

Содержание

Исходные данные для расчета:	4
Расчет по постоянному току.....	6
Расчёт усилительного каскада по переменному току.	10
Перечень используемой литературы.	13

Для усилительного каскада на транзисторе, включенном по схеме (рис. 1) с общим эмиттером требуется определить:

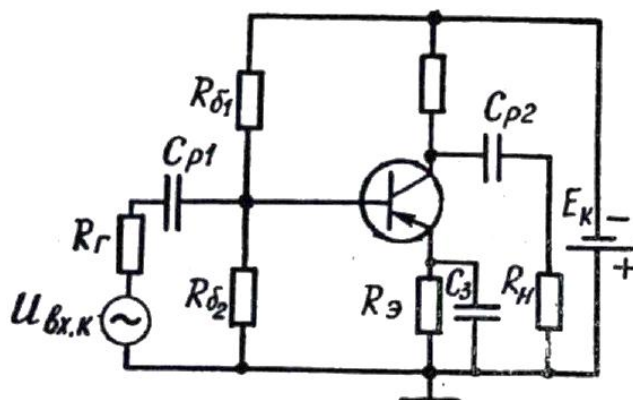


Рис. 1. Типовая принципиальная электрическая схема усилительного каскада по схеме с общим эмиттером.

1. Номиналы элементов R , C .
2. h – в рабочей точке.
3. $R_{вхк}$ – входное сопротивление каскада.
4. $R_{выхк}$ – выходное сопротивление каскада.
5. $K_{ик}$ – коэффициент передачи (усиления) напряжения входного сигнала, приложенного ко входу транзистора.
6. $K_{ик}^1$ – коэффициент передачи (усиления) напряжения входного сигнала, приложенного ко входу каскада.
7. $K_{ик}$ – коэффициент усиления по входному току сигнала через базу транзистора.
8. $K_{ик}^1$ – коэффициент усиления по входному току каскада.
9. $K_{рк}$ – коэффициент передачи (усиления) по мощности сигнала на входе каскада.
10. f_v – крайнее верхнее значение усиливаемой полосы частот.
11. $f_{ш}$ – предельная рабочая частота по шуму.
12. $K_{ш}$ – коэффициент шума на средних частотах.

Исходные данные для расчета:

- тип транзистора КТ361Б;
- амплитуда напряжения на входе каскада $U_{вхк} = 0,4 \text{ В}$;
- сопротивление источника сигнала $R_{Г} = 1,0 \text{ кОм}$;
- сопротивление нагрузки $R_{Н} = 0,15 \text{ кОм}$;
- нижнее значение усиливаемой полосы частот $f_{Н} = 400 \text{ Гц}$;
- допустимые частотные искажения $M_{Н} = M_{В} = 0,7$;
- минимальная рабочая температура $T^{\circ} \text{ К}_{\text{мин}} 253^{\circ}\text{К}$;
- максимальная рабочая температура $T^{\circ} \text{ К}_{\text{мак}} 303^{\circ}\text{К}$;
- напряжение источника питания $E_{К} = 15\text{В}$;
- относительное отклонение тока коллектора $\Delta I_{К} / I_{К} = 0,25$.

Транзистор – КТ361Б.

Транзистор кремниевый планарно-эпитаксиальный, проводимость р-п-р.

Обратный ток коллектора при температуре $T_0^{\circ}\text{К}$ $I_{ко} = 1 \text{ мкА}$.

Постоянная времени цепи обратной связи на предельной высокой частоте $\tau_{к} = 500 \text{ пс} = 500 \cdot 10^{-12} \text{ с}$.

Емкость коллекторного перехода $C_{к} = 9 \text{ пФ} = 9 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$.

