

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ ПО
ДИСЦИПЛИНЕ «ЭЛЕКТРОНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»**

Иркутск, 2020

РАСЧЁТ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ

1. Задание по расчёту усилительного каскада

На рисунке 1 показана схема усилительного каскада с общим эмиттером.

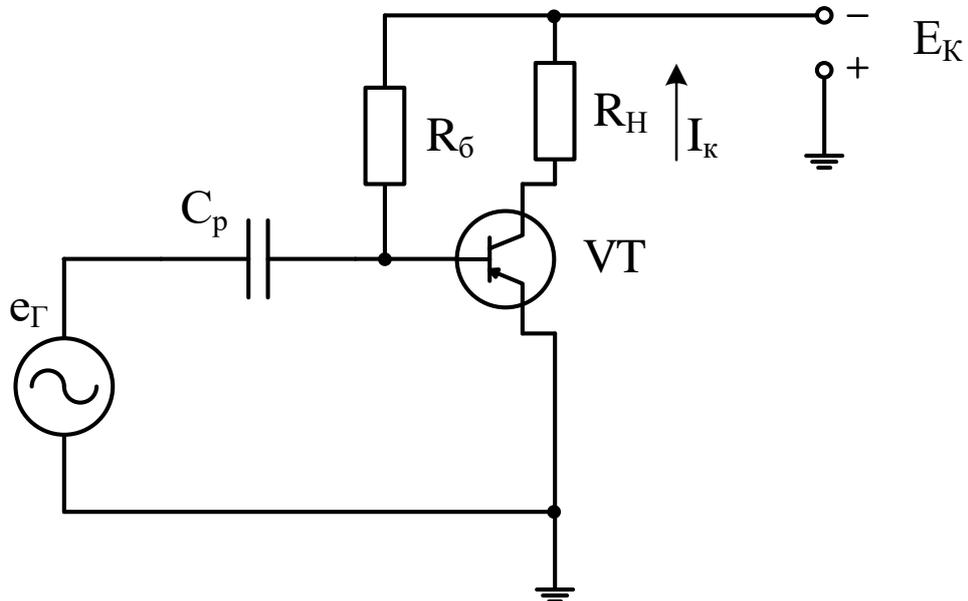


Рис. 1 – Схема усилительного каскада с общим эмиттером

В таблице 1 указаны:

– тип транзистора и предельные значения его параметров ($U_{кэ\max\text{доп}}$ – максимально допустимое напряжение коллектор-эмиттер, $I_{к\max\text{доп}}$ – максимально допустимый ток коллектора, $P_{к\max\text{доп}}$ – максимально допустимая мощность, рассеиваемая коллектором);

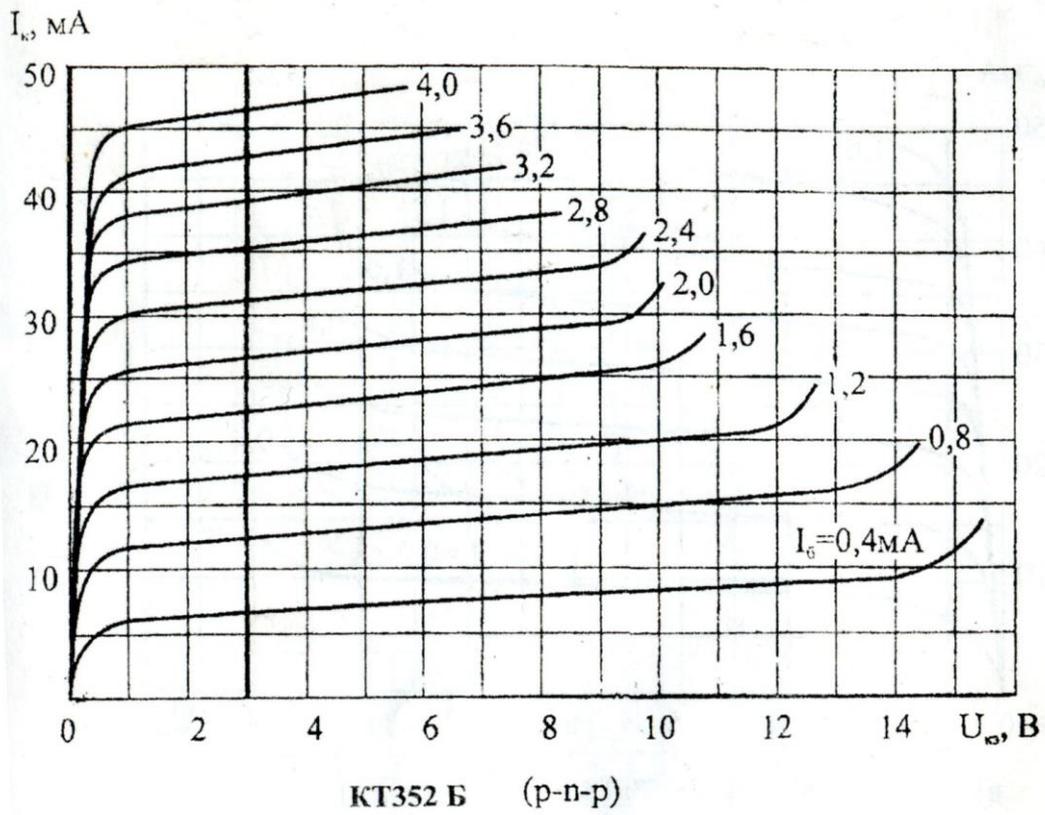
– напряжение на зажимах источника питания E_k ;

– сопротивление резистора нагрузки R_H ;

