

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Факультет «Радиоэлектроника и лазерная техника»

Кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»

Семинар №5

«Определение параметров модели диода по данным эксперимента»

по дисциплине

«Электроника»

Вариант № 12

Выполнил ст. группы РЛ6-41

Мухин Г.А.

Филимонов С.В.

Болотина Е.Е.

Фамилия И.О.

Проверил доцент

Крайний В.И.

Оценка в баллах _____

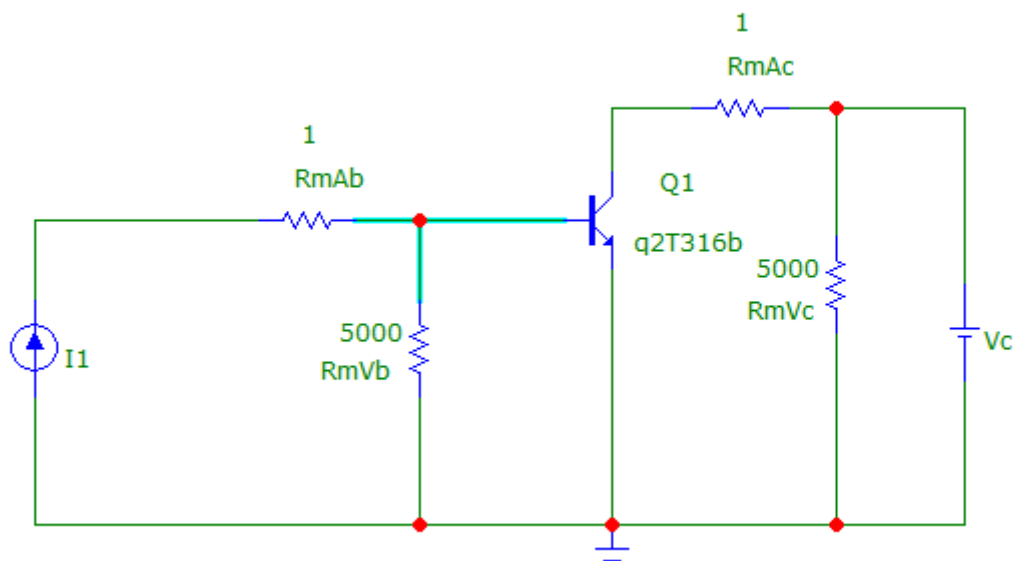
Москва, 2022

Исходные параметры модели транзистора **2Т316Б**:

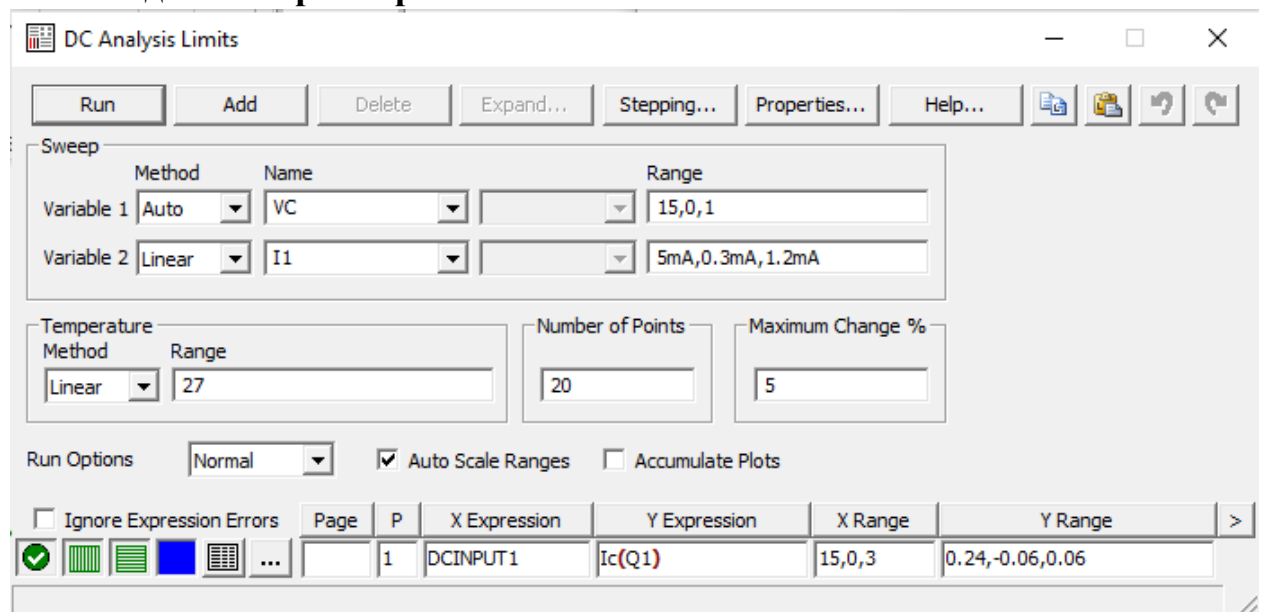
$I_s=3.49f$ $X_{ti}=3$ $E_g=1.11$ $V_{af}=102$ $B_f=74.97$ $N_e=1.483$ $I_{se}=44.72f$ $I_{kf}=.1322$
 $X_{tb}=1.5$ $V_{ar}=55$ $B_r=.2866$ $N_c=2$ $I_{sc}=447f$ $I_{kr}=.254$ $R_b=66.7$ $R_c=7.33$ $C_{jc}=3.934p$
 $V_{jc}=.65$ $M_{jc}=.33$ $F_c=.5$ $C_{je}=1.16p$ $V_{je}=.69$ $M_{je}=.33$ $T_r=65.92n$ $T_f=94.42p$ $I_{tf}=.15$
 $V_{tf}=15$ $X_{tf}=2$

Схема для исследования выходных характеристик биполярного транзистора:

Схема для снятия выходных характеристик:



Окно задания параметров:



Определяем из справочника биполярных транзисторов максимальное значение коллекторного тока **50 мА**.

