

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И ИНФОРМАТИКИ

Кафедра электротехники и электроники

Учебное пособие

По выполнению практического занятия и расчетно-графической работы

РАСЧЕТ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА С ОЭ

(для студентов технических специальностей МГУПИ)

Авторы: Филинов В.В.

Филинова А.В.

Москва - 2007

УТВЕРЖДЕНО
Ученым советом МГУПИ
в качестве учебного пособия.
Предоставлено кафедрой
Электротехника и Электроника
ИС-7 МГУПИ
Зав. кафедрой д.т.н.
проф. Шатерников В.Е.
Авторы: д.т.н., проф. Филинов В.В.
старший преподаватель Филинова А.В.

«РАСЧЕТ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА С ОЭ»

В учебном пособии приводятся методические рекомендации по выполнению расчетно-графической работы «Расчет усилительного каскада с ОЭ» по курсу «Электроника» и «Электротехника и Электроника» для студентов всех специальностей технической направленности МГУПИ.

Рецензент – д.т.н., проф. Шкатов П.Н.

Компьютерная верстка - Аракелов П.Г.

ISBN

Л $\frac{2202020000}{ЛР020418\ 07}$

© Московский государственный университет приборостроения и информатики, 2007

© Филинов В.В., Филинова А.В., 2007

Москва, 2007

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА ПО ЭЛЕКТРОНИКЕ

«РАСЧЕТ УСИЛИТЕЛЬНОГО КАСКАДА С ОЭ»

ЗАДАЧА РАБОТЫ.

Рассчитать h – параметры биполярного транзистора, его входное и выходное сопротивления, коэффициент передачи по току, пользуясь входными и выходными характеристиками транзистора. Тип транзистора задается преподавателем. Схема включения транзистора с общим эмиттером (ОЭ).

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.

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 n-p-n 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

$$h_{11} = \frac{U_{бэ}}{I_б} / U_{кэ} = \text{const}, \quad h_{12} = \frac{U_{бэ}}{U_{кэ}} / I_б = \text{const};$$

по выходным характеристикам определить

$$h_{21} = \frac{I_к}{I_б} / U_{кэ} = \text{const}, \quad h_{22} = \frac{I_к}{U_к} / I_б = \text{const}.$$

1.3. Найти входное и выходное сопротивление транзистора:

$$R_{вхТ} \quad h_{11} \quad R_{выхТ} \quad \frac{1}{h_{22}}$$

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 $E_k \approx U_{кэ0} + I_{к0}(R_k + R_э)$). Эту величину в дальнейшем, после выбора R_k , $R_э$, 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 $I_k = f(I_б)$ (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: $I_{бm}$, $I_{км}$, $U_{бэм}$, $U_{кэм}$ (см. рис. 2)
- 3.2. Рядом с графиками входных и выходных характеристик транзистора показать характер изменения токов и напряжений во времени в виде кривых:

$$\begin{aligned} i_{\bar{6}} &= I_{\bar{6}0} + I_{\bar{6}m}\sin\omega t; & u_{\bar{6}\bar{3}} &= U_{\bar{6}\bar{3}0} + U_{\bar{6}\bar{3}m}\sin\omega t; \\ i_{\bar{k}} &= I_{\bar{k}0} + I_{\bar{k}m}\sin\omega t; & u_{\bar{k}\bar{3}} &= U_{\bar{k}\bar{3}0} + U_{\bar{k}\bar{3}m}\sin\omega t; \end{aligned}$$

соответствующих рабочим участкам этих характеристик.

4.0. Расчет параметров элементов усилителя ОЭ.

4.1. Рассчитать элементы цепи термостабилизации $R_{\bar{3}}$ и $C_{\bar{3}}$.

4.1.1. Увеличение $R_{\bar{3}}$ повышает глубину отрицательной обратной связи во входной цепи усилителя (улучшает термостабилизацию), с другой стороны, при этом падает КПД усилителя из-за дополнительных потерь мощности на этом сопротивлении. Обычно выбирают величину падения напряжения на $R_{\bar{3}}$ порядка $(0,1 - 0,3)E_k$, что равносильно выбору $R_{\bar{3}} \approx (0,05 - 0,15)R_k$ в согласованном режиме работы транзистора. Используя последнее соотношение выбираем величину $R_{\bar{3}}$.

4.1.2. Для коллекторно – эмиттерной цепи усилительного каскада в соответствии со вторым законом Кирхгофа можно записать уравнение электрического состояния по постоянному току

$$E_k - U_{\bar{k}\bar{3}0} - (R_k + R_{\bar{3}})I_{\bar{k}0} = 0.$$

Используя это уравнение скорректировать выбранные по п.п. 2.3 и 2.4 значение E_k или величину R_k .

4.13. Определить емкость в цепи эмиттера $C_{\bar{3}}$ из условия $R_{\bar{3}} = (5 - 10)X_{\bar{3}}$, где $X_{\bar{3}}$ – емкостное сопротивление элемента $C_{\bar{3}}$. При этом

$$C_{\bar{3}} = \frac{10^7}{(1 - 2)2 f_n R_{\bar{3}}} \text{ мкФ, выбрав } f_n = 50 - 100 \text{ Гц.}$$

4.2. Для исключения шунтирующего действия делителя R_1, R_2 на входную цепь транзистора задается сопротивление $R_{\bar{6}}$.

$$R_{\bar{6}} = R_1 \parallel R_2 = (2 - 5)R_{\text{exT}}$$

и ток делителя $I_d = (2 - 5)I_{\bar{6}0}$, что повышает температурную стабильность $U_{\bar{6}0}$. Исходя из этого определить сопротивления $R_1, R_2, R_{\bar{6}}$:

$$R_2 = \frac{U_{\bar{6}0}}{I_d} = \frac{R_{\bar{3}}I_{\bar{k}0} - U_{\bar{6}\bar{3}0}}{I_d}; \quad R_1 = \frac{E_k - U_{\bar{6}0}}{I_d}; \quad R_{\bar{6}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

4.3. Определить емкость разделительного конденсатора из условия $R_{\text{вх}} = (5 - 10)X_p$, где X_p – емкостное сопротивление разделительного конденсатора, $R_{\text{вх}}$ – входное сопротивление каскада. При этом

$$C_p = \frac{10^7}{(1 - 2)2 f_n R_{\text{вх}}} \text{ мкФ, а } R_{\text{вх}} = R_{\bar{6}} \parallel R_{\text{exT}}$$

5. Определить параметры усилительного каскада.