Предельный режим

$U_{КЭ}$ – постоянное напряжение коллектор-эмиттер, В.....25

$I_{К}$ – постоянный ток коллектора, мА.....50

$P_{К}$ – постоянная мощность, рассеиваемая на коллекторе, мВт.....150

f_{h3} – предельная частота, МГц.....100

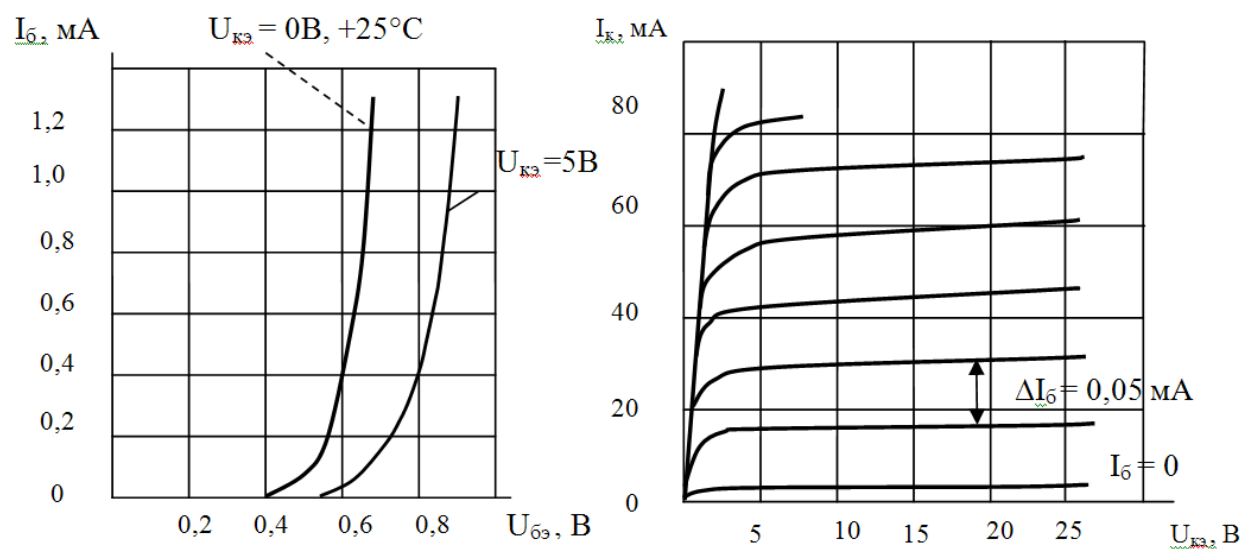


Рисунок 2. Входные и выходные характеристики транзистора КТ361Б.

Расчет по постоянному току.

Сопротивление резистора R_K из соотношения

$$K_R \geq 1 + \frac{R_H}{R_K},$$

где $K_R = (1,2-1,5)$ при $R_H < 1k$.

Примем $R_K = 300 \text{ Ом}$.

R_{Σ} определим из условия

$$R_{\Sigma} = (0,1-0,5) R_K = 0,5 \cdot 300 = 150 \text{ Ом}.$$

Построим нагрузочную линию усилительного каскада по двум точкам

$$1\text{-я точка} - I_K = 0, \quad U_{KЭ} = E_K = 15 \text{ В};$$

$$2\text{-я точка} - I_K = \frac{E_K}{R_H + R_K} = \frac{15}{150 + 300} = 33 \text{ мА};$$

Перенесем на отдельный рисунок характеристики транзистора заданного для расчетов (рис. 2).

Выберем рабочую точку на нагрузочной прямой с учетом обеспечения линейности характеристик, для точки покоя А получим: $U_{KЭ} = 8 \text{ В}$, $I_{K0} = 13,8 \text{ мА}$. Добавочные характеристики на рисунке 3 нанесены пунктирной линией для токов базы $I_B = 0,02$ и $I_B = 0,08 \text{ мА}$ соответственно. Допустимое изменение тока коллектора в этих диапазонах токов базы - $\Delta I_{Kдоп} = 0,0071 \text{ А}$.

Определим мощность рассеивания на коллекторе в рабочей точке:

$$P_K = U_{KЭ} \cdot I_K = 8 \cdot 0,0113 = 0,0904 \text{ Вт}.$$

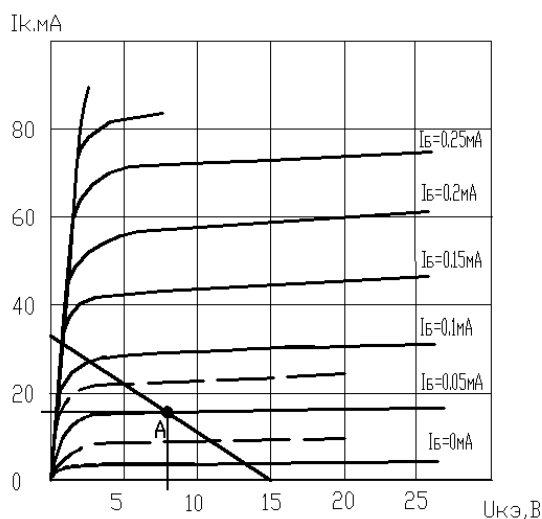


Рисунок 3. Выходные характеристики транзистора КТ361Б.

