

Расчет усилительного каскада на биполярном транзисторе

Задания и методические указания к выполнению самостоятельной работы по курсу «Электронная техника»

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Самостоятельная работа выполняется по исходным данным в соответствии с вариантом.

Самостоятельная работа содержит 1 задание. В данном задании приведен текст задания и исходные данные для его решения. Исходные данные согласно варианту приведены в таблице 1.

Номер варианта соответствует номеру студента в журнале учебной группы.

Правила оформления семестровой работы

Самостоятельная работа оформляется на листах формата А4. Титульный лист работы имеет стандартный вид и должен содержать наименование предмета, по которому сделана работа, вариант по номеру в журнале, фамилию и инициалы студента, номер группы учебной группы. После записи «Проверил» указывается фамилия и инициалы преподавателя.

Текст работы может быть набран на компьютере и написан «вручную».

В любом случае обязательно приводится полный текст задания. Затем выписываются исходные данные своего варианта, а затем приводятся ответы на вопросы или решение задачи.

Текст решения должен содержать пояснения, какой параметр и по какой исходной формуле определяется. Если требуется, чертятся схемы (непосредственно по тексту) и графики (на миллиметровке).

Самостоятельная работа, выполненная не для своего варианта, а также оформленная небрежно и не по правилам, не проверяется и не оценивается.

Задание: Требуется провести расчет усилительного каскада на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером и с температурной стабилизацией за счет отрицательной обратной связи.

В соответствии с вариантом считаются заданными:

- Тип транзистора;
- Рабочая точка транзистора в состоянии покоя;

- Сопротивление резистора в цепи коллектора R_k ;
- Наименьшая граничная частота f_H ;
- Падение напряжения на резисторе R_z , которое выбирают в соответствии с требованиями к температурной стабилизации усилителя.

Общими для всех вариантов величинами являются:

- Коллекторный ток транзистора $I_{k0} = 1 \text{ мА}$;
- Напряжение между коллектором и эмиттером $U_{кэ0} = 5 \text{ В}$ в состоянии покоя;
- Сопротивление нагрузки усилителя берут равным рассчитанному ранее входному сопротивлению усилителя $R_{вх}$, т.е. считают, что данный усилитель имеет в качестве нагрузки такой же каскад усиления.

Рассчитать:

1. Параметры остальных элементов схемы;
2. Напряжение на этих элементах и протекающие через них токи;
3. Коэффициент усиления по напряжению в области средних частот.
4. Нарисовать схему усилительного каскада и объяснить ее работу. На схеме должны быть представлены все элементы, рассчитанные в семестровой работе, токи и напряжения на всех элементах схемы.

Исходные данные согласно варианту задания приведены в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные к заданию