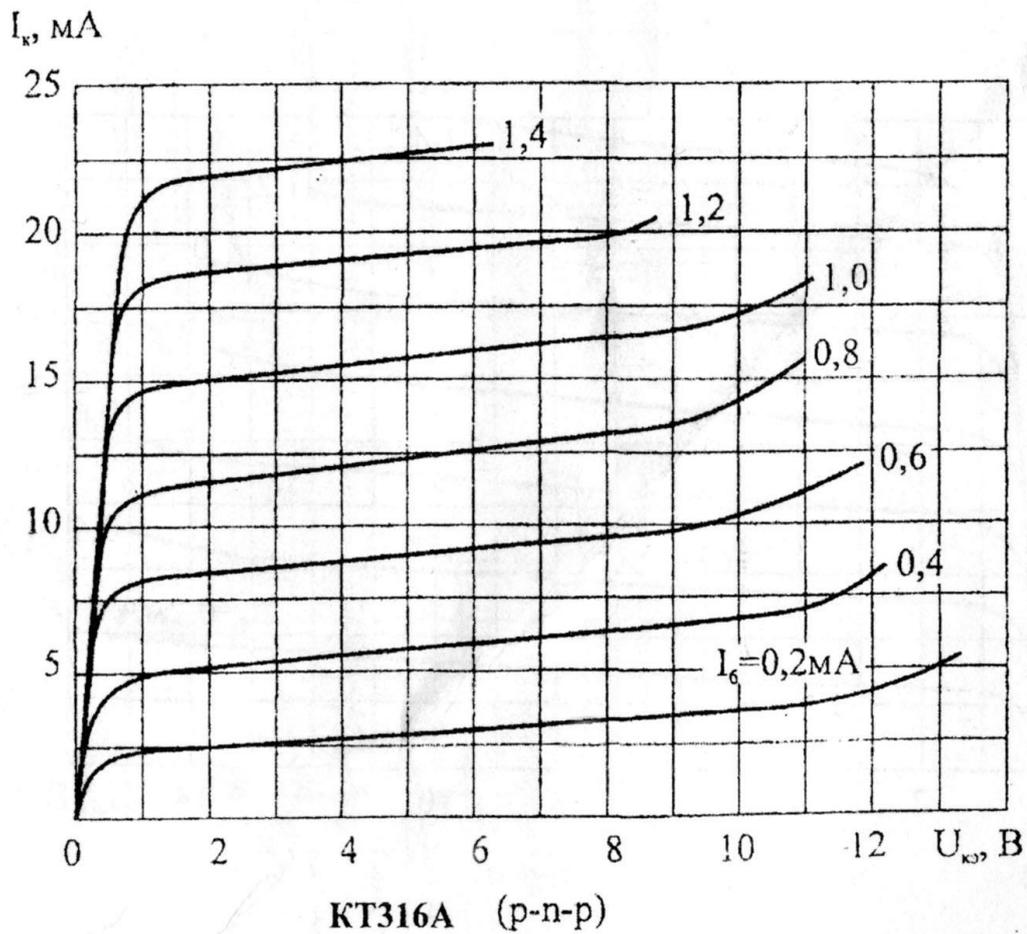
– амплитуда переменной составляющей напряжения выхода (напряжения на нагрузке) $U_{\text{твых}}$;

– нижняя частота усиливаемых колебаний f_{\min} .

Выходные $I_k(U_{кэ})$ и входные $I_b(U_{бэ})$ характеристики транзисторов приведены на рисунках 2 и 3, соответственно.

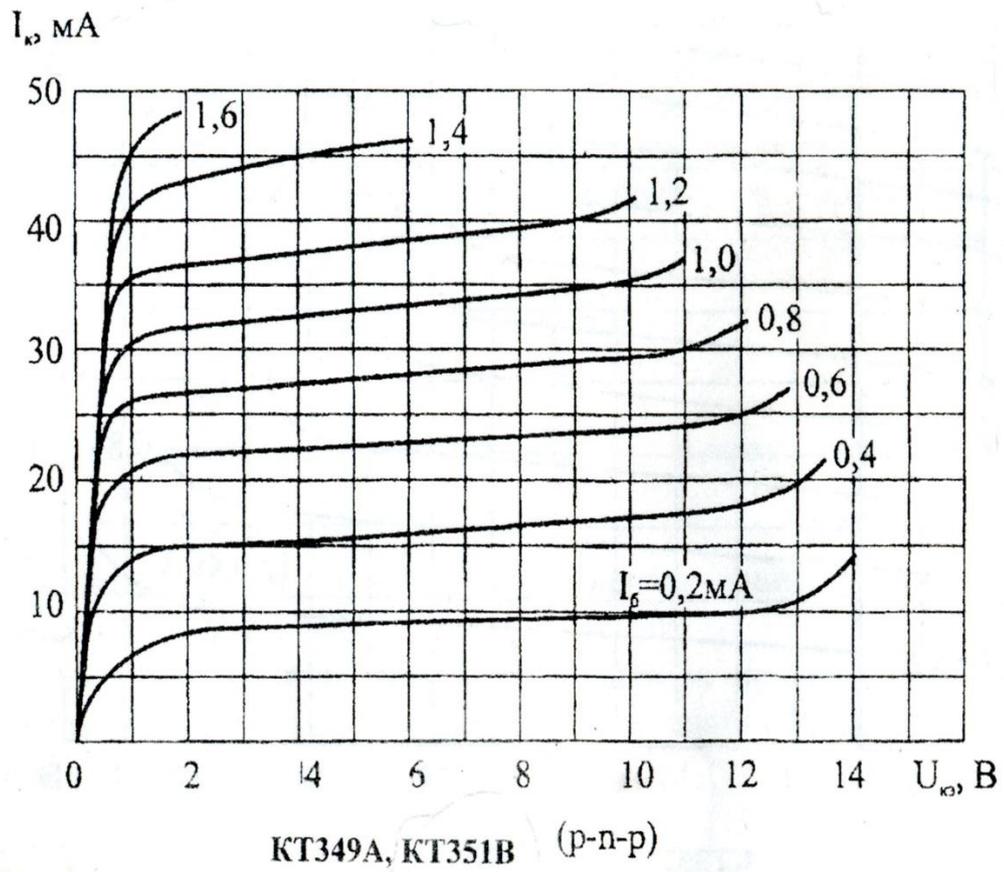


а)

