

## **УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ НА ТРАНЗИСТОРЕ**

Цель работы: изучить схемы усилителей, их особенности и методику расчета усилителя на транзисторе, включенном по схеме с ОЭ; ознакомится с параметрами усилительных каскадов и порядком их расчета.

### **1. Краткие сведения из теории**

Усилителем называется электронное устройство, у которого коэффициент усиления по мощности больше единицы.

Параметры усилительного каскада: коэффициенты усиления по напряжению ( $K_U = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$ ), току ( $K_I = I_{\text{вых}}/I_{\text{вх}}$ ), мощности ( $K_P = P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}$ ); номинальная выходная мощность – наибольшая мощность, которую усилитель передает нагрузке без заметных искажений сигнала; входное ( $R_{\text{вх}} = U_{\text{вх}}/I_{\text{вх}}$ ) и выходное ( $R_{\text{вых}} = U_{\text{вых}}/I_{\text{вых}}$ ) сопротивления; чувствительность; полоса пропускания; коэффициент полезного действия; коэффициенты частотных, фазовых, нелинейных искажений и др.

Усилительные каскады различаются между собой по способу включения транзистора. Различают три вида усилительных каскадов – ОЭ, ОБ и ОК (эмиттерный повторитель). Схемы каскадов и временные диаграммы их работы приведены на рис. 2.1: с ОЭ – а, б; с ОБ – в, г; с ОК – д, е.

Каскад с ОЭ. Источник усиливаемого входного переменного напряжения  $U_{\text{вх}}$  подключается к входной базовой цепи транзистора. Конденсаторы  $C_1$ ,  $C_2$  (разделительные) служат для разделения при постоянном токе цепи источника усиливаемого сигнала и входной цепи транзистора, а также коллекторной цепи транзистора и цепи нагрузки  $R_n$ .

Схема подачи смещения на базу осуществляется фиксированным током через резистор  $R_6$  от источника  $E_k$ . С помощью резисторов  $R_6$  и  $R_k$  задается режим работы транзистора по постоянному току. При отсутствии  $U_{\text{вх}}$  в базе транзистора протекает постоянный ток покоя  $I_{06}$  от источника  $E_k$  через  $R_6$ . Напряжение  $U_{63}$  незначительно (0,1 – 0,3 В – для германиевых транзисторов, 0,3 – 1 В – для кремниевых). Так как потенциал базы отрицателен по отношению к потенциалу эмиттера, то переход открыт и можно считать, что  $I_{06} \approx E_k/R_6$ . Ток покоя в цепи коллектора определяется через коэффициент  $\beta$  по формуле:  $I_{0к} = \beta I_{06}$ . Проходя через  $R_n$ , ток покоя создает на нагрузке падение напряжения  $U_{\text{вых}}$ . Тогда напряжение покоя на коллекторе транзистора  $U_{ок} \approx E_k - I_{ок} R_n$ .

При подаче на базу положительной полуволны переменного входного напряжения (см. рис. 2.1, б) ток  $I_k$  уменьшается, так как прикрывается эмиттерный переход, и, соответственно, отрицательное напряжение  $U_{кэ}$  увеличивается по абсолютной величине.

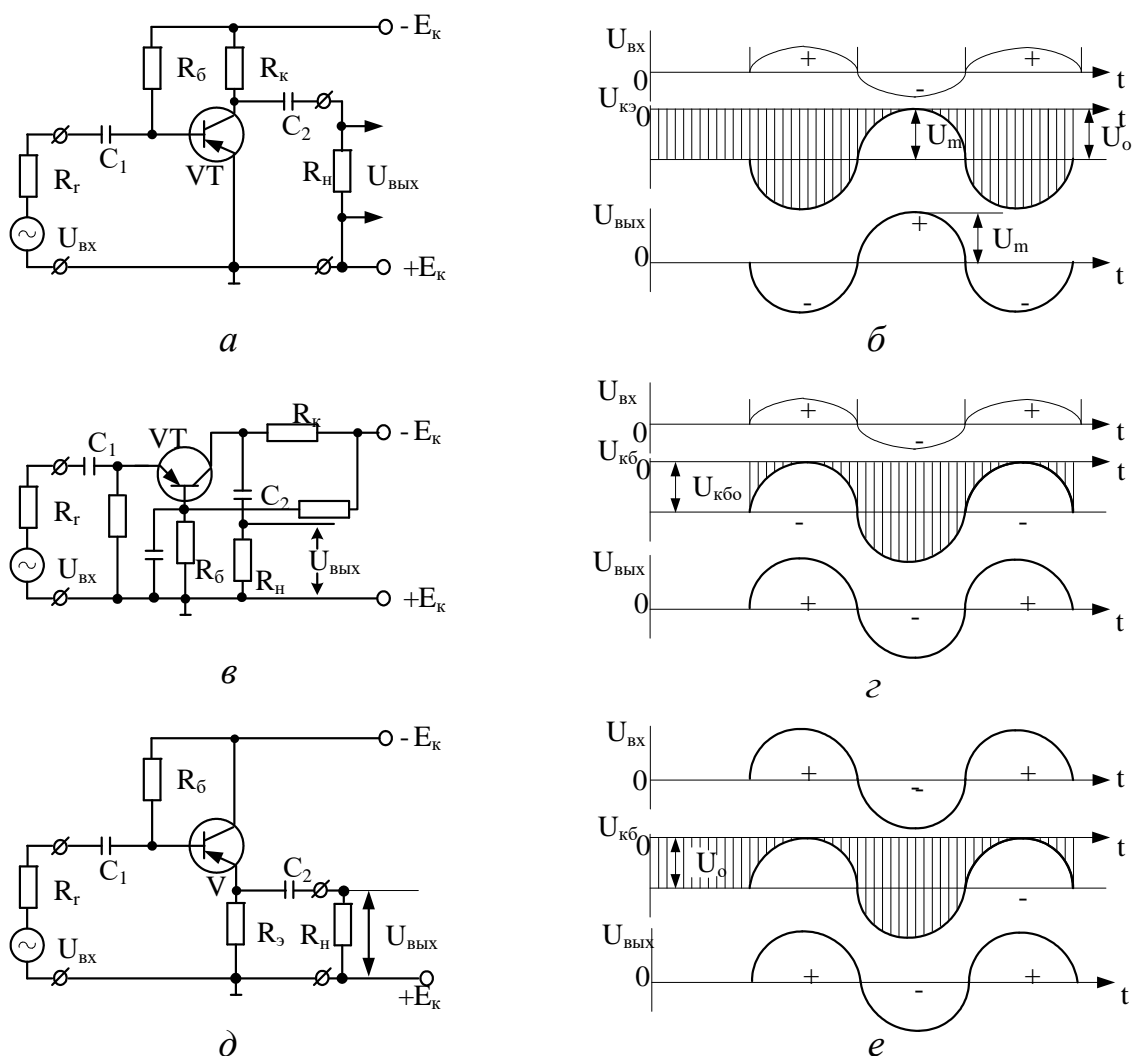


Рис. 2.1. Схемы усилительных каскадов и временные диаграммы их работы:  
а, б – схема включения с ОЭ; в, з – с ОБ; д, е – с ОК

При этом на резисторе  $R_{\text{н}}$  формируется отрицательная полуволна напряжения значительно большей амплитуды, чем полуволна амплитуды  $U_{\text{вх}}$ . При поступлении отрицательной полуволны напряжения  $U_{\text{вх}}$  транзистор приоткрывается, напряжение на нем по абсолютной величине снижается, а на  $R_{\text{к}}$  формируется положительная полуволна. Таким образом, напряжения  $U_{\text{вых}}$  и  $U_{\text{вх}}$  находятся в противофазе, т. е. сдвинуты на  $180^\circ$  относительно друг друга.

