



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 лабораторной работе № 2

Тема: Три схемы включения транзистора (Вариант 13)

Дисциплина: Электроника

Студент

ИУ6-42Б  
(Группа)

13.05.24

(Подпись, дата)

А. П. Плюitto

(И. О. Фамилия)

Преподаватель

13.05.24

(Подпись, дата)

Н. В. Аксенов

(И. О. Фамилия)

Москва, 2024

## Содержание

1. Задание .....	3
1.1. Цель работы .....	3
1.2. Задание .....	3
1.3. Параметры схемы .....	3
2. Схема с общим эмиттером .....	4
3. Схема с общей базой .....	7
4. Схема с общим коллектором .....	9
5. Аналитический расчет .....	12
5.1. Общий эмиттер .....	13
5.2. Общая база .....	15
5.3. Общий коллектор .....	17
6. Вывод .....	20

# 1. Задание

## 1.1. Цель работы

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

## 1.2. Задание

Подготовить к работе схему в Multisim. Подключить к ней измерительные приборы, подать питание.

1. Подавая на вход схемы синусоидальный сигнал с частотой  $f_c = 2$  кГц (средняя частота для усилителя) и напряжением  $U_r = 35$  мВ, для каждого из усилительных каскадов ОЭ, ОБ, ОК провести экспериментальную оценку малосигнальных параметров каскада  $R_{вх}$ ,  $k_i$ ,  $k_u$ ,  $k_p$ ,  $R_{вых}$  различных сопротивлений нагрузки  $R_H$ . Построить зависимости параметров усилителя от  $R_H$ . При оценке выходного сопротивления усилителя  $R_{вых} = \frac{U_{вых\ xx}}{i_{вых\ кз}}$  будем считать, что холостой ход на выходе усилителя возникает, если установить  $R_H = R_{H\ макс}$ , а режим короткого замыкания – при  $R_H = R_{H\ мин}$ .
2. Используя формулы таблицы, оценить те же параметры усилителя и вычислить относительное расхождение между экспериментальными и аналитическими результатами.
3. Пользуясь экспериментальными данными определить, какой каскад и при каких  $R_H$  обладает наибольшим усилением по мощности. Объясните почему?
4. Дать заключение, как соотносятся между собой у различных каскадов  $k_i$ ,  $k_u$ ,  $R_{вх}$ ,  $R_{вых}$ . Объясните полученные результаты.
5. Экспериментально определить верхнюю граничную частоту для каждого из каскадов ОЭ, ОБ и ОК при  $R_H$  указанном в варианте. Напряжение на выходе ГСС поддерживать неизменным на всех частотах и равным 35 мВ.
6. Рассчитать  $f_v$  для каждого каскада и сопоставить расчетные и экспериментально полученные значения между собой.

## 1.3. Параметры схемы

$N$	$E_k$	$B$	$I_s$	$R_1$	$R_2$	$R_k, R_3$	$R_T$	$C_{бэ}$	$C_{бк}$	$f_\alpha$	$C_1, C_2$	$C_{блок}$	$R_H$
	В		А	кОм	кОм	кОм	кОм	пФ	пФ	МГц	нФ	нФ	кОм
13	12	100	Ge	10	5	3	3	3	5	100	2	100	4

## 2. Схема с общим эмиттером

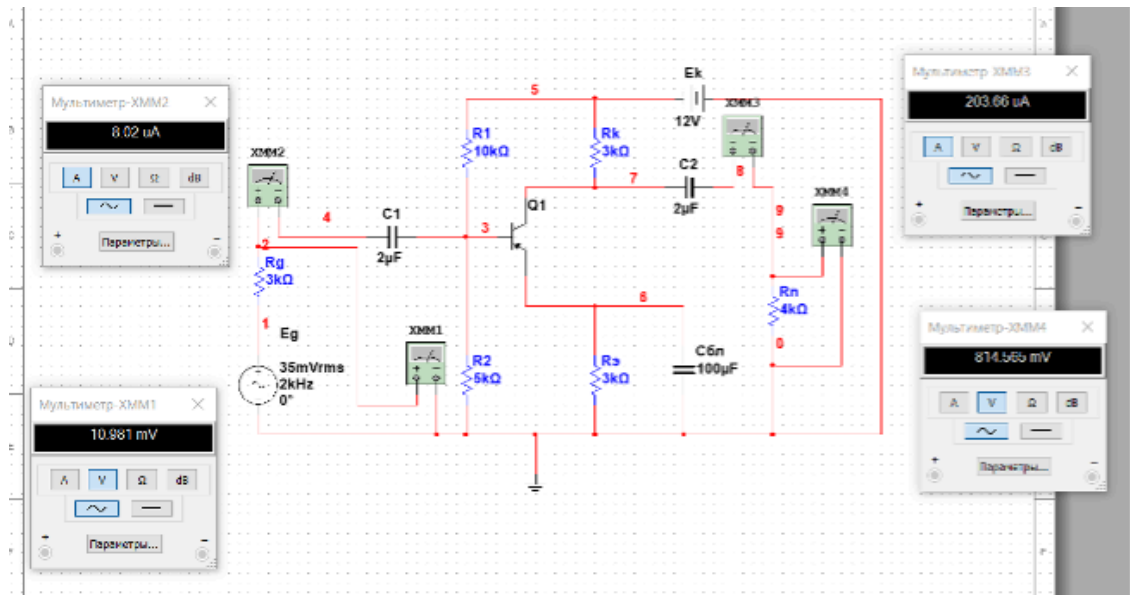


Рисунок 1 — Схема с общим эмиттером

Проведем несколько измерений тока и напряжения с разной нагрузкой (сопротивлением):

$R_H$ , Ом	100	1k	4k	100k
$U_{BX}$ , В	0,0109	0,0109	0,0109	0,0109
$I_{BX}$ , А	$8,02 \cdot 10^{-6}$	$8,02 \cdot 10^{-6}$	$8,02 \cdot 10^{-6}$	$8,02 \cdot 10^{-6}$
$U_{ВЫХ}$ , В	0,459	0,356	0,8145	1,38
$I_{ВЫХ}$ , А	0,000459	0,000356	0,0002036	$1,38 \cdot 10^{-8}$

Ниже представлена схема с холостым ходом, где  $R_H = 5 \text{ ТОм}$ .

