

Контрольная работа № 2

Вариант 27

Задача №1

Нарисовать схему одиночного усилительного каскада на БТ с ОЭ и эмиттерной стабилизацией и выполнить расчет элементов схемы, задающих рабочую точку.

Выполнить графоаналитический расчет усилительного каскада в режиме класса "А". При расчетах использовать выходные статические характеристики транзистора.

Исходные данные:

Тип транзистора: КТ3127А

$$U_{K0} = 6(B)$$

$$I_{K0} = 8(мА)$$

Решение

Расчет элементов схемы одиночного усилительного каскада на БТ с ОЭ и эмиттерной стабилизацией, принципиальная схема которого приведена на рис 2.1, выполняется в следующей последовательности.

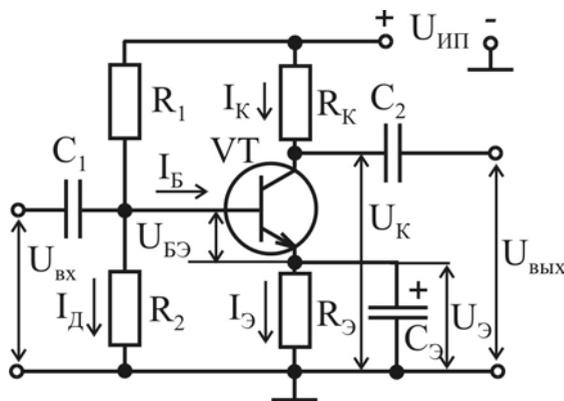


Рис 2.1

В рассматриваемом каскаде БТ работает в режиме "А", и положение рабочей точки задается примерно на середине нагрузочной прямой. Поэтому напряжение источника питания определяется из условия $U_{ИП} = 2U_{K0} = 2 \cdot 6 = 12(B)$, а напряжение на резисторе R_K определяется выражением

$$U_{R_K} = U_{ИП} - U_{K0} = U_{K0} = 6(B)$$

Падение напряжение на резисторе $R_Э$ рекомендуется выбирать из диапазона значений $U_Э = (0,05...0,1)U_{ИП}$.

$$U_Э = 0,07 \cdot U_{ИП} = 0,07 \cdot 12 = 0,84(B)$$

Вычисляем сопротивление резисторов:

$$R_Э = \frac{U_Э}{I_Э} \approx \frac{U_{R_Э}}{I_{K0}} = \frac{0,84}{8 \cdot 10^{-3}} = 105(Ом)$$

$$R_K = \frac{U_{R_K}}{I_{K0}} = \frac{6}{8 \cdot 10^{-3}} = 750(Ом)$$

Напряжение $U_{БЭ}$ для кремниевых транзисторов лежит в диапазоне 0,6...0,8 В

Принимаем $U_{БЭ} = 0,7(B)$.

Напряжение на базе определяется как

$$U_B = U_{БЭ} + U_{Э} = 0,7 + 0,84 = 1,54(B)$$

С учетом связи между токами транзистора $\beta = \frac{I_K}{I_B} = 15$, найдем ток базы:

$$I_B = \frac{I_K}{\beta} = \frac{8 \cdot 10^{-3}}{15} = 0,53(мА)$$

Для обеспечения хорошей стабилизации рабочей точки ток делителя в цепи базы должен быть больше тока базы $I_D = (5...10)I_B$.

$$\text{Принимаем } I_D = 10 \cdot I_B = 10 \cdot 0,53 \cdot 10^{-3} = 5,3(мА)$$

Сопротивления резисторов делителя находим согласно выражениям:

$$R_2 = \frac{U_B}{I_D} = \frac{1,54}{5,3 \cdot 10^{-3}} = 291(Ом)$$

$$R_1 = \frac{U_{ИП} - U_B}{I_D + I_B} = \frac{12 - 1,54}{5,3 \cdot 10^{-3} + 0,53 \cdot 10^{-3}} = 1,79(кОм)$$

Графоаналитический расчет усилителя проводим в следующем порядке. По справочнику определяем его максимально допустимые параметры:

- постоянный ток коллектора $I_{K \max} = 20(мА)$;
- постоянное напряжение коллектор-эмиттер $U_{КЭ \max} = -20(B)$;
- постоянная рассеиваемая мощность коллектора $P_{K \max} = I_K U_{КЭ} = 100(мВт)$.