Каскад с ОЭ усиливает входной сигнал по току, напряжению и имеет максимальное среди всех каскадов усиление по мощности. Входное сопротивление незначительно, так как переход Б – Э во входной цепи смещен в прямом направлении ( $R_{\text{вх}} \approx 200 - 2000 \text{ Ом}$  для незначительных сигналов). Выходное сопротивление значительно, так как определяется в основном сопротивлением в цепи коллектора  $R_{\text{к}}$ .

Каскад с ОБ. В этой схеме входной сигнал подается в эмиттерную цепь. Для создания тока покоя  $I_{\text{о3}}$  (режима по постоянному току) использован дополнительный источник напряжения смещения ( $E_{\text{см}} I_{\text{о3}} \approx E_{\text{см}} / R_{\text{см}} \cdot U_{\text{эб}}$ ), которое мало, так как переход открыт, поэтому ток покоя коллектора определяется

по формуле:  $I_{ок} = \alpha I_{оэ} = \alpha E_{см} / R_{см}$ , где  $\alpha$  – коэффициент передачи эмиттерного тока. С приходом положительной полуволны  $U_{вх}$  (см. рис. 2.1, з) суммарный (постоянный и переменный) ток  $I_3$  увеличивается и, следовательно, транзистор открывается больше, увеличивается ток  $I_к$ , уменьшается по абсолютной величине напряжение  $U_{бэ}$ . На сопротивлении  $R_н$  формируется положительная полуволна напряжения с амплитудой, большей, чем амплитуда напряжения  $U_{вх}$ . Входной ток  $I_3$  протекает в цепи с незначительным сопротивлением  $R_{вх}$ , а выходной  $I_к$  – в цепи со значительным сопротивлением резисторов  $R_к$  и  $R_н$ . При поступлении отрицательной полуволны  $U_{вх}$  на  $R_н$  формируется также отрицательная полуволна  $U_{вых}$  большей амплитуды. Таким образом, полярность и фаза напряжений  $U_{вых}$  и  $U_{вх}$  совпадают, т. е. каскад с ОБ не инвертирует фазу.

Каскад с ОБ усиливает входной сигнал по напряжению и мощности. Усиления по току нет, так как  $(\alpha = I_{вых} / I_{вх}) < 1$ . Эффект усиления по напряжению и мощности тем выше, чем больше  $\alpha$ ,  $R_к$  и  $R_н$ . Входное сопротивление каскада с ОБ меньше, чем входное сопротивление каскада с ОЭ, а выходное примерно равно сопротивлению  $R_к$ .

Каскад с ОК. Основное отличие каскада с ОК от каскадов с ОЭ и ОБ в том, что нагрузка включена в цепь эмиттера транзистора (этим вводится отрицательная обратная связь по току, которая существенно сказывается на параметрах каскада). Начальное смещение (выбор точки покоя транзистора) задается током от источника  $E_к$  через резистор  $R_б$ . В усилительном каскаде с ОК все напряжение  $U_{вых}$  введено последовательно во входную цепь, т. е. имеется стопроцентная отрицательная обратная связь. При положительной полуволне напряжения  $U_{вх}$  уменьшаются суммарный ток базы, ток  $I_3$  (закрывается эмиттерный p-n-переход), снижается по абсолютной величине  $U_3$  относительно общей точки. На нагрузке формируется положительная полуволна напряжения (см. рис. 2.1, е), причем  $|U_{вых}| \approx |U_{вх}|$ . Каскад с ОК сохраняет фазу входного сигнала, усиливает его по току ( $K_i \approx \beta + 1$ ) и мощности. Усиления по напряжению нет, так как изменение  $U_{вх}$  почти полностью передается на выход через переход Б – Э, имеющий незначительное сопротивление, – он открыт по сравнению с сопротивлениями  $R_3$  и  $R_н$ . Усиление по мощности достигается за счет усиления тока. Входное сопротивление каскада по переменному току значительно (десятки – сотни килоом), а выходное составляет всего единицы – десятки ом.

Эмиттерный повторитель используют для согласования каскадов, имеющих незначительное  $R_{вх}$  и существенное  $R_{вых}$  сопротивления (например, схема с ОБ), и в качестве конечного (выходного) каскада усилителей, работающих на низкоомную нагрузку.

## 2. Схема рассчитываемого усилителя

Усилители с ОЭ обеспечивают наибольшее усиление по мощности, однако схема такого усилителя отличается существенной температурной нестабильностью, т. е. изменением начального положения рабочей точки усилительного каскада (в режиме покоя при отсутствии переменного входного сигнала) с изменением температуры окружающей среды. На стабильность работы каскада с изменением температуры основное влияние оказывают

изменение обратного коллекторного тока  $\Delta I_{ко}$ , которое наиболее значительно;

смещение входной характеристики (напряжения  $\Delta U_{бэ}$ );

изменение коэффициента передачи тока эмиттера  $\Delta \alpha$ .

Для оценки дестабилизирующего действия вводится параметр – коэффициент нестабильности:  $S = \Delta I_{ок}/\Delta I_{ко}$ , где  $\Delta I_{ко}$  – конечное приращение прямого коллекторного тока при изменении температуры:

$$\Delta I_{ко} = I_{ко}(e^{0,077\Delta t} - 1),$$

где  $\Delta I_{ко}$  – температурное изменение обратного коллекторного тока;

$\Delta t$  – заданный диапазон изменения температуры;

$I_{ко}$  – обратный ток коллектора при  $t = 20^\circ\text{C}$  (измеряется или принимается по справочным данным).

Расчетная схема усилительного каскада с ОЭ приведена на рис. 2.2, в нее для стабилизации рабочей точки транзистора включена цепь эмиттерной стабилизации, состоящая из резисторов  $R_6$ ,  $R_3$  и шунтирующего конденсатора  $C_3$ . В схеме уменьшается смещение на базу фиксированным напряжением между базой и эмиттером с помощью делителя напряжения на резисторах  $R_1$ ,  $R_6$ . Совокупность элементов  $R_3$  и  $C_3$  называется цепочкой автоматического регулирования смещения. Шунтирующий конденсатор  $C_3$  исключает возникновение отрицательной обратной связи по переменному току, снижает потери  $U_{вых}$ , увеличивает коэффициент усиления по напряжению  $K_u$  и КПД усилителя.

Использование отрицательной обратной связи по постоянному току с делителем напряжения для создания смещения на базе обеспечивает получение относительно невысокого коэффициента нестабильности ( $S = 1 - 10$ , в идеальном случае  $S = 0$ ).

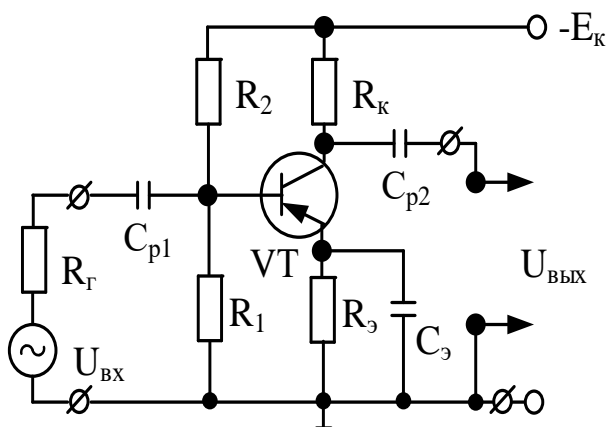


Рис. 2.2. Схема усилительного каскада с ОЭ

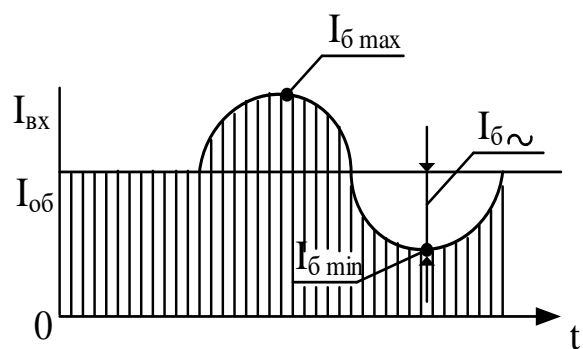


Рис. 2.3. График зависимости изменения входного тока от времени

### 3. Задание к контрольной работе

1. Номер варианта определяется по последней цифре шифра.
2. Произвести расчет усилительного каскада (см. рис. 2.2).

