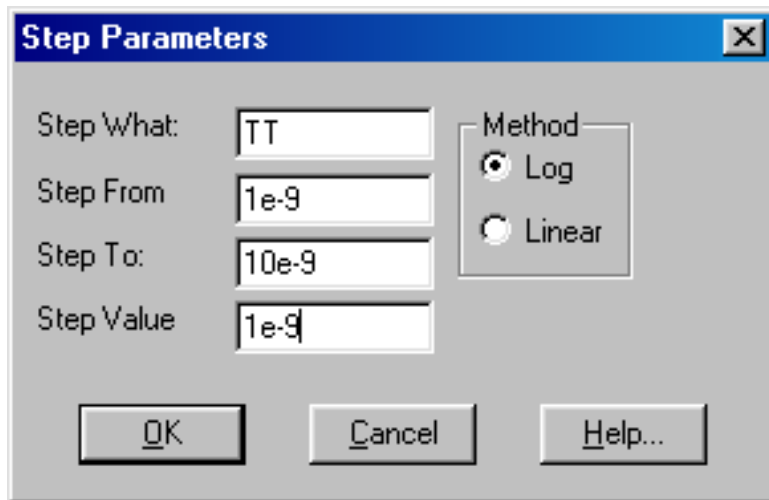
# ПРОГРАММА MODEL

Примечание: программа предоставляет возможность изучить влияние вариации отдельных параметров на вид различных характеристик через меню Step Model Parameters



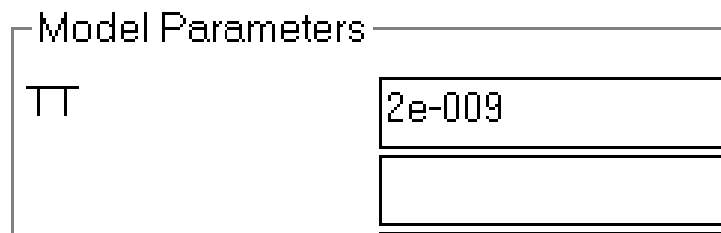
# ПРОГРАММА MODEL

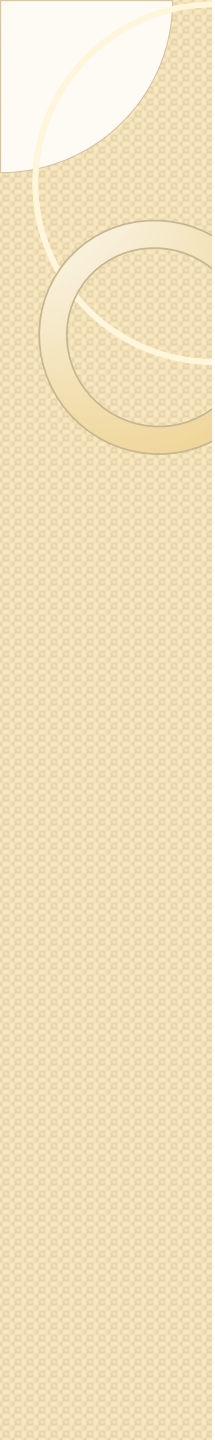
## Меню Step Model Parameters



После нажатия клавиши ОК программа будет готова к расчёту исходного графика с заданными пределами изменения параметра модели.

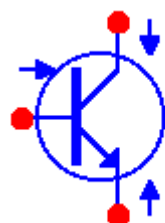
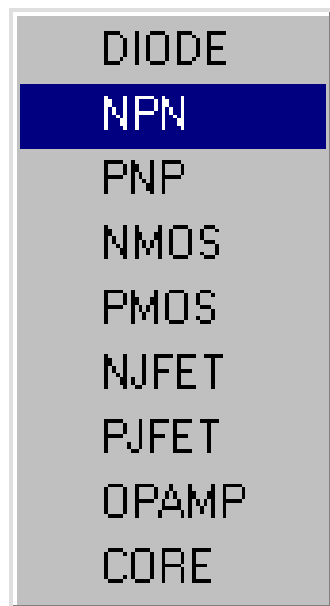
Изменение параметра модели и перестроение графика произойдёт сразу после нажатия любой клавиши. Одновременно в окне Model Parameters будет указано значение этого параметра для перестроенного графика.





# ПРОГРАММА MODEL

После создания модели диода в существующую библиотеку можно подключить новый прибор. Для этого в меню Edit необходимо выбрать пункт меню Add Part и указать какой прибор будет добавлен:



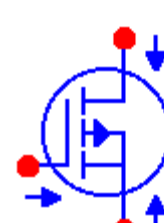
**NPN**



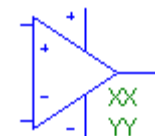
**PNP**



**DNMOS**



**DPMOS**



**OPAMP**



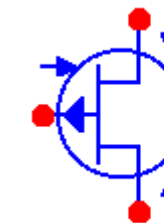
**NMOS**



**PMOS**



**NJFET**



**PJFET**

# ПРОГРАММА MODEL



**NPN**



**PNP**

Биполярный  
транзистор. NPN  
и PNP тип,  
соответственно



**NJFET**



**PJFET**

Полевой  
транзистор с р-п  
переходом.  
Транзистор с п-  
каналом и р-  
каналом.



**DNMOS**



**DPMOS**

МОП транзистор п-  
канальный и р-  
канальный  
соответственно с  
индуцированным  
каналом.



**NMOS**



**PMOS**

МОП транзистор  
п-канальный и р-  
канальный  
соответственно со  
встроенным  
каналом.

# ПРОГРАММА MODEL

Полевой транзистор с р-п переходом. Транзистор с n-каналом и р-каналом.



**NJFET**



**PJFET**

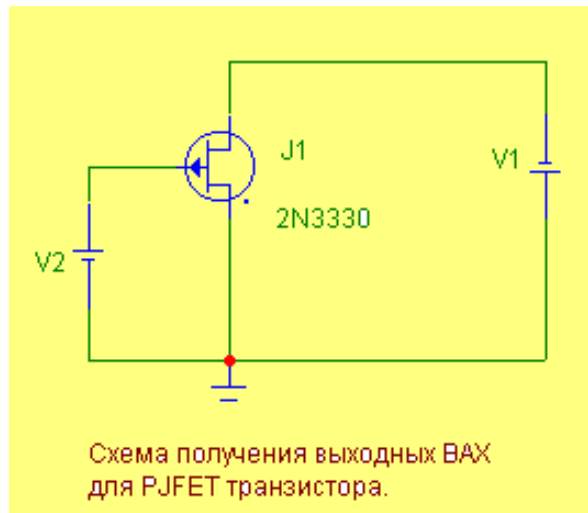
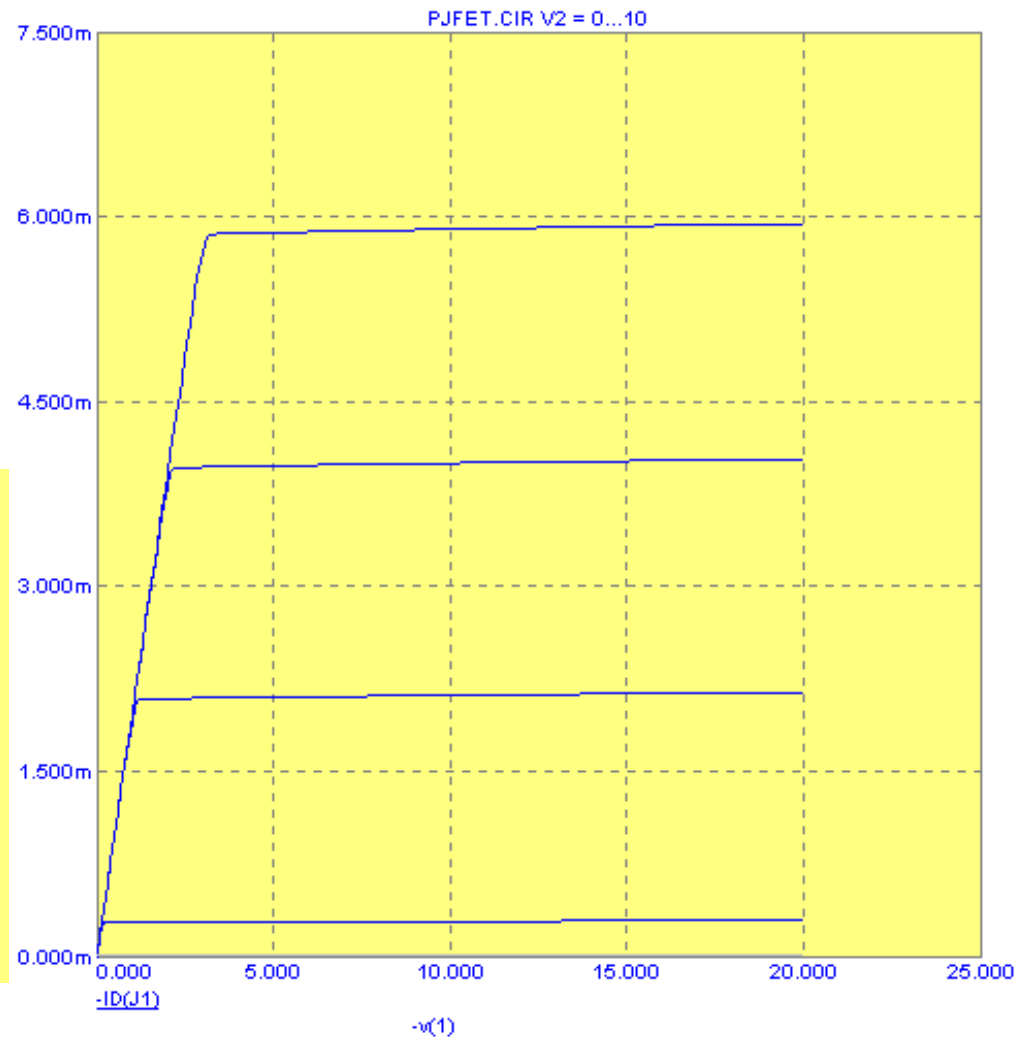
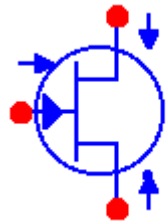


Схема получения выходных ВАХ  
для PJFET транзистора.



# ПРОГРАММА MODEL

Полевой транзистор с р-п переходом. Транзистор с n-каналом и р-каналом.



NJFET



PJFET

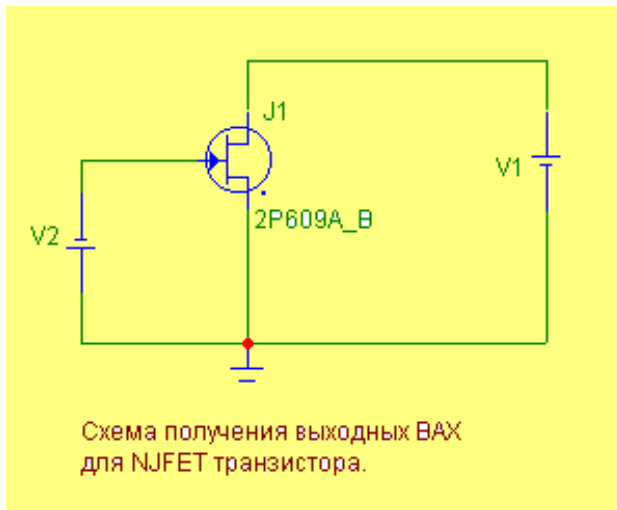
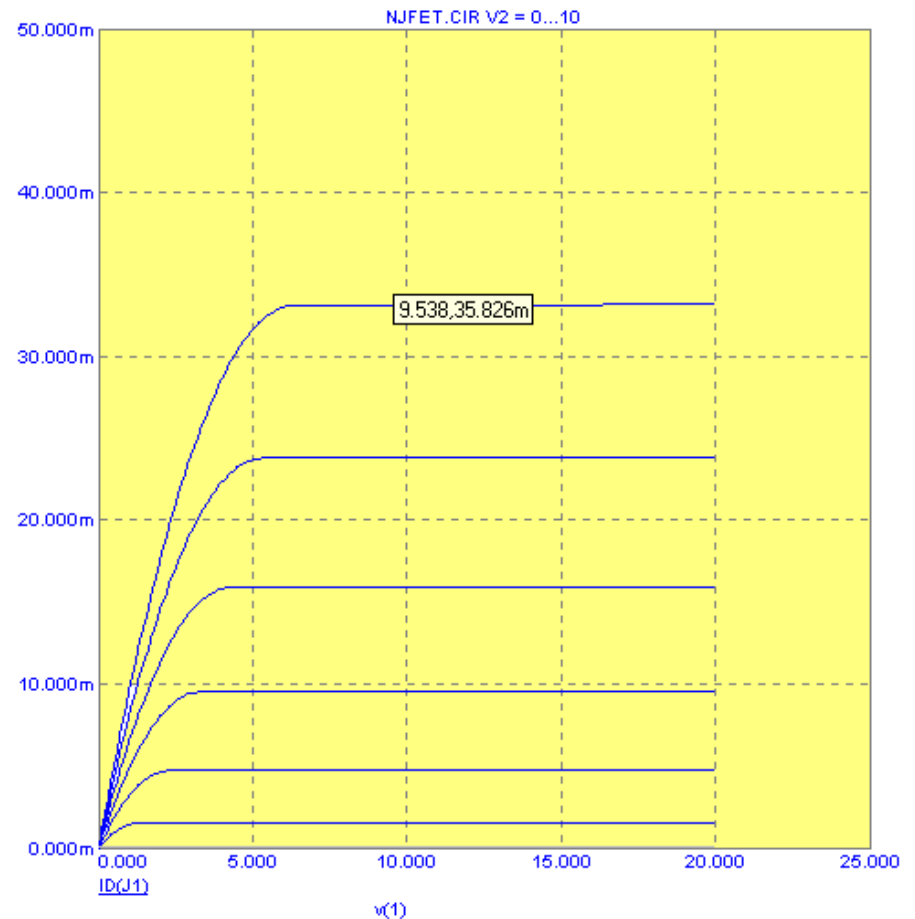


Схема получения выходных ВАХ для NJFET транзистора.