На семействе выходных характеристик транзистора, как показано на рис 2.2, строим область допустимых режимов, ограниченную $I_{K \max}$, $U_{КЭ \max}$, $P_{K \max}$.

Выполняем построение нагрузочной прямой, которая описывается уравнением

$I_K = (U_{ИП} - U_{КЭ}) / R_K$. Прямая проводится через две точки, лежащие на осях координат:

- точку с координатами $I_K = 0, U_{КЭ} = U_{ИП} = 12(B)$ на оси напряжений;
- точку с координатами $I_K = \frac{U_{ИП}}{R_K} = \frac{12}{750} = 16(мА), U_{КЭ} = 0$.

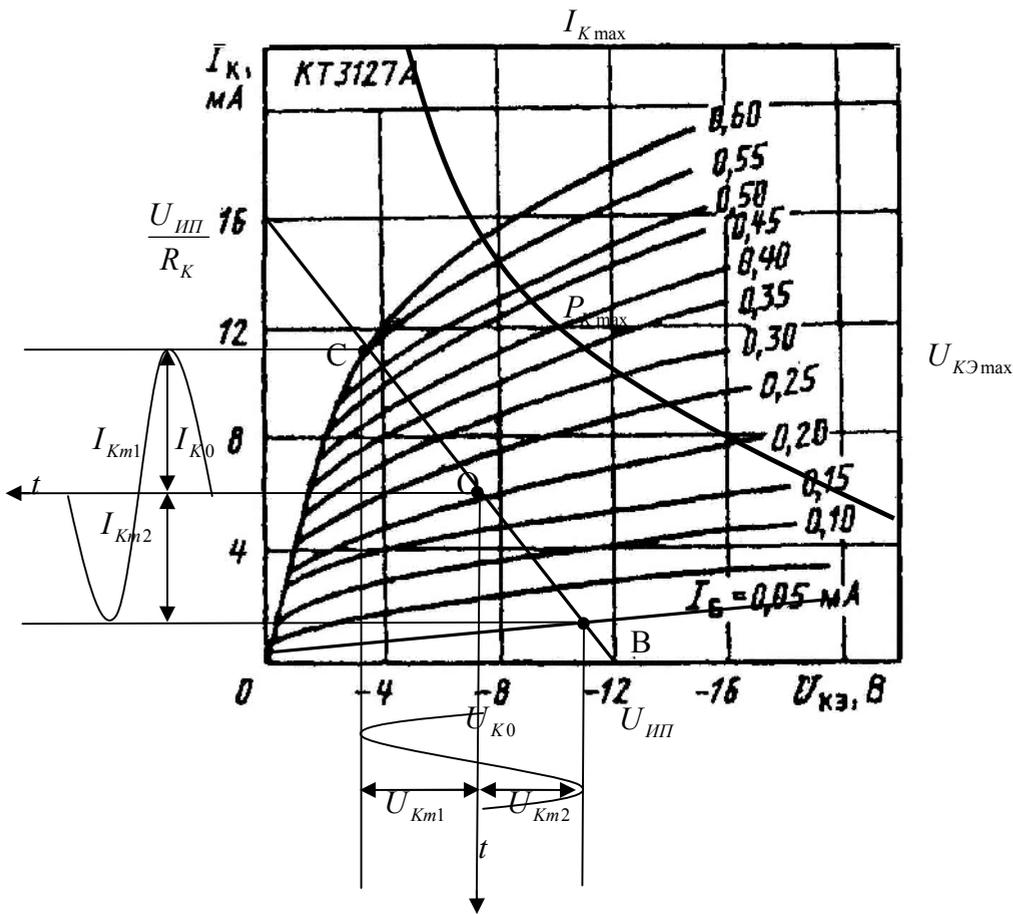


Рис 2.2

Максимальные значения амплитуды полуволн неискаженного сигнала соответствуют пересечению нагрузочной прямой с статическими характеристиками в точке “С” – режим насыщения и в точке “В” – режим отсечки.