Исходные данные:

- 1) тип транзистора, его  $h$ -параметры в схеме включения с ОБ, статические характеристики в схеме включения с ОЭ (таблица 1, ПРИЛОЖЕНИЕ 2);

Таблица 1

Выбор типа биполярного транзистора

Номер варианта	Тип транзистора	$h$ -параметры				Предельные значения		
		$h_{116}$ , Ом	$h_{126}$	$h_{216}$	$h_{226}$ , См	$U_{кз}$ , В	$I_{к}$ , мА	$P_{доп}$ , 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

- 2) напряжение источника электропитания  $E_K$ , В (таблица 2);

Выбор напряжения источника питания

Номер вари- анта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$E_k, В$	14	11	12	9	18	13	14	7	11	12	12	13	14	8	16
Номер вари- анта	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$E_k, В$	11	12	8	13	14	13	12	11	7	14	14	13	9	12	11

3) нижняя  $f_n$  и верхняя  $f_v$  частотные границы режима неискаженного усиления класса А,  $f_n = 100$  Гц,  $f_v = 10000$  Гц.

### 3.1. Порядок расчета параметров усилителя

Существует несколько методов расчета основных параметров, характеризующих работу усилителя. Наиболее простым является графоаналитический метод, при котором выбор рабочей точки производится графически, а расчет других параметров – аналитически.

1. Выбор местоположения рабочей точки в режиме покоя с учетом требований ее температурной стабильности.

Выбор местоположения рабочей точки выполняется на выходных и входных характеристиках транзистора.

В ПРИЛОЖЕНИИ 1 на примере подробно рассмотрен процесс выбора рабочей точки.

2. Расчет  $h_3$ -параметров

$$\begin{aligned}
 h_{113} &= h_{116} / (1 + h_{216}); \\
 h_{123} &= (h_{116}h_{226} - h_{126}h_{216} - h_{126}) / (1 + h_{216}); \\
 h_{213} &= -h_{216} / (1 + h_{216}); \\
 h_{223} &= h_{226} / (1 + h_{216}).
 \end{aligned} \tag{1}$$

Для схемы включения транзистора с общим эмиттером определить входное сопротивление транзистора  $r_{вх \text{ транз}} = h_{113}$  и коэффициент передачи тока  $\beta = h_{213}$ .

3. Расчет усилителя

1) рассчитывается сопротивление  $R_3$ :

$$R_3 = (0,2, \dots, 0,3) E_k / I_{30} ; \tag{2}$$

Обратите внимание: 0,2,..., 0,3 – это любое число от 0,2 до 0,3, включая 0,2 и 0,3.

$$I_{э0} = I_{б0} + I_{к0}; \quad (3)$$

где  $I_{к0}$  и  $I_{б0}$  – выходной и входной токи транзистора в режиме покоя (координаты рабочей точки Р в системе входных и выходных характеристик).

Значения  $I_{к0}$  и  $I_{б0}$  принимаются из графика и подставляются в выражение (3) в основных единицах измерения тока (в амперах).

Сопротивления будут получаться в Ом и кОм.

2) задавшись значением сопротивления

$$R_1 = (2, \dots, 5) r_{вх \text{ транз}} \quad (4)$$

Обратите внимание: 2,...,5 – это любое число от 2 до 5, включая 2 и 5.

3) определяется ток делителя:

$$I_{дел} = (I_{э0} R_3 + U_{бэ0}) / R_1; \quad (5)$$

4) вычисляется сопротивление цепи делителя:

$$R_2 = (E_k - I_{дел} R_1) / (I_{дел} + I_{б0}); \quad (6)$$

5) рассчитывается сопротивление резистора:

$$R_k = (E_k - U_{кэ0} - I_{э0} R_3) / I_{к0}, \quad (7)$$

6) эквивалентное сопротивление базовой цепи по переменному току

$$R_б = R_1 R_2 / (R_1 + R_2). \quad (8)$$

7) вычисляется емкость конденсаторов  $C_{p1}$ ,  $C_{p2}$  и  $C_э$ :

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

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

где  $C_э$ ,  $C_{p1}$  и  $C_{p2}$  – в мкФ.

(9)

Результаты расчета по формулам (9) уже получаются в мкФ.

8) входное и выходное сопротивление усилительного каскада

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

$$R_{каск \text{ вых}} = R_k / (1 + h_{22э} R_k). \quad (10)$$

9) коэффициенты усиления каскада без учета внешней нагрузки

$$K_I = I_{\text{ВЫХ}} / I_{\text{ВХ}} \approx \beta;$$

$$K_U = - (\beta R_K) / R_{\text{каска ВХ}};$$
(11)

$$K_P = K_I K_U.$$
(12)

Для самопроверки:  $K_I, K_U \gg 1$  (десятки – сотни).

10) расчет КПД.

Полезная выходная мощность каскада

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

Полная мощность, расходуемая источником питания,

$$P_0 = I_{\text{Э0}} E_K + I_{\text{дел}}^2 (R_1 + R_2) + I_{\text{Б0}}^2 R_2.$$

Электрический КПД усилительного каскада

$$\eta_{\text{Э}} = (P_{\text{ВЫХ}} / P_0) 100\%.$$
(13)

$U_{m \text{ Вых}}$  определяется по графику 2.2 по оси  $U_{\text{кэ}}$  (см. ПРИЛОЖЕНИЕ 1).

КПД может получиться разный, в зависимости от построений, примерно от 1 до 30 %.

11)

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

$$S = \beta / (1 + \beta \gamma) \text{ или } S \approx 1 + R_6 / R_3,$$

$$S \approx (R_6 + R_3) / [(1 + h_{216}) R_6 + R_3],$$

где  $\gamma = R_3 / (R_6 + R_3)$ .

#### 4. Содержание контрольной работы

- 1) Титульный лист.
- 2) Цель работы.
- 3) Графики входных и выходных характеристик с необходимыми построениями на них.
- 4) Расчетная схема усилителя.
- 5) Расчетные формулы и расчет по ним с пояснениями.



## **5. Контрольные вопросы**

- 1) В чем состоит сущность графоаналитического метода расчета параметров усилительного каскада?
- 2) Какие характеристики имеют усилительные каскады с различными схемами включения транзистора?
- 3) Каково назначение элементов усилителя?
- 4) В каком каскаде (с ОБ, ОЭ или ОК) меняется на нагрузке полярность входного напряжения?

Выбираем свой номер варианта из таблиц 1 и 2 (для примера я выполню 9 вариант).

Выбор типа биполярного транзистора

Номер варианта	Тип транзистора	$h$ -параметры				Предельные значения		
		$h_{116}$ , Ом	$h_{126}$	$h_{216}$	$h_{226}$ , См	$U_{кэ}$ , В	$I_{к}$ , мА	$P_{доп}$ , 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

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$E_{к}$ , В	14	11	12	9	18	13	14	7	11	12	12	13	14	8	16
Номер варианта	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$E_{к}$ , В	11	12	8	13	14	13	12	11	7	14	14	13	9	12	11

Находим в приложении графики характеристик для транзистора в соответствии с вариантом.