5.1. Коэффициент усиления каскада по току K_i

$$K_i = i_{\text{вых}} / i_{\text{вх}}$$

5.2. Входное сопротивление каскада $R_{\text{вх}}$

$$R_{\text{вх}} = R_{\bar{6}} \parallel R_{\text{exT}}, \text{ если } R_{\bar{6}} < R_{\text{exT}}, \text{ то } R_{\text{вх}} = R_{\text{exT}}$$

5.3. Выходное сопротивление каскада $R_{\text{вых}}$

$$R_{\text{вых}} = \frac{R_{\text{к}}}{1 + h_{22} R_{\text{к}}} \approx R_{\text{к}}$$

5.4. Коэффициент усиления по напряжению K_u

$$K_u = \frac{U_{\text{твых}}}{U_{\text{твх}}} = \frac{R_{\text{к}}}{R_{\text{вх}}}$$

5.5. Коэффициент усиления по мощности K_p

$$K_p = K_i K_u$$

5.6. Полезную выходную мощность каскада

$$P_{\text{вых}} = 0,5 U_{\text{тввы}}^2 / R_{\text{к}}$$

5.7. Полную мощность, расходуемую источником питания

$$P_{\text{ист}} = I_{\text{к0}} E_{\text{к}} = I_{\text{Д}}^2 (R_1 + R_2) = I_{\text{б0}}^2 R_1$$

5.8. КПД каскада

$$\frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{ист}}} \cdot 100\%$$

5.9. Верхняя и нижняя граничные частоты определяются из соотношения для коэффициента частотных искажений:

на нижней частоте $M_n = \frac{K_o}{K_n} \sqrt{1 + \frac{1}{(\omega_n C_n)^2}}$;

и верхней частоте $M_v = \frac{K_o}{K_n} \sqrt{1 + (\omega_v C_v)^2}$.

Обычно выбирается $M_n = M_v = \sqrt{2}$, тогда $\frac{1}{\omega_n C_n} = 1$ и $\omega_v C_v = 1$,

где $C_n = C_p (R_{\text{вх}} + R_{\text{вых}})$ $C_v = C_{\text{к}} \frac{R_{\text{вх}} R_{\text{вых}}}{R_{\text{вх}} + R_{\text{вых}}}$

$C_{\text{к}}$ – емкость коллекторного перехода.

6. Заключение.

6.1. Объяснить назначение всех элементов схемы усилительного каскада. Параметры элементов схемы выбираются на основании всего комплекса расчетов. По данным расчета выбрать стандартные резисторы и конденсаторы по справочнику. [1]

6.2. По результатам анализа усилительного каскада дать рекомендации по применению выбранного типа транзистора, оценив его коэффициенты усиления, частотные свойства, выходные напряжения и мощность в линейном режиме и КПД.

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)

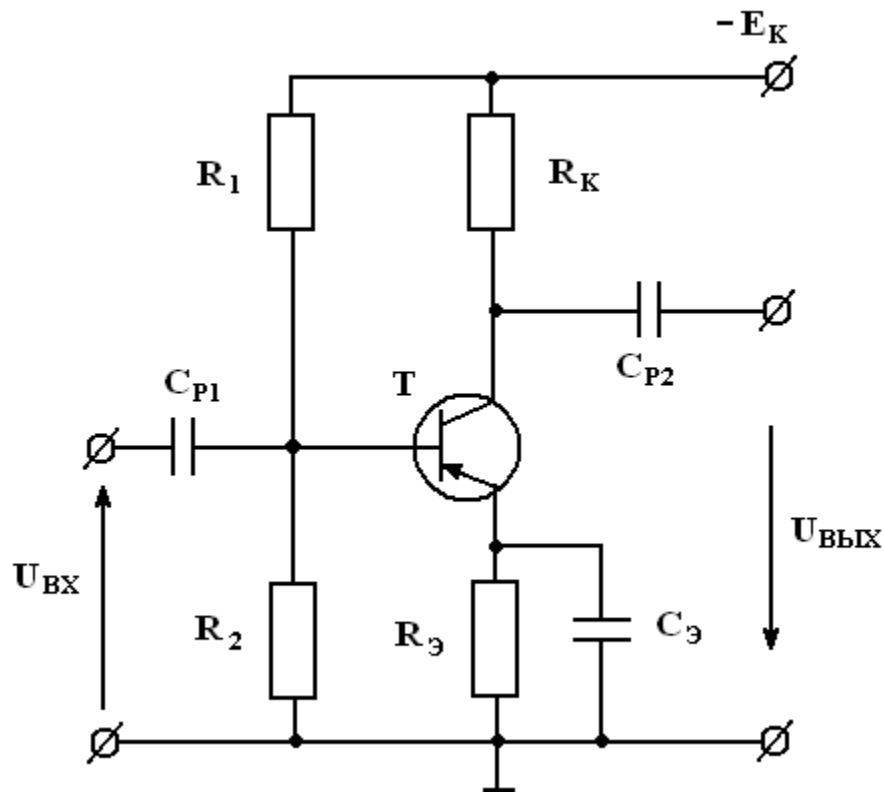


Рис. 1 Усилитель с общим эмиттером.

7.0 Методические указания.

7.1. По п. «Задача работы».

Различают по конструктивному выполнению биполярные транзисторы p-n-p и n-p-n 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.

7.2. 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} .)

