

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Дисциплина основы электроники
Лабораторный практикум №5

Работу выполнил:
студент группы ИУ7-31Б
Костев Дмитрий

Работу проверил:

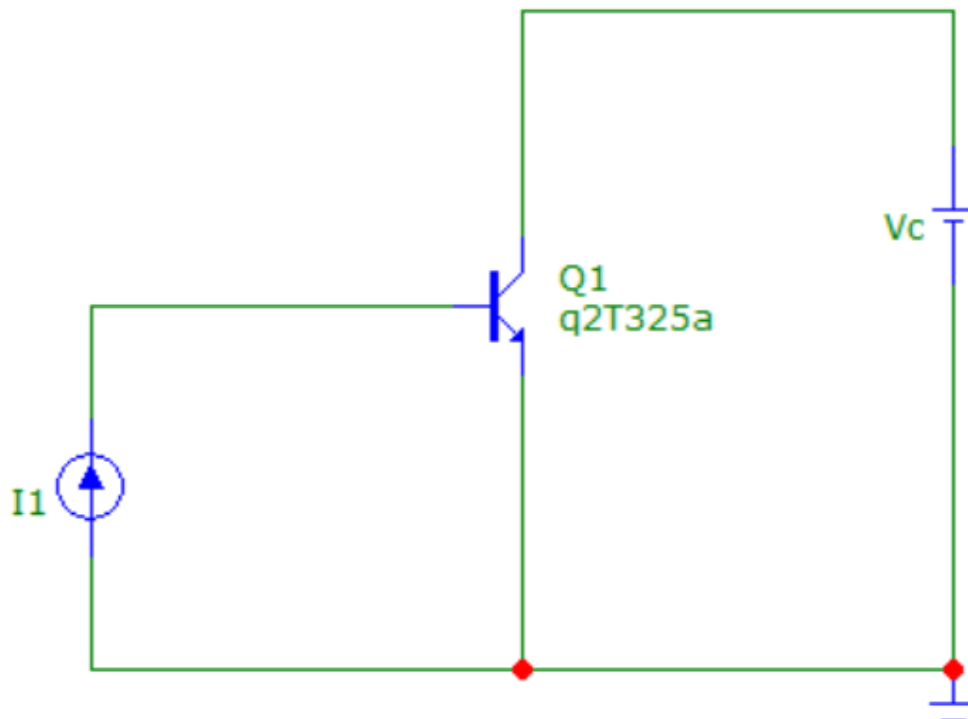
Москва, 2020 г.

Цель работы: получить навыки в использовании базовых возможностей программы Microcap и знания при исследовании и настройке усилительных и ключевых устройств на биполярных и полевых транзисторах.

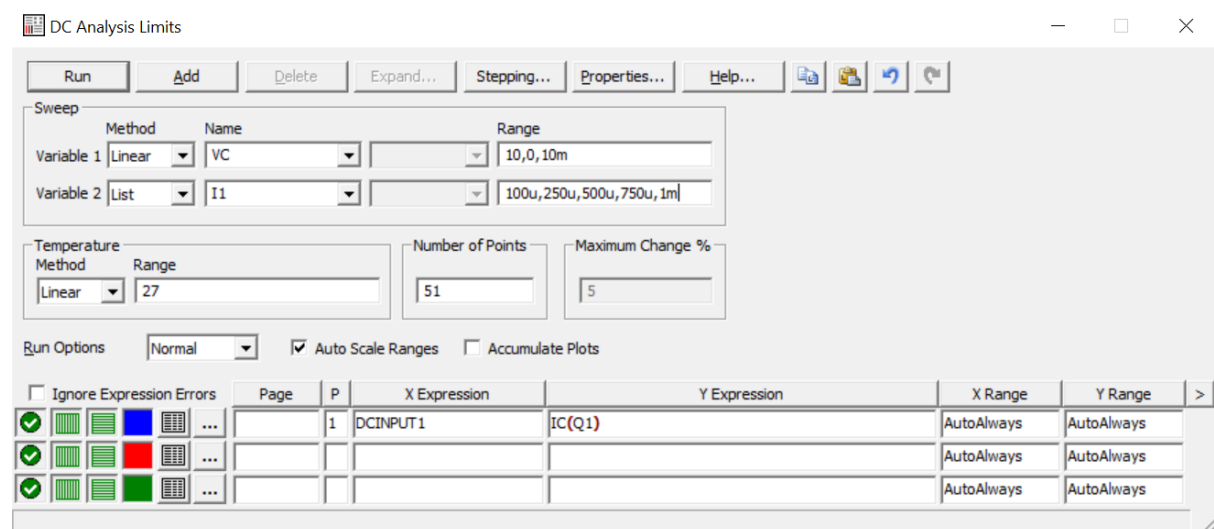
Эксперимент 1

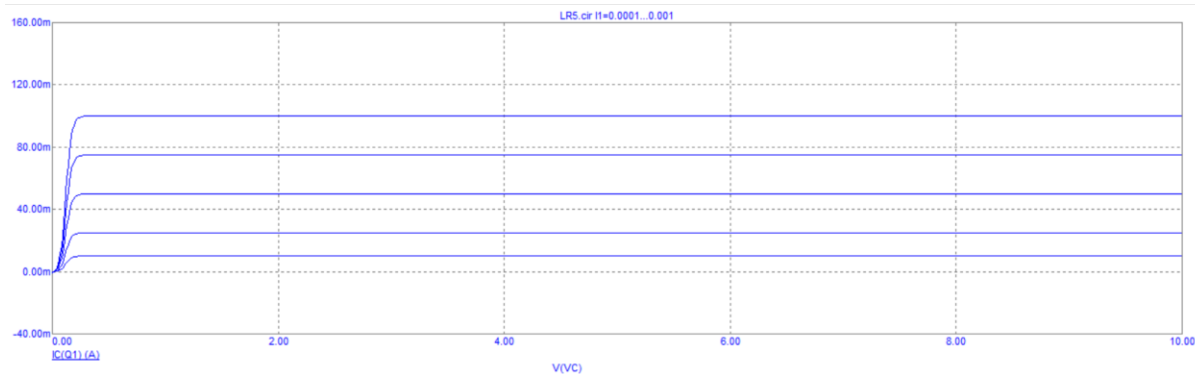
Снятие ВАХ биполярного транзистора в схеме с ОЭ

1. Построим схему с транзистором q2T325a (NPN) в программе **microcap**. Обратим внимание на правильную полярность при исследовании транзистора: NPN транзисторы имеют положительное напряжение питания и вытекающий ток.



2. Получим выходную ВАХ биполярного транзистора своего варианта по схеме, используя возможности режима моделирования DC:





3. Получим входную ВАХ биполярного транзистора своего варианта по схеме, используя возможности режима моделирования DC:

DC Analysis Limits

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

Sweep

Variable	Method	Name	Range
Variable 1	Linear	I1	500u, 1u, 10u
Variable 2	List	VC	0, 5, 10

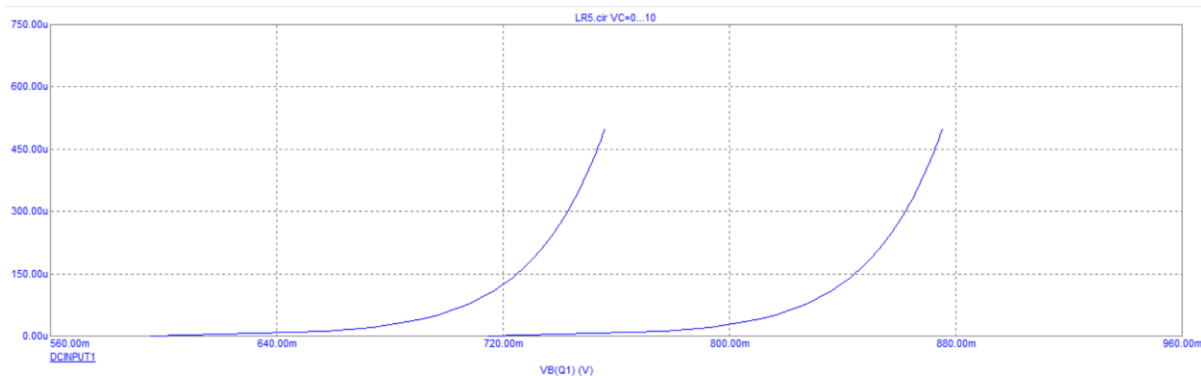
Temperature

Method	Range
Linear	27

Number of Points: 51 Maximum Change: 5%

Run Options: Normal ☒ Auto Scale Ranges ☐ Accumulate Plots

Ignore Expression Errors	Page	P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	VB(Q1)	DCINPUT1	AutoAlways	AutoAlways
<input checked="" type="checkbox"/>					AutoAlways	AutoAlways
<input checked="" type="checkbox"/>					AutoAlways	AutoAlways



