



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» (ИУ)

КАФЕДРА «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии» (ИУ7)

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №5

«УСИЛИТЕЛИ»

по курсу:

«ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ»

Вариант: 51

Студент:

Авдейкина Валерия Павловна, группа ИУ7-33Б

(подпись, дата)

Руководитель:

Преподаватель РК6

Оглоблин Дмитрий Игоревич

(подпись, дата)

(подпись, дата)

Оценка: _____

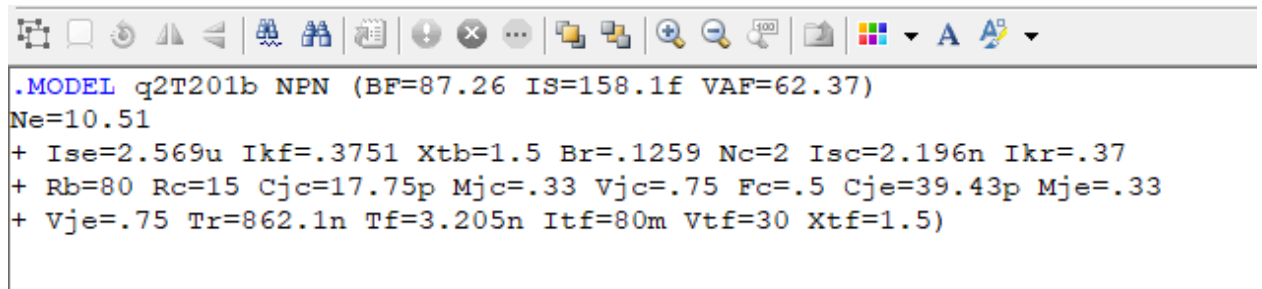
2022 г.

Цель и задачи работы

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.

Характеристики транзистора

В ходе работы будет исследоваться транзистор из варианта №51 (рис. 1):



```
.MODEL q2T201b NPN (BF=87.26 IS=158.1f VAF=62.37)
Ne=10.51
+ Ise=2.569u Ikf=.3751 Xtb=1.5 Br=.1259 Nc=2 Isc=2.196n Ikr=.37
+ Rb=80 Rc=15 Cjc=17.75p Mjc=.33 Vjc=.75 Fc=.5 Cje=39.43p Mje=.33
+ Vje=.75 Tr=862.1n Tf=3.205n Itf=80m Vtf=30 Xtf=1.5)
```

Рисунок 1. Характеристика транзистора

Выполнение

Эксперимент 1: «Снятие вольтамперных характеристик (ВАХ) биполярного транзистора»

В ходе работы применяется схема включения транзистора с общим эмиттером. Входной характеристикой транзистора является зависимость входного тока I_b (базы) от напряжения $U_{бэ}$ (база-эмиттер) при заданном напряжении $U_{кэ}$ (коллектор-эмиттер). Выходной характеристикой считается зависимость $I_{к2}(U_{кэ})$ при заданном токе I_b .

Транзистор – NPN, поэтому строим следующую схему (рис. 2):

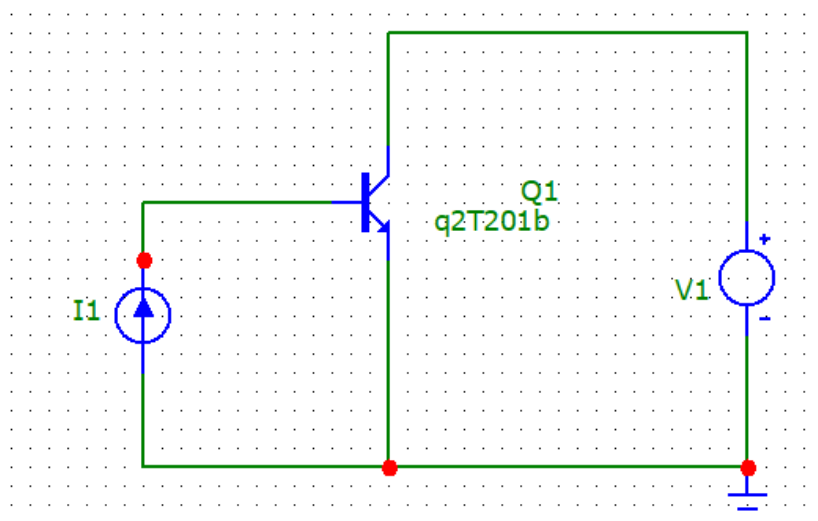


Рисунок 2. Схема с NPN транзистором

Теперь сформируем выходную и входную ВАХ с помощью DC Analysis, настроенным в соответствии с рис. 3 и рис. 5. Выходная характеристика представлена на рис. 4, входная – на рис. 6.

