

2. РАСЧЕТ ТРАНЗИСТОРНОГО УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА

Цель работы: провести графоаналитическое исследование режима работы транзистора в классе А и определить основные параметры транзисторного усилительного каскада в схеме с общим эмиттером при одном источнике питания E_K с автоматическим смещением и эмиттерной стабилизацией рабочего режима, т. е. с последовательной отрицательной обратной связью по постоянной составляющей тока.

В процессе выполнения задания необходимо определить:

– положение рабочей точки покоя и соответствующие ей значения токов $I_{б0}$, $I_{к0}$, $I_{э0}$ и напряжений $U_{бэ0}$, $U_{кэ0}$;

– диапазон изменения входного $\pm U_{m\text{ вх}}$ и выходного $\pm U_{m\text{ вых}}$ напряжения;

– значения сопротивлений резисторов R_1 , R_2 , $R_э$, $R_к$ и емкости конденсаторов $C_э$, $C_{р1}$ и $C_{р2}$;

– параметры усилительного транзисторного каскада: входное $R_{\text{каскад вх}}$ и выходное $R_{\text{каскад вых}}$ сопротивления, коэффициенты усиления по току K_I , напряжению K_U и мощности K_P .

Тип биполярного транзистора для усилительного каскада необходимо выбрать по номеру своего варианта из табл. 3. Там же приведены предельно допустимые и $h_{б}$ -параметры транзисторов. Семейство статических выходных вольт-амперных характеристик, а также входные характеристики транзисторов приведены в прил. 3. Напряжение источника питания E_K выбирается из табл. 4.

Таблица 3

Выбор типа биполярного транзистора

Последняя цифра номера варианта	Тип транзистора	h -параметры				Предельные значения		
		$h_{11б}$, Ом	$h_{12б}$	$h_{21б}$	$h_{22б}$, См	$U_{кэ}$, В	$I_{к}$, мА	$P_{\text{доп}}$, мВт
1	МП42А	30	$2 \cdot 10^{-3}$	-0,96	$1 \cdot 10^{-6}$	15	40	200
2	МП39	30	$1 \cdot 10^{-3}$	-0,93	$1 \cdot 10^{-6}$	15	40	150
3	МП41	35	$1 \cdot 10^{-3}$	-0,97	$1 \cdot 10^{-6}$	15	40	150
4	МП113	50	$1 \cdot 10^{-3}$	-0,96	$1 \cdot 10^{-6}$	10	20	150
5	МП111	50	$0,5 \cdot 10^{-3}$	-0,93	$1 \cdot 10^{-6}$	20	20	150
6	МП39Б	32	$1 \cdot 10^{-3}$	-0,96	$1 \cdot 10^{-6}$	15	40	150
7	МП36А	20	$5 \cdot 10^{-3}$	-0,96	$2 \cdot 10^{-6}$	15	40	150
8	П401	20	$2 \cdot 10^{-3}$	-0,98	$2 \cdot 10^{-6}$	10	10	50
9	МП41А	25	$2 \cdot 10^{-3}$	-0,98	$1 \cdot 10^{-6}$	15	40	150
0	МП25	25	$3 \cdot 10^{-3}$	-0,93	$2 \cdot 10^{-6}$	15	25	150

Выбор напряжения источника питания

Предпоследняя цифра номера варианта	Напряжение E_k для транзистора, В									
	МП42А	МП39	МП41	МП113	МП111	МП39Б	МП36А	П401	МП41А	МП25
0	14	11	12	9	18	13	14	7	11	9
1	12	13	14	8	16	11	12	8	13	12
2	13	12	11	7	14	14	13	9	12	14
3	9	9	9	7,2	15	9	12,2	7,2	9	11
4	10	10	10	7,5	15,5	10	12,5	7,5	10	10
5	10,5	10,5	10,5	7,7	16,5	10,5	13,2	7,7	10,5	10,5
6	11	11,5	11,5	8,2	17	11,5	13,5	8,2	11,5	12,5
7	11,5	12,5	12,5	8,5	17,5	12	13,7	8,5	12,5	13
8	12,5	13,5	13	8,7	18,5	12,5	14,2	8,7	13,5	13,5
9	14,5	14	13,5	9,5	19	13,5	14,5	9,5	14	14

2.1. Краткие теоретические сведения

Усилитель – это электронное устройство, управляющее потоком энергии, идущей от источника питания к нагрузке. Причем мощность, требующаяся для управления, как правило, намного меньше мощности, отдаваемой в нагрузку, а формы входного (усиливаемого) и выходного (на нагрузке) сигналов совпадают.

В усилительном каскаде на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером (рис.15), в коллекторную цепь транзистора включен резистор R_k , с помощью которого формируется выходное напряжение.