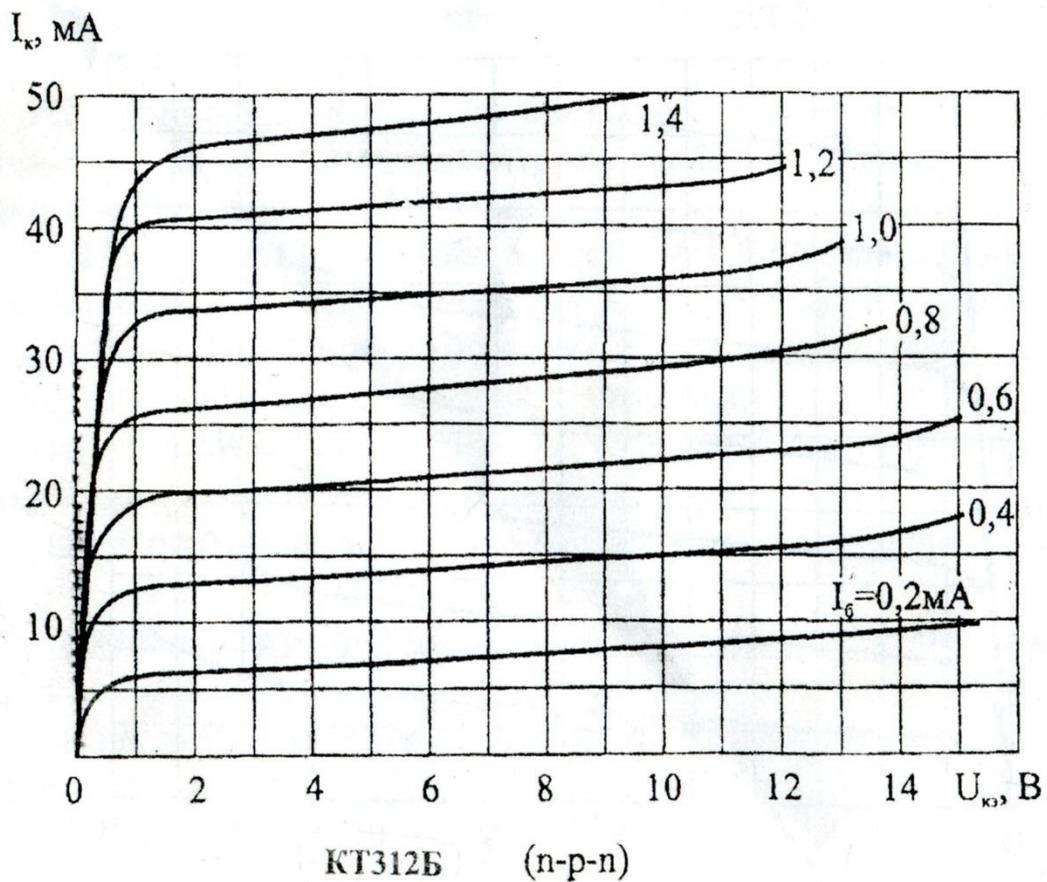


б)

Рис. 2 – Выходные характеристики транзисторов



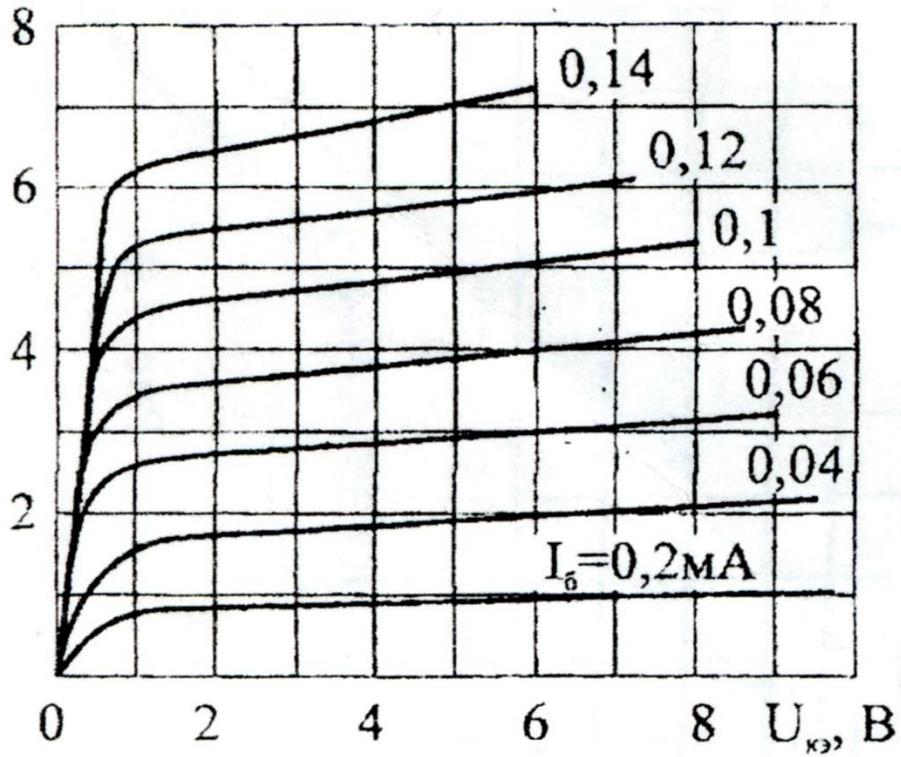
в)



г)

Рис. 2 – Выходные характеристики транзисторов (продолжение)

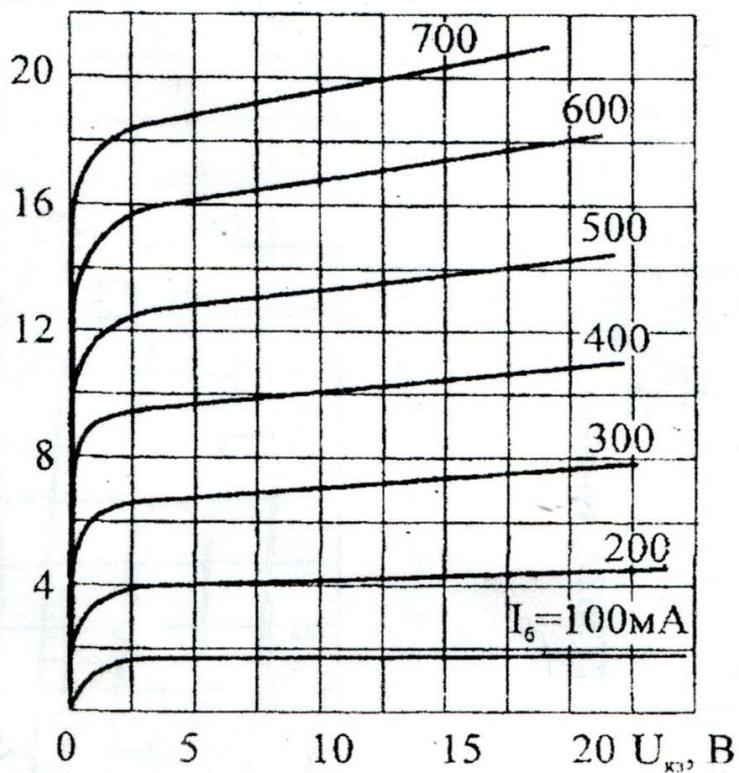
I_x, mA



КТ343В (p-n-p)

д)

