

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ **09.03.01 Информатика и вычислительная техника**

Дисциплина: Электроника

(И.О. Фамилия)

Три схемы включения транзистора

Исходные данные для варианта 4 приведены в таблице 1:

| E_k | B | I_s | R_1 | R_2 | $R_k, R_э$ | R_Γ | $C_{бэ}$ | $C_{бк}$ | f_α | C_1, C_2 | $C_{блок}$ | R_H |
|-------|-----|-------|-------|-------|------------|------------|----------|----------|------------|------------|------------|-------|
| V | | A | кОм | кОм | кОм | кОм | пФ | пФ | MHz | мкФ | мкФ | кОм |
| 9 | 100 | Si | 25 | 12 | 2,2 | 2 | 5 | 15 | 20 | 5 | 200 | 12 |

Таблица 1 – Условие задачи и вариант

Цель: изучить, как влияют различные способы включения биполярного транзистора и величина сопротивления нагрузки на свойства усилительного каскада.

1) Схема с общим эмиттером

Составим схему для транзистора с общим эмиттером с подключенными мультиметрами для снятия показаний тока и напряжения на входе и выходе. Значения параметров для схемы проставим в соответствии с вариантом. Смотри рисунок 1.

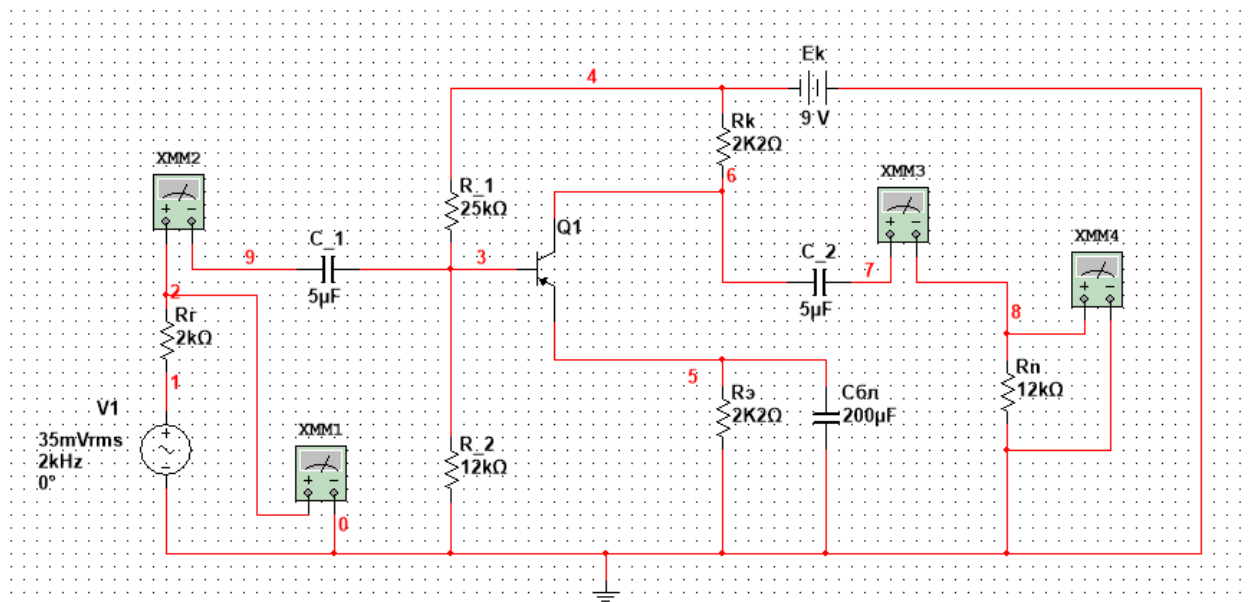


Рисунок 1 – Схема с общим эмиттером

Определим параметры Spice – модели транзистора по исходным данным из таблицы 1. Вид модели представлен на рисунке 2.

Model

.model PNP__TRANSISTORS_VIRTUAL__1__1 PNP

Tools Views

| Na... | Description | Value | Units | Use default |
|-------|---|--------------------|----------|-------------------------------------|
| Level | Device model level | Gummel-Poon (Le... | | |
| IS | Transport saturation current | 1e-011 | A | <input type="checkbox"/> |
| BF | Ideal maximum forward beta | 100 | | <input type="checkbox"/> |
| NF | Forward current emission coefficient | 1.0 | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| VAF | Forward Early voltage | 1e30 | V | <input checked="" type="checkbox"/> |
| IKF | Corner for forward beta high current roll-off | 1e30 | A | <input checked="" type="checkbox"/> |
| ISE | B-E leakage saturation current | 0 | A | <input checked="" type="checkbox"/> |
| NE | B-E leakage emission coefficient | 1.5 | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| BR | Ideal maximum reverse beta | 1 | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| NR | Reverse current emission coefficient | 1 | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| VAR | Reverse Early voltage | 1e30 | V | <input checked="" type="checkbox"/> |
| IKR | Corner for reverse beta high current roll-off | 1e30 | A | <input checked="" type="checkbox"/> |
| ISC | B-C leakage saturation current | 0 | A | <input checked="" type="checkbox"/> |
| NC | B-C leakage emission coefficient | 2 | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| RB | Zero-bias base resistance | 0 | Ω | <input checked="" type="checkbox"/> |
| IRB | Current where base resistance falls halfway to i... | 1e30 | A | <input checked="" type="checkbox"/> |
| RBM | Minimum base resistance at high currents | 0 | Ω | <input checked="" type="checkbox"/> |
| RE | Emitter resistance | 0 | Ω | <input checked="" type="checkbox"/> |
| RC | Collector resistance | 0 | Ω | <input checked="" type="checkbox"/> |
| CJE | B-E zero-bias depletion capacitance | 5e-012 | F | <input type="checkbox"/> |
| VJE | B-E built in potential | 0.74 | V | <input type="checkbox"/> |
| MJE | B-E junction exponential factor | 0.33 | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| TF | Ideal forward transit time | 7.9577e-009 | sec | <input type="checkbox"/> |
| XTF | Coefficient for bias dependence of TF | 0 | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| VTF | Voltage describing VBC dependence of TF | 1e30 | V | <input checked="" type="checkbox"/> |
| ITF | High-current parameter for effect on TF | 0 | A | <input checked="" type="checkbox"/> |
| PTF | Excess phase at freq=1.0/(TF*2PI) Hz | 0 | Deg | <input checked="" type="checkbox"/> |
| CJC | B-C zero-bias depletion capacitance | 1.5e-011 | F | <input type="checkbox"/> |
| VJC | B-C built in potential | 0.74 | V | <input type="checkbox"/> |
| MJC | B-C junction exponential factor | 0.33 | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| XCJC | Fraction of B-C depletion capacitance connected... | 1 | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| TR | Ideal reverse transit time | 0 | sec | <input checked="" type="checkbox"/> |
| CJS | Zero-bias substrate capacitance | 0 | F | <input checked="" type="checkbox"/> |
| VJS | Substrate junction built-in potential | 0.74 | V | <input type="checkbox"/> |
| MJS | Substrate junction exponential factor | 0 | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| XTB | Forward and reverse beta temperature exponent | 0 | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| EG | Energy gap for temperature effect on IS | 1.11 | eV | <input type="checkbox"/> |

Рисунок 2 – Spice модель транзистора

Произведем расчет входного и выходного напряжения, а также входного и выходного тока для различных случаев нагрузочного сопротивления. Пример приведен на рисунке 3.