Рабочая точка “О” находится на середине нагрузочной прямой, тогда

$$U_{Km} = \frac{U_{Km1} + U_{Km2}}{2} = \frac{11 - 3}{2} = 4(B);$$

$$I_{Km} = \frac{I_{Km1} + I_{Km2}}{2} = \frac{11 - 1.5}{2} = 4.75(мА).$$

Максимальная мощность неискаженного сигнала определяется выражением:

$$P_{Km} = \frac{1}{2} U_{Km} I_{Km} = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 4.75 \cdot 10^{-3} = 9.5(мВт)$$

Мощность, потребляемая от источника питания:

$$P_0 = U_{K0} I_{K0} = 7 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 42(мВт)$$

Тогда коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{P_{Km}}{P_0} = \frac{9.5 \cdot 10^{-3}}{42 \cdot 10^{-3}} = 0.226$$

Задача №2

Нарисовать схему электронного ключа на БТ с ОЭ и построить его передаточную характеристику $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$. Если сопротивление нагрузки $R_H = 5R_K$. Тип транзистора, напряжение питания сопротивление резистора в цепи коллектора использовать в соответствии с исходными данными и решением задачи №1. Сопротивление резистора в цепи базы принять равным входному сопротивлению БТ $R_B = h_{11Э}$ рассчитанному для рабочей точки.

Исходные данные:

Тип транзистора: КТ3127А

$$U_{K0} = 6(B)$$

$$I_{K0} = 8(мА)$$

Решение

Передаточная характеристика $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ электронного ключа на БТ, принципиальная схема которого представлена на рис 2.3, выполняется в следующей последовательности.

Находим параметры эквивалентной схемы ключа, показанной на рис. 2.4:

$$R_H = 5R_K = 5 \cdot 750 = 3.75(кОм)$$

$$U_{\text{ИП экв}} = U_{\text{ИП}} \frac{R_H}{R_K + R_H} = 12 \cdot \frac{3750}{750 + 3750} = 10(B);$$

$$R_{K \text{ экв}} = \frac{R_K R_H}{R_K + R_H} = \frac{750 \cdot 3750}{750 + 3750} = 625(Ом)$$

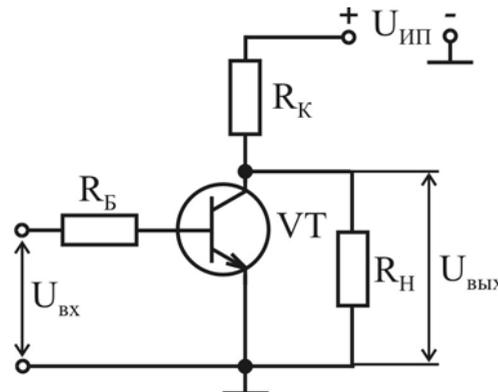


Рис. 2.3

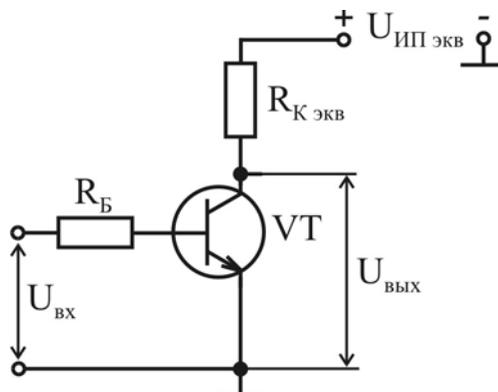


Рис. 2.4

На семействе выходных характеристик БТ $I_K = f(U_{KЭ})|_{I_B=const}$ проводим нагрузочную прямую (рис. 2.5), описываемую уравнением $I_K = \frac{U_{ИПЭкв} - U_{KЭ}}{R_{KЭкв}}$, через две точки, лежащие на осях координат:

- точку с координатами $I_K = 0, U_{KЭ} = U_{ИПЭкв} = 10(B)$ на оси напряжений;

- точку с координатами $I_K = \frac{U_{ИПЭкв}}{R_{KЭкв}} = \frac{10}{625} = 16(мА), U_{KЭ} = 0$ на оси токов.