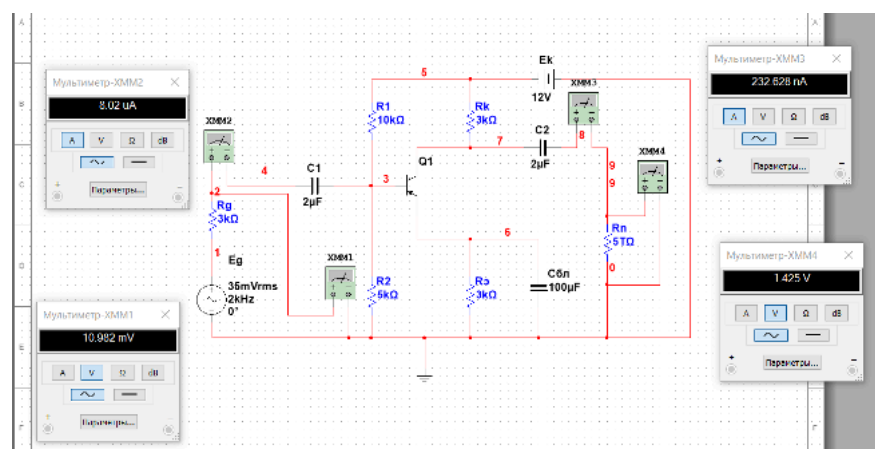


Рисунок 2 — Холостой ход

Также находим значение тока при коротком замыкании,  
 $R_H = 0.0000001 \text{ Ом}$ .

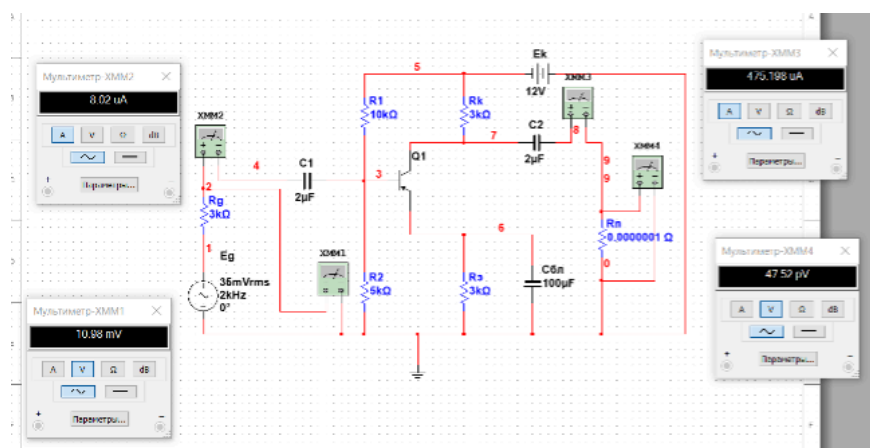


Рисунок 3 — Короткое замыкание

С помощью данных, представленных выше (рисунки 3, 4) находим

$$R_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{xx}}}{I_{\text{кз}}} = \frac{1.4}{0.000475} = 2947.36 \text{ ом}$$

Рассчитываем коэффициент передачи усилителя по току  $K_i$ , коэффициент передачи усилителя по напряжению  $K_u$ , коэффициент усиления мощности  $K_p$  и входное сопротивление  $R_{\text{вх}}$ .

Входное сопротивление  $R_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вх}}}{I_{\text{вх}}}$

Коэффициент передачи усилителя по току  $K_i = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}}$

Коэффициент передачи усилителя по напряжению  $K_u = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$

Коэффициент усиления мощности  $K_p = K_i K_u$

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

$R_{\text{вх}}, \text{ Ом}$	1359,102	1359,102	1359,102	1359,102
$k_i$	57,232	44,389	25,387	0,002
$k_u$	42,110	32,661	74,725	126,606
$k_p$	2410,041	1449,770	1897,003	0,218

