

Домашнее задание №1

по УД «Информационно-измерительная техника и электроника»
«РАСЧЕТ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА С ОЭ»

Задачи.

1. Рассчитать h – параметры биполярного транзистора, его входное и выходное сопротивления, коэффициент передачи по току, пользуясь входными и выходными характеристиками транзистора. Тип транзистора задается преподавателем согласно варианта. Схема включения транзистора с общим эмиттером (ОЭ).
2. Провести графоаналитический расчет усилительного каскада на заданном типе транзистора, включенного по схеме с ОЭ, с одним источником питания E_K и с температурной стабилизацией рабочего режима.
3. Определить параметры элементов схемы усилительного каскада:
 - коэффициенты усиления по току (K_i), напряжению (K_u), мощности (K_p);
 - токи и напряжения в режиме покоя $I_{б0}$, $I_{к0}$, $U_{бэ0}$, $U_{кэ0}$;
 - амплитудные значения входных и выходных переменных токов и напряжений в линейном режиме работы усилителя;
 - полезную выходную мощность каскада и его КПД;
 - верхнюю и нижнюю граничные частоты полосы пропускания.

Ниже приводится рекомендуемая последовательность расчета усилителя на базе транзистора p-n-p типа проводимости (рис. 1). Расчет усилителя с p-n-p типа транзистором аналогичен (в этом случае следует правильно выбрать полярность источника питания E_K).

1. Расчет параметров транзистора.

- 1.1. Изобразить семейство статических входных и выходных характеристик заданного транзистора, соответствующих схеме с ОЭ.
- 1.2. Определить h – параметры транзистора, соответствующие схеме с ОЭ, пользуясь входными и выходными характеристиками транзистора:
по входным характеристикам определить

$$h_{11} = \left. \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta I_{б}} \right|_{U_{кк} = \text{const}}, \quad h_{12} = \left. \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta U_{кэ}} \right|_{I_{б} = \text{const}} ;$$

по выходным характеристикам определить

$$h_{21} = \left. \frac{\Delta I_{к}}{\Delta I_{б}} \right|_{U_{кк} = \text{const}}, \quad h_{22} = \left. \frac{\Delta I_{к}}{\Delta U_{к}} \right|_{I_{б} = \text{const}} .$$

- 1.3. Найти входное и выходное сопротивление транзистора:

$$R_{\text{вх}T} = h_{11} \qquad R_{\text{вых}T} = \frac{1}{h_{22}}$$

1.4. Определить коэффициент передачи по току транзистора β : $\beta = h_{21}$.

2. Расчет усилительного каскада по постоянному току графоаналитическим методом.

- 2.1. Изобразить семейство выходных и входных (при $U_{кэ} = 5В$) характеристики заданного транзистора как показано на рис. 2.
- 2.2. На выходных характеристиках нанести кривую допустимой мощности $P_{k \max}$, рассеиваемой на коллекторе, $P_{k \max} = U_{кэ} I_k = \text{const}$.
- 2.3. Выбрать значение напряжения источника питания E_k в пределах $(0.7 - 0.9) U_{k \max}$. (Следует учитывать, что $E_k \approx 3U_{m \text{ вых}}$ и $E_k \approx U_{кэ0} + I_{к0}(R_k + R_3)$). Эту величину в дальнейшем, после выбора R_k , R_3 , и $U_{m \text{ вых}}$ следует скорректировать.
- 2.4. Из условия передачи максимальной мощности от источника энергии к потребителю (согласованный режим) выбрать $R_k \approx R_{\text{вых. т.}}$ однако на выход усилителя обычно включается нагрузка $R_n \leq R_k$ поэтому рекомендуется выбирать $R_k = (0.3 - 1)R_{\text{вых. т.}}$ так чтобы его величина лежала в диапазоне $R_k = (0.5 - 10) \text{ кОм}$.

- 2.5. Построить нагрузочную линию усилительного каскада, согласно уравнению

$$U_{кэ} = E_k - I_k R_k$$

Для этого использовать две точки (“d” и “c”) на выходных характеристиках транзистора (рис. 2):

$$U_{кэ} = 0, I_k = \frac{E_k}{R_k} \text{ (т.ч. “d”); } I_k = 0, U_{кэ} = E_k \text{ (т.ч. “c”).}$$

При этом линия нагрузки должна проходить левее и ниже допустимых значений $U_{k \max}$,

$I_{k \max}$, и $P_{k \max}$ и обеспечить достаточно протяженный линейный участок переходной характеристики (см. рис. 2)

- 2.6. По точкам пересечения линии нагрузки с выходными характеристиками построить переходную характеристику транзистора $I_k = f(I_b)$ (см. рис. 2)
- 2.7. На переходной характеристике транзистора (с учетом входной характеристики) выбрать линейный участок “а - в”, в диапазоне которого усилитель усиливает без искажения. На середине участка “а - в” нанести рабочую точку “А”, соответствующую режиму работы транзистора по постоянному току.
- 2.8. По координатам рабочей точки “А” определить токи и напряжения транзистора в режиме покоя (по постоянному току): $I_{б0}$, $I_{к0}$, $U_{бэ0}$, $U_{кэ0}$.

3.0. Расчет усилительного каскада по переменному току.

3.1. Определить пределы изменения амплитуд входного тока и напряжения, выходного тока и напряжения в линейном режиме работы усилителя. Найти: $I_{бм}$, $I_{км}$, $U_{бэм}$, $U_{кэм}$ (см. рис. 2)

3.2. Рядом с графиками входных и выходных характеристик транзистора показать характер изменения токов и напряжений во времени в виде кривых:

$$i_{б} = I_{б0} + I_{бм}\sin\omega t;$$

$$u_{бэ} = U_{бэ0} + U_{бэм}\sin\omega t;$$

$$i_{к} = I_{к0} + I_{км}\sin\omega t;$$

$$u_{кэ} = U_{кэ0} + U_{кэм}\sin\omega t;$$

соответствующих рабочим участкам этих характеристик.

Литература.