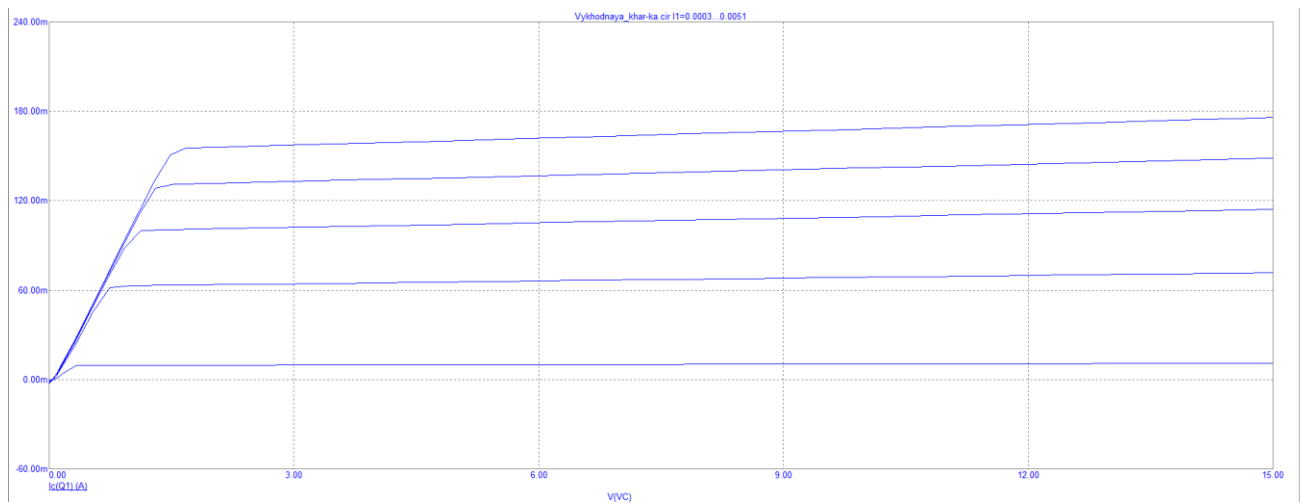
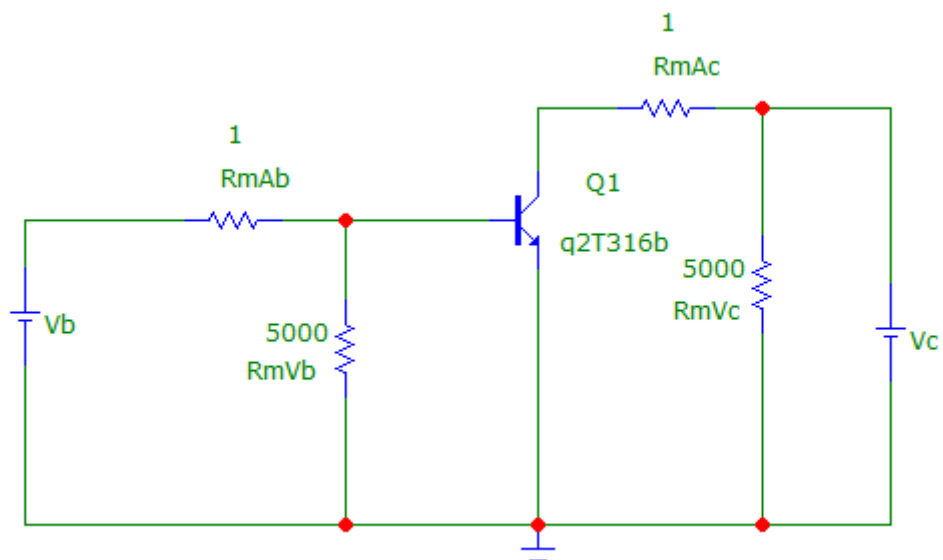


Схема для исследования входных характеристик биполярного транзистора:



DC Analysis Limits

Run

Add

Delete

Expand...

Stepping...

Properties...

Help...

