

Задание на контрольную работу.

Варианты заданий даны в табл.1, необходимые справочные материалы для транзисторов - в табл.2 и на рис.1÷6.

Задание. Рассчитать основные параметры усилительного каскада с RC-связью на биполярном транзисторе по схеме с общим эмиттером; усилительный каскад работает в режиме класса А. Расчету подлежат параметры элементов схемы ($R_1, R_2, R_э, C_1, C_2, C_э$), величина напряжения источника питания E_k , входное и выходное сопротивление каскада ($R_{вх}, R_{вых}$), коэффициенты усиления по току, напряжению и мощности (K_i, K_u, K_p), коэффициент частотных искажений на верхней частоте полосы пропускания (M_v). Кроме того, полагая внутреннее сопротивление источника входного сигнала равным выходному сопротивлению исследуемого каскада, определить величину ЭДС источника входного сигнала.

Таблица 1. Исходные данные.

вариант	$U_{нм}, В.$	$R_n, Ом$	$R_k, Ом$	$f_n, Гц$	$f_v, кГц$	$M_{нс1}$	$M_{нс2}$	$M_{нс3}$	Тип VT
1	1,5	500	680	100	14	1,1	1,07	1,05	МП40
2	3,1	2 100	510	50	15	1,06	1,04	1,1	МП40А
3	5	4 000	1 000	60	10	1,04	1,08	1,12	МП41А
4	2,5	540	510	40	20	1,06	1,08	1,15	МП41А
5	2	540	360	80	8	1,06	1,12	1,06	МП40А
6	2	470	510	120	11	1,05	1,1	1,09	МП41А
7	5	3 200	910	50	18	1,1	1,08	1,05	МП26Б
8	2,6	1 400	1 100	130	9	1,04	1,06	1,1	МП40А
9	3,5	1 200	1 100	40	13	1,09	1,13	1,12	МП26Б
10	4,9	2 000	610	70	15	1,07	1,05	1,14	МП41А
11	3	650	400	100	12	1,1	1,06	1,07	МП40
12	2,8	1800	820	50	16	1,12	1,04	1,04	МП41А
13	3,3	3000	750	110	11	1,15	1,06	1,08	МП40А
14	4,8	850	450	80	14	1,06	1,06	1,08	МП26Б
15	2,1	340	1000	70	19	1,09	1,05	1,12	МП40А
16	3,7	2700	920	100	15	1,05	1,1	1,1	МП41А
17	1,8	1500	860	90	13	1,1	1,04	1,08	МП40А
18	4,3	600	790	60	10	1,12	1,09	1,06	МП40
19	5,2	2500	980	110	17	1,08	1,05	1,13	МП26Б

Таблица 2. Основные параметры транзисторов.

Транзистор	$U_{кэ доп}, В$	$I_{к доп}, мА$	$R_{к доп}, мВт$	$C_k, пФ$	$f_{\alpha}, МГц$
МП40	15	20	150	45	1
МП40А	30	20	150	45	1
МП41А	15	20	150	45	2
МП26Б	100	20	200	40	0,5

Методические указания к расчету.

1. Нарисовать схему усилительного каскада, объяснить назначение ее элементов. Привести таблицу исходных данных для своего варианта расчета. Построить на миллиметровой бумаге графики входных и выходных характеристик используемого транзистора и привести таблицу его основных параметров.

2. По заданной амплитуде выходного напряжения (напряжения на нагрузке) $U_{нм}$ для области средних частот определяем амплитудные значения переменных составляющих токов нагрузки $I_{нм}$, коллекторного сопротивления $I_{R_{км}}$ и коллектора транзистора $I_{км}$:

$$I_{nm} = U_{nm} / R_n; \quad I_{R_{km}} = U_{nm} / R_k; \quad I_{km} = I_{nm} + I_{R_{km}}. \quad (1)$$

3. Вычисляем ток коллектора в режиме покоя $I_{ка}$ и требуемую величину напряжения источника питания E_k :

$$I_{ка} = (1,1 \div 1,3) \cdot I_{km}, \quad (2)$$

$$E_k = I_{ка} \cdot R_k / (0,3 \div 0,4). \quad (3)$$

Полученная таким образом величина E_k не должна превышать максимально допустимой величины коллекторного напряжения транзистора $U_{кэд.оп}$.