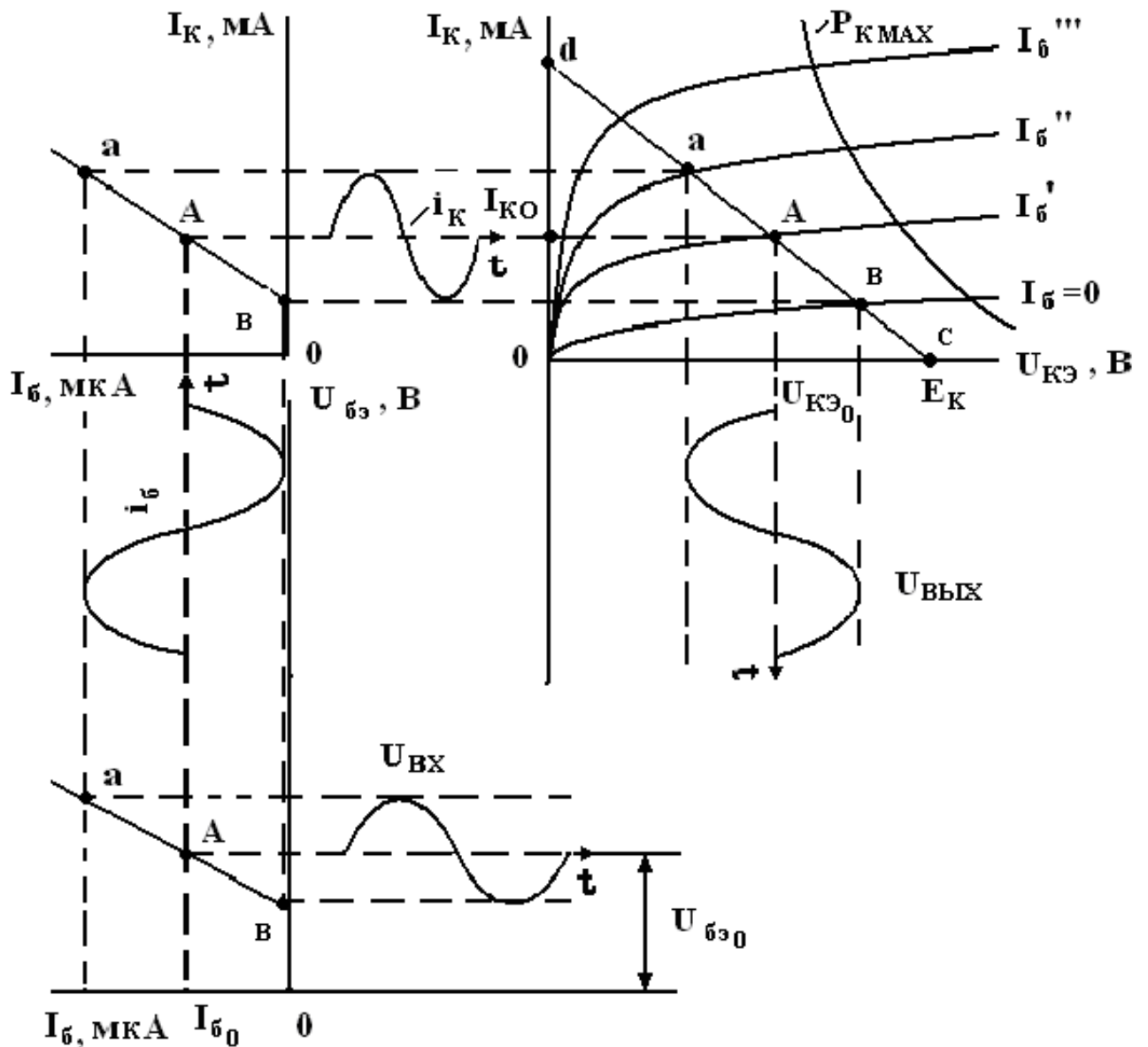


Рис. 2. Выбор рабочей точки.

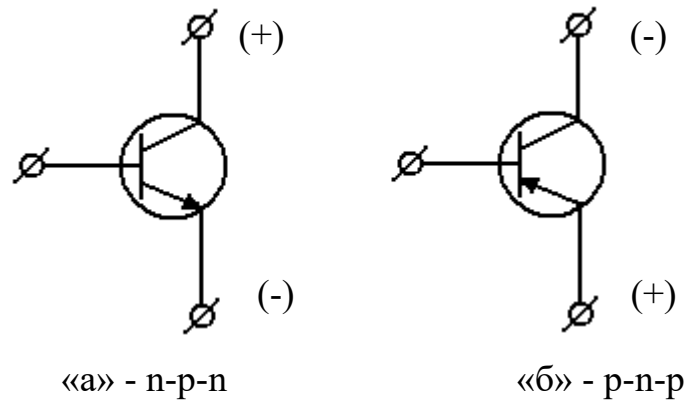


Рис. 3. Типы транзисторов.

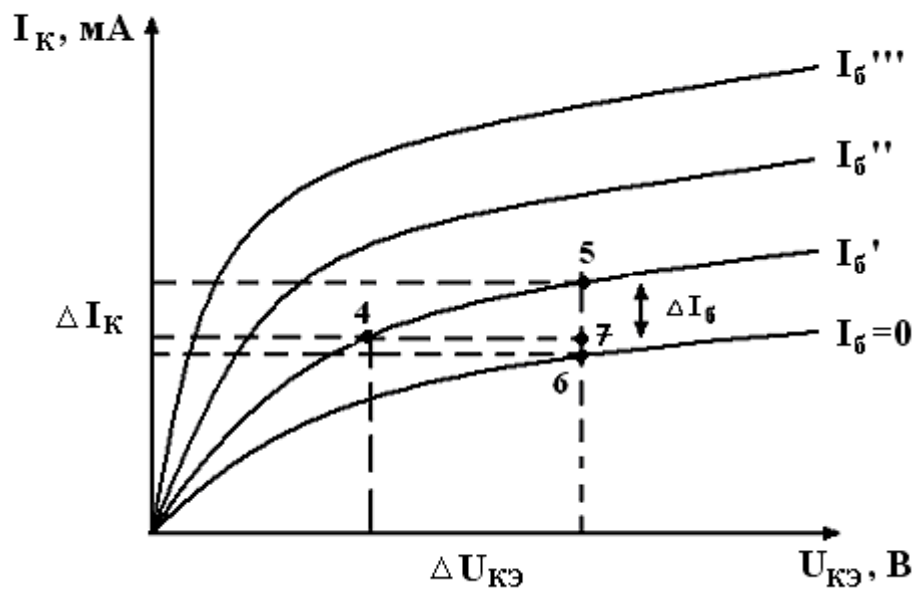
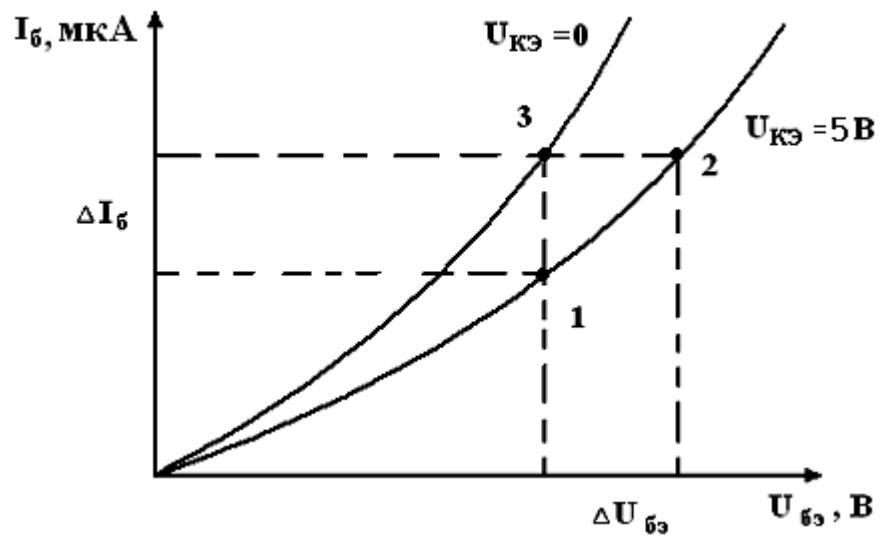


Рис. 4. Вольт-амперные характеристики транзисторов.

$$h_{11} = \frac{32 U_{бэ}}{13 I_б} / U_{кэ} = \text{const}, \quad h_{12} = \frac{32 U_{бэ}}{32 U_{кэ}} / I_б = \text{const};$$

$$h_{21} = \frac{56 I_к}{56 I_б} / U_{кэ} = \text{const}, \quad h_{22} = \frac{57 I_к}{74 U_к} / I_б = \text{const}.$$

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

$h_{11} = R_б \approx n (10 \div 100)$ 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 ($K_U \leq 200$);

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

где $n \approx (1 \div 10)$.

7.3. По п.2.2.

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

7.4. По п. 2.6.

Переходные характеристики транзистора $I_к = f(I_б)$ (см. рис. 2) строят по пересечению линии нагрузки с выходными характеристиками транзистора. Для Вашего транзистора этих пересечений будет более 3-х.

7.5. По 5.4.