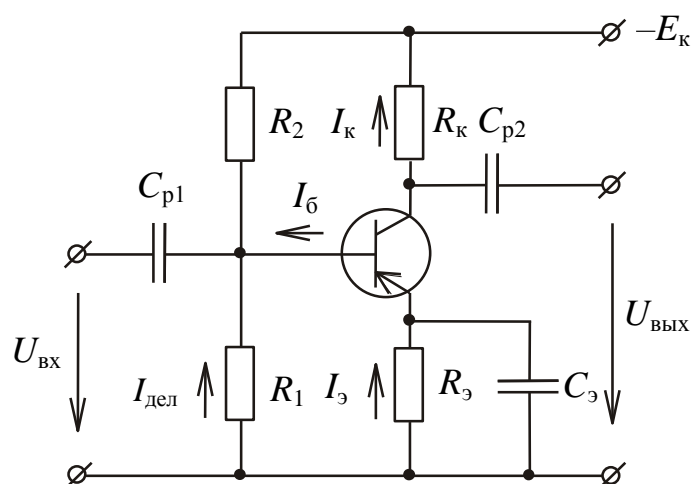


Рис. 15. Схема транзисторного усилительного каскада с эмиттерной стабилизацией рабочего режима

Делитель напряжения на резисторах R_1 и R_2 определяет значение тока базы $I_{\text{б0}}$, обеспечивающего положение рабочей точки покоя P_T в режиме класса А. Для уменьшения влияния температуры на режим работы транзистора в цепь эмиттера включен резистор R_3 , который осуществляет последовательную отрицательную обратную связь по постоянной составляющей. Конденсатор C_3 исключает влияние отрицательной обратной связи по переменной составляющей (т. е. для полезного сигнала). Разделительный конденсатор C_{p1} устраняет влияние внутреннего сопротивления источника входного сигнала $U_{\text{вх}}$ на режим работы транзистора по постоянному току. Конденсатор C_{p2} обеспечивает выделение из коллекторного напряжения переменной составляющей $U_{\text{вых}}$, которая может подаваться на нагрузочный резистор R_H .

2.2. Методические указания

2.2.1. Записать параметры заданного транзистора, изобразить схему усилительного каскада (см. рис. 15) и объяснить назначение каждого элемента схемы.

2.2.2. Перечертить входную характеристику $I_{\text{б}} = f(U_{\text{бэ}})$ при $U_{\text{кэ}} = -5$ В и семейство выходных вольт-амперных характеристик $I_{\text{к}} = f(U_{\text{кэ}})$ при $I_{\text{б}} = \text{const}$, на которых по нескольким точкам построить кривую допустимой мощности $P_{\text{к}} = I_{\text{к}}U_{\text{к}} = P_{\text{доп}}$, рассеиваемой транзистором (рис. 16). Ниже этой кривой из точки $U_{\text{кэ}} = E_{\text{к}}$, выбрав наиболее подходящий угол наклона, провести нагрузочную линию $U_{\text{кэ}} = E_{\text{к}} - I_{\text{к}}(R_{\text{к}} + R_3)$, на которой выбрать и отметить положение рабочей точки покоя P_T в режиме класса А и допустимые при этом пределы изменения амплитуды базового тока $\pm I_{m\text{б}}$, соответствующие максимальному значению входного сигнала. Положение рабочей точки на входной характеристике должно соответствовать значению тока $I_{\text{б0}}$, при котором выбрана рабочая точка на пересечении линии нагрузки и выходной характеристики.

2.2.3. На графиках выходных и входной характеристик изобразить (подобно рис. 16) кривые $i_{\text{к}} = I_{\text{к0}} + I_{m\text{к}} \sin(\omega t)$, $u_{\text{кэ}} = U_{\text{кэ0}} + U_{m\text{кэ}} \sin(\omega t)$, $i_{\text{б}} = I_{\text{б0}} + I_{m\text{б}} \sin(\omega t)$.

По графикам определить и записать значения: $I_{\text{б0}}$; $\pm I_{m \text{ б}} = \pm 0,5 (I_{\text{б max}} - I_{\text{б min}})$; $I_{\text{к0}}$; $\pm I_{m \text{ к}} = \pm 0,5 (I_{\text{к max}} - I_{\text{к min}})$; $I_{\text{э0}} = I_{\text{б0}} + I_{\text{к0}}$; $U_{\text{бэ0}}$; $\pm U_{m \text{ бэ}} = \pm U_{m \text{ вх}}$; $U_{\text{кэ0}}$; $\pm U_{m \text{ кэ}} = \pm U_{m \text{ вых}} = \pm 0,5 (U_{\text{кэ max}} - U_{\text{кэ min}})$.