4. На выходной ВАХ построим для транзистора кривую предельно допустимой мощности, посмотрев максимальную мощность, рассеиваемую на коллекторе, и максимальный ток в интернете. По данным из интернета максимально допустимый ток коллектора 60мА, максимальная мощность, рассеиваемая на коллекторе 225мВт (<https://eandc.ru/catalog/detail.php?ID=1725>):

Основные технические характеристики транзистора 2Т325А:

- Структура транзистора: п-р-п;
- $P_k \text{ max}$ - Постоянная рассеиваемая мощность коллектора: 225 мВт;
- $f_{гр}$ - Граничная частота коэффициента передачи тока транзистора для схемы с общим эмиттером: не менее 800 МГц;
- $U_{кэб \text{ max}}$ - Максимальное напряжение коллектор-эмиттер при заданном токе коллектора и заданном (конечном) сопротивлении в цепи база-эмиттер: 15 В (3кОм);
- $U_{эб0 \text{ max}}$ - Максимальное напряжение эмиттер-база при заданном обратном токе эмиттера и разомкнутой цепи коллектора: 4 В;
- $I_k \text{ max}$ - Максимально допустимый постоянный ток коллектора: 60 мА;
- $I_{кб0}$ - Обратный ток коллектора - ток через коллекторный переход при заданном обратном напряжении коллектор-база и разомкнутом выводе эмиттера: не более 0,5 мкА;
- $h_{21Э}$ - Статический коэффициент передачи тока для схемы с общим эмиттером в режиме большого сигнала: 30... 90;
- C_k - Емкость коллекторного перехода: не более 2,50 пФ;
- t_k - Постоянная времени цепи обратной связи на высокой частоте: не более 125 пс

DC Analysis Limits

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

Sweep

Variable	Method	Name	Range
Variable 1	Linear	VC	10,0,10m
Variable 2	List	I1	0.25m,05m,0.75m,1m

Temperature

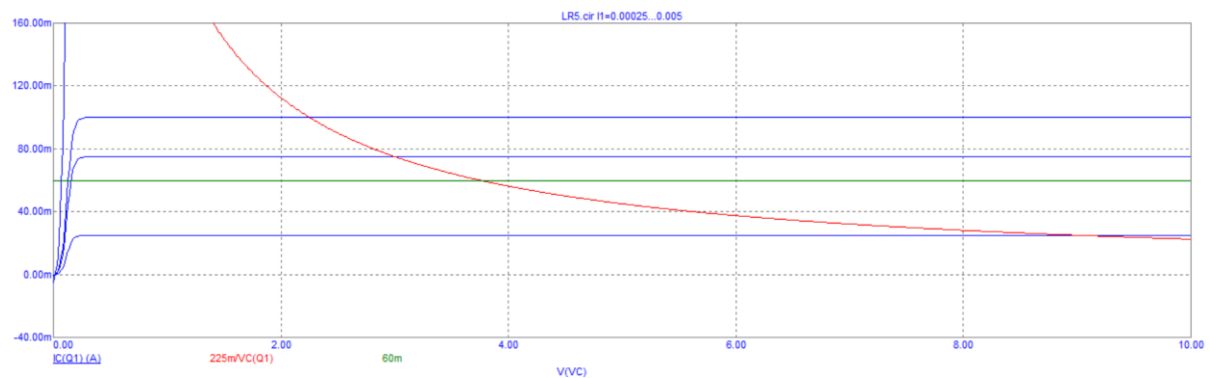
Method: Linear Range: 27

Number of Points: 510

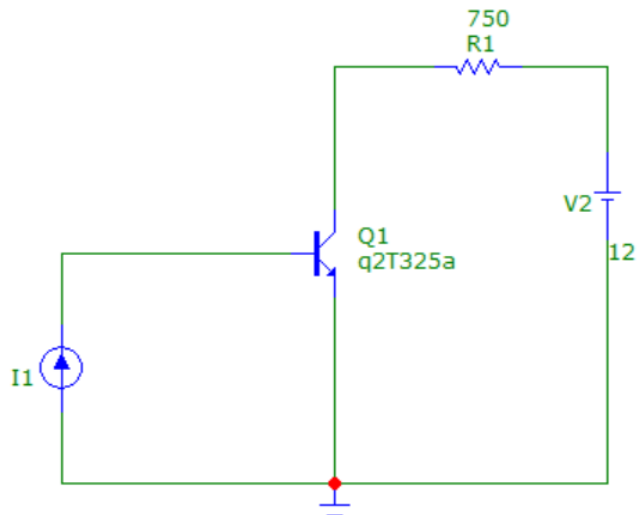
Maximum Change %: 5

Run Options: Normal ☐ Auto Scale Ranges ☐ Accumulate Plots

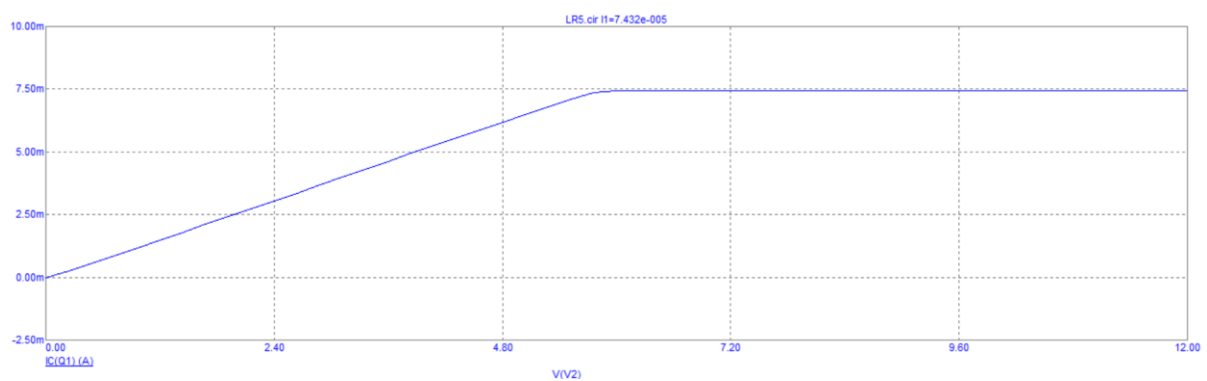
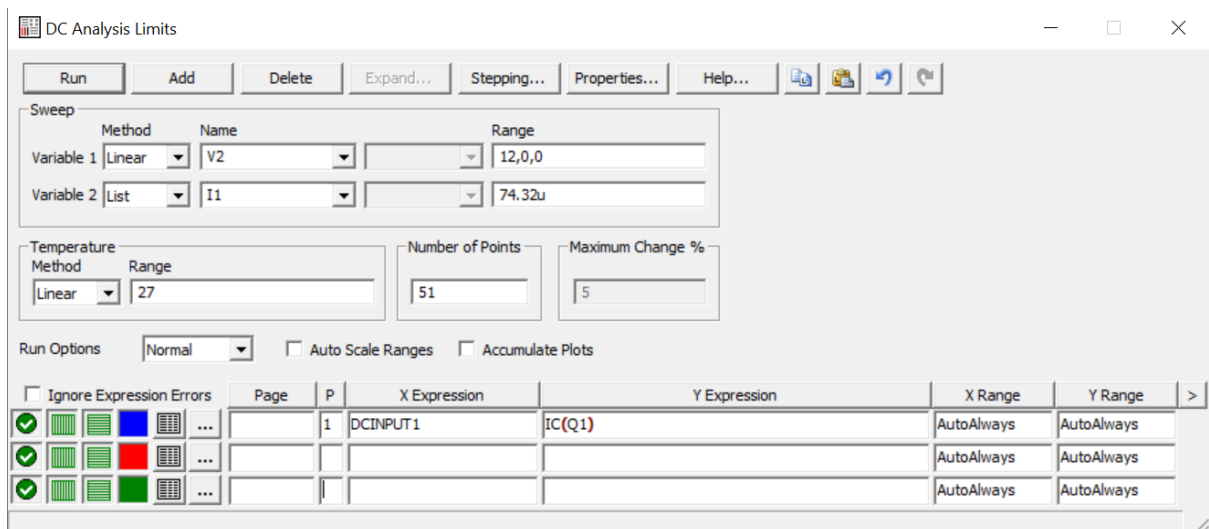
Ignore Expression Errors	Page	P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	DCINPUT1	IC(Q1)	10,0,2	0.16,-0.04,0.04
<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	DCINPUT1	225m/VC(Q1)	10,0,2	0.16,-0.04,0.04
<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	DCINPUT1	60m	10,0,2	0.16,-0.04,0.04



5. На выходной ВАХ построим нагрузочную прямую. Она проходит через точки $(0, E_k/R_k)$ и $(E_k, 0)$, где $E_k = 12 \text{ В}$, $R_k = 750 \text{ Ом}$ – так как мой вариант четный.