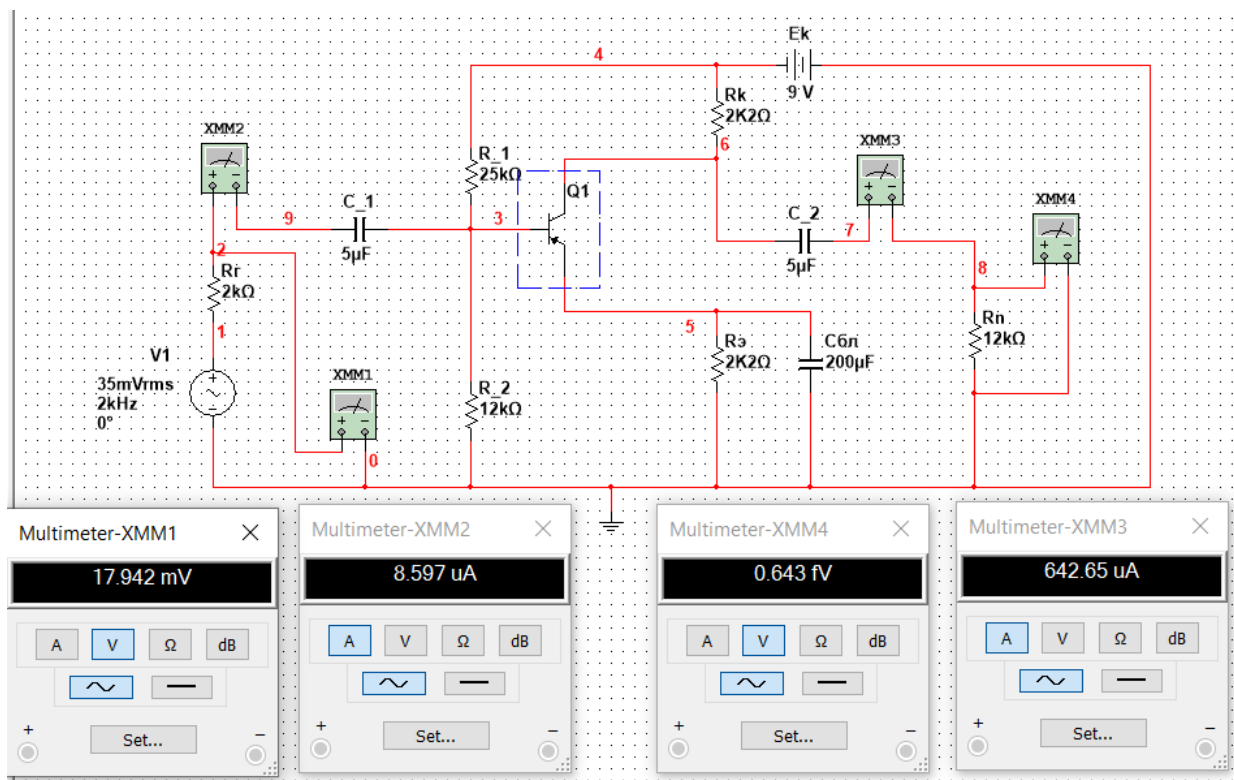


Рисунок 3 – Измерение тока и напряжения
на входе и выходе схемы

По полученным данным произведем расчет коэффициентов передачи по току, напряжению и мощности, а также входное и выходное сопротивление. Для получения данных воспользуемся следующими формулами:

$$\text{Коэффициент передачи усилителя по току: } K_i = \frac{I_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}}$$

$$\text{Коэффициент передачи усилителя по напряжению: } K_U = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}$$

$$\text{Коэффициент передачи усилителя по мощности: } K_P = K_i * K_U$$

Полученные результаты приведены в таблице 2.

| R _Н | I _{ВХ} , мкА | I _{ВЫХ} , мкА | U _{ВХ} , мВ | U _{ВЫХ} , мВ | K_i | K_U | K_P |
|----------------|-----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|--------|--------|----------|
| 150 Ом | 8.597 | 589.105 | 17.942 | 111.821 | 68.53 | 6.23 | 426,9419 |
| 1.5 кОм | 8.597 | 382.01 | 17.943 | 573.226 | 44.44 | 31.947 | 1419,725 |
| 12 кОм | 8.597 | 99.623 | 17.944 | 1195 | 11.588 | 66.596 | 771,7144 |
| 250 кОм | 8.598 | 5.619 | 17.945 | 1401 | 0.654 | 78.072 | 51,05909 |

Таблица 2 – Параметры схемы с общим эмиттером

$$\text{Входное сопротивление: } R_{\text{BX}} = \frac{U_{\text{BX}}}{I_{\text{BX}}} = \frac{17.944 \cdot 10^{-3}}{8.597 \cdot 10^{-6}} = 2.087 \text{ кОм}$$

Для расчета выходного сопротивления запустим схему в режиме холостого хода и короткого замыкания. Смотри рисунки 4 и 5.

