



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 (ИУ6)

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ 09.03.01

**О Т Ч Е Т**

по лабораторной работе № 2

**Название:** Три схемы включения транзистора

**Дисциплина:** электроника

Студент

ИУ6-42Б

(Группа)

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата)

Д.И.Насибуллин

(И.О. Фамилия)

Преподаватель

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата)

Н.В. Аксенов

(И.О. Фамилия)

Москва, 2021

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

**Ход работы.**

Исходные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

$E_k$	$B$	$I_s$	$R_1$	$R_2$	$R_k, R_3$	$R_r$	$C_{бэ}$	$C_{бк}$	$f_\alpha$	$C_1, C_2$	$C_{блок}$	$R_n$
V		A	кОм	кОм	кОм	кОм	пФ	пФ	MHz	мкФ	мкФ	кОм
12	140	Si	30	18	4	3	7.5	20	100	2	100	3

**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.

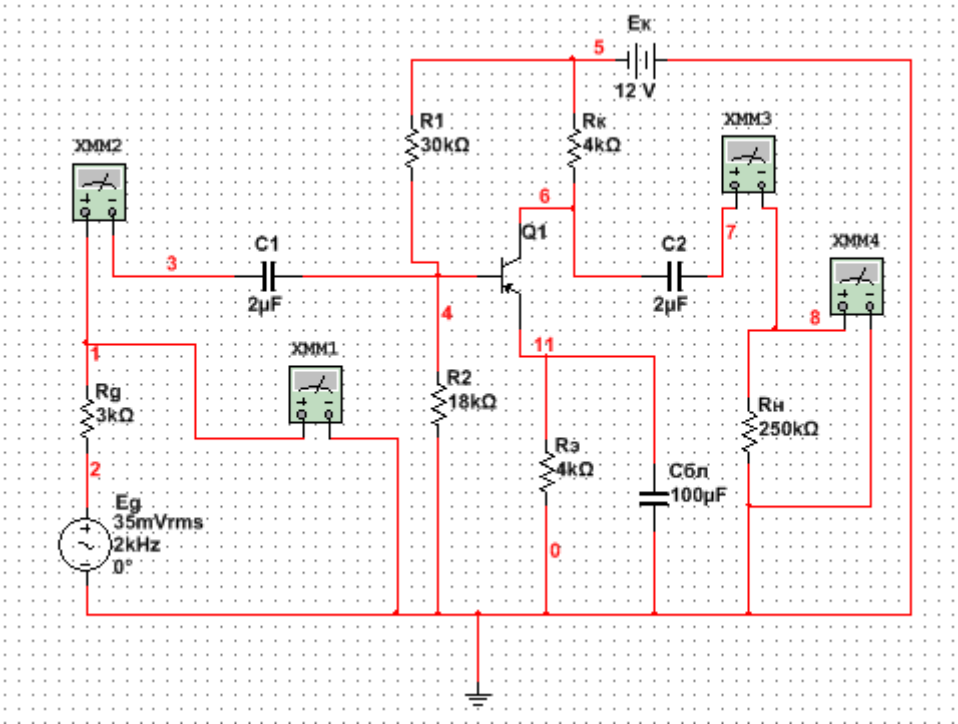


Рисунок 1 – схема с общим эмиттером

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

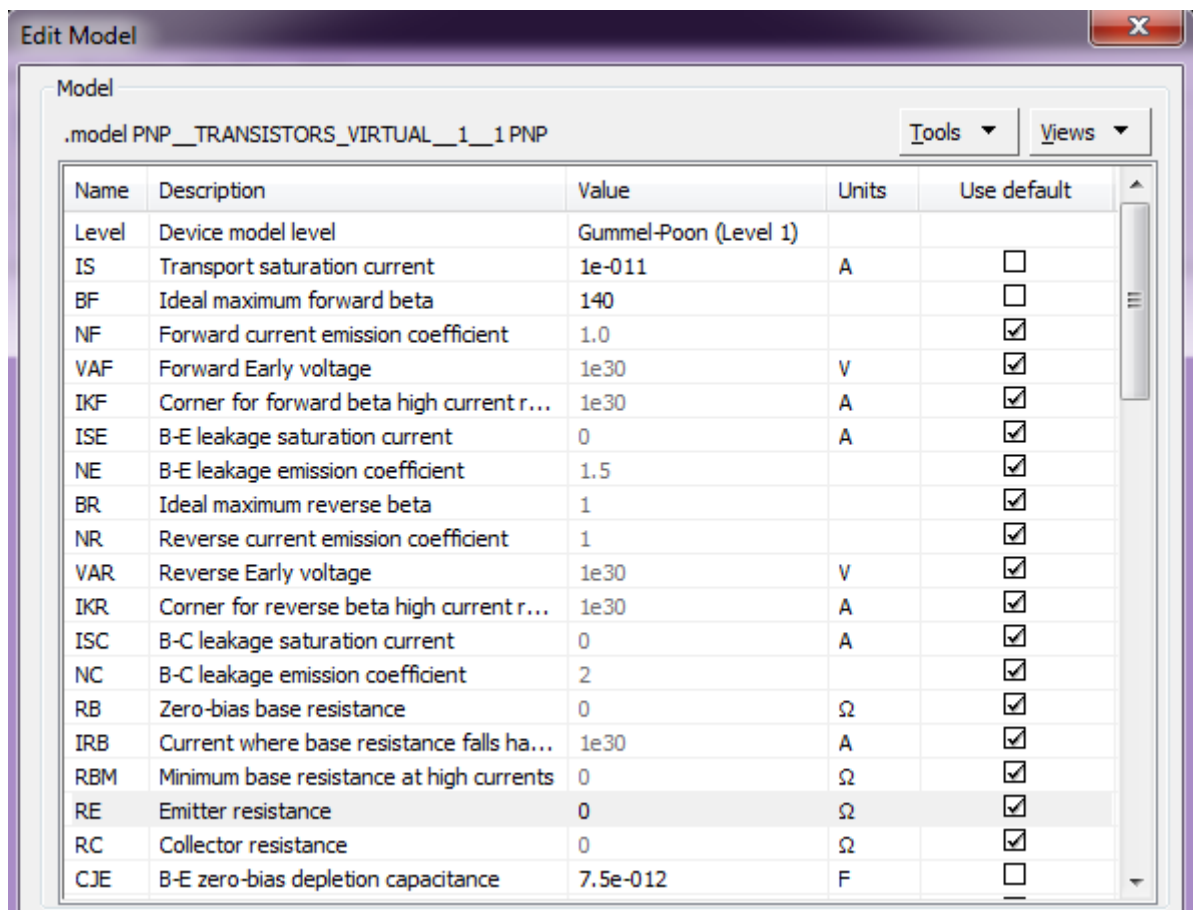


Рисунок 2 – Spice – модель транзистора

Произведем расчет входного и выходного напряжения, а так же входного и выходного тока для различных случаев нагрузочного сопротивления. Пример приведен на рисунке 4.