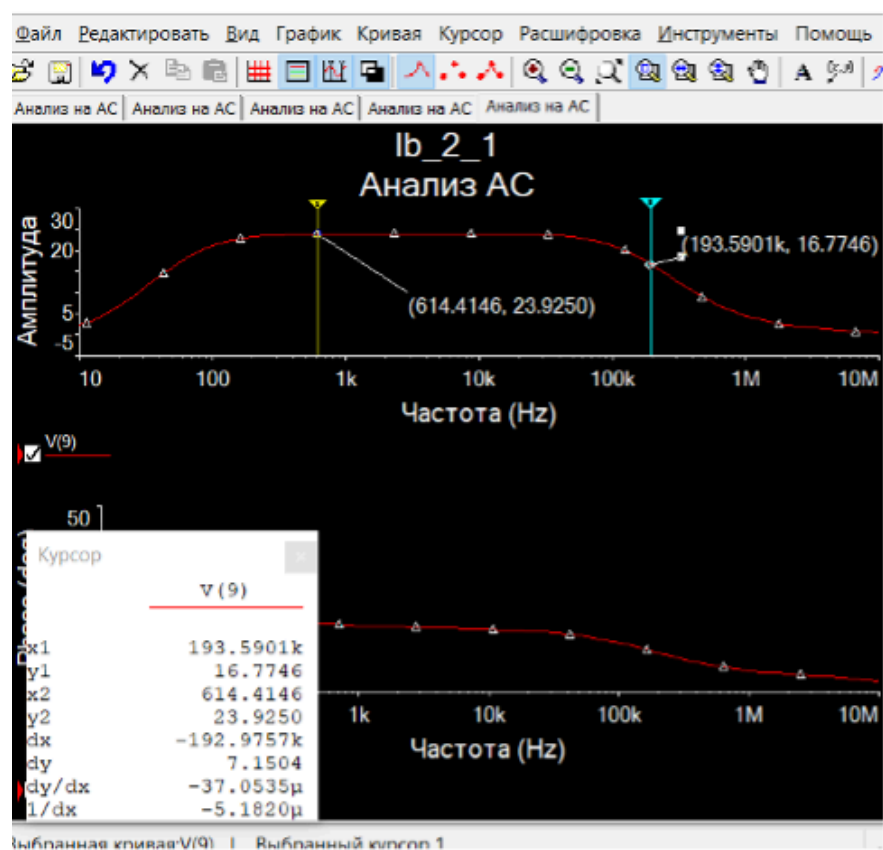


Рисунок 4 — Частотный анализ

На сопротивлении 5 кОм максимальное напряжение – 23, 925В.  
 Граничная частота на напряжении  $\sqrt{2}f_{\max} = 193 \text{ kHz}$ .

### 3. Схема с общей базой

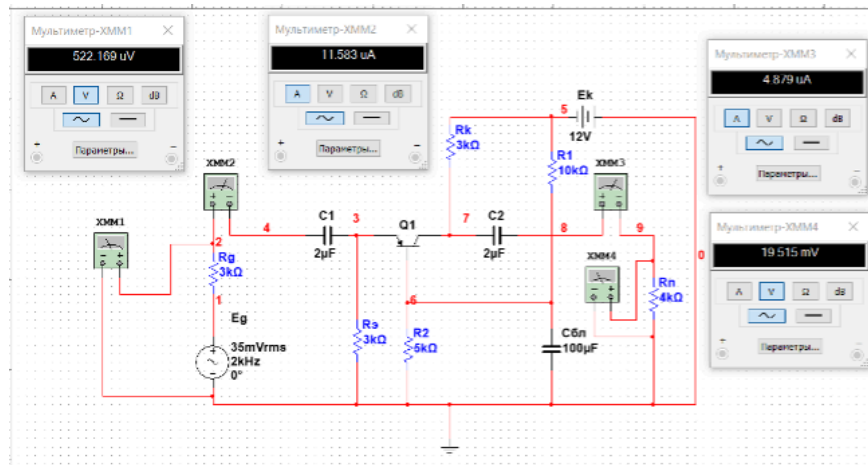


Рисунок 5 — Схема с общей базой

Проведем несколько измерений тока и напряжения с разной нагрузкой (сопротивлением):

$R_H$ , Ом	100	1k	4k	100k
$U_{BX}$ , В	0,522	0,522	0,522	0,522
$I_{BX}$ , А	0,0000115	0,0000115	0,0000115	0,0000115
$I_{ВЫХ}$ , А	0,000011	0,0000085	0,0000048	$3,309 \cdot 10^{-7}$
$U_{ВЫХ}$ , В	0,001102	0,0085	0,0195	0,0331

Ниже представлена схема с холостым ходом, где  $R_H = 5$  ТОм.

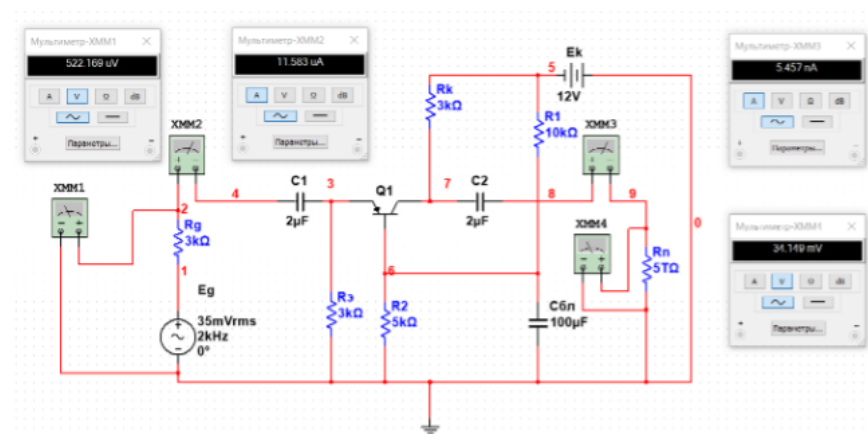


Рисунок 6 — Холостой ход

Также находим значение тока при коротком замыкании,  $R_H = 0.0000001$  Ом.

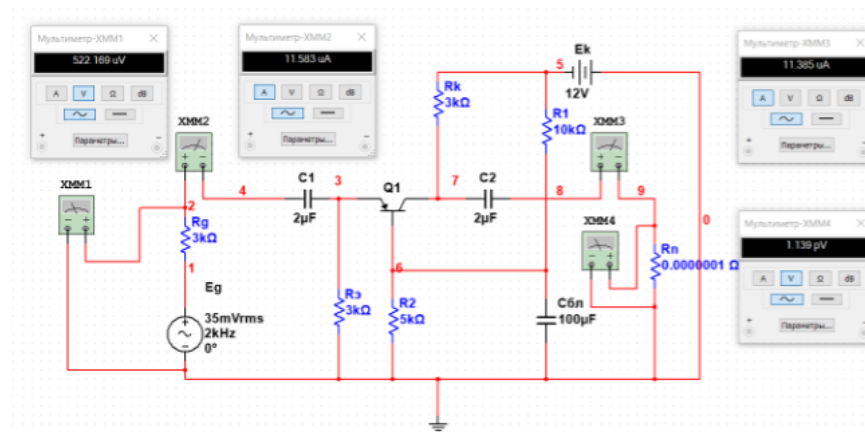


Рисунок 7 — Короткое замыкание

С помощью данных, представленных выше (рисунки 7, 8) находим

$$R_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{xx}}}{I_{\text{кз}}} = 0, \frac{0341}{0}, 0000113 = 3017 \text{ ом}$$

Рассчитываем коэффициент передачи усилителя по току  $K_i$ , коэффициент передачи усилителя по напряжению  $K_u$ , коэффициент усиления мощности  $K_p$  и входное сопротивление  $R_{\text{вх}}$ .