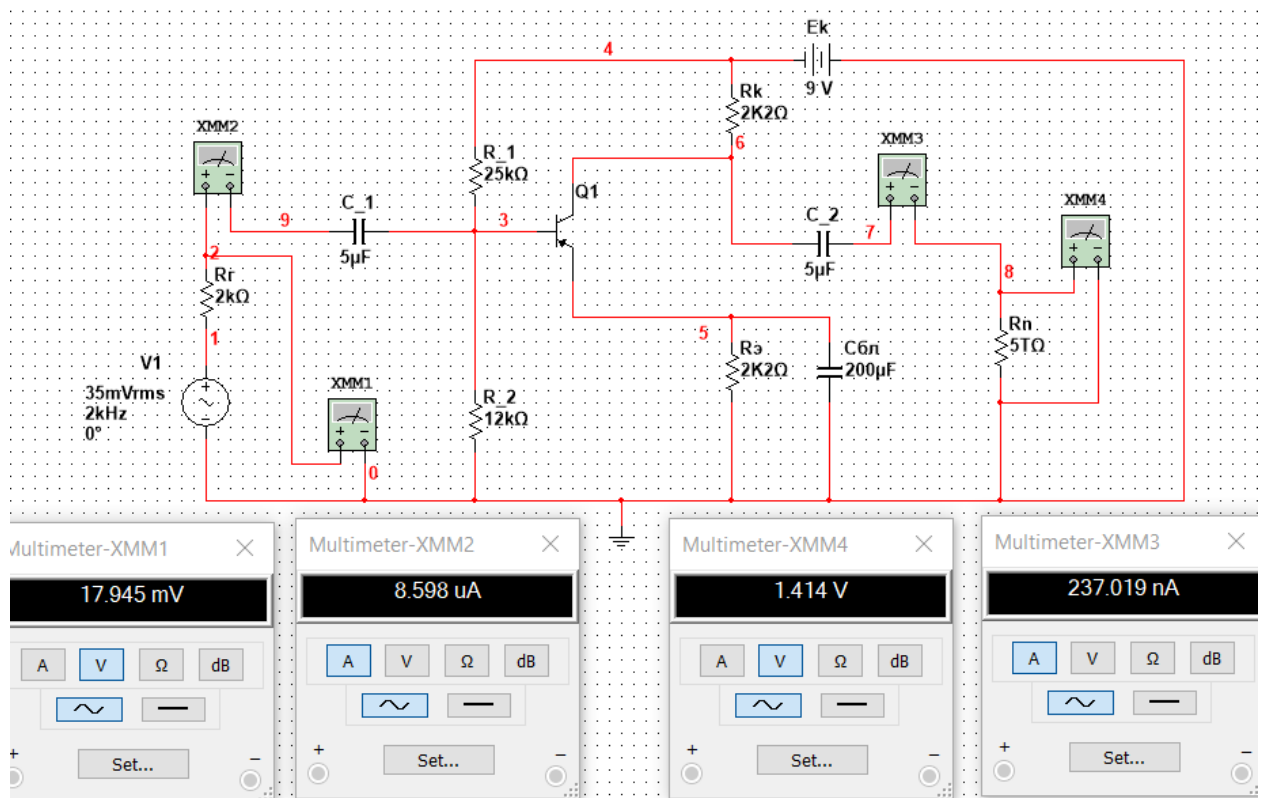


Рисунок 4 – Режим холостого хода схемы

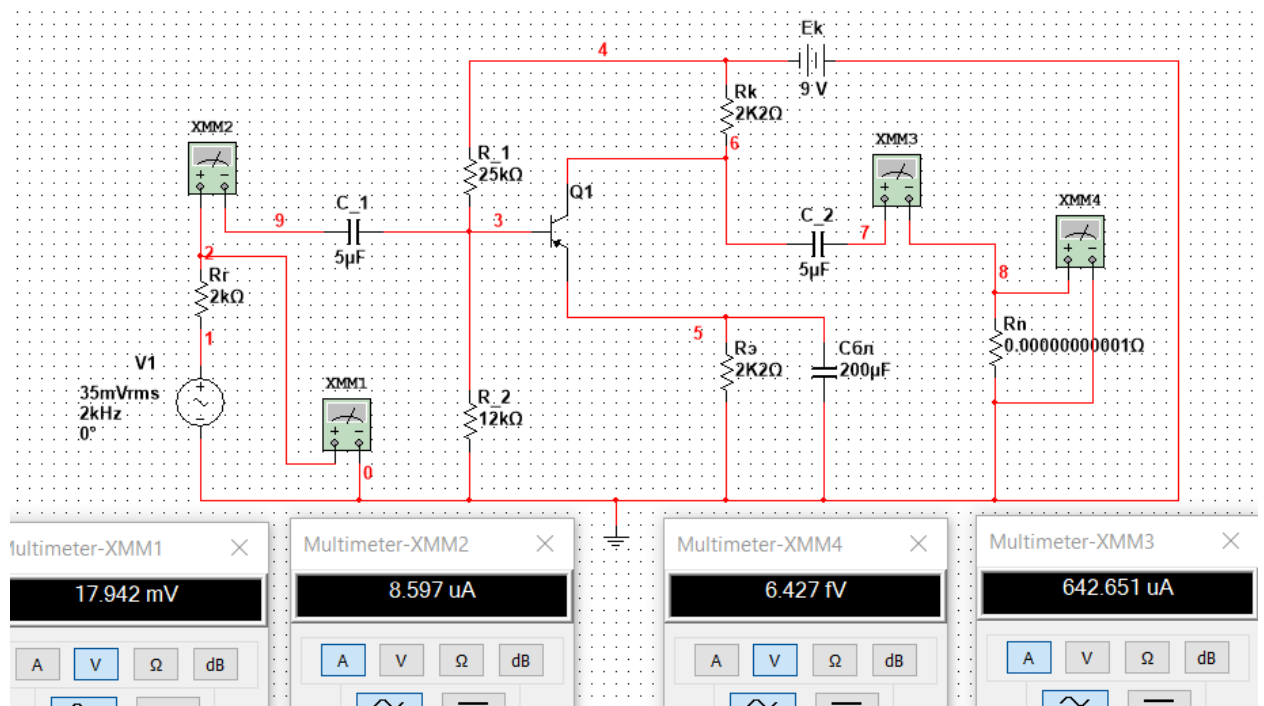


Рисунок 5 – Режим короткого замыкания схемы

Выходное сопротивление: $R_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{XX}}}{I_{\text{КЗ}}} = \frac{1.414}{642.65 \cdot 10^{-6}} = 2.2 \text{ кОм}$

Произведем аналитический расчет параметров, полученных с помощью эксперимента, и сравним полученные результаты. Коэффициенты передачи определим с помощью следующих формул:

Входное сопротивление: $R_{\text{ВХ}} = \frac{R_{\text{ВХ тр оэ}} * R_{\text{б}}}{R_{\text{ВХ тр оэ}} + R_{\text{б}}}$

Сопротивление базы: $R_{\text{б}} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$

Входное сопротивление транзистора:

$$R_{\text{ВХ тр оэ}} = r_{\text{б}} + (1 + B) * r_{\text{э}},$$

где: $r_{\text{б}} \sim 0 \text{ Ом}$, $r_{\text{э}} = \frac{\varphi}{I_{\text{эм}}}$, $\varphi = 0,026 \text{ В}$

Коэффициент передачи усилителя по току:

$$K_I = \frac{R_{\text{б}}}{R_{\text{б}} + R_{\text{ВХ тр оэ}}} * B * \frac{R_{\text{к}}}{R_{\text{к}} + R_{\text{н}}}$$

Коэффициент передачи усилителя по напряжению:

$$K_U = B * \frac{R_{\text{кн}}}{R_{\text{ВХ тр оэ}}}; R_{\text{кн}} = \frac{R_{\text{к}} * R_{\text{н}}}{R_{\text{к}} + R_{\text{н}}}$$

Коэффициент передачи усилителя по мощности:

$$K_P = K_I * K_U$$

Выполним расчет и результаты занесем в таблицу 3. Ток эмиттера рассчитаем с помощью схемы, приведенной на рисунке 6. Получаем, что

$$I_{\text{эм}} = 1,073 * 10^{-3},$$

$$\text{Отсюда } R_{\text{ВХ тр оэ}} = (1 + 100) * 24,23 = 2447,340 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{б}} = 8108,108 \text{ Ом}$$