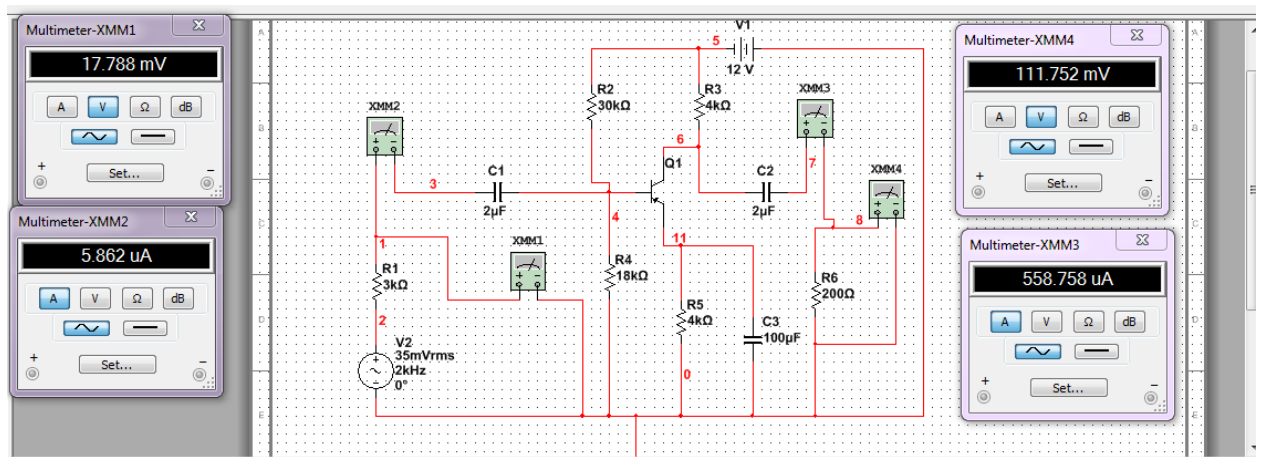


Рисунок 4 – Измерение тока и напряжения на входе и выходе схемы

По полученным данным произведем расчет коэффициентов передачи по току, напряжению и мощности, а так же входное и выходное

сопротивление. Для получения данных воспользуемся следующими формулами:

- Коэффициент передачи усилителя по току:  $K_I = \frac{I_{ВЫХ}}{I_{ВХ}}$
- Коэффициент передачи усилителя по напряжению:  $K_U = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}}$
- Коэффициент передачи усилителя по мощности:  $K_P = K_I * K_U$

Полученные результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры схемы с общим эмиттером

$R_H$	$I_{ВХ}, \text{мкА}$	$I_{ВЫХ}, \text{мкА}$	$U_{ВХ}, \text{мВ}$	$U_{ВЫХ}, \text{В}$	$K_I$	$K_U$	$K_P$
0,2 кОм	5,9	558,8	17,8	0,1	94,7	5,6	530,3
1 кОм	5,9	469,1	17,8	0,47	79,5	26,4	2098,8
3 кОм	5,9	469,1	17,8	0,47	79,5	26,4	2098,8
250 кОм	5,9	9,2	17,8	2,3	1,6	129,2	206,7

Входное сопротивление:  $R_{ВХ} = \frac{U_{ВХ}}{I_{ВХ}} = \frac{17,8 \cdot 10^{-3}}{5,9 \cdot 10^{-6}} = 3,2 \text{ кОм}$

Для расчета выходного сопротивления запустим схему в режиме холостого хода и короткого замыкания. Смотри рисунки 5 и 6.