# ПРОГРАММА MODEL

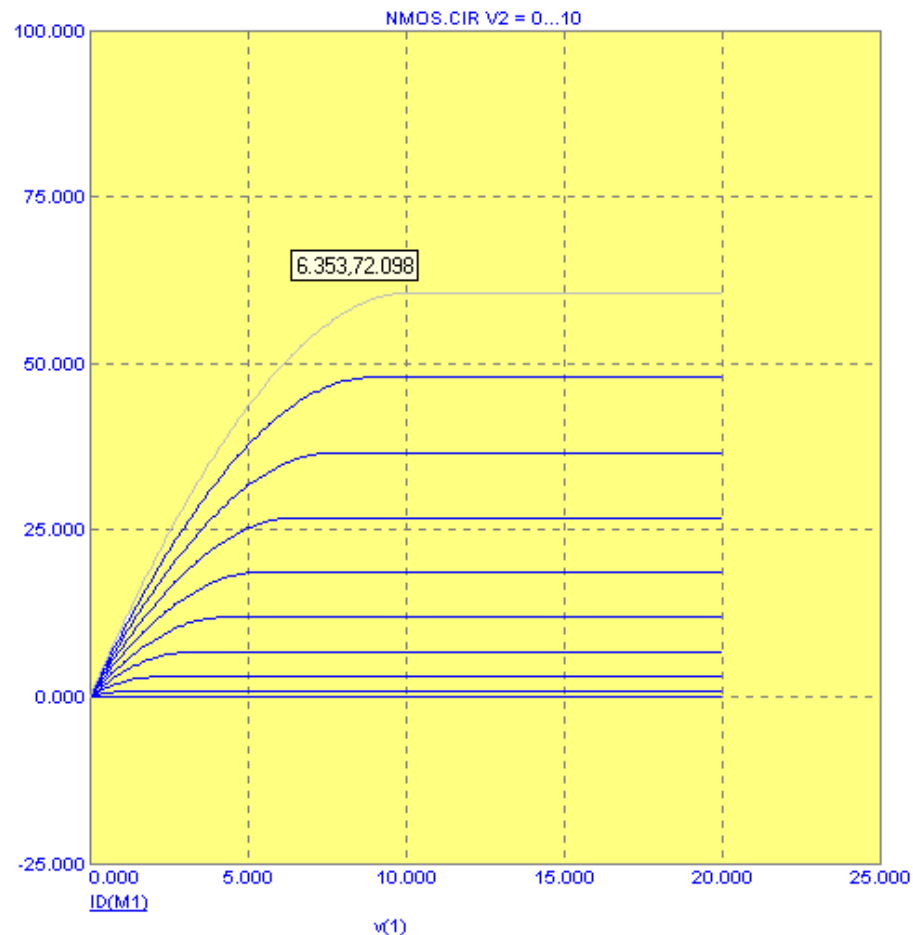
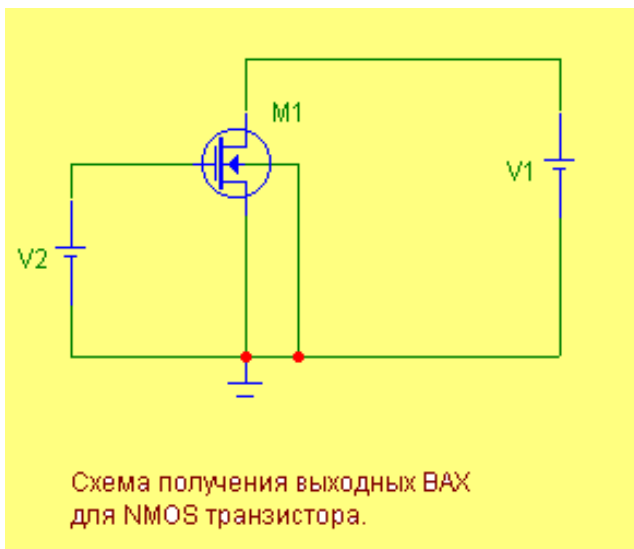
МОП транзистор n-канальный и p-канальный соответственно со встроенным каналом



NMOS



PMOS



# ПРОГРАММА MODEL

МОП транзистор n-канальный и p-канальный соответственно со встроенным каналом



NMOS



PMOS

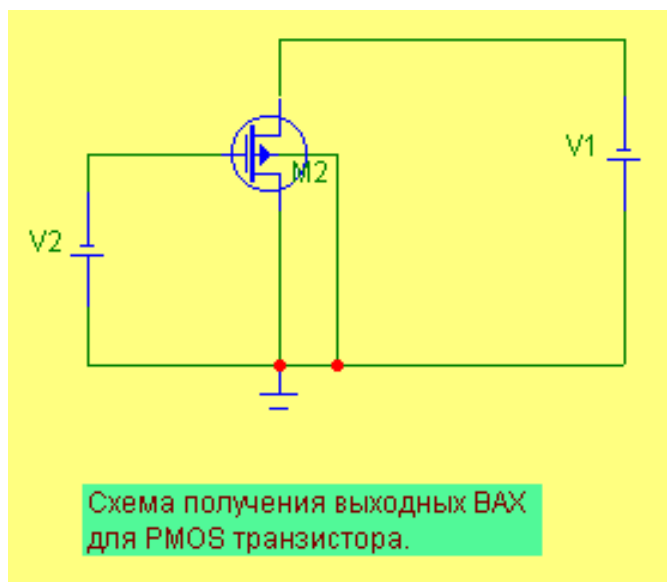
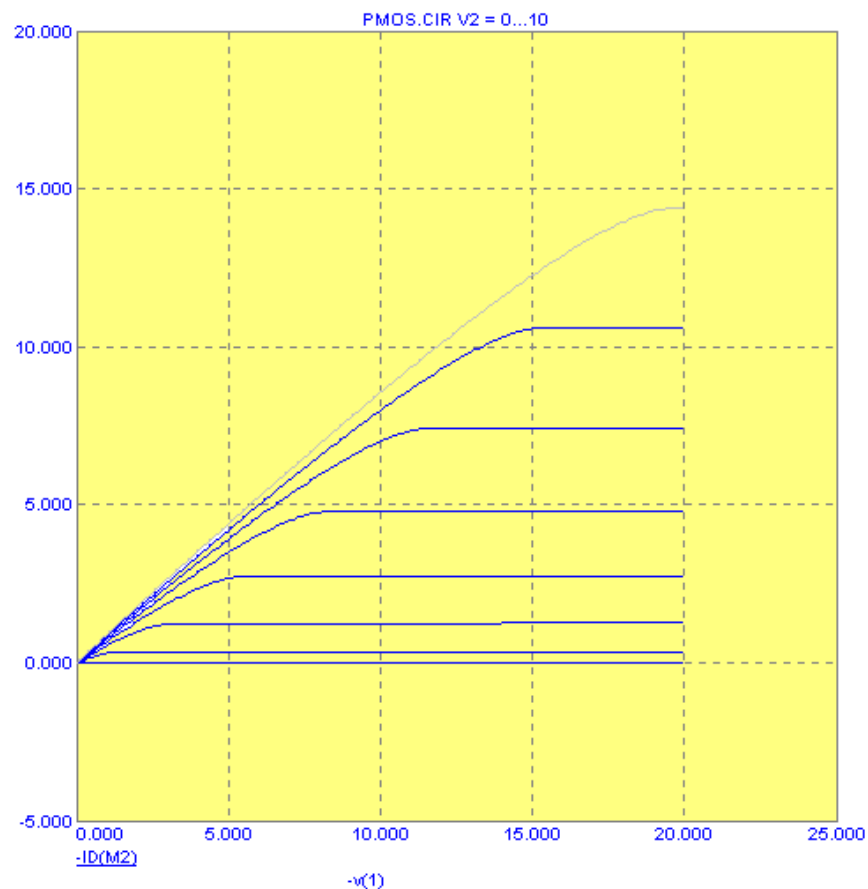


Схема получения выходных ВАХ для PMOS транзистора.



# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

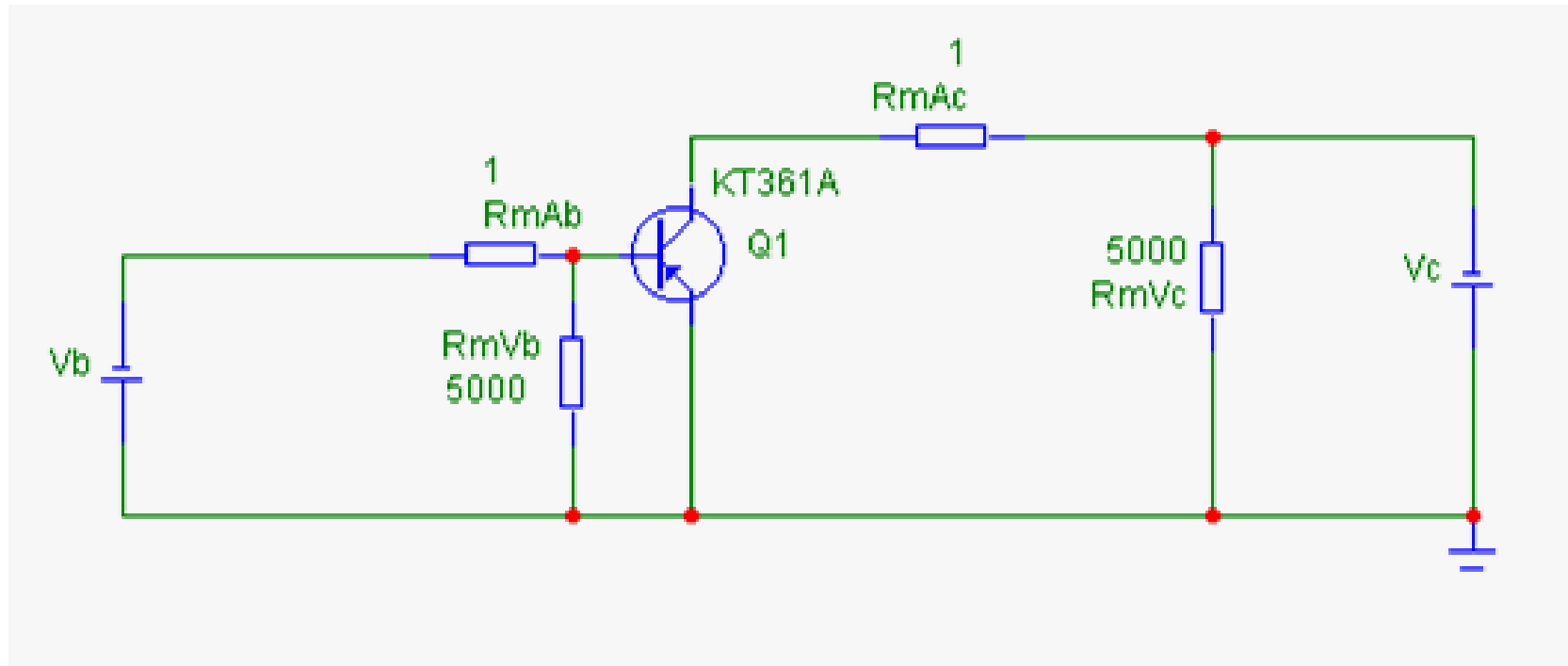


Схема стенда для измерения ВАХ биполярного транзистора

# ПРОГРАММА MODEL

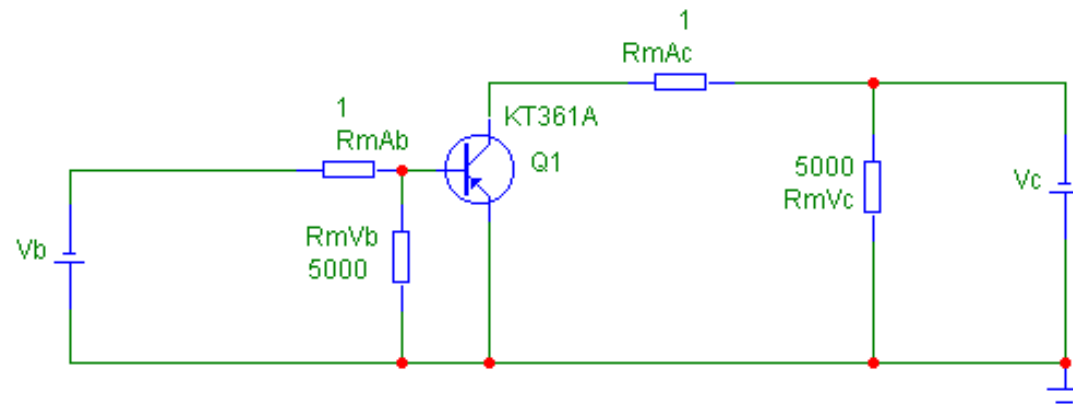
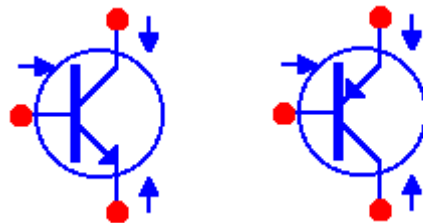