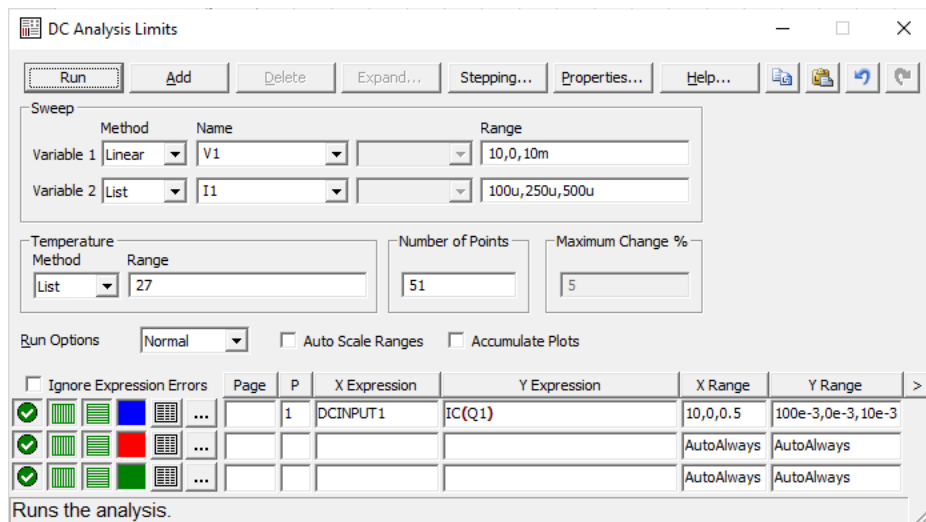


Рисунок 3. Настройка DC Analysis для получения выходной ВАХ

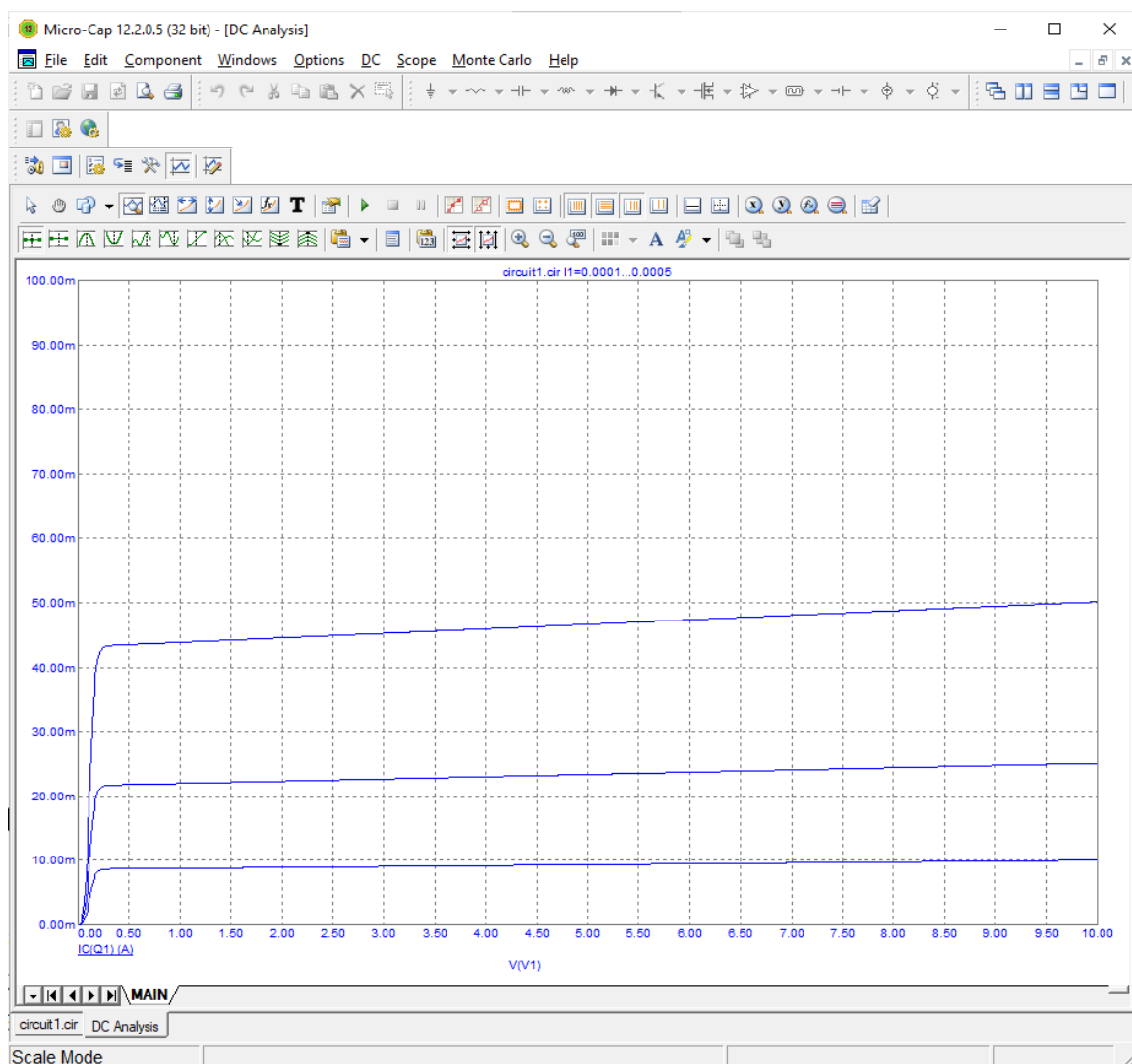


Рисунок 4. Выходная ВАХ транзистора

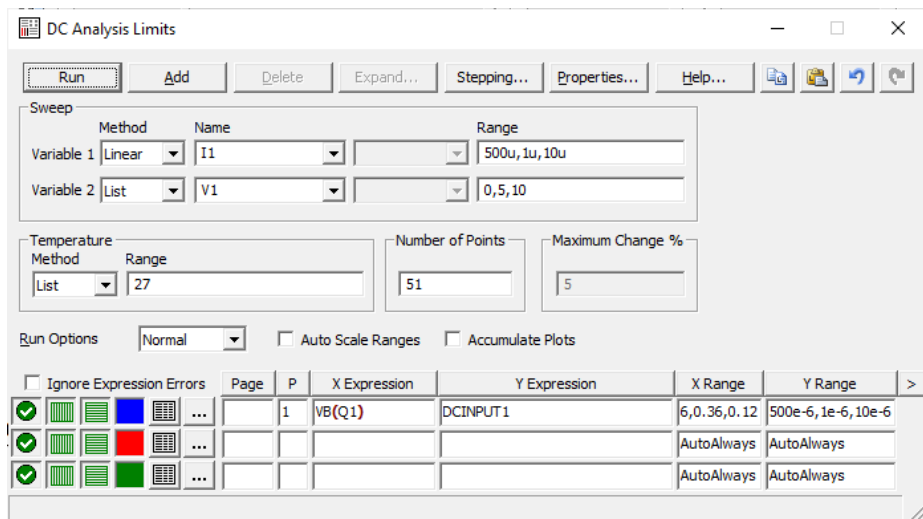


Рисунок 5. Настройка DC Analysis для получения входной ВАХ

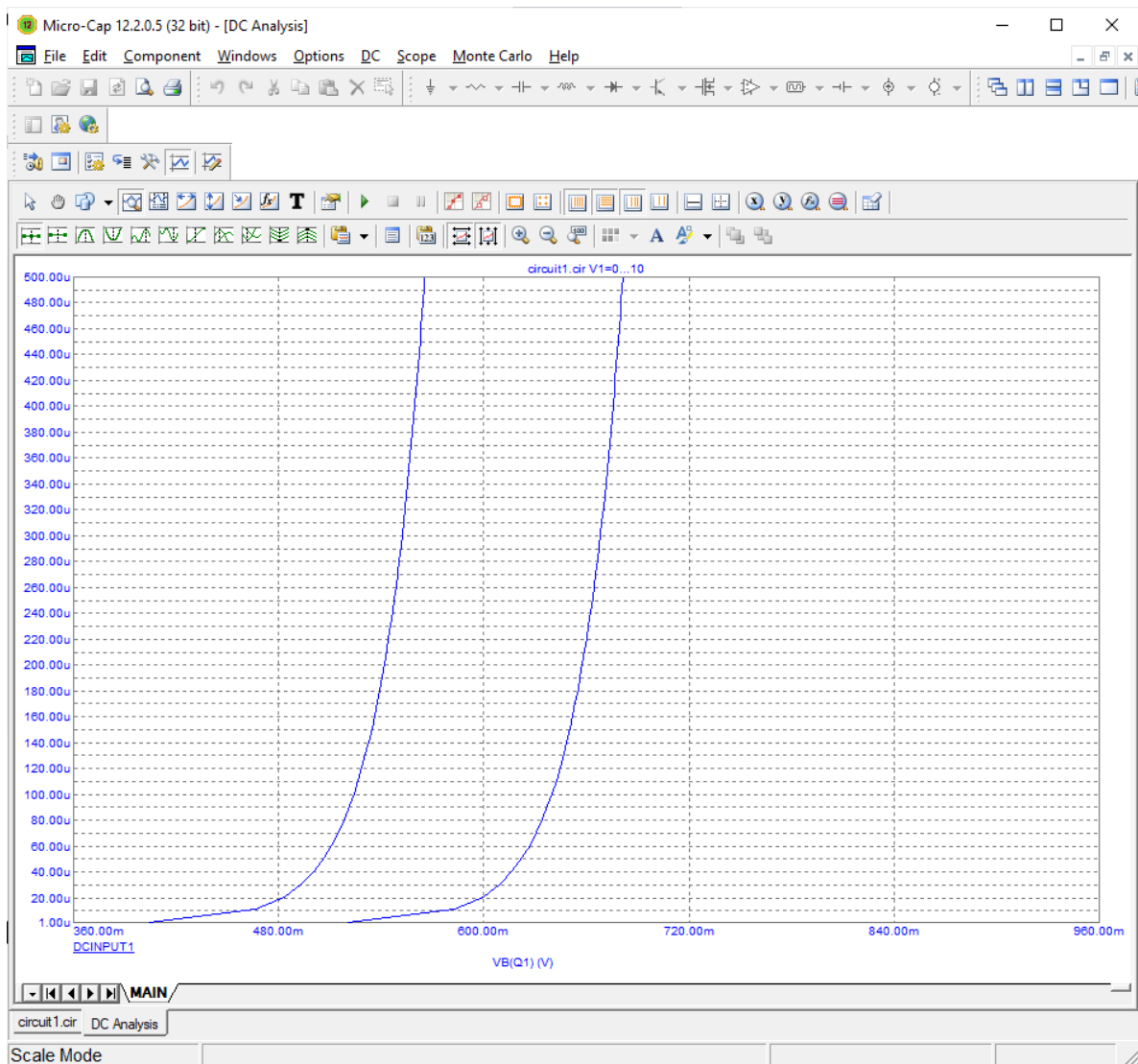


Рисунок 6. Входная ВАХ транзистора

Далее построим кривую предельно допустимой мощности, определив максимальную мощность, рассеиваемую на коллекторе, максимальный ток и напряжение из справочника (в интернете): $P_{max} = 150 \text{ мВт}$, $I_{k_max} = 30 \text{ мА}$, $U_{max} = 20 \text{ В}$. Настройка пределов DC Analysis – в соответствии с рис. 7, полученные графики – рис. 8.