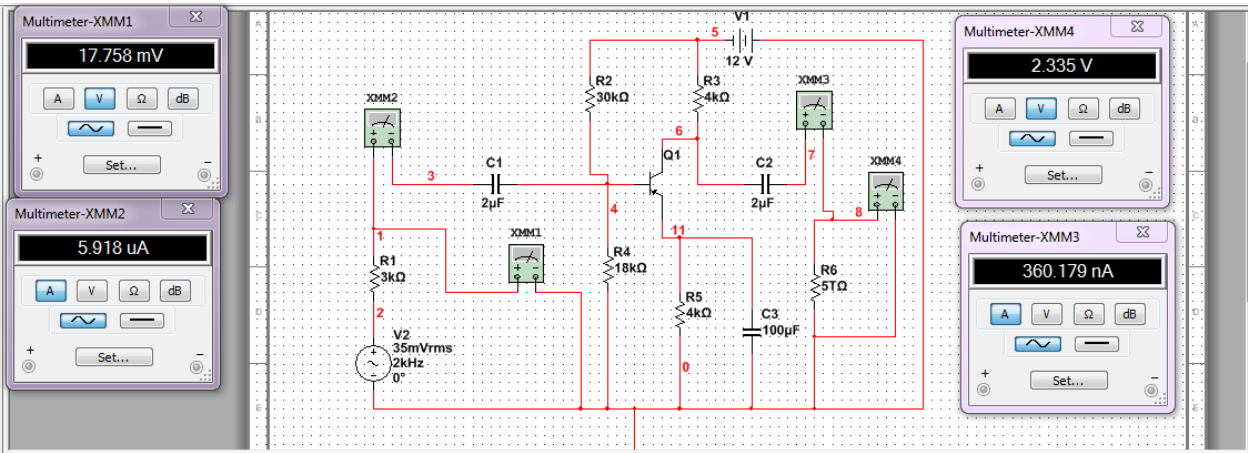


Рисунок 5 – режим холостого хода схемы

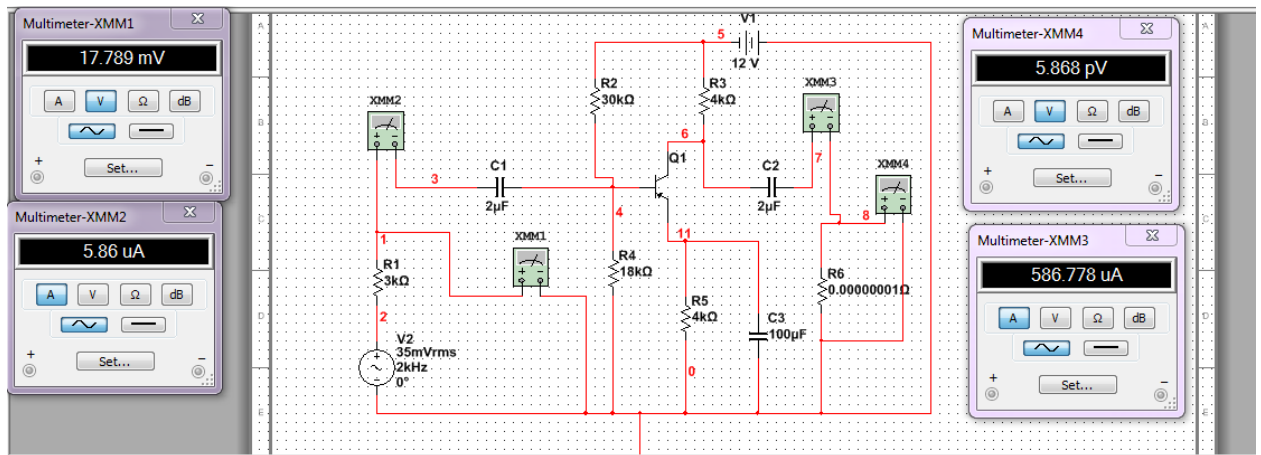


Рисунок 6 – режим короткого замыкания

Выходное сопротивление:  $R_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{xx}}}{I_{\text{кз}}} = 3,9 \text{ кОм}$

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

Коэффициенты передачи определим с помощью следующих формул:

- Входное сопротивление:  $R_{\text{вх}} = \frac{R_{\text{вх тр оз}} * R_6}{R_{\text{вх тр оз}} + R_6}$
- Сопротивление базы:  $R_6 = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$
- Входное сопротивление транзистора:  $R_{\text{вх тр оз}} = r_6 + (1 + B) * r_{\text{эм}}$ , где  $r_6 \sim 0 \text{ Ом}$ ,  $r_{\text{эм}} = \frac{\varphi}{I_{\text{эм}}}$ ;  $\varphi = 0,026 \text{ В}$

- Коэффициент передачи усилителя по току:

$$K_I = \frac{R_6}{R_6 + R_{\text{вх тр оз}}} * B * \frac{R_{\text{к}}}{R_{\text{к}} + R_{\text{н}}}$$

- Коэффициент передачи усилителя по напряжению:

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

- 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 7.

Получаем, что  $I_{\text{эм}} = 9,9 * 10^{-4}$ .