Находим точки пересечения нагрузочной прямой с кривыми $I_K = f(U_{KЭ})|_{I_B=const}$, которые определяют токи базы I_{Bi} и выходные напряжения ключа $U_{выхi} = U_{KЭi}$ ($i = 1, \dots, N$), где N – количество таких точек.

Входная ВАХ БТ $I_B = f(U_{БЭ})|_{U_{KЭ}=const}$, соответствующая $U_{KЭ} \neq 0$, позволяет найти напряжения $U_{БЭi}$, соответствующие выходным напряжениям $U_{выхi}$, как показано на рисунке 2.6. В качестве напряжения $U_{БЭi}$, соответствующего $I_B = 0$, используют пороговое напряжение $U_{БЭпор}$, которое определяется напряжением точки пересечения прямой, аппроксимирующей входную ВАХ при больших значениях тока базы, с осью абсцисс (рис 2.6). Тогда соответствующие входные напряжения вычисляются согласно выражению:

$$U_{выхi} = U_{БЭi} + I_{Bi} \cdot R_B.$$

$$R_B = h_{11Э} = \left. \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_B} \right|_{U_{KЭ}=const} = \frac{0.8 - 0.65}{0.2 - 0} = 0.75(Ом)$$

Получаем

№	$I_B, мА$	$U_{БЭ}, В$	$U_{вых}(U_{KЭ}), В$	$U_{вых}, В$
1	0	0.65	9	0.65
2	0.05	0.72	8.3	0.76
3	0.1	0.75	7.5	0.825
4	0.15	0.775	7	0.89
5	0.25	0.8	6.2	0.99
6	0.35	0.8	5	1.06
7	0.45	0.8	4.7	1.14
8	0.6	0.8	3	1.25

Полученные пары значений $U_{выхi}$ и $U_{выхi}$ позволяют построить передаточную характеристику ключа, представленную на рас. 2.7. Высокий выходной уровень $U_{вых}^1$ соответствует работе БТ в режиме отсечки (точка “1”):

$$U_{вых}^1 = U_{ИПЭкв} - I_{KЭ0} R_K \approx U_{ИПЭкв}.$$

Низкий выходной уровень соответствует работе в режиме насыщения (точка “8”):