1. Электротехнический справочник. Т.1,2. 7 – е изд. –М.: Энергоиздат, 1985, 1986
2. Транзисторы для аппаратуры широкого применения. Справочник под ред. Б.Л. Переломана. –М.: Радио и связь, 1981
3. Основы промышленной электроники под ред. В.Г. Герасимова. –М.: Высшая школа, 1978, 1986
4. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. –М.: Высшая школа, 1982
5. Электротехника и электроника/кн. 3 .Электрические изменения и основы электроники// Под. ред. В.Г. Герасимова. –М.: Энергоатомиздат, 1998
6. Филинов В.В. Нелинейные электрические и магнитные цепи/ Учебное пособие. –М.: МГАПИ, 2001, (задачи 3.3 и 3.4)

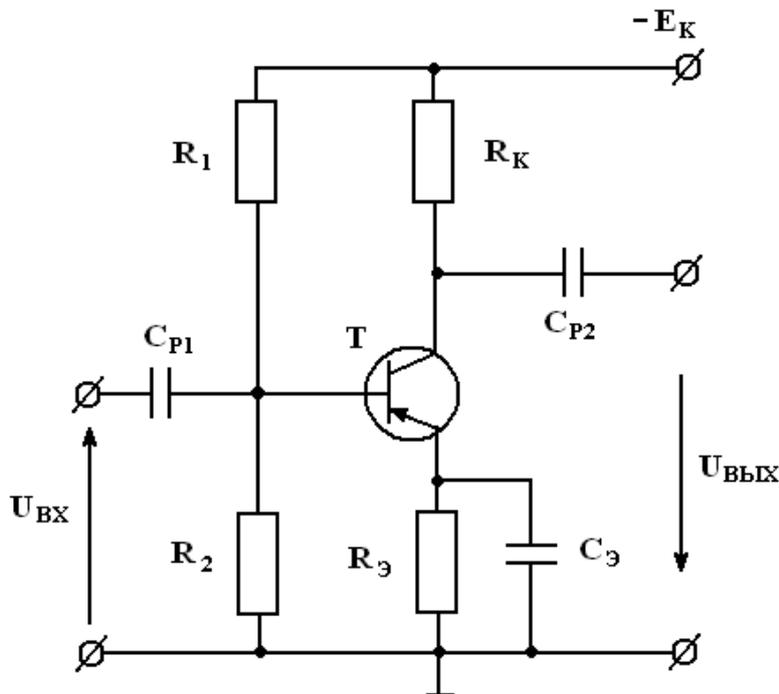


Рис. 1 Усилитель с общим эмиттером.

4. Методические указания.

4.1. По п. «Задачи работы».

Различают по конструктивному выполнению биполярные транзисторы р-п-р и п-р-п типов. Включение их в электрическую цепь представлены на рис. 3 а, б (обратить внимание на полярность источника питания!).

Для определения проводимости Вашего транзистора и правильности включения его в электрическую цепь следует по справочникам [1,2] определить тип транзистора.

4.2. По п. 1.2.

Определяем h параметры транзистора методом треугольников как показано на рис. 4. Точки для треугольника выбирают на линейных участках вольт-амперных характеристик рис. 4. (Например: т.ч. 1,2,3 - для параметров h_{11} и h_{12} ; и т.ч. 4,5,6,7 - для параметров h_{21} и h_{22} .)

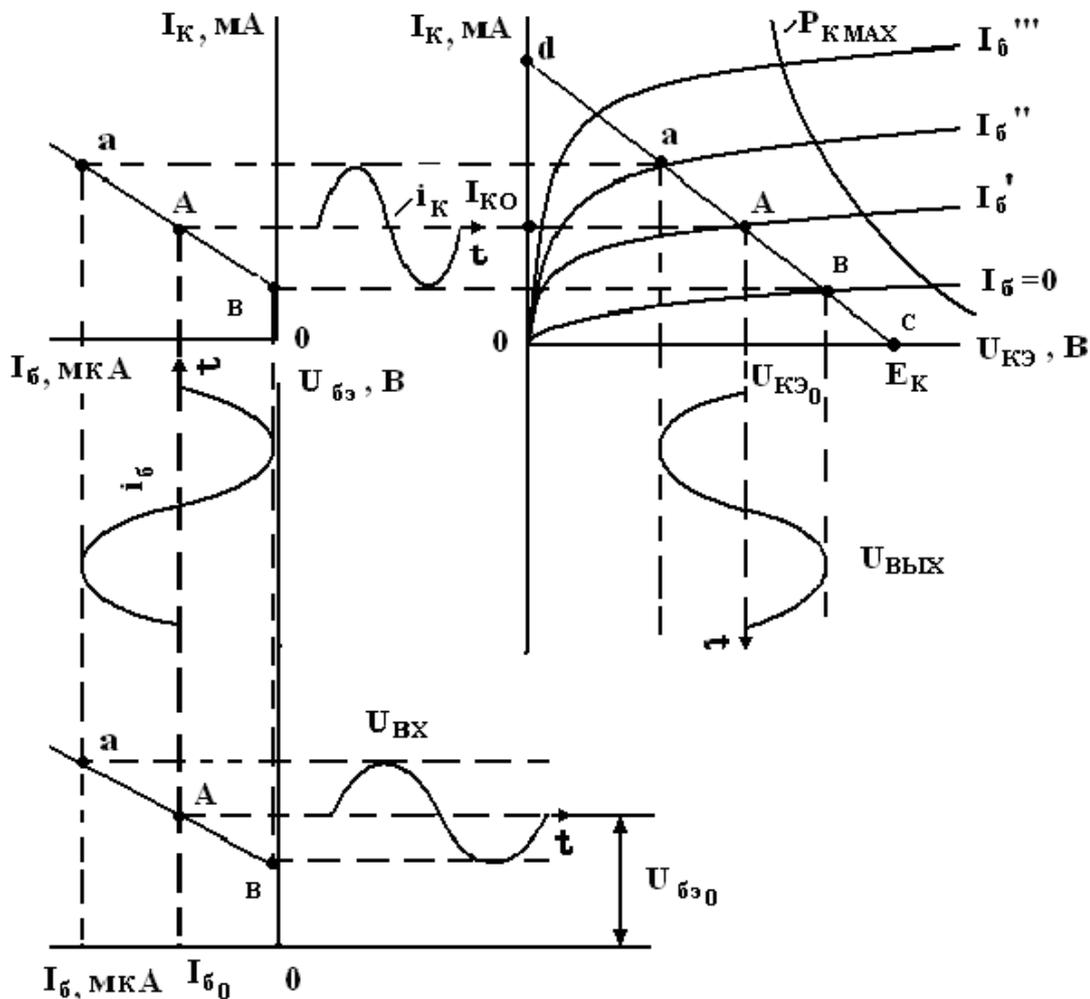


Рис. 2. Выбор рабочей точки.

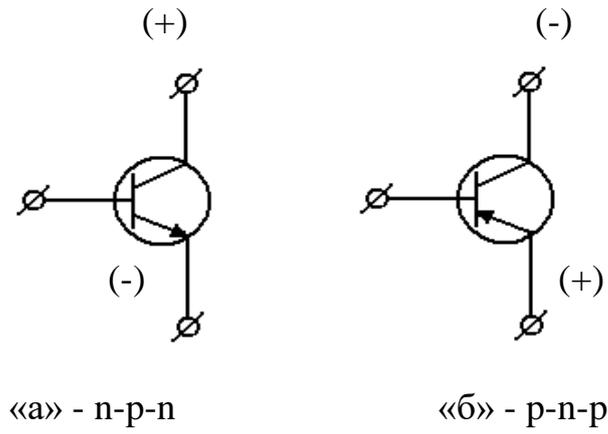


Рис. 3. Типы транзисторов.