Так как масштаб представленных графиков слишком большой и нанести на них построения не представляется возможным, увеличим входную характеристику транзистора, ограничив ее значениями токами базы 0-0,2 мА, напряжением база-эмиттер 0,4-0,8 В. Нанесем на входные характеристики транзистора рабочую точку (рис. 4).

Для точки покоя получим: $I_6=0,05$ мА, $U_{6э}=0,64$ В.

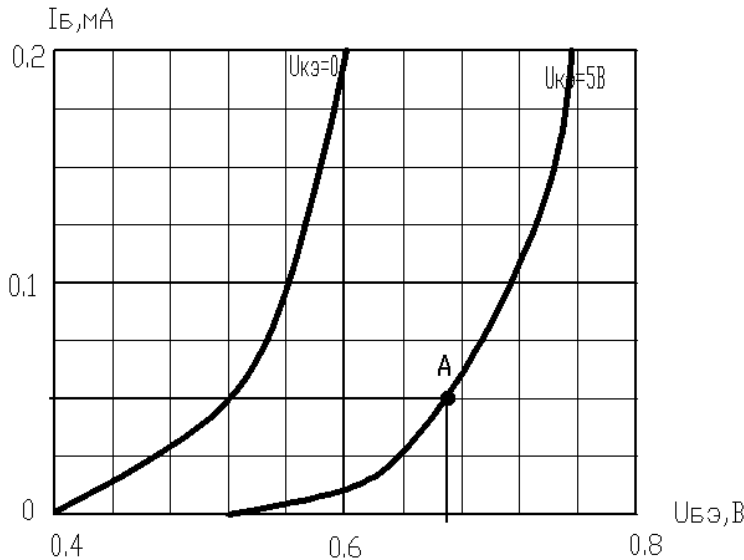


Рисунок 4. Входные характеристики транзистора КТ361Б.

Определим h – параметры транзистора, соответствующие схеме с ОЭ, пользуясь входными и выходными характеристиками транзистора:

по входным характеристикам определяем:

$$h_{11} = \left. \frac{\Delta U_{6э}}{\Delta I_6} \right|_{U_{кэ} = \text{const}} = \frac{0,1}{0,1 \cdot 10^{-3}} = 1000 \text{ Ом},$$

$$h_{12} = \left. \frac{\Delta U_{6э}}{\Delta U_{кэ}} \right|_{I_6 = \text{const}} = \frac{0,14}{5} = 0,028,$$

по выходным характеристикам определяем:

$$h_{21} = \left. \frac{\Delta I_к}{\Delta I_6} \right|_{U_{кэ} = \text{const}} = \frac{14,2}{0,06} = 236,$$

$$h_{22} = \left. \frac{\Delta I_к}{\Delta U_{кэ}} \right|_{I_6 = \text{const}} = \frac{5,2 \cdot 10^{-3}}{5} = 1,04 \cdot 10^{-3} \text{ См}.$$

Определим параметры Т-образной эквивалентной схемы (рис. 5):

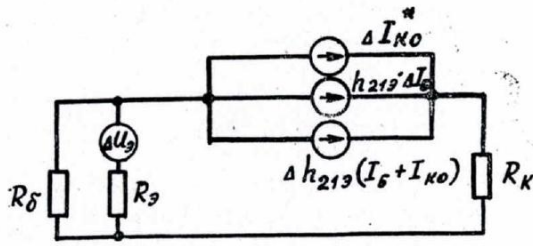


Рисунок 5. Эквивалентная схема усилительного каскада на высоких частотах.

$$\alpha = \frac{h_{21э}}{1 + h_{21э}} = \frac{236}{1 + 236} = 0,996; \quad \beta = h_{21э} = 236.$$