$R_{\text{вх}}$ , Ом	45391,30435	45391,30435	45391,30435	45391,30435
$k_i$	0,956521739	0,739130435	0,417391304	0,028773913
$k_u$	0,002111111	0,016283525	0,037356322	0,063409962
$k_p$	0,002019324	0,012035649	0,015592204	0,001824553

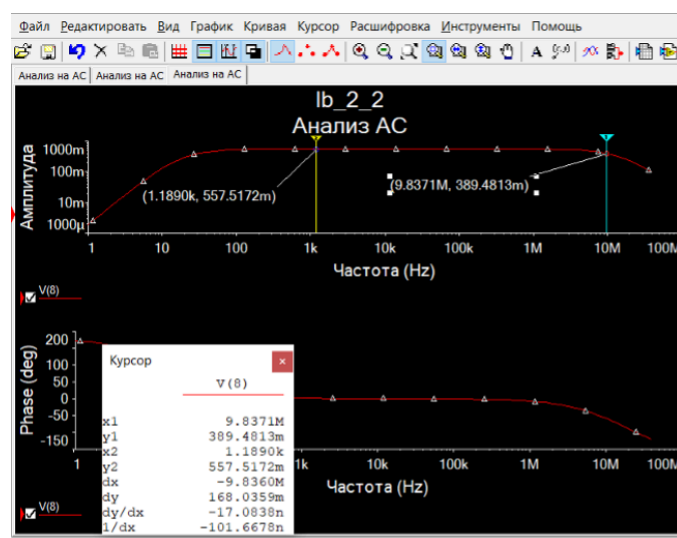


Рисунок 8 — Частотный анализ

На сопротивлении 5 кОм максимальное напряжение – 0,5575В.  
Граничная частота на напряжении  $\sqrt{2}f_{\text{max}} = 9,8 \text{ мГц}$ .



#### 4. Схема с общим коллектором

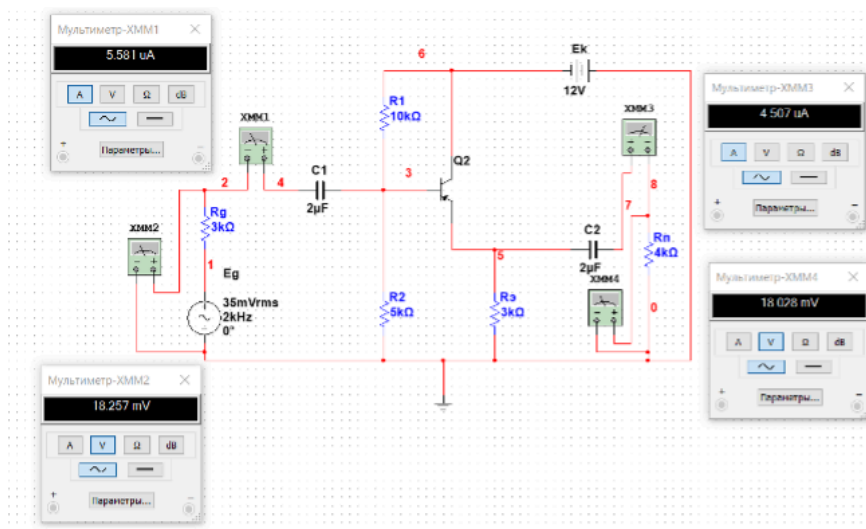


Рисунок 9 — Схема с общим коллектором

Проведем несколько измерений тока и напряжения с разной нагрузкой (сопротивлением):

$R_H$ , Ом	100	1k	4k	100k
$U_{BX}$ , В	0,0164	0,018	0,0182	0,0183
$I_{BX}$ , А	0,0000061	0,0000056	0,0000055	0,0000055
$I_{ВЫХ}$ , А	0,0001277	0,0000175	0,0000045	0,000000181
$U_{ВЫХ}$ , В	0,0127	0,0175	0,018	0,0181

Ниже представлена схема с холостым ходом, где  $R_H = 5 \text{ ТОм}$ .

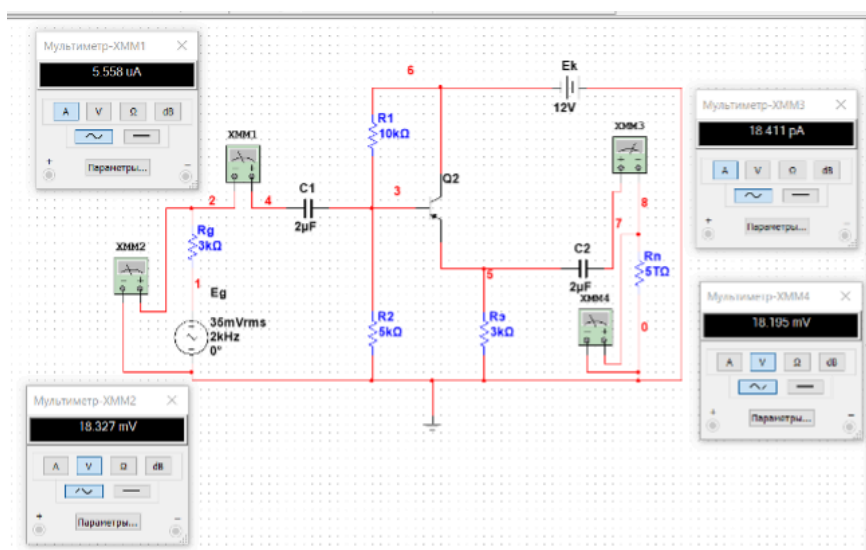


Рисунок 10 — Холостой ход

Также находим значение тока при коротком замыкании,  
 $R_H = 0.0000001 \text{ Ом}$ .

