



«Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
КАФЕДРА КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

О Т Ч Е Т

по домашней работе № 2

Дисциплина: Электроника

Название: Моделирование работы усилительного каскада на биполярном транзисторе по схеме с общим эмиттером (Вариант №19)

Студент ИУ6-42Б 12.04.24 А. П. Плюitto
(Группа) (Подпись, дата) (И. О. Фамилия)

Преподаватель 12.04.24 В.А. Карпухин
(Подпись, дата) (И. О. Фамилия)

Москва 2024 г.

Содержание

1. Цель и задание	3
1.1. Цель работы	3
1.2. Задание	3
1.3. Задание по варианту	3
2. Выполнение работы	4
2.1. Задание 1	4
2.2. Задание 2	8
2.3. Вывод	12

1. Цель и задание

1.1. Цель работы

Исследование вольт-амперных характеристик модели биполярного транзистора в программе аналогового и цифрового моделирования электрических и электронных цепей Micro-Cap 12 и расчет номиналов элементов усилительного каскада, работающего в соответствии с заданными техническими условиями.

1.2. Задание

1) Построить семейство входных и выходных вольт-амперных характеристик биполярного транзистора (модель выбирается согласно варианту, см. приложенный к заданию файл). На полученных характеристиках отметить запрещенные режимы работы.

2) Рассчитать номиналы элементов усилительного каскада на биполярном транзисторе с общим эмиттером, при которых работа усилительного каскада удовлетворяет условиям:

- амплитуда напряжения выходного сигнала – не менее 15 % от напряжения питания;
- коэффициент усиления усилительного каскада по мощности – не менее 20 дБ;
- коэффициент нелинейных искажений выходного сигнала – не более 15 %;
- (напряжение питания усилительного каскада задано вариантом, в качестве входного сигнала используется гармоническое (однотональное) колебание с частотой, заданной вариантом).

1.3. Задание по варианту

Модель транзистора	Напряжение питания, В	Частота сигнала, кГц
КТ3102Е	8,2	1800

2. Выполнение работы

2.1. Задание 1

Соберем схему для исследования входных и выходных ВАХ транзистора в схеме с общим эмиттером. Добавим на схему биполярный транзистор KT310E.

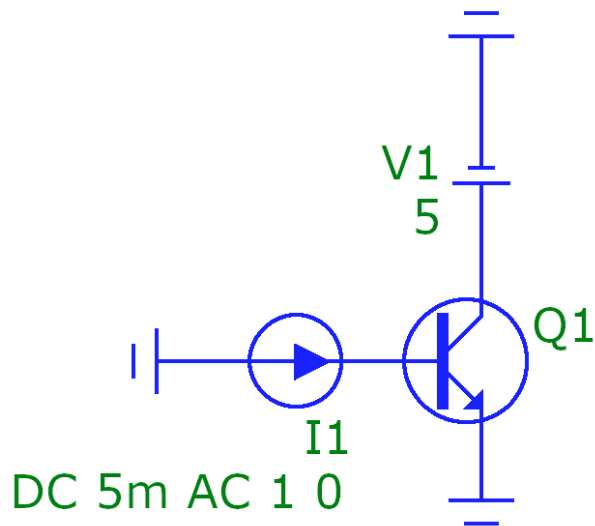


Рисунок 1 — Схема с общим эмиттером

Проведем анализ Dynamic DC.

Dynamic DC
Temperature: 25
Displaying DC Voltages
PGT = Total power generated = 4.235
PDT = Total power dissipated = 4.235

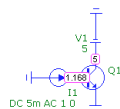
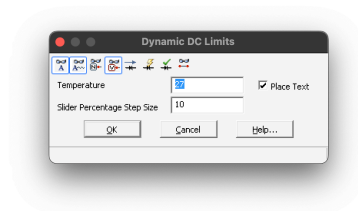


Рисунок 2 — Dynamic DC

Запустим анализ DC. На рисунке показано окно Limits.