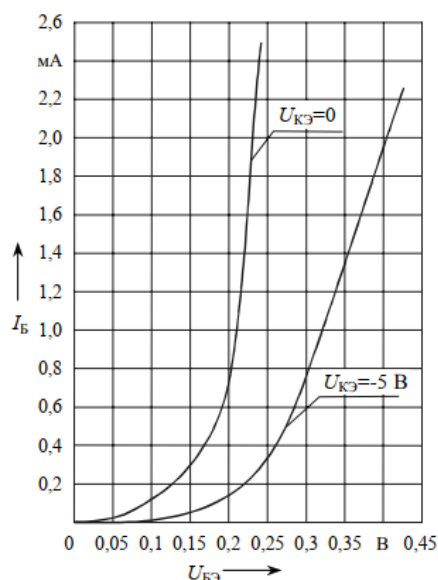


Рис. П.3.1. Входные характеристики биполярных транзисторов МП39, МП39Б, МП41, МП41А, МП42А в схеме с ОЭ

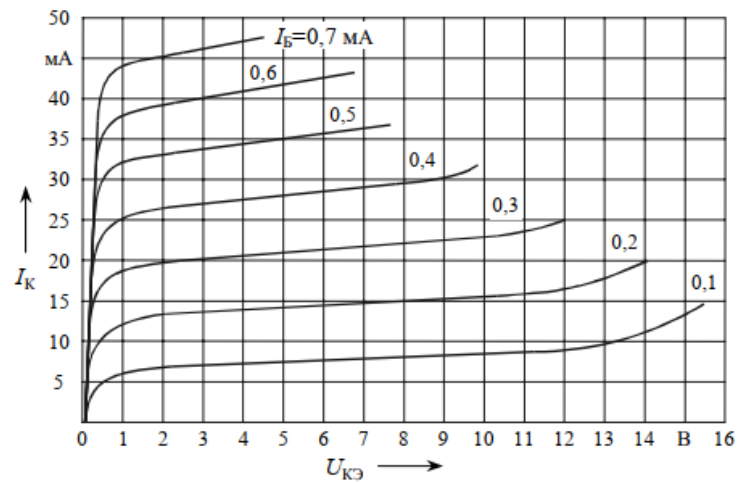
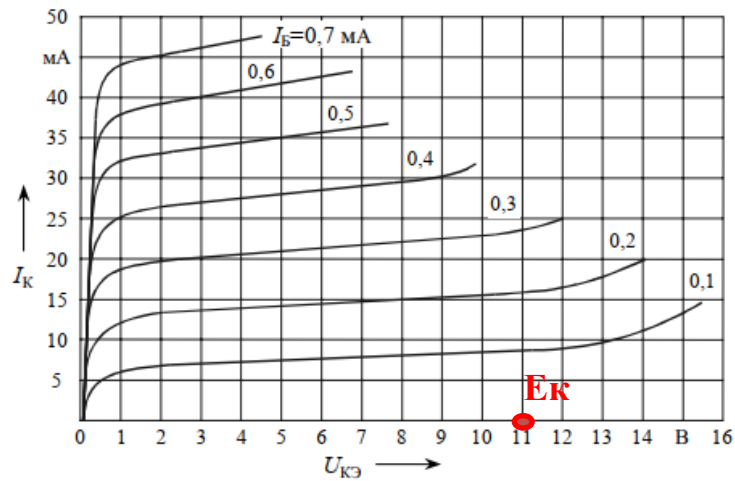
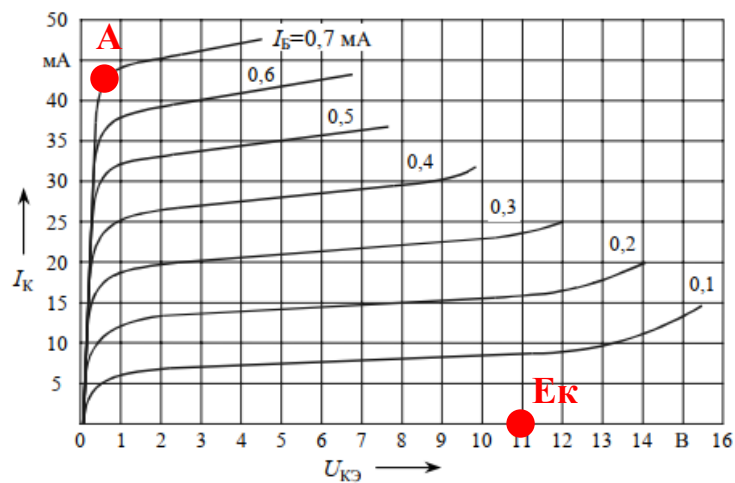


Рис. П.3.4. Выходные характеристики транзистора МП41А в схеме с ОЭ

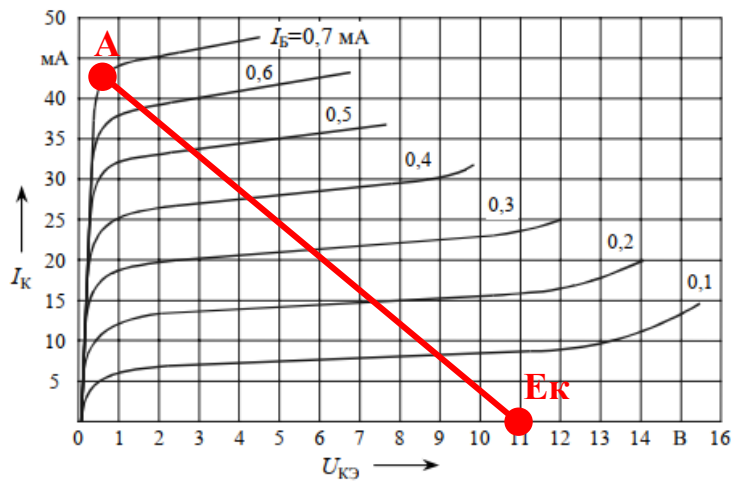
На выходных характеристиках отмечаем заданное по варианту значение  $E_K = 11$  В.



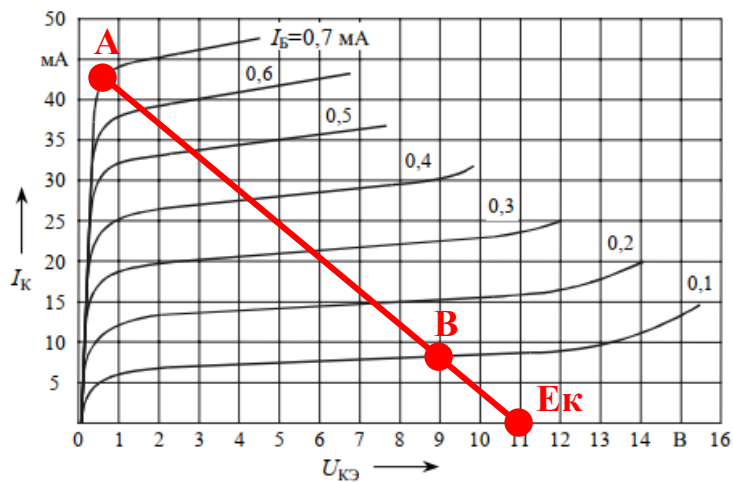
Затем отмечаем там же точку перегиба А на верхней характеристике.