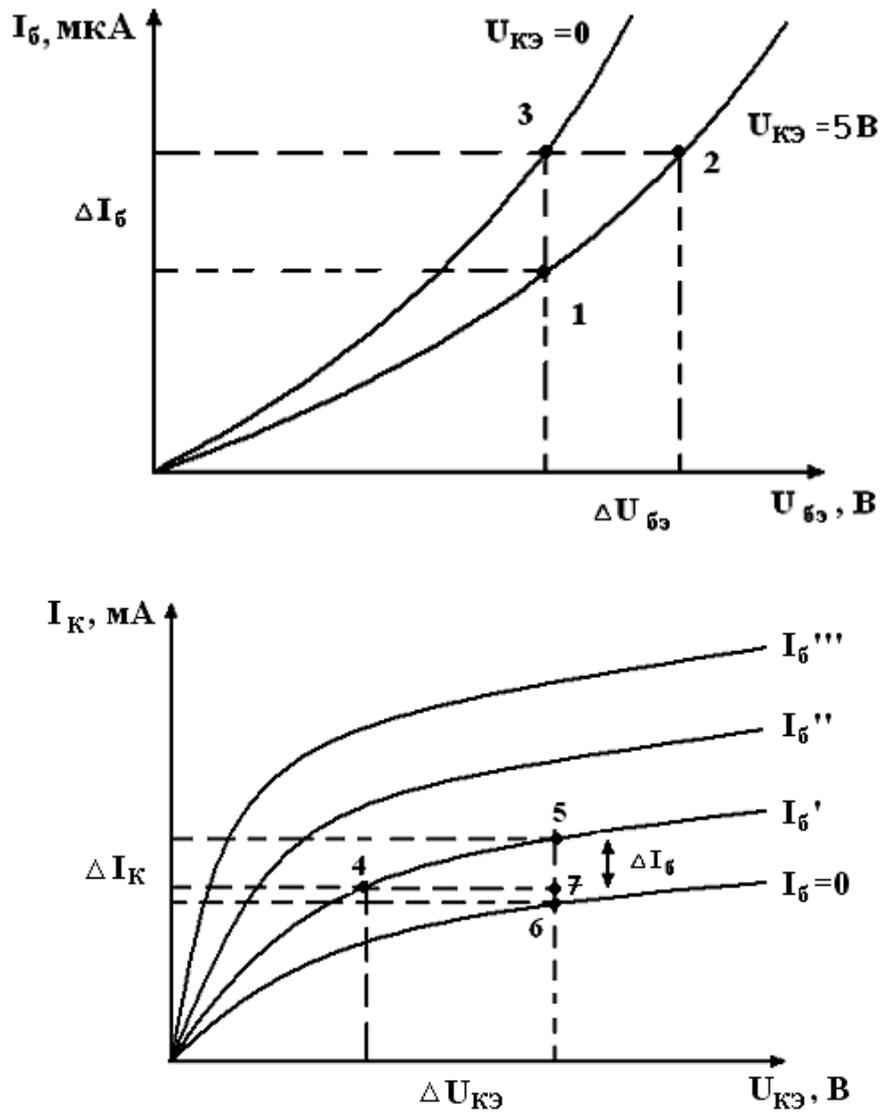


Рис. 4. Вольт-амперные характеристики транзисторов.

$$h_{11} = \frac{\Delta_{32} U_{\bar{6}\bar{3}}}{\Delta_{13} I_{\bar{6}}} / U_{кэ} = \text{const},$$

$$h_{12} = \frac{\Delta_{32} U_{\bar{6}\bar{3}}}{\Delta_{32} U_{кэ}} / I_{\bar{6}} = \text{const};$$

$$h_{21} = \frac{\Delta_{56} I_{к}}{\Delta_{56} I_{\bar{6}}} / U_{кэ} = \text{const},$$

$$h_{22} = \frac{\Delta_{57} I_{к}}{\Delta_{74} U_{к}} / I_{\bar{6}} = \text{const}.$$

Пределы изменения h параметров для современных биполярных транзисторов малой и средней мощности:

$h_{11} = R_{\bar{6}} \approx n$ (10 ÷ 100) Ом – входное сопротивление транзистора, где $n \approx (1 \div 10)$;

$h_{21} = \beta$ - коэффициент усиления по току; $h_{21} = (20 \div 1000)$;

$K_U = \frac{1}{h_{12}}$ - коэффициент усиления по напряжению ($K_U \leq 200$);

$R_{\text{ВЫХ}} = \frac{1}{h_{22}} \approx n(1 \div 10)$ – выходное сопротивление транзистора, где $n \approx (1 \div 10)$.

4.3. По п.2.2.

Кривую допустимой мощности вы также можете нанести по справочным данным транзистора [1,2].

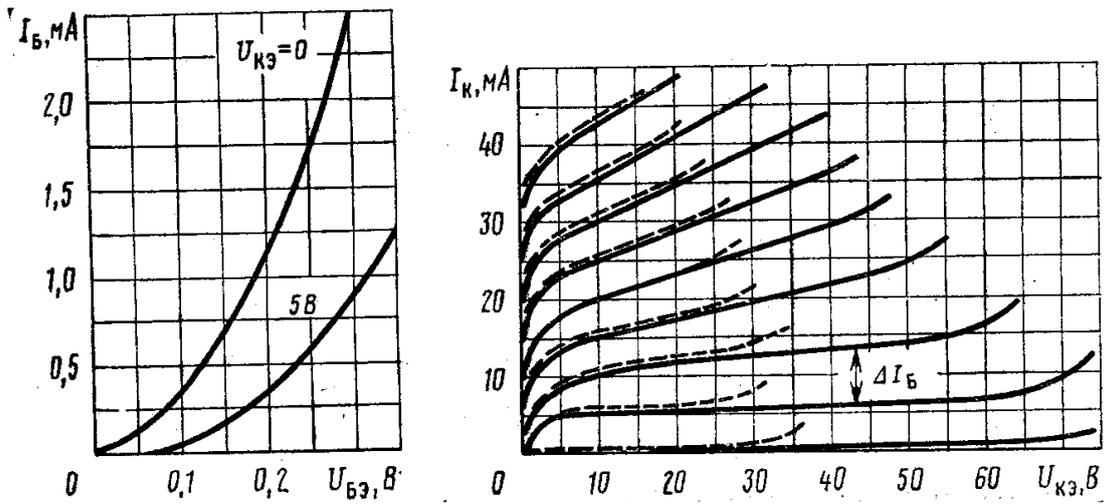
4.4. По п. 2.6.

Переходные характеристики транзистора $I_{к} = f(I_{\bar{6}})$ (см. рис. 2) строят по пересечению линии нагрузки с выходными характеристиками транзистора. Для Вашего транзистора этих пересечений будет более 3-х.