Прямая на графике:



Очевидно, что в середине нагрузочной прямой ток коллектора равен $E_k/2R_k$, а напряжение коллектора – $E_k/2$. То есть $I_k = 8 \cdot 10^{-3}$, $U_k = 6$

Построение на выходной ВАХ кривой предельно допустимой мощности. Максимальная мощность на коллекторе = 250мВт, максимальный ток – 100mA, данные взяты из справочника в интернете.

DC Analysis Limits

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

Sweep

Variable	Method	Name	Range
Variable 1	Auto	V2	10,0,10m
Variable 2	List	I1	25u,50u,100u

Temperature

Method: Linear Range: 27

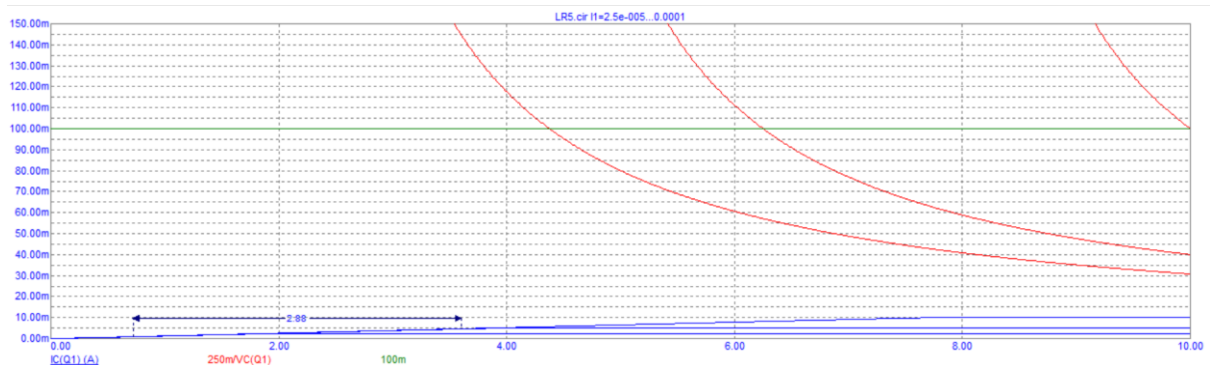
Number of Points: 510

Maximum Change %: 5

Run Options: Normal ☐ Auto Scale Ranges ☐ Accumulate Plots

☐ Ignore Expression Errors

	Page	P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
<input checked="" type="checkbox"/>		1	DCINPUT1	IC(Q1)	10,0,2	150m, 0, 5m
<input checked="" type="checkbox"/>		1	DCINPUT1	250m/VC(Q1)	10,0,2	150m, 0, 5m
<input checked="" type="checkbox"/>		1	DCINPUT1	100m	10,0,2	150m, 0, 5m



Входная характеристика: построение зависимости тока базы от напряжения база-эмиттер.

DC Analysis Limits

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

Sweep

Variable	Method	Name	Range
Variable 1	Linear	I1	500u, 1u, 10u
Variable 2	List	V2	0,5,10

Temperature

Method: Linear Range: 27

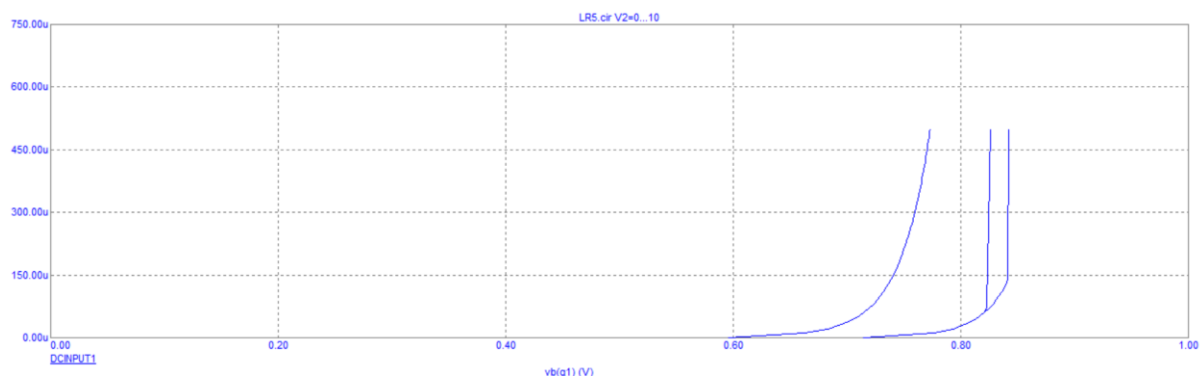
Number of Points: 510

Maximum Change %: 5

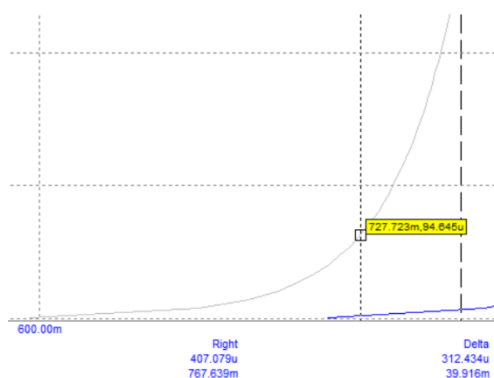
Run Options: Normal ☐ Auto Scale Ranges ☐ Accumulate Plots

☐ Ignore Expression Errors

	Page	P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
<input checked="" type="checkbox"/>		1	vb(q1)	DCINPUT1	1,0,1m	AutoAlways
<input checked="" type="checkbox"/>					1,0,1m	AutoAlways
<input checked="" type="checkbox"/>					1,0,1m	AutoAlways