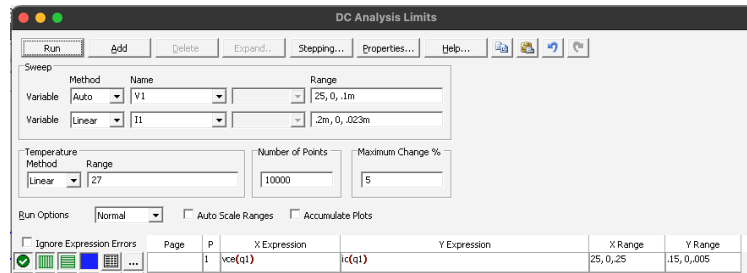


Рисунок 3 — *DC Limits*

Получили 11 графиков – выходных ВАХ при разных входных значениях.

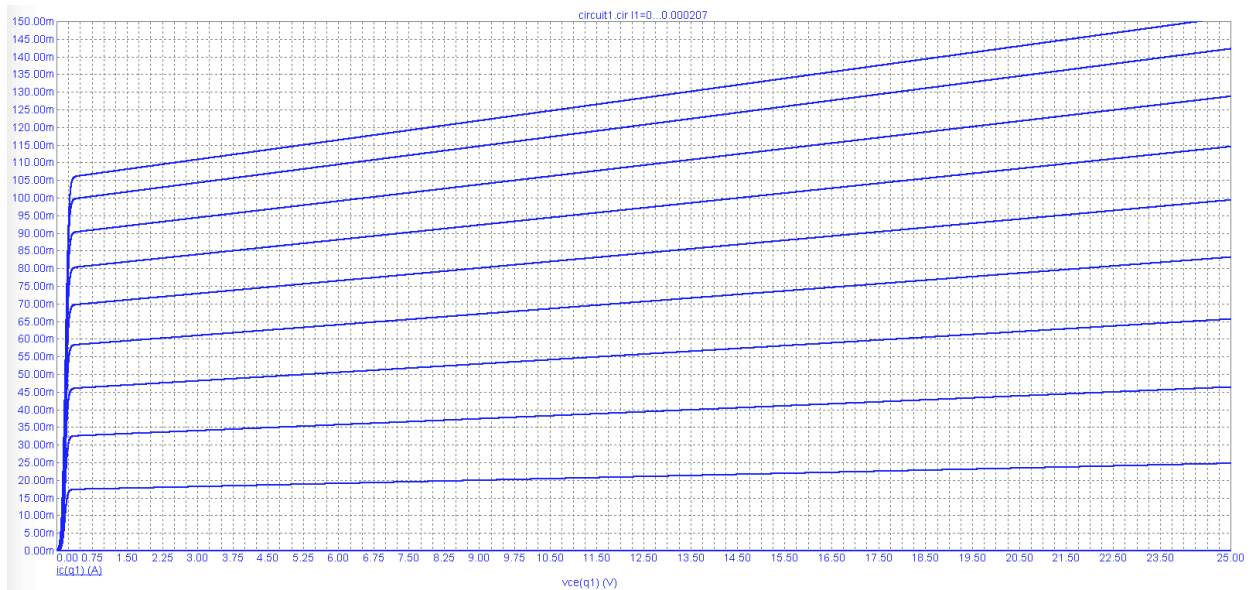


Рисунок 4 — *Графики ВАХ*

Не все значения на графиках являются допустимыми для этой модели транзистора. Для того чтобы получить максимально допустимые значения обратимся к документации транзистора.

Предельные эксплуатационные данные

Постоянное напряжение коллектор—база:	
КТ3102Ж, КТ3102И, КТ3102ЖМ,	
КТ3102ИМ	50 В
КТ3102К, КТ3102КМ	30 В
КТ3102Г, КТ3102Е, КТ3102ГМ, КТ3102ЕМ..	20 В
Постоянное напряжение коллектор—эмиттер:	
КТ3102Ж, КТ3102И, КТ3102ЖМ,	
КТ3102ИМ	50 В
КТ3102К, КТ3102КМ	30 В
КТ3102Г, КТ3102Е, КТ3102ГМ, КТ3102ЕМ..	20 В
Постоянное напряжение эмиттер—база	5 В
Постоянный ток коллектора	100 мА
Импульсный ток коллектора при $t_H = 40$ мкс,	
$Q = 500$	200 мА
Постоянная рассеиваемая мощность коллек-	
тора ¹ при $T = -40...+25$ °С	250 мВт
Тепловое сопротивление переход—среда	0,4 °С/мВт
Температура р-п перехода	+125 °С
Температура окружающей среды	-40...+85 °С

Рисунок 5 — Документация транзистора

Из этих значений возьмем 3: максимальный ток коллектора ($I_{K\max}$), максимальное напряжение коллектор — эмиттер ($U_{KЭ\max}$) и максимальная мощность, рассеиваемая на коллекторе ($P_{K\max}$)

$I_{K\max}$, мА	$U_{KЭ\max}$, В	$P_{K\max}$, мВт
100	20	250

Построим ограничивающие кривые, чтобы определить допустимый диапазон токов и напряжений для работы транзистора. Заштрихуем запрещенный режим работы.