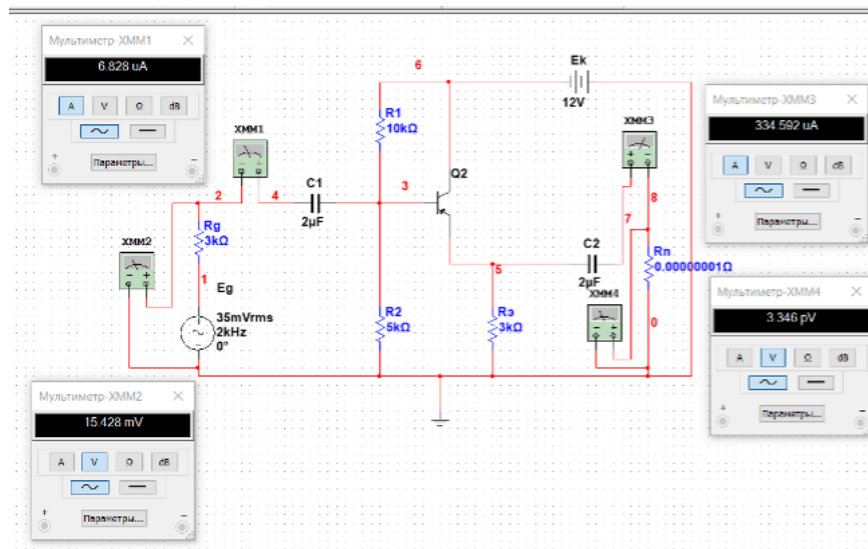


Рисунок 11 — Короткое замыкание

С помощью данных, представленных выше (рисунки 11, 12) находим  
 $R_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{xx}}}{I_{\text{кз}}} = 0, \frac{0181}{0}, 000334 = 54, 19 \text{ Ом}$

Рассчитываем коэффициент передачи усилителя по току  $K_i$ , коэффициент передачи усилителя по напряжению  $K_u$ , коэффициент усиления мощности  $K_p$  и входное сопротивление  $R_{\text{ВХ}}$ .

$R_{\text{ВХ}}, \text{Ом}$	2688,52459	3214,285714	3309,090909	3327,272727
$k_i$	20,93442623	3,125	0,818181818	0,032909091
$k_u$	0,774390244	0,972222222	0,989010989	0,989071038
$k_p$	16,21141543	3,038194444	0,809190809	0,032549429

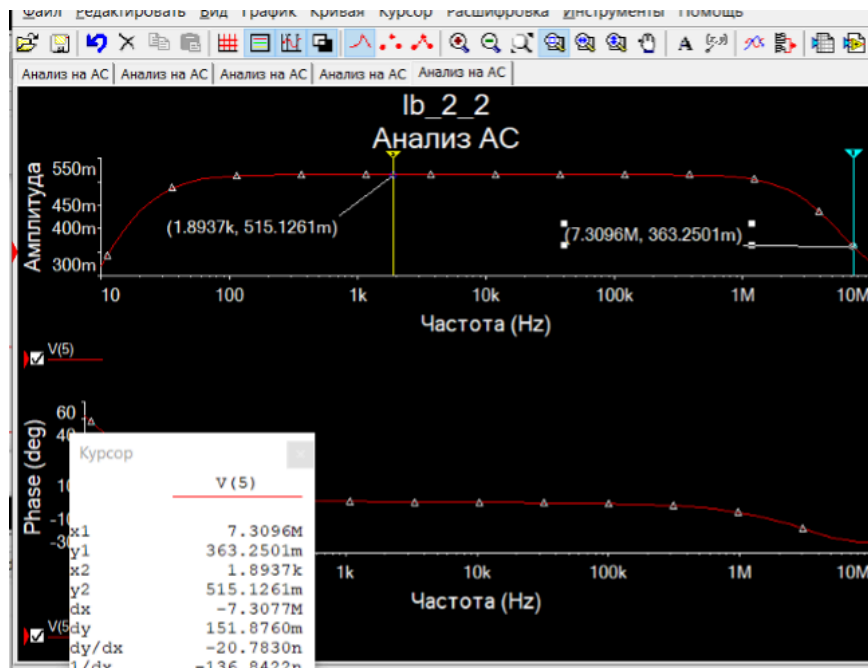


Рисунок 12 — Частотный анализ

На сопротивлении 5 кОм максимальное напряжение – 0,515В.  
Граничная частота на напряжении  $\sqrt{2}f_{\max} = 7,9$  мГц.