Sweep

Method

Name

Range

Variable 1

Auto

VB

1,0,0.1

Variable 2

Linear

VC

5,0,5

Temperature

Method

Range

Linear

27

Number of Points

10

Maximum Change %

5

Run Options

Normal

☒ Auto Scale Ranges
 ☐ Accumulate Plots

☐ Ignore Expression Errors

Page

P

X Expression

Y Expression

X Range

Y Range

>

☒
☐
☐
☐
☐
☐

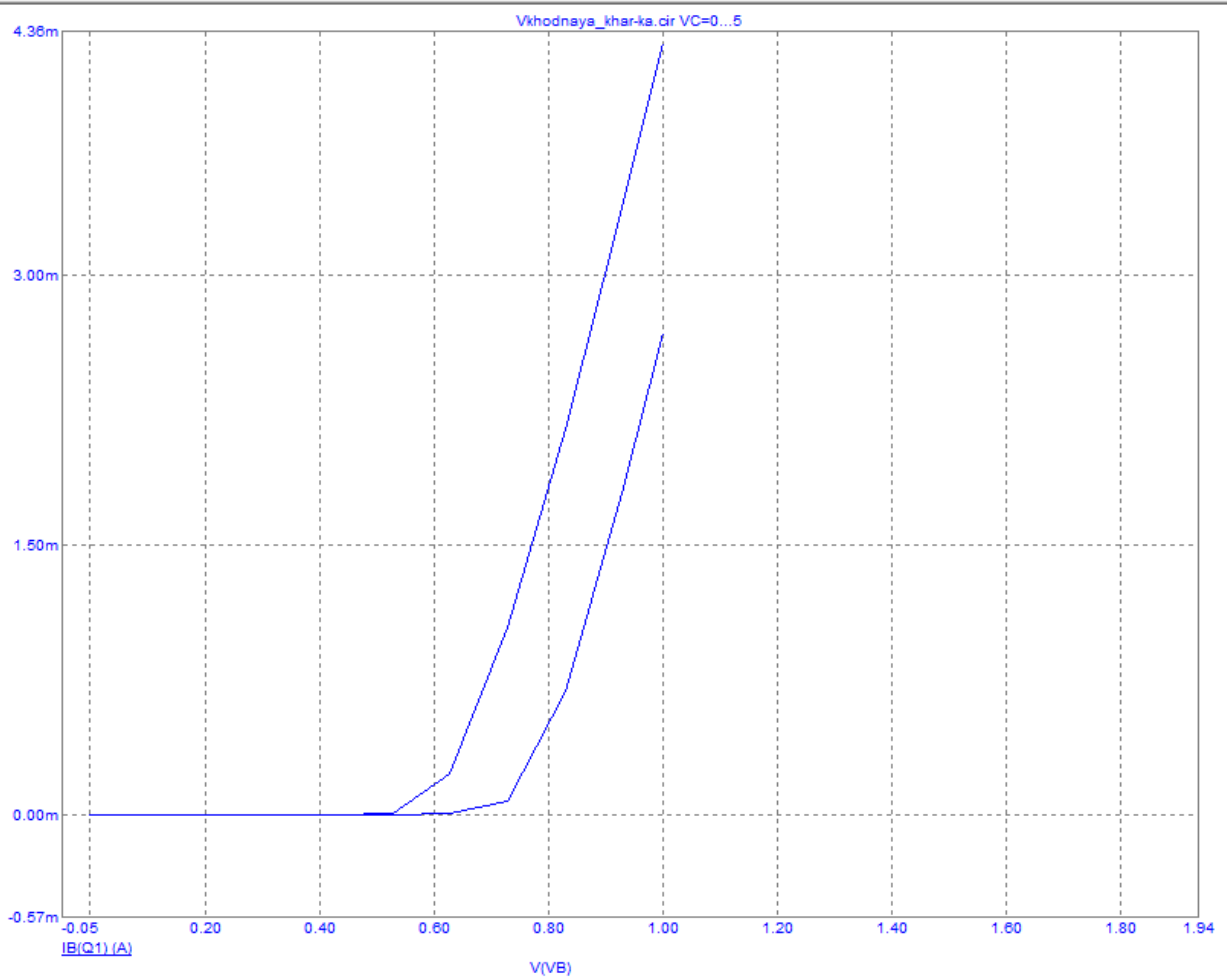
1

DCINPUT1

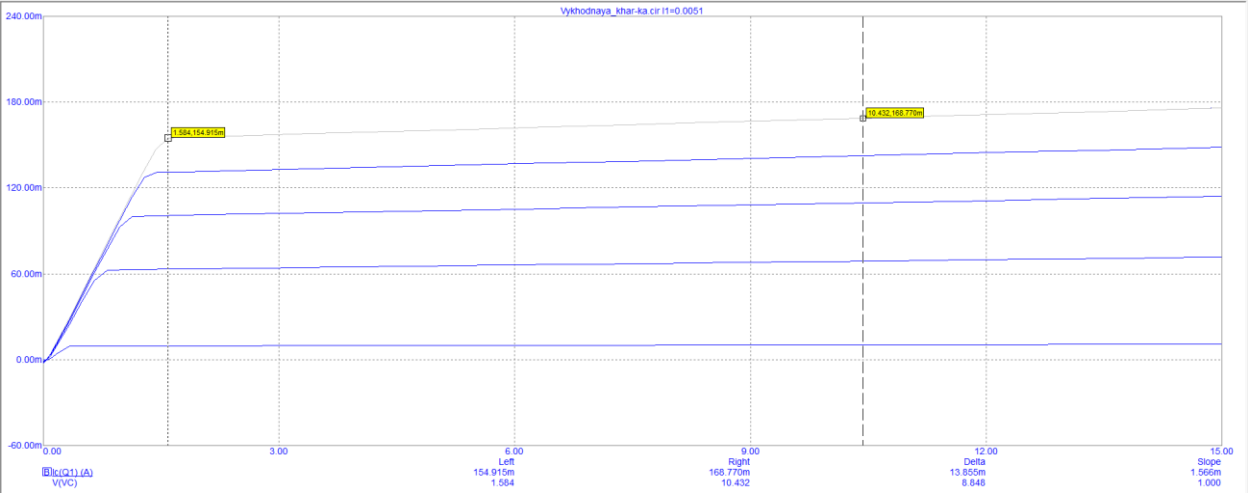
IB(Q1)