Сопротивление коллекторного перехода:

$$r_k = \frac{h_{21э} + 1}{h_{22э}} = \frac{236 + 1}{1,04 \cdot 10^{-3}} = 2,28 \cdot 10^5 \text{ Ом.}$$

Сопротивление эмиттерного перехода:

$$r_э = \frac{h_{12э}}{h_{22э}} = \frac{0,028}{1,04 \cdot 10^{-3}} = 27 \text{ Ом.}$$

Сопротивление базы:

$$r_б = h_{11э} - \frac{h_{12э} \cdot (1 + h_{21э})}{h_{22э}} = 1000 - \frac{0,028 \cdot (1 + 120)}{1,04 \cdot 10^{-3}} = 68,7 \text{ Ом.}$$

Определим сопротивление базы по справочным данным транзистора

$$r_б = \frac{\tau_\kappa}{C_\kappa} = \frac{500}{9} = 55,6 \text{ Ом.}$$

Найденные значения различаются незначительно, следовательно, h-параметры определены достоверно.

Определим приращение напряжения на эмиттерном переходе в зависимости от температуры

$$\Delta U_{ээ} = \varepsilon \cdot \Delta T = -2,3 \cdot 50 = -115 \text{ мВ,}$$

где $\varepsilon = -2,3 \text{ мВ/град}$ - коэффициент теплового смещения напряжения базы.

Приращение обратного тока коллектора в диапазоне температур

$$\begin{aligned} \Delta I_{к0} &= I_{к0}(T_0^\circ \text{К}) \cdot \left(2^{\frac{T_2^\circ \text{К} - T_0^\circ \text{К}}{5}} + 2^{\frac{T_1^\circ \text{К} - T_0^\circ \text{К}}{5}} - 1 \right) = 1 \cdot \left(2^{\frac{303 - 298}{5}} + 2^{\frac{253 - 298}{5}} - 1 \right) = \\ &= 1 \cdot (2 + 0,00195 - 1) \approx 1 \cdot 10^{-3} \text{ А} \end{aligned}$$

Определим приращение коэффициента усиления по току в диапазоне температур произведем из графика приложения методических указаний.

При минимальной температуре

$$\frac{h_{21э}(T_1)}{h_{21э}(T_0)} = 0,8; \quad h_{21э}(T_1) = h_{21э}(T_0) \cdot 0,8 = 236 \cdot 0,8 = 188.$$

При максимальной температуре

$$\frac{h_{21э}(T_2)}{h_{21э}(T_0)} = 1; \quad h_{21э}(T_1) = h_{21э}(T_0) \cdot 1 = 236 \cdot 1 = 236.$$

$$\Delta h_{21э} = 236 - 188 = 48.$$

Определим значение сопротивления резистора R_6 , исходя из допустимого отклонения тока коллектора

$$R_6 \leq \frac{\beta \cdot (\Delta I_{кдон} R_9 - \Delta U_{эб})}{(1 + \beta) \cdot \left[\Delta I_{к0} + \frac{I_э \Delta \beta}{(1 + \beta)^2} \right] - \Delta I_{кдон}} - R_9 = \frac{236 \cdot (0,0071 \cdot 150 - 0,115)}{(1 + 236) \cdot \left[1 \cdot 10^{-3} + \frac{0,0143 \cdot 48}{(1 + 236)^2} \right] - 0,0071} - 150 = 1046 \text{ Ом}$$

где $\Delta I_{кдон} = 0,0071 \text{ А}$ - допустимое изменение тока коллектора ограниченного линейной частью ВАХ транзистора по рис. 3.

Примем значение $R_6 = 1000 \text{ Ом} = 1 \text{ кОм}$.

Определим значения сопротивления резисторов

$$R_{61} = \frac{E_k \cdot R_6}{I_э \cdot R_9} = \frac{15 \cdot 1000}{14,3 \cdot 10^{-3} \cdot 150} = 6993 \text{ кОм},$$

где $I_э = I_k + I_6 = 13,8 + 0,5 = 14,3 \text{ мА}$.