## 5. Аналитический расчет

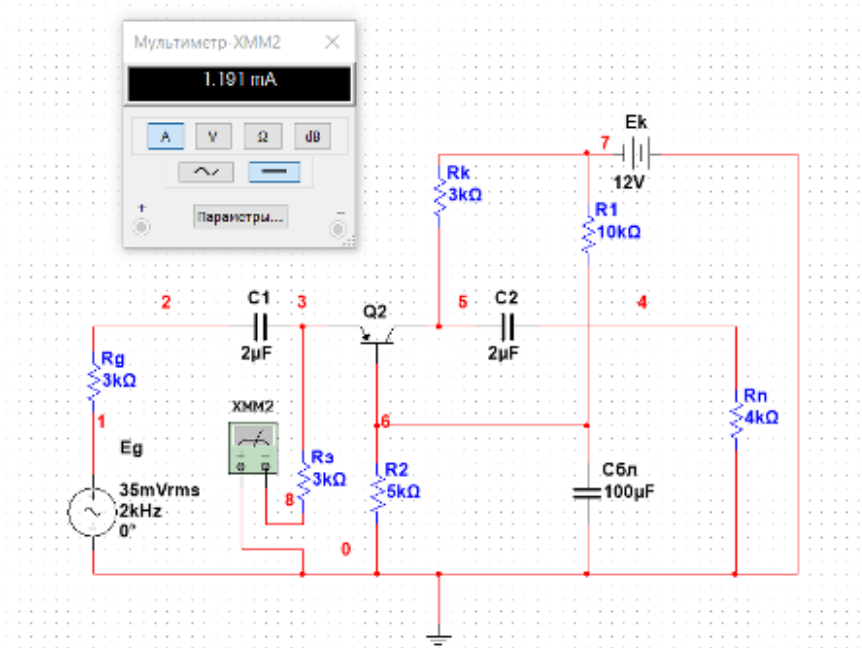


Рисунок 13 — Ток для эмиттера

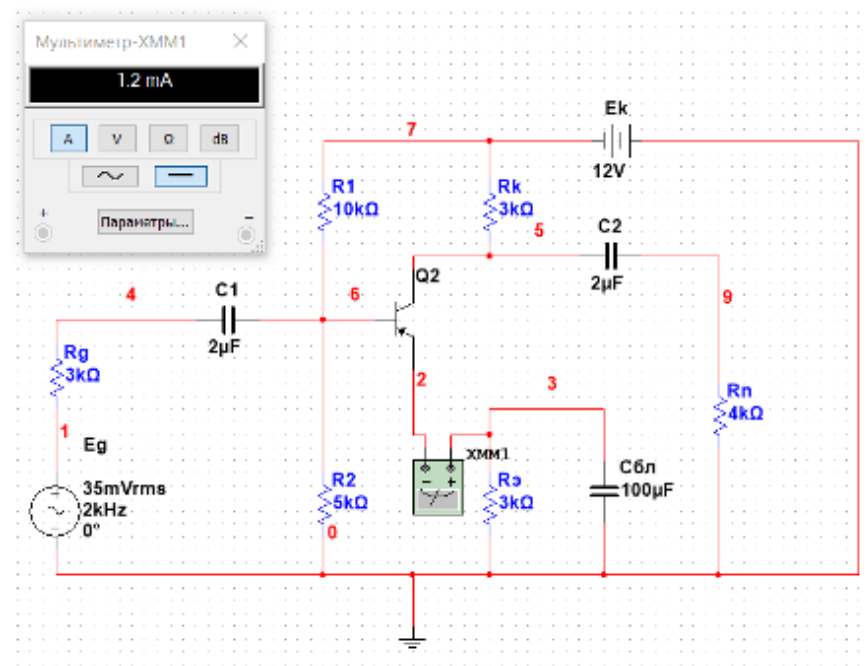


Рисунок 14 — Ток для базы

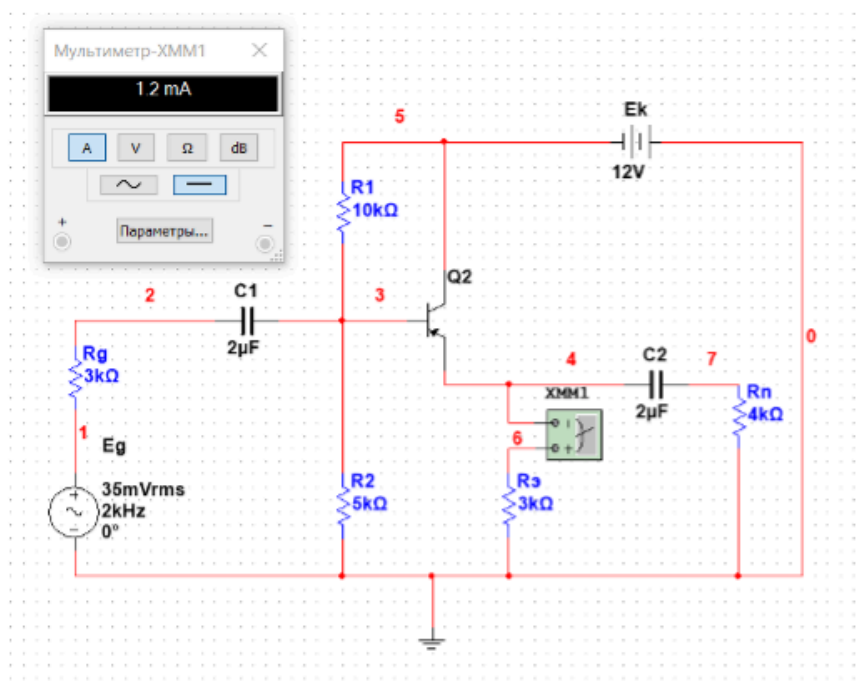


Рисунок 15 — Ток для коллектора

$$I_{\text{э}} = 0,00119\text{A}$$

$$I_{\text{б}} = 0,0012\text{A}$$

$$I_{\text{к}} = 0,0012\text{A}$$

## 5.1. Общий эмиттер

Входное сопротивление	$R_{\text{вх}} = R_{\text{вх тр оэ}} \parallel R_{\text{б}}$
	$R_{\text{вх}} = \frac{R_{\text{вх тр оэ}} * R_{\text{б}}}{R_{\text{вх тр оэ}} + R_{\text{б}}}$
Сопротивление базы	$R_{\text{б}} = R_1 \parallel R_2$
	$R_{\text{б}} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$
Входное сопротивление транзистора	$R_{\text{вх тр оэ}} = r_{\text{баз}} + (1 + B) * r_{\text{эм}}$
	$r_{\text{баз}} \approx 0\Omega$
Сопротивление эмиттера	$r_{\text{эм}} = \frac{\varphi}{I_{\text{эм}}} \Omega$
	$\varphi = k \frac{T}{q} = 0.026$