1,0,0.2

0.006,-0.0015,0.0015



Определение тока коллектора и напряжения база-эмиттер в режиме



V_{ce}, B	0.33	0.746	0.927	1.305	1.485
$I_{c.нас}, A$	0.009316	0.061	0.088	0.128	0.151
I_B, A	0.0003	0.0015	0.0027	0.0039	0.005
V_{be}, B	0.778	0.905	1	1.09	1.174

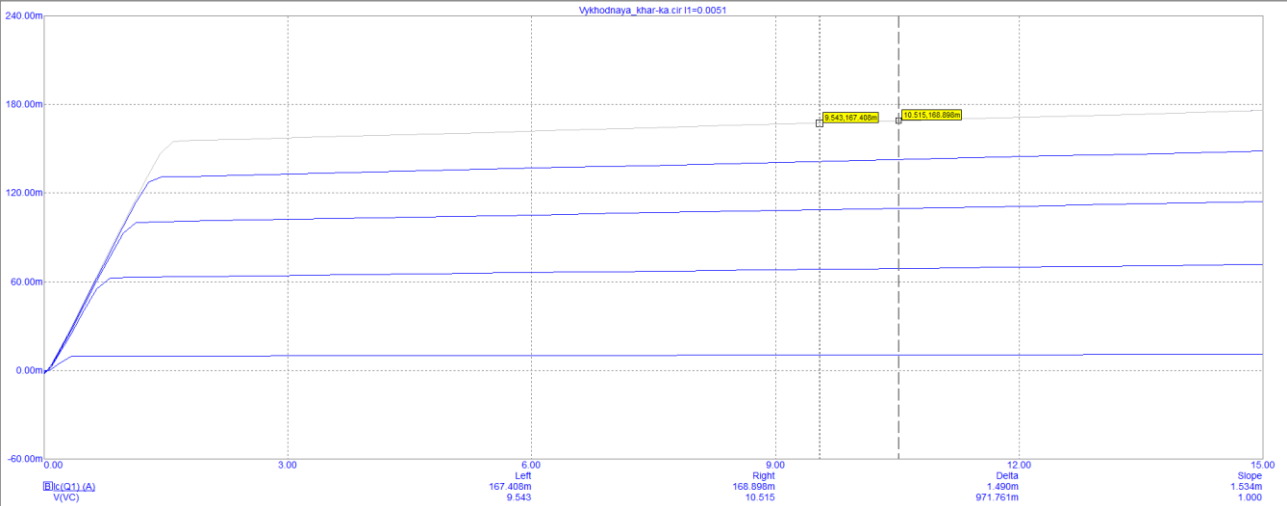
V_{ce} – напряжение коллектор-эмиттер;

$I_{cнаc}$ – ток насыщения коллектора;

I_B – ток базы;

V_{be} – напряжение база-эмиттер.

Расчет выходной проводимости

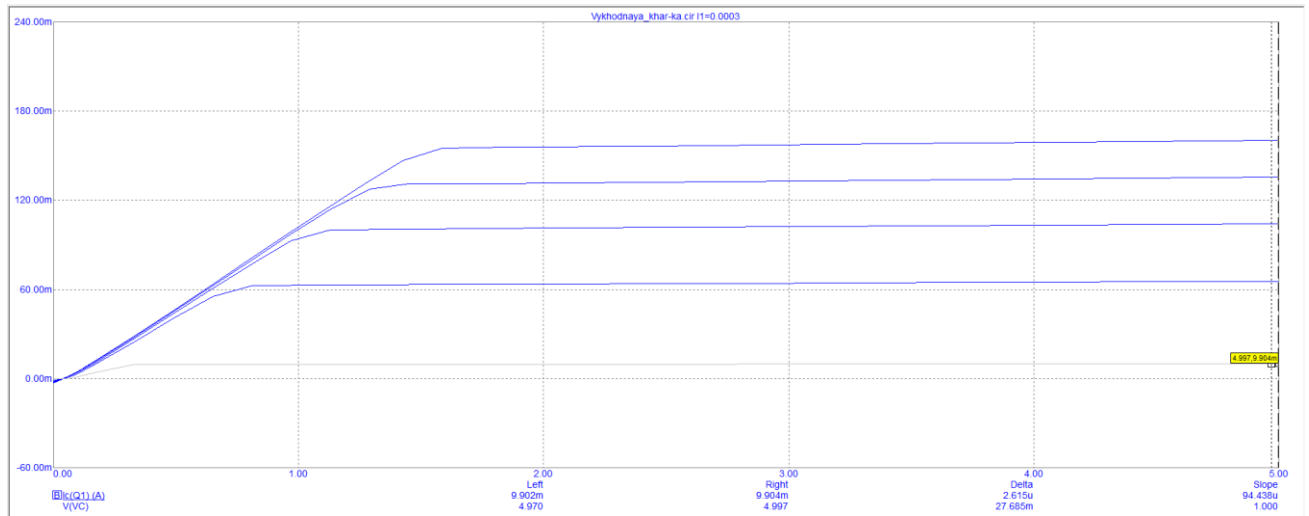


V_{ce}, B	9.512	10.515
I_c, A	0.167408	0.168896

$h_{0e} = \Delta I_c / \Delta V_{ce} = (0.168896 - 0.167408) / (10.515 - 9.512) = 0.0015 \text{ См.}$