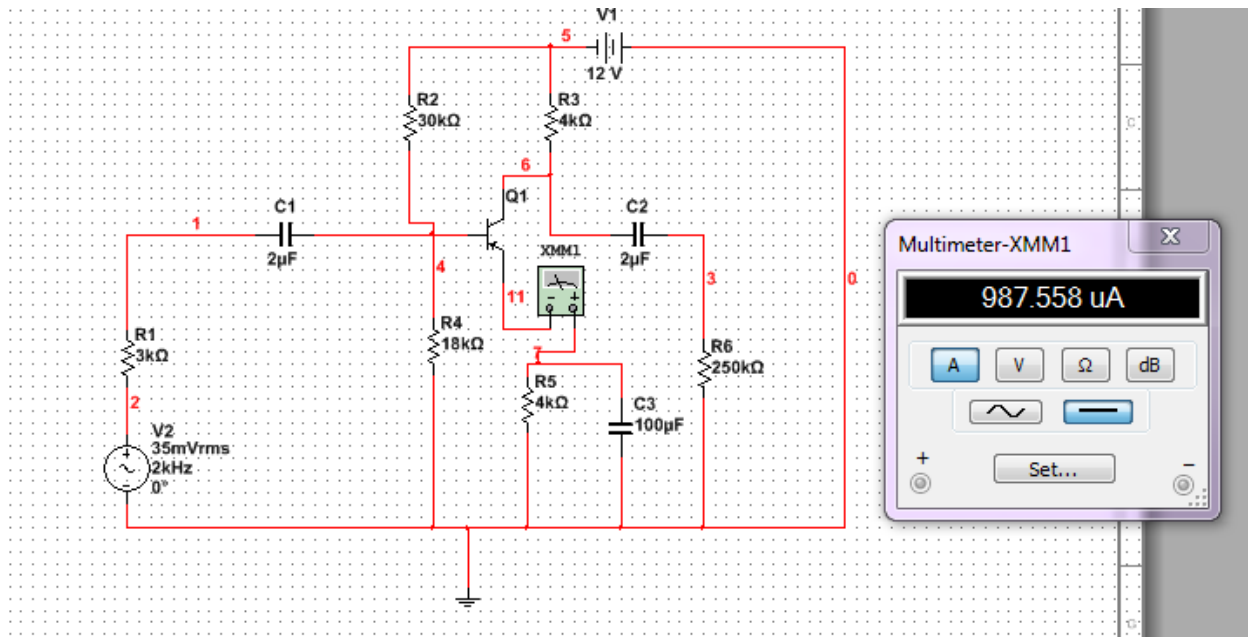


Рисунок 7 – схема с мультиметром для расчета тока эмиттера

Данные, необходимые для окончательных подсчетов:

$$r_{эм} = 26,3 \text{ Ом}$$

$$R_{вх тр оэ} = 3,71 \text{ кОм}$$

$$R_г = 11,25 \text{ кОм}$$

Таблица 3 – аналитический метод, для схемы с общим эмиттером

$R_n$	$R_{вх}$	$R_{вых}$	$R_{кн}$	$K_I$	$K_U$	$K_P$
0,2 кОм	5,9 кОм	3,9 кОм	0,19	100,3	7,2	722,2
1 кОм			0,8	84,2	30,2	2542,8
3 кОм			1,7	60,2	64,2	3864,8
250 кОм			3,9	1,7	147,2	250,2

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 8.

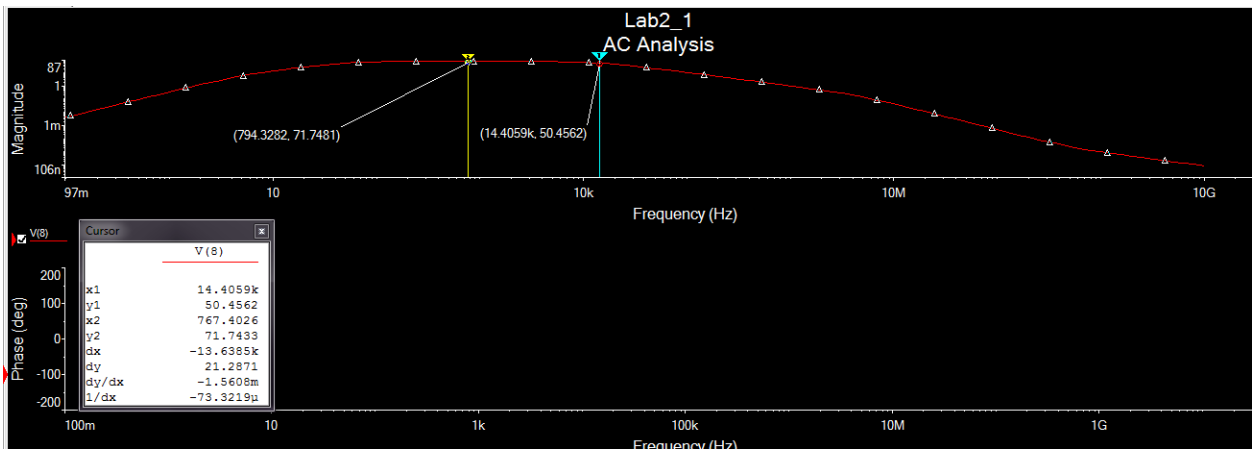


Рисунок 8 – АС анализ схемы с общим эмиттером

Граничная частота находится на отметке при напряжении в  $\sqrt{2}$  раз меньше максимального. Исходя из рисунка 8 получаем, что  $f_B = 14,4$  кГц

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

$$G = \frac{R'_\Gamma + r_\beta + r_\pi}{R'_\Gamma + R_{\text{вх тр оэ}}} = 0,4; \quad \text{где } R'_\Gamma = \frac{R_\Gamma * R_\beta}{R_\Gamma + R_\beta} = 2,4 \text{ кОм}; \quad r_\beta = 0$$

Постоянную времени цепи рассчитаем по формуле:

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

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

$$C_{\text{кэ}} = C_{\text{бк}}(B + 1) = 2,82e - 9$$

$$\tau_B = 2,8 \text{ мкс}$$

## 2) Схема с общей базой

Составим схему для транзистора с общей базой, представленной на рисунке 9.