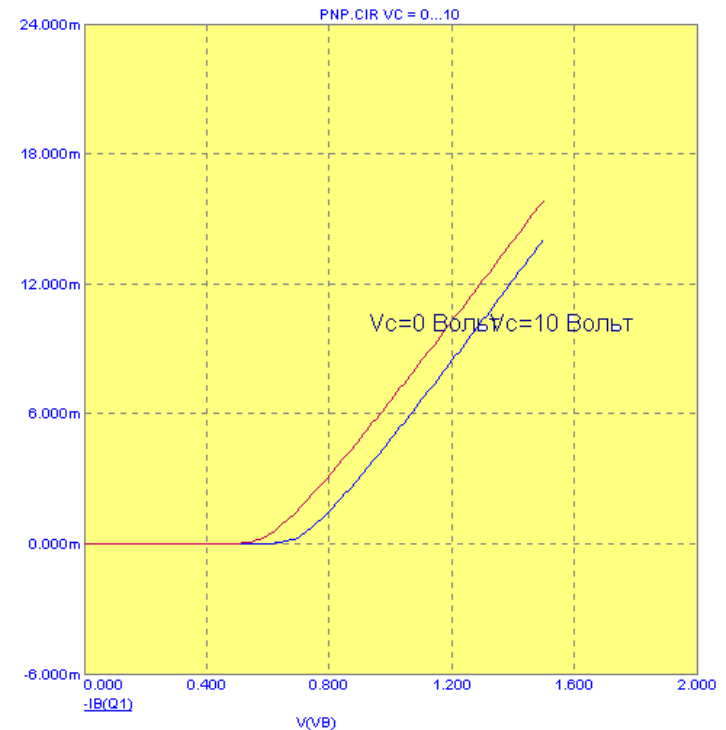
Схема эксперимента по получению выходной и входной ВАХ биполярного транзистора.



NPN

PNP

Биполярный транзистор. NPN и PNP тип, соответственно. Схема реального эксперимента



# ПРОГРАММА MODEL

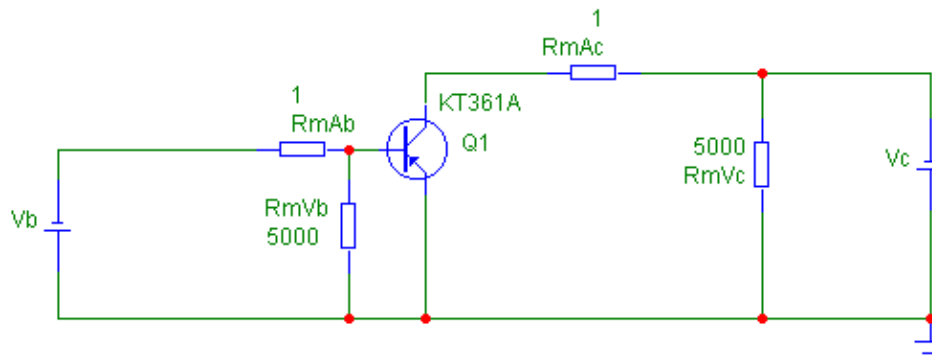


Схема эксперимента по получению выходной и входной ВАХ биполярного транзистора.

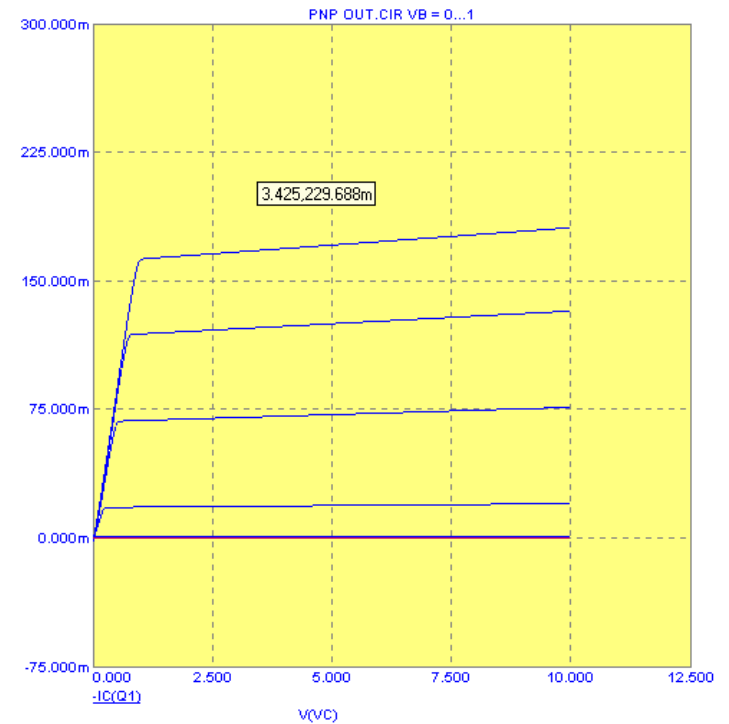


NPN



PNP

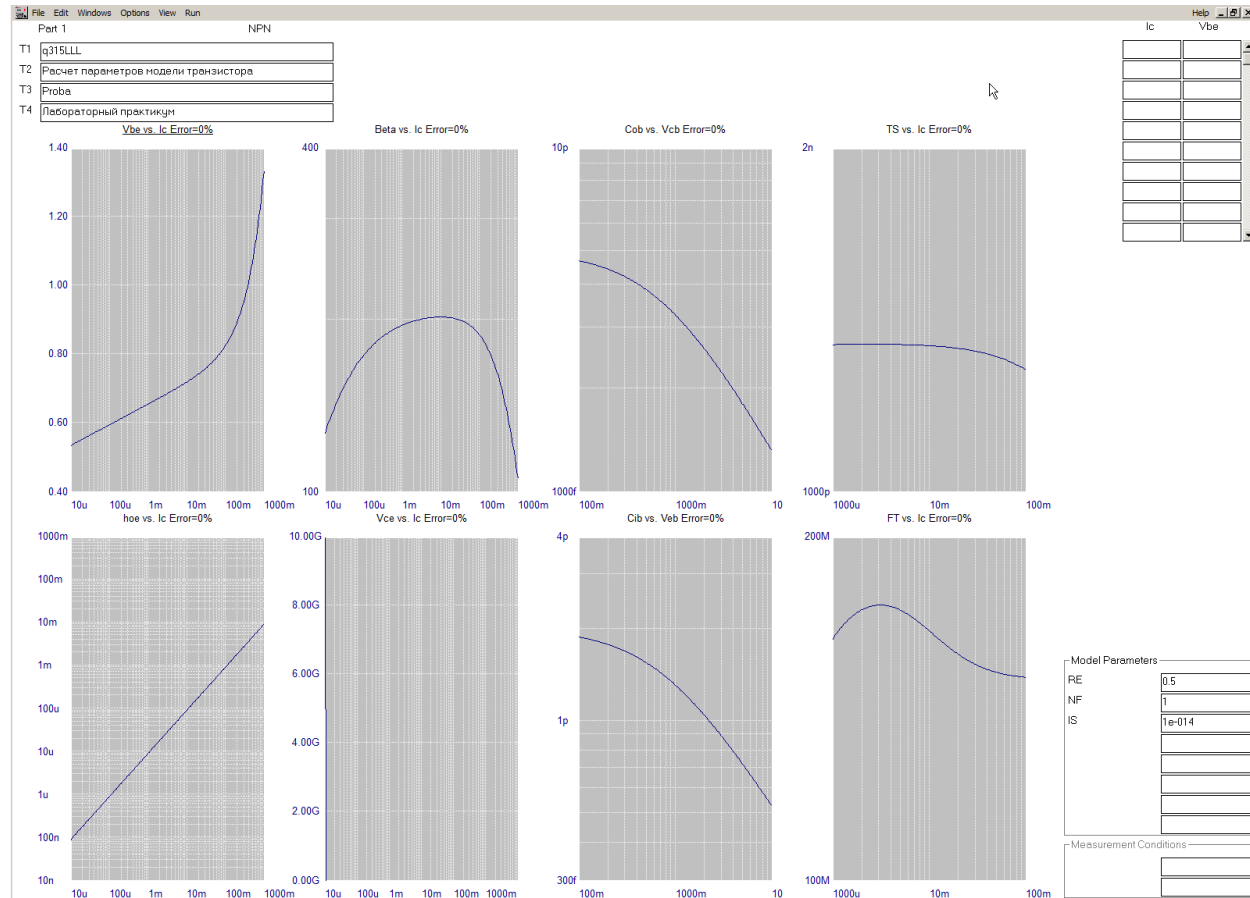
Биполярный транзистор. NPN и PNP тип, соответственно. Схема реального эксперимента



# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

## Определение параметров модели

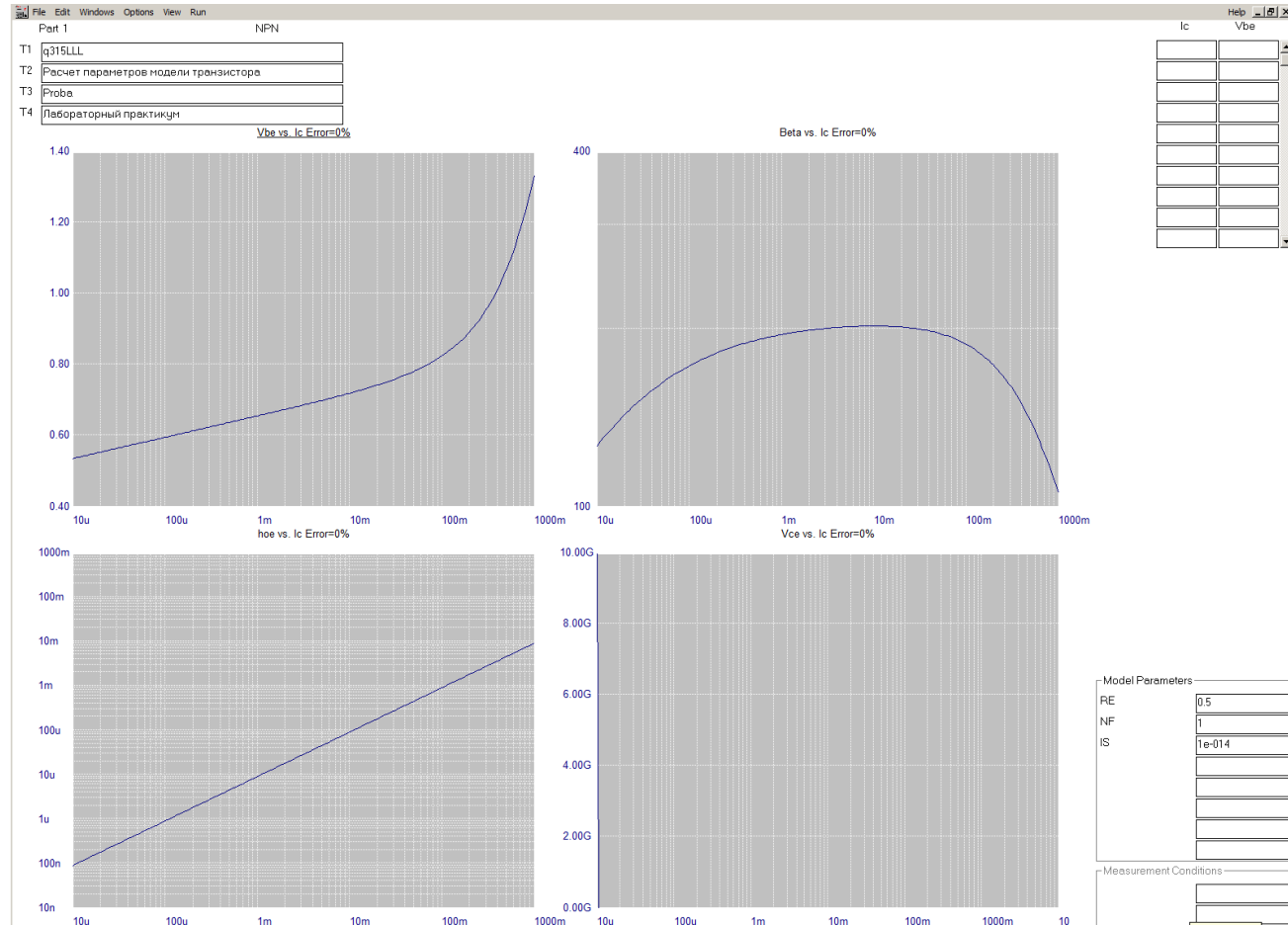
Начальный экран работы с программой:



# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

## Определение параметров модели

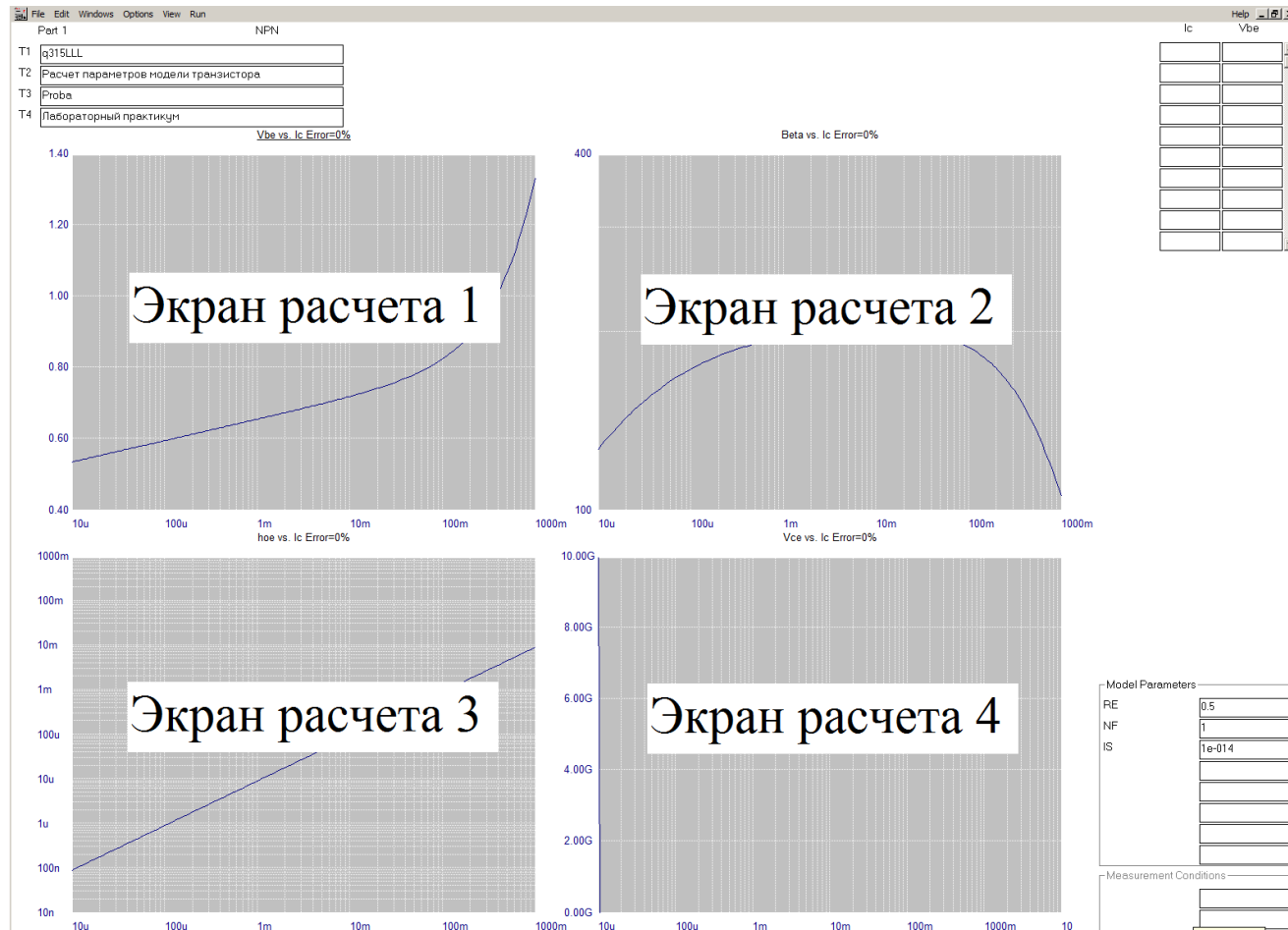
«Усечённый» начальный экран работы с программой  
(расчёт только статических параметров):



# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

## Определение параметров модели

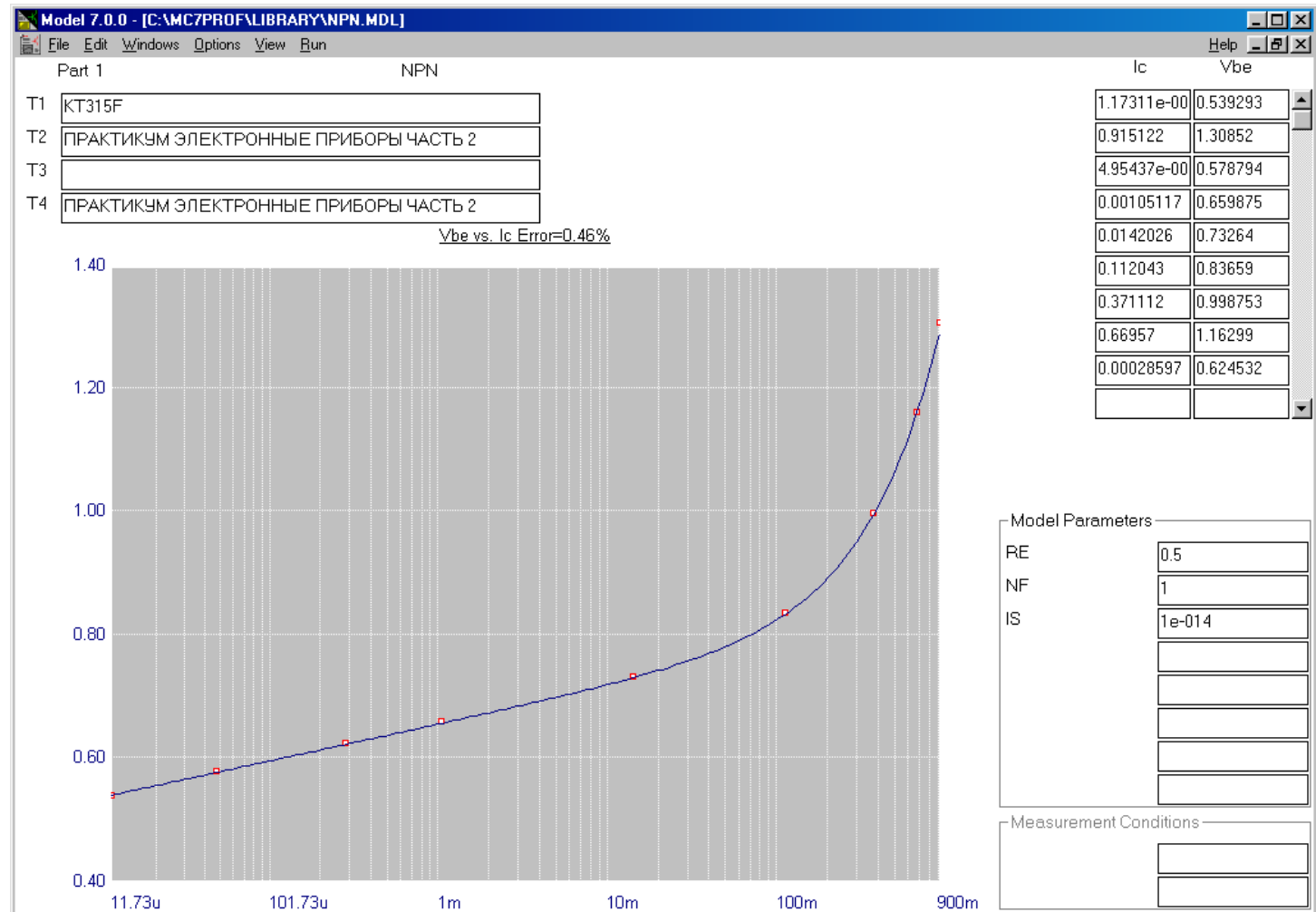
«Усечённый» начальный экран работы с программой  
(расчёт только статических параметров модели):





# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

## Расчёт в программе MODEL Экран 1



# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

Part 1

NPN

T1	q315LLL
T2	Расчет параметров модели транзистора
T3	Proba
T4	Лабораторный практикум

Описание полей первого экрана расчёта параметров модели биполярного транзистора:

**T1** – название прибора, только латинские буквы,  
**T2, T3, T4** – поля произвольных комментариев,  
можно использовать и кириллицу.

Ic	Vbe
1.17311e-00	0.539293
0.915122	1.30852
4.95437e-00	0.578794
0.00105117	0.659875
0.0142026	0.73264
0.112043	0.83659
0.371112	0.998753
0.66957	1.16299
0.00028597	0.62453

Model Parameters	
RE	0.508434
NF	1.0024
IS	9.99763e-015

Measurement Conditions	

- В таблицу заносят данные по току коллектора и напряжения база эмиттер в режиме насыщения. В явном виде эти данные в справочниках не приводятся. Но их можно получить используя входные и выходные ВАХ.
- После этого производят инициализацию начальных условий, нажатием клавиш **CTRL-I**, затем нажатием клавиш **CTRL-T** производят оптимизацию параметров на основе введённых данных.
- ПРИМЕЧАНИЕ:** параметры *EG* – ширина запрещённой зоны определяется материалом прибора; *XTI* – температурный коэффициент *IS* не рассчитываются, а остаются данными по умолчанию

# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

К расчёту на первом экране, получение выходной ВАХ

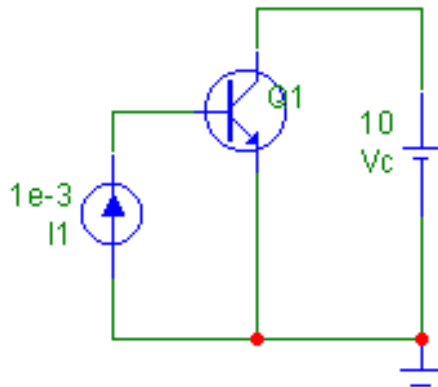
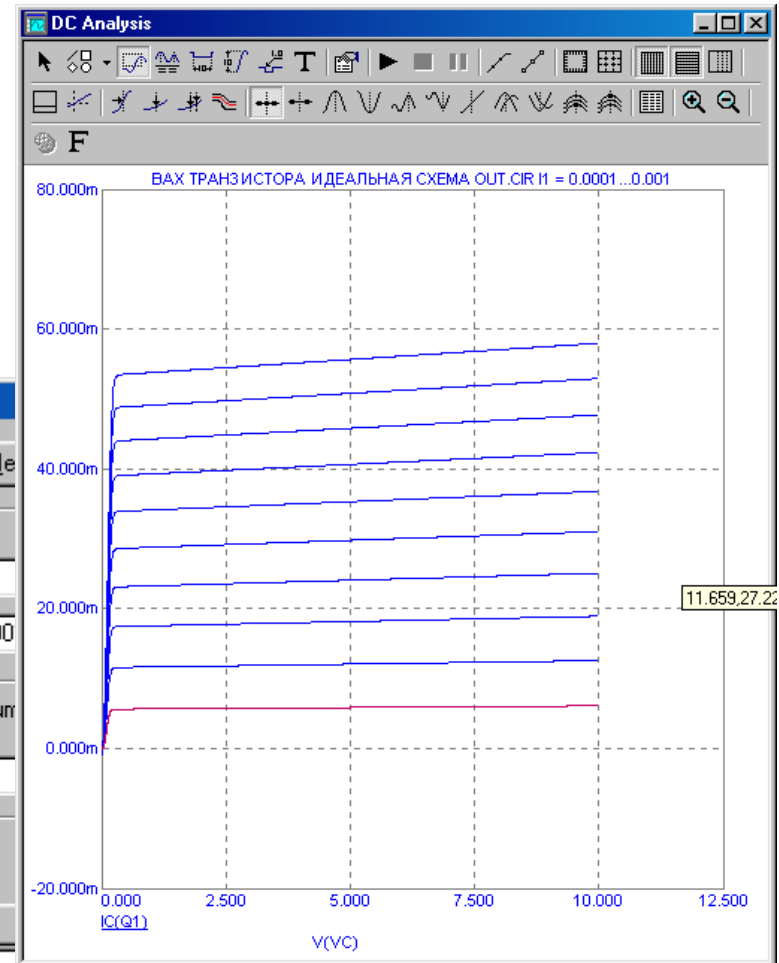
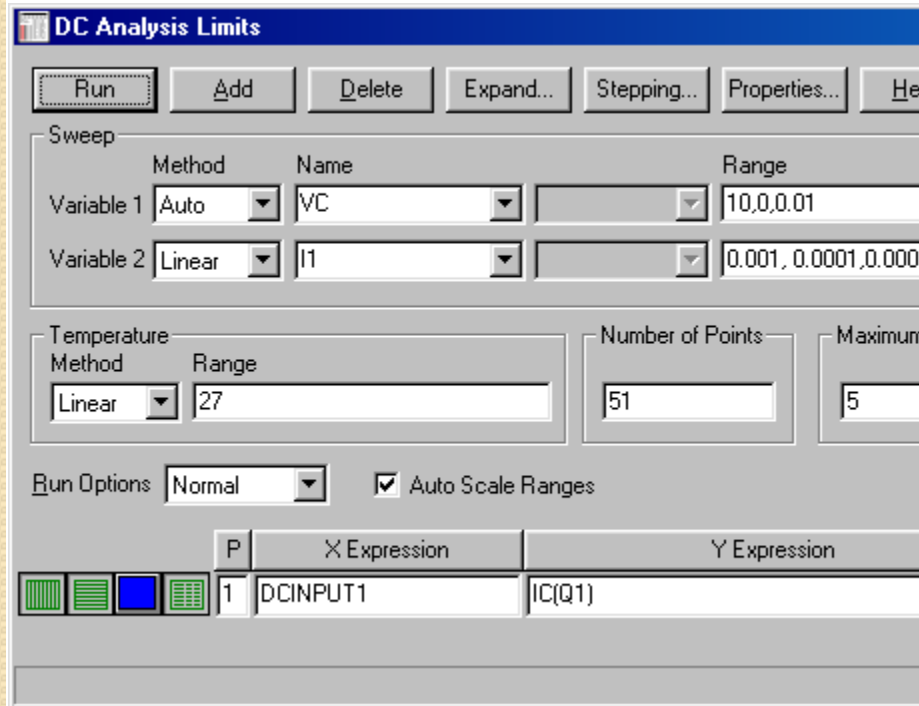


Схема проведения идеального эксперимента по получению ВАХ выходной для биполярного транзистора.

Задание пределов анализа для выходной ВАХ.



# ИЗМЕРЕНИЕ ВЫХОДНОЙ ВАХ

**DC Analysis Limits**

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

Sweep

	Method	Name	Range
Variable 1	Linear	VC	10,0,0.001
Variable 2	Linear	VB	0.8,0.3,0.1





Temperature

Method	Range
Linear	27

Number of Points: 51

Maximum Change %: 5

Run Options: Normal ☐ Auto Scale Ranges

	P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
   	1	DCINPUT1	-IC(Q1)	10,0,2.5	0.1,0.0,0.025

# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

## К расчёту на первом экране, получение входной ВАХ

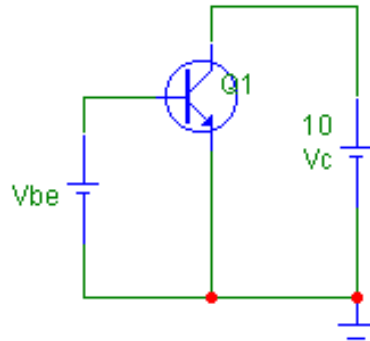
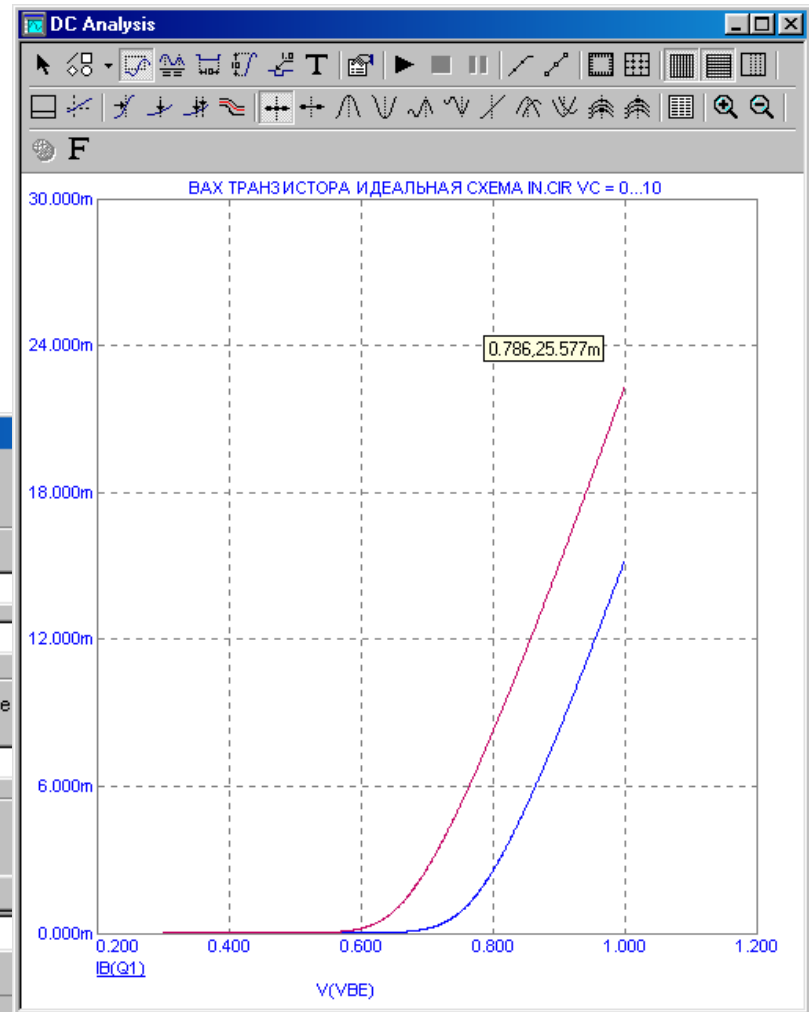
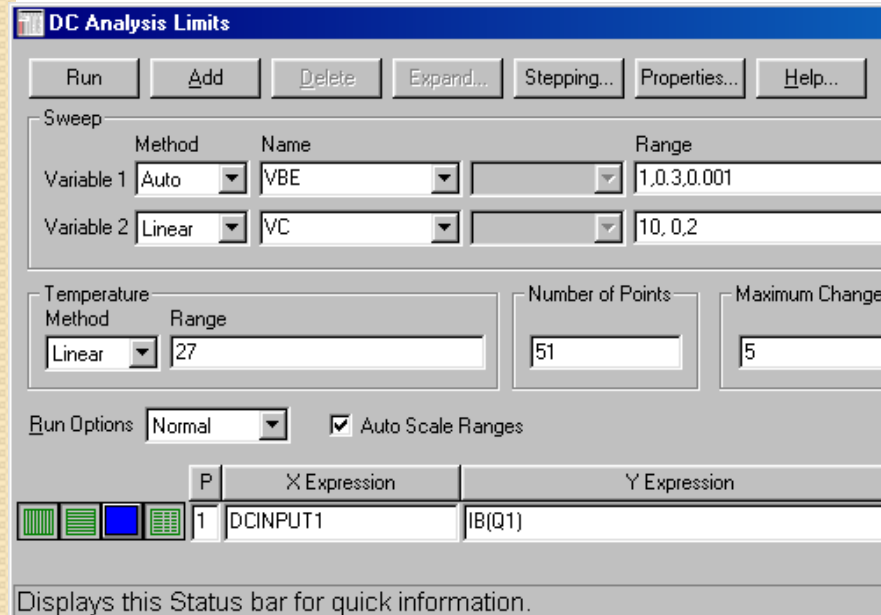


Схема проведения идеального эксперимента по получению ВАХ входной для биполярного транзистора.

Задание пределов для входной ВАХ.



# ВХОДНАЯ ВАХ

**DC Analysis Limits**

**Sweep**





	Method	Name	Range
Variable 1	Linear	VB	0.8,0.3,0.01
Variable 2	List	VC	0.566

**Temperature**

Method	Range
Linear	27

Number of Points: 
 Maximum Change %:

Run Options:  ☒ Auto Scale Ranges

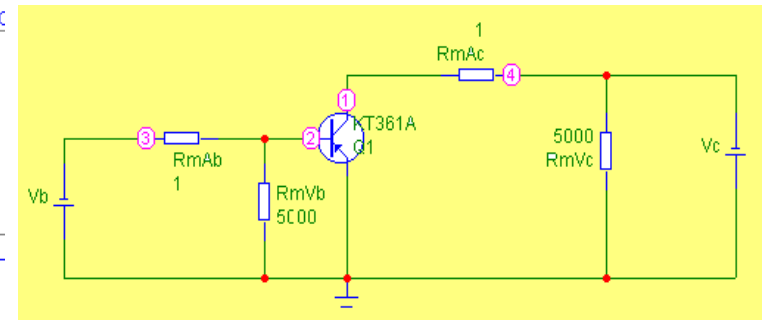
	P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
   	1	DCINPUT1	-IB(Q1)	1.05,0.3,0.15	0.002,0,0.0004

Runs the analysis.

# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

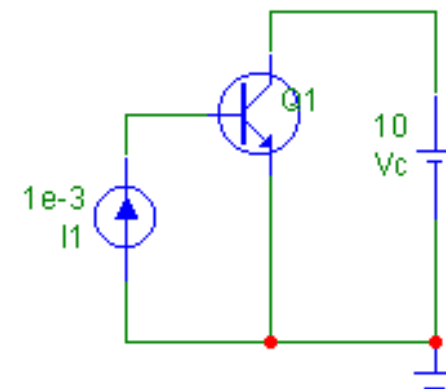
## К расчёту на первом экране

Определение тока коллектора насыщения и напряжения на коллекторе в режиме насыщения. Ток равен 67.873 мА, а напряжение 0.566 В. Реальный эксперимент.



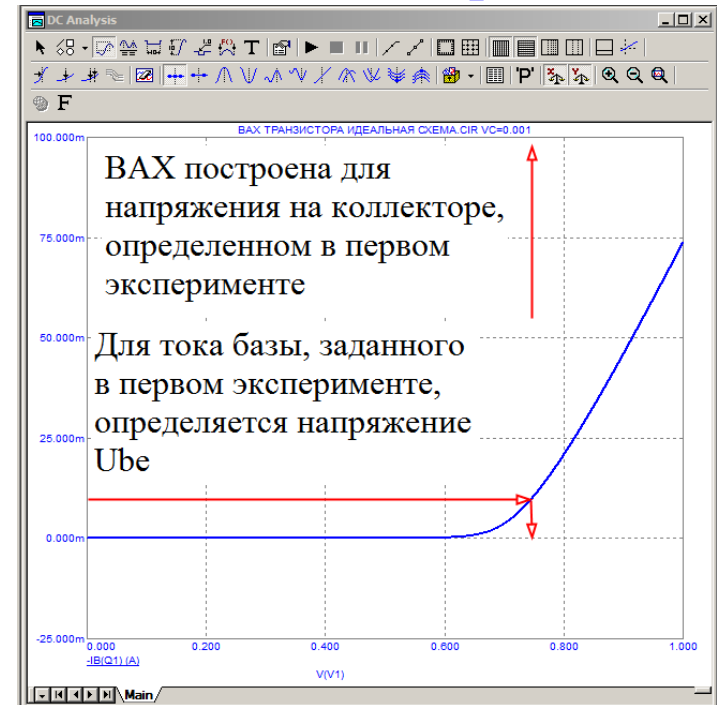
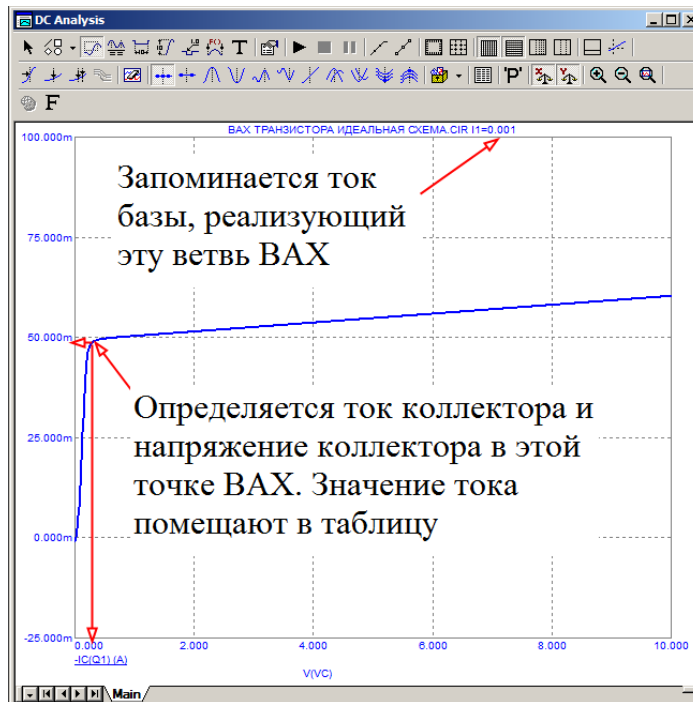
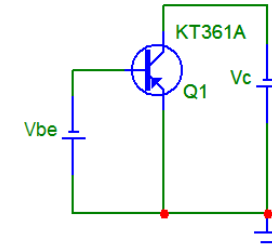
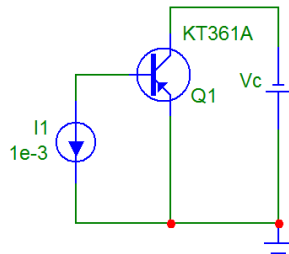
В реальном эксперименте изменяется напряжение на базе, а ток базы оценивают позже.