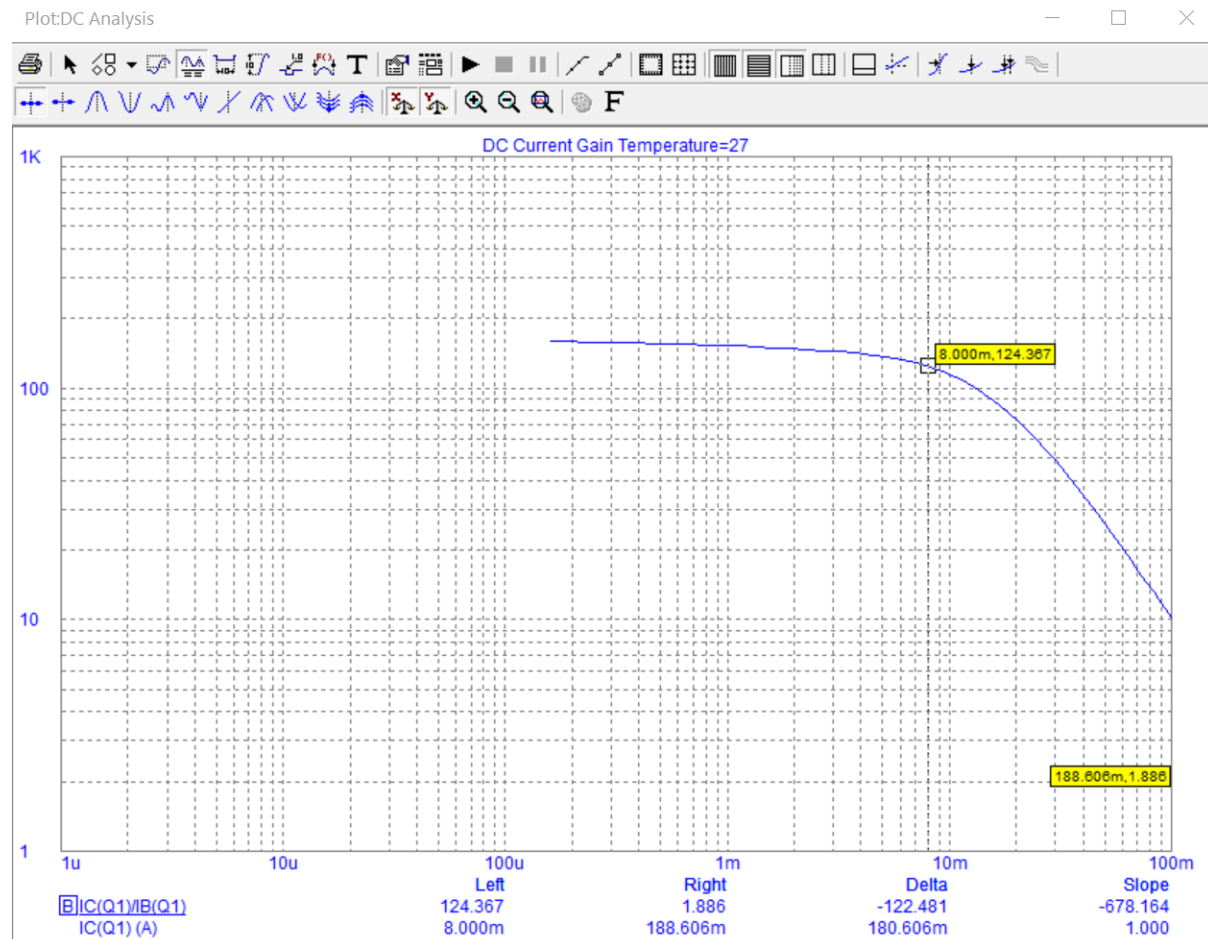
Для этого используем табличное значение коэффициента усиления транзистора $BF = 84.21$. Тогда по формуле $I_b = I_k / BF$ получаем искомую величину. $I_b = 8\text{mA} / 84.21 = 95\mu$.



По графику входной ВАХ определяем напряжение базы в рабочей точке. Оно составляет 0.728В.

Эксперимент 2

Рассчитаем схему транзисторного каскада с фиксированным током базы. Для этого нужно найти сопротивления на коллекторе и на базе. Мы знаем, что ток базы в β раз меньше тока коллектора. β найдем из графика зависимости коэффициентов усиления транзистора от тока коллектора (ток коллектора берем согласно выбранной рабочей точке – 8 мА).



Расчёт тока базы, и сопротивлений по формулам:

$$V_c := 12$$

$$I_{k_rt} := 8 \cdot 10^{-3}$$

$$U_{k_rt} := 6$$

$$B_plot := 124.367$$

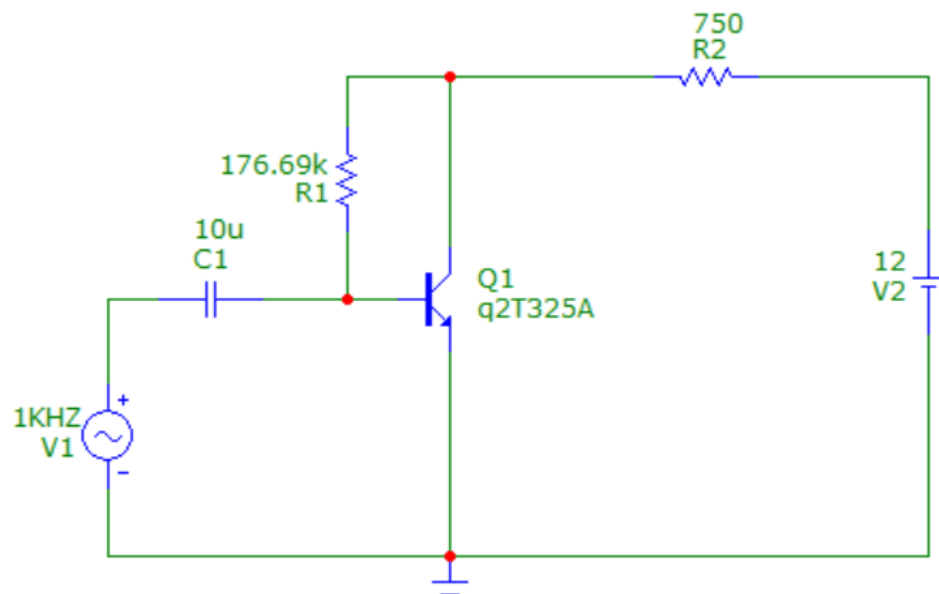
$$I_{b_rt} := \frac{I_{k_rt}}{B_plot} = 6.433 \times 10^{-5}$$

$$U_{b_rt} := 0.62$$

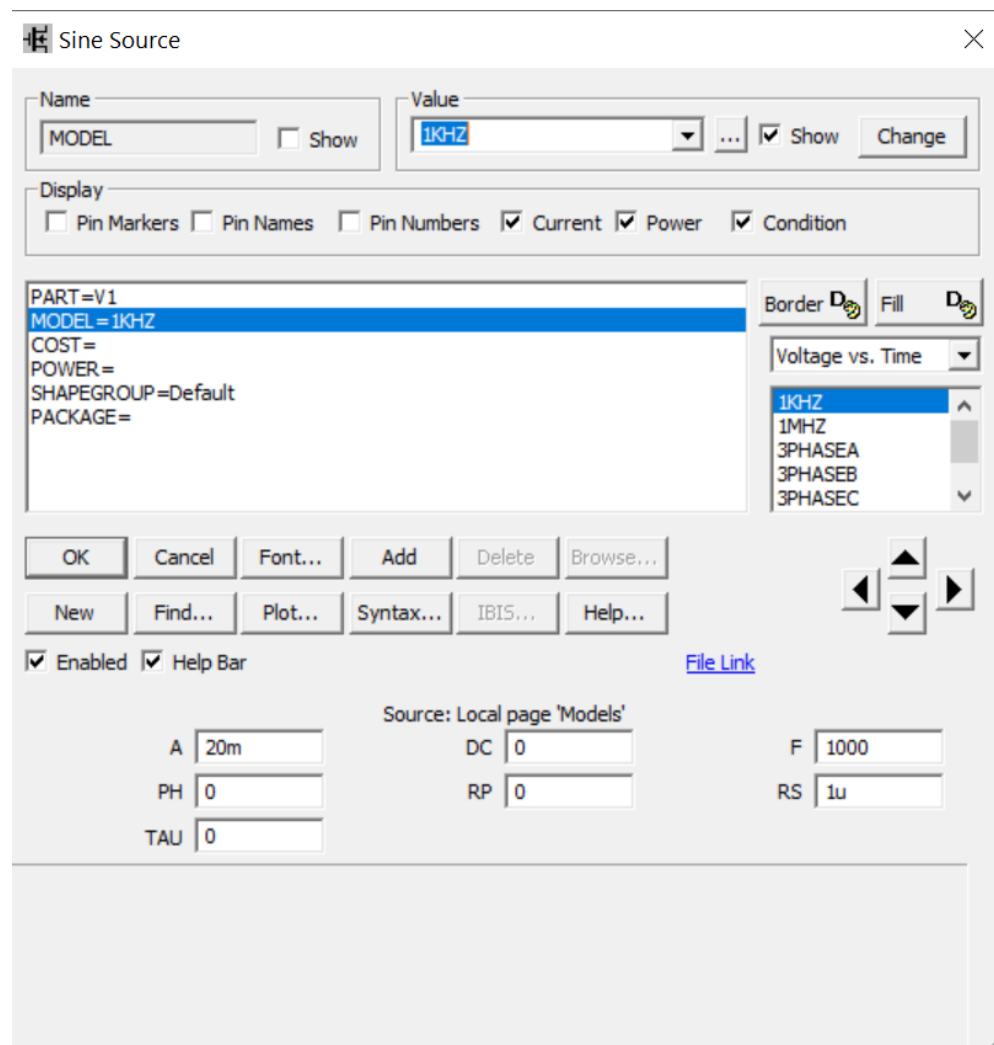
$$R1 := \frac{V_c - U_{b_rt}}{I_{b_rt}} = 1.769 \times 10^5$$