ВАРИАНТЫ

1. МП21Г	16.КТ201Г
2. МП21Д	17.КТ208А
3. МП39	18.КТ209Б
4. МП40	19.ГТ310А
5. МП41А	20.ГТ310Б
6. МП42А	21.П416
7. МП42Б	22.П416А
8. ГТ108Б	23.П416Б
9. ГТ108Г	24.КТ3107А
10.МП114	25.КТ3107Б
11.МП116	26.КТ3107К
12.КТ104А	27.КТ313А
13.КТ104Б	28.КТ313Б
14.КТ104В	29.КТ345А
15.КТ201Б	30.КТ345Б

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНЗИСТОРОВ МП21Д, МП21Г



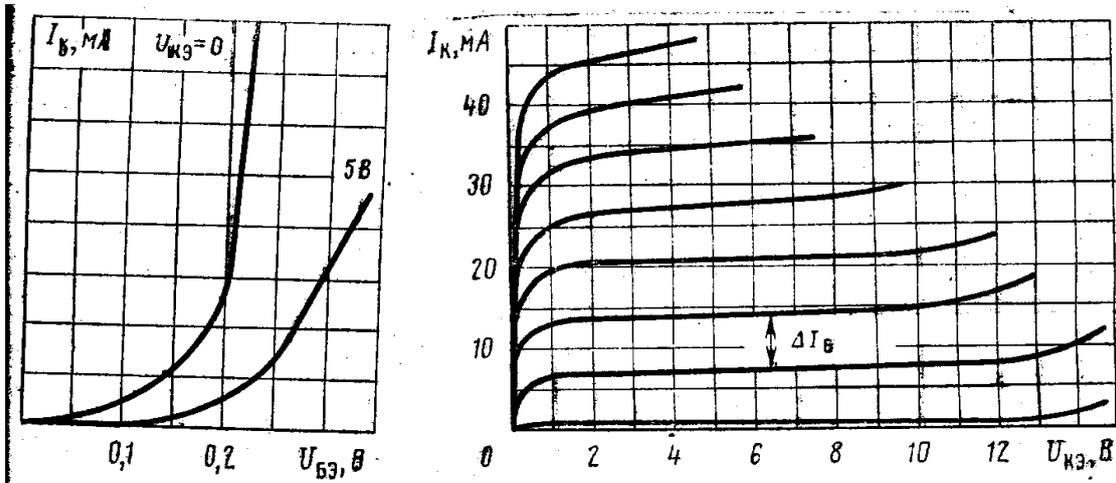
МП21Д – $\Delta I_{\sigma} = 40$ мкА МП21Г – $\Delta I_{\sigma} = 100$ мкА

$U_{KЭ\max} = 35$ В

$I_{K\max} = 50$ мА

$P_{K\max} = 150$ мВт $C_K = 30$ пФ

МП39, МП40, МП41А



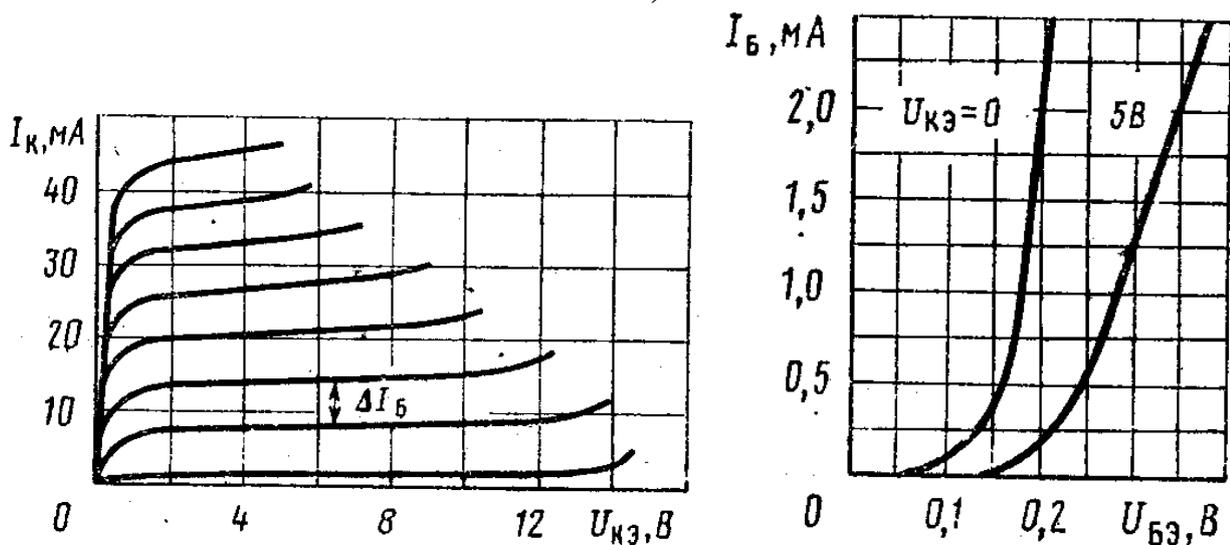
МП39 – $\Delta I_{\sigma} = 400$ мкА МП40 – $\Delta I_{\sigma} = 200$ мкА МП41А – $\Delta I_{\sigma} = 100$ мкА

$U_{KЭ\max} = 15$ В

$I_{K\max} = 20$ мА

$P_{K\max} = 150$ мВт $C_K = 50$ пФ

МП42А, МП42Б



МП42А – $\Delta I_{\text{б}} = 100 \text{ мкА}$ МП42Б – $\Delta I_{\text{б}} = 150 \text{ мкА}$