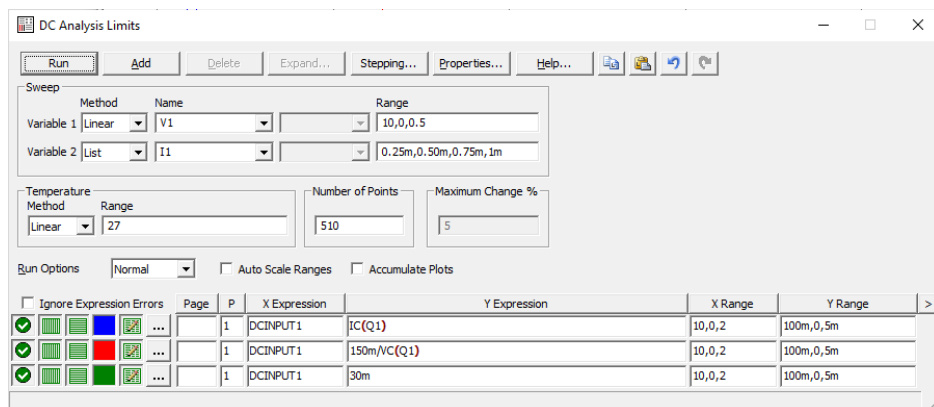


Рисунок 7. Настройки построения кривой максимальной мощности

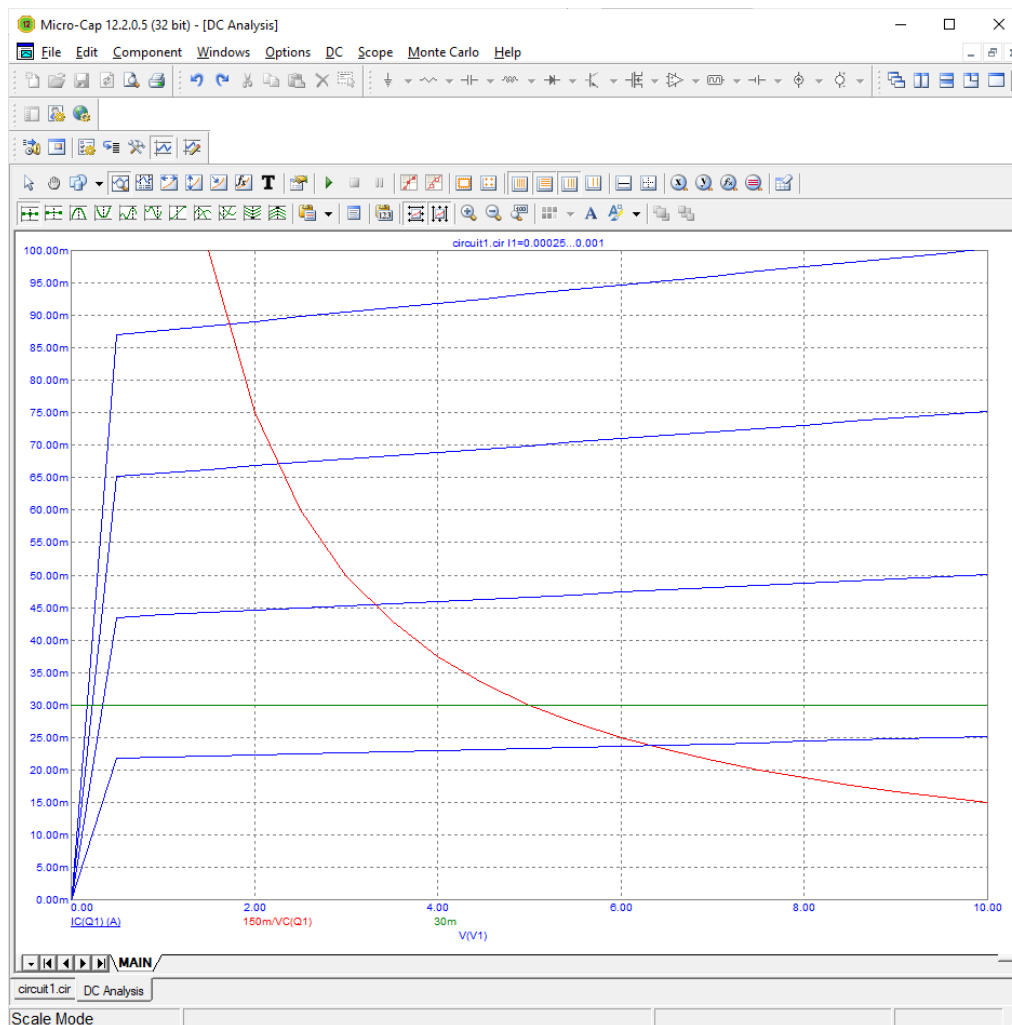


Рисунок 8. Кривая предельно допустимой мощности

Для выбора рабочей точки построим нагрузочную прямую, расположив ее наиболее близко к кривой предельно допустимой мощности, не выходя за границы указанных тока и напряжения (рис. 9). Так как построенное множество точек – прямая, мы можем утверждать, что ее середина в точке с напряжением $E_k/2 = 10/2 = 5$ В, а ток в этой точке можно определить по графику: $I_k = 30$ мА.

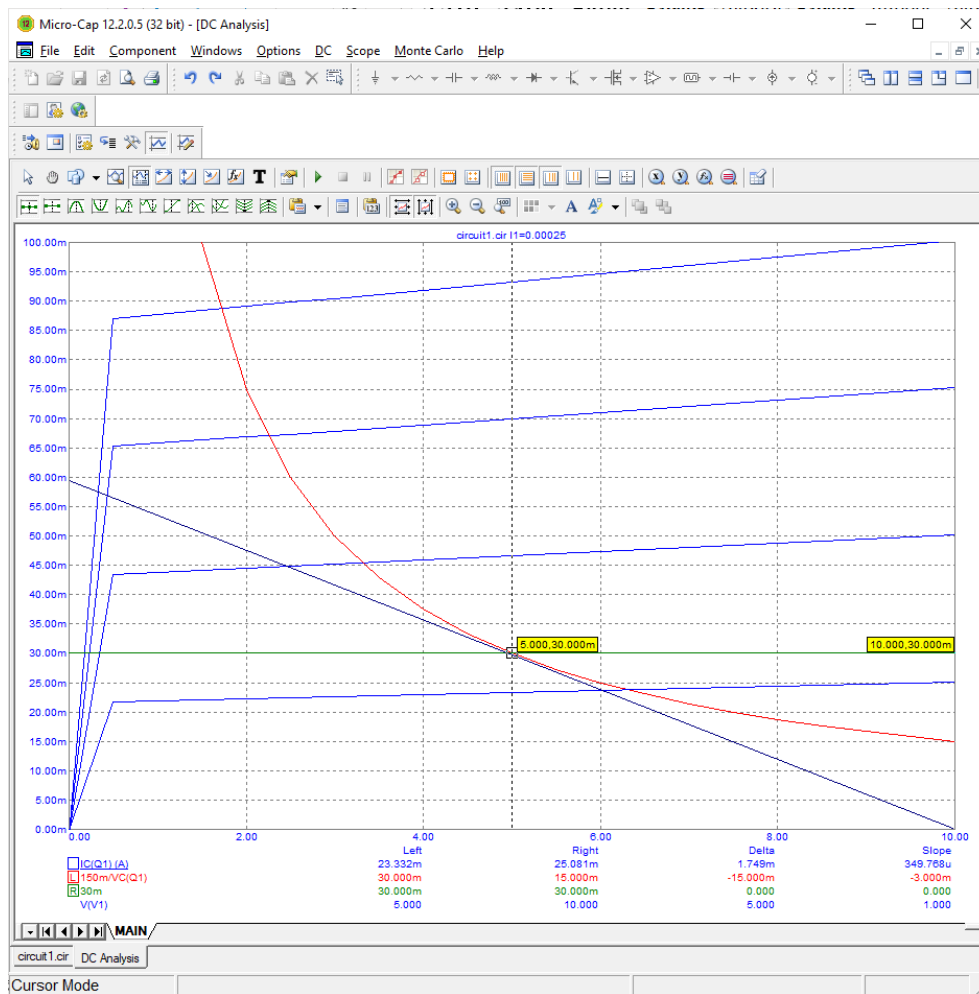


Рисунок 9. Нагрузочная прямая и рабочая точка

Определим сопротивление, необходимое для обеспечения работы транзистора в выбранной рабочей точке при $E_k = 10 \text{ В}$:

$$R_k = \frac{E_k - U_{\text{пр}}}{I_k} = \frac{10 - 5}{0,030} = 166,7 \text{ Ом}$$

Ток базы определим по приближительной формуле: $I_b = I_k / \beta_f$, где β_f – табличное значение. Таким образом, $I_b = 30 \text{ мА} / 87,26 = 343,8 \text{ мкА}$; $U_b = 558,5 \text{ мВ}$ – из входной характеристики.

Эксперимент 2: «Установка рабочей точки каскада усиления с общим эмиттером дополнительными элементами схемы»

Для выполнения эксперимента построим схему с генератором и сопротивлением коллектора, рассчитанным в предыдущем пункте (рис. 10).

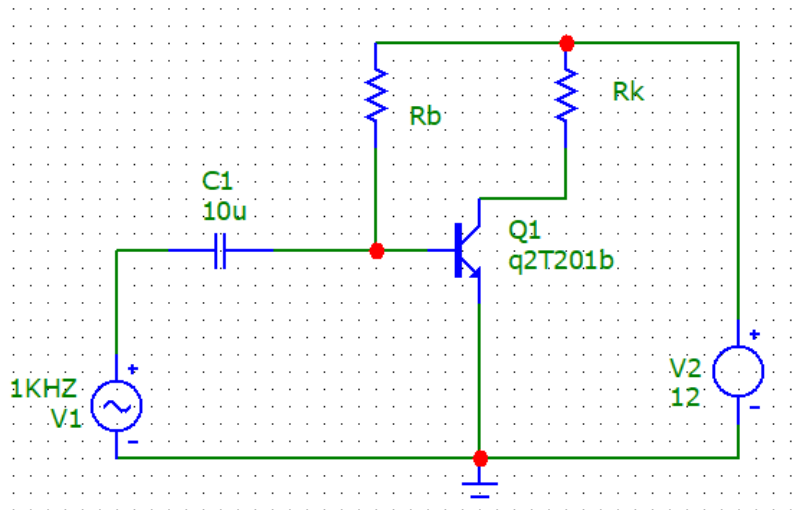


Рисунок 10. Схема стабилизации базового тока

Однако R_b и R_k неизвестны. Для их нахождения будем использовать $R_k = (E_k - U_k) / I_k$ и $R_b = (E_k - U_b) / I_b$, где $I_b = I_k / \beta_F$. β_F – коэффициент увеличения транзистора, рассчитаем его для конкретного $I_k = 30$ мА. Расчет будем производить с помощью построения графика в DC Current Gain (рис. 11, 12):

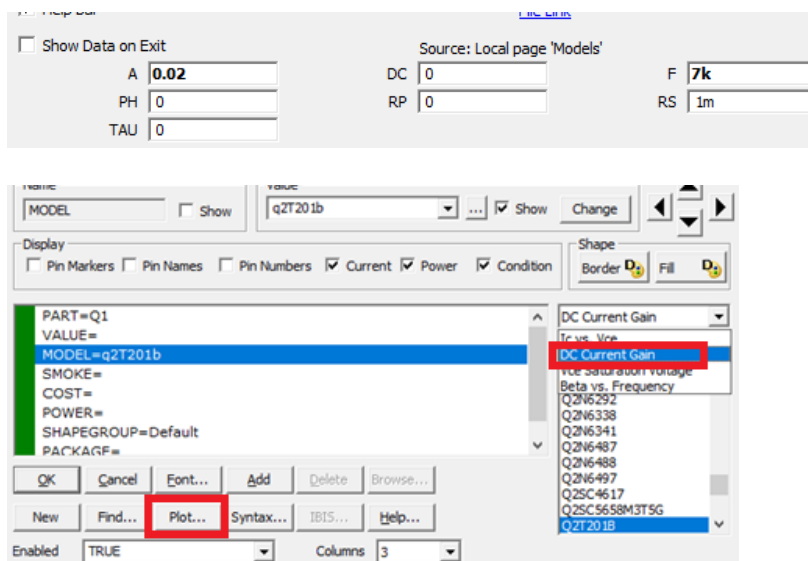


Рисунок 11. Получение графика β_f

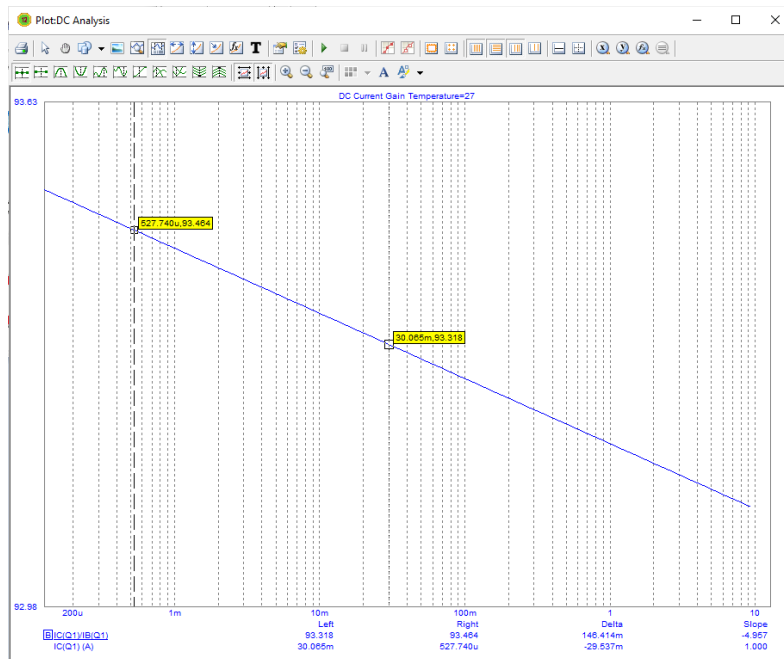


Рисунок 12. Определение B_f по графику

Из полученного графика определяем, что для $I_k = 30$ мА $B_f = 93,31$.
 Выполним расчеты: $I_b = I_k / B_f = 30 \text{ мА} / 93,31 = 321,5 \text{ мкА}$. $U_b = 553,9 \text{ мВ}$ из
 входной ВАХ (рис. 13) $\Rightarrow R_k = (E_k - U_k) / I_k = (10 - 5) / 0,030 = 166,7 \text{ Ом}$; $R_b = (E_k - U_b) / I_b = (10 - 0,5539) / 0,0003215 \approx 29,3 \text{ кОм}$.