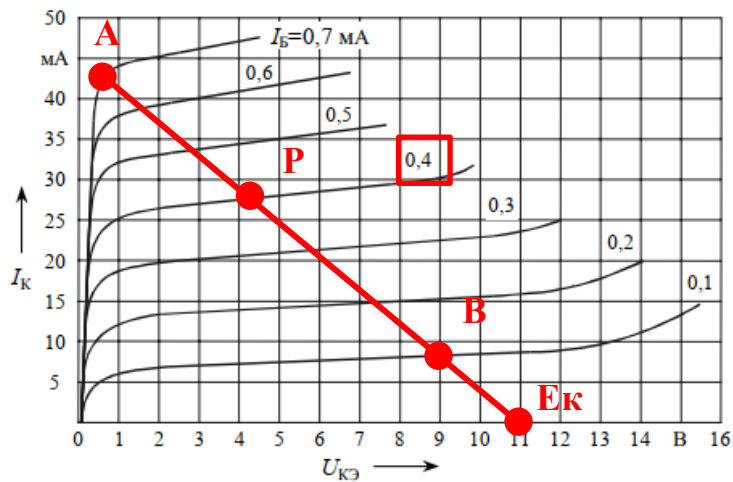
Проводим через эти две точки (А и Ек) нагрузочную прямую.



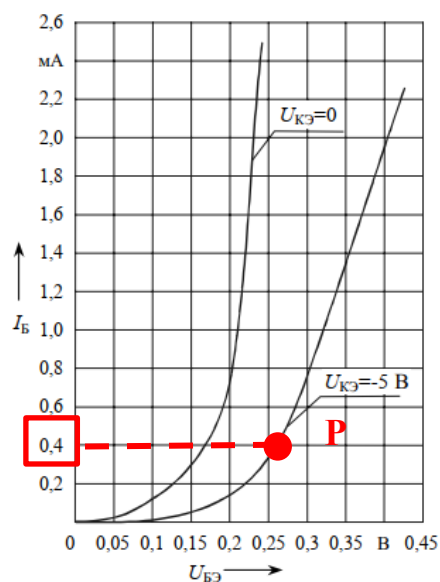
Находим точку пересечения нагрузочной прямой с нижней характеристикой транзистора – точку В.



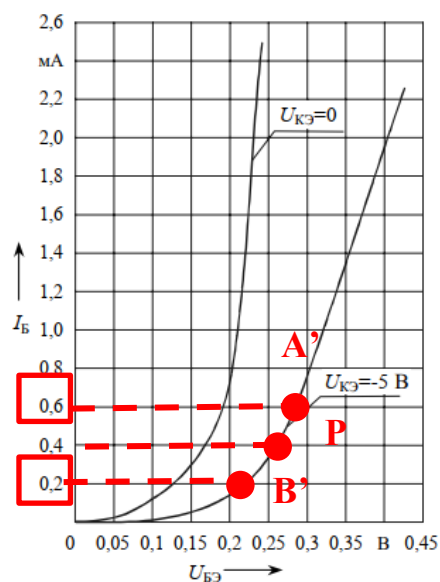
Делим отрезок АВ пополам и округляем до ближайшей характеристики (неважно выше или ниже середины отрезка она лежит), ставим точку Р – пересечение нагрузочной прямой и характеристики, соответствующей середине АВ.



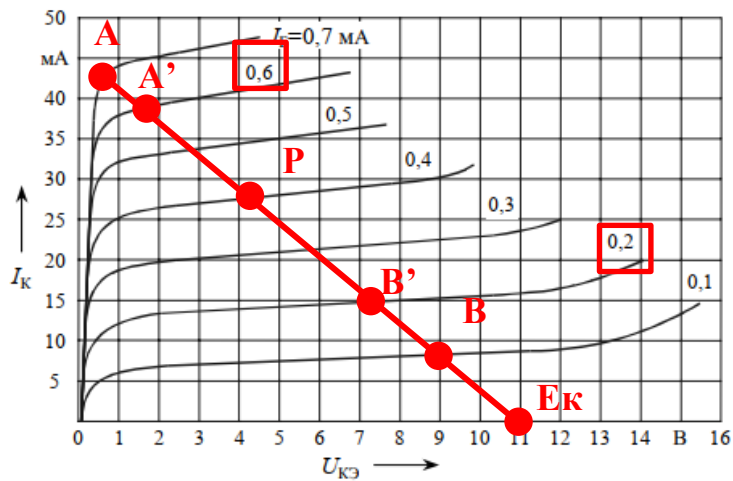
Переносим точку Р на входные характеристики. Для этого смотрим значение  $I_B$  справа для линии, на которой стоит точка Р. У меня это 0,4. Ищем это значение на вертикальной оси входной характеристики, проводим перпендикуляр до кривой  $U_{КЭ} = -5$  В и ставим точку Р.



На входных характеристиках выбираем по возможности прямолинейный участок максимальной длины и отмечаем точки  $A'$  и  $B'$  (в данном примере точка  $P$  попала почти на перегиб характеристики, поэтому отрезок  $A'B'$  получился коротким. А так чем он длиннее, тем лучше).

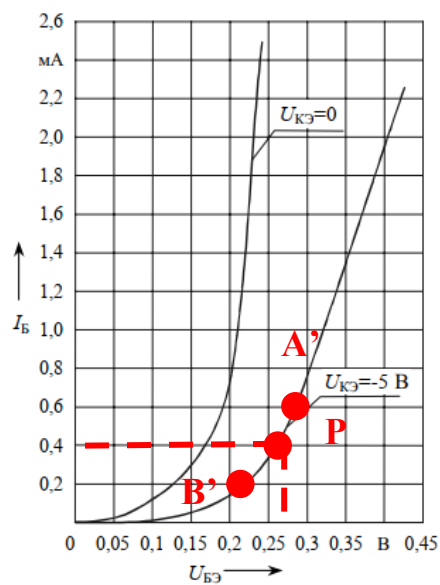


Через значения токов базы  $I_B$  переносим точки  $A'$  и  $B'$  на выходные характеристики.

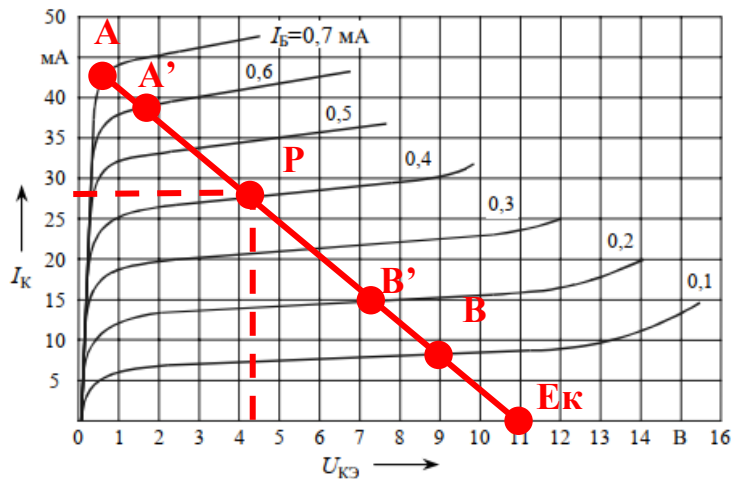


Иногда точка А' может совпасть с точкой А или точка В' – с точкой В. Это допускается в виде исключения.

По графикам определяем координаты рабочей точки Р, они потом потребуются в расчетах.



$I_{B0} = 0,4 \text{ mA}$ ;  $U_{BЭ0} = 0,275 \text{ В}$ .



$I_{K0} = 28 \text{ mA}$ ;  $U_{КЭ0} = 4,2 \text{ В}$ .

Строим синусоиды (период одинаковый на всех графиках!). Синусоида всегда идет сначала из точки Р к точке А, потом через точку Р к В!