Коэффициент усиления усилительного каскада с ОЭ обычно лежит в пределах до 100, но не может превышать $K_U \leq 200$.

7.6. По 5.8.

Усилительный каскад с ОЭ работает в линейном режиме и КПД не может превышать $\eta \leq 50\%$.

8.0. Пример выполнения задания по п.б.

1) Назначение элементов схемы:

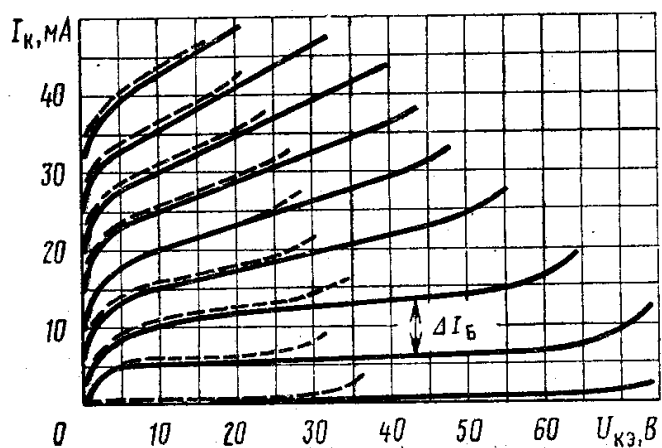
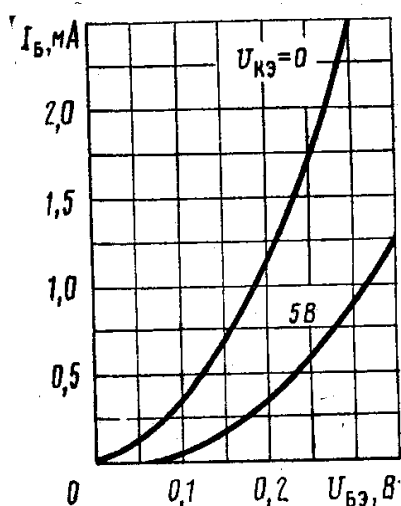
- транзистор Т – усилительный элемент;
- резисторы R_1, R_2 представляют собой делитель напряжения, устанавливающий потенциал базы (по постоянному току) необходимый для работы каскада в линейном режиме;
- резистор $R_э$ – цепь термостабилизации каскада, за счет падения напряжения на этом резисторе, превышающем напряжение на базовом переходе транзистора, уменьшает влияние изменения напряжения $U_{бэ0}$ при изменении температуры;

- R_k – сопротивление нагрузки по постоянному току, служит для получения нужного потенциала на коллекторе и позволяет получить амплитуду выходного напряжения необходимой величины;
 - C_{p1}, C_{p2} – разделительные конденсаторы, служат для разделения (защиты) транзисторов по постоянному току;
 - C_3 – служит для уменьшения нижней границы частоты усилителя и увеличения коэффициента усиления по переменному току на низких частотах;
- Выбираемые номинальные значения всех элементов по справочникам, при этом берем ближайшие номинальные значения для резисторов и конденсаторов;
- 2) Данный тип транзистора можно применять в каскадах предварительного усиления сигналов низкой и высокой частот, т.к. верхняя граница частоты превышает _____ МГц, а нижняя граничная частота лежит в звуковом диапазоне. Выходная мощность каскада составляет _____ мВт.

ВАРИАНТЫ

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНЗИСТОРОВ МП21Д, МП21Г



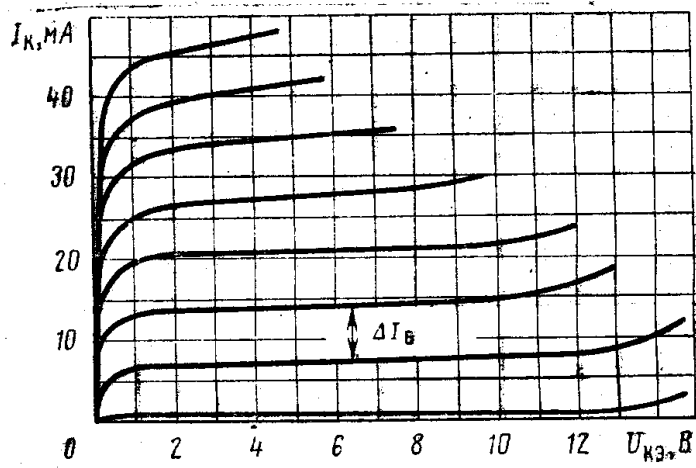
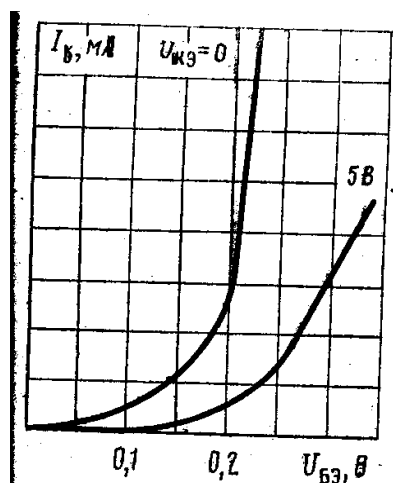
МП21Д – $I_o = 40$ мкА МП21Г – $I_o = 100$ мкА

$U_{KЭ \max} = 35$ В

$I_{K \max} = 50$ мА

$P_{K \max} = 150$ мВт $C_K = 30$ пФ

МП39, МП40, МП41А



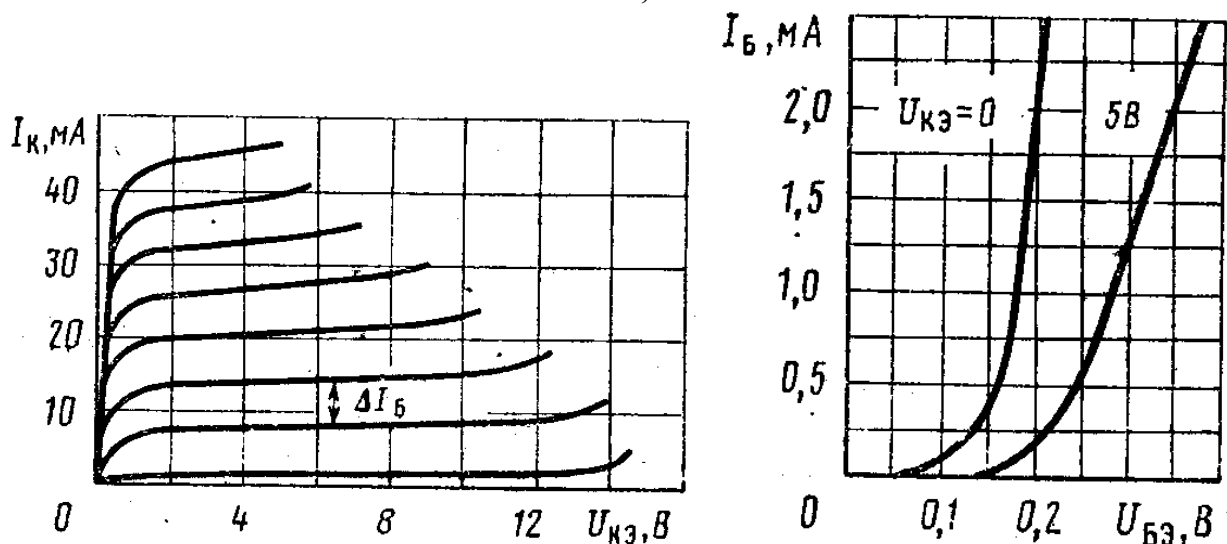
МП39 – $I_o = 400$ мкА МП40 – $I_o = 200$ мкА МП41А – $I_o = 100$ мкА