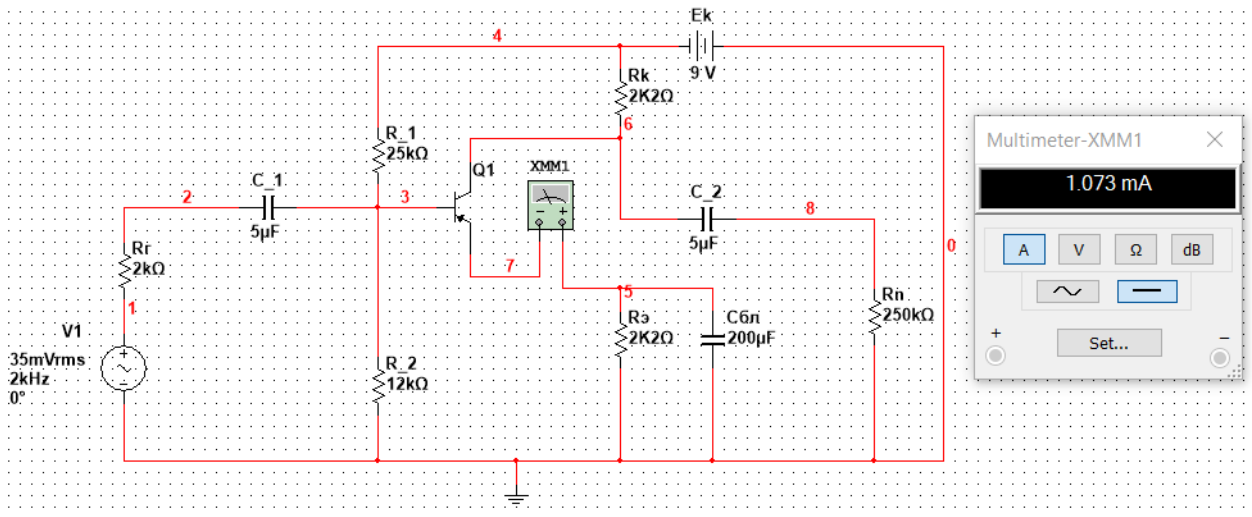


Рисунок 6 – Схема с мультиметром для расчета тока эмиттера

| R_H | R_{BX} | $R_{ВЫХ}$ | $R_{KH, Ом}$ | K_I | K_U | K_P |
|---------|----------|-----------|--------------|----------|----------|-------------|
| 150 Ом | 1,880кОм | 2.2кОм | 140,426 | 71,91139 | 5,737903 | 412,6205842 |
| 1.5 кОм | | | 891,89 | 45,67345 | 36,44324 | 1664,488493 |
| 12 кОм | | | 1859,155 | 11,90083 | 75,96636 | 904,0625538 |
| 250 кОм | | | 2180,81 | 0,67007 | 89,1094 | 59,70957422 |

Таблица 3 – Аналитический метод, для схемы с общим эмиттером

В результате произведенных вычислений аналитическим способом (таблица 2) и данных, полученных экспериментальным путем (таблица 3) получили схожие данные.

Определим граничную частоту работы транзистора с общим эмиттером. Для этого построим график анализа тока. Смотри рисунок 7.

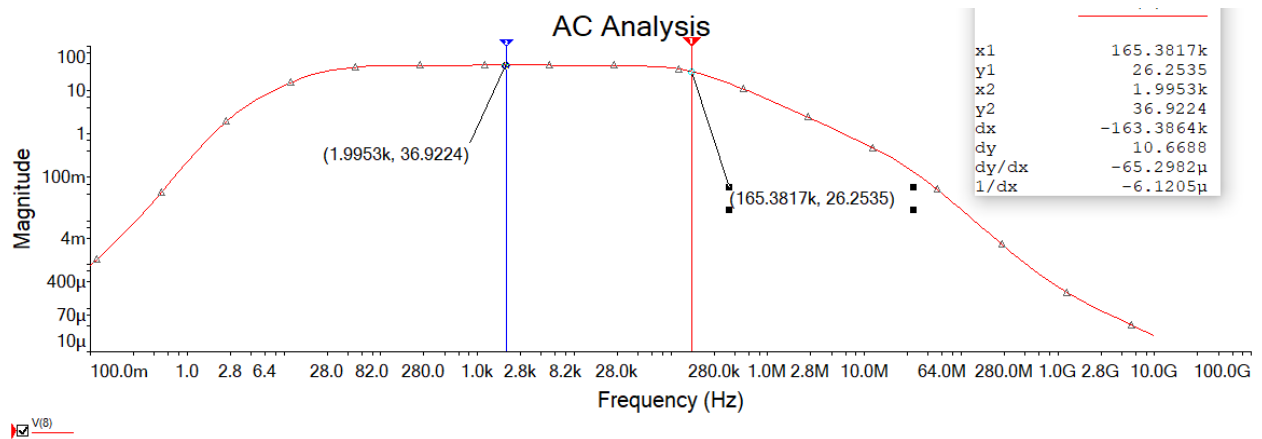


Рисунок 7 – АС анализ схемы с общим эмиттером

Граничная частота находится на отметке при напряжении в $\sqrt{2}$ раз меньше максимального. Исходя из рисунка 7 получаем, что $f_v = 165,38$ кГц.

Для определения постоянной времени цепи, найдем коэффициент G по формуле:

$$G = \frac{R'_\Gamma + r_\epsilon + r_\epsilon}{R'_\Gamma + R_{\text{вх тр оэ}}} = \frac{1604 + 24,23}{1604 + 2447,34} = 0,4019; \quad \text{где } R'_\Gamma = \frac{R_\Gamma * R_\epsilon}{R_\Gamma + R_\epsilon} = 1,6043 \text{ кОм}; \quad r_\epsilon = 0$$

Постоянную времени цепи рассчитаем по формуле:

$$\tau_v = G * (\tau_b + C_{\text{кэ}} * R_{\text{кн}}) + C_{\text{н}} * R_{\text{кн}}, \quad \text{где } C_{\text{н}} = 0 \text{ Ф}$$

$$\tau_b = \frac{B + 1}{2\pi f_\alpha} = 8,0563e - 3$$

$$C_{\text{кэ}} = C_{\text{бк}}(B + 1) = 1,515e - 9$$

=>

$$\tau_v = 3,238959 \text{ мс}$$

2) Схема с общей базой

Составим схему для транзистора с общей базой, представленной на рисунке 8.