Расчет статического коэффициента передачи по току

(при $V_{ce}=5\text{ В}$)

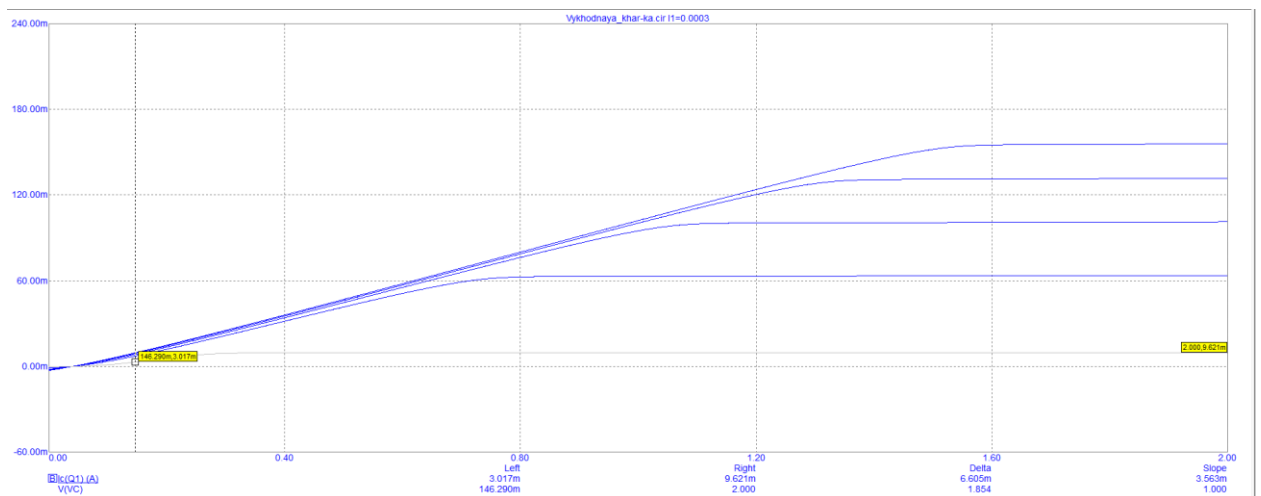


$I_c, \text{ A}$	0.0099	0.065	0.104	0.135	0.164
$I_b, \text{ A}$	0.0003	0.0015	0.0027	0.0039	0.005
BF (I_c / I_b)	33	43	38	35	33

Определение напряжения насыщения V_{ce}

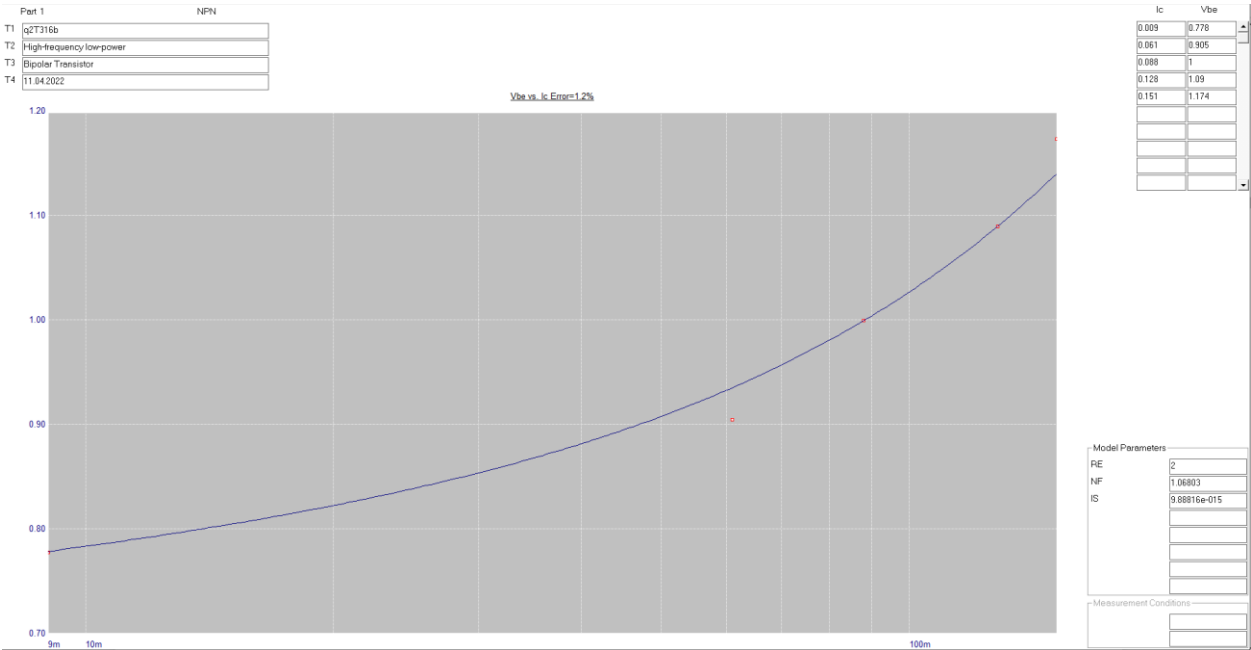
(при заданном $I_c/I_b=10$)