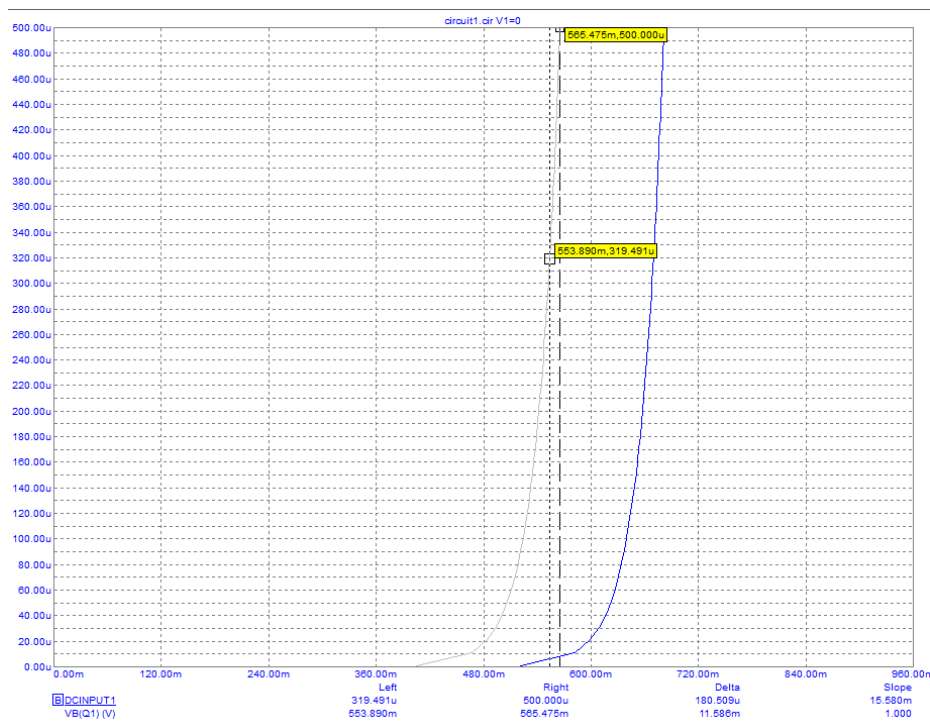


Рисунок 13. Определение U_b по входной характеристике

Теперь зададим в построенной в начале эксперимента схеме рассчитанные сопротивления (рис. 14) и получим графики исходного и усиленного сигнала – рис. 16 (предварительно настроив анализ так, чтобы для каждого сигнала был свой масштаб, рис. 15).

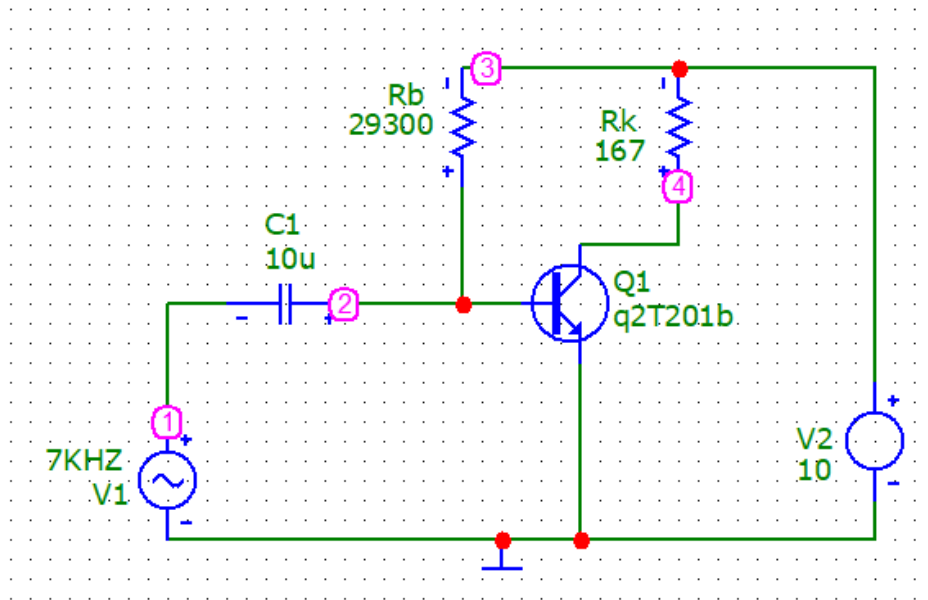


Рисунок 14. Схема с рассчитанными сопротивлениями

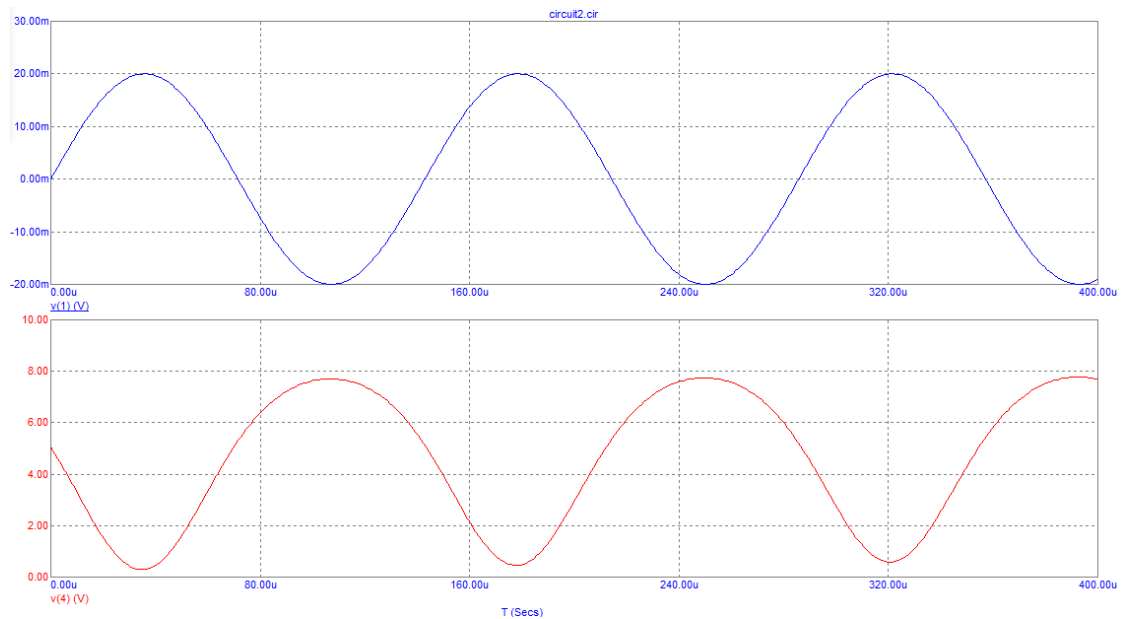


Рисунок 15. Усиленный и исходный сигналы

Коэффициент усиления каскада по напряжению $= 7,41 / 40 \cdot 10^{-3} = 185,25$

Повторим расчет для схемы с делителем напряжения:

Ток базы: $I_b = 321,5 \text{ мкА}$ - по результатам вычислений из предыдущего пункта.

Примем ток делителя в 10 раз больше: $I_d = 3215 \text{ мкА}$.

Обеспечим на базе $U_b = 1 \text{ В}$.