Ниже показана идеальная схема для получения выходных ВАХ – здесь параметром определяется ток базы



# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

К расчёту на первом экране, последовательность экспериментов



Определение тока коллектора насыщения и напряжения на коллекторе в режиме насыщения – перегиб характеристики при переходе от режима активного к режиму насыщения. Коллекторный ток из первого эксперимента заносится в таблицу, а напряжение  $U_{be}$  - из данных второго эксперимента.



# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

## К расчёту на первом экране

Ic	Vbe
1.17311e-00	0.539293
4.95437e-00	0.578794
0.00028597	0.624532
0.00105117	0.659875
0.0142026	0.73264
0.112043	0.83659
0.371112	0.998753
0.66957	1.16299
0.915122	1.30852

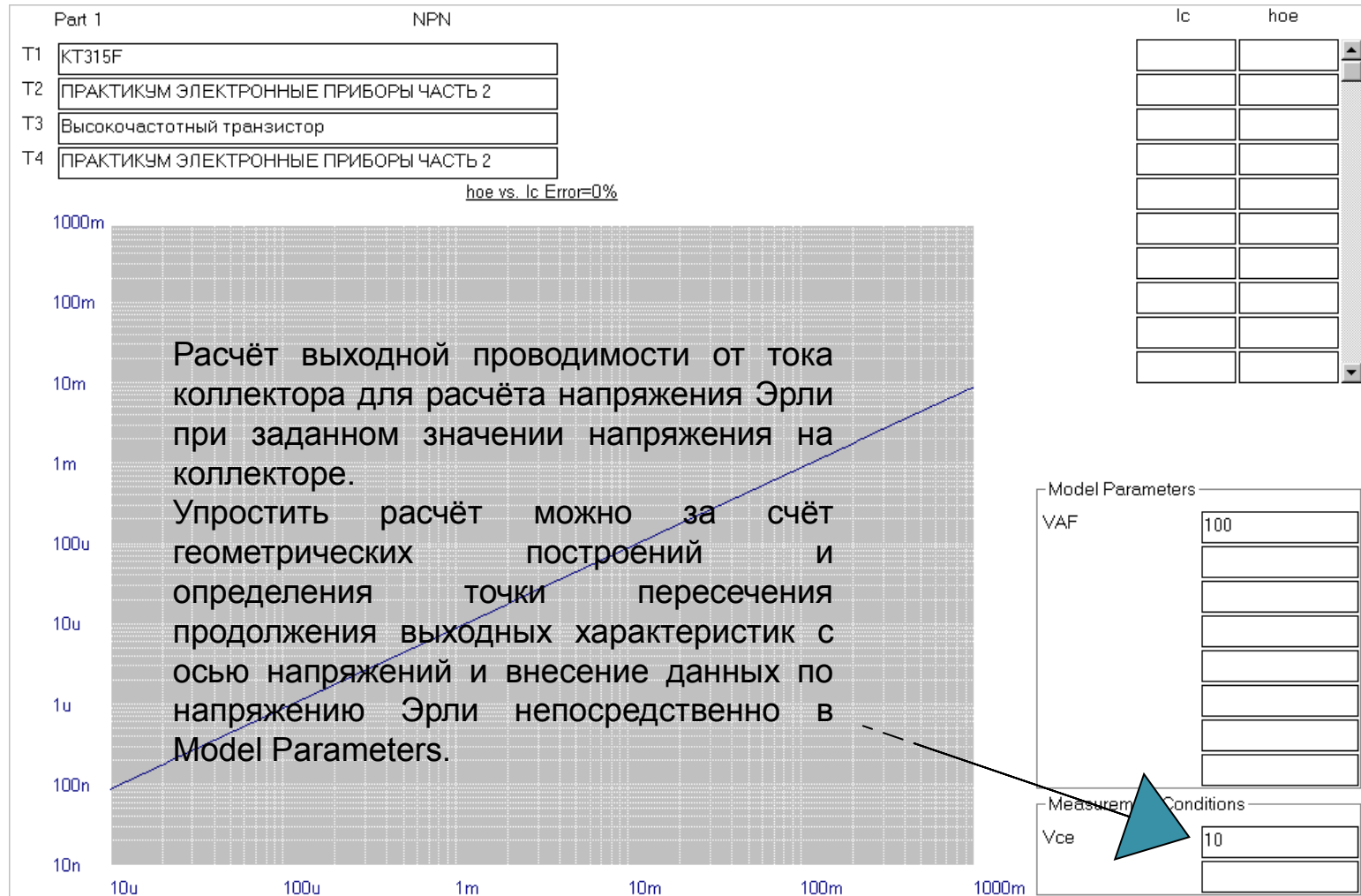
Заполнение таблицы данных для тока коллектора насыщения и соответствующему ему напряжению база эмиттер.

По данным измерения входной ВАХ и выходной ВАХ заполняется таблица в верхнем правом углу экрана.

После этого производят инициализацию начальных условий, нажатием клавиш **CTRL-I**, затем нажатием клавиш **CTRL-T** производят оптимизацию параметров на основе введенных данных.

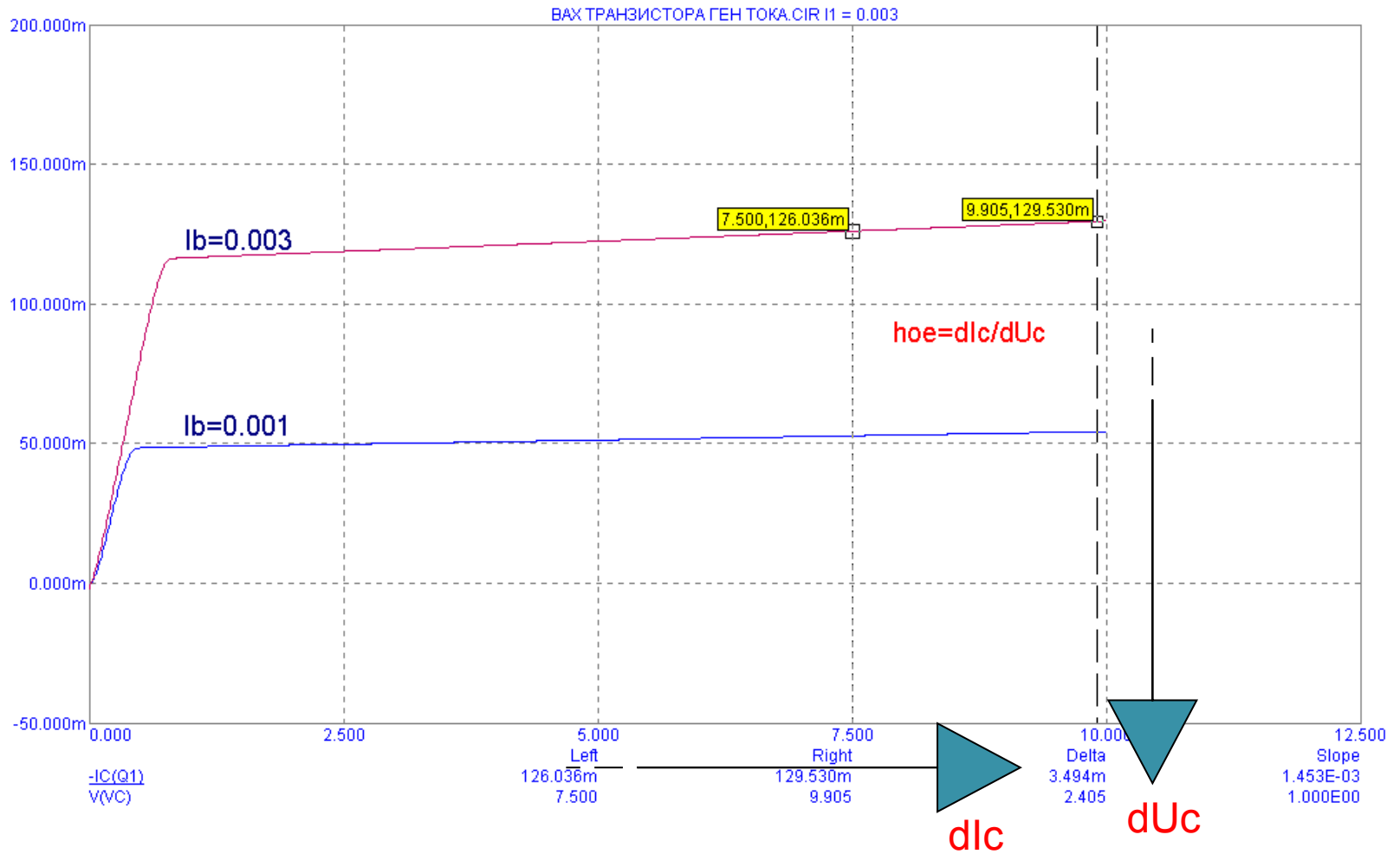
# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

## К расчёту на втором экране



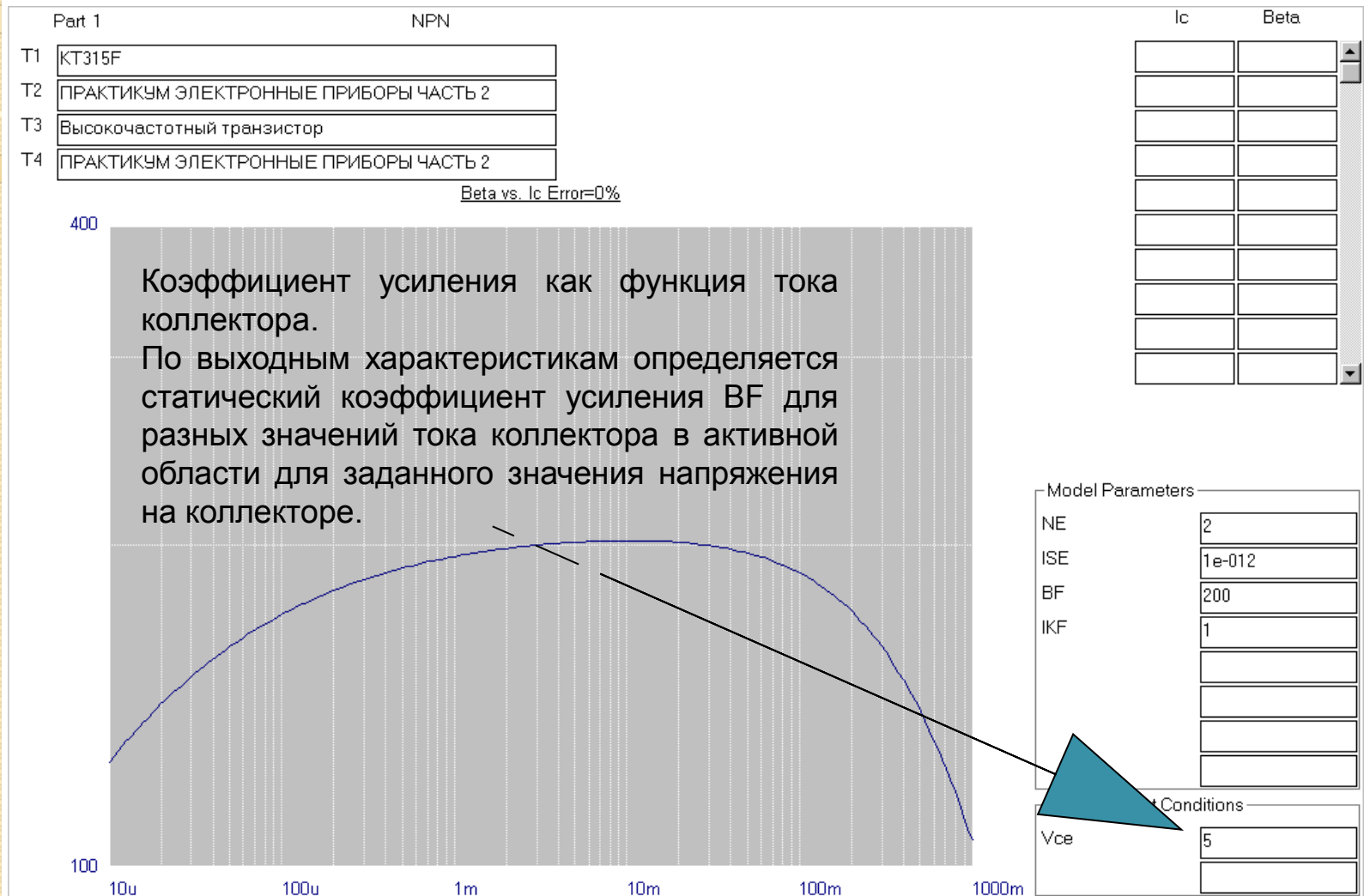
# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