$I_{c, \text{нас}}, \text{ A}$	0.003	0.015	0.027	0.039	0.05
$I_b, \text{ A}$	0.0003	0.0015	0.0027	0.0039	0.005
$V_{ce}, \text{ B}$	0.146	0.232	0.333	0.435	0.528

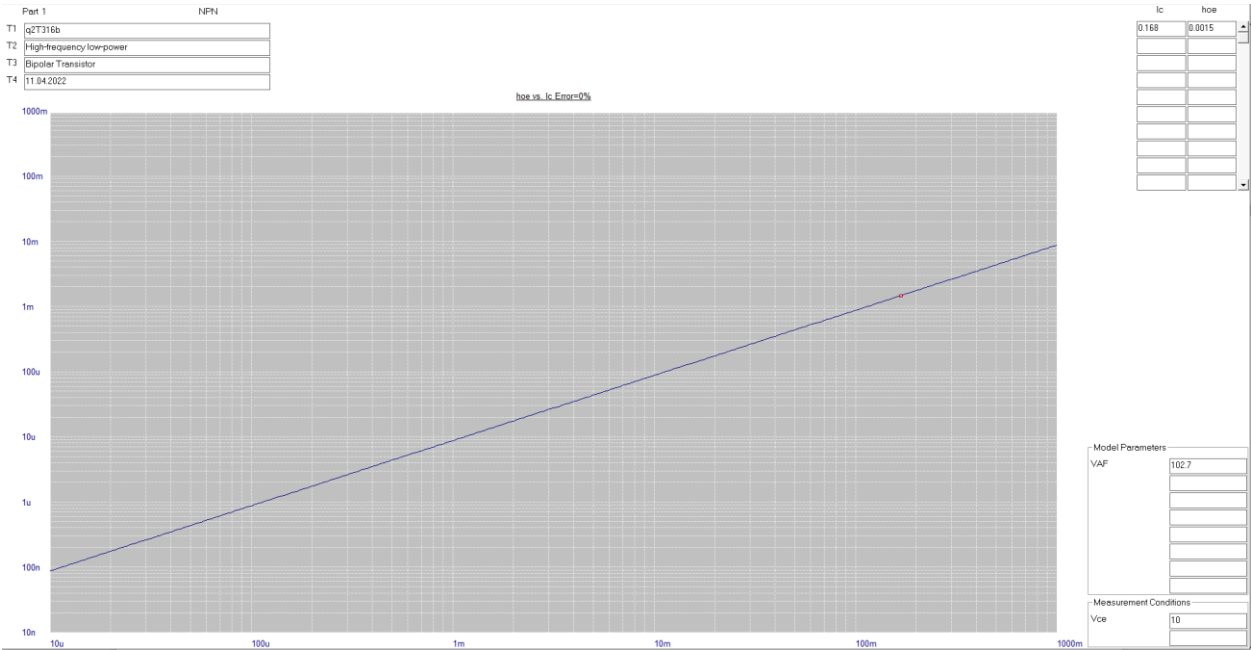


Расчет параметров модели биполярного транзистора в программе Model

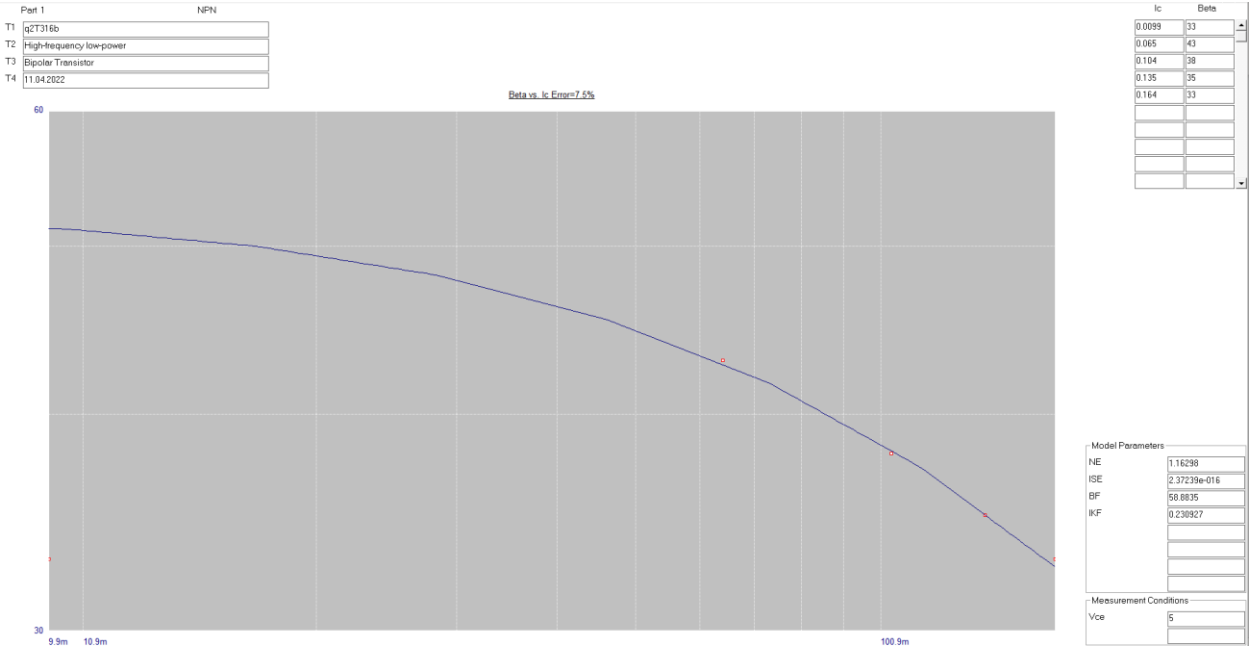
Окно расчетов 1



Окно расчетов 2



Окно расчетов 3



Beta vs. ic Error=7.6%

60

30

9.9m

10.9m

100.9m

Model Parameters

NE

1.16238

ISE

2.37239e-016

BF

50.8835

IKF

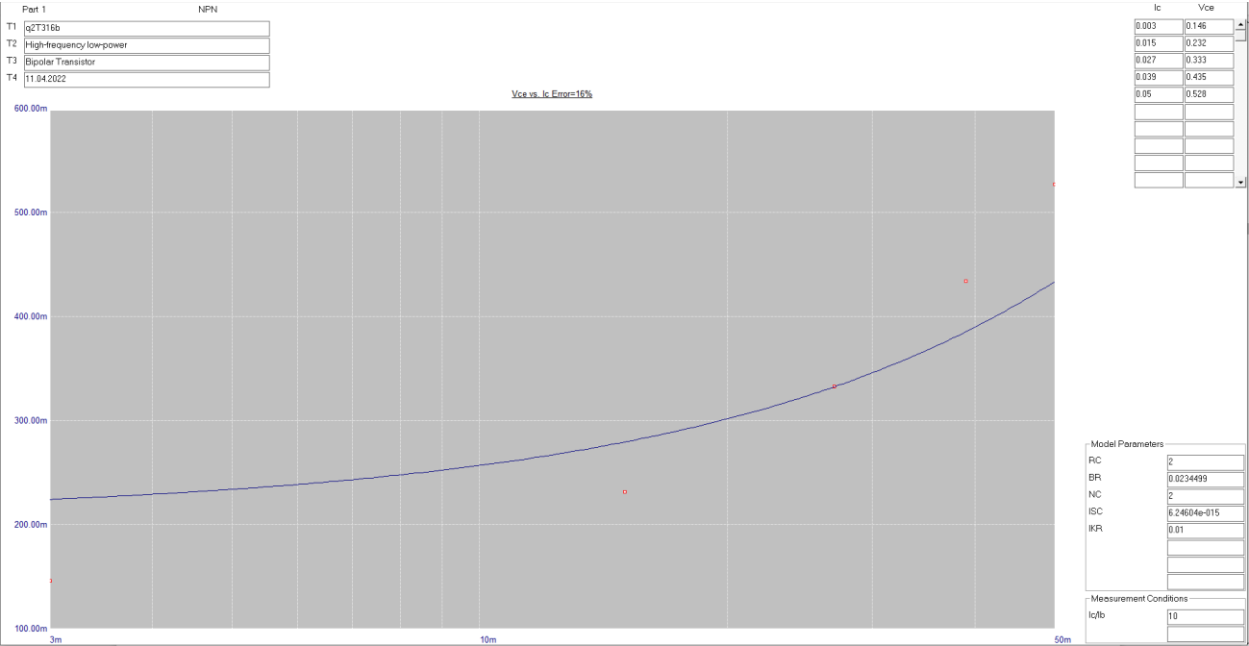