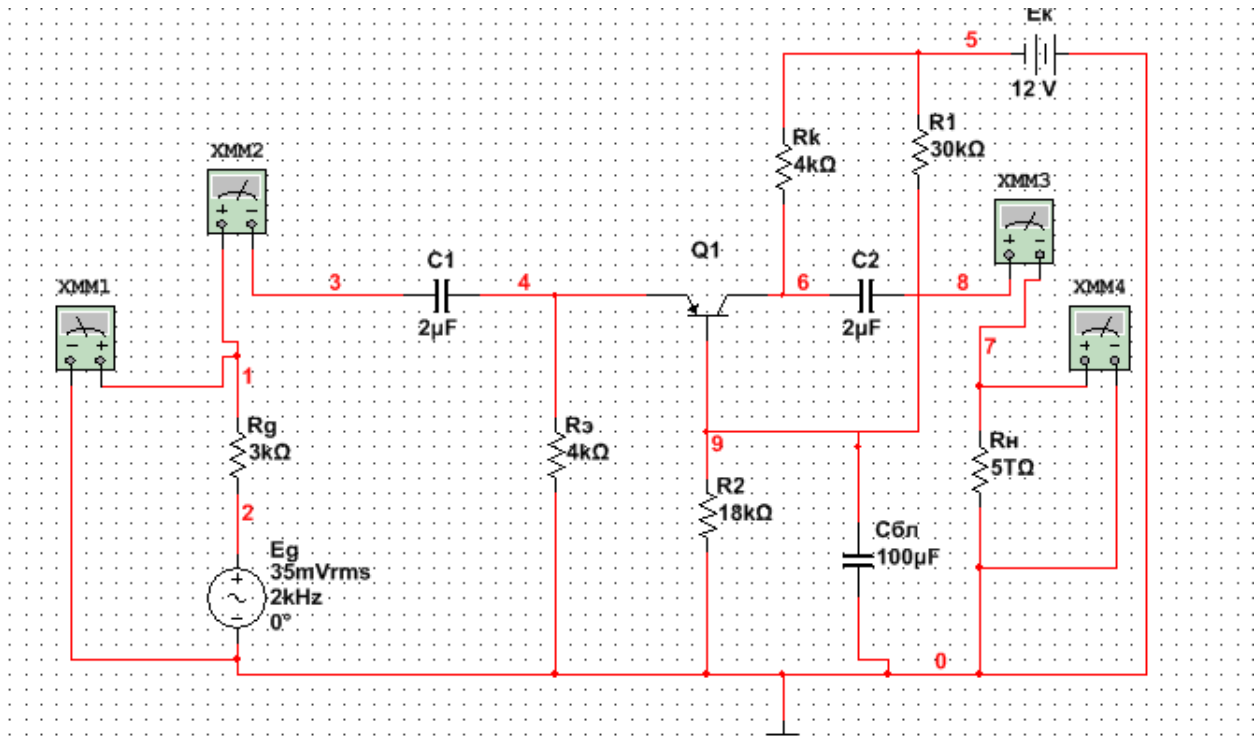


Рисунок 9 – схема с общей базой

Произведем расчет входного и выходного напряжения, а так же входного и выходного тока для различных случаев нагрузочного сопротивления аналогично рисунку 4.

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

Таблица 4 – Параметры схемы с общей базой

$R_H$	$I_{BX}, A$	$I_{ВЫХ}, A$	$U_{BX}, B$	$U_{ВЫХ}, B$	$K_I$	$K_U$	$K_P$
0,2 кОм	11,6e-6	10,9e-6	5,5e-4	2,2e-3	0,94	4	3,76
1 кОм		9,1e-6		9,1e-3	0,78	16,5	12,87
3 кОм		6,5e-6		19,6e-3	0,56	35,6	19,94
250 кОм		1,8e-7		44,9e-3	0,02	81,6	1,63

$$\text{Входное сопротивление: } R_{BX} = \frac{U_{BX}}{I_{BX}} = \frac{5,5 \cdot 10^{-4}}{11,6 \cdot 10^{-6}} = 47,4 \text{ Ом}$$



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

$$\text{Выходное сопротивление: } R_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{xx}}}{I_{\text{кз}}} = 4 \text{ кОм}$$

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

Коэффициенты передачи определим с помощью следующих формул:

- Входное сопротивление: 
$$R_{\text{вх}} = \frac{\frac{R_{\text{вх тр об}}}{B+1} * R_{\text{э}}}{\frac{R_{\text{вх тр об}}}{B+1} + R_{\text{э}}}$$
- Сопротивление базы: 
$$R_{\text{б}} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$$
- Входное сопротивление транзистора: 
$$R_{\text{вх тр об}} = r_{\text{б}} + (1 + B) * r_{\text{эм}}$$

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

- Коэффициент передачи усилителя по току:

$$K_I = \frac{R_{\text{э}} \alpha R_{\text{к}}}{\left(R_{\text{э}} + \frac{R_{\text{вх тр об}}}{B+1}\right) * (R_{\text{к}} + R_{\text{н}})}, \alpha = \frac{B}{B+1}$$

- Коэффициент передачи усилителя по напряжению:

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

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

Выполним расчет и результаты занесем в таблицу 5.