4. Задаваясь падением напряжения на сопротивлении $R_э$ в режиме покоя в пределах $(0,1 \div 0,2) \cdot E_k$, определяем:

$$R_э = (0,1 \div 0,2) \cdot E_k / I_{ка}. \quad (4)$$

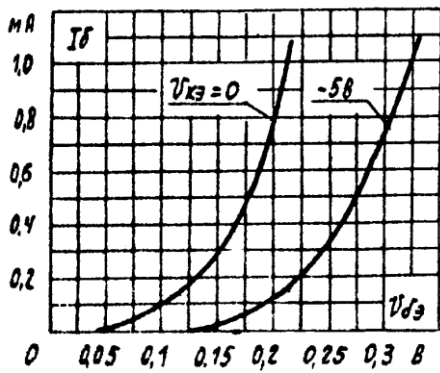


Рис.1

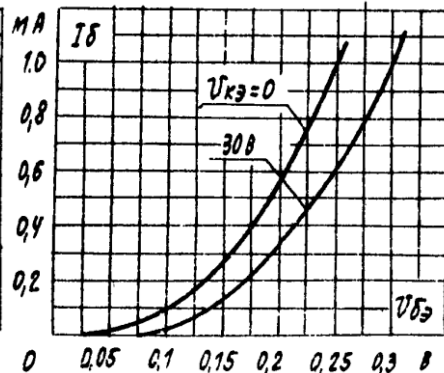


Рис.2

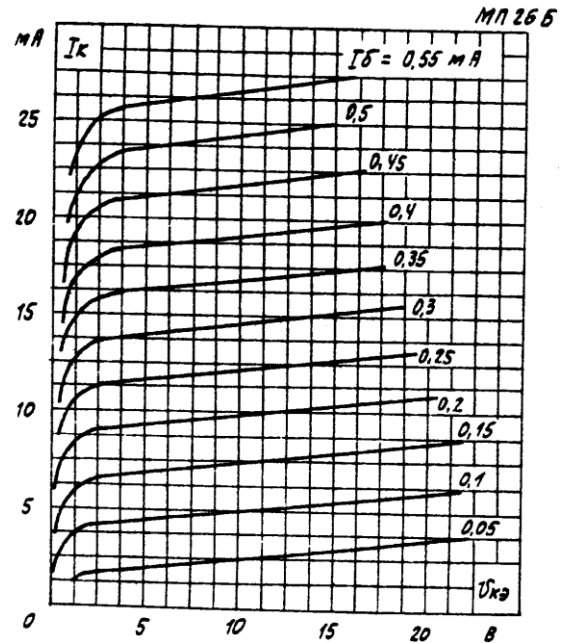


Рис.3

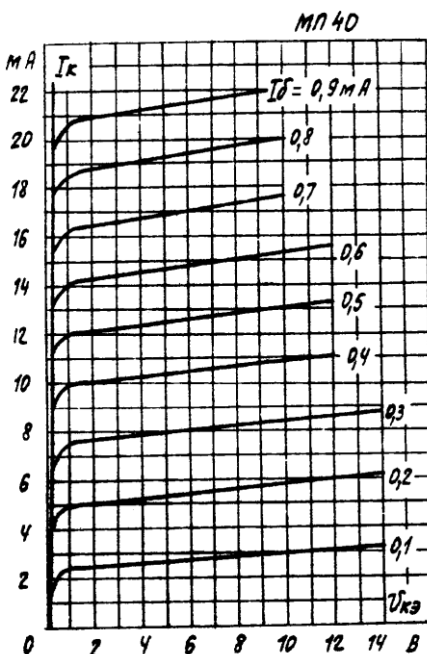


Рис. 4

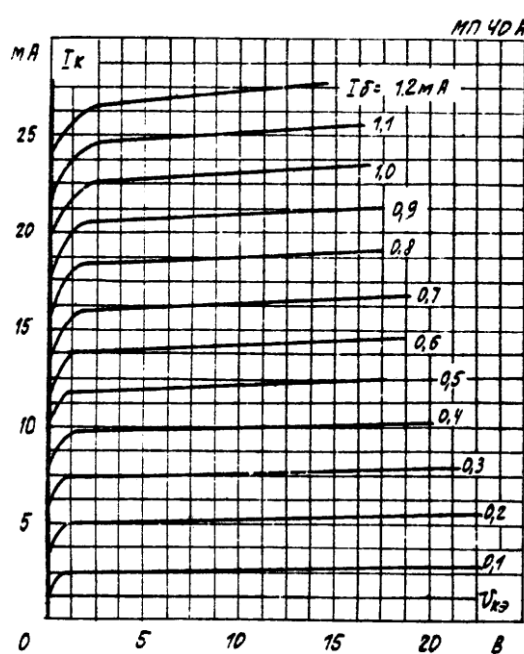


Рис. 5

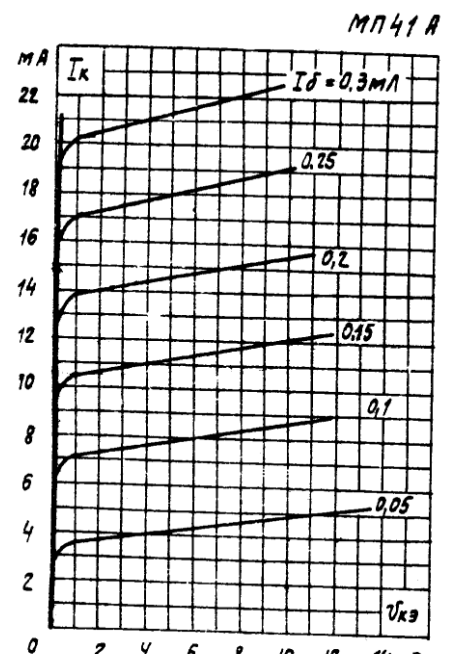


Рис. 6

5. На семействе выходных характеристик транзистора (рис.7) строим нагрузочную прямую по постоянному току (линия BC) по двум точкам:

$$I_{K(b)} = E_K / (R_K + R_{\Sigma}); \quad U_{K\varepsilon(c)} = E_K \quad (5)$$

На оси токов откладываем значение тока покоя I_{Ka} (точка a_1) и проводим горизонтальную прямую до пересечения ее с нагрузочной прямой BC. Точка пересечения - точка покоя А. Теперь можно определить ток базы покоя I_{Ba} и напряжение на транзисторе $U_{K\varepsilon a}$ (точка a_2). Отложив от точки a_1 амплитудные значения тока коллектора I_{Km} (точки b_1 и c_1), а от точки a_2 - амплитудные значения напряжения нагрузки U_{Um} (точки b_2 и c_2), на пересечении соответствующих прямых получаем точки В' и С'. Прямая В'С', проходящая одновременно и через точку А, является нагрузочной прямой по переменному току.

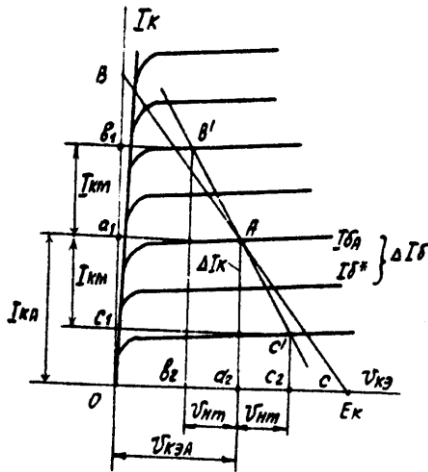


Рис. 7

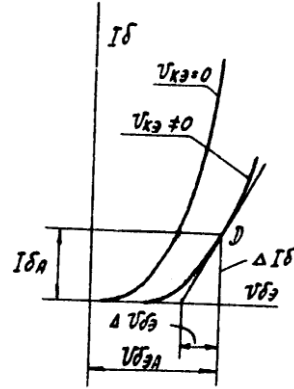


Рис. 8

Если характери-

стик

на се-
мействе выходных
при $U_{K\varepsilon} = U_{K\varepsilon a}$ за-

дать в окрестности точки А малое приращение тока базы ΔI_B (рис.7), вызывающее соответствующее приращение тока коллектора ΔI_K , то можно определить коэффициент усиления транзистора по току:

$$\beta = \Delta I_K / \Delta I_B. \quad (6)$$

На семействе входных характеристик (рис.8) по току покоя базы I_{Ba} определяем (используя характеристику $U_{K\varepsilon} \neq 0$) напряжение покоя $U_{B\varepsilon a}$. Наклон касательной, проведенной к входной характеристике в точке D, характеризует входное сопротивление транзистора в точке покоя:

$$r_{вх} = \Delta U_{B\varepsilon} / \Delta I_B \quad (7)$$

7. Ток эмиттера в режиме покоя:

$$I_{\Sigma a} = I_{Ka} + I_{Ba} \quad (8)$$

8. Определяем величину резисторов R_1 и R_2 , образующих делитель напряжения питания. Предварительно задаемся током делителя такой величины, чтобы обеспечивалось выполнение условия:

$$I_d = (5 \div 10) I_{Ba};$$

$$R_1 = (E_K - I_{\Sigma a} \cdot R_{\Sigma} - U_{B\varepsilon a}) / (I_{Ba} + I_d) \quad (9)$$

$$R_2 = (I_{\Sigma a} \cdot R_{\Sigma} + U_{B\varepsilon a}) / I_d$$

и результирующее сопротивление R_b :

$$R_b = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2) \quad (10)$$

Для того чтобы делитель не шунтировал входное сопротивление усилителя, желательно обеспечить условие:

$$R_b \geq (5 \div 10) \cdot r_{вх} \quad (11)$$

Определив R_b , можно найти коэффициент температурной нестабильности каскада:

$$s = \frac{(1 + \beta) \cdot (R_3 + R_{\delta})}{(1 + \beta) \cdot R_3 + R_{\delta}} \quad (12)$$

Приемлемая величина s может находиться в пределах: $s \leq (2 \div 7)$.

9. Входное и выходное сопротивление каскада:

$$R_{BX} = R_{\delta} \cdot r_{BX} / (R_{\delta} + r_{BX}); \quad R_{ВЫХ} = R_K \quad (13)$$

10. Коэффициенты усиления по току, напряжению и мощности:

$$K_i = \frac{I_{Hm}}{I_{BXm}} = \beta \cdot \frac{R_{\delta}}{R_{\delta} + r_{BX}} \cdot \frac{R_K}{R_K + R_H};$$

$$K_U = \frac{U_{Hm}}{E_{\Gamma m}} = K_i \cdot \frac{R_H}{R_{\Gamma} + R_{BX}} \quad (14)$$

$$K_p = K_i \cdot K_U$$

11. Амплитудное значение эдс входного сигнала:

$$E_{\Gamma m} = U_{Hm} / K_u \quad (15)$$

12. Величина емкости конденсаторов C1, C2 и Cэ находится по коэффициентам частотных искажений и низшей частоте fн. Предварительно определяем постоянные времени:

$$\tau_{HC1} = \frac{1}{2\pi \cdot f_H \cdot \sqrt{M_{HC1}^2 - 1}}; \quad \tau_{HC2} = \frac{1}{2\pi \cdot f_H \cdot \sqrt{M_{HC2}^2 - 1}}; \quad \tau_{HC3} = \frac{1}{2\pi \cdot f_H \cdot \sqrt{M_{HC3}^2 - 1}}; \quad (16)$$

после чего находим:

$$C1 = \frac{\tau_{HC1}}{R_{\Gamma} + R_{BX}}; \quad C2 = \frac{\tau_{HC2}}{R_H + R_K}; \quad C_{\text{э}} = \frac{\tau_{HC3}}{R_3}. \quad (17)$$

13. Коэффициент частотных искажений на высшей рабочей частоте fв определяется, по формуле:

$$M_B = \sqrt{1 + (\omega_B \cdot \tau_B)^2} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{f_B}{f_{\beta}}\right)^2}, \quad (18)$$

где $\tau_B = (1 + \beta) \cdot C_K \cdot \frac{R_K \cdot R_H}{R_K + R_H}, \quad (19)$

$$f_{\beta} = \frac{f_{\alpha}}{1 + \beta},$$

причем значения Cк и f_α для соответствующих транзисторов приведены в табл.2.