$U_{KЭ \max} = 15$ В

$I_{K \max} = 20$ мА

$P_{K \max} = 150$ мВт $C_K = 50$ пФ

МП42А, МП42Б



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

$U_{кэ \text{ max}} = 15 \text{ В}$

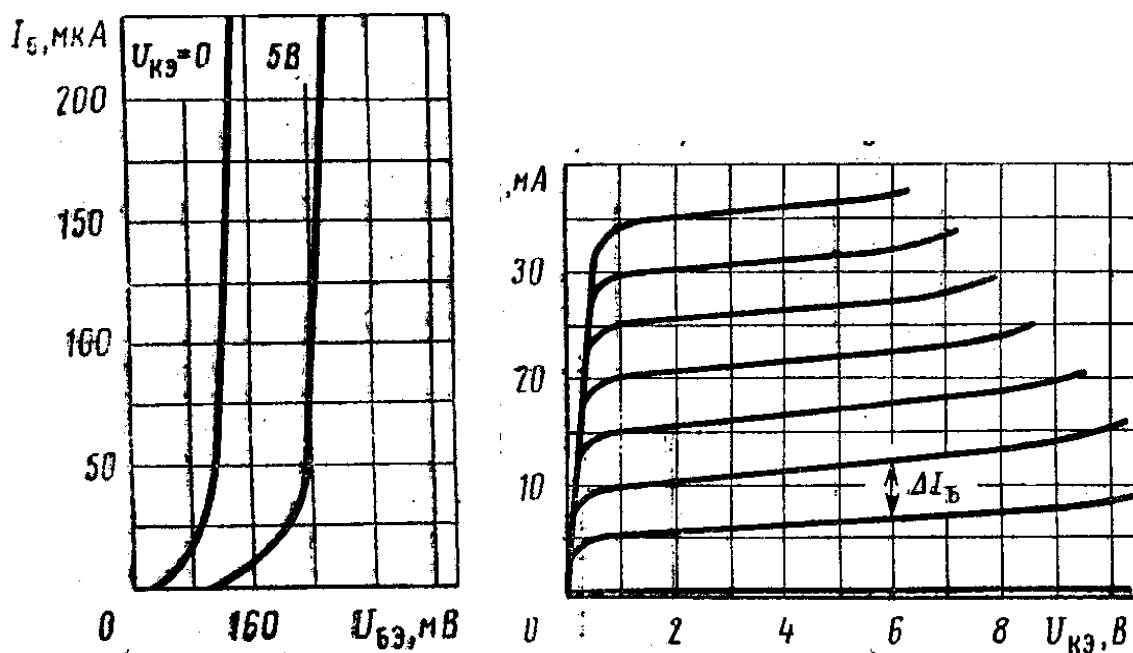
$I_{к \text{ max}} = 150 \text{ мА}$

$P_{к \text{ max}} = 200 \text{ мВт}$

$C_{к} = 50 \text{ пФ}$

$f_{гр} = 1 \text{ МГц}$

ГТ108Б, ГТ108Г



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

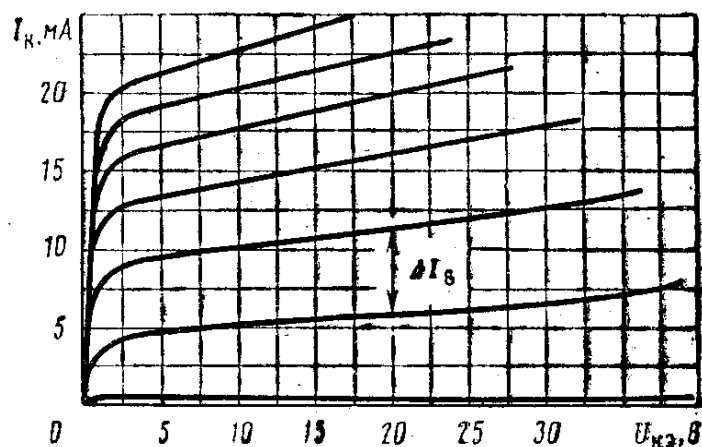
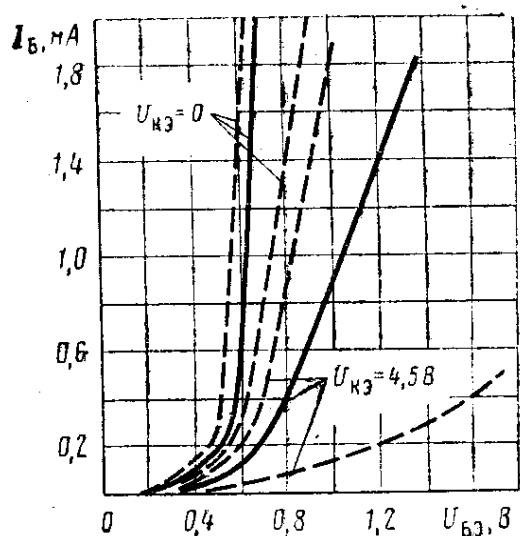
$U_{кэ \text{ max}} = 6 \text{ В}$

$I_{к \text{ max}} = 50 \text{ мА}$

$P_{к \text{ max}} = 75 \text{ мВт}$

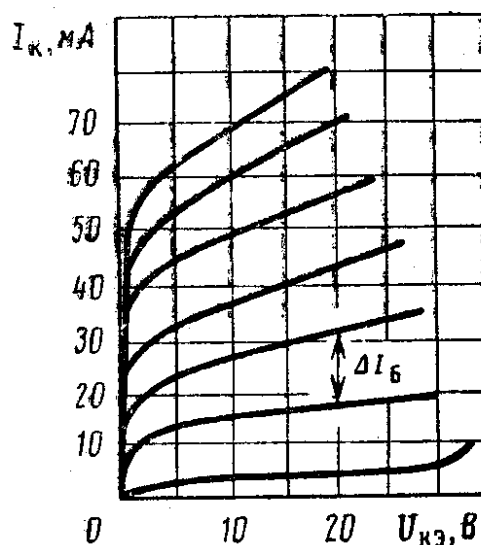
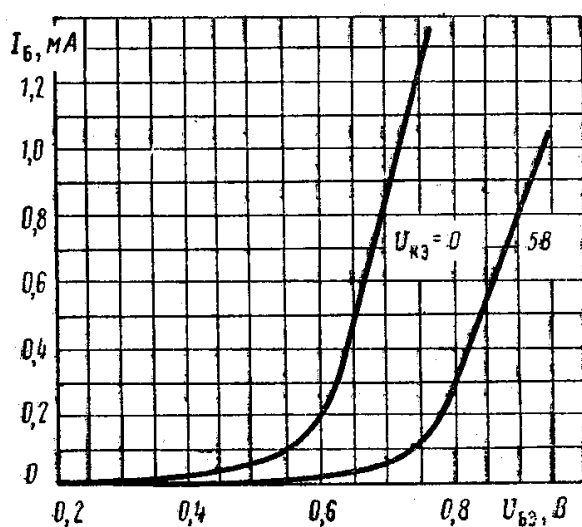
$C_{к} = 50 \text{ пФ}$