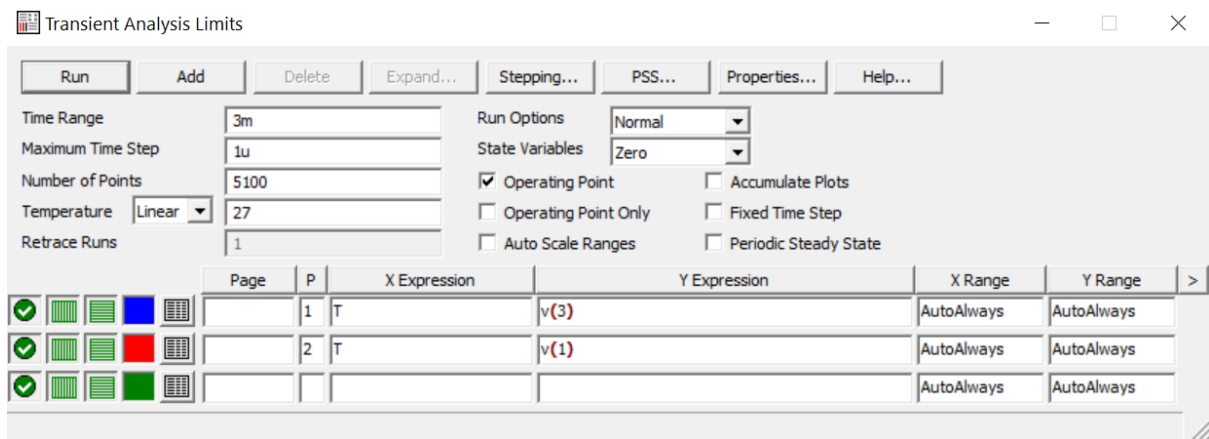
$$R2 := \frac{V_c - U_{k_rt}}{I_{k_rt}} = 750$$

Вставляем соответствующие сопротивления в цепь

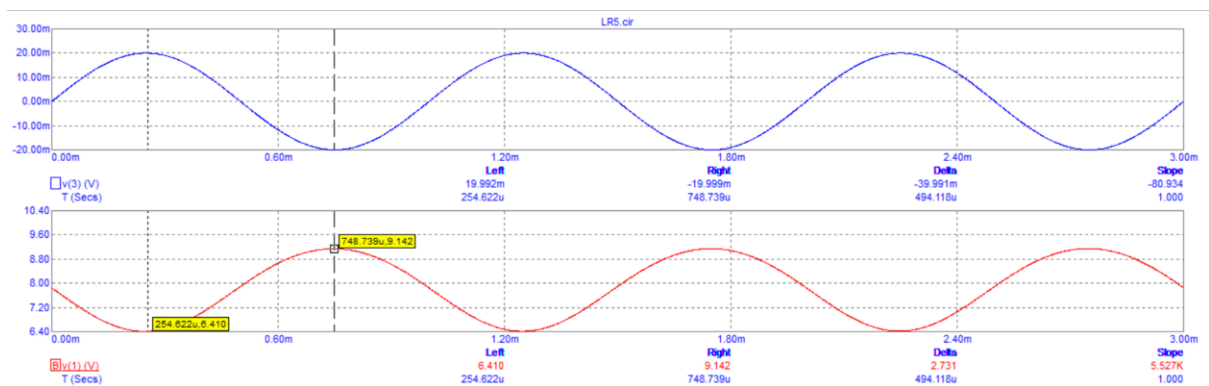


На входе стоит генератор гармонического напряжения, амплитуда = 20 мВ, частота = 1 кГц





Получаем две синусоиды – для напряжения базы (синяя) и напряжения на коллекторе (красная)



Рассчитываем коэффициент усиления транзистора по напряжению как отношение их размахов на коллекторе и на базе

$$(9.142 - 6.410) / 0.04 = 68$$

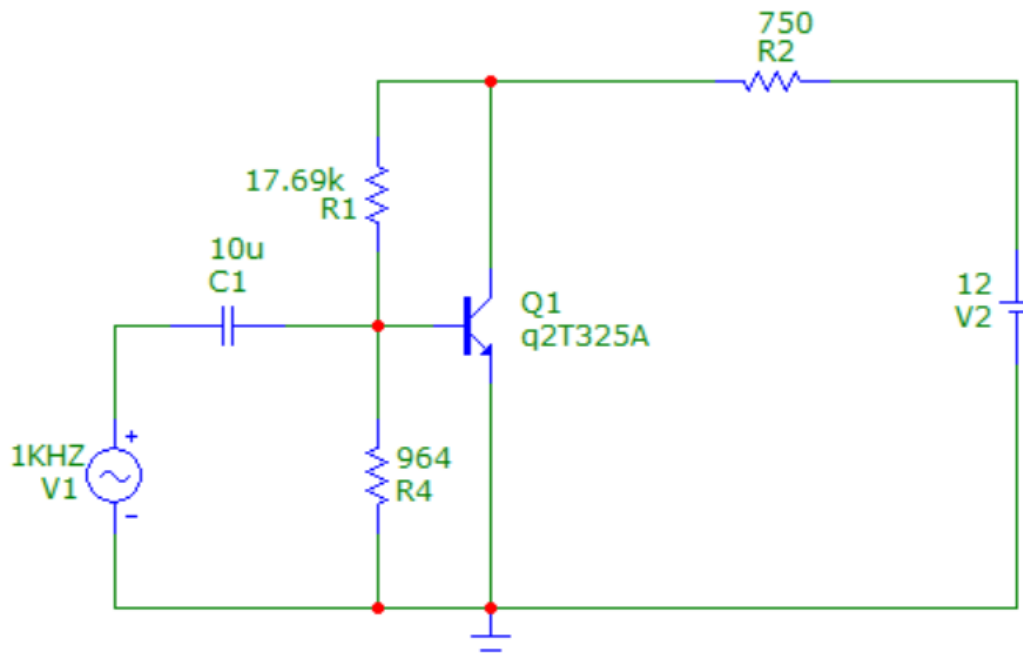
Теперь устанавливаем делитель напряжения. Поскольку в рабочей точке напряжение базы равно 0.62В, рассчитаю сопротивления делителя такие, чтобы поддерживалось это напряжение на базе. Принимаем ток делителя в 10 раз больше тока базы, учитываем, что сумма сопротивлений равна общему сопротивлению делителя (ЭДС/ток делителя), а также отношение сопротивлений определяется из отношения $R1/R3 = (E_k - U_b)/U_b$.

$$R1 + R3 = 12В / (10 * 64.33\mu A) = 18654 \text{ Ом}$$

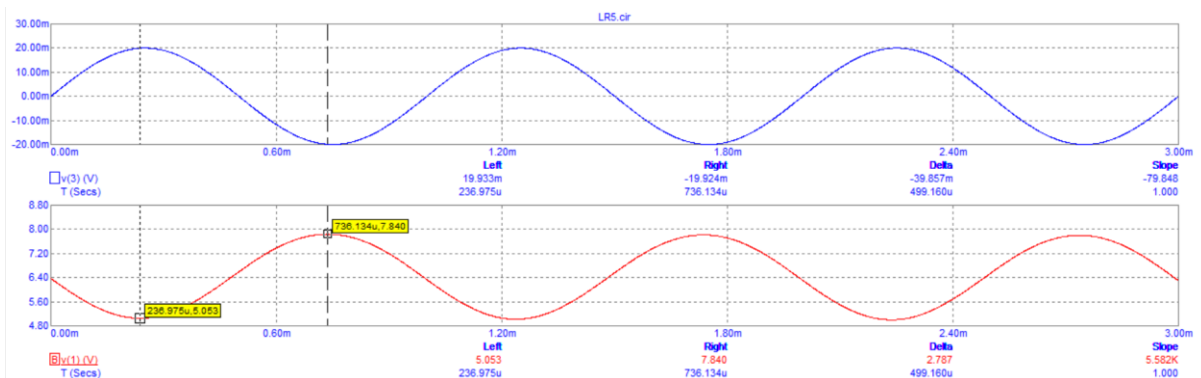
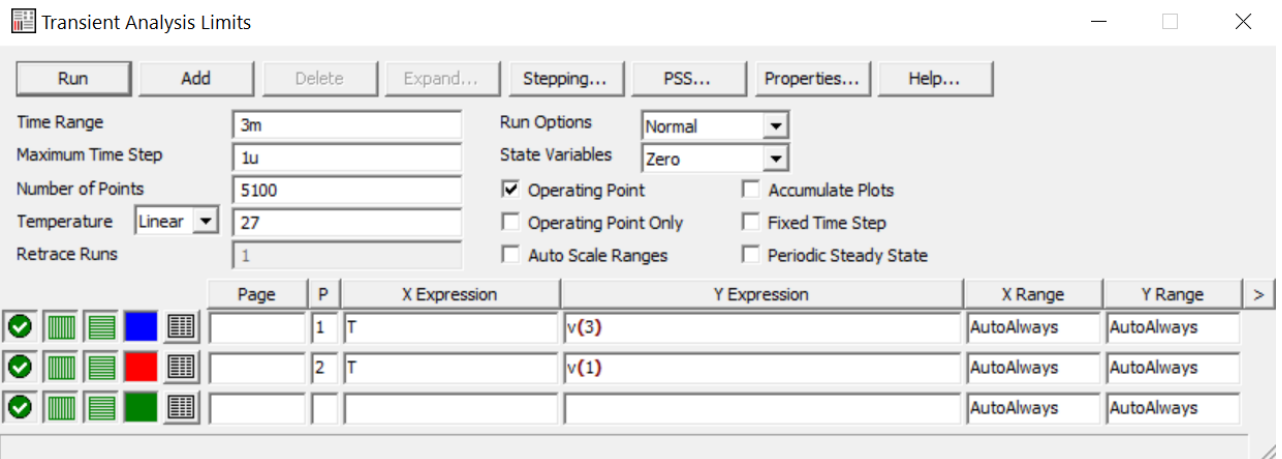
$$R1 / R3 = (12В - 0.62В) / 0.62В = 18.35$$