Вари- ант	Тип транзис- тора	$h_{11Э}$	$h_{12Э}$	$h_{21Э}$	$h_{22Э}$	R_k	$U_{Э0}$	f_H	$P_{k\max}$
		Ом	-	-	Ом ⁻¹	кОм	В	Гц	Вт
1	ГТ108А	540	$9 \cdot 10^{-3}$	35	$120 \cdot 10^{-6}$	1,8	1,1	65	0,075
2	МП39	850	$7 \cdot 10^{-3}$	35	$55 \cdot 10^{-6}$	2,4	2,5	50	0,15
3	МП40	900	$8 \cdot 10^{-3}$	30	$60 \cdot 10^{-6}$	3,0	2,2	30	0,15
4	П416	650	$32 \cdot 10^{-3}$	40	$150 \cdot 10^{-6}$	5,6	2,2	20	0,15
5	МП41	950	$7,5 \cdot 10^{-3}$	45	$50 \cdot 10^{-6}$	3,6	2,8	25	0,15
6	МП14	930	$7 \cdot 10^{-3}$	30	$100 \cdot 10^{-6}$	4,7	2,3	15	0,15
7	МП15	1300	$8 \cdot 10^{-3}$	45	$150 \cdot 10^{-6}$	1,5	0,8	70	0,15
8	ГТ322	330	$16 \cdot 10^{-3}$	56	$62,5 \cdot 10^{-6}$	2,7	1,8	65	0,075
9	МП39Б	1100	$6 \cdot 10^{-3}$	40	$45 \cdot 10^{-6}$	3,3	1,8	40	0,15
10	МП41А	750	$5 \cdot 10^{-3}$	75	$75 \cdot 10^{-6}$	4,7	3,1	10	0,15
11	ГТ309Б	4500	$9 \cdot 10^{-3}$	120	$250 \cdot 10^{-6}$	1,8	1,3	20	0,05
12	ГТ322Б	2500	$4 \cdot 10^{-3}$	85	$85 \cdot 10^{-6}$	3,3	2,0	35	0,2
13	МП40	900	$8 \cdot 10^{-3}$	30	$60 \cdot 10^{-6}$	4,3	1,5	80	0,15
14	МП14	930	$7 \cdot 10^{-3}$	30	$100 \cdot 10^{-6}$	4,7	1,6	90	0,15
15	МП40А	1100	$7 \cdot 10^{-3}$	30	$56 \cdot 10^{-6}$	5,1	2,0	85	0,15
16	ГТ108А	540	$9 \cdot 10^{-3}$	35	$120 \cdot 10^{-6}$	6,2	2,5	95	0,075
17	МП39	850	$7 \cdot 10^{-3}$	28	$55 \cdot 10^{-6}$	4,3	1,7	85	0,15
18	ГТ309Б	4500	$9 \cdot 10^{-3}$	120	$120 \cdot 10^{-6}$	5,1	2,6	75	0,05
19	МП15	1300	$8 \cdot 10^{-3}$	45	$150 \cdot 10^{-6}$	4,3	1,7	60	0,15
20	МП39Б	1100	$6 \cdot 10^{-3}$	40	$46 \cdot 10^{-6}$	6,8	2,3	55	0,15
21	ГТ322Б	2500	$4 \cdot 10^{-3}$	85	$85 \cdot 10^{-6}$	7,5	2,5	70	0,2
22	ГТ108А	540	$9 \cdot 10^{-3}$	35	$120 \cdot 10^{-6}$	4,7	2,2	80	0,075
23	ГТ309Б	4500	$9 \cdot 10^{-3}$	120	$120 \cdot 10^{-6}$	3,6	2,2	60	0,05
24	МП39	850	$7 \cdot 10^{-3}$	28	$55 \cdot 10^{-6}$	3,6	1,5	95	0,15
25	МП39Б	1100	$6 \cdot 10^{-3}$	40	$46 \cdot 10^{-6}$	5,6	2,2	45	0,15
26	МП15	1300	$8 \cdot 10^{-3}$	45	$150 \cdot 10^{-6}$	1,8	1,8	50	0,15
27	МП39Б	540	$9 \cdot 10^{-3}$	35	$120 \cdot 10^{-6}$	3,0	1,8	65	0,075
28	МП39	850	$7 \cdot 10^{-3}$	28	$55 \cdot 10^{-6}$	2,7	2,0	80	0,15
29	МП39Б	1100	$6 \cdot 10^{-3}$	40	$46 \cdot 10^{-6}$	4,7	2,1	40	0,15
30	ГТ309Б	4500	$9 \cdot 10^{-3}$	120	$120 \cdot 10^{-6}$	4,3	1,9	65	0,05
31	МП15	1300	$8 \cdot 10^{-3}$	45	$150 \cdot 10^{-6}$	2,0	1,6	70	0,15
32	ГТ108А	540	$9 \cdot 10^{-3}$	35	$120 \cdot 10^{-6}$	1,8	1,6	75	0,075
33	МП41А	750	$5 \cdot 10^{-3}$	75	$75 \cdot 10^{-6}$	6,2	1,8	50	0,15
34	МП39	850	$7 \cdot 10^{-3}$	28	$55 \cdot 10^{-6}$	2,2	2,8	75	0,15
35	МП39Б	1100	$6 \cdot 10^{-3}$	40	$46 \cdot 10^{-6}$	4,3	2,0	65	0,15
36	ГТ309Б	4500	$9 \cdot 10^{-3}$	120	$120 \cdot 10^{-6}$	2,7	2,0	70	0,05
37	МП39Б	1100	$6 \cdot 10^{-3}$	40	$46 \cdot 10^{-6}$	3,9	1,9	70	0,15
38	МП15	1300	$8 \cdot 10^{-3}$	45	$150 \cdot 10^{-6}$	2,4	2,3	80	0,15
39	ГТ322Б	2500	$4 \cdot 10^{-3}$	85	$85 \cdot 10^{-6}$	6,2	2,5	80	0,2
40	ГТ108А	540	$9 \cdot 10^{-3}$	35	$120 \cdot 10^{-6}$	2,0	2,5	60	0,075