Таблица 3. Стандартный ряд E24 значений сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов

1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8
1,1	1,6	2,4	3,6	5,1	7,5
1,2	1,8	2,7	3,9	5,6	8,2
1,3	2,0	3,0	4,3	6,2	9,1

Пример расчета.

1. Требуется произвести расчет параметров каскада для исходных данных, указанных в табл.4.

Графики выходных и входных характеристик транзистора МП14 даны на рис.9 и рис.10 соответственно, а его параметры - в табл.5.

Таблица 4.

параметр	$U_{нм}$, В	R_k , Ом	$R_{н,к}$ Ом	f_H , Гц	f_B , кГц	$M_{нс1}$	$M_{нс2}$	$M_{нс3}$	Тип VT
значение	3	680	1,1	50	20	1,1	1,1	1,1	МП40

Таблица 5.

параметр	$U_{кэ доп}$, В	I_k доп, А	C_k , пФ	f_{α} , МГц
значение	15	20	45	1

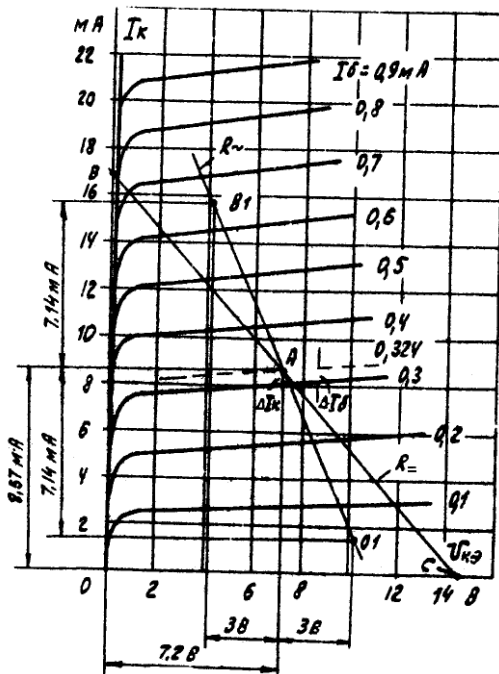


Рис. 9

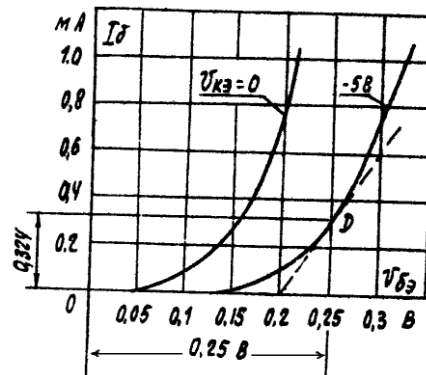


Рис. 10

2. По формулам (1) определяем амплитудные значения токов:

$$I_{нм} = 3 / 1,1 = 2,73 \text{ мА}$$

$$I_{R_{км}} = 3 / 0,68 = 4,41 \text{ мА}$$

$$I_{км} = 2,73 + 4,41 = 7,14 \text{ мА}$$

3. Ток покоя коллектора и напряжение источника питания вычисляем по формулам (2) и (3):

$$I_{ка} = 1,2 \cdot 7,14 = 8,57 \text{ мА}$$

$$E_k = 8,57 \cdot 0,68 / 0,4 = 14,6 \text{ В}$$

Поскольку $E_k < U_{кэ доп}$ ($14,6 < 15$), остановимся на данном значении E_k .

4. Сопротивление в цепи эмиттера (4):

$$R_э = 0,1 \cdot 14,6 / 8,57 = 0,17 \text{ кОм}$$

Выбираем стандартное сопротивление $R_э = 180 \text{ Ом}$.

5. На семействе выходных характеристик (рис.9) строим нагрузочную прямую BC по точкам (5):

$$I_{к(В)} = 14,6 / (0,68 + 0,18) = 16,98 \text{ мА}$$

$$U_{кэ(С)} = 14,6 \text{ В}$$

По вычисленному ранее значению тока покоя $I_{ка} = 8,57 \text{ мА}$, находим положение рабочей точки А и сразу же определяем напряжение на транзисторе $U_{кэа} = 7,2 \text{ В}$ и ток базы покоя $I_{ба} = 0,324 \text{ мА}$.