## К расчёту на втором экране



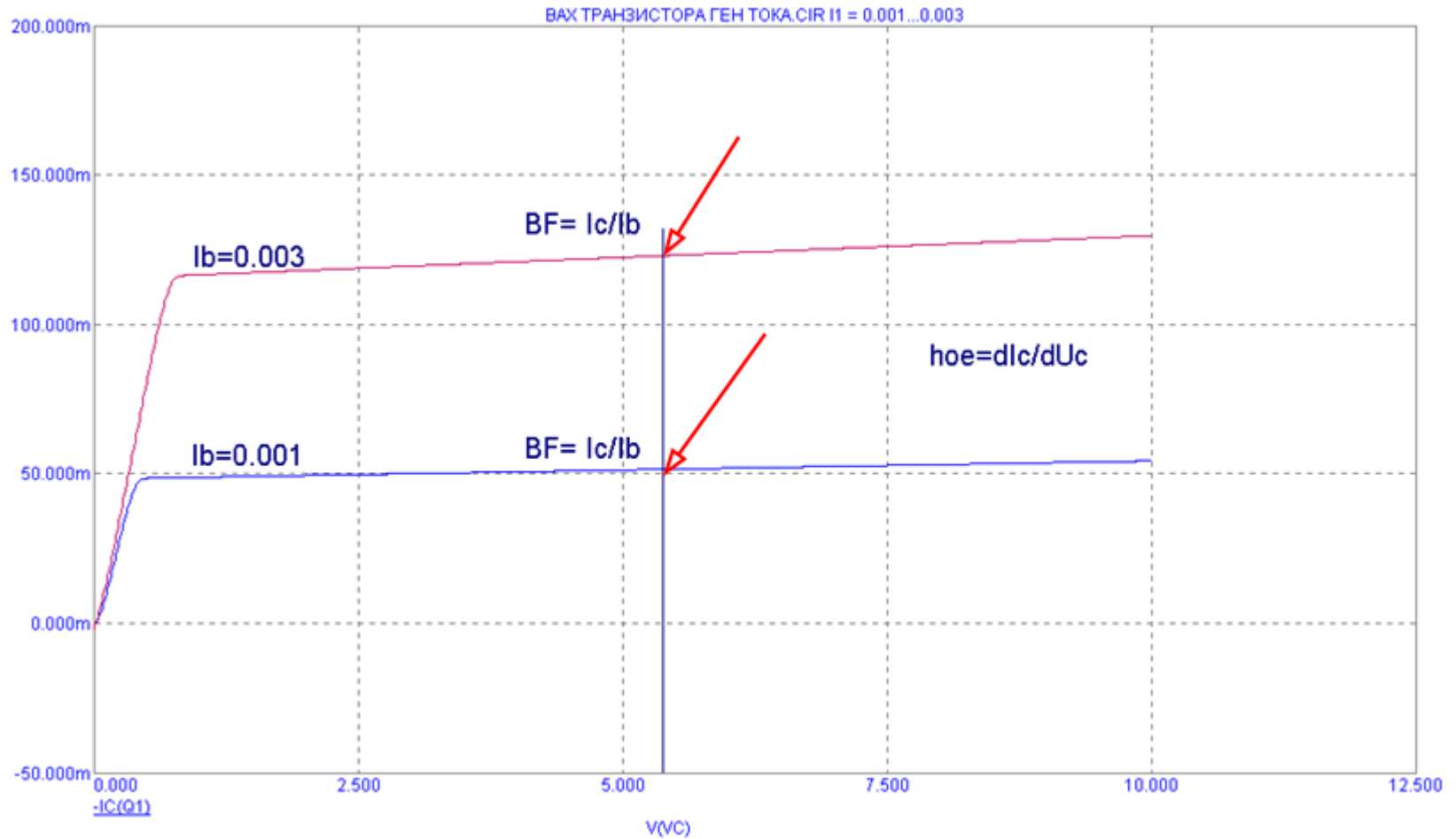
# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

## К расчёту на третьем экране



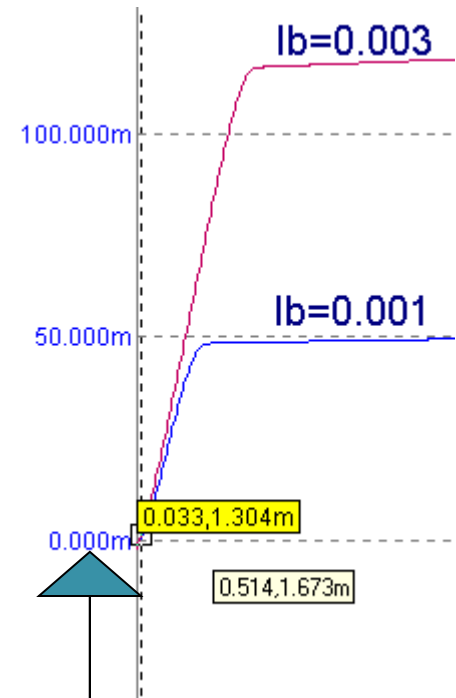
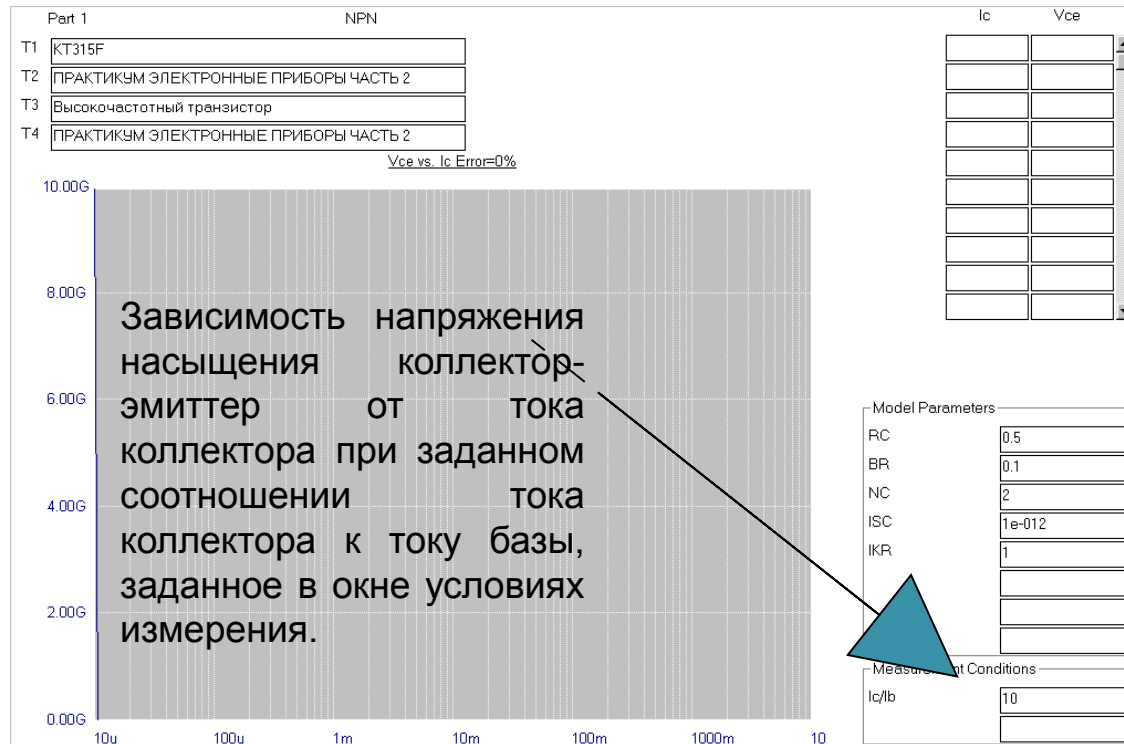
# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

## К расчёту на третьем экране



# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

## К расчёту на четвёртом экране



На выходных характеристиках, для заданного отношения  $I_c/I_b=10$  устанавливается напряжение насыщения  $V_{ce}$

# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

## К расчёту на пятом экране

Part 1		NPN		Vcb		Cob	
T1	КТ315F						
T2	ПРАКТИКУМ ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ ЧАСТЬ 2						
T3	Высокочастотный транзистор						
T4	ПРАКТИКУМ ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ ЧАСТЬ 2						

Cob vs. Vcb Error=0%

10p

Вольт фарадная характеристика перехода эмиттер – база. В справочнике может быть приведено только одно значение ёмкости коллекторного перехода для одного напряжения (Vcb, Cob). Тогда МКС задаётся конструкцией транзистора, а VJO – материалом (германий или кремний).

*Примечание: при вводе напряжение смещения берётся по модулю.*

1000f 100m 1000m 10

Model Parameters	
CJC	5e-012
MJC	0.5
VJC	0.75
FC	0.5

Measurement Conditions	

# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

## К расчёту на шестом экране

Part 1

NPN

T1

КТ315F

T2

ПРАКТИКУМ ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ ЧАСТЬ 2

T3

Высокочастотный транзистор

T4

ПРАКТИКУМ ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ ЧАСТЬ 2

TS vs. Ic Error=0%

Ic

TS


2n

Таблица времени рассасывания как функция от тока коллектора, при заданном отношении тока коллектора к току базы ( $I_c/I_b$ ).

Параметр может быть оценён из технологических характеристик транзистора или же из эксперимента.