Примем $R_{61} = 6,8 \text{ кОм}$.

$$R_{62} = \frac{1}{\frac{1}{R_6} - \frac{1}{R_{61}}} = \frac{1}{\frac{1}{1000} - \frac{1}{6800}} = 872 \text{ Ом}.$$

Примем $R_{62} = 910 \text{ Ом}$.

Расчёт усилительного каскада по переменному току.

Согласно эквивалентной схеме сопротивление нагрузки усилительного каскада является эквивалентное сопротивление

$$R'_H = \frac{R_k R_H}{R_k + R_H} = \frac{300 \cdot 150}{300 + 150} = 100 \text{ Ом.}$$

На рисунке 6 через точку покоя А проведем нагрузочную прямую под углом α

$$\alpha = \arctg \frac{1}{R'_H \cdot K_M} = \arctg \frac{1}{0.1 \cdot 10} = 45^\circ,$$

где $K_M = \frac{m_{I_k}}{m_{U_{кз}}} = 10$ - коэффициент для уравнивания масштабов.

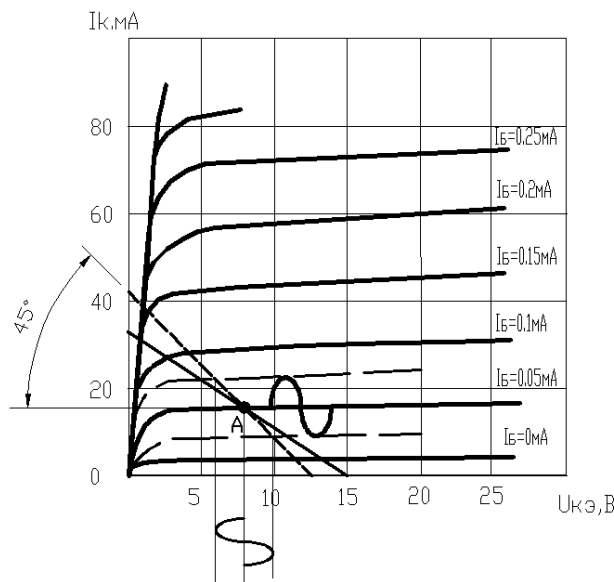


Рисунок 6.

Определим входное сопротивление каскада

$$R_{BХк} = \frac{R_o R_{\text{вхм}}}{R_o + R_{\text{вхм}}} = \frac{1000 \cdot 1000}{1000 + 1000} = 500 \text{ Ом,}$$

где $R_{\text{вхм}} = h_{11э} = 1000 \text{ Ом.}$

Определим амплитуду входного тока, поступающего в усилительный каскад

$$I_{BХк} = \frac{U_{\text{вхк}}}{R_2 + R_{\text{вхк}}} = \frac{0.4}{910 + 500} = 0.3 \cdot 10^{-3} \text{ А.}$$

Определим амплитуду напряжения сигнала на входе транзистора

$$U_{\text{вхм}} = I_{\text{вхк}} R_{\text{вхк}} = 0.3 \cdot 10^{-3} \cdot 500 = 0.015 \text{ В.}$$

На входных характеристиках (рис. 7.) отложим размах переменного напряжения $U_{\text{вхт}}$ относительно точки покоя.

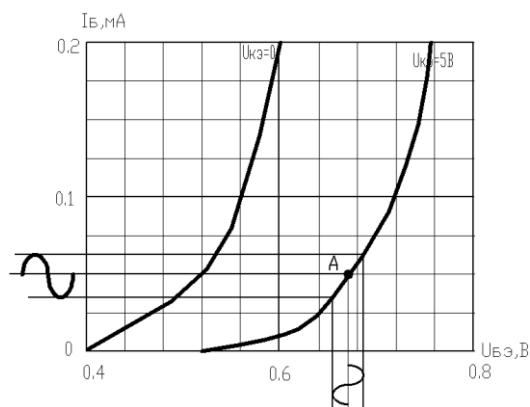


Рисунок 7.

По крайним изменениям U_{BXT} на входной характеристике определим амплитудное значение входного тока транзистора

$$I_{BXT} = 0,00003 \text{ A.}$$

Крайние значения тока базы определим на выходных характеристиках (рис. 4). По ним определим амплитуду сигнала на нагрузке, т.е. на выходе каскада $U_{ВЫХК}=1,7 \text{ В}$.