- $R_b + R_d = E_k / I_d = 10 / 0,003215 = 3110$
- $R_b / R_d = (E_k - U_b) / U_b = 9 / 1 = 9$

$\Rightarrow R_d = 311 \text{ Ом}, R_b = 2799 \text{ Ом}$

Построим рассчитанную схему:

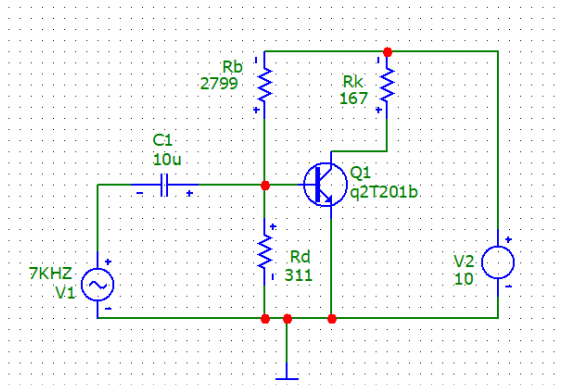


Рисунок 16. Схема с делителем напряжения

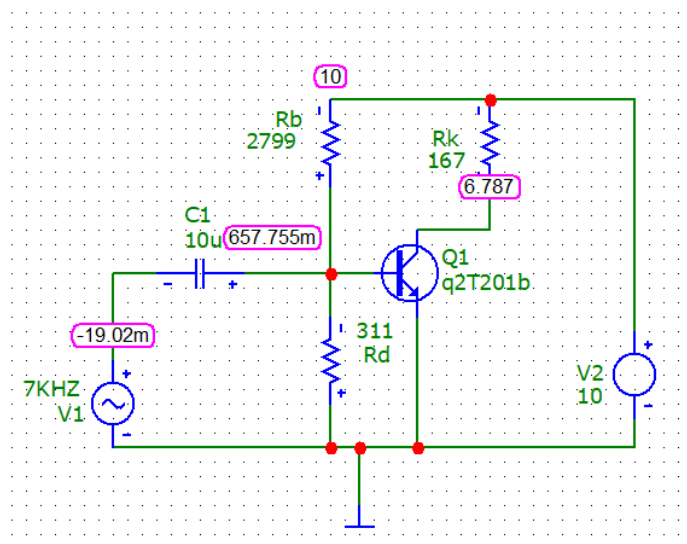


Рисунок 17. Реальные напряжения в схеме

Получаем напряжение на коллекторе $U_k = 6,8 \text{ В}$ – отличается от $E_k/2 = 5 \text{ В}$.

Немного изменим вручную R_d , чтобы добиться желаемого напряжения на коллекторе:

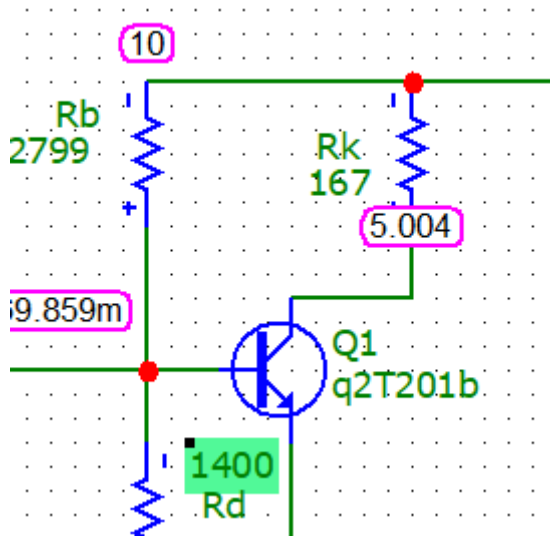


Рисунок 18. Приближение напряжения на коллекторе

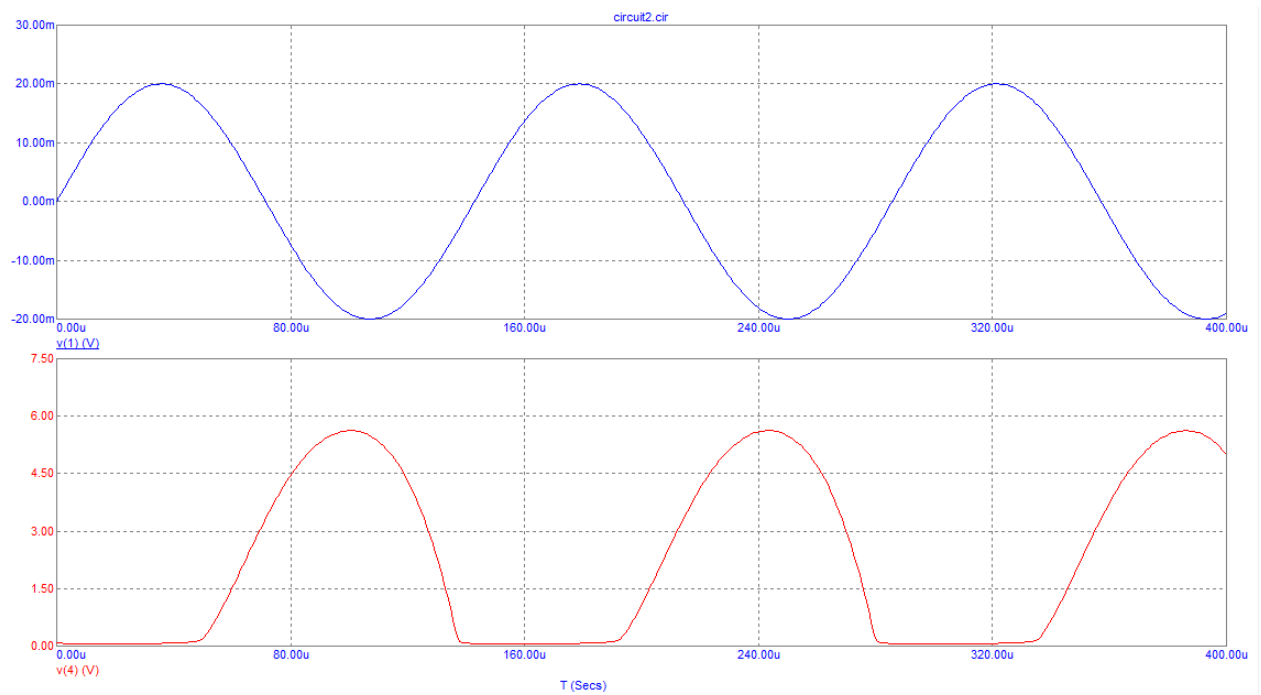


Рисунок 19. Входной и выходной сигналы

Коэффициент усиления каскада по напряжению = $5,57 / 0,04 \approx 140$

Эксперимент 3: «Исследование влияния температуры на положение рабочей точки каскада с общим эмиттером биполярного транзистора»

Для исследования будем использовать схему из эксперимента №1:

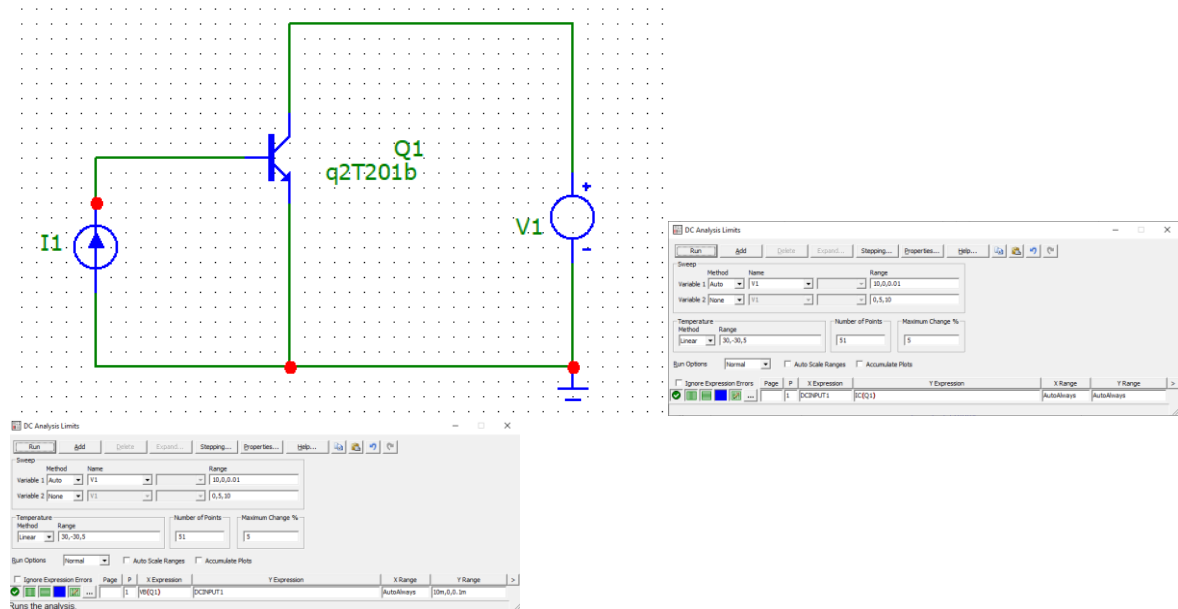


Рисунок 20. Схема и настройки

С помощью DC Analysis получаем зависимость входной и выходной ВАХ от температуры (для рабочей точки $U_{рт} = 5V$, $I_{рт} = 30mA$)