$U_{\kappa\epsilon \text{ max}} = 15 \text{ В}$

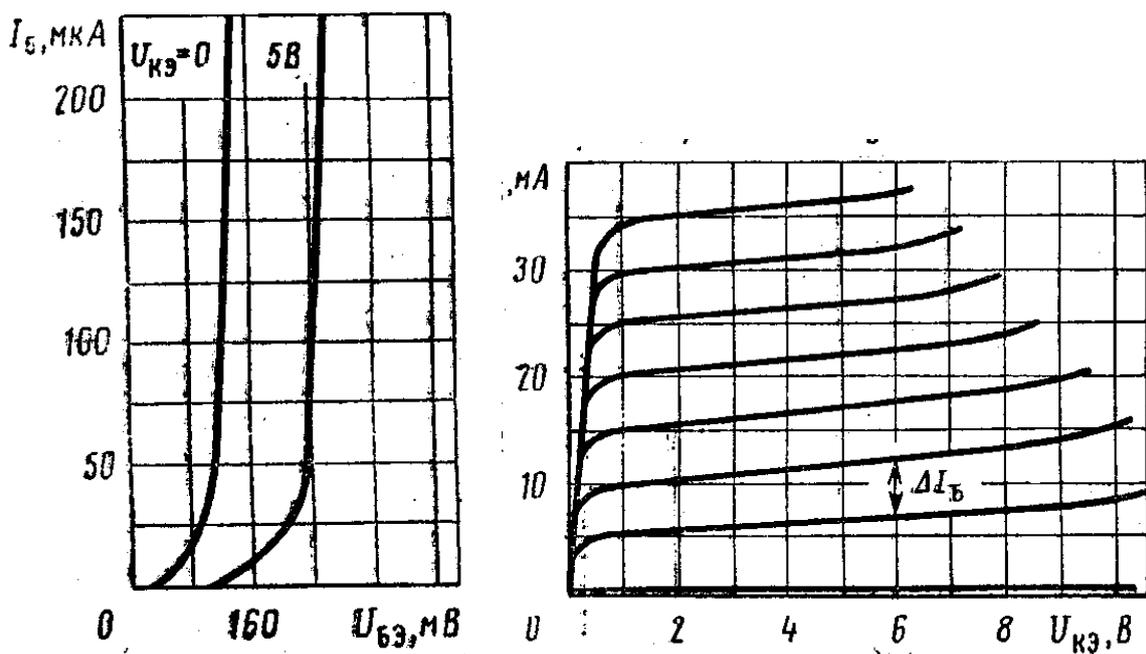
$I_{\kappa \text{ max}} = 150 \text{ мА}$

$P_{\kappa \text{ max}} = 200 \text{ мВт}$

$C_{\kappa} = 50 \text{ пФ}$

$f_{\text{гр}} = 1 \text{ МГц}$

ГТ108Б, ГТ108Г



ГТ108Б – $\Delta I_{\text{б}} = 100 \text{ мкА}$ ГТ108Г – $\Delta I_{\text{б}} = 50 \text{ мкА}$

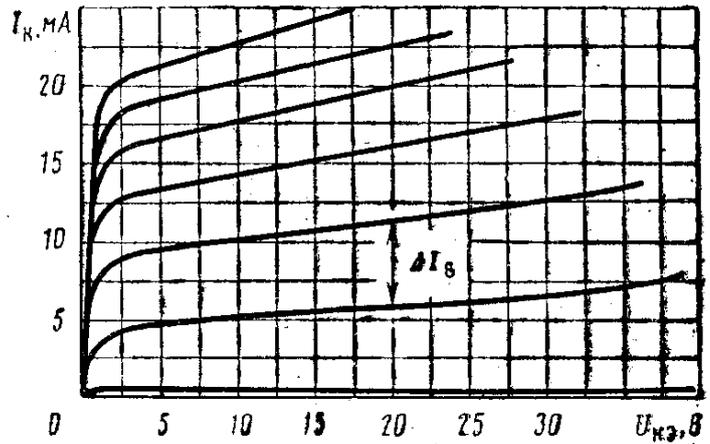
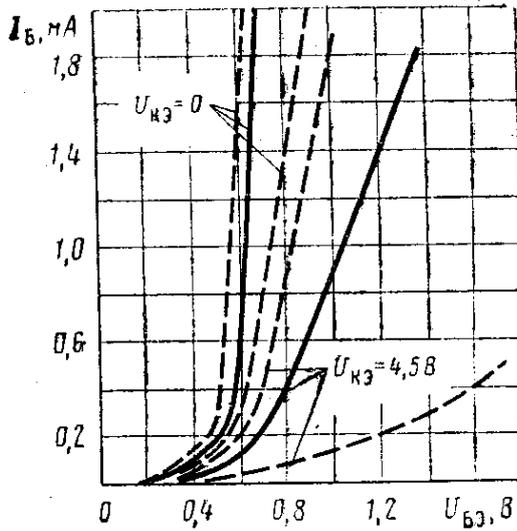
$U_{\kappa\epsilon \text{ max}} = 6 \text{ В}$

$I_{\kappa \text{ max}} = 50 \text{ мА}$

$P_{\kappa \text{ max}} = 75 \text{ мВт}$

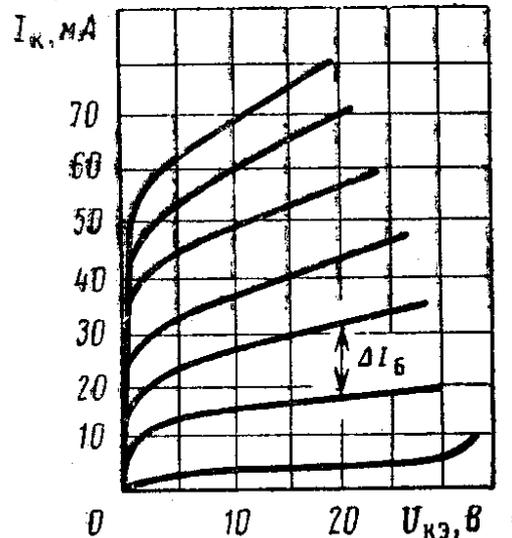
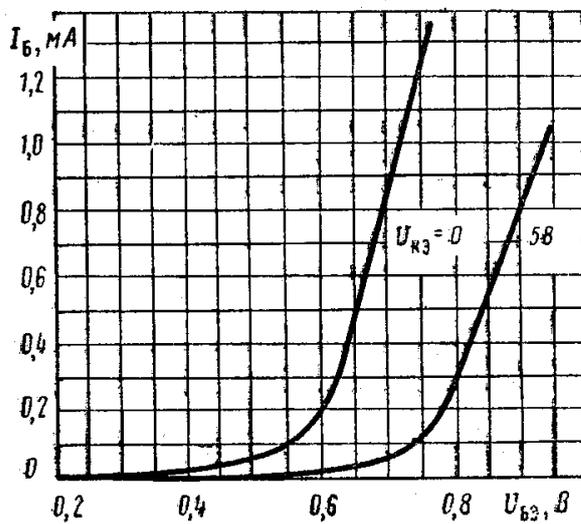
$C_{\kappa} = 50 \text{ пФ}$