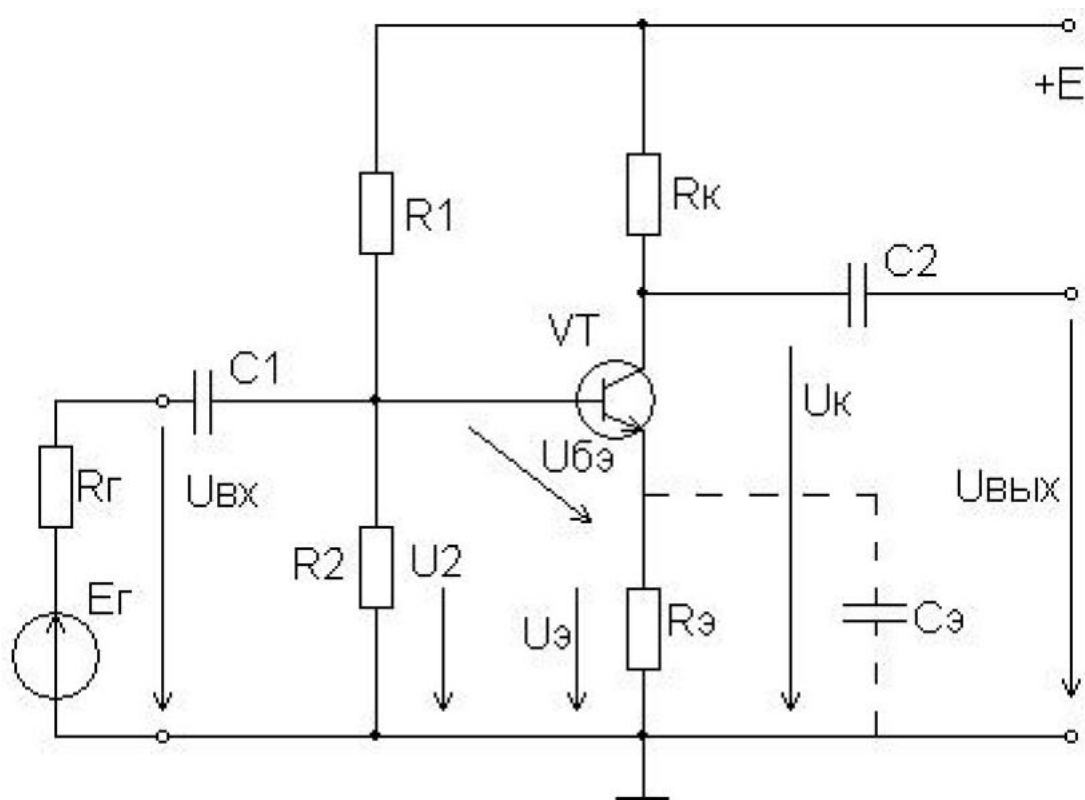


Рис. 1 – Схема усилительного каскада на биполярном транзисторе с общим эмиттером

Пример расчета

Задан транзистор ГТ-109Б. Для этого транзистора:

$$h_{11Э} = 300 \text{ Ом};$$

$$h_{12Э} = 12 \cdot 10^{-3};$$

$$h_{21Э} = 50;$$

$$h_{22Э} = 75 \cdot 10^{-6} \text{ См};$$

$$R_K = 3,0 \text{ кОм};$$

$$U_{Э0} = 2,2 \text{ В};$$

$$f_H = 40 \text{ Гц};$$

$$P_{K \max} = 0,030 \text{ Вт}.$$

Общие данные: $I_{K0} = 1 \text{ мА}$; $U_{КЭ0} = 5 \text{ В}$; $R_H = R_{вх}$.