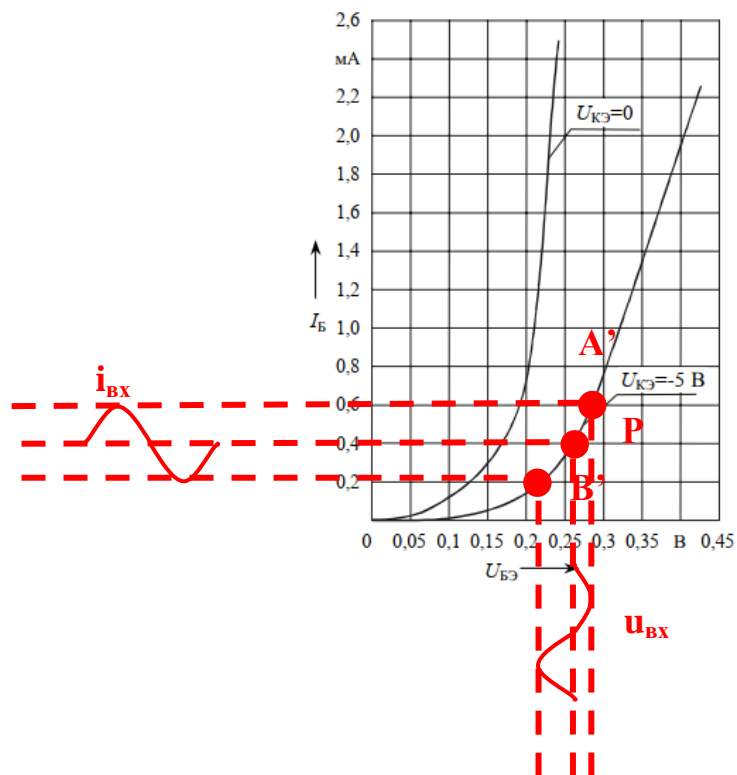


Рисунок 2.1 – Входные характеристики транзистора

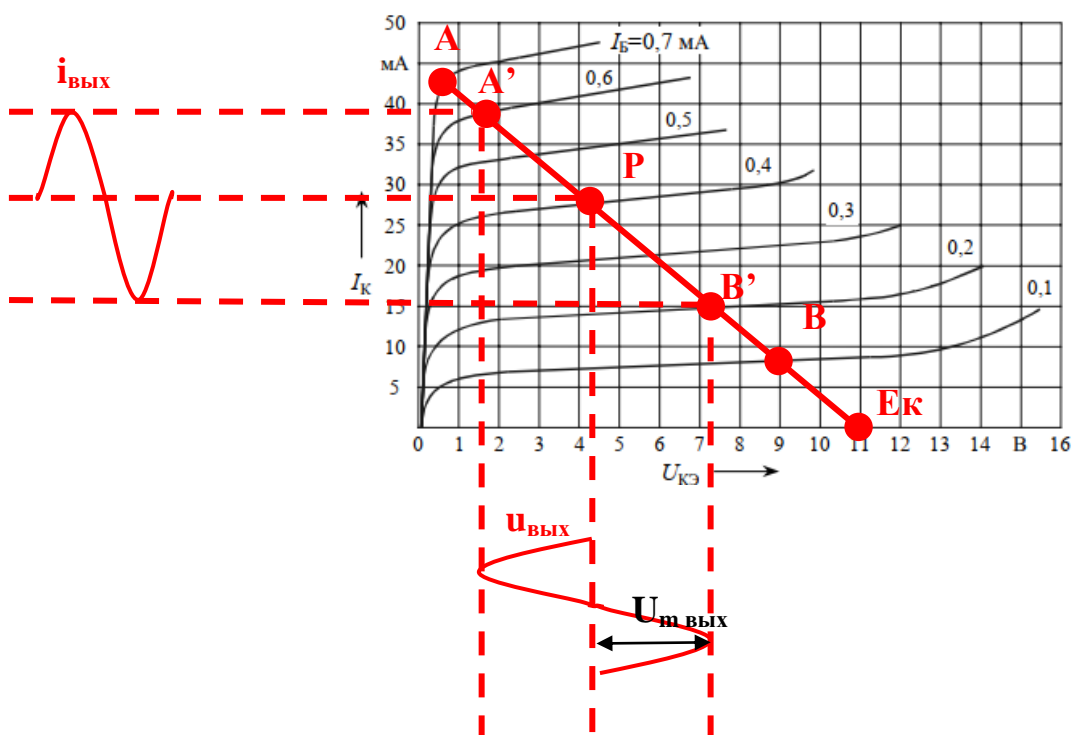


Рисунок 2.2 – Выходные характеристики транзистора

В контрольную работу вставляем только итоговые графики (рисунки 2.1 и 2.2).

# ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

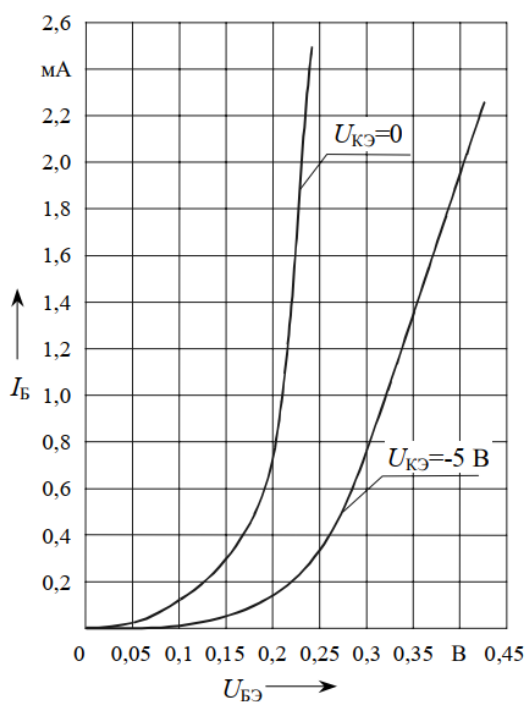


Рис. П.3.1. Входные характеристики биполярных транзисторов МП39, МП39Б, МП41, МП41А, МП42А в схеме с ОЭ