$$U_{вых}^0 = U_{KЭнас}.$$

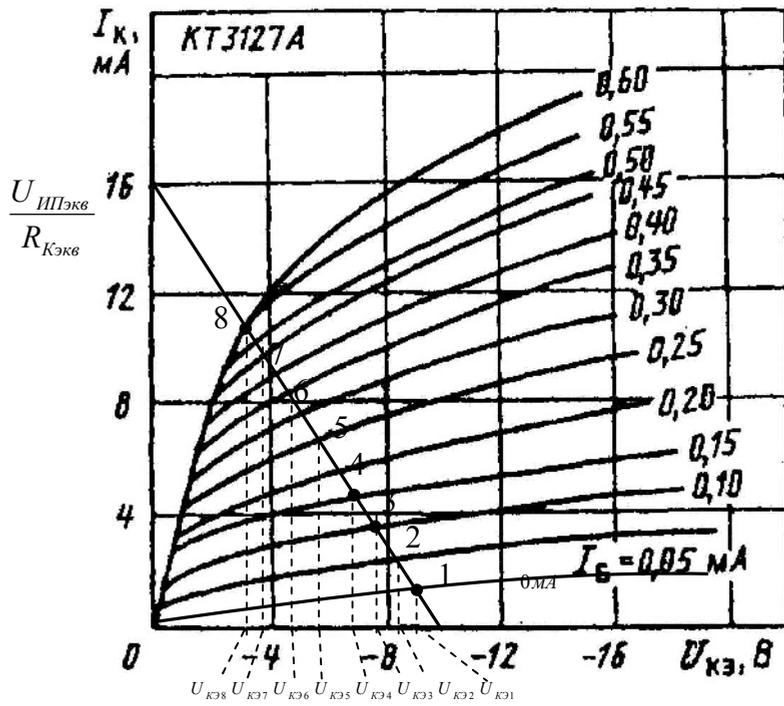


Рис. 2.5

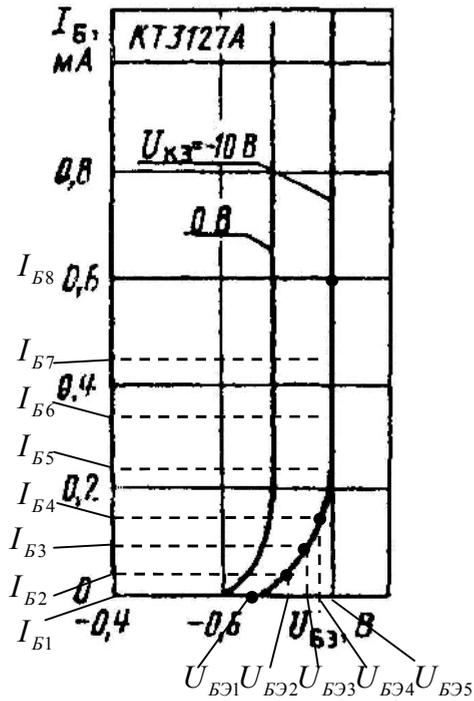


Рис. 2.6

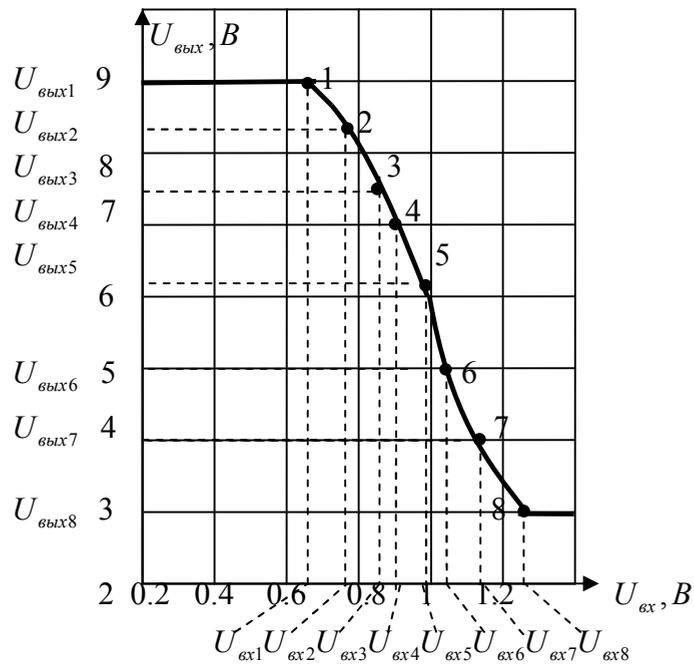


Рис. 2.7

На передаточной характеристике ключа имеется три области: отсечки, соответствующая малым уровням входного напряжения; активная область, соответствующая переключению БТ из режима отсечки в режим насыщения и наоборот; область насыщения, соответствующая большим уровням входного напряжения.

Задача №3

Изобразить принципиальные схемы инвертирующего и неинвертирующего усилителя на основе ОУ и рассчитать для каждого усилителя коэффициент усиления K_{OC} , входное $R_{вх.OC}$ и выходное $R_{вых.OC}$ сопротивление.

Исходные данные:

$$R = 10(\kappa Ом); R_{OC} = 20(\kappa Ом); K = 40000; R_{вх} = 600(\kappa Ом); R_{вых} = 0.4(\kappa Ом).$$

Решение

Параметры инвертирующего и неинвертирующего усилителей практически полностью определяются элементами цепи обратной связи. Схемы инвертирующего и неинвертирующего усилителей на основе ОУ приведены на рис. 2.8 и 2.9 соответственно.