2.2.4. Рассчитать значения $h_{\text{э}}$ -параметров для схемы с общим эмиттером:

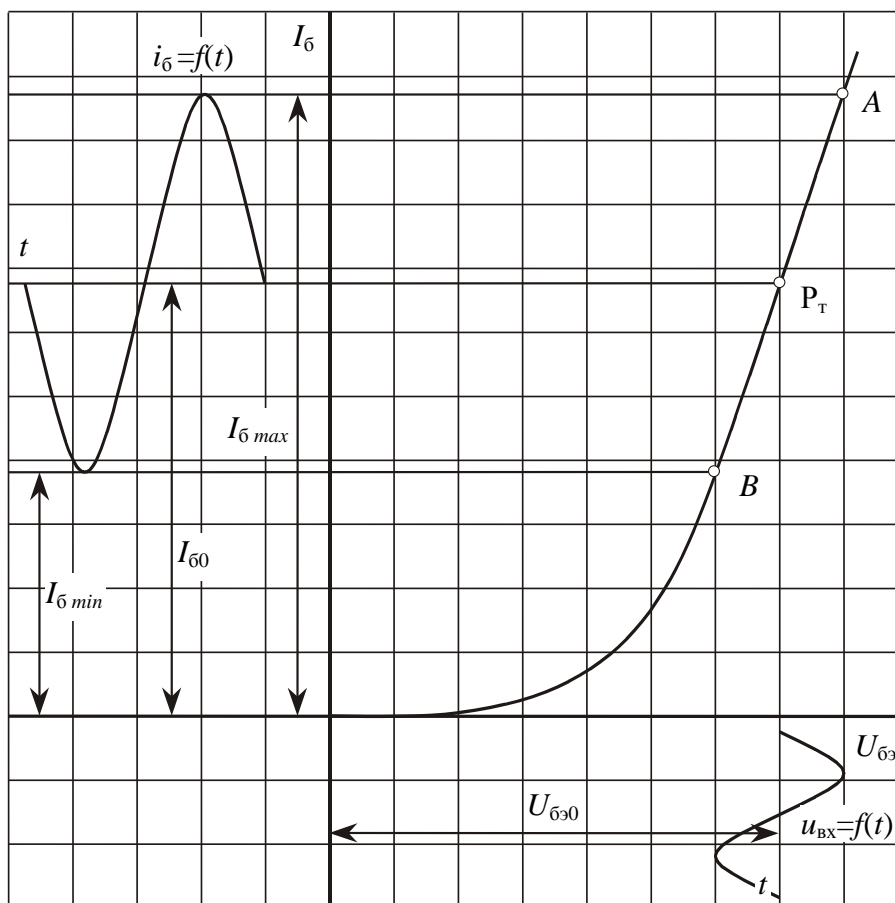
$$h_{11\text{э}} = h_{11\text{б}} / (1 + h_{21\text{б}}); \quad (23)$$

$$h_{12\text{э}} = (h_{11\text{б}}h_{22\text{б}} - h_{12\text{б}}h_{21\text{б}} - h_{12\text{б}}) / (1 + h_{21\text{б}}); \quad (24)$$

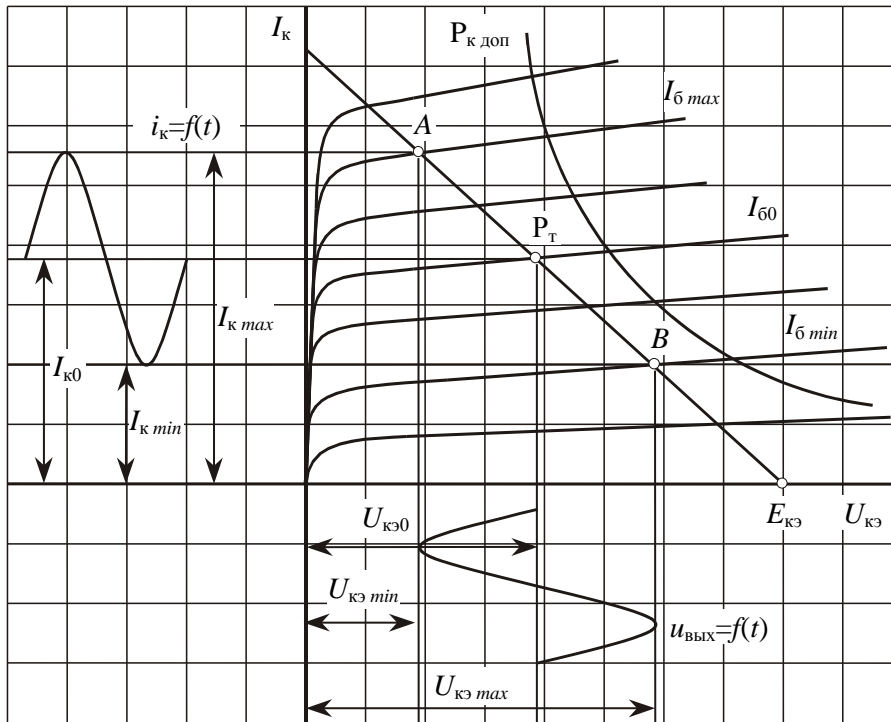
$$h_{21\text{э}} = -h_{21\text{б}} / (1 + h_{21\text{б}}); \quad (25)$$

$$h_{22\text{э}} = h_{22\text{б}} / (1 + h_{21\text{б}}). \quad (26)$$

Для схемы включения транзистора с общим эмиттером определить входное сопротивление транзистора $r_{\text{вх транз}} = h_{11\text{э}}$ и коэффициент передачи тока $\beta = h_{21\text{э}}$.