Определим выходное сопротивление транзистора

$$R_{BЫXT} = \frac{1}{h_{22э}} = \frac{1}{1,04 \cdot 10^{-3}} = 962 \text{ Ом.}$$

Определим выходное сопротивление каскада

$$R_{BЫХК} = \frac{R_K R_{BЫXT}}{R_K + R_{BЫXT}} = \frac{300 \cdot 962}{300 + 962} = 229 \text{ Ом.}$$

Определим коэффициент усиления

$$K_{Uk} = \frac{U_{BЫХК}}{U_{BXT}} = \frac{1,7}{0,015} = 113.$$

Определим коэффициент передачи

$$K'_{Uk} = \frac{U_{BЫХК}}{U_{BXT}} = \frac{1,7}{0,4} = 4,25.$$

Определим коэффициент усиления K_{Ik}

$$K_{Ik} = \frac{I_{BЫХТ}}{I_{BXT}} = \frac{0,0068}{0,00006} = 113.$$

Определим коэффициент усиления K'_{Ik}

$$K'_{Ik} = \frac{I_{BЫХТ}}{I_{BXT}} = \frac{0,00068}{0,0003} = 22.$$

Определим коэффициент усиления по мощности

$$K_{Pk} = K_{Ik} K_{Uk} = 113 \cdot 113 = 12769.$$

Аналитический вариант расчета:

$$R_{BXT} = r_o + r_{\pi} (h_{21\beta} + 1) = 68,7 + 27 \cdot (236 + 1) = 6468 \text{ Ом}$$

Коэффициент токораспределения между входным сопротивлением транзистора и эквивалентным сопротивлением цепи базы

$$\gamma_1 = \frac{R_o}{R_o + R_{\pi.T}} = \frac{1000}{1000 + 6468} = 0,134.$$

Коэффициент токораспределения между нагрузкой и выходным сопротивлением транзистора

$$\gamma_2 = \frac{R_k \parallel R_{\text{вых}T}}{R_H + R_k \parallel R_{\text{вых}T}} = \frac{229}{150 + 229} = 0,6.$$

$$K'_{Ik} = h_{21\beta} \gamma_1 \gamma_2 = 236 \cdot 0,134 \cdot 0,6 = 19.$$

$$K_{Uk} = h_{21\beta} \frac{R'_H}{R_{\text{вх}T}} = 236 \cdot \frac{100}{960} = 25.$$

Сравнительная оценка значений параметров полученных разными вариантами расчета, позволяет заключить, что инструментальная погрешность расчета по сравнению с графическим сравнительно невелика

Найдем емкости конденсаторов, для этого зададим влияние каждой из емкостей на коэффициент частотных искажений, где $M_H = M_{H1} \cdot M_{H2} \cdot M_{H3} = 0,7$.

Положим $M_{H1} = M_{H2} = M_{H3} = 0,89$, тогда

$$C1 \geq \frac{1}{2\pi f_H (R_T + R_{BXT})} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_{H1}^2} - 1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 400 \cdot (1000 + 200)} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,89^2} - 1} = 1,702 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}$$

Примем емкость конденсатора $C1 = 0,2 \text{ мкФ}$.

$$C2 \geq \frac{1}{2\pi f_H (R_k + R_H)} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_{H2}^2} - 1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 400 \cdot (300 + 150)} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,89^2} - 1} = 4,538 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}$$

Примем емкость конденсатора $C1 = 0,5 \text{ мкФ}$.

$$C3 \geq \frac{1}{2\pi f_H (R_{\pi})} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_{H3}^2} - 1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 400 \cdot 150} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,89^2} - 1} = 1,361 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

Примем емкость конденсатора $C1 = 1,5 \text{ мкФ}$.

Перечень используемой литературы.

1. Б. И. Горошков, А. Б. Горошков. Электронная техника. М. «Академия», 2008 г.
2. Л.А. Пигарев. Конспект лекций по дисциплине «Электроника» при подготовке бакалавра по направлению 110800.62 – «Агроинженерия», (заочная форма обучения).
3. Ю.С. Забродин. Промышленная электроника. «Высшая школа», М., 1982.
4. Электроника. Методические указания по изучению дисциплины и задание для контрольной работы (студентам заочникам). М., 1985.