Ток эмиттера рассчитаем с помощью схемы, приведенной на рисунке 10. Получаем, что  $I_{\text{эм}} = 0,99 * 10^{-3}$

Данные, необходимые для расчета по вышеприведенным формулам:

$$r_{\text{эм}} = 26,3 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{вх тр об}} = 3708 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{б}} = 11,25 \text{ кОм}$$

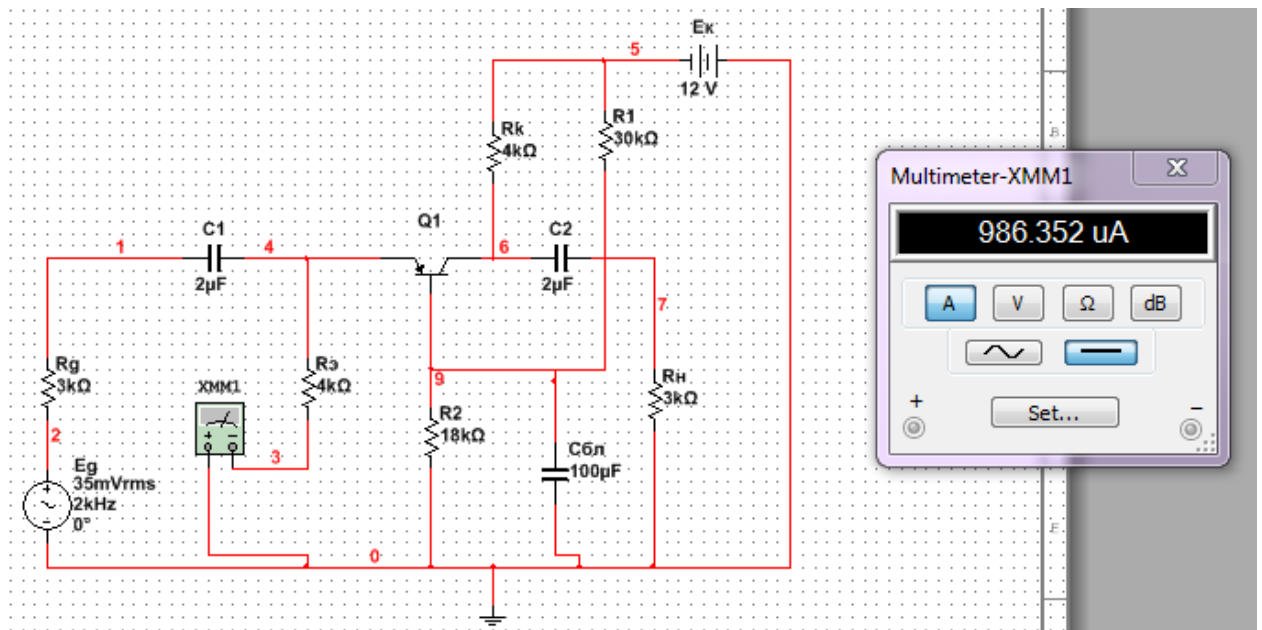


Рисунок 10 – Схема с общей базой для расчета тока эмиттера

Таблица 5 – аналитический метод для схемы с общей базой

$R_H$	$R_{BX}$	$R_{ВЫХ}$	$R_{KH}$	$K_I$	$K_U$	$K_P$
0,2 кОм	26,1 Ом	4 кОм	0,19	0,94	7,2	6,8
1 кОм			0,8	0,79	30,2	23,9
3 кОм			1,7	0,56	64,8	36,5
250 кОм			3,9	0,02	148,8	2,3

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 11.

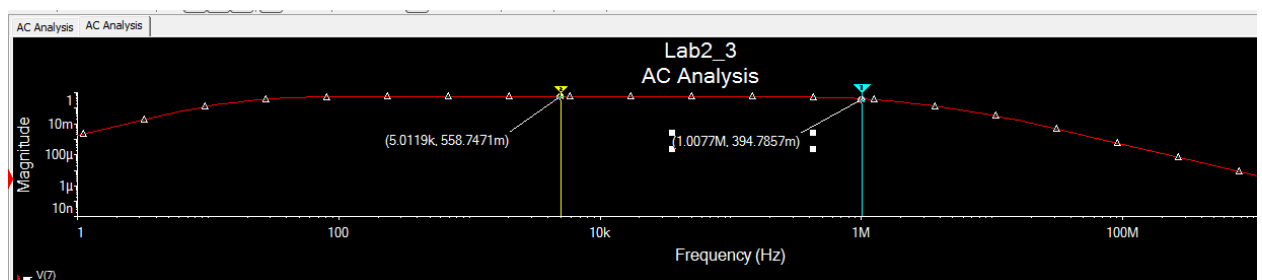


Рисунок 11 – AC анализ схемы с общей базой

Граничная частота находится на отметке при напряжении в  $\sqrt{2}$  раз меньше максимального. Исходя из рисунка 8, получаем, что  $f_b = 1$  МГц

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

$$G = \frac{R'_r + r_6 + r_3}{R'_r(B + 1) + R_{вх\text{тр об}}} = 0,007; \quad \text{где } R'_r = \frac{R_r * R_6}{R_r + R_6} = 2,4 \text{ кОм}; \quad r_6 = 0$$

Постоянную времени цепи рассчитаем по формуле:

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

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

$$C_{кз} = C_{бк}(B + 1) = 2,82e - 9$$

$$\tau_B = 4,8 \text{ мкс}$$

### 3) Схема с общим коллектором

Составим схему для транзистора с общей базой, представленной на рисунке 12.