a



б

Рис. 16. Определение рабочего режима транзистора по входной характеристике (а) и по семейству выходных характеристик (б)

2.2.5. Рассчитать значения сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов:

$$R_3 = (0, 2, \dots, 0, 3) E_K / I_{\varepsilon 0}. \quad (27)$$

Задавшись значением сопротивления $R_1 = (2, \dots, 5) r_{\text{вх транз}}$, определить

$$I_{\text{дел}} = (I_{\varepsilon 0} R_3 + U_{\text{б}\varepsilon 0}) / R_1; \quad (28)$$

$$R_2 = (E_K - I_{\text{дел}} R_1) / (I_{\text{дел}} + I_{\text{б}0}); \quad (29)$$

$$R_K = (E_K - U_{\text{к}\varepsilon 0} - I_{\varepsilon 0} R_3) / I_{\text{к}0}, \quad (30)$$

или принять $I_{\text{дел}} = (2, \dots, 5) I_{\text{б}0}$ и найти

$$R_1 = (I_{\varepsilon 0} R_3 + U_{\text{б}\varepsilon 0}) / I_{\text{дел}}; \quad (31)$$

$$R_2 = (E_K - I_{\text{дел}} R_1) / (I_{\text{дел}} + I_{\text{б}0}); \quad (32)$$

$$R_K = (E_K - U_{\text{к}\varepsilon 0} - I_{\varepsilon 0} R_3) / I_{\text{к}0}. \quad (33)$$

Эквивалентное сопротивление базовой цепи для переменной составляющей входного тока

$$R_{\text{б}} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2). \quad (34)$$

Значения емкости конденсаторов при частотной полосе входного сигнала в пределах $f_H = 100$ Гц, $f_B = 10000$ Гц определяются так:

$$C_3 = 10^7 / [(1, \dots, 2) 2\pi f_H R_3]; \quad (35)$$

$$C_{p1} = C_{p2} = 10^7 / [(1, \dots, 2) 2\pi f_H R_{\text{каск вх}}], \quad (36)$$

где C_3 , C_{p1} и C_{p2} – в мкФ.

2.2.6. Определить параметры усилительного каскада.

Входное и выходное сопротивления каскада определяются следующим образом:

$$R_{\text{каск вх}} = R_{\text{б}} r_{\text{вх транз}} / (R_{\text{б}} + r_{\text{вх транз}}); \quad (37)$$

$$R_{\text{каск вых}} = R_K / (1 + h_{22\varepsilon} R_K). \quad (38)$$

Коэффициенты усиления каскада без дополнительной внешней нагрузки, а также без учета внутреннего сопротивления источника входного сигнала имеют вид:

$$K_I = I_{\text{вых}} / I_{\text{вх}} \approx \beta; \quad (39)$$

$$K_U = -(\beta R_K) / R_{\text{каск вх}}; \quad (40)$$

$$K_P = K_I K_U. \quad (41)$$

Полезная выходная мощность каскада

$$P_{\text{ВЫХ}} = 0,5 (U_{m \text{ ВЫХ}})^2 / R_K. \quad (42)$$

Полная мощность, расходуемая источником питания,

$$P_0 = I_{\text{Э0}} E_K + I_{\text{ДЕЛ}}^2 \cdot (R_1 + R_2) + I_{\text{Б0}}^2 R_2. \quad (43)$$

Электрический КПД усилительного каскада

$$\eta_{\text{Э}} = (P_{\text{ВЫХ}} / P_0) 100\%. \quad (44)$$

Коэффициент неустойчивости каскада по коллекторному току (желательно, чтобы он был меньше)

$$S = \beta / (1 + \beta\gamma) \text{ или } S \approx 1 + R_{\text{Б}} / R_{\text{Э}}, \quad (45)$$

$$S \approx (R_{\text{Б}} + R_{\text{Э}}) / [(1 + h_{21\text{Б}}) R_{\text{Б}} + R_{\text{Э}}], \quad (46)$$

где $\gamma = R_{\text{Э}} / (R_{\text{Б}} + R_{\text{Э}})$.

ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

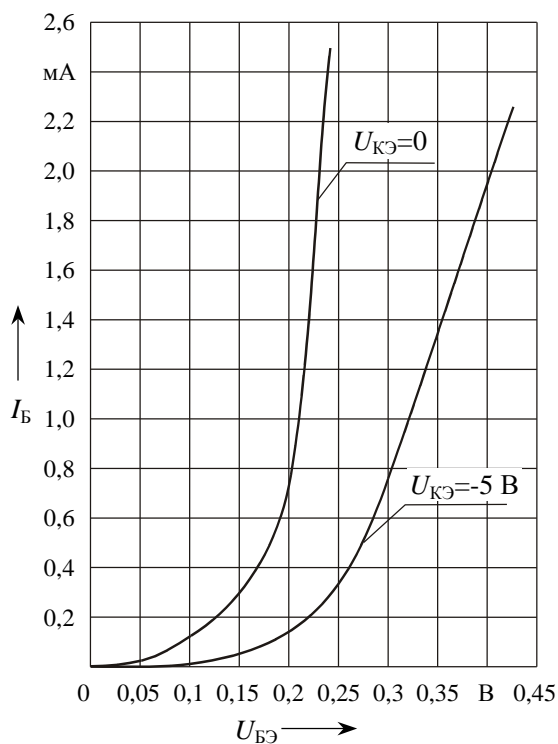


Рис. П.3.1. Входные характеристики биполярных транзисторов МП39, МП39Б, МП41, МП41А, МП42А в схеме с ОЭ

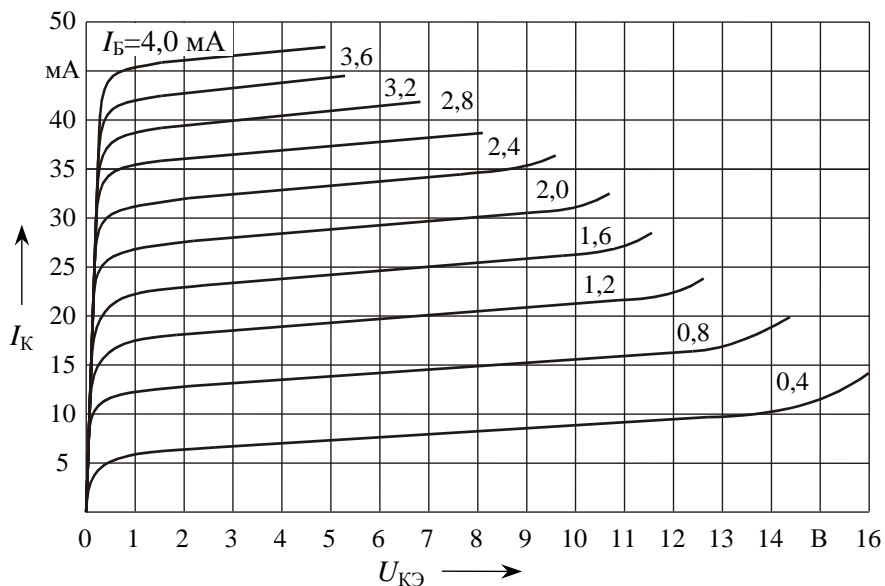


Рис. П.3.2. Выходные характеристики транзистора МП39 в схеме с ОЭ

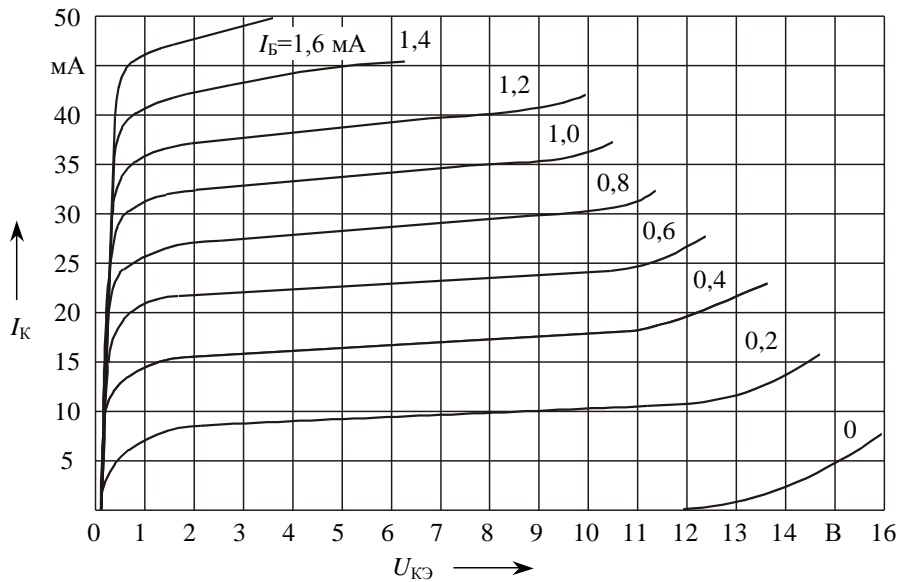


Рис. П.3.3. Выходные характеристики биполярных транзисторов МП39Б, МП41 в схеме с ОЭ