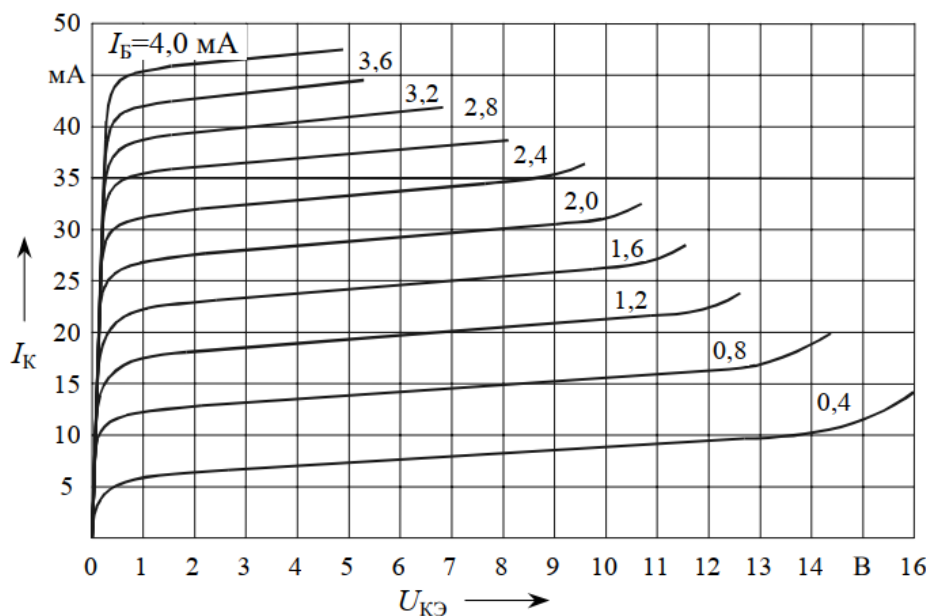


Рис. П.3.2. Выходные характеристики транзистора МП39 в схеме с ОЭ



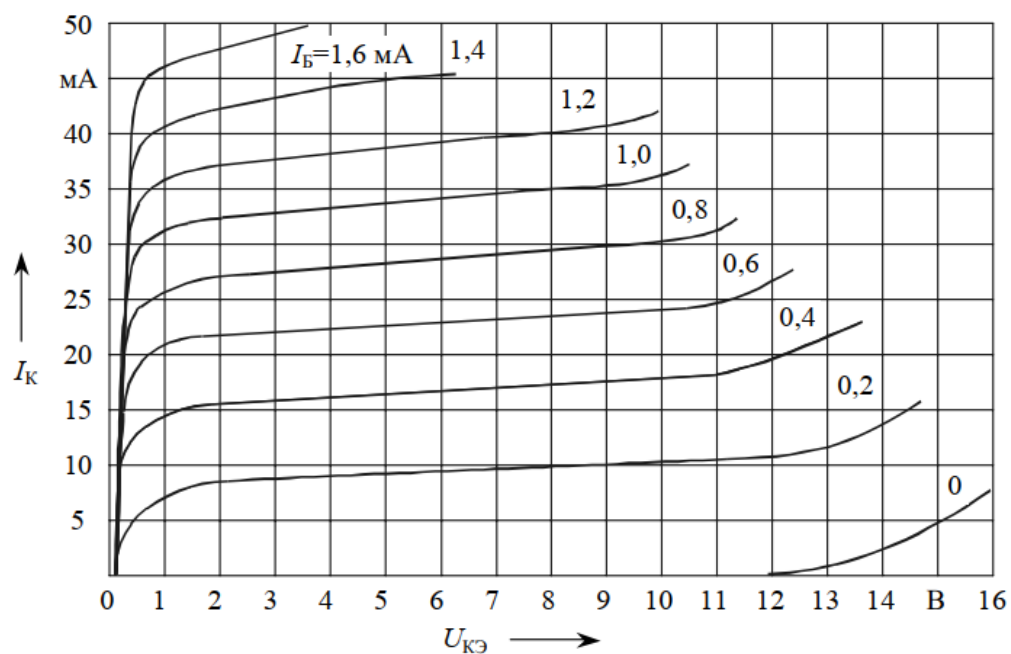


Рис. П.3.3. Выходные характеристики биполярных транзисторов МП39Б, МП41 в схеме с ОЭ