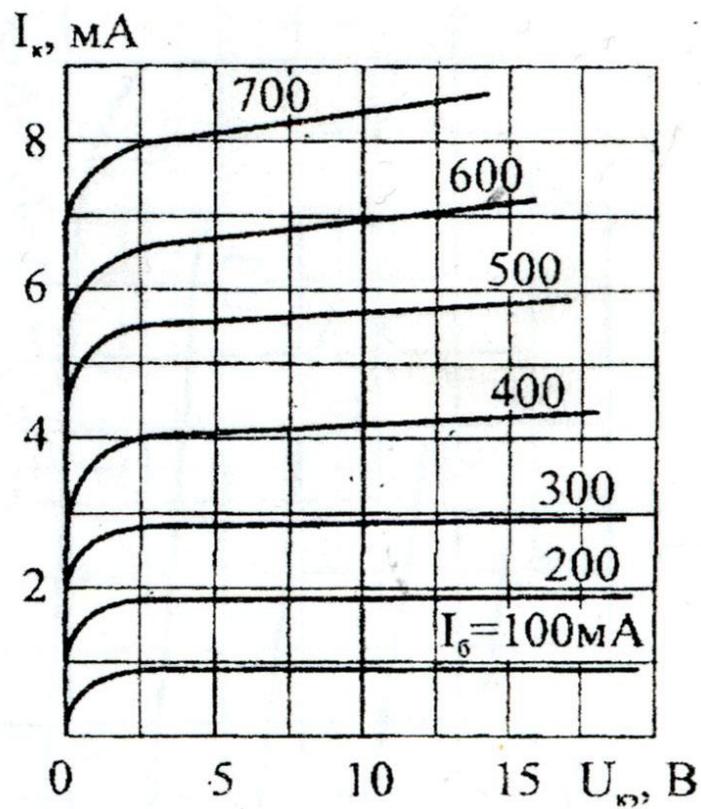
I_x, mA



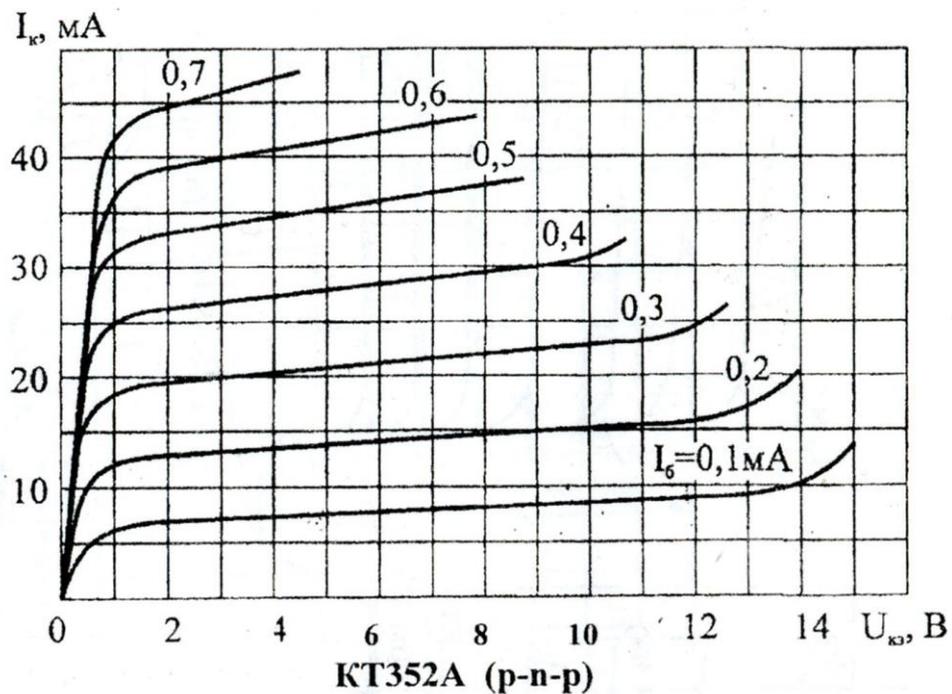
КТ301Ж (n-p-n)

е)

Рис. 2 – Выходные характеристики транзисторов (продолжение)



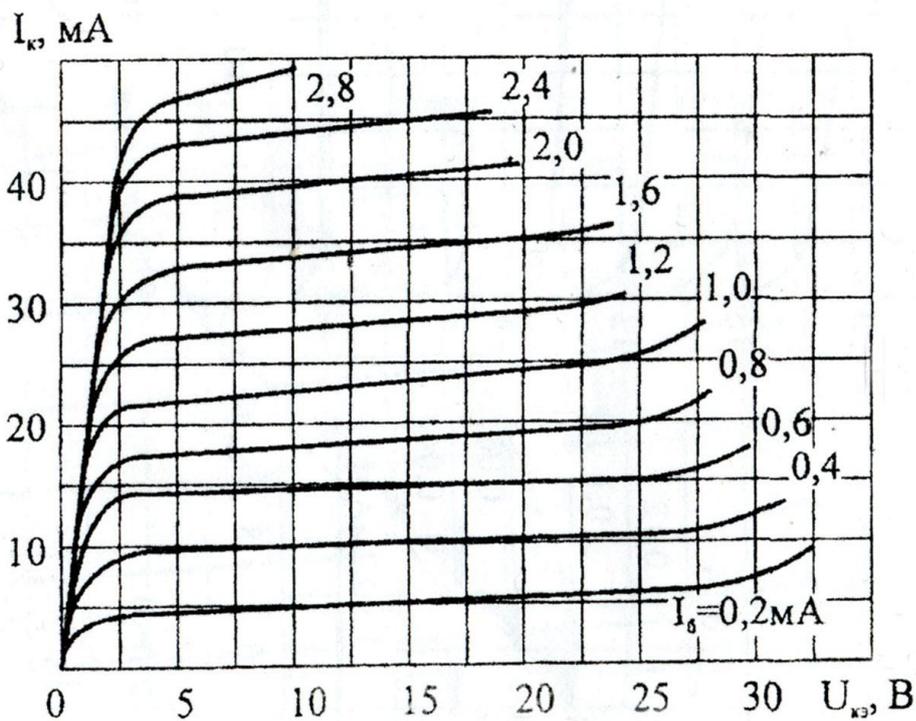
КТ301А (n-p-n)
ж)



КТ352А (p-n-p)

з)

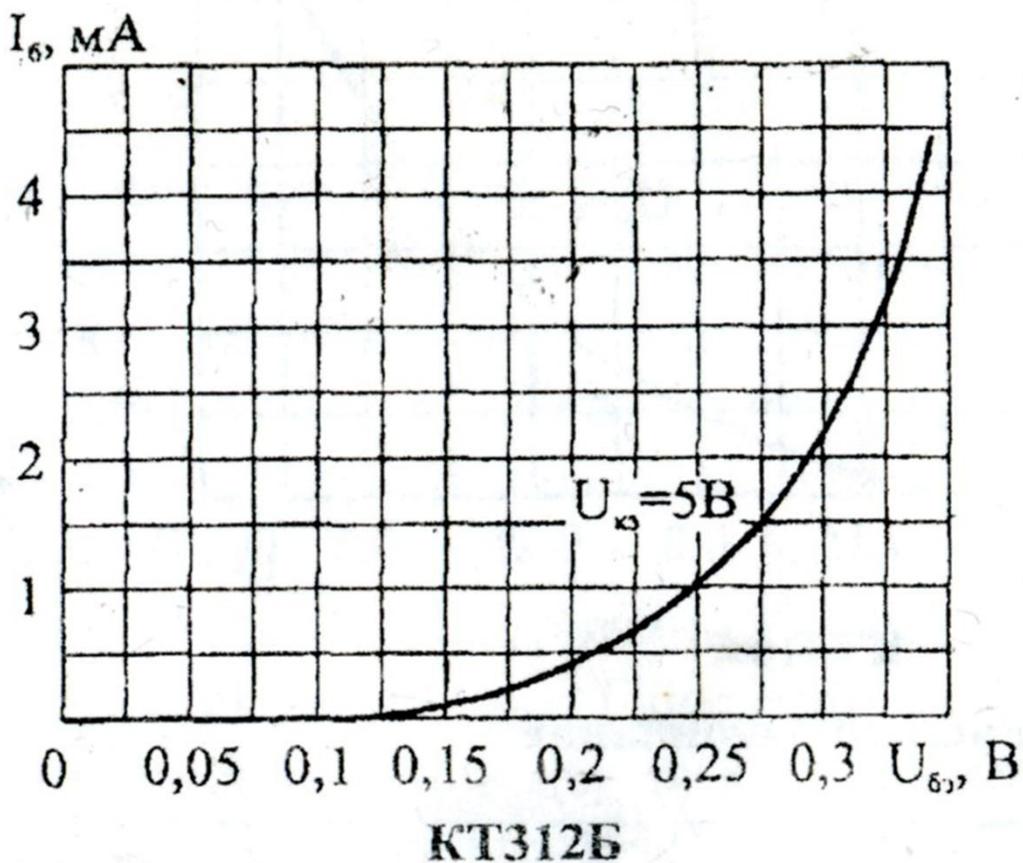
Рис. 2 – Выходные характеристики транзисторов (продолжение)