МП114, МП115, МП116



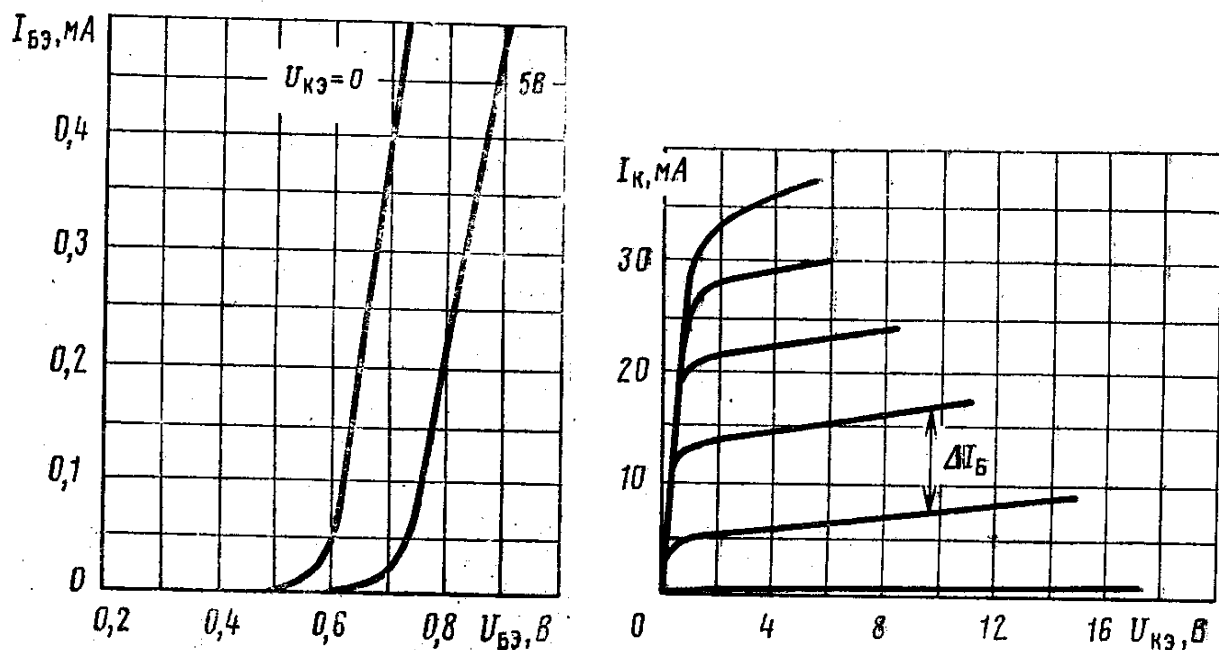
МП114 – $I_o = 0,3 \text{ mA}$ МП115 – $I_o = 0,3 \text{ mA}$ МП116 – $I_o = 0,1 \text{ mA}$
 МП114 – $U_{KЭ \text{ max}} = 60 \text{ B}$ МП115 – $U_{KЭ \text{ max}} = 30 \text{ B}$ МП116 – $U_{KЭ \text{ max}} = 15 \text{ B}$
 $I_{K \text{ max}} = 10 \text{ mA}$ $P_{K \text{ max}} = 150 \text{ мВт}$ $C_K = 50 \text{ пФ}$
 МП114 – $f_{ГР} = 0,92 \text{ МГц}$ МП116 – $f_{ГР} = 2,0 \text{ МГц}$

КТ104А, КТ104Б, КТ104В



КТ104А – $I_o = 1,5 \text{ mA}$ КТ104Б – $I_o = 0,4 \text{ mA}$ КТ104В – $I_o = 0,2 \text{ mA}$
 КТ104А – $U_{KЭ \text{ max}} = 30 \text{ B}$ КТ104Б – $U_{KЭ \text{ max}} = 15 \text{ B}$ КТ104В – $U_{KЭ \text{ max}} = 15 \text{ B}$
 $I_{K \text{ max}} = 50 \text{ mA}$ $P_{K \text{ max}} = 150 \text{ мВт}$ $C_K = 50 \text{ пФ}$