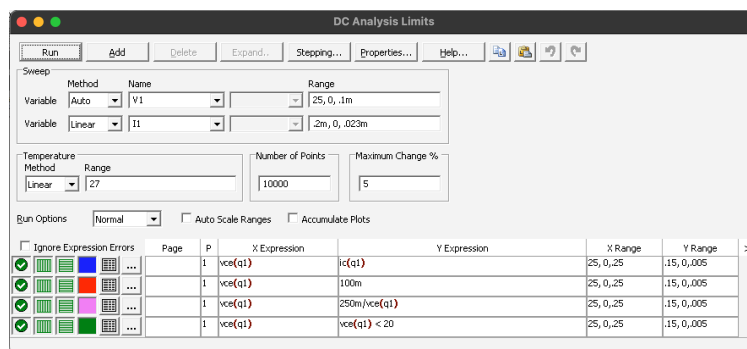


Рисунок 6 — DC Limits с ограничивающими кривыми

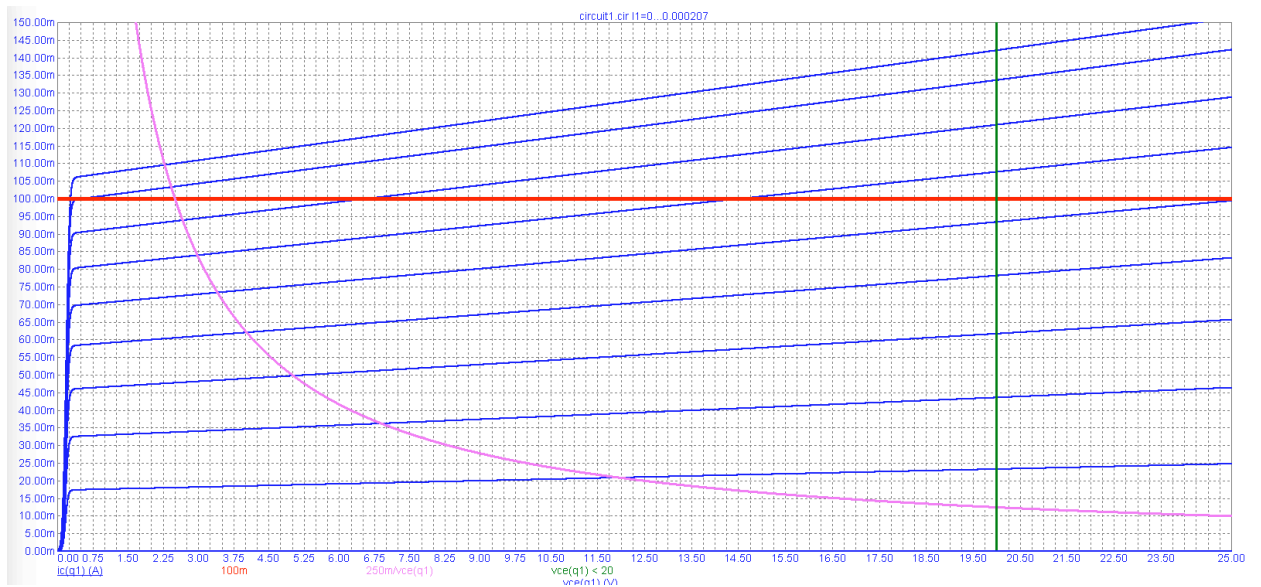


Рисунок 7 — Графики ВАХ с ограничивающими кривыми

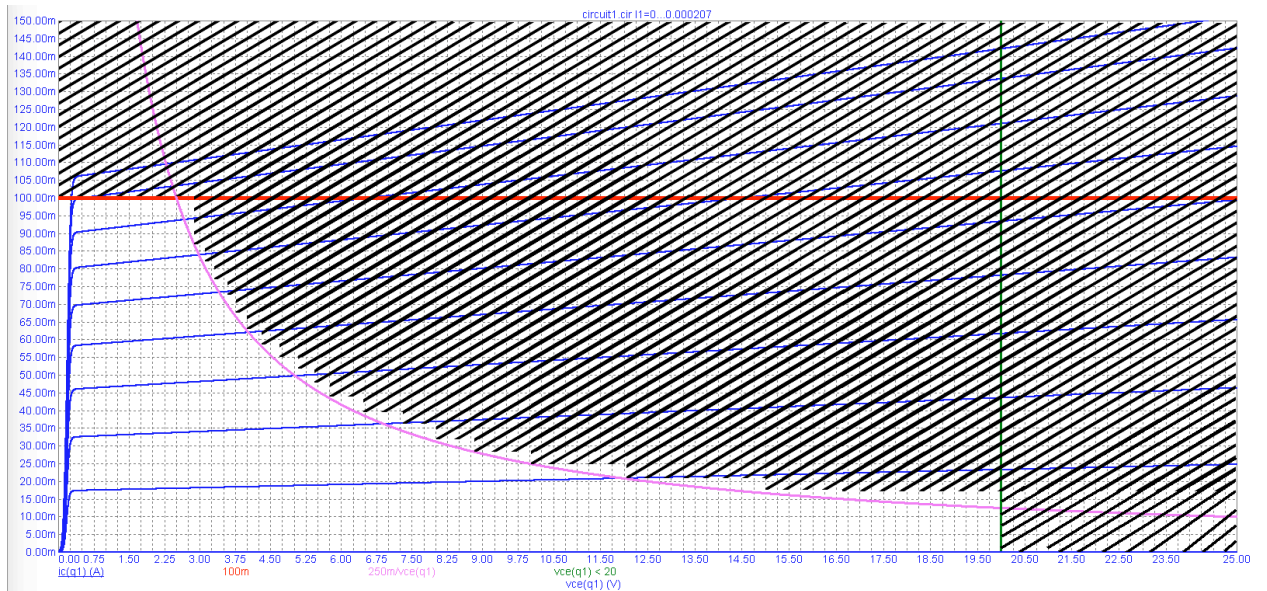


Рисунок 8 — Графики ВАХ с заштрихованной запрещенной зоной

Построим входные ВАХ – зависимость тока базы от напряжения коллектор-эмиттер.