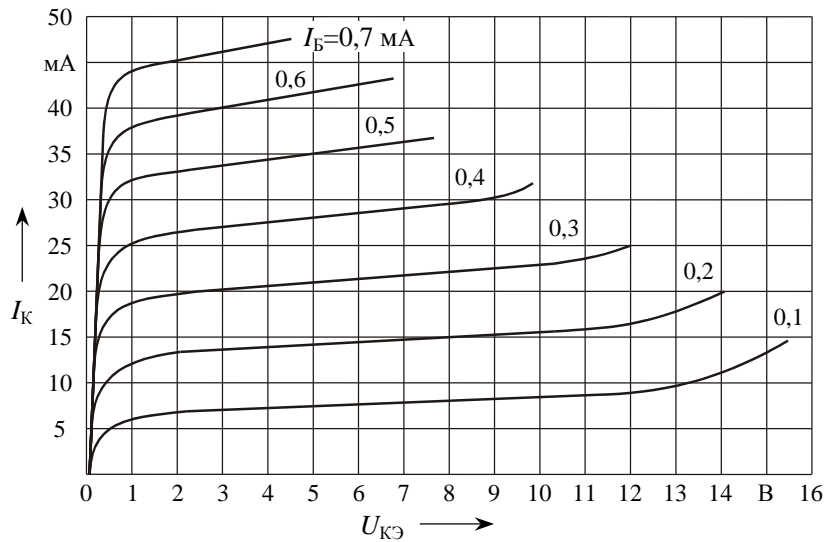


Рис. П.3.4. Выходные характеристики транзистора МП41А в схеме с ОЭ

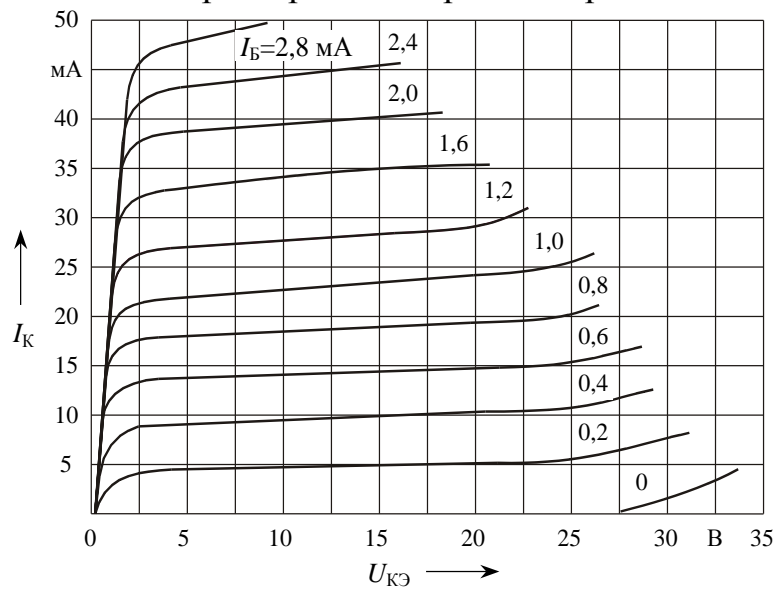


Рис. П.3.5. Выходные характеристики транзистора МП42А в схеме с ОЭ

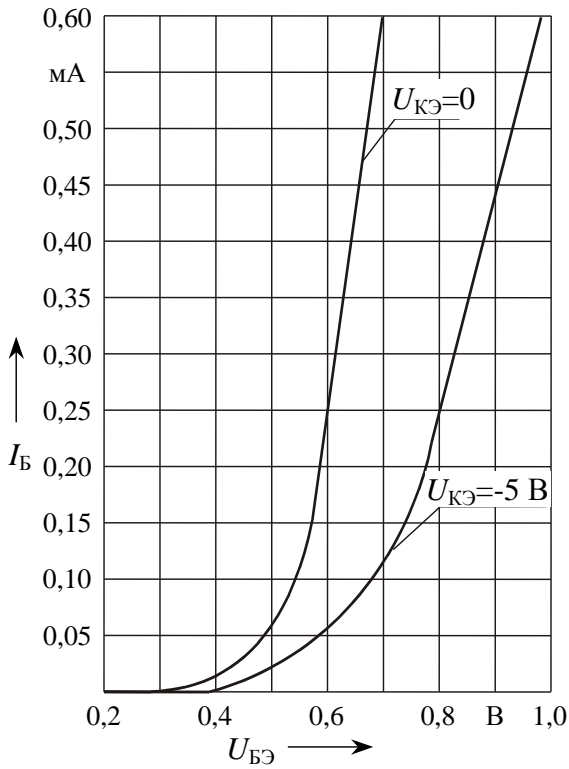


Рис. П.3.6. Входные характеристики транзисторов МП111 и МП113 в схеме с ОЭ

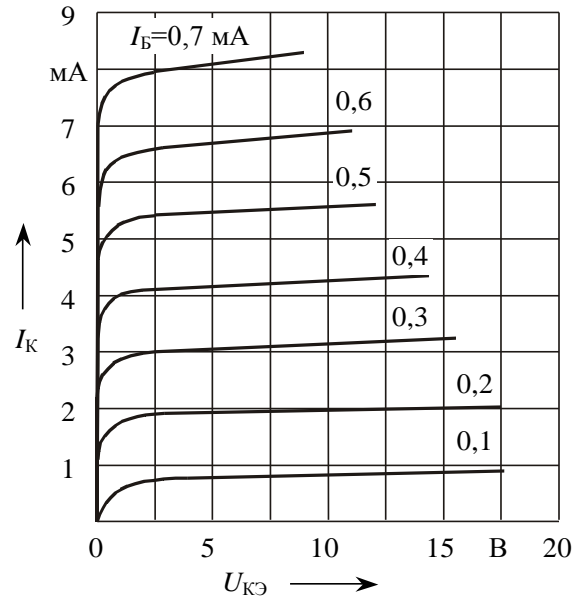