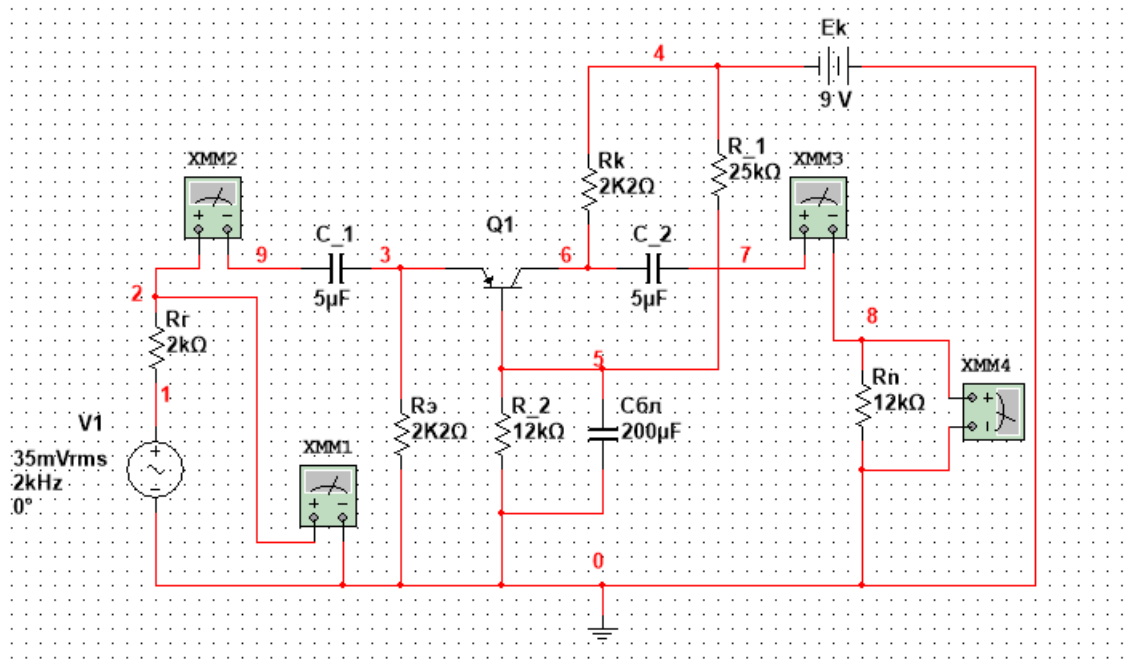


Рисунок 8 – Схема с общей базой

Произведем расчет входного и выходного напряжения, а также входного и выходного тока для различных случаев нагрузочного сопротивления аналогично рисунку 8.

По формулам из пункта 1 рассчитаем коэффициенты передачи по току, напряжению и мощности. Результаты приведены в таблице 4.

| R_H | $I_{вх}, A$ | $I_{вых}, A$ | $U_{вх}, B$ | $U_{вых}, B$ | K_i | K_u | K_p |
|---------|-------------|--------------|-------------|--------------|---------|-------|-------|
| 150 Ом | 17,29E-6 | 15,854E-6 | 496,44E-6 | 2,378E-3 | 0,917 | 4,79 | 4,39 |
| 1.5 кОм | 17,29E-6 | 10,069E-6 | 496,44E-6 | 15,105E-3 | 0,582 | 30,4 | 17,7 |
| 12 кОм | 17,29E-6 | 2,626E-6 | 496,44E-6 | 31,486E-3 | 0,152 | 63,4 | 9,63 |
| 250 кОм | 17,29E-6 | 148,07E-9 | 496,44E-6 | 36,929 E-3 | 8,56E-3 | 74,4 | 0,637 |

Таблица 4 – Параметры схемы с общей базой

Входное сопротивление:

$$R_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вх}}}{I_{\text{вх}}} = \frac{496,44\text{E} - 6}{17,29\text{E} - 6} = 28,7 \text{ Ом}$$

Для расчета выходного сопротивления запустим схему в режиме холостого хода и короткого замыкания как в пункте 1.

Выходное сопротивление: $R_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{хх}}}{I_{\text{кз}}} = \frac{37,248\text{e}-3}{16,935\text{e}-6} = 2,1995 \text{ кОм}$

Произведем аналитический расчет параметров, полученных с помощью эксперимента, и сравним полученные результаты. Коэффициенты передачи определим с помощью следующих формул:

Входное сопротивление: $R_{\text{вх}} = \frac{\frac{R_{\text{вх тр об}}}{B+1} * R_3}{\frac{R_{\text{вх тр об}}}{B+1} + R_3}$

Сопротивление базы: $R_6 = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$

Входное сопротивление транзистора: $R_{\text{вх тр об}} = r_6 + (1 + B) * r_3$, где: $r_6 \sim 0 \text{ Ом}$, $r_3 = \frac{\varphi}{I_{\text{эм}}}$, $\varphi = 0,026 \text{ В}$

Коэффициент передачи усилителя по току:

$$K_I = \frac{R_3 \alpha R_K}{\left(R_3 + \frac{R_{\text{вх тр об}}}{1 + B} \right) * (R_K + R_H)}, \quad \alpha = \frac{B}{1 + B}$$

Коэффициент передачи усилителя по напряжению:

$$K_U = B * \frac{R_{\text{кн}}}{R_{\text{вх тр об}}}; \quad R_{\text{кн}} = \frac{R_K * R_H}{R_K + R_H}$$

Коэффициент передачи усилителя по мощности: $K_P = K_I * K_U$

Выполним расчет и результаты занесем в таблицу 5. Ток эмиттера рассчитаем с помощью схемы, приведенной на рисунке 9. Получаем, что $I_{\text{эм}} = 1,07\text{e}-3 \text{ А}$