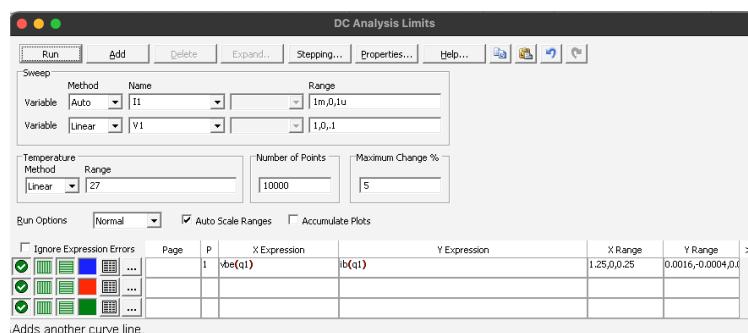


Рисунок 9 — DC Limits для входных ВАХ

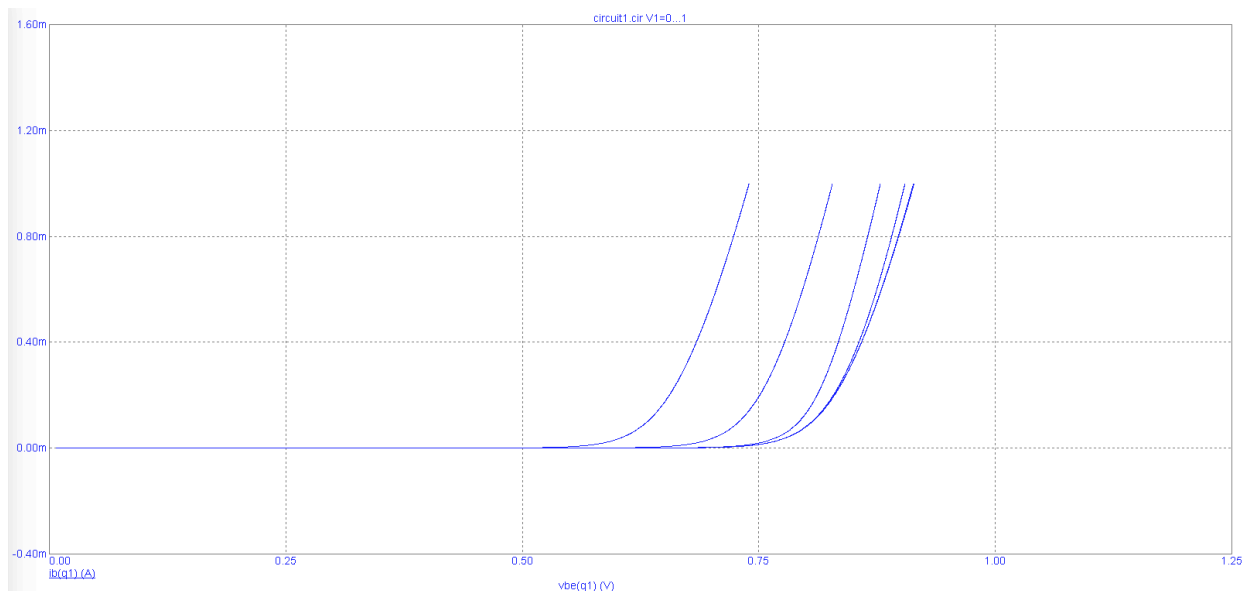


Рисунок 10 — Графики входных ВАХ

2.2. Задание 2

Построим усилительный каскад с общим эмиттером и рассчитаем номиналы его элементов: R_1 , R_2 , R_K . А так же рассчитаем амплитуду входного сигнала.

Для этого вернемся к семейству выходных ВАХ и найдем входную силу тока I_B для самой верхней ветви, начало линейного участка которой не лежит в запрещенной области.

$$I_B = I_{B_{\max}} = 0.023 \text{ мА} * 7 = 161 \text{ мкА}$$

Далее, по входной ВАХ определим $U_{BE_{\min}}$ и $U_{BE_{\max}}$. Для этого выделим на ней линейный участок, то что будет его началом и концом и будет $U_{BE_{\min}}$ и $U_{BE_{\max}}$ соответственно.