КТ351А (р-п -р)

и)

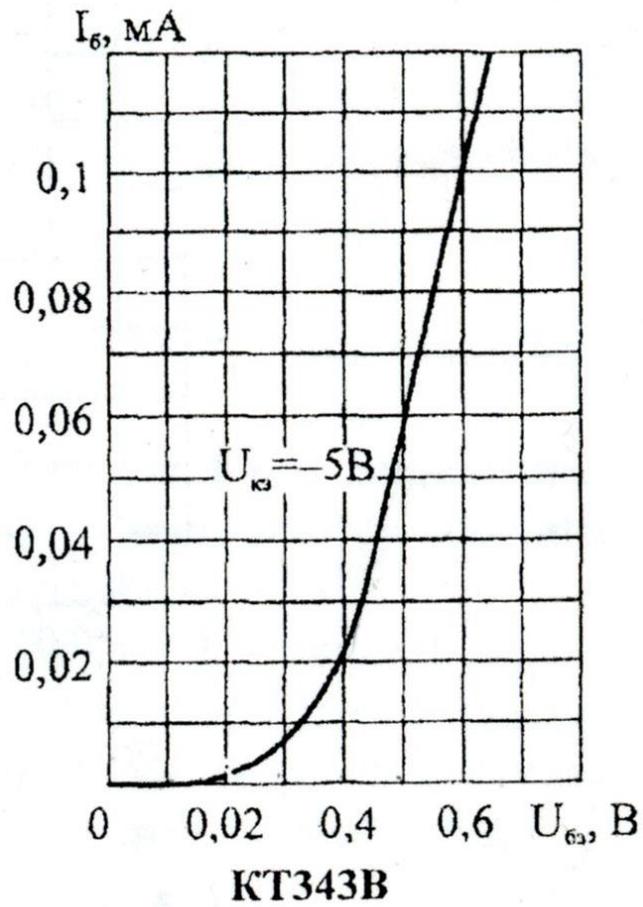
Рис. 2 – Выходные характеристики транзисторов (окончание)



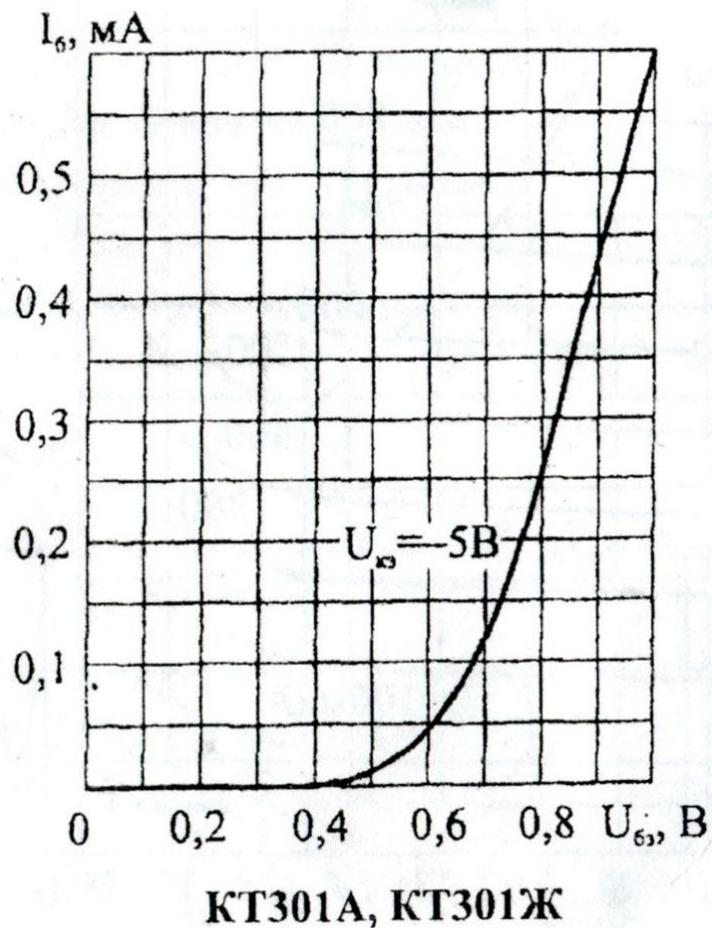
КТ312Б

а)

Рис. 3 – Входные характеристики транзисторов

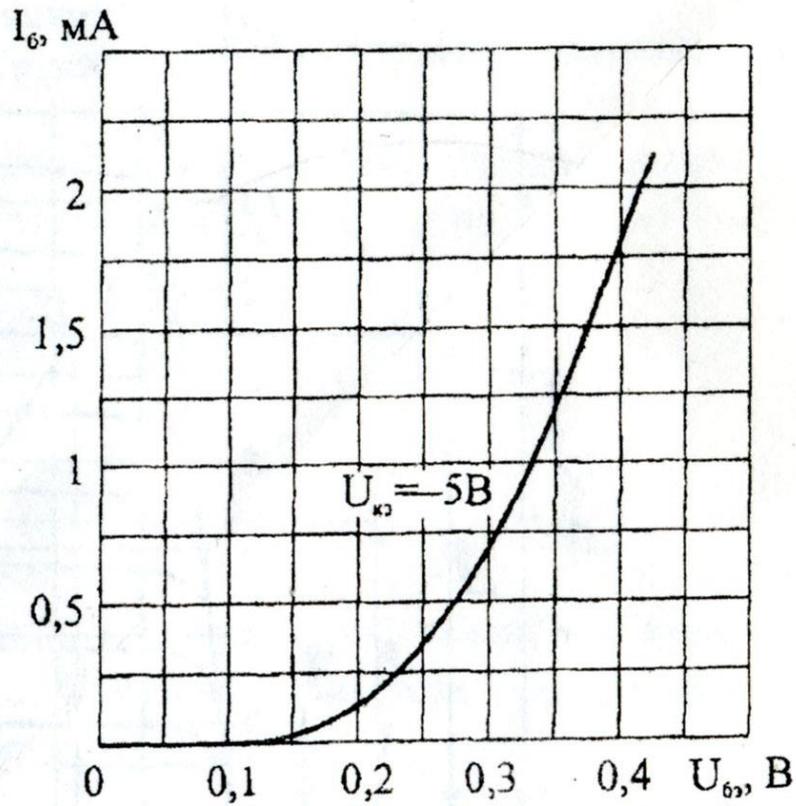


б)