Решение

1. Падение напряжения на резисторе в состоянии покоя

$$U_{K0} = I_{K0} R_K = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 3,0 \cdot 10^3 = 3 \text{ В}.$$

2. Ток базы в состоянии покоя

$$I_{Б0} = I_{K0} / h_{21Э} = 10^{-3} / 50 = 0,02 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 0,02 \text{ мА}.$$

3. Ток делителя напряжения

$$I_D = 7 \cdot 0,02 = 0,14 \text{ мА.}$$

Ток делителя принимается равным $(5 \dots 10) I_{B0}$.

4. Напряжение питания усилителя

$$E_K = U_{KЭ0} + U_{K0} + U_{Э0} \text{ (по второму закону Кирхгофа).}$$

$$E_K = 5 + 3 + 2,2 = 10,2 \text{ В.}$$

5. Падение напряжения на резисторе R_2

$$U_2 = U_{Э0} + U_{БЭ0}.$$

$U_{БЭ0}$ для германиевых транзисторов принимают равным $(0,2 \dots 0,3) \text{ В}$.

$$U_2 = 2,2 + 0,2 = 2,4 \text{ В.}$$

6. Падение напряжения на резисторе R_1

$$U_1 = E_K - U_2 = 10,2 - 2,4 = 7,8 \text{ В.}$$

7. Сопротивление R_2

$$R_2 = U_2 / I_D = 2,4 / 0,14 \cdot 10^{-3} = 17,14 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 17,14 \text{ кОм.}$$

Принимаем номинальное сопротивление резистора 18 кОм.

8. Сопротивление R_1

$$R_1 = U_1 / (I_D + I_{B0}) = 7,8 / (0,14 + 0,02) \cdot 10^{-3} = 48,75 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 48,75 \text{ кОм.}$$

Принимаем номинальное сопротивление резистора 51 кОм.

9. Входное сопротивление $R_{вх}$ усилителя определяется параллельным включением сопротивлений R_1 , R_2 и входным сопротивлением транзистора $h_{11Э}$. Тогда $1 / R_{вх} = 1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / h_{11Э}$.

$$1 / R_{вх} = 1/51000 + 1/18000 + 1/300 = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ См;}$$

$$R_{вх} = 293,38 \text{ Ом.}$$

10. Сопротивление нагрузки усилителя R_n по условию задачи принимаем равным входному сопротивлению, поскольку нагрузкой усилительного каскада служит другой такой же каскад

$$R_n = R_{вх} = 293,38 \text{ Ом.}$$

11. Сопротивление $R_Э$

$$R_Э = U_{Э0} / (I_{K0} + I_{B0}) = 2,2 / (1 + 0,02) \cdot 10^{-3} = 2,16 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 2,16 \text{ кОм.}$$

Принимаем номинальное сопротивление резистора 2,2 кОм.

12. Емкость шунтирующего конденсатора в эмиттерной цепи $C_{\text{Э}}$ выбирается по нижней границе частоты с учетом эмиттерного дифференциального сопротивления транзистора $r_{\text{Э}}$

$$C_{\text{Э}} > 1 / (2 * \pi * f_{\text{н}} * r_{\text{Э}}), \quad \text{где } r_{\text{Э}} = 2 * h_{12\text{Э}} / h_{22\text{Э}}.$$
$$r_{\text{Э}} = 2 * 12 * 10^{-3} / 75 * 10^{-6} = 0,32 * 10^3 \text{ Ом} = 320 \text{ Ом};$$
$$C_{\text{Э}} = 1 / (2\pi * 40 * 320) = 0,0000124 \text{ Ф} = 12,4 \text{ мкФ}.$$

Принимаем емкость конденсатора $C_{\text{Э}} = 13 \text{ мкФ}$.