Коэффициент усиления транзистора по току (6):

$$\beta = (8,57 - 8,05) / (0,324 - 0,3) = 22$$

6. По входной характеристике (рис.10) для $U_{кэ} = -5$ В при токе покоя базы $I_{ба} = 0,324$ мА определяем напряжение $U_{бэа} = 0,25$ В, а по наклону касательной в точке D - входное сопротивление транзистора (7):

$$r_{вх} = (0,25 - 0,2) / 0,324 = 0,154 \text{ кОм}$$

7. Ток эмиттера в режиме покоя (8)

$$I_{эа} = 8,57 + 0,324 = 8,89 \text{ мА.}$$

8. Задаемся током делителя

$$I_{д} = 5 \cdot 0,324 = 1,62 \text{ мА.}$$

Определяем сопротивления резисторов R1 и R2 (9):

$$R1 = (14,6 - 1,68 - 0,25) / (0,324 + 1,62) = 6,56 \text{ кОм}$$

$$R2 = (1,68 + 0,25) / 1,62 = 1,14 \text{ кОм}$$

Выбираем стандартные резисторы $R1 = 6,8$ кОм и $R2 = 1,3$ кОм.

Результирующее сопротивление делителя (10):

$$R_{б} = 6,8 \cdot 1,3 / (6,8 + 1,3) = 1,09 \text{ кОм}; \quad R_{б} / r_{вх} = 7,1$$

Коэффициент температурной нестабильности (12):

$$S = \frac{(1 + 22) \cdot (0,18 + 1,09)}{(1 + 22) \cdot 0,18 + 1,09} = 5,59$$

что можно считать допустимым.

9. Входное и выходное сопротивления каскада (13):

$$R_{вх} = 1,09 \cdot 0,154 / (1,09 + 0,154) = 0,135 \text{ кОм}$$

$$R_{вых} = 0,68 \text{ кОм}$$

В соответствии с условием задания будем теперь считать известным и внутреннее сопротивление источника входного сигнала:

$$R_{г} = R_{вых} = 0,68 \text{ кОм.}$$

10. Вычисляем значения коэффициентов усиления по току, напряжению и мощности (14):

$$K_i = 22 \cdot \frac{1,09}{1,09 + 0,154} \cdot \frac{0,68}{0,68 + 1,1} = 7,36$$

$$K_U = 7,36 \cdot \frac{1,1}{0,68 + 0,135} = 9,94$$

$$K_p = 7,36 \cdot 9,94 = 73,16$$

11. Амплитудное значение ЭДС источника входного сигнала (15):

$$E_{гм} = 3 / 9,94 = 0,3 \text{ В}$$

12. Определение параметров конденсаторов схемы. Поскольку все три коэффициента частотных искажений при частоте f_n заданы одинаковыми ($M_{нс1} = M_{нс2} = M_{нс3} = 1,1$), соответствующие постоянные времени также будут одинаковы (16):

$$\tau_{сн1} = \tau_{сн2} = \tau_{сн3} = (2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot \sqrt{(1,1^2 - 1)})^{-1} = 6,95 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

Емкости конденсаторов (17):

$$C1 = \frac{6,95 \cdot 10^{-3}}{(0,68 + 0,135) \cdot 10^3} \approx 8,5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}; \quad C2 = \frac{6,95 \cdot 10^{-3}}{(0,68 + 1,1) \cdot 10^3} \approx 3,9 \cdot 10^{-6} \text{ Ф};$$

$$C_{э} = \frac{6,95 \cdot 10^{-3}}{0,18 \cdot 10^3} \approx 38,6 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.}$$

Выбираем стандартные конденсаторы с емкостью не менее полученной при расчете.

13. Определяем постоянные времени на высшей рабочей частоте и граничную частоту усиления транзистора в схеме с общим эмиттером (19), (20):

$$\tau_{в} = (1 + 22) \cdot 45 \cdot 10^{-12} \cdot 680 \cdot 1100 / (680 + 1100) = 4,35 \cdot 10^{-7} \text{ с}$$

$$f_{\beta} = 1 \cdot 10^6 / (1 + 22) = 4,35 \cdot 10^4 \text{ Гц}$$

Коэффициент частотных искажений на частоте $f_{в} = 20$ кГц будет равен (18):