Рис. П.3.7. Выходные характеристики транзистора МП111 в схеме с ОЭ

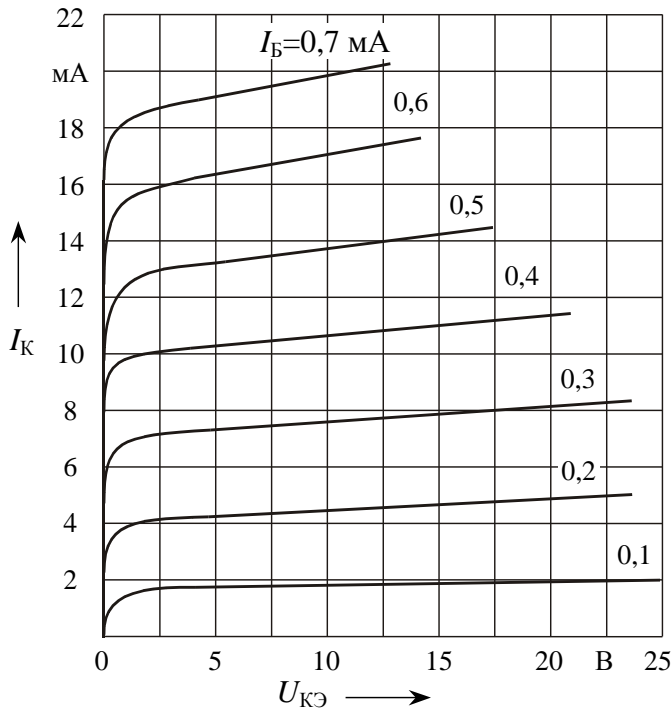


Рис. П.3.8. Выходные характеристики транзистора МП113 в схеме с ОЭ

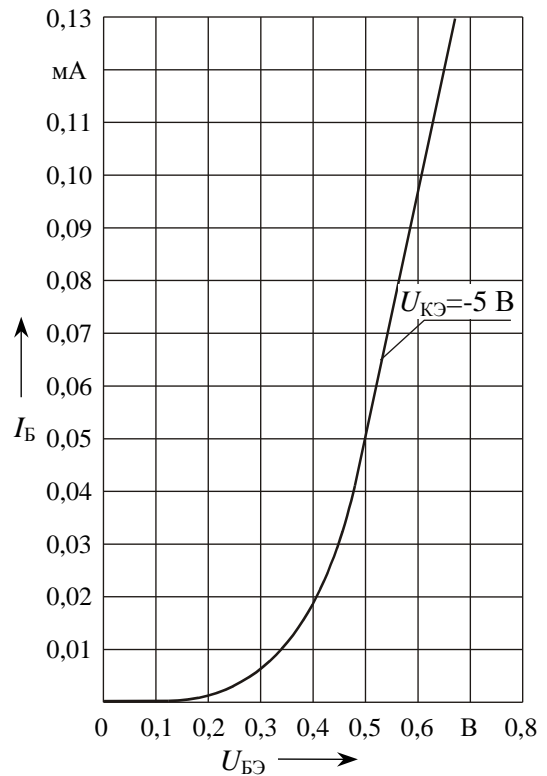


Рис. П.3.9. Входная характеристика транзистора П401 в схеме с ОЭ

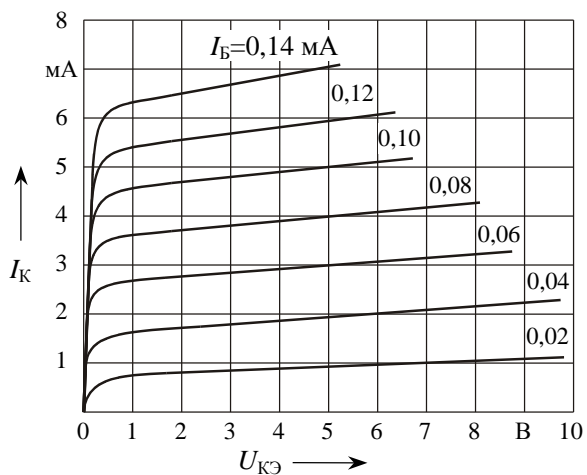