0.238927

Measurement Conditions

Vce

5

Окно расчетов 4



Vce vs. ic Error=16%

600.00m

500.00m

400.00m

300.00m

200.00m

100.00m

3m

10m

50m

Model Parameters

RC

2

BR

0.0234499

NC

2

ISC

6.24604e-015

IKR

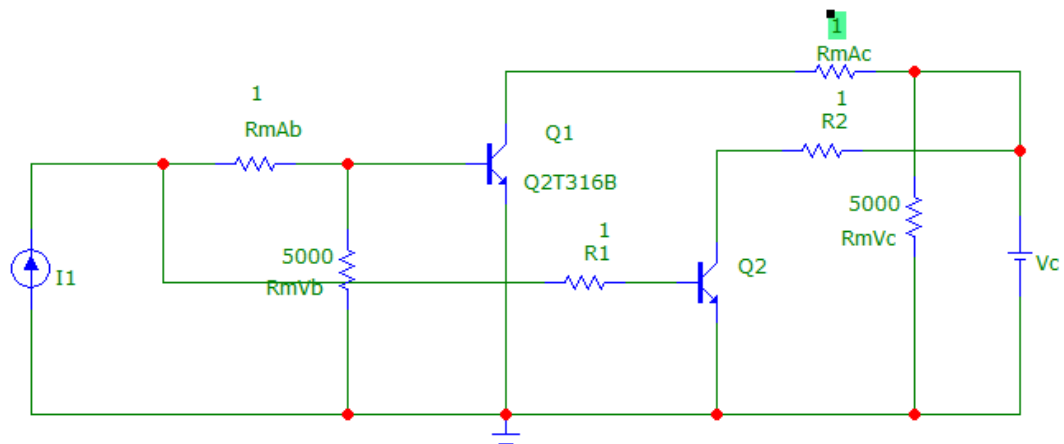
0.01

Measurement Conditions

ic/Ib

10

Схема для исследования выходных характеристик биполярного транзистора (совмещение характеристик)



R1,R2,R3,R4 – резисторы для уменьшения влияния транзисторов друг на друга;

R5 – внутреннее сопротивление источника.