МП114, МП115, МП116



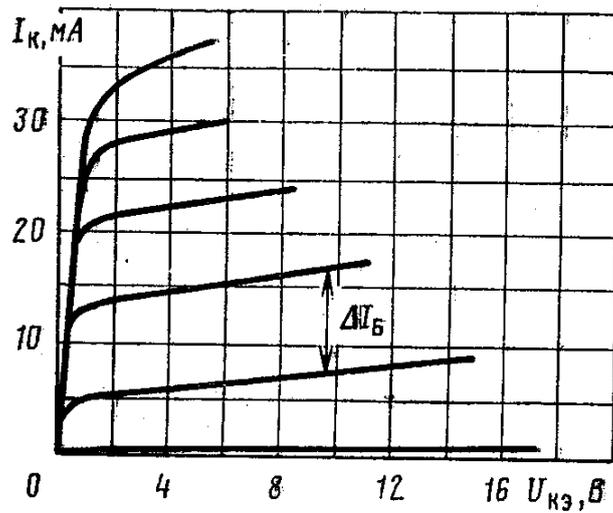
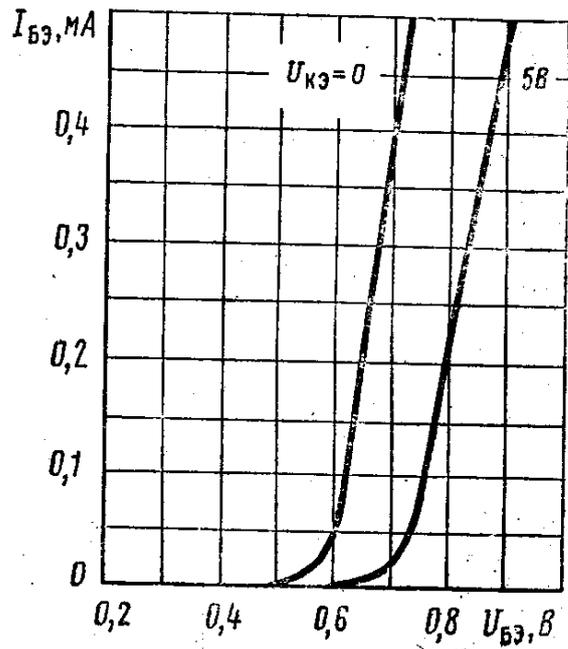
МП114 – $\Delta I_{\delta} = 0,3 \text{ mA}$ МП115 – $\Delta I_{\delta} = 0,3 \text{ mA}$ МП116 – $\Delta I_{\delta} = 0,1 \text{ mA}$
 МП114 – $U_{кэ \max} = 60 \text{ В}$ МП115 – $U_{кэ \max} = 30 \text{ В}$ МП116 – $U_{кэ \max} = 15 \text{ В}$
 $I_{к \max} = 10 \text{ mA}$ $P_{к \max} = 150 \text{ мВт}$ $C_{к} = 50 \text{ пФ}$
 МП114 – $f_{гр} = 0,92 \text{ МГц}$ МП116 – $f_{гр} = 2,0 \text{ МГц}$

КТ104А, КТ104Б, КТ104В



КТ104А – $\Delta I_{\delta} = 1,5 \text{ mA}$ КТ104Б – $\Delta I_{\delta} = 0,4 \text{ mA}$ КТ104В – $\Delta I_{\delta} = 0,2 \text{ mA}$
 КТ104А – $U_{кэ \max} = 30 \text{ В}$ КТ104Б – $U_{кэ \max} = 15 \text{ В}$ КТ104В – $U_{кэ \max} = 15 \text{ В}$
 $I_{к \max} = 50 \text{ mA}$ $P_{к \max} = 150 \text{ мВт}$ $C_{к} = 50 \text{ пФ}$

КТ201Г, КТ201Б

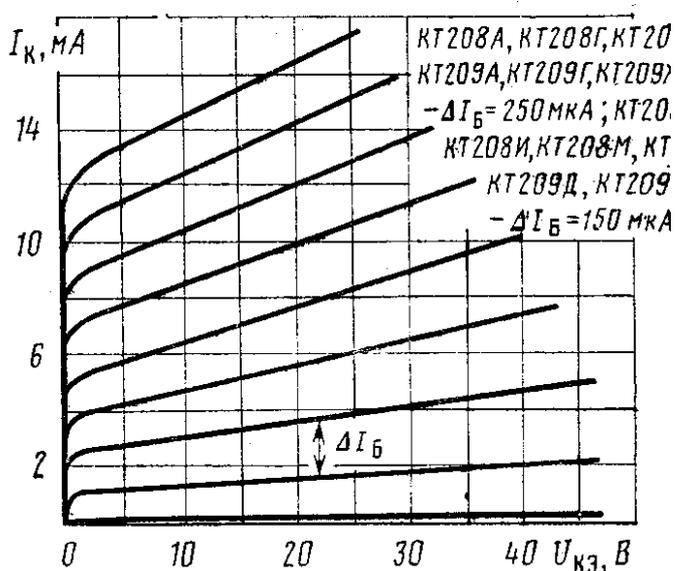
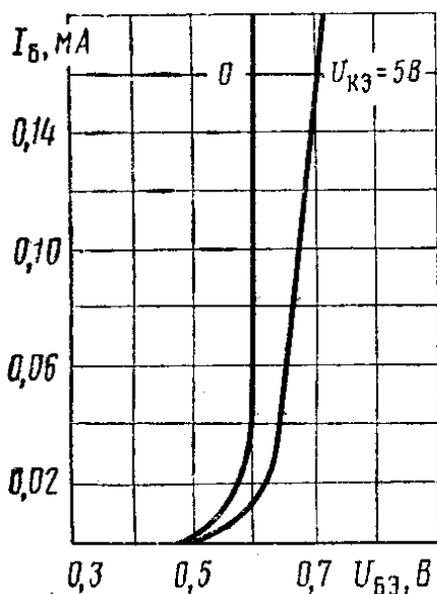


КТ201Б – $\Delta I_{\sigma} = 0,1$ mA КТ201Г – $\Delta I_{\sigma} = 0,05$ mA

КТ201Б – $U_{KЭ \max} = 20$ В КТ201Г – $U_{KЭ \max} = 10$ В

$I_{K \max} = 30$ mA $P_{K \max} = 150$ мВт $C_K = 20$ пФ

КТ208А, КТ209Б



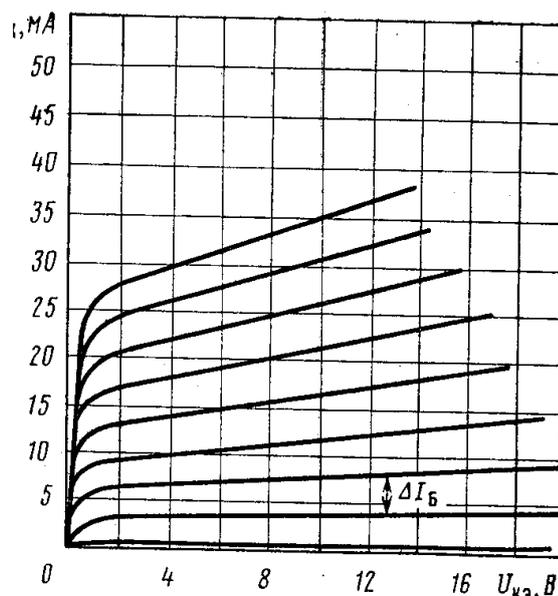
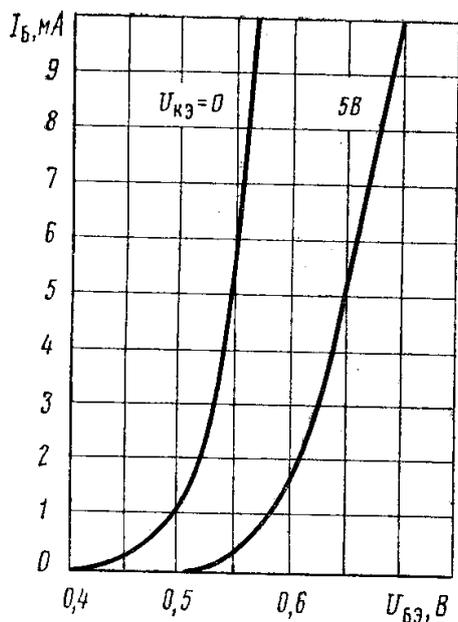
КТ208А – $\Delta I_{\sigma} = 150$ мкА КТ209Б – $\Delta I_{\sigma} = 250$ мкА