$$\text{Откуда } R3 = 964, R1 = 17690$$

Вставляем нужные сопротивления в схему:



При сопротивлении R3, равном расчетному, получалось слишком большое отклонение тока и напряжения на коллекторе от расчетных, поэтому его пришлось немного изменить. Запускаем временной анализ с теми же пределами. Вновь получаем синусоиды и рассчитываем коэффициент усиления каскада по напряжению.



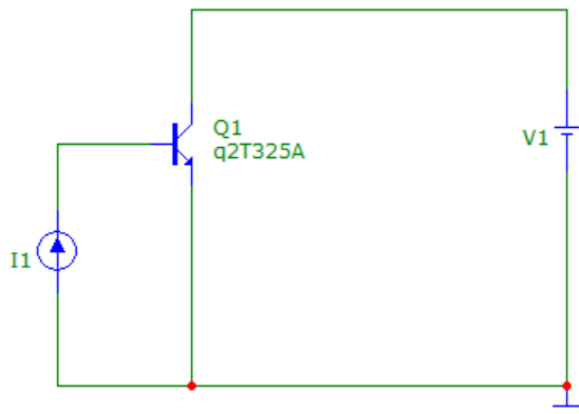
Расчет усиления:

$$(7.840 - 5.053) / 0.04 = 69$$

Полученные значения для усиления почти не отличаются, следовательно, цепи рассчитаны верно.

Эксперимент 3

Проведем исследование влияния температуры на входную и выходную ВАХ биполярного транзистора. Используем схему из эксперимента №1



Значение тока генератора выставляем по току базы в рабочей точке.

Current Source

Name

VALUE

☐ Show

Value

DC 64u AC 1 0 Pulse 0 5 100

...

☐ Show

Change

Display

☐ Pin Markers

☐ Pin Names

☐ Pin Numbers

☒ Current

☒ Power

☒ Condition

PART=I1
VALUE=DC 64u AC 1 0 Pulse 0 5 100n 10n 10n 400n 1u
COST=
POWER=
SHAPEGROUP=Default
PACKAGE=

Border D

Fill D

Current vs. Time

OK

Cancel

Font...

Add

Delete

Browse...

Default Settings

New

Find...

Plot...

Syntax...

IBIS...

Help...

Save Settings

☒ Enabled

☒ Help Bar

[File Link](#)

None

Pulse

Sin

Exp

PWL

SFFM

Noise

Gaussian

Define

DC

64u

AC magnitude

1

AC Phase

0

I1

0

I2

5

TD

100n

TR

10n

TF

10n

PW

400n

PER

1u

Default

Typical

Square

Triangle

Impulse

Sawtooth

Настраиваем пределы анализа для выходной ВАХ с изменением температуры:

DC Analysis Limits

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

Sweep

Variable	Method	Name	Range
Variable 1	Linear	V1	10,0,2
Variable 2	None	I1	

Temperature

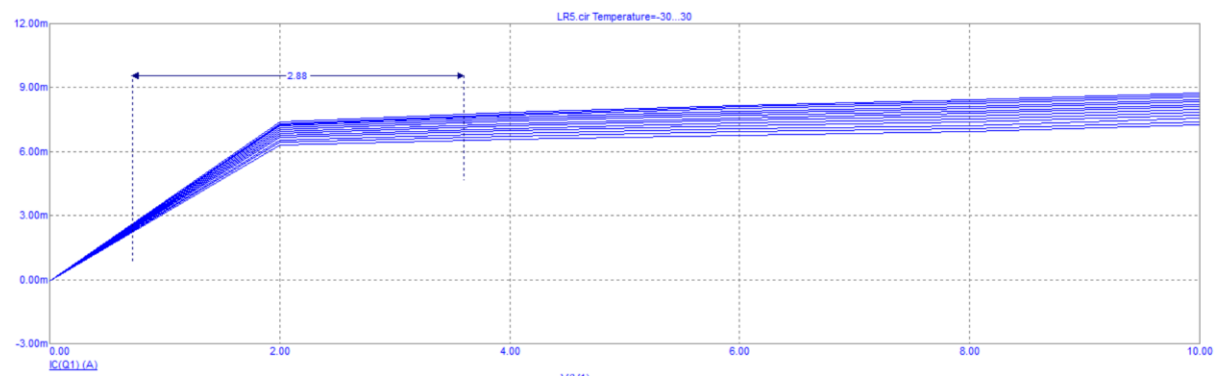
Method	Range
Linear	-30, 30, 5

Number of Points: 510

Maximum Change %: 5

Run Options: Normal ☐ Auto Scale Ranges ☐ Accumulate Plots

Page	P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
1	1	DCINPUT1	IC(Q1)	10,0,1m	AutoAlways
				10,0,1m	AutoAlways
				10,0,1m	AutoAlways



Как видно из графика, чем выше температура, тем больше по величине ток насыщения

Продельываем то же самое для входной ВАХ:

DC Analysis Limits

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

Sweep

Variable	Method	Name	Range
Variable 1	Linear	I1	500u, 1u, 10u
Variable 2	None	I1	

Temperature

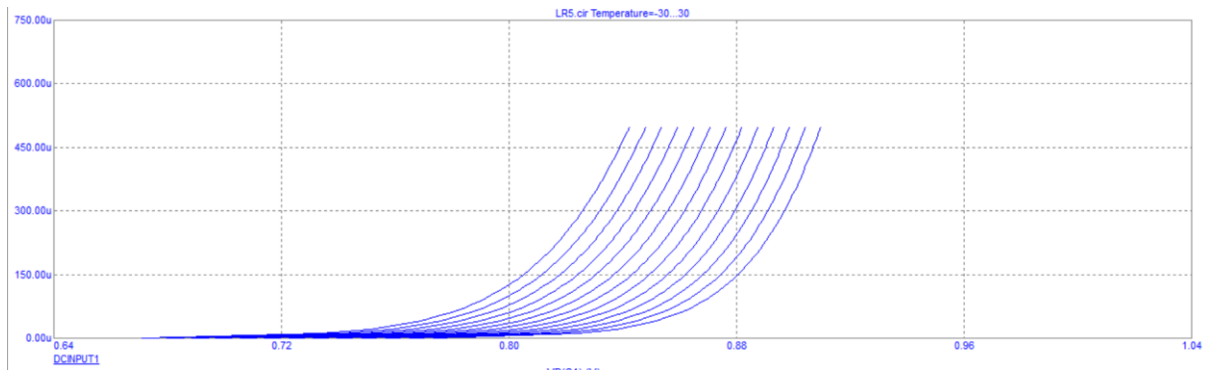
Method	Range
Linear	-30, 30, 5

Number of Points: 510

Maximum Change %: 5

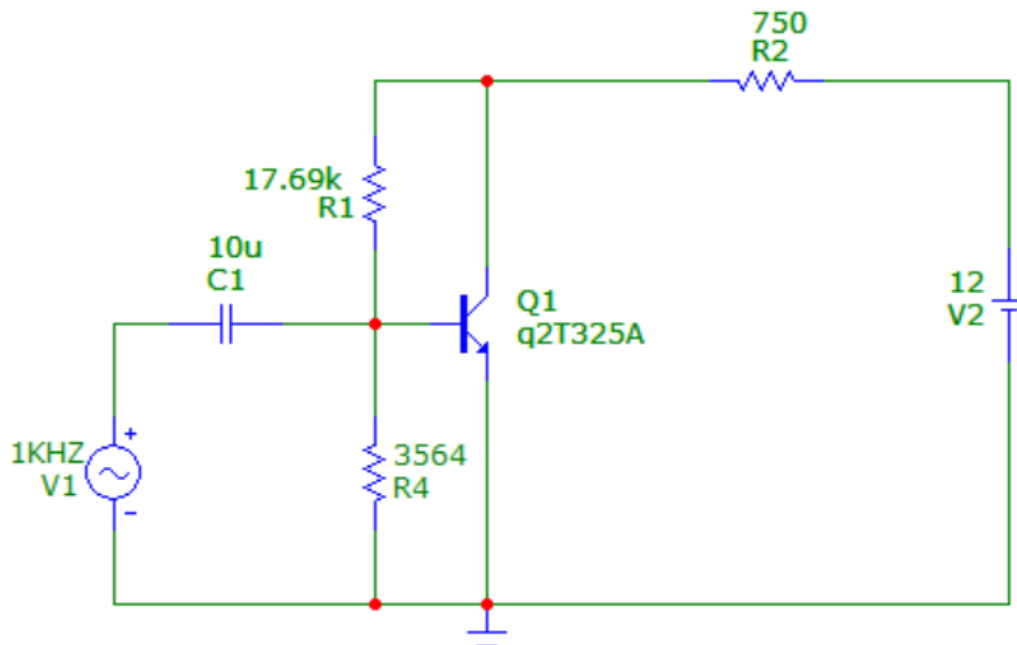
Run Options: Normal ☐ Auto Scale Ranges ☐ Accumulate Plots

Page	P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
1	1	VB(Q1)	DCINPUT1	AutoAlways	AutoAlways
				AutoAlways	AutoAlways
				AutoAlways	AutoAlways



Из графика делаем вывод, что транзистор открывается при тем большем напряжении, чем ниже температура.

Теперь используем схемы из эксперимента №2, чтобы исследовать влияние температуры на выходной сигнал усилителя. Схема со стабилизацией напряжения базы:



Выставляем пределы временного анализа, изменяя температуру от -30 до 30 градусов Цельсия с шагом 5 градусов.

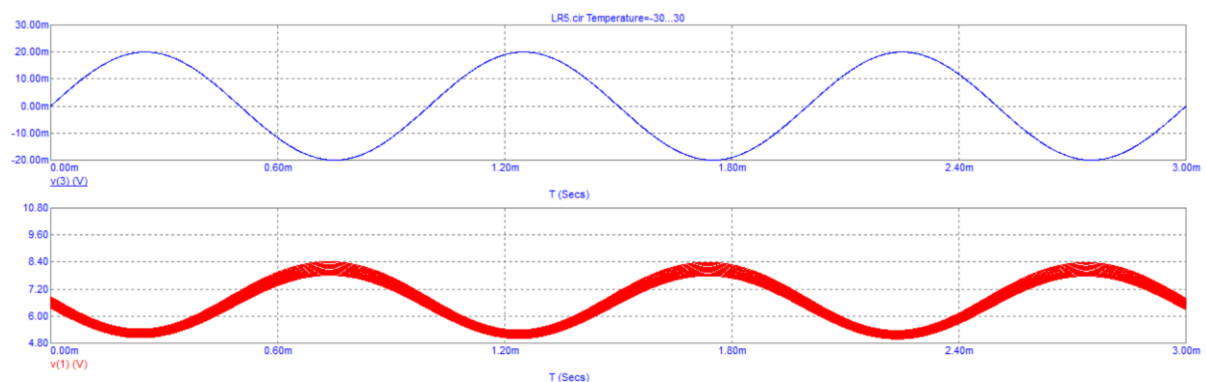
Transient Analysis Limits

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

Time Range: 3m
Maximum Time Step: 1u
Number of Points: 5100
Temperature: Linear -30, 30, 5
Retrace Runs: 1

Run Options: Normal
State Variables: Zero
☒ Operating Point
☐ Accumulate Plots
☐ Operating Point Only
☐ Fixed Time Step
☐ Auto Scale Ranges
☐ Periodic Steady State

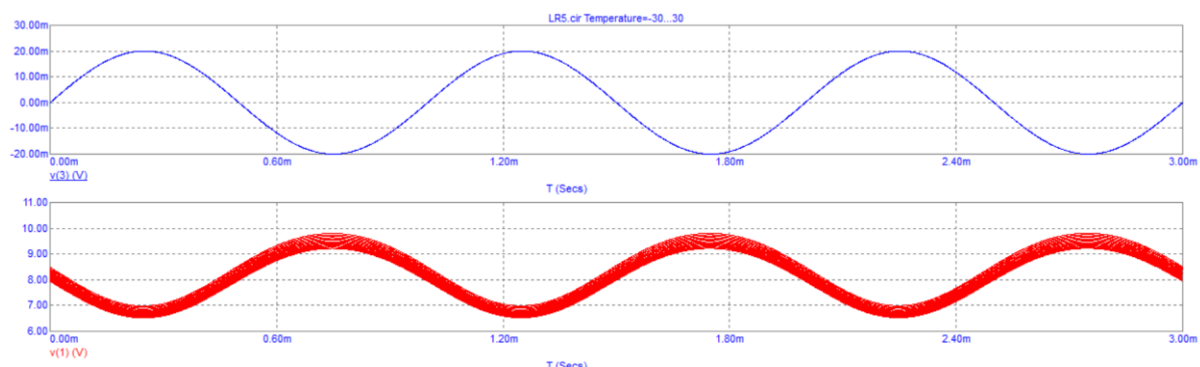
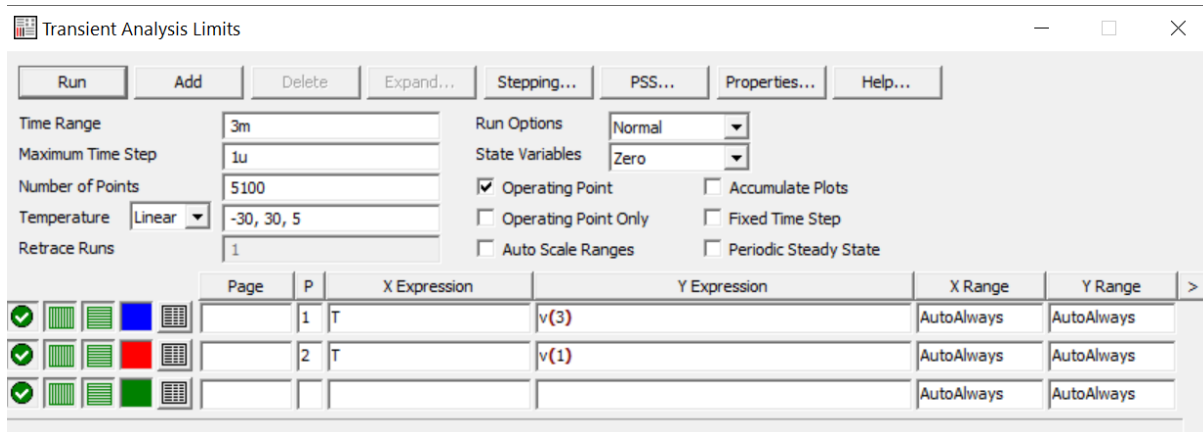
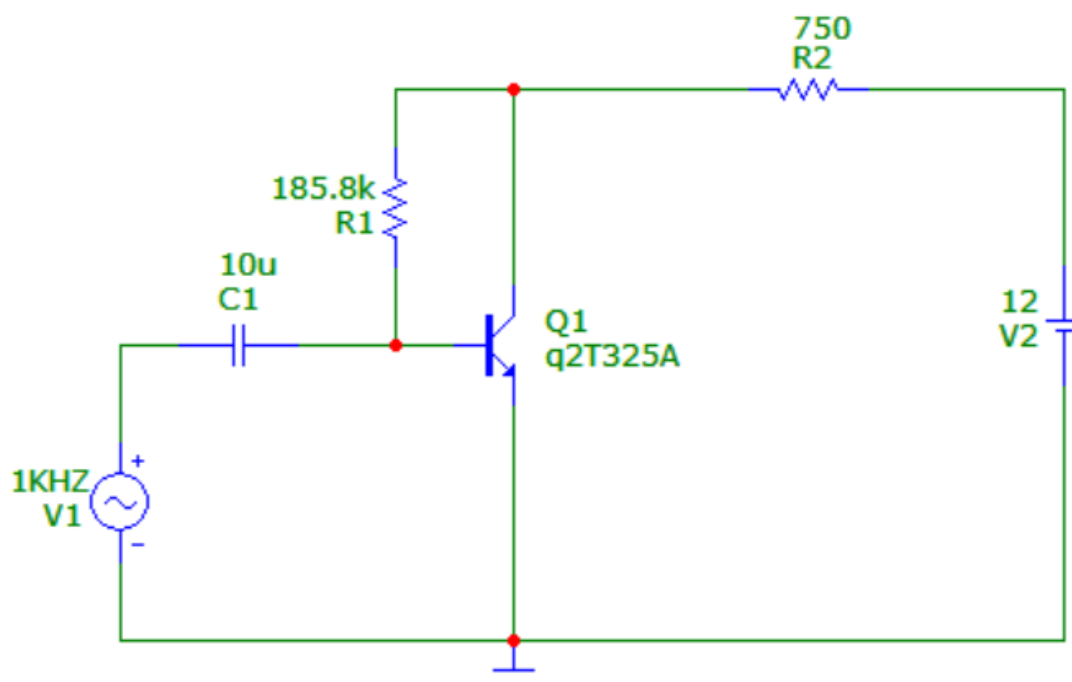
Page	P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
1	1	T	v(3)	AutoAlways	AutoAlways
2	2	T	v(1)	AutoAlways	AutoAlways
				AutoAlways	AutoAlways