КТ201Г, КТ201Б

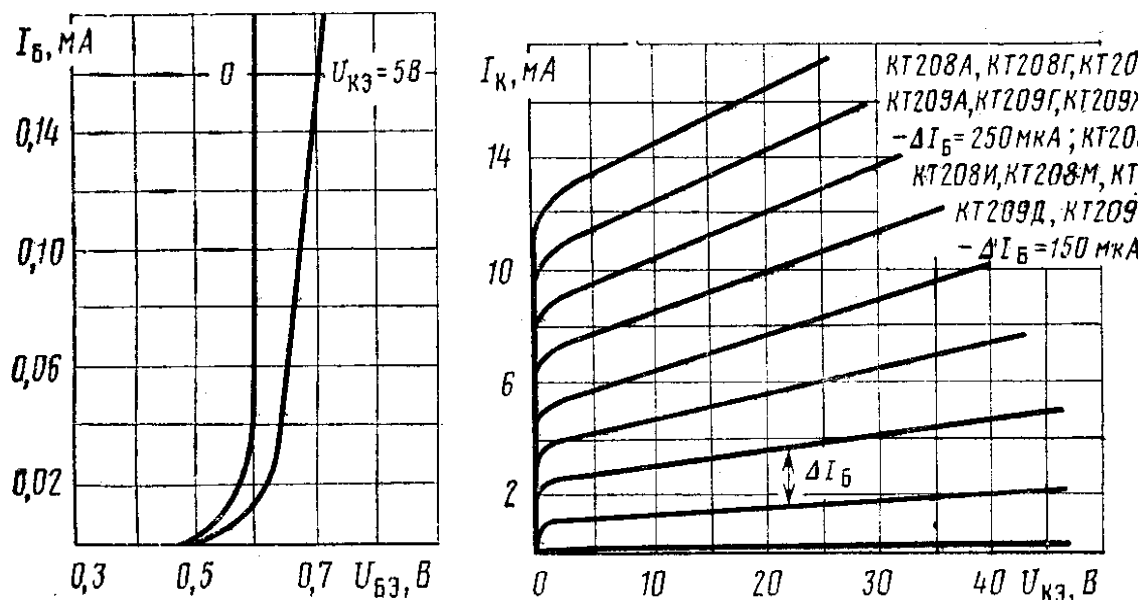


КТ201Б – $I_{\phi}=0,1$ мА КТ201Г – $I_{\phi}=0,05$ мА

КТ201Б – $U_{K3 \max}=20$ В КТ201Г – $U_{K3 \max}=10$ В

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

КТ208А, КТ209Б



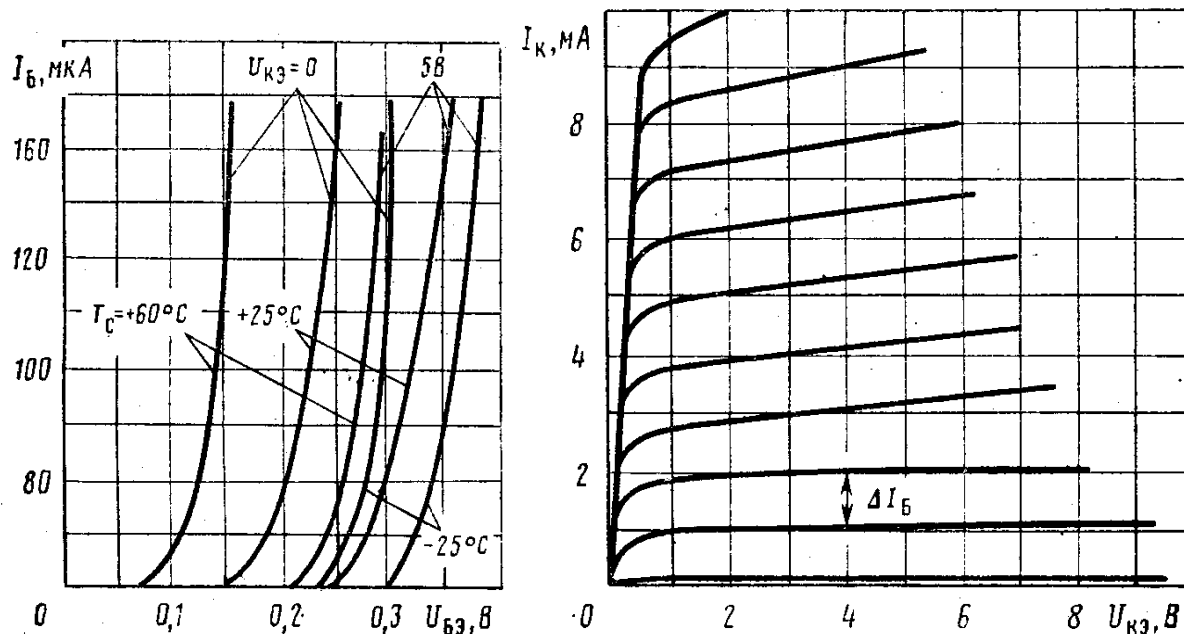
КТ208А – $I_{\phi}=150$ мкА КТ209Б – $I_{\phi}=250$ мкА

$U_{K3 \max}=15$ В

$I_{K \max}=300$ мА

$P_{K \max}=200$ мВт $C_K=20$ пФ

ГТ310А, ГТ31Б

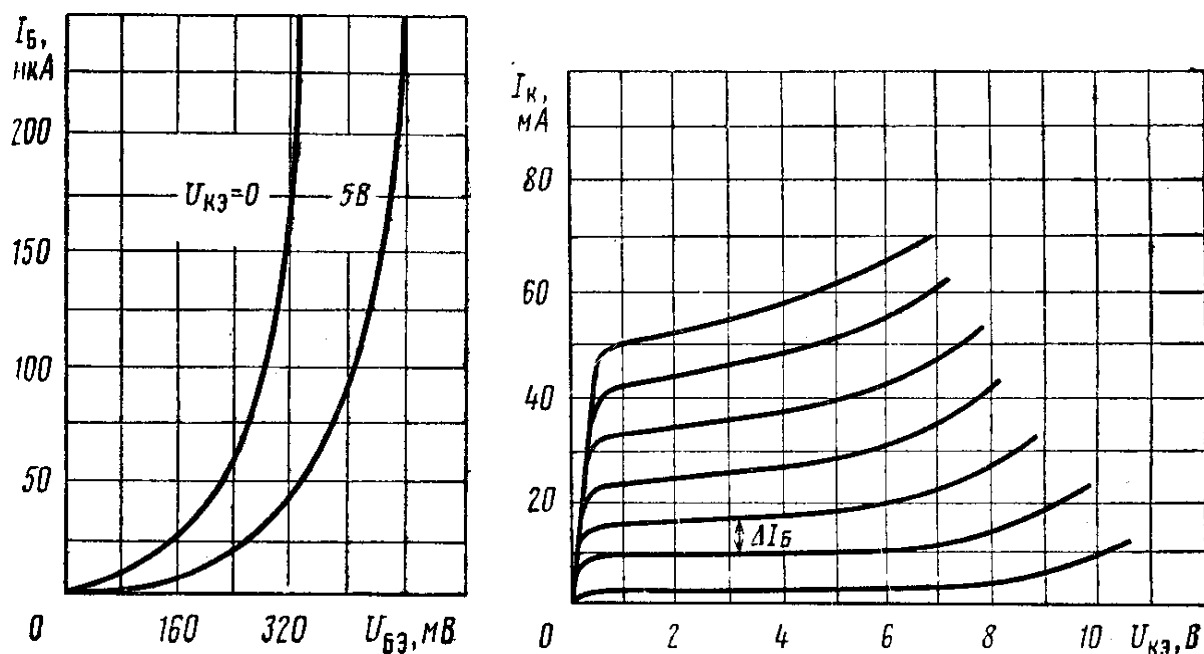


ГТ310А – $I_{\text{б}} = 20 \text{ мкА}$ ГТ310Б – $I_{\text{б}} = 10 \text{ мкА}$

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

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

П416, П416А, П416Б

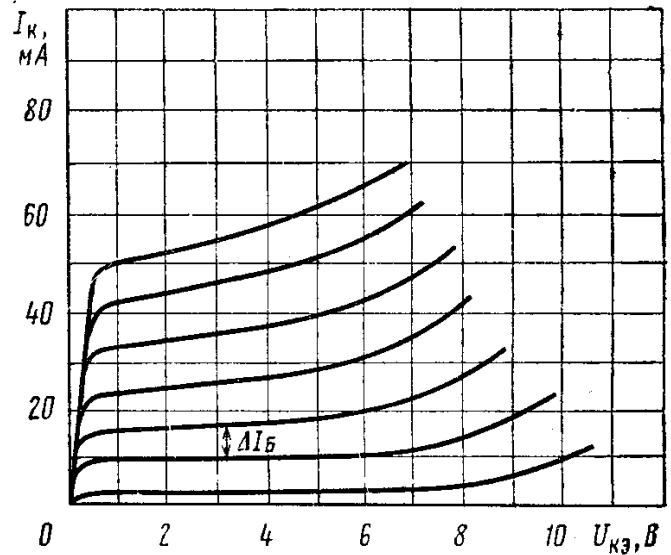
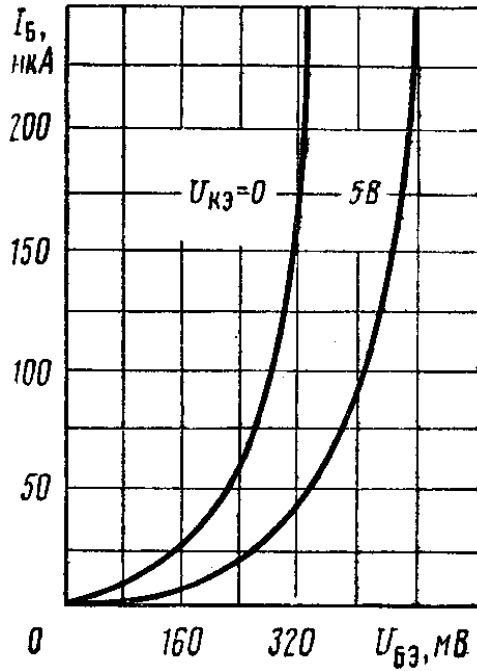