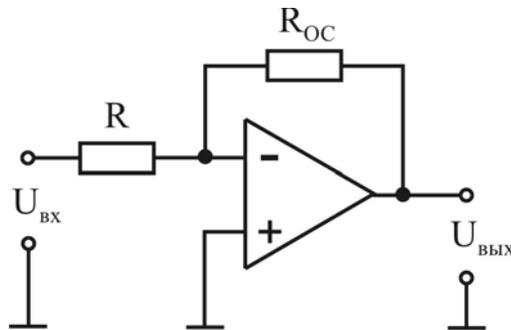


Рис 2.8

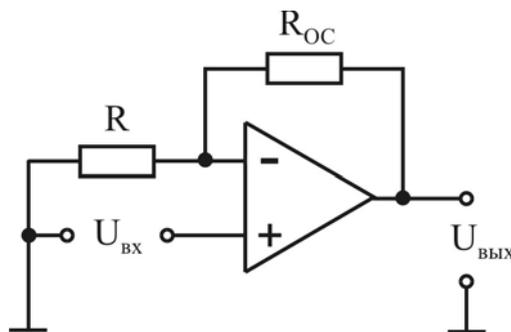


Рис 2.9

Коэффициент усиления по напряжению усилителя, охваченного петлей отрицательной ОС, можно рассчитать по формуле:

$$K_{OC} = \frac{K}{1 + \beta \cdot K}$$

где K - собственный коэффициент усиления по напряжению ОУ; β - коэффициент передачи цепи ОС.

Для схемы инвертирующего усилителя (рис. 2.8), коэффициент передачи цепи равен

$$\beta = \frac{R}{R_{OC}} = \frac{10}{20} = 0.5$$

$$\text{Получаем } K_{OC} = \frac{K}{1 + \beta \cdot K} = \frac{40000}{1 + 0.5 \cdot 40000} = 2$$

В случае реального ОУ коэффициент усиления инвертирующего усилителя определяется выражением

$$K_{OC} = -\frac{K_{эф}}{1 + \beta \cdot K_{эф}}, \text{ где } K_{эф} = \frac{K \cdot R_{OC}}{R_{OC} + R}.$$

Получаем

$$K_{эф} = \frac{K \cdot R_{OC}}{R_{OC} + R} = \frac{40000 \cdot 20}{20 + 10} = 26670$$

$$K_{OC} = -\frac{K_{эф}}{1 + \beta \cdot K_{эф}} = -\frac{26670}{1 + 0.5 \cdot 26670} = 2$$

Знак “минус” отражает инвертирование входного сигнала.

В случае идеального ОУ $K \rightarrow \infty$, тогда

$$K_{OC} = -\frac{1}{\beta} = -\frac{R_{OC}}{R} = -\frac{20}{10} = -2$$

Для схемы неинвертирующего усилителя (рис. 2.9) коэффициент передачи цепи ОС

$$\beta = \frac{R}{R + R_{OC}} = \frac{10}{10 + 20} = 0.333$$

В случае реального ОУ коэффициент усиления неинвертирующего усилителя определяется выражением

$$K_{OC} = \frac{K}{1 + \beta \cdot K} = \frac{40000}{1 + 0.333 \cdot 40000} = 3.003$$

В случае идеального ОУ $K \rightarrow \infty$, тогда

$$K_{OC} = 1 + \frac{R_{OC}}{R} = 1 + \frac{20}{10} = 3$$

Дифференциальное входное сопротивление инвертирующего усилителя определяется сопротивлением резистора на входе:

$$R_{вх.OC} = R_{вх} = 600(\text{кОм})$$

Входное сопротивление неинвертирующего усилителя определяется как входное сопротивление усилителя, охваченного последовательной отрицательной ОС:

$$R_{вх.OC} = R_{вх} (1 + \beta \cdot K) = 600 \cdot 10^3 \cdot (1 + 2 \cdot 40000) = 4.8 \cdot 10^{10}(\text{Ом})$$

где $R_{вх}$ - входное сопротивление ОУ без ОС.

Выходное сопротивление для обеих схем усилителей определяется как

$$R_{вых.OC} = \frac{R_{вых}}{1 + \beta \cdot K}$$

Для инвертирующего усилителя получаем:

$$R_{вых.OC} = \frac{R_{вых}}{1 + \beta \cdot K} = \frac{0.4 \cdot 10^3}{1 + 0.5 \cdot 40000} = 5 \cdot 10^{-2}(\text{Ом})$$

Для неинвертирующего усилителя:

$$R_{вых.OC} = \frac{R_{вых}}{1 + \beta \cdot K} = \frac{0.4 \cdot 10^3}{1 + 0.333 \cdot 40000} = 3.003 \cdot 10^{-2}(\text{Ом})$$