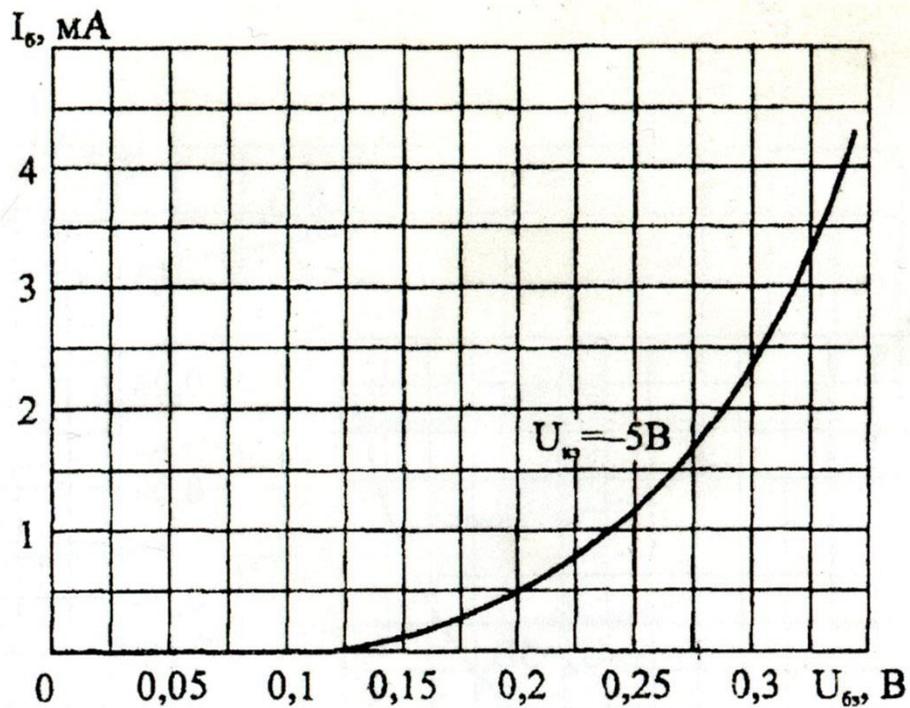
в)

Рис. 3 – Входные характеристики транзисторов (продолжение)



КТ316Д, КТ349А, К351В,
КТ352А, КТ351А

г)



КТ316А

е)

Рис. 3 – Входные характеристики транзисторов (окончание)

Влиянием температуры на режим работы транзистора пренебречь.

Необходимо:

1) Начертить схему усилительного каскада, а также входные и выходные характеристики транзистора, указанного в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

Группа	Параметр	Вариант										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
А	Тип транзистора	КТ349А	КТ301Ж	КТ343В	КТ352А	КТ351В	КТ316А	КТ312Б	КТ352Б	КТ301А	КТ351А	
	$U_{кэ \text{ макс доп}}$, В	15	10	10	15	15	15	15	15	20	15	
	$I_{к \text{ макс доп}}$, мА	20	15	10	20	20	20	20	20	20	7	20
	$P_{к \text{ макс доп}}$, мВт	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	200
Б	$E_{к}/U_{кэ \text{ макс доп}}$	0,8	0,7	0,75	0,9	0,85	0,8	0,75	0,9	0,8	0,75	
	$(R_{н} \cdot I_{к \text{ макс доп}})/E_{к}$	0,8	0,6	0,7	0,65	0,75	0,8	0,6	0,65	0,7	0,75	
	$U_{\text{мвх}}/E_{к}$	0,4	0,3	0,2	0,25	0,35	0,3	0,4	0,25	0,25	0,4	
	$f_{\text{мин}}$, Гц	60	70	80	50	90	100	80	60	70	90	

Примечание: номер варианта группы А выбирается по предпоследней цифре, а группы Б – по последней цифре.

2) В результате графоаналитического расчёта определить:

а) амплитуду переменной составляющей тока выхода (тока коллектора)

$$I_{\text{мвх}} = I_{\text{мк}};$$

б) амплитуду переменной составляющей тока входа (тока базы) $I_{\text{мвх}} = I_{\text{мб}}$;

в) амплитуду переменной составляющей напряжения на входе (напряжения база-эмиттер) $U_{\text{мвх}} = U_{\text{мбэ}}$;

г) коэффициент усиления по напряжению k_U ;

д) коэффициент усиления по току k_I ;

е) коэффициент усиления по мощности k_P ;

ж) сопротивление резистора в цепи базы R_6 ;

з) ёмкость разделительного конденсатора C_p .

2. Методические указания к расчёту

На рисунке 1 полярность источника питания $E_{к}$ соответствует усилительному каскаду с транзистором типа $p - n - p$. Например, для транзистора КТ312Б полярность источника $E_{к}$ должна быть противоположной.

Анализ работы усилительного каскада целесообразно проводить поочерёдно.

На семействе выходных характеристик транзистора $I_{к}(U_{кэ})$ (рисунок 2) необходимо выделить область рабочих режимов, ограниченную значениями $I_{к \text{ макс доп}}$ и $U_{кэ \text{ макс доп}}$, а также линией максимально допустимой мощности, рассеиваемой на коллекторе $P_{к \text{ макс доп}}$.

Линия $P_{к \text{ макс доп}}$ строится, исходя из того, что:

$$P_{к \text{ макс доп}} = I_{к \text{ доп}} \cdot |U_{кэ}|$$

$$I_{K \text{ доп}} = \frac{P_{K \text{ max доп}}}{|U_{KЭ}|}$$

Значение $P_{K \text{ max доп}}$ приведено в таблице 1. Задаваясь различными значениями напряжения $U_{KЭ}$, получаем допустимые при этих напряжениях значения тока $I_{K \text{ доп}}$.