$U_{KЭ \max} = 15$ В

$I_{K \max} = 300$ мА

$P_{K \max} = 200$ мВт $C_K = 20$ пФ

КТ345А, КТ345Б

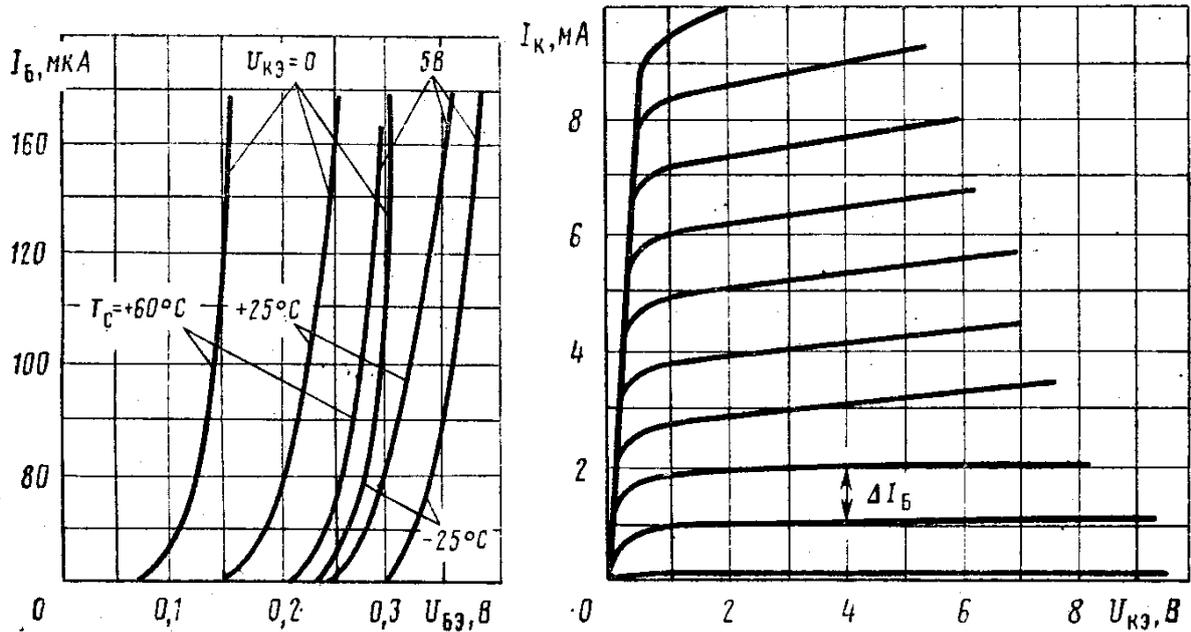


КТ345А – $\Delta I_{\sigma} = 0,075$ мА КТ345Б – $\Delta I_{\sigma} = 0,05$ мА

$U_{KЭ \max}$ (при $R_{\sigma} \leq 10$ кОм) = 20 В $I_{K \max} = 200$ мА

$P_{K \max} = 150$ мВт $C_K = 50$ пФ

ГТ310А, ГТ31Б

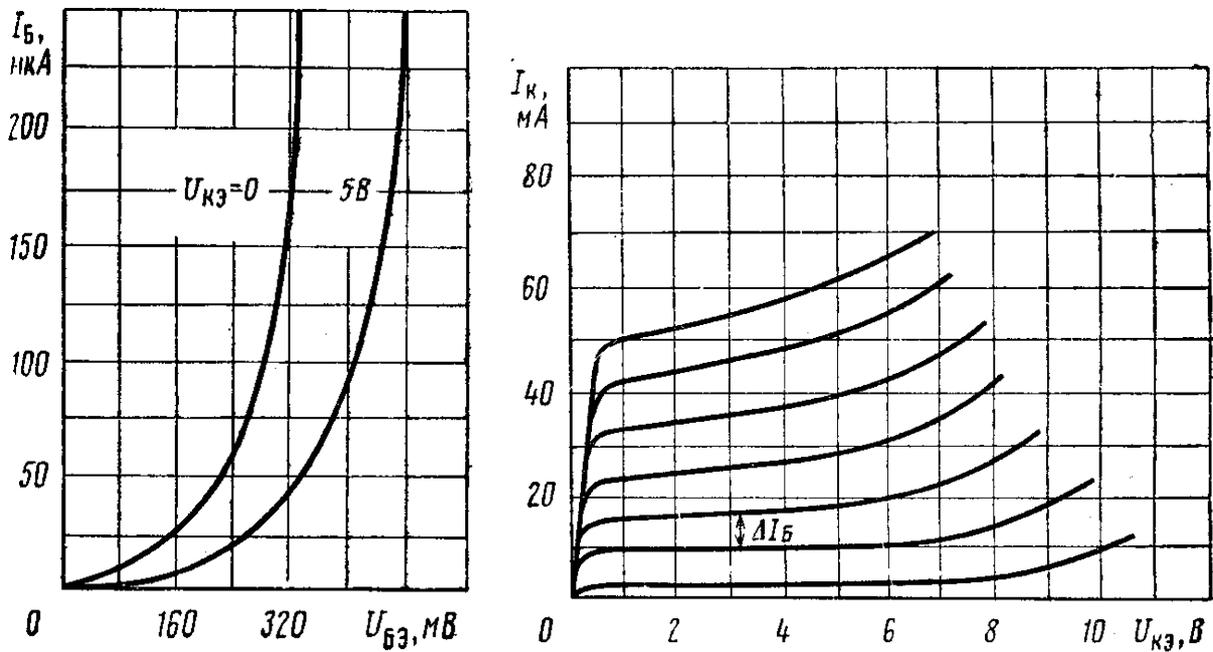


ГТ310А – $\Delta I_{\sigma} = 20$ мкА ГТ310Б – $\Delta I_{\sigma} = 10$ мкА

$U_{кэ\max}$ (при $R_{\sigma} = 10$ кОм) = 10 В $U_{кэ\max}$ (при $R_{\sigma} = 200$ кОм) = 6 В