Коэффициент передачи по току	$K_i = \frac{R_{\text{г}}}{R_{\text{г}}} + R_{\text{вх тр оэ}} * B * \frac{R_{\text{к}}}{R_{\text{к}}} + R_{\text{н}}$
Коэффициент передачи по напряжению	$K_u = \frac{B * R_{\text{кн}}}{R_{\text{вх тр оэ}}}$
	$R_{\text{кн}} = R_{\text{к}} \parallel R_{\text{н}}$
Коэффициент мощности	$K_p = K_i * K_u$

$R_{\text{г}}, \text{ Ом}$	3333.333333
$R_{\text{эм}}, \text{ Ом}$	21.8487395
$R_{\text{вх тр оэ}}, \text{ Ом}$	1332.773109
$R_{\text{вх}}, \text{ Ом}$	952.0950894

$R_{\text{н}}, \text{ Ом}$	100	1000	4000	100000
$k_i$	41.47963393	32.14671629	18.36955217	1.248416167
$k_u$	4.356669243	33.76418663	77.17528373	131.1230549
$k_p$	180.7130453	1085.407729	1417.675401	163.6961415
$\Delta k_i$	40.52311219	31.40758586	17.95216086	1.219642254
$\Delta k_u$	4.354558132	33.74790311	77.13792741	131.0596449
$\Delta k_p$	180.711026	1085.395693	1417.659808	163.694317
$\psi k_i \%$	43.36507183	43.49261616	44.0103854	43.38708346
$\psi u \%$	2063.685431	2073.518285	2065.92298	2067.862074
$\psi k_p \%$	89491.86695	90182.73487	90922.06655	89718.50439

Далее рассчитаем частоту.

$$f_{\text{в}} = \frac{1}{2 * \pi * \tau_{\text{в}}}$$

$$\tau_{\text{в}} = G(\tau_{\text{в}} + C_{\text{кз}} R_{\text{кн}}) + C_{\text{н}} R_{\text{кн}} \quad (C_{\text{н}} \rightarrow 0 \text{ Ф})$$

$$R_{\text{кн}} = R_{\text{к}} \parallel R_{\text{н}}$$

$$G = \frac{R_{\text{г}} + r_{\text{г}} + r_{\text{э}}}{R_{\text{г}} + R_{\text{вх тр оэ}}} \quad (r_{\text{г}} \rightarrow 0 \text{ Ом})$$

$$R_r = R_r \parallel R_{\phi}$$

$$\tau_B = \frac{B + 1}{2 * \pi * f_{\alpha}}$$

$$f_B = \frac{f_{\alpha}}{B + 1}$$

$$C_{K\Phi} = C_{\phi K} (B + 1)$$

$f_B, \Gamma \text{Ц}$	213360.4476
$\tau_B, \text{с}$	$7.46322 * 10^{-7}$
$r_{KH}, \text{ОМ}$	1875
$R_r, \text{ОМ}$	1000
$R_{r1}, \text{ОМ}$	769.2307692
$G, \text{СМ}$	0.365951166
$\tau_B, \text{с}$	$3.23779 * 10^{-7}$
$C_{K\Phi}, \Phi$	$9.15 * 10^{-10}$

## 5.2. Общая база

Входное сопротивление	$R_{BX} = \frac{R_{BX \text{ тр об}}}{B + 1} \parallel R_{\phi}$
	$R_{BX \text{ тр об}} = R_{\phi \text{аз}} + (1 + B)R_{\text{эм}}$
Сопротивление эмитера	$R_{\text{эм}} = \frac{\phi}{I_{\text{эм}}}$
	$\phi = \frac{kT}{q} = 0,026$
Коэффициент передачи по току	$K_i = R_{\text{э}} * \alpha * \frac{R_K}{R_{\text{э}} + \frac{R_{BX \text{ тр об}}}{B+1} * (R_K + R_H)}$
Коэффициент передачи по напряжению	$K_u = \frac{B * R_{KH}}{R_{BX \text{ тр оэ}}}$
	$R_{KH} = R_K \parallel R_H$
Коэффициент мощности	$K_p = K_i * K_u$

Ниже в таблицах представлены рассчитанные значения.

$R_{\text{с}}, \text{Ом}$	3333.333333
$R_{\text{эм}}, \text{Ом}$	21.66666667
$R_{\text{вх тр оэ}}, \text{Ом}$	1321.666667
$R_{\text{вх}}, \text{Ом}$	10.83333333
$a$	0.983606557

$R_{\text{н}}, \text{Ом}$	100	1000	4000	100000
$k_i$	126.1633114	98.72630873	57.2357264	3.961422591
$k_u$	4.393279909	34.04791929	77.82381553	132.2249293
$k_p$	554.2707412	3361.425392	4454.302613	523.798822
$\Delta k_i$	68.9313912	54.3372813	31.84919273	3.959701893
$\Delta k_u$	37.71681183	1.387368835	3.099044887	5.619424709
$\Delta k_p$	1855.770669	1911.655322	2557.299707	523.5809721
$\psi k_i \%$	2.204422129	2.224115157	2.254570362	2302.218056
$\psi u \%$	0.104328434	1.042478428	1.041472792	1.044385311
$\psi k_p \%$	0.229983908	2.318592073	2.34807369	2404.402721

Далее рассчитаем частоту.