Отсюда $R_{\text{вх тр об}} = (1 + 100) * 2,43\text{E} + 01 = 2,45 \text{ кОм}$

$R_6 = 8108,108 \text{ Ом}$

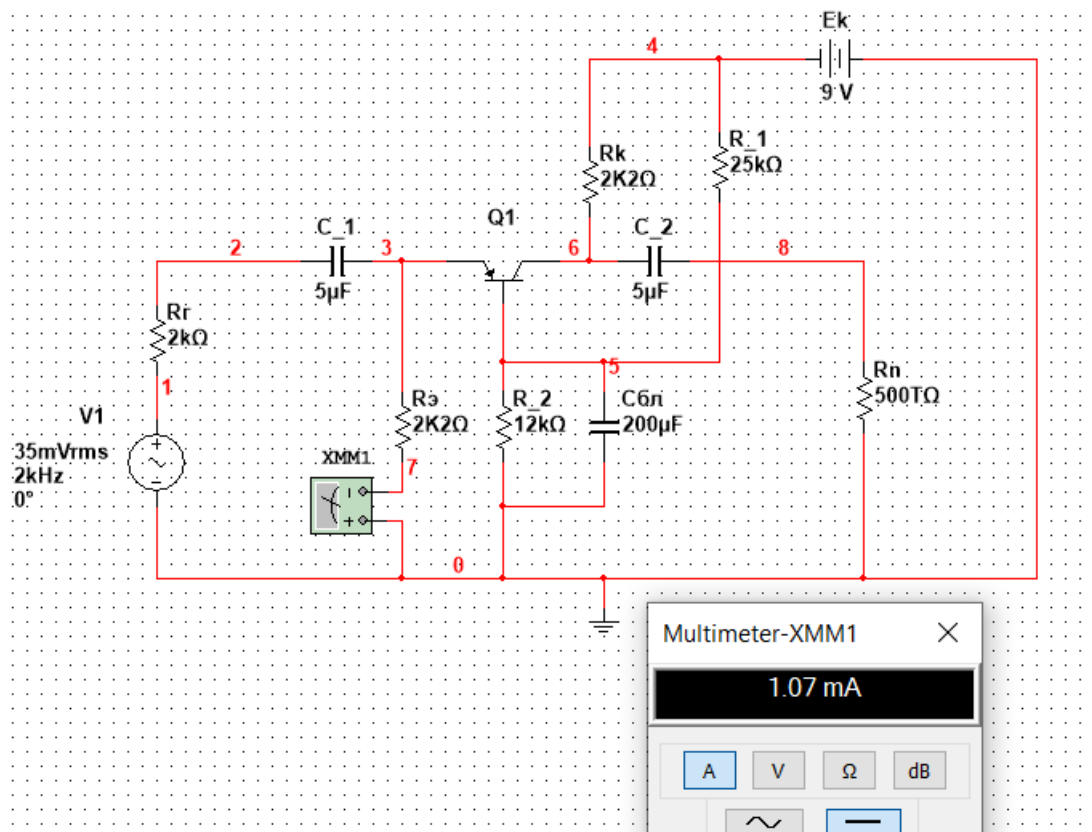


Рисунок 9 – Схема с общей базой для расчета тока эмиттера

| R_H | $R_{ВХ}$ | $R_{ВЫХ}$ | $R_{кН}$ | K_I | K_U | K_P |
|---------|------------|------------|----------|---------|----------|----------|
| 150 Ом | 24,0336 Ом | 2,1995 кОм | 140,4255 | 0,917 | 5,721832 | 5,245635 |
| 1.5 кОм | | | 891,8919 | 0,582 | 36,34137 | 21,16072 |
| 12 кОм | | | 1859,155 | 0,152 | 75,75384 | 11,49336 |
| 250 кОм | | | 2180,809 | 0,00854 | 88,86007 | 0,759089 |

Таблица 5 – Аналитический метод для схемы с общей базой

В результате произведенных вычислений аналитическим способом (таблица 5) и данных полученных экспериментальным путем (таблица 4) получили схожие данные. Расчеты выполнены верно.

Определим граничную частоту работы транзистора с общим эмиттером. Для этого построим график анализа тока. Смотри рисунок 10.

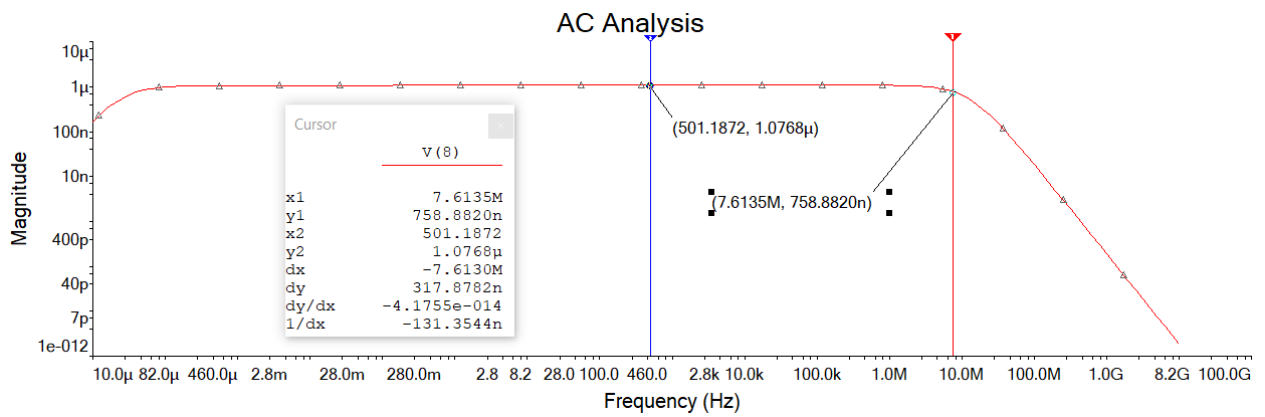


Рисунок 10 – АС анализ схемы с общей базой

Граничная частота находится на отметке при напряжении в $\sqrt{2}$ раз меньше максимального. Исходя из рисунка 10, получаем, что $f_v = 7,6135$ МГц. Для определения постоянной времени цепи, найдем коэффициент G по формуле:

$$G = \frac{R'_\Gamma + r_\delta + r_\varepsilon}{R'_\Gamma * (B + 1) + R_{\text{вх тр об}}} = \frac{1604,3 + 0 + 24,299}{1604,3 * 101 + 2450} = 0,00990124;$$

$$\text{где } R'_\Gamma = \frac{R_\Gamma * R_\delta}{R_\Gamma + R_\delta} = \frac{2000 * 8108,108}{2000 + 8108,108} = 1,6043 \text{ кОм}; r_\delta = 0$$

Постоянную времени цепи рассчитаем по формуле:

$$\tau_B = G * (\tau_b + C_{\text{кэ}} * R_{\text{кн}}) + C_{\text{н}} * R_{\text{кн}}, \quad \text{где } C_{\text{н}} = 0 \text{ Ф}$$

$$\tau_b = \frac{B + 1}{2\pi f_\alpha} = 2,111335e - 6$$

$$C_{\text{кэ}} = C_{\text{бк}}(B + 1) = 1,515e - 9$$

=>

$$\tau_B = 0,0487929 \text{ мс}$$

3) Схема с общим коллектором

Составим схему для транзистора с общей базой, представленной на рисунке 11.