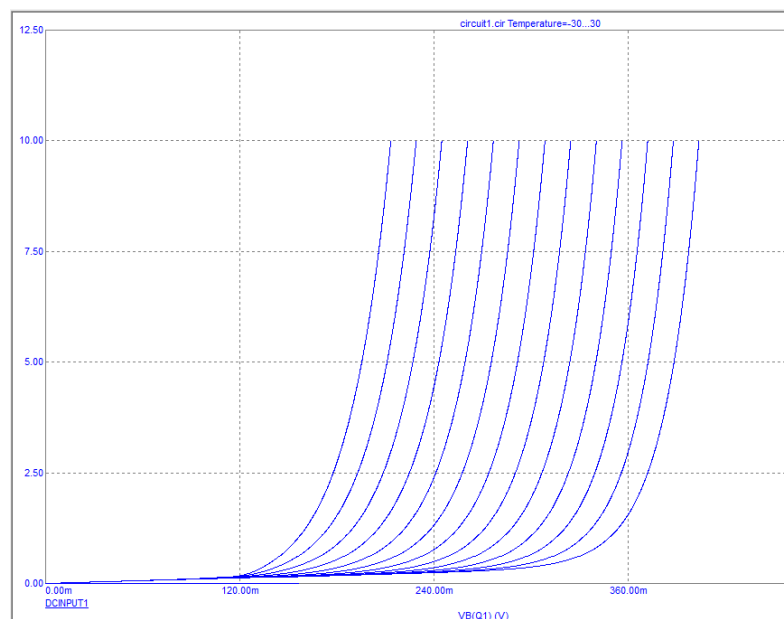


Рисунок 21. Входная ВАХ

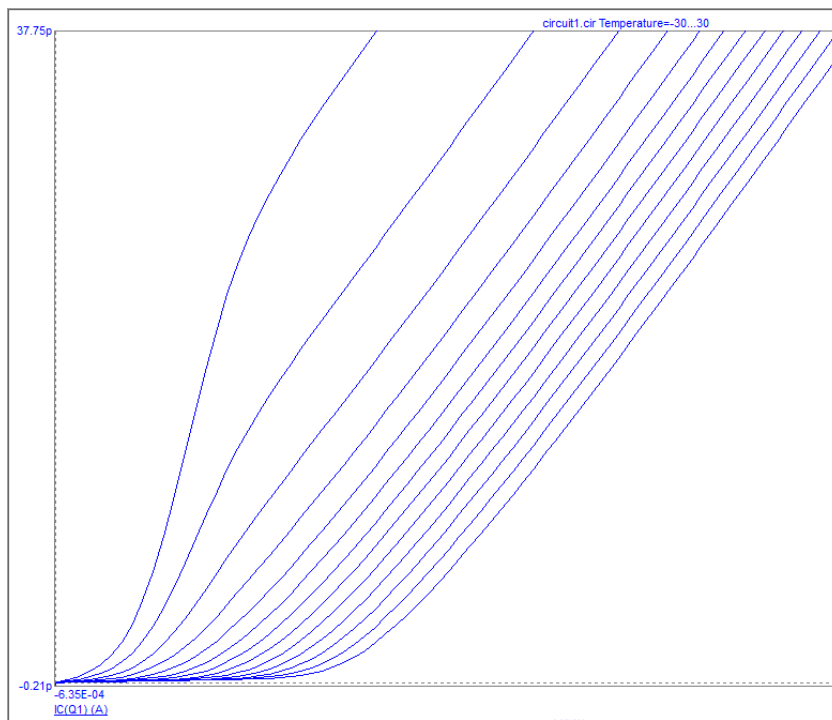


Рисунок 22. Выходная ВАХ

Теперь исследуем зависимость сигнала от температуры (используя схему из эксперимента 2):