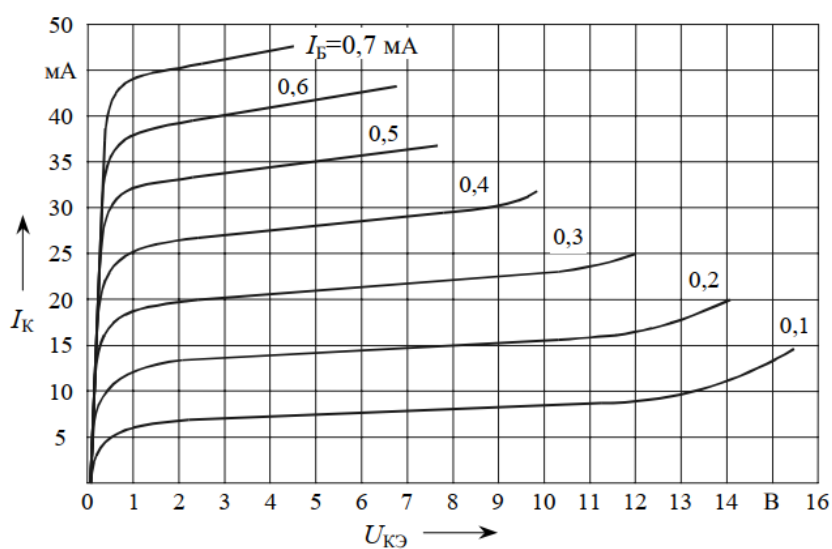


Рис. П.3.4. Выходные характеристики транзистора МП41А в схеме с ОЭ

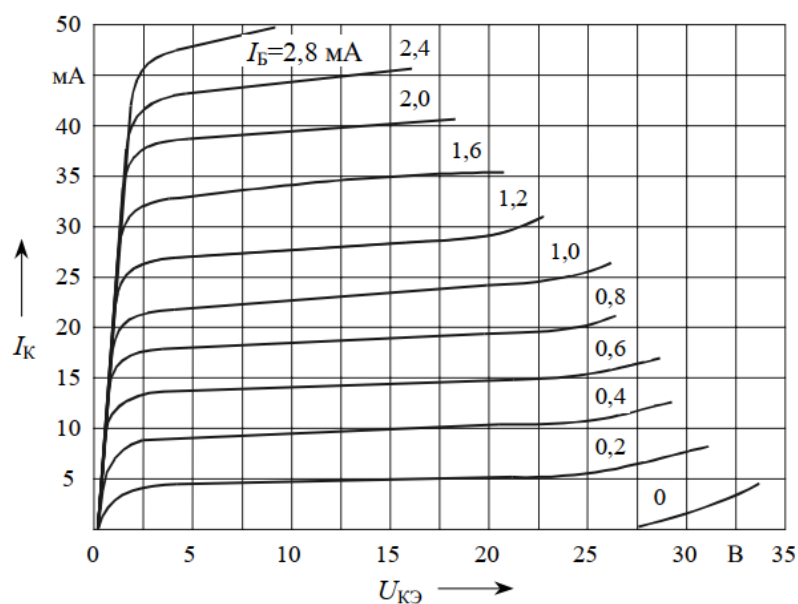


Рис. П.3.5. Выходные характеристики транзистора МП42А в схеме с ОЭ

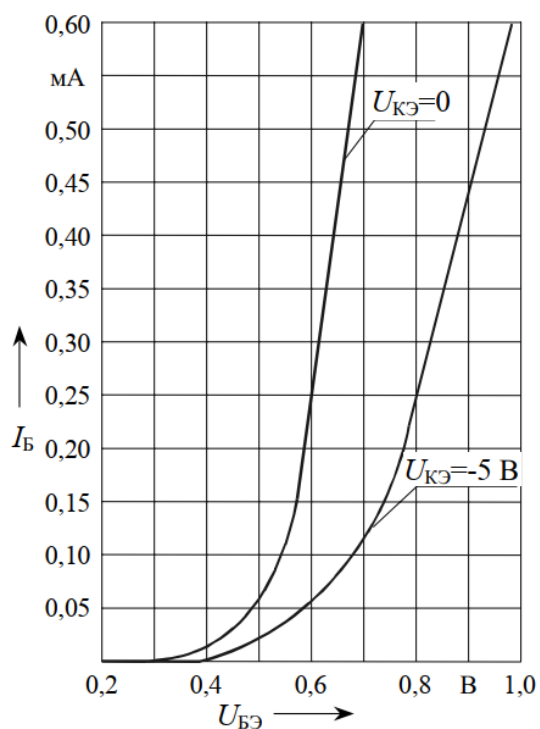


Рис. П.3.6. Входные характеристики транзисторов МП111 и МП113 в схеме с ОЭ

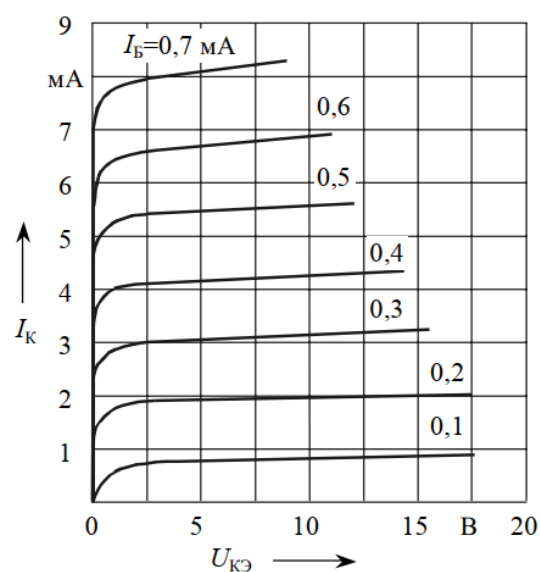


Рис. П.3.7. Выходные характеристики транзистора МП111 в схеме с ОЭ

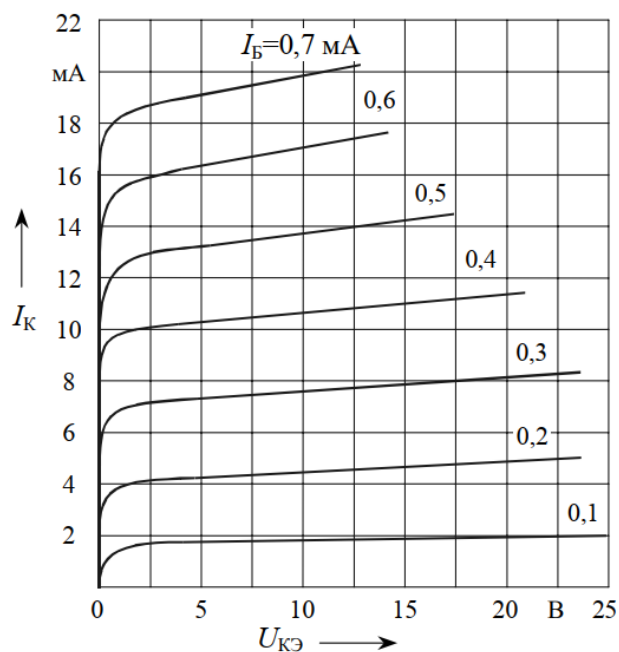


Рис. П.3.8. Выходные характеристики транзистора МП113 в схеме с ОЭ

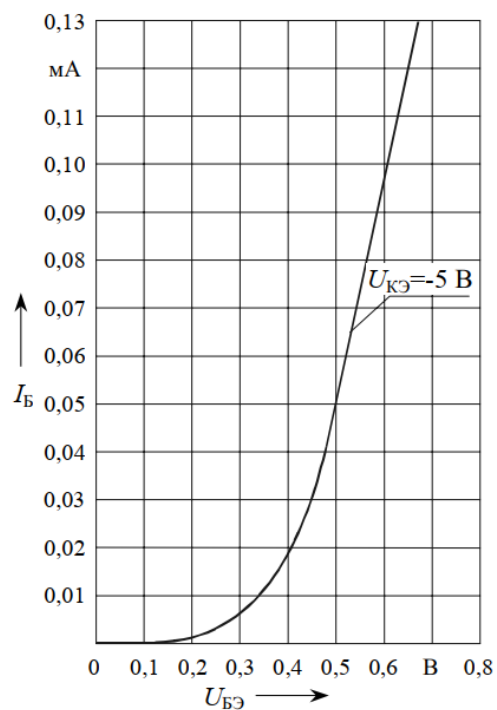


Рис. П.3.9. Входная характеристика транзистора П401 в схеме с ОЭ

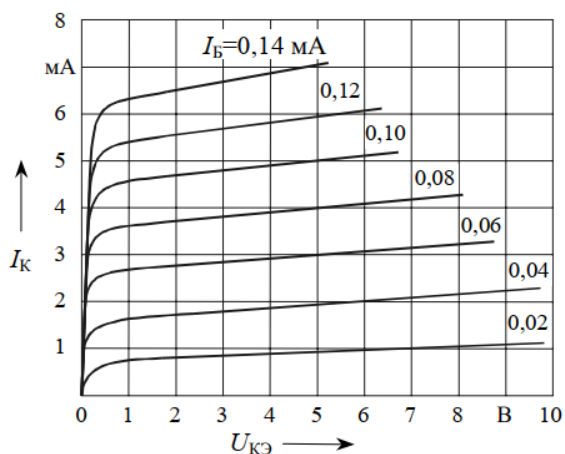


Рис. П.3.10. Выходные характеристики транзистора П401 в схеме с ОЭ

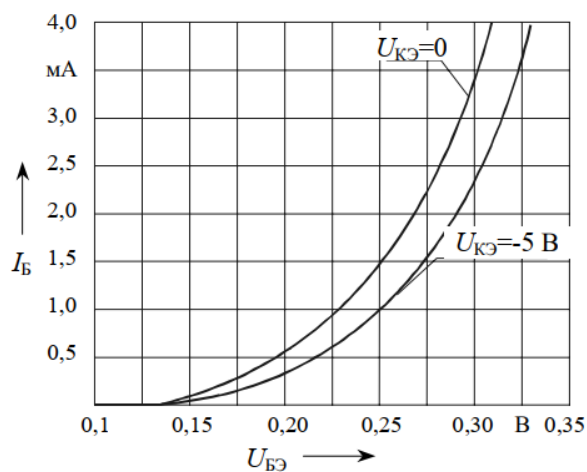


Рис. П.3.11. Входные характеристики транзисторов МП25 и МП36А в схеме с ОЭ

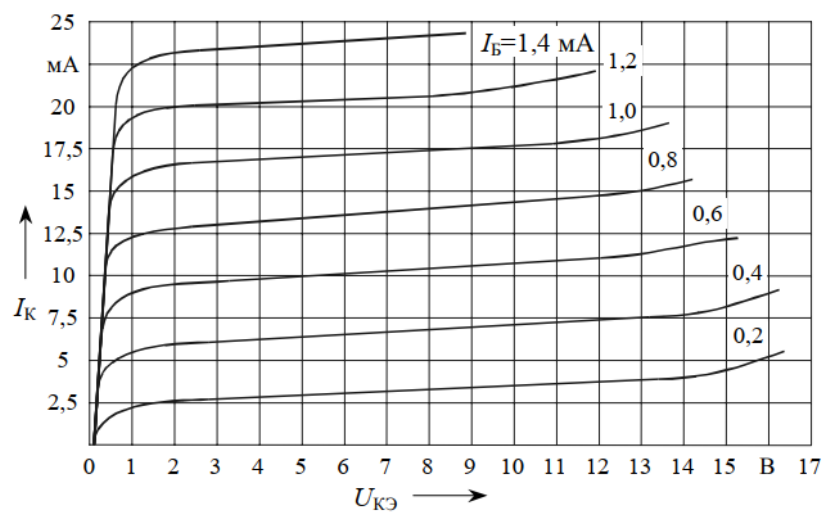


Рис. П.3.12. Выходные характеристики транзистора МП25 в схеме с ОЭ

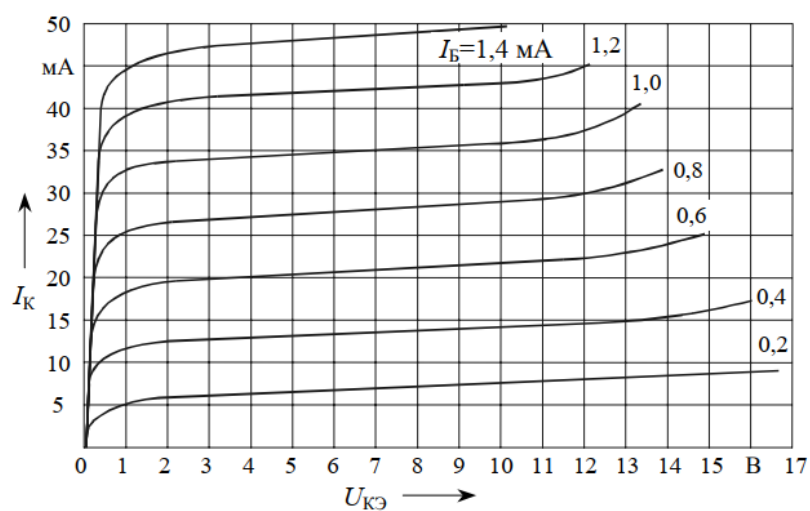


Рис. П.3.13. Выходные характеристики транзистора МП36А в схеме с ОЭ