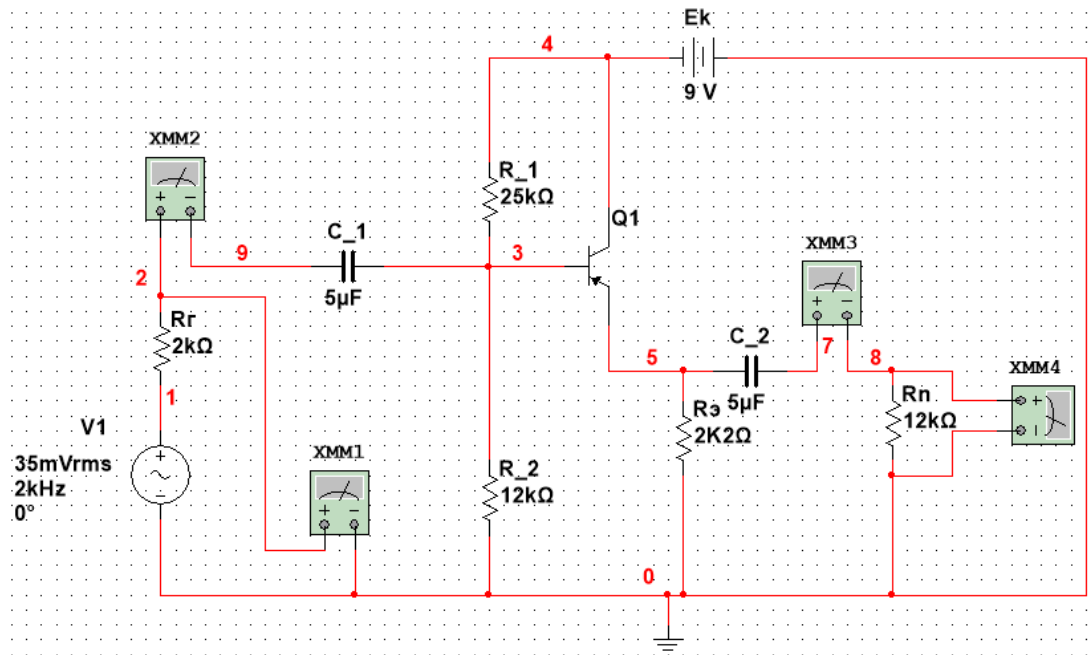


Рисунок 11 – Схема с общим коллектором

Произведем расчет входного и выходного напряжения, а также входного и выходного тока для различных случаев нагрузочного сопротивления аналогично рисунку 3.

По формулам из пункта 1 рассчитаем коэффициенты передачи по току, напряжению и мощности. Результаты приведены в таблице 6.

| $R_{вх}, \text{кОм}$ | R_n | $I_{вх}, \text{А}$ | $I_{вых}, \text{А}$ | $U_{вх}, \text{В}$ | $U_{вых}, \text{В}$ | K_I | K_U | K_P |
|----------------------|---------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|----------|---------|---------|
| 7156,66 | 150 Ом | 4,69E-6 | 1,15E-4 | 2,56E-2 | 2,17E-2 | 2,45E+01 | 8,48E-1 | 20,7928 |
| 7454,889 | 1.5 кОм | 3,70E-6 | 1,79E-5 | 2,76E-2 | 2,69E-2 | 4,84E+00 | 9,74E-1 | 4,70996 |
| 7774,92 | 12кОм | 3,58E-6 | 2,29E-6 | 2,78E-2 | 2,75E-2 | 6,40E-01 | 9,87E-1 | 0,6318 |
| 7819,355 | 250кОм | 3,57E-6 | 1,10E-7 | 2,79E-2 | 2,76E-2 | 3,10E-02 | 9,89E-1 | 0,0306 |

Таблица 6 – Параметры схемы с общим коллектором

Для расчета выходного сопротивления запустим схему в режиме холостого хода и короткого замыкания как в пункте 1.

$$\text{Выходное сопротивление: } R_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{ХХ}}}{I_{\text{КЗ}}} = \frac{27,574\text{E}-3}{611,788\text{E}-6} = 45,07117$$

Произведем аналитический расчет параметров, полученных с помощью эксперимента, и сравним полученные результаты.

Коэффициенты передачи определим с помощью следующих формул:

$$\text{Входное сопротивление: } R_{\text{ВХ}} = \frac{(R_{\text{ВХ тр ок}} + (B+1) * R_{\text{ЭН}}) * R_{\text{Б}}}{(R_{\text{ВХ тр ок}} + (B+1) * R_{\text{ЭН}}) + R_{\text{Б}}}$$

$$\text{Сопротивление базы: } R_{\text{Б}} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\text{Входное сопротивление транзистора: } R_{\text{ВХ тр ок}} = r_{\text{Б}} + (1 + B) * r_{\text{Э}}, \quad \text{где: } r_{\text{Б}} \sim 0 \text{ Ом}, \quad r_{\text{Э}} = \frac{\varphi}{I_{\text{ЭМ}}}, \quad \varphi = 0,026 \text{ В}$$

Коэффициент передачи усилителя по току:

$$K_I = \frac{R_{\text{Б}} * (1 + B) * R_{\text{Э}}}{(R_{\text{Б}} + R_{\text{ВХ тр ок}} + (1 + B) * R_{\text{Э}}) * (R_{\text{Э}} + R_{\text{Н}})}$$

Коэффициент передачи усилителя по напряжению:

$$K_U = (1 + B) * \frac{R_{\text{ЭН}}}{R_{\text{ВХ тр ок}} + (1 + B) * R_{\text{Э}}}; \quad R_{\text{ЭН}} = \frac{R_{\text{Э}} * R_{\text{Н}}}{R_{\text{Э}} + R_{\text{Н}}}$$

Коэффициент передачи усилителя по мощности:

$$K_P = K_I * K_U$$

$$\text{Выходное сопротивление: } R_{\text{ВЫХ}} = \frac{R_{\text{Э}} * (R_{\text{Э}} + \frac{R_{\text{Г}}' + r_{\text{Б}}}{B+1})}{R_{\text{Э}} + (R_{\text{Э}} + \frac{R_{\text{Г}}' + r_{\text{Б}}}{B+1})}$$

Выполним расчет и результаты занесем в таблицу 7.

Ток эмиттера рассчитаем с помощью схемы, приведенной на рисунке 12. Получаем, что $I_{\text{ЭМ}} = 1,071\text{E}-3 \text{ А}$

$$r_3 = 24,2764$$

$$\text{Отсюда } R_{\text{вх тр ок}} = (1 + 100) * 24,2764 = 2451,91410 \text{ Ом}$$