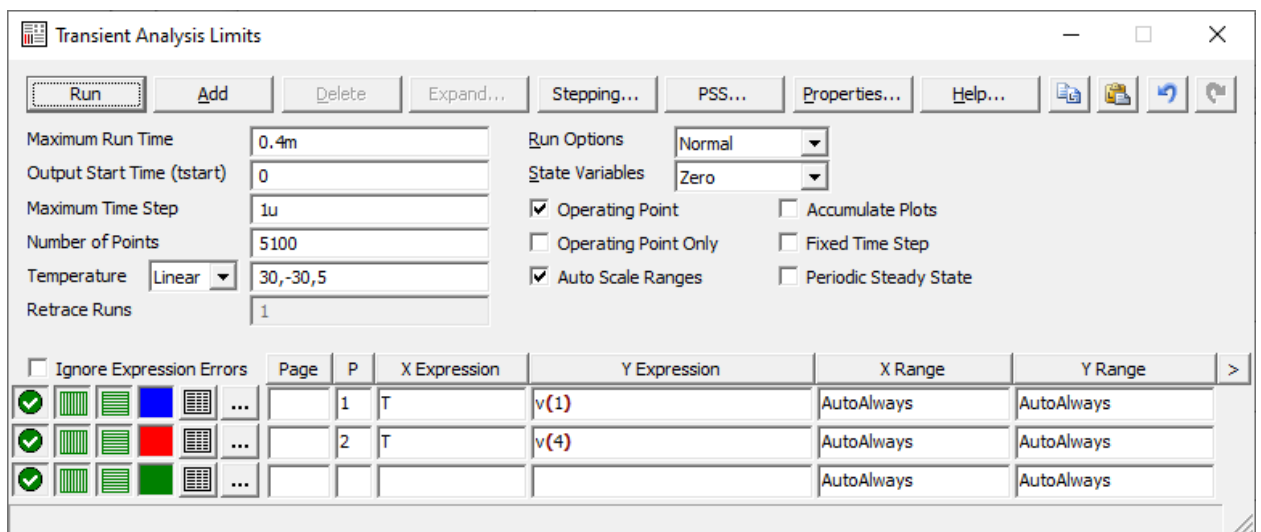


Рисунок 23. Настройки анализа сигналов

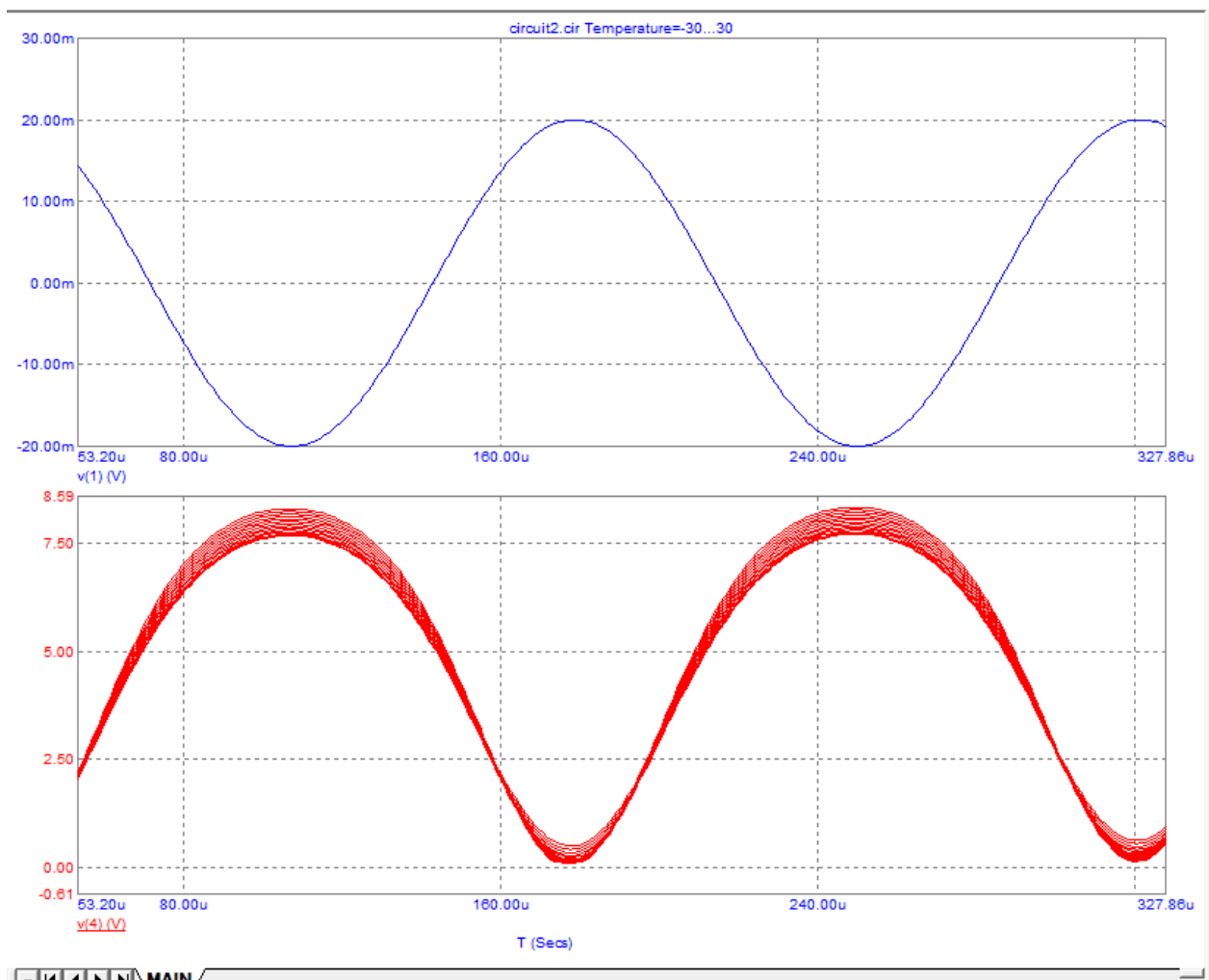


Рисунок 24. Результирующие сигналы

На полученном графике заметны искажения синусоиды. Напряжение выходного сигнала меняется:

- от 0,501 В до 7,685 В при температуре 30 град
- от 0,111 В до 8,302 В при температуре -30 град

То есть, чем выше температура, тем слабее выходной сигнал и меньше его амплитуда.

Теперь проведем качественный анализ работы усилительного каскада. Изменим амплитуду входного напряжения с 50 мВ до 500 мВ. Заметим изменения в выходном сигнале: происходит амплитудное ограничение входного сигнала при прохождении предварительных усилителей, так как

усилитель не может усилить амплитуду сигнала больше своего напряжения питания.

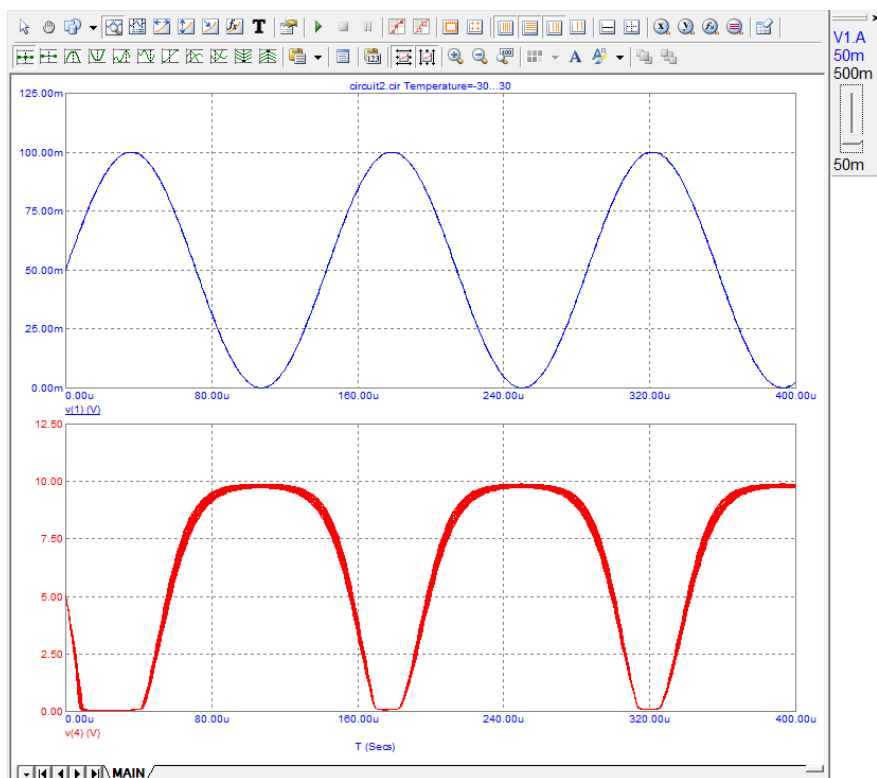


Рисунок 25. Сигналы при напряжении 50 мВ

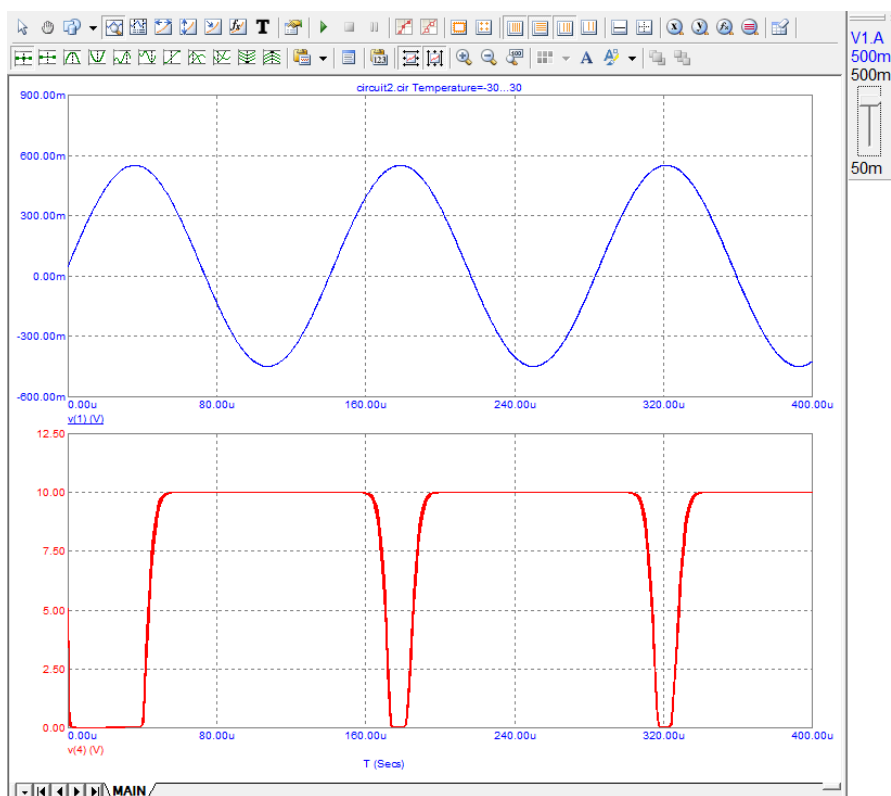


Рисунок 26. Сигналы при напряжении 500 мВ