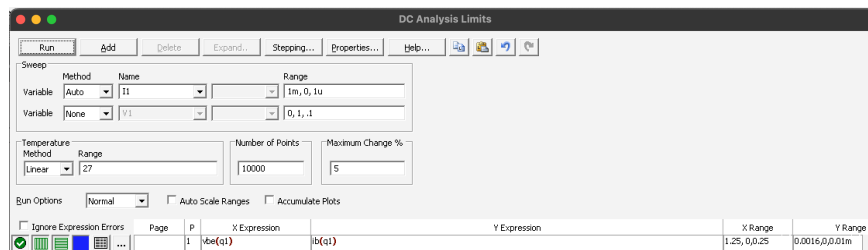


Рисунок 11 — DC Limits для входной ВАХ

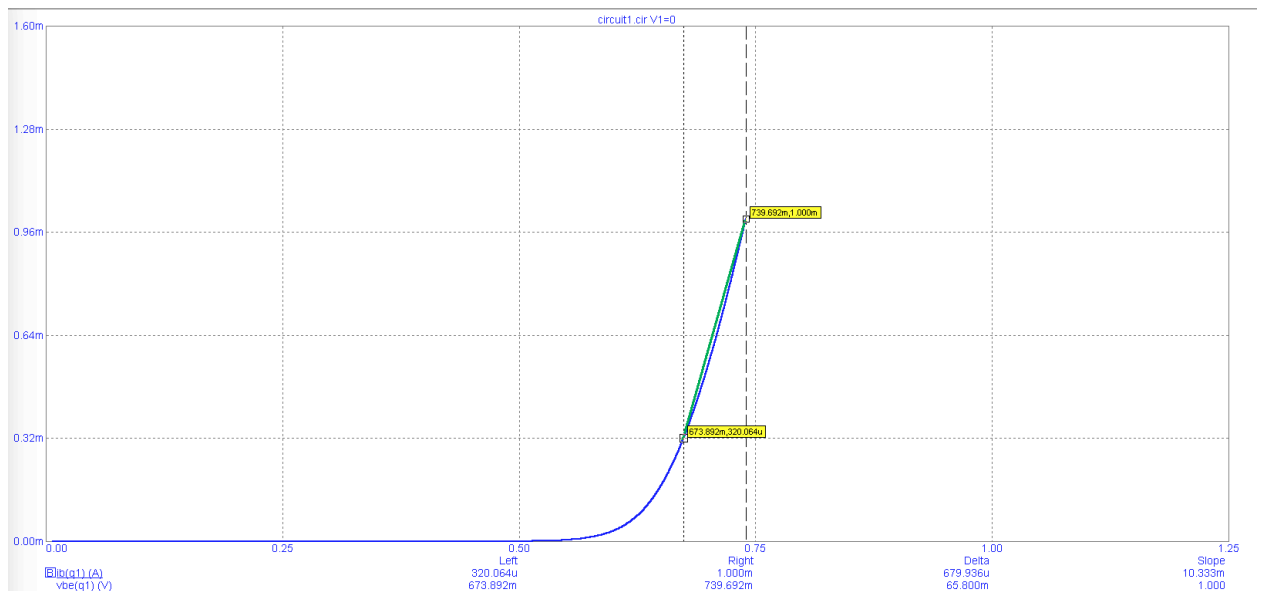


Рисунок 12 — График входной ВАХ

$$U_{\text{БЭ min}} = 673.892\text{мВ}; U_{\text{БЭ max}} = 739.692\text{мВ}$$

Определим среднее из этих двух значений:

$$U_{\text{БЭ0}} = \frac{U_{\text{БЭ min}} + U_{\text{БЭ max}}}{2} = 706.792\text{мВ}$$

Из полученных значений определим амплитуду входного сигнала:

$$U_{\text{Ампл}} = U_{\text{БЭ0}} - U_{\text{БЭ min}} = 32.9\text{мВ}$$

Далее определим сопротивление R_k для этого проведем на графиках выходных вах нагрузочную характеристику через точки $U = E_{\text{п}}; I = 0$ и точку начала линейного участка наибольшей допустимой ВАХ.

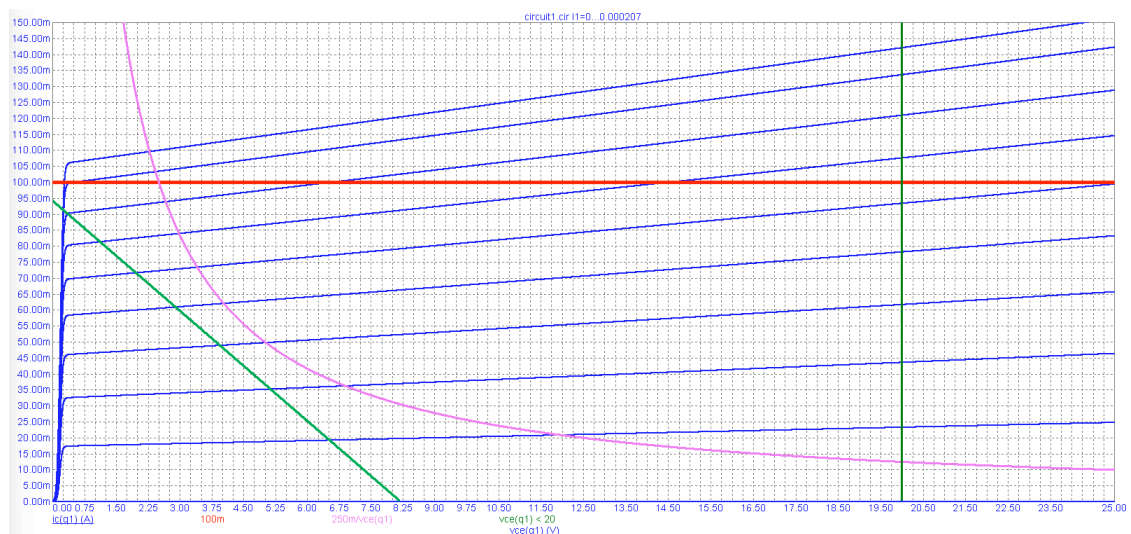


Рисунок 13 — Нагрузочная характеристика

При $U = 0$ получаем, что $I_k = 94\text{мА}$. Тогда по закону Ома получаем:

$$R_k = \frac{E_{\pi}}{I_k} = \frac{8.2}{94 * 10^{-3}} = 87.23 \text{ Ом}$$

Теперь определим номиналы R_1 и R_2 . Возьмем, что силы тока на этих резисторах совпадают и равны I_D ($I_{B0} \ll I_D$). По закону Ома: $E_{\pi} = I_D(R_1 + R_2)$; $U_{БЭ0} = I_D R_2$. Тогда получаем

$$\frac{E_{\pi}}{U_{БЭ0}} = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

Возьмем, что $R_2 = 100 \text{ Ом}$ и вычислим R_1 :

$$\frac{8.2}{706.792 * 10^{-3}} = \frac{R_1 + 100}{100} \rightarrow R_1 = 1060.17 \text{ Ом}$$

Вот такая схема вышла в итоге:

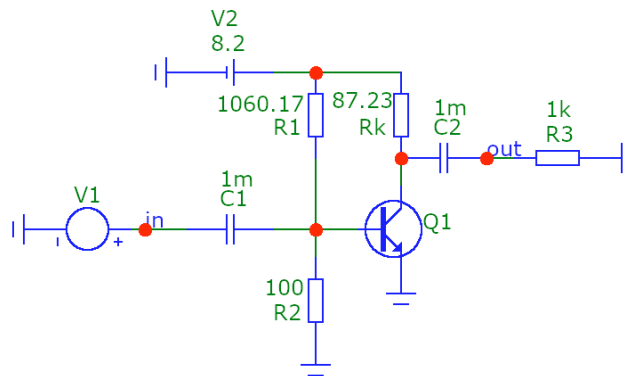


Рисунок 14 — Усилительный каскад с общим эмиттером

Проведем анализ переходных процессов. Для начала рассмотрим входное и выходное напряжение в зависимости от времени.

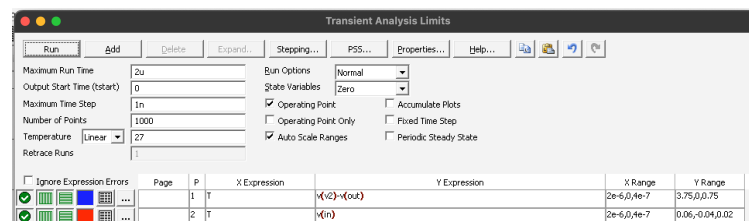


Рисунок 15 — Transient Limits

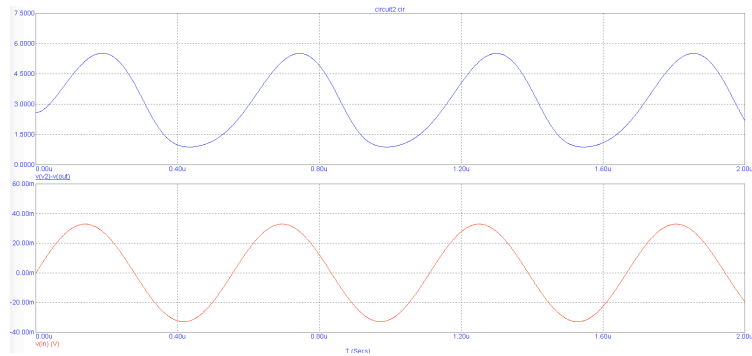


Рисунок 16 — *Анализ Transient*

Рассмотрим входную амплитуду: по заданию она должна быть больше, чем $\frac{E_{\Pi}}{100} * 15 = 0.082 * 115 = 1.23$.

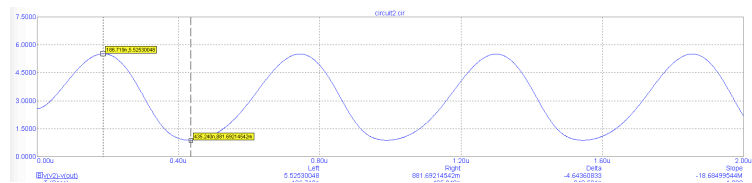


Рисунок 17 — *Анализ Transient*

По графику определим максимум и минимум синусоиды и получим:

$$U_{\text{АМПЛ Вых}} = \frac{5.525 - 0.881}{2} = 2.322 > 1.23$$

Построим график нелинейных искажения выходного сигнала.