The screenshot displays the LTSPICE software interface. On the left, a portion of the circuit diagram is visible, showing the current source I1, resistors RmAb, RmVb, and the base-emitter junction of transistor Q1. On the right, the 'NPN/NPN Transistor' model configuration window is open, showing the following parameters:

Parameter	Value
NAME	MODEL
VALUE	Q2T316BAVG
PART=Q2	
VALUE=	
MODEL=	Q2T316BAVG
SMOKE=	
COST=	
POWER=	
SHAPEGROUP=	Default
PACKAGE=	
Enabled	TRUE
Columns	3
Help Bar	<input checked="" type="checkbox"/>
Show Data on Exit	<input type="checkbox"/>
LEVEL	1
BR	23.4499M
CJS	0
GAMMA	10p
IRB	0
ISE	2.372389E-016
KF	0
MJS	0
NF	1
NS	1
QUASIMOD	0
RC	2
T_ABS	undefined
T_REL_LOCAL	undefined
TRB1	0
TRC2	0
TRM1	0
VAR	55
VJE	.69
VTF	10
AF	1
CJC	5P
EG	1.11
INF	230.927M
IS	9.88816F
ISS	0
MJC	500M
NC	2
NK	500m
PTF	0
RB	66.7
RCO	0
T_MEASURED	undefined
TF	1N
TRB2	0
TRE1	0
TRM2	0
VG	1.206
VJS	750m
XCJC	1
BF	58.8835
CJE	2P
FC	.5
IKR	10M
ISC	447F
ITF	10M
MJE	500M
NE	1.16298
NR	1
QCO	0
RBM	0
RE	0
T_REL_GLOBAL	undefined
TR	10N
TRC1	0
TRE2	0
VAF	102.7
VJC	.65
VO	10
XTB	1.5

Параметры модели транзистора (Q2T316BVG), полученные в программе Model:

BIPOLAR TRANSISTOR.LIB – Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

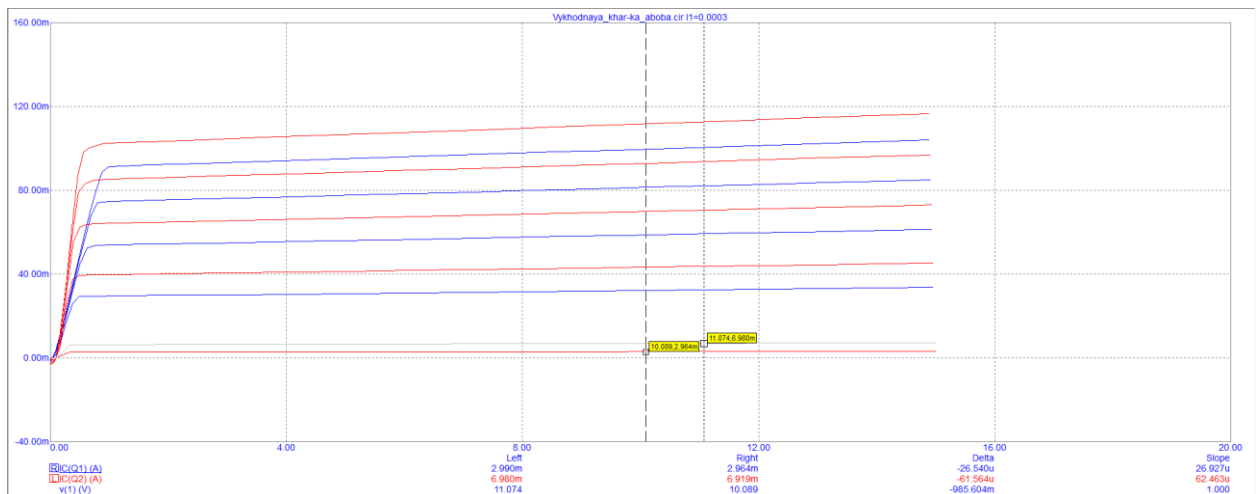
* BIPOLAR TRANSISTOR.LIB

*** Bipolar Transistor

```
.MODEL q2T316b NPN (IS=9.88816F BF=58.8835 NF=1.06803 VAF=102.7 IKF=230.927M
+ ISE=2.372389e-016 NE=1.16298 BR=23.4499M IKR=10M ISC=6.24604F NC=2 RE=2 RC=2
+ CJE=2P MJE=500M CJC=5P MJC=500M TF=1N XTF=500M VTF=10 ITF=10M TR=10N)
```

Параметры исходного транзистора, заданного по условию (Q2T316B):

```
.model q2T316b NPN(Is=3.49f Xti=3 Eg=1.11 Vaf=102 Bf=74.97 Ne=1.483
+ Ise=44.72f Ikf=.1322 Xtb=1.5 Var=55 Br=.2866 Nc=2 Isc=447f Ikr=.254
+ Rb=66.7 Rc=7.33 Cjc=3.934p Vjc=.65 Mjc=.33 Fc=.5 Cje=1.16p Vje=.69
+ Mje=.33 Tr=65.92n Tf=94.42p Itf=.15 Vtf=15 Xtf=2)
```



$$\sigma = |(I_{c \text{ синий}} - I_{c \text{ красный}})| / I_{c \text{ синий}} \cdot 100\% = |(11.074 - 10.089)| / 11.074 \cdot 100\% = 8.89471\%$$

Поскольку погрешность не превышает 10%, то изменять ничего не нужно, и мы получили идеальную модель биполярного транзистора.