П416 – $I_{\text{б}} = 0,1 \text{ мА}$ П416А – $I_{\text{б}} = 0,05 \text{ мА}$ П416Б – $I_{\text{б}} = 0,03 \text{ мА}$

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

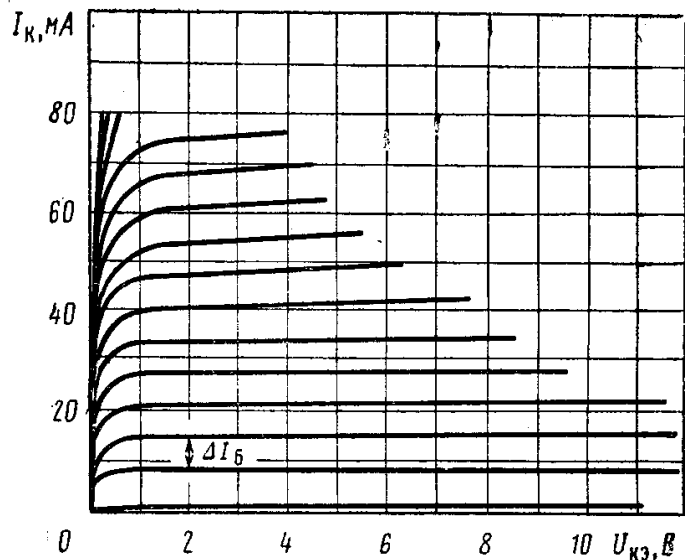
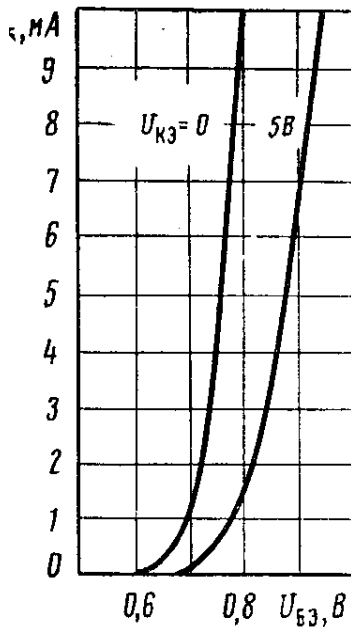
$I_{\text{к max}} = 25 \text{ мА}$ $P_{\text{к max}} = 100 \text{ мВт}$ $C_{\text{к}} = 20 \text{ пФ}$

КТ3107А, КТ3107Б, КТ3107К



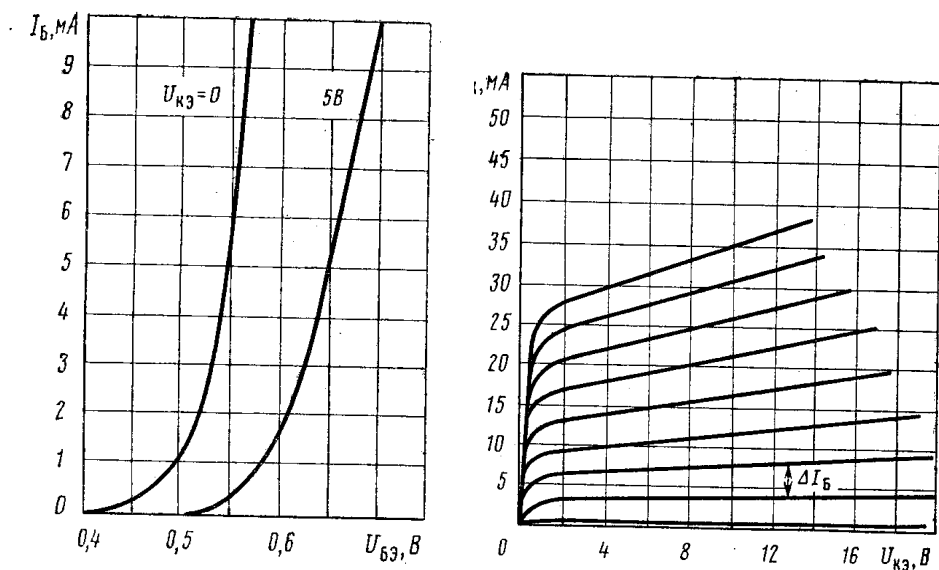
КТ3107А – $I_0 = 0,2 \text{ mA}$ КТ3107Б – $I_0 = 0,1 \text{ mA}$ КТ3107К – $I_0 = 0,04 \text{ mA}$
 КТ3107А – $U_{KЭ \text{ max}} = 45 \text{ B}$ КТ3107Б – $U_{KЭ \text{ max}} = 45 \text{ B}$ КТ3107К – $U_{KЭ \text{ max}} = 25 \text{ B}$
 $I_{K \text{ max}} = 100 \text{ mA}$ $P_{K \text{ max}} = 300 \text{ мВт}$ $C_K = 12 \text{ пФ}$

КТ313А, КТ313Б



КТ313А – $I_0 = 0,1 \text{ mA}$ КТ313Б – $I_0 = 0,05 \text{ mA}$
 $U_{KЭ \text{ max}}$ (при $R_0 \leq 1 \text{ кОм}$) = 50В
 $I_{K \text{ max}} = 350 \text{ mA}$ $P_{K \text{ max}} = 300 \text{ мВт}$ $C_K = 12 \text{ пФ}$

КТ345А, КТ345Б



КТ345А – $I_o = 0,075$ мА КТ345Б – $I_o = 0,05$ мА

$U_{кэ\max}$ (при $R_o \leq 10$ кОм) = 20В

$I_{к\max} = 200$ мА

$P_{к\max} = 150$ мВт

$C_k = 50$ пФ

ЛР № 020418 от декабря 2006.

Подписано к печати

г. Формат 60x84. 1/16

Объем 1 п.л. Тираж

экз. Заказ

Московский государственный университет

приборостроения и информатики

107996, г. Москва, ул. Стромьинка, 20