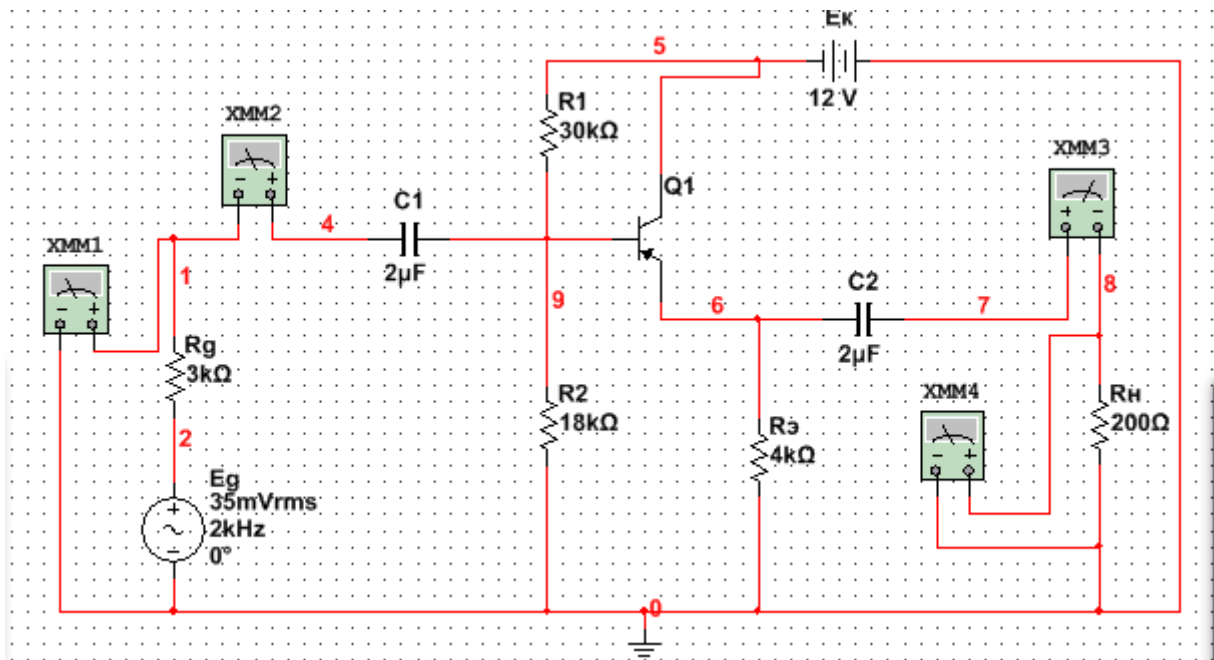


Рисунок 12 – схема с общим коллектором

Произведем расчет входного и выходного напряжения, а так же входного и выходного тока для различных случаев нагрузочного сопротивления аналогично рисунку 4.

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

Таблица 6 – Параметры схемы с общим коллектором

$R_{BX}$ кОм	$R_H$ кОм	$I_{BX}$ мкА	$I_{ВЫХ}$ мкА	$U_{BX}$ мВ	$U_{ВЫХ}$ мВ	$K_I$	$K_U$	$K_P$
7,2	0,2	3,1	111,4	25,8	22,3	35,94	0,86	30,87
10,4	1	2,6	26,2	27,1	26,2	10,08	0,97	9,78
10,9	3	2,5	8,98	27,3	26,9	3,59	0,98	3,52
11	250	2,5	0,11	27,5	27,3	0,04	0,99	0,0396

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

Выходное сопротивление:  $R_{ВЫХ} = \frac{U_{XX}}{I_{КЗ}} = 57 \text{ Ом}$

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

Коэффициенты передачи определим с помощью следующих формул:

- Входное сопротивление:  $R_{BX} = \frac{(R_{BX \text{ тр}} + (B+1) \cdot R_{ЭН}) \cdot R_6}{(R_{BX \text{ тр}} + (B+1) \cdot R_{ЭН}) + R_6}$
- Сопротивление базы:  $R_6 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$
- Входное сопротивление транзистора:  $R_{BX \text{ тр ок}} = r_6 + (1 + B) \cdot r_{ЭМ}$ , где  $r_6 \sim 0 \text{ Ом}$ ,  $r_{ЭМ} = \frac{\varphi}{I_{ЭМ}}$ ;  $\varphi = 0,026 \text{ В}$

- Коэффициент передачи усилителя по току:  

$$K_I = \frac{R_6(B+1)R_9}{(R_6 + R_{BX \text{ тр}} + (B+1) \cdot R_9) \cdot (R_9 + R_H)}$$

- Коэффициент передачи усилителя по напряжению:  

$$K_U = (B + 1) \cdot \frac{R_{ЭН}}{R_{BX \text{ тр ок}} + (B+1) \cdot R_9}; R_{ЭН} = \frac{R_9 \cdot R_H}{R_9 + R_H}$$

- Коэффициент передачи усилителя по мощности:  $K_P = K_I \cdot K_U$

- Выходное сопротивление: 
$$R_{\text{ВЫХ}} = \frac{R_3 * (r_3 + \frac{R'_\Gamma + r_6}{B+1})}{R_3 + (r_3 + \frac{R'_\Gamma + r_6}{B+1})}$$

Выполним расчет и результаты занесем в таблицу 7.