Рис. П.3.10. Выходные характеристики транзистора П401 в схеме с ОЭ

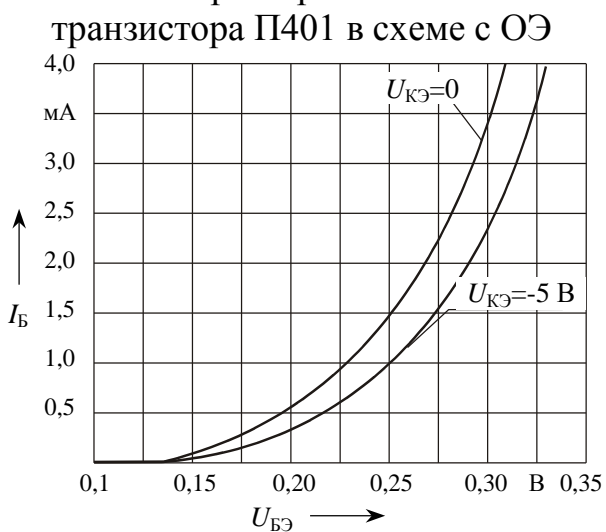


Рис. П.3.11. Входные характеристики транзисторов МП25 и МП36А в схеме с ОЭ

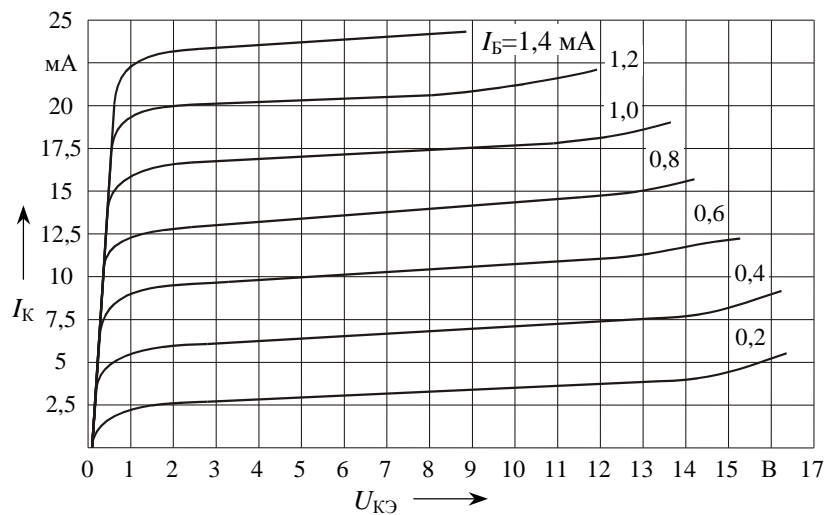


Рис. П.3.12. Выходные характеристики транзистора МП25 в схеме с ОЭ

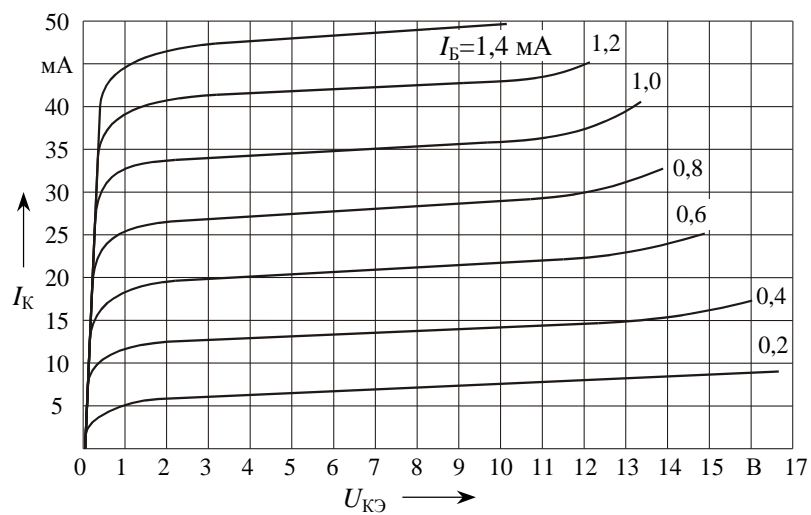


Рис. П.3.13. Выходные характеристики транзистора МП36А в схеме с ОЭ