$I_{к\max} = 10$ мА $P_{к\max} = 20$ мВт $C_{к} = 20$ пФ

П416, П416А, П416Б

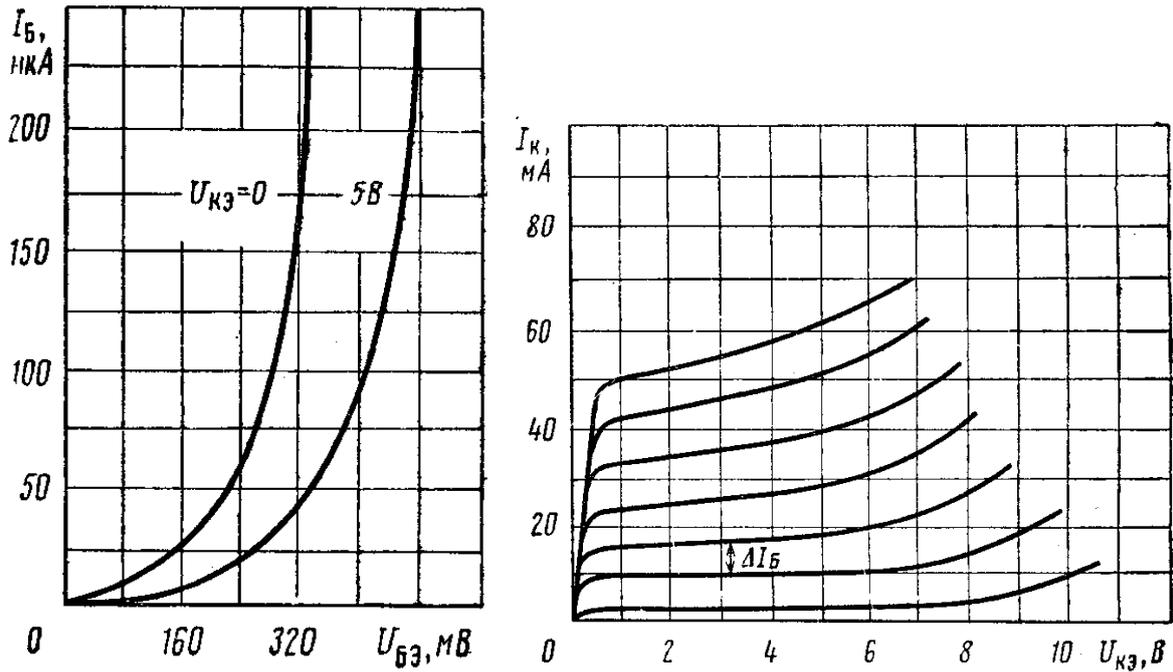


П416 – $\Delta I_{\sigma} = 0,1$ мА П416А – $\Delta I_{\sigma} = 0,05$ мА П416Б – $\Delta I_{\sigma} = 0,03$ мА

$U_{кэ\max}$ (при $R_{\sigma} = 0$) = 15 В $U_{кэ\max}$ (при $R_{\sigma} \leq 1$ кОм) = 12 В

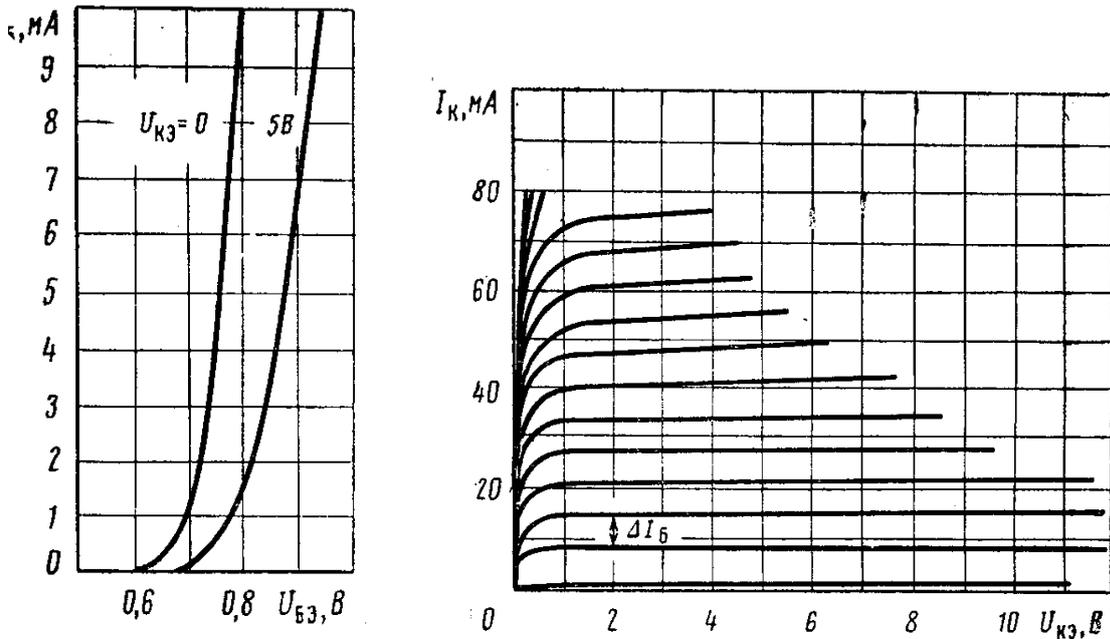
$I_{к\max} = 25$ мА $P_{к\max} = 100$ мВт $C_{к} = 20$ пФ

КТ3107А, КТ3107Б, КТ3107К



КТ3107А – $\Delta I_{\sigma} = 0,2 \text{ мА}$ КТ3107Б – $\Delta I_{\sigma} = 0,1 \text{ мА}$ КТ3107К – $\Delta I_{\sigma} = 0,04 \text{ мА}$
 КТ3107А – $U_{KЭ\text{max}} = 45 \text{ В}$ КТ3107Б – $U_{KЭ\text{max}} = 45 \text{ В}$ КТ3107К – $U_{KЭ\text{max}} = 25 \text{ В}$
 $I_{K\text{max}} = 100 \text{ мА}$ $P_{K\text{max}} = 300 \text{ мВт}$ $C_K = 12 \text{ пФ}$

КТ313А, КТ313Б



КТ313А – $\Delta I_{\sigma} = 0,1 \text{ мА}$ КТ313Б – $\Delta I_{\sigma} = 0,05 \text{ мА}$
 $U_{KЭ\text{max}}$ (при $R_{\sigma} \leq 1 \text{ кОм}$) = 50В $I_{K\text{max}} = 350 \text{ мА}$ $P_{K\text{max}} = 300 \text{ мВт}$ $C_K = 12 \text{ пФ}$