Ток эмиттера рассчитаем с помощью схемы, приведенной на рисунке

13. Получаем, что  $I_{\text{ЭМ}} = 0.986 * 10^{-3}$

Данные, необходимые для расчета по вышеприведенным формулам:

$$r_{\text{ЭМ}} = 26,37 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{ВХ ТР ОК}} = 3718 \text{ Ом}$$

$$R_6 = 11,25 \text{ кОм}$$

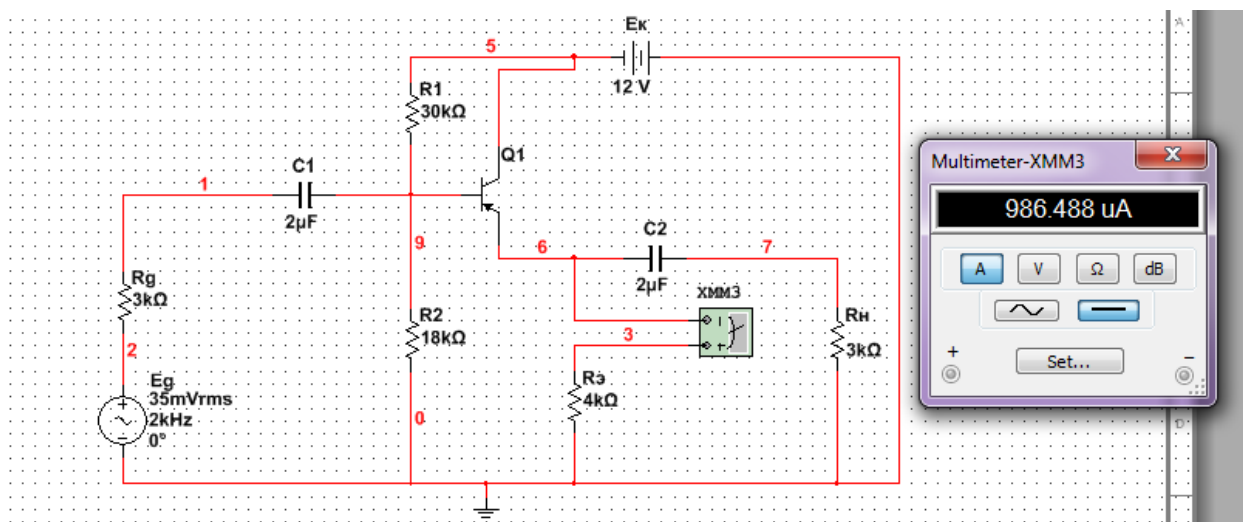


Рисунок 13 - Схема с общим коллектором для расчета тока эмиттера

Таблица 7 – Параметры схемы с общим коллектором

$R_n, \text{Ом}$	$R_{\text{ЭН}}, \text{Ом}$	$R_{\text{ВХ}}, \text{Ом}$	$K_I$	$K_U$	$K_P$
200	190,4	8222,9	36,1	0,88	31,75
1000	800	10259,3	9,9	0,97	9,62
3000	1714,3	10756,9	3,5	0,98	3,48
250000	3937	11027,9	0,04	0,99	0,0435

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.

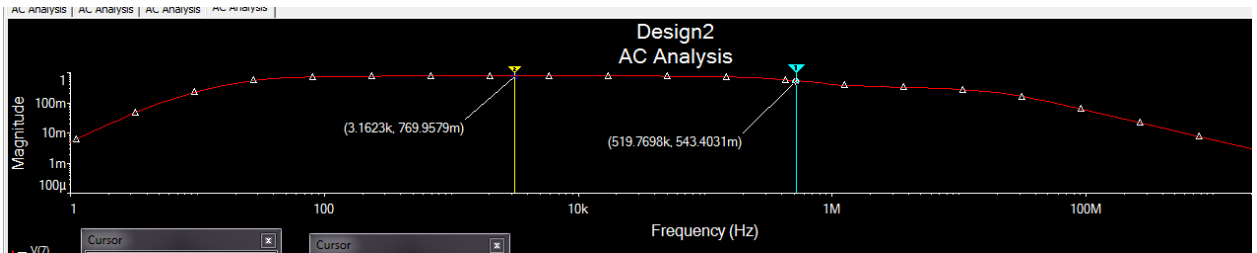


Рисунок 14 – AC анализ схемы с общим коллектором

Граничная частота находится на отметке при напряжении в  $\sqrt{2}$  раз меньше максимального. Исходя из рисунка 8, получаем, что  $f_B = 519,7$  кГц

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

$$G = \frac{R'_\Gamma + r_\delta + r_\varepsilon + R_{\varepsilon H}}{R'_\Gamma + R_{\varepsilon H} * (B + 1) + R_{\text{вх тр об}}} = 0,017;$$

$$\text{где } R'_\Gamma = \frac{R_\Gamma * R_\delta}{R_\Gamma + R_\delta} = 2,4 \text{ кОм}; \quad r_\delta = 0$$

Постоянную времени цепи рассчитаем по формуле:

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

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

$$C_{\text{кэ}} = C_{\text{бк}}(B + 1) = 2,82e - 9$$

$$\tau_B = 0,12 \text{ мкс}$$

**Вывод:** изучили, как влияют различные способы включения биполярного транзистора и величина сопротивления нагрузки на свойства усилительного каскада.