13. Емкость разделительного конденсатора $C_{\text{р1}}$ на входе усилителя

$$C_1 > 1 / (2 * \pi * f_{\text{н}} * R_{\text{вх}}) = 1 / (2\pi * 40 * 293) = 0,0000136 \text{ Ф} = 13,6 \text{ мкФ}.$$

Принимаем емкость конденсатора $C_1 = 15 \text{ мкФ}$.

14. Емкость разделительного конденсатора на выходе усилителя C_2

$$C_2 = C_1 = 15 \text{ мкФ}.$$

15. Коэффициент усиления по напряжению

$$K_{\text{У}} = h_{21\text{Э}} * R_{\text{кн}} / h_{11\text{Э}}.$$

$R_{\text{кн}}$ – сопротивление нагрузки усилителя, которое принимается равным сопротивлению параллельного соединения $R_{\text{к}}$, $R_{\text{н}}$ и $R_{\text{вых}}$.

$$1 / R_{\text{кн}} = 1 / R_{\text{к}} + 1 / R_{\text{н}} + 1 / R_{\text{вых}}, \quad \text{где } R_{\text{вых}} = 1 / h_{22\text{Э}};$$

$$1 / R_{\text{кн}} = 1 / 3000 + 1 / 293 + 75 * 10^{-6} = 3,82 * 10^{-3} \text{ См};$$

$$R_{\text{кн}} = 261,7 \text{ Ом}.$$

Коэффициент усиления

$$K_{\text{У}} = 50 * 261,7 / 300 = 43,6 \approx 44$$

16. Мощность, рассеиваемая на коллекторе

$$P_{\text{к}} = U_{\text{кЭ0}} * I_{\text{к0}} = 5 * 10^{-3} = 0,005 \text{ Вт}.$$

По условию $P_{\text{к max}} = 0,03 \text{ Вт}$.

Таким образом, $P_{\text{к}} < P_{\text{к max}}$.

Ответы:

$$R_1 = 51 \text{ кОм}; R_2 = 18 \text{ кОм}; R_{\text{Э}} = 2,2 \text{ кОм}; R_{\text{н}} = 293 \text{ Ом};$$

$$C_2 = C_1 = 15 \text{ мкФ}; C_{\text{Э}} = 13 \text{ мкФ}; K_{\text{У}} = 44.$$

Примечания

1. Номинальные сопротивления резисторов стандартизированы. Для постоянных резисторов согласно ГОСТ 2825 – 67 установлено 6 рядов: Е6, Е12,

E24, E48, E96, E192. Цифра после буквы E указывает число номинальных значений в каждом десятичном интервале.

Таблица 2 - Номинальные сопротивления по рядам

Ряд	Числовые коэффициенты
E6	1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8
E12	1; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8; 8,2
E24	1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,7; 3,0; 3,3; 3,6; 3,9; 4,3; 4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1

Номинальные сопротивления в каждой декаде соответствуют указанным в таблице 2 числам или числам, полученным умножением или делением их на 10^n , где n – целое положительное или отрицательное число.

2. Номинальные значения емкости конденсаторов стандартизированы и выбираются из определенных рядов чисел путем умножения или деления их на 10^n , где n – целое положительное или отрицательное число. Наиболее употребляемые ряды номинальных емкостей приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Номинальные емкости по рядам

E3	E6	E12	E24	E3	E6	E12	E24
1	1	1	1	4,7	3,3	3,3	3,3
			1,1				3,6
			1,2			3,9	3,9
		1,5	1,3				4,3
			1,5		4,7	4,7	4,7
			1,6				5,1
	1,5	1,8	1,8			5,6	5,6
			2,0				6,2
		2,2	2,2		6,8	6,8	6,8
			2,4				7,5
2,2	2,2	2,7	2,7			8,2	8,2
			3				9,1

Список рекомендуемой литературы

1. Аналитический расчет усилительного каскада на биполярном транзисторе: Задания и методические указания к выполнению семестровой работы по курсу «Общая электротехника» /Сост. канд. тех. наук, доцент С.И. Николаева, Волгоград. гос. ун-т. – Волгоград, 2007.– 13 с.
2. Прянишников В.А. Электроника: Полный курс лекций. – СПб.: КОРОНА принт, 2004. -416 с.