

3.2. Физические процессы

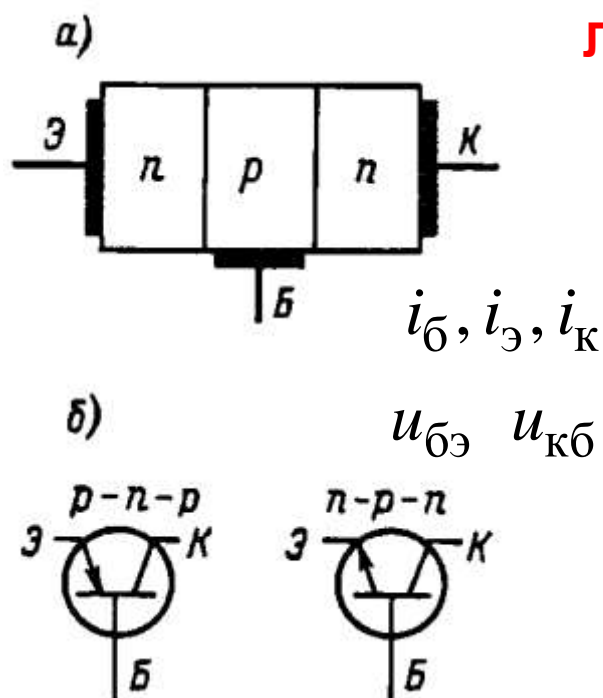