Вывод: на коллекторе размах синусоиды уменьшается с уменьшением температуры, т.е. она становится более сплюснутой. При этом само напряжение на коллекторе увеличивается с уменьшением температуры.

Теперь проделываем то же самое для схемы со стабилизацией напряжения базы.

Теперь проделываем то же самое для схемы со стабилизацией тока базы.



В данном случае при изменении температуры синусоида лишь смещается по графику
немного выше при уменьшении температуры

Анализ работы каскада при изменении амплитуды входного сигнала:

Slider



Parameter: V1

A

Min: 10m

Max: 200m

Step Size: 10m

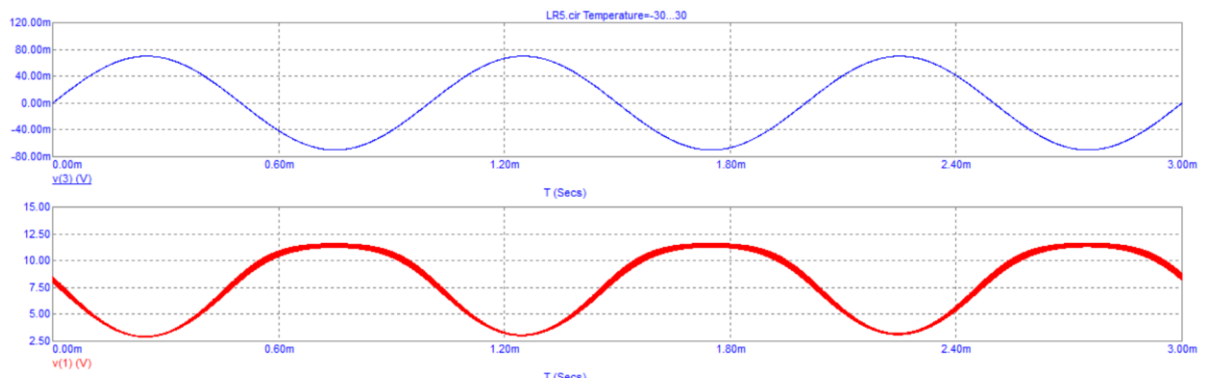
Method: ☒ Linear ☐ Log ☐ List

Parameter Type: ☒ Component ☐ Model ☐ Symbolic

Font... Format... Default

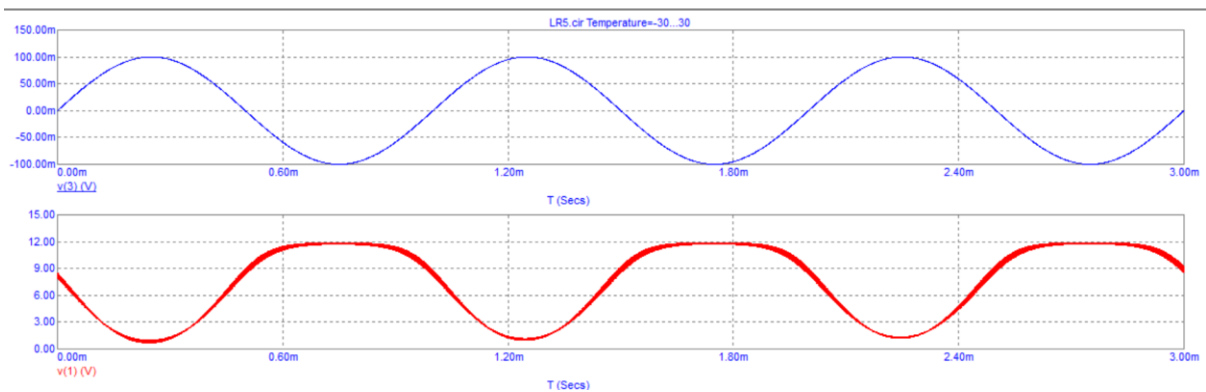
OK Cancel Help...

При увеличении амплитуды в 7 раз синусоида становится более угловатой:

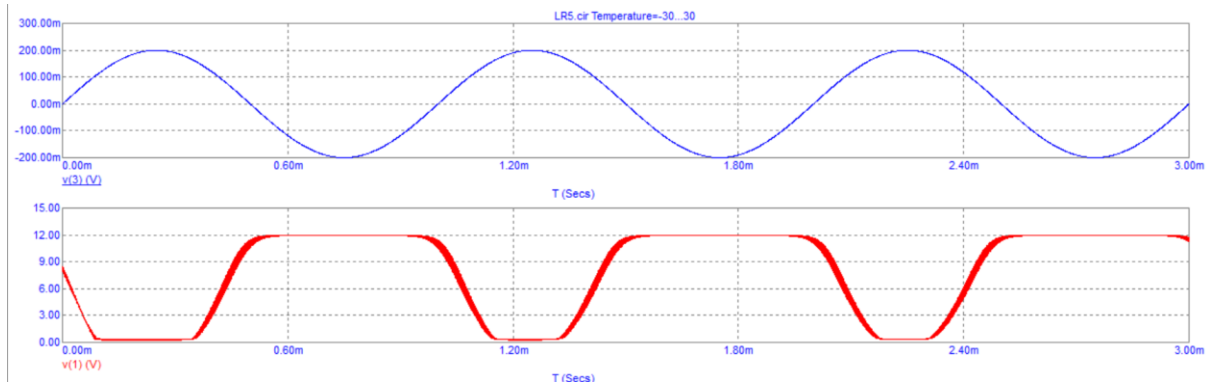


При увеличении в 10 и 20 раз синусоида не похожа на синусоиду, а выходной сигнал становится все более похожим на прямоугольный.

В 10 раз:



В 20 раз:



Амплитуда на коллекторе должна увеличиваться пропорционально амплитуде на базе превосходить ее в β раз. Однако напряжение на коллекторе, с одной стороны, не может поменять знак, а с другой стороны - оно не может быть больше ЭДС источника напряжения, равного 12 В. Таким образом, синусоида ограничивается в значениях 0..12 В, поэтому сигнал искажается.

Вывод: получены навыки работы с транзисторами в среде Microcap, получения входных и выходных ВАХ, построения нагрузочной прямой, расчета рабочей точки, коэффициента усиления и тока базы по известному току коллектора и наоборот, расчета каскадов со стабилизацией тока и напряжения, исследованы зависимости характеристик транзистора при изменении температуры.