$$f_{\text{в}} = \frac{1}{2 * \pi * \tau_{\text{в}}}$$

$$\tau_{\text{в}} = G(\tau_{\text{в}} + C_{\text{кз}} R_{\text{кн}}) + C_{\text{н}} R_{\text{кн}} \quad (C_{\text{н}} \rightarrow 0 \text{ Ф})$$

$$R_{\text{кн}} = R_{\text{к}} \| R_{\text{н}}$$

$$G = \frac{R_{\text{т}} + r_{\text{с}} + r_{\text{э}}}{R_{\text{т}} + R_{\text{вх тр оэ}}} \quad (r_{\text{с}} \rightarrow 0 \text{ Ом})$$

$$R_{\text{т}} = R_{\text{т}} \| R_{\text{с}}$$

$$\tau_{\text{в}} = \frac{B + 1}{2 * \pi * f_{\alpha}}$$

$$f_{\text{в}} = \frac{f_{\alpha}}{B + 1}$$



$$C_{\text{кэ}} = C_{\text{бк}}(B + 1)$$

$f_{\text{в}}, \text{Гц}$	999388.4436
$\tau_{\text{в}}, \text{с}$	$1.59333 * 10^{-7}$
$r_{\text{кн}}, \text{Ом}$	1875
$R_r, \text{Ом}$	1000
$R_{\text{т1}}, \text{Ом}$	769.2307692
$G, \text{См}$	0.078127284
$\tau_{\text{в}}, \text{с}$	$3.23779 * 10^{-7}$
$C_{\text{кэ}}, \text{Ф}$	$9.15 * 10^{-10}$

### 5.3. Общий коллектор

Входное сопротивление	$R_{\text{вх}} = (R_{\text{вх тр ок}} + (B + 1)) * R_{\text{эн}} \parallel R_{\text{б}}$
	$R_{\text{вх тр ок}} = R_{\text{баз}} + (1 + B)R_{\text{эм}} (R_{\text{баз}} \rightarrow 0)$
Выходное сопротивление	$R_{\text{вых}} = R_{\text{э}} \parallel \left( R_{\text{эм}} + \frac{R_{\text{т1}} + r_{\text{б}}}{B + 1} \right)$
	$R_{\text{т1}} = R_r \parallel R_{\text{б}}; R_{\text{б}} \rightarrow 0 \text{ Ом}$
Коэффициент передачи по току	$K_i = \frac{\frac{R_{\text{б}}(B+1)R_{\text{э}}}{R_{\text{б}} + R_{\text{вх тр ок}} + (B+1)R_{\text{эн}}}}{R_{\text{э}} + R_{\text{н}}}$
Коэффициент передачи по напряжению	$K_u = \frac{(B + 1)R_{\text{эн}}}{R_{\text{вх тр ок}} + (B + 1)R_{\text{эн}}}$
	$R_{\text{кн}} = R_{\text{к}} \parallel R_{\text{н}}$
Коэффициент мощности	$K_p = K_i * K_u$

Ниже в таблицах представлены рассчитанные значения.

$R_1, \text{Ом}$	10000
$R_2, \text{Ом}$	5000
$R_{\text{э}}, \text{Ом}$	3000
$R_{\text{к}}, \text{Ом}$	3000
$I_{\text{э}}, \text{А}$	0.00119
$I_{\text{б}}, \text{А}$	0.0012

$I_K, A$	0.0012
$R_r, OM$	1000
$R_{T1}, OM$	769.2307692
$R_6, OM$	3333.333333
$B$	1
$R_{\Theta M}, OM$	21.8487395
$R_{BX \text{ TP } O\Theta}, OM$	1332.773109
$R_{BX}, OM$	7069.450225
$R_{BIX}, OM$	34.06776536

$R_{\Theta H}, OM$	96.77419355	750	1714.285714	2912.621359
$R_H, OM$	100	1000	4000	100000
$k_i$	18.61746692	3.024827	0.797737308	0.03248031
$k_u$	0.815813528	0.971692978	0.987415295	0.992554451
$k_p$	15.18838138	2.939203155	0.78769802	0.032238476
$\Delta k_i$	2.316959306	0.100173	0.02044451	0.000428781
$\Delta k_u$	0.041423284	0.000529245	0.001595694	0.003483413
$\Delta k_p$	1.023034054	0.09899129	0.021492789	0.000310952
$\psi k_i \%$	0.889323009	0.96794464	0.975012266	0.986970744
$\psi u \%$	1.053491485	0.999455634	0.998386576	1.003521904
$\psi k_p \%$	0.936894218	0.967417724	0.973439158	0.99044676

Далее рассчитаем частоту.

$$f_B = \frac{1}{2 * \pi * \tau_B}$$

$$\tau_B = G(\tau_B + C_{K\Theta} R_{KH}) + C_H R_{KH} \quad (C_H \rightarrow 0 \Phi)$$

$$R_{KH} = R_K \| R_H$$

$$G = \frac{R_T + r_6 + r_\Theta}{R_T + R_{BX \text{ TP } O\Theta}} \quad (r_6 \rightarrow 0 OM)$$

$$R_T = R_T \| R_6$$

$$\tau_{\text{B}} = \frac{\text{B} + 1}{2 * \pi * f_{\alpha}}$$

$$f_{\text{B}} = \frac{f_{\alpha}}{\text{B} + 1}$$

$$\text{C}_{\text{K}\text{Э}} = \text{C}_{\text{ОК}}(\text{B} + 1)$$

$f_{\text{B}}, \Gamma_{\text{Ц}}$	3353715.91
$\tau_{\text{B}}, \text{с}$	$4.74804 * 10^{-8}$
$r_{\text{KH}}, \text{ОМ}$	1875
$R_r, \text{ОМ}$	1000
$R_{\text{Т1}}, \text{ОМ}$	769.2307692
$G, \text{СМ}$	0.02328149
$\tau_{\text{B}}, \text{с}$	$3.23779 * 10^{-7}$
$\text{C}_{\text{KЭ}}, \Phi$	$9.15 * 10^{-10}$

## **6. Вывод**

В результате выполнения лабораторной работы было изучено влияние различных способов включения биполярного транзистора и величина сопротивления нагрузки на свойства усилительного каскада.