Резистор нагрузки R_H и цепь коллектор-эмиттер транзистора соединены последовательно. Резистор, включаемый последовательно в цепь коллектор-эмиттер, называется коллекторным резистором. В рассматриваемом усилительном каскаде резистор нагрузки является коллекторным резистором. По второму закону Кирхгофа:

$$E_K = U_{KЭ} + R_H \cdot I_K \quad (1)$$

Вольтамперная характеристика коллекторного резистора $I_K(U_{R_H})$ линейна. Вольтамперные характеристик транзистора (выходные характеристики) $I_K(U_{KЭ})$ – нелинейны и строятся из начала координат (рисунок 4).

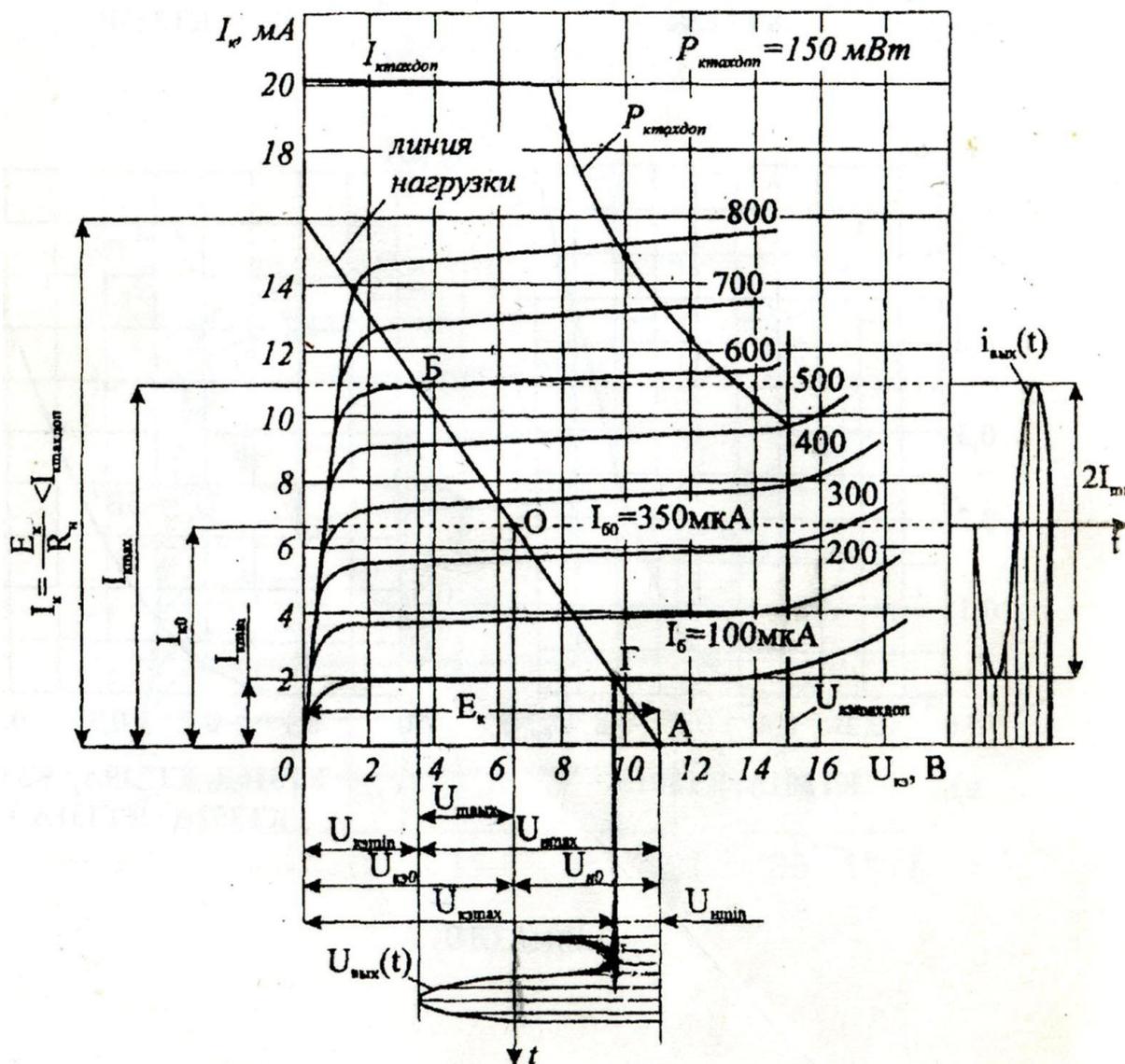


Рис. 4 – Выходные характеристики биполярного транзистора

Решение уравнения (1) может быть определено графическим методом, путём встречного построения вольтамперных характеристик. Для этого следует из начала координат по горизонтальной оси отложить значение E_K (оно всегда должно быть меньше максимально допустимого коллекторного напряжения $E_K < U_{KЭ \text{ max доп}}$) и из

получившейся точки А построить вольтамперную характеристику коллекторного резистора R_H . Эта вольтамперная характеристика может быть построена по двум точкам, определяемым из соотношения:

$$I_K = \frac{E_K - U_{кэ}}{R_H}$$

Первая точка при $U_{кэ} = 0$ ($I_K = \frac{E_K}{R_H}$), вторая – при $I_K = 0$ ($U_{кэ} = E_K$ – точка А).

Вольтамперную характеристику транзисторного резистора принято называть линией нагрузки. Она не должна выходить за пределы области рабочих режимов, т.е. должна лежать левее линии $P_{к max доп}$.

Точки пересечения линии нагрузки с выходными характеристиками транзистора, при различных значениях тока базы I_B , дают решения уравнения (1).

На линии нагрузки необходимо выбрать положение точки покоя (точки О), спроецировать её на горизонтальную ось и определить границы изменения выходного напряжения.

Для уменьшения нелинейных искажений положение точки покоя следует выбрать так, чтобы значения $U_{кэ min} = U_{кэ0} - U_{mвых}$ (точка Б) и $U_{кэ max} = U_{кэ0} + U_{mвых}$ (точка Г) лежали в пределах линейной части коллекторных (выходных) характеристик транзистора. По выходной вольтамперной характеристике, проходящей через точку О, определяется ток покоя базы $I_{Б0}$.

Далее определяются пределы изменения коллекторного тока и тока базы.

Проекция точек Б и Г на вертикальную ось определяют максимальное $I_{к max}$ и минимальное $I_{к min}$ значения коллекторного (выходного) тока. Амплитуда переменной составляющей коллекторного тока:

$$I_{mвых} = I_{mk} = \frac{I_{к max} - I_{к min}}{2}$$

Проекция точки О даёт значение постоянной составляющей коллекторного тока.