1000p

1000u

10m

100m

Model Parameters

TR

1e-008

Measurement Conditions

Ic/Ib

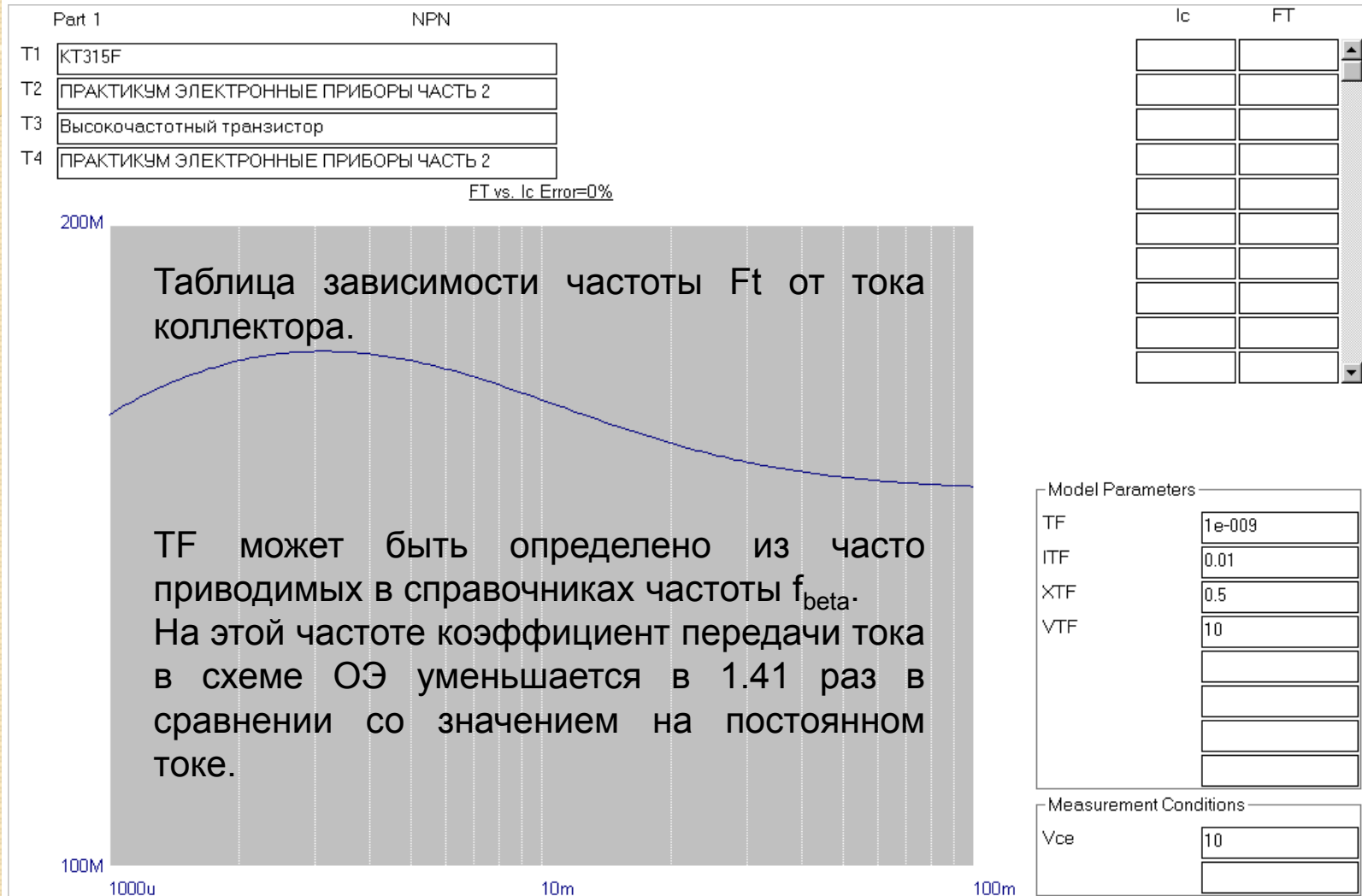
10

48



# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

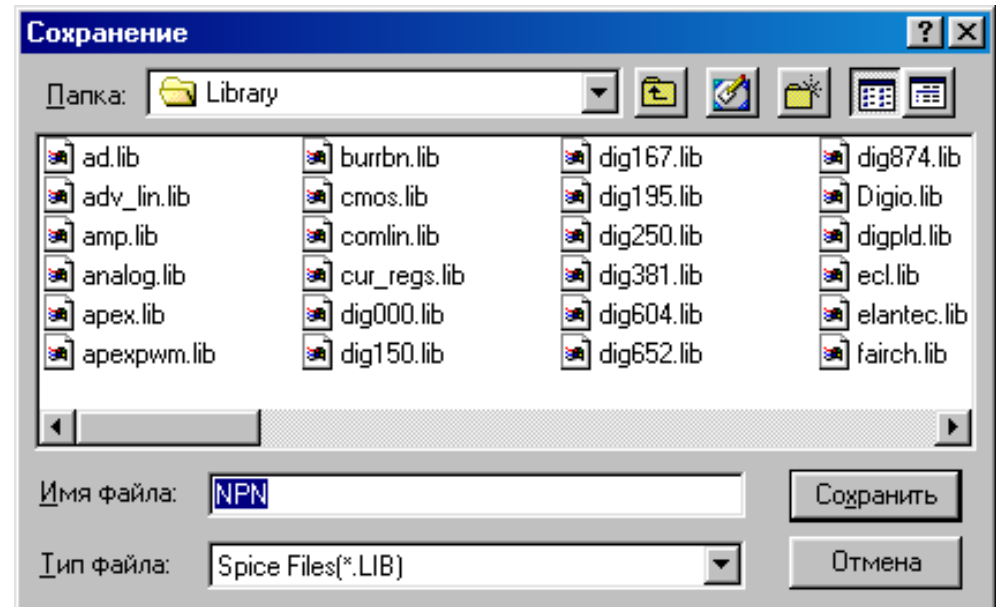
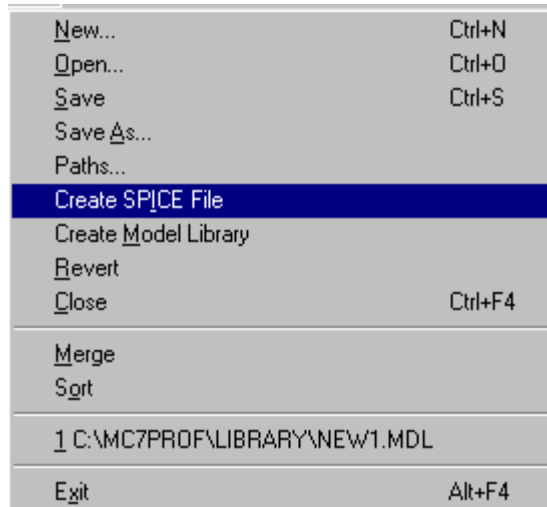
## К расчёту на седьмом экране



# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

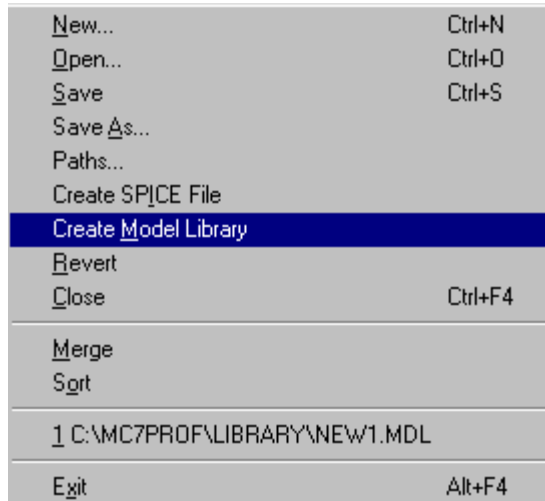
## Подготовка к выводу данных в файл \*.lib

Сохранение данных расчёта в файле формата PSPICE – текстовом файле с расширением LIB

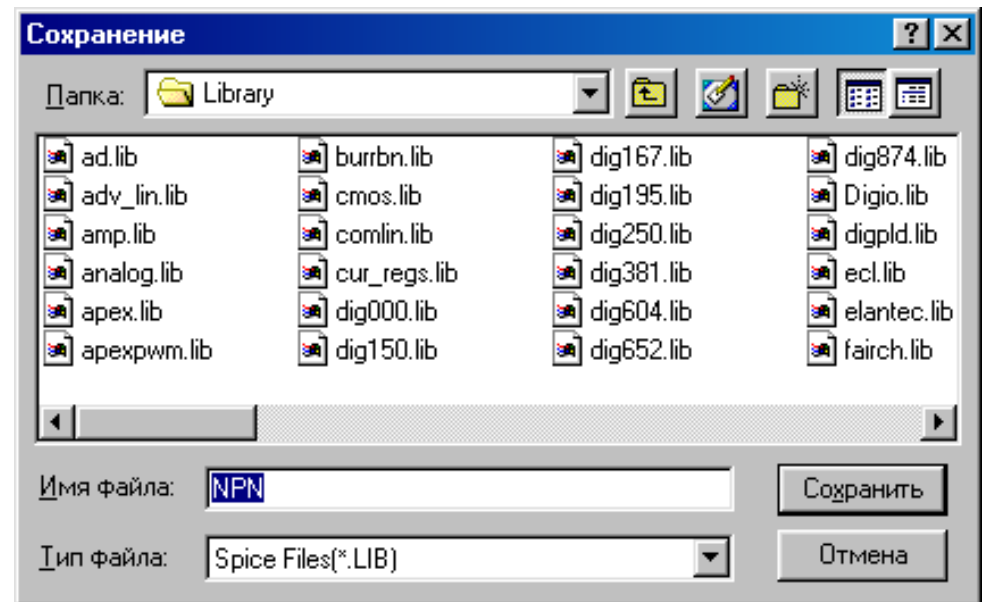


# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР

## Подготовка к выводу данных в файл \*.lbr



Сохранение данных расчёта в файле формата MC – библиотечном файле с расширением LBR



# ФАЙЛ ФОРМАТА PSPICE \*.LIB

\*\*\*\*\*

\* NPN.LIB

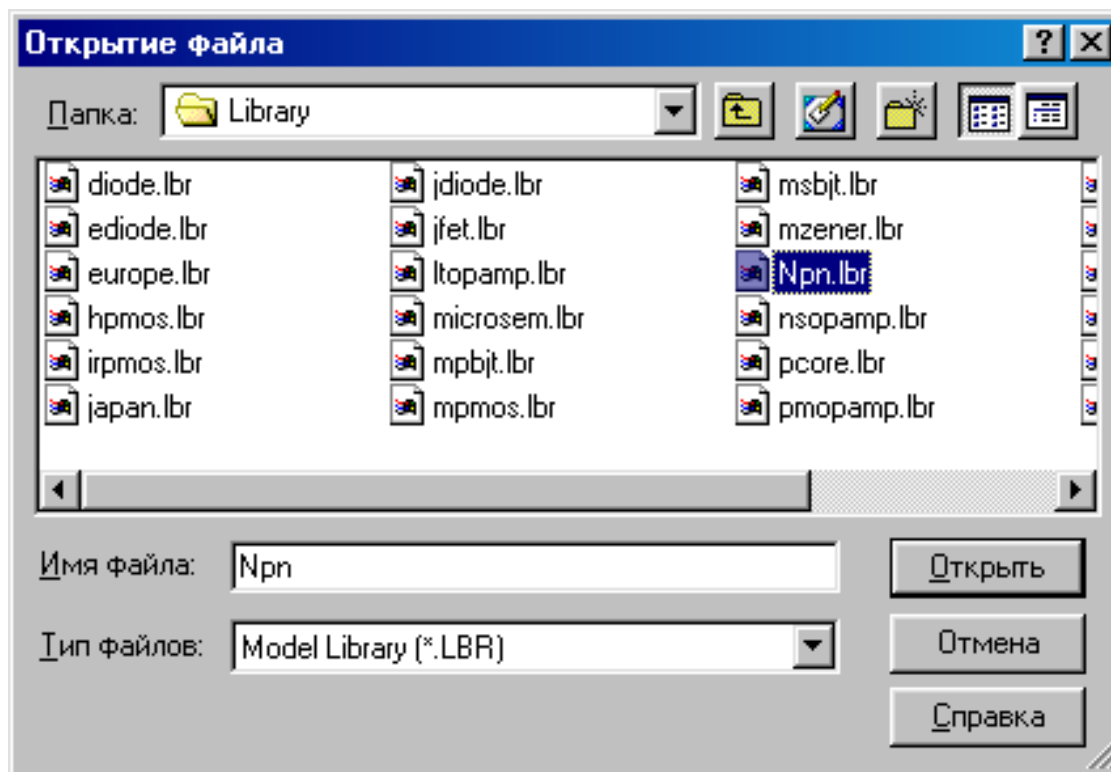
\*\*\*\*\*

\*\*\* Высокочастотный транзистор

```
.MODEL KT315F NPN (IS=9.99763F BF=200 NF=1.0024 VAF=100 IKF=1 ISE=1P NE=2  
+ BR=100M IKR=1 ISC=1P RE=508.434M RC=500M CJE=2P MJE=500M CJC=5P MJC=500M  
+ TF=1N XTF=500M UTF=10 ITF=10M TR=10N EG=1.11)
```

# ФАЙЛ ФОРМАТА \*.LBR

Файл такого формата можно открыть только в программе MC7:



# ФАЙЛ ФОРМАТА \*.LBR

Файл формата \*.lbr открытый в программе Microcap 9 demo:

The screenshot displays the Microcap 9 demo software interface for editing an LBR file. The window title is "NPN". The "Name" field contains "KT315F" and the "Memo" field contains "Высокочастотный транзистор". The "Parameters" section is divided into three columns, each with a list of parameters and their values.

Parameter	Value	Parameter	Value	Parameter	Value
IS	9.99763F	BF	200	NF	1.0024
VAF	100	IKF	1	ISE	1P
NE	2	BR	100M	NR	1
VAR	0	IKR	1	ISC	1P
NC	2	NK	500M	ISS	0
NS	1	RE	508.434M	RB	0
RBM	0	IRB	0	RC	500M
CJE	2P	VJE	750M	MJE	500M
CJC	5P	VJC	750M	MJC	500M
XCJC	1	CJS	0	VJS	750M
MJS	0	FC	500M	TF	1N
XTF	500M	VTF	10	ITF	10M
PTF	0	TR	10N	EG	1.11
XTB	0	XTI	3	TRE1	0
TRE2	0	TRB1	0	TRB2	0
TRM1	0	TRM2	0	TRC1	0
TRC2	0	KF	0	AF	1
T_MEASURED	undefined	T_ABS	undefined	T_REL_GLOBAL	undefined