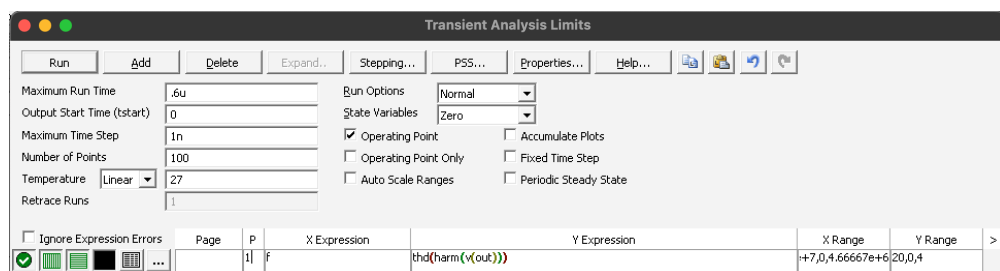


Рисунок 18 — *Transient Limits*

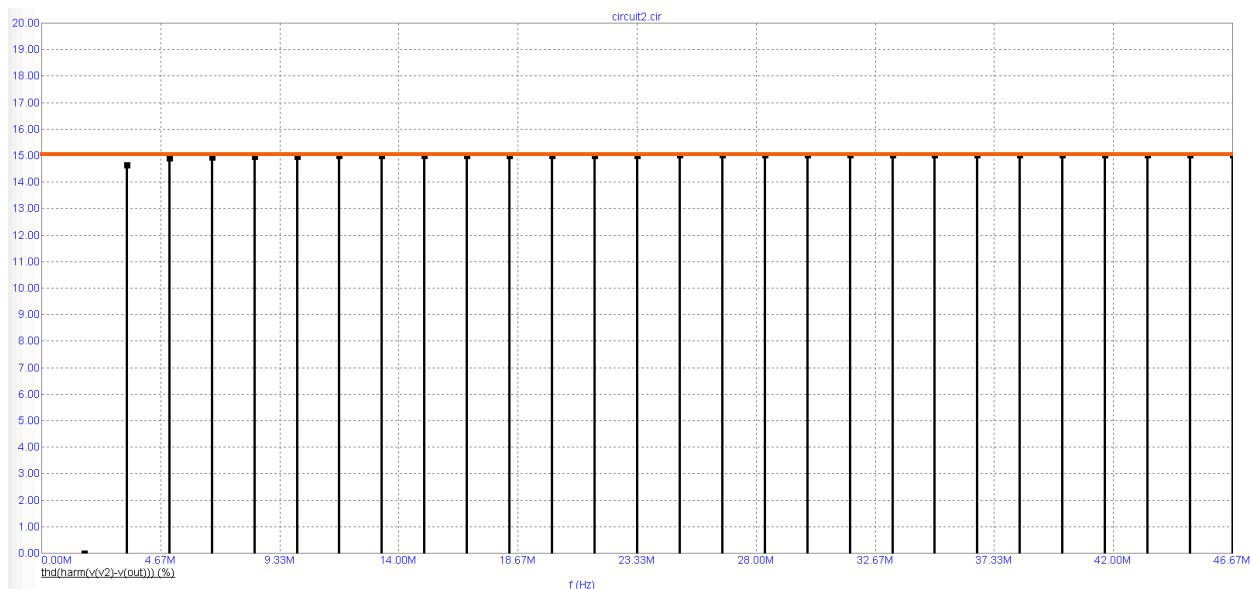


Рисунок 19 — График нелинейных искажений

Искажения находятся в пределах красной линии – условие менее 15% искажений выполняется.

Вычислим коэффициент усиления усилительного каскада по мощности.

$$K_p = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} = \frac{I_{k0} * U_{k0}}{I_{БЭ0} * U_{БЭ0}} = \frac{0.047 * 4.1}{0.00066 * 0.706792} = 415$$

$$K_{p\text{ д}} = 10 * \log_{10}(k_p) = 10 * \log_{10}(415) = 26.1 \text{ Дб} > 20 \text{ Дб}$$

Все условия выполнены.

2.3. Вывод

При выполнении домашнего задания были применены знания о расчете номиналов элементов усилительного каскада класса «А». Были изучены устройство и работа транзистора, входные и выходные ВАХ транзистора и анализ выходных графиков на запрещенные зоны. Результаты соответствуют условию домашнего задания, следовательно, схема усилительного каскада собрана верно.