Максимальное $I_{Б max}$ и минимальное $I_{Б min}$ значения тока базы определяются по вольтамперным характеристикам, проходящим через точки Б и Г (рисунок 4), где $I_{Б max} = 600$ мкА, $I_{Б min} = 100$ мкА. По значениям $I_{Б max}$ и $I_{Б min}$ определяется амплитуда переменной составляющей тока базы:

$$I_{mвх} = I_{mб} = \frac{I_{Б max} - I_{Б min}}{2}$$

По значению тока $I_{Б0}$ определяется положение точки покоя О на входной характеристике транзистора (рисунок 5).

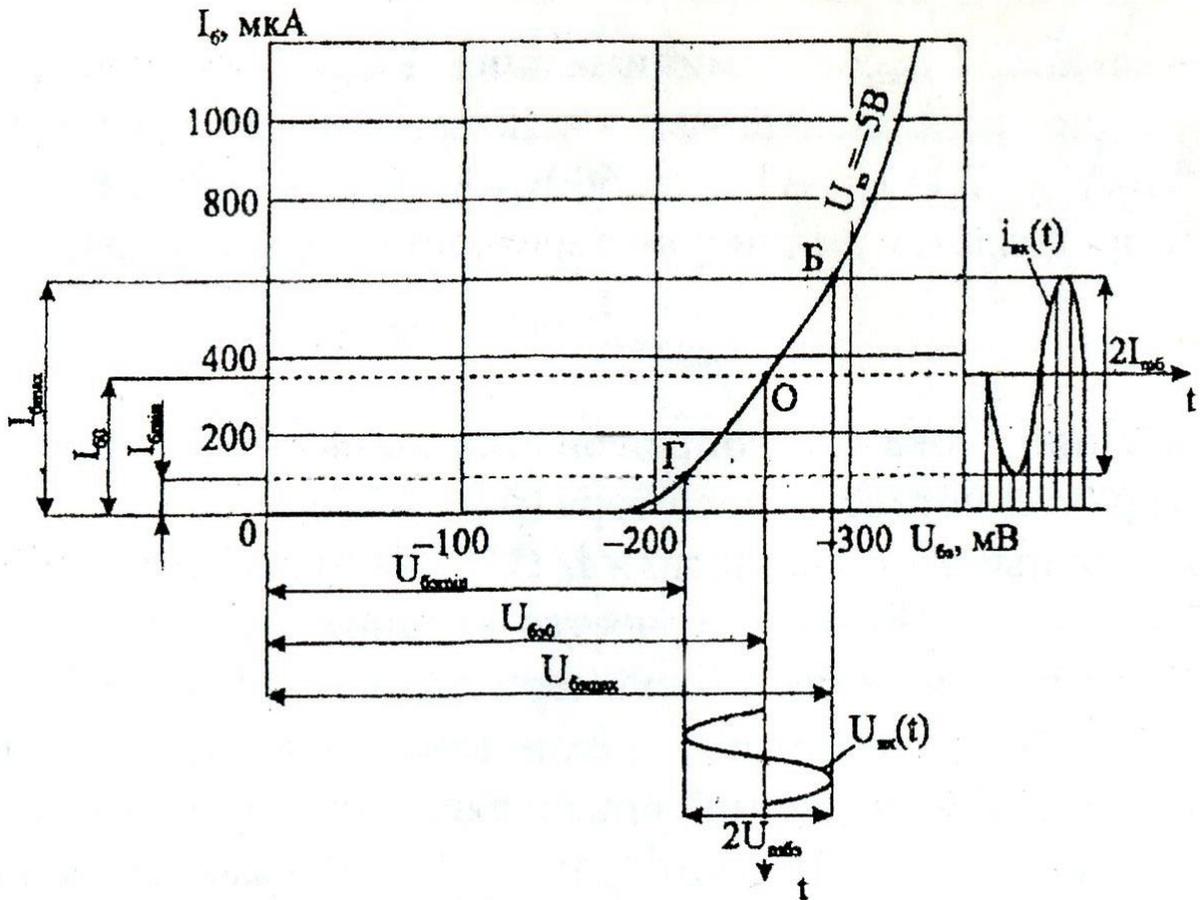


Рис. 5 – Входная характеристика биполярного транзистора

Так как входные характеристики $I_б(U_{бэ})$ мало зависят от коллекторного напряжения $U_{кэ}$, то обычно в качестве входной характеристики принимается усреднённая входная характеристика при $U_{кэ} = 5 \text{ В}$.

Значение $I_{б \max}$ определяет положение точки Б, $I_{б \max}$ – положение точки Г на входной характеристике. Проекция точки О на ось напряжений определяет постоянную составляющую входного напряжения $U_{бэ0}$. Проекции точек Б и Г – максимальное и минимальное значения напряжения база-эмиттер $U_{бэ \max}$ и $U_{бэ \min}$. Амплитуда переменной составляющей входного напряжения определяется по формуле:

$$U_{\text{мвх}} = U_{\text{мбэ}} = \frac{U_{\text{бэ max}} - U_{\text{бэ min}}}{2}$$

На рисунках 4 и 5 показаны графики выходных и входных напряжений $U_{\text{вых}}$, $U_{\text{вх}}$ и токов $I_{\text{вых}}$, $I_{\text{вх}}$.

Резистор $R_б$, включенный в цепь базы, определяет положение точки покоя, т.е. значение тока базы в отсутствие входного сигнала. По второму закону Кирхгофа в режиме покоя:

$$E_k = R_б \cdot I_{б0} + |U_{бэ0}| \quad (2)$$

отсюда

$$R_б = \frac{E_k - |U_{бэ0}|}{I_{б0}}$$

Коэффициент усиления по напряжению определяется как отношение амплитуды переменной составляющей напряжения на выходе к амплитуде переменной составляющей напряжения на входе:

$$k_U = \frac{U_{m\text{ВЫХ}}}{U_{m\text{ВХ}}} \quad (3)$$

Коэффициент усиления по току определяется как отношение амплитуды переменной составляющей тока нагрузки к амплитуде переменной составляющей тока на входе:

$$k_I = \frac{I_{m\text{ВЫХ}}}{I_{m\text{ВХ}}} = \frac{I_{m\text{К}}}{I_{m\text{Б}}} \quad (4)$$

Коэффициент усиления по мощности определяется по формуле:

$$k_P = k_U \cdot k_I \quad (5)$$

Ёмкость разделительного конденсатора C_p определяется, исходя из того, что емкостное сопротивление на низшей частоте усиления должно быть намного меньше (раз в десять) входного сопротивления, т.е.:

$$\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{min}} \cdot C_p} = \frac{1}{10} \cdot R_{\text{ВХ}}$$

или

$$C_p = \frac{10}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{min}} \cdot R_{\text{ВХ}}}$$

Входное сопротивление при этом определяется по формуле:

$$R_{\text{ВХ}} = \frac{U_{m\text{ВХ}}}{I_{m\text{ВХ}}} = \frac{U_{m\text{БЭ}}}{I_{m\text{Б}}}$$