$$R_6 = 8108,108 \text{ Ом}$$

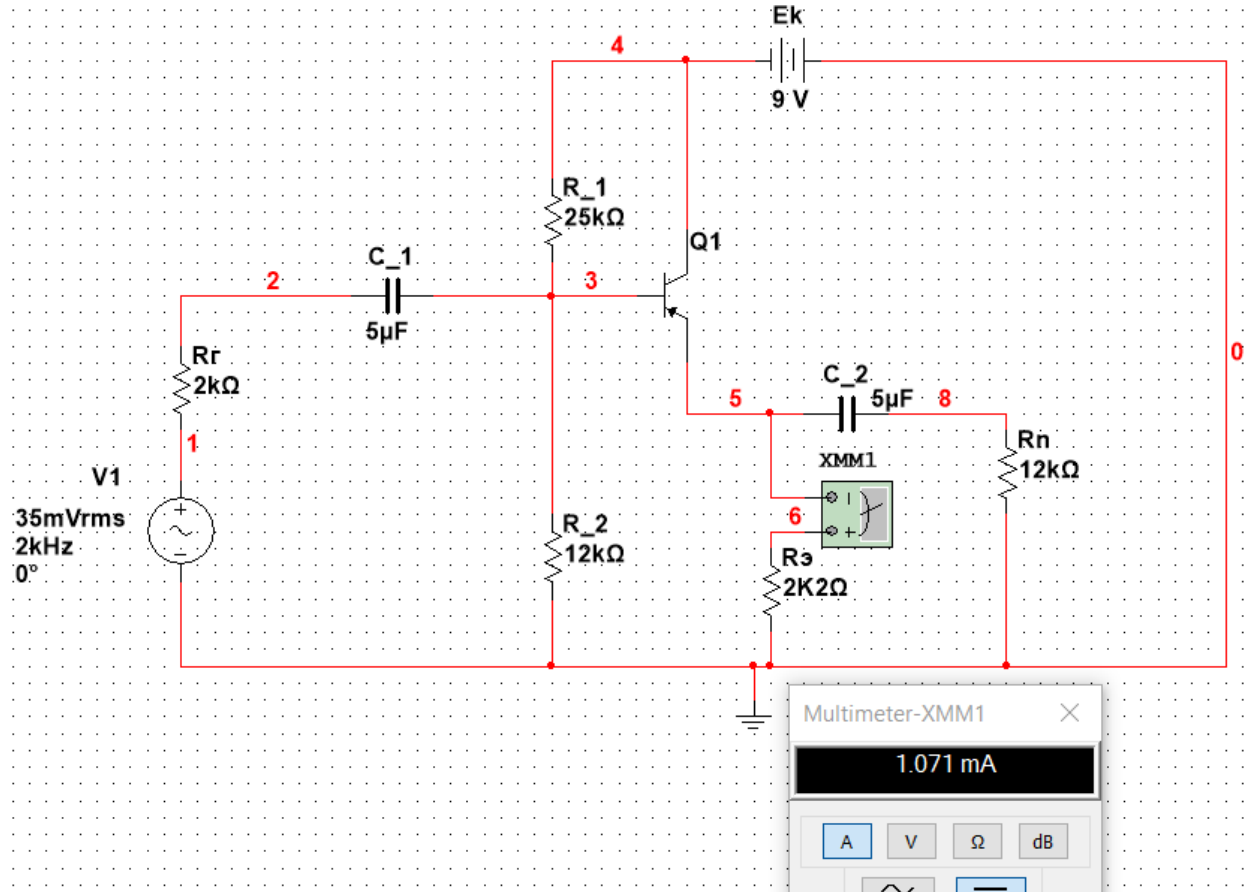


Рисунок 12 – Схема с общим коллектором для расчета тока эмиттера

| R_H | $R_{ЭН}$, Ом | $R_{ВХ}$, Ом | K_I | K_U | K_P |
|---------|---------------|---------------|---------|---------|---------|
| 150 Ом | 140,4255 | 5451,1378 | 3,2937 | 0,0631 | 20,79 |
| 1.5 кОм | 891,8919 | 7454,8817 | 2,09196 | 0,40098 | 83,88 |
| 12кОм | 776,4706 | 7369,3039 | 2,27655 | 0,34909 | 0,79472 |
| 250кОм | 2180,8089 | 7823,2933 | 0,03069 | 0,98046 | 0,0301 |

Таблица 7 – Параметры схемы с общим коллектором

В результате произведенных вычислений аналитическим способом (таблица 7) и данных полученных экспериментальным

путем (таблица 6) получили схожие данные. Расчеты выполнены верно.

Определим граничную частоту работы транзистора с общим эмиттером. Для этого построим график анализа тока. Смотри рисунок 14.

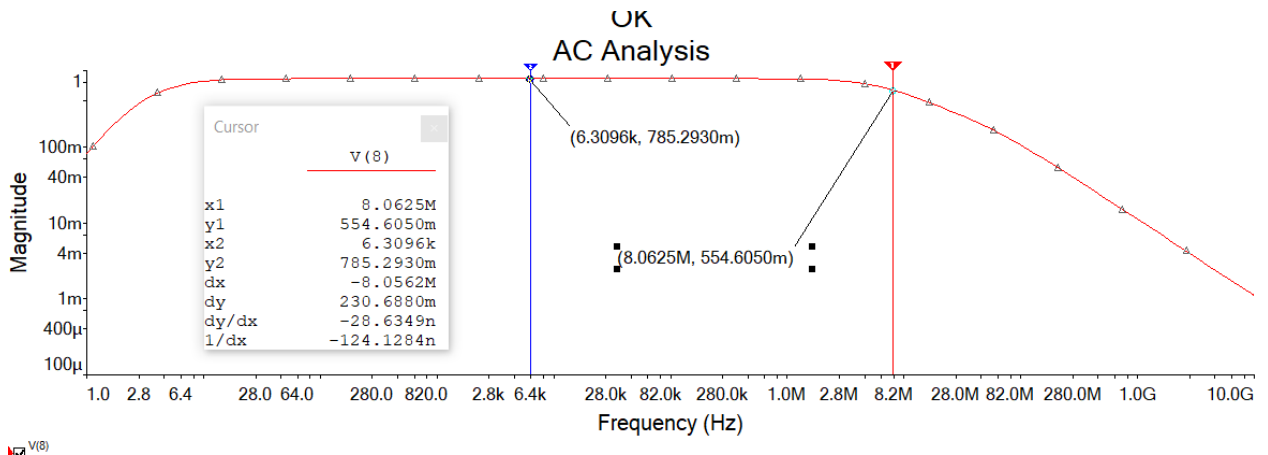


Рисунок 13 – АС анализ схемы с общим коллектором

Граничная частота находится на отметке при напряжении в $\sqrt{2}$ раз меньше максимального. Исходя из рисунка 8, получаем, что $f_v = 8,0625$ МГц

Для определения постоянной времени цепи, найдем коэффициент G по формуле:

$$G = \frac{R'_\Gamma + r_\beta + r_\epsilon}{R'_\Gamma + R_{\epsilon H} * (B + 1) + R_{ВХ\text{ тр ОК}}} = \frac{1604,3 + 0 + 24,2764}{1604,3 + 776,471 * 101 + 2451,9141} = 0,019745;$$

где $R'_\Gamma = \frac{R_\Gamma * R_\beta}{R_\Gamma + R_\beta} = \frac{2000 * 8108,108}{2000 + 8108,108} = 1,6043$ кОм; $r_\beta = 0$

Постоянную времени цепи рассчитаем по формуле:

$$\tau_v = G * (\tau_b + C_{кэ} * R_{кн}) + C_H * R_{кн}, \quad \text{где } C_H = 0\text{Ф}$$

$$\tau_b = \frac{B + 1}{2\pi f_\alpha} = 1,993755e - 6$$

$$C_{кэ} = C_{\beta K} (B + 1) = 1,515e - 9$$

$$\Rightarrow \tau_v = 0,398330792475 \text{ мкс}$$

Вывод:

В ходе решения домашнего задания были рассмотрены три способа включения биполярного транзистора, при различных выходных нагрузках. Был проведен анализ всех случаев, влияющих на схему усилительного каскада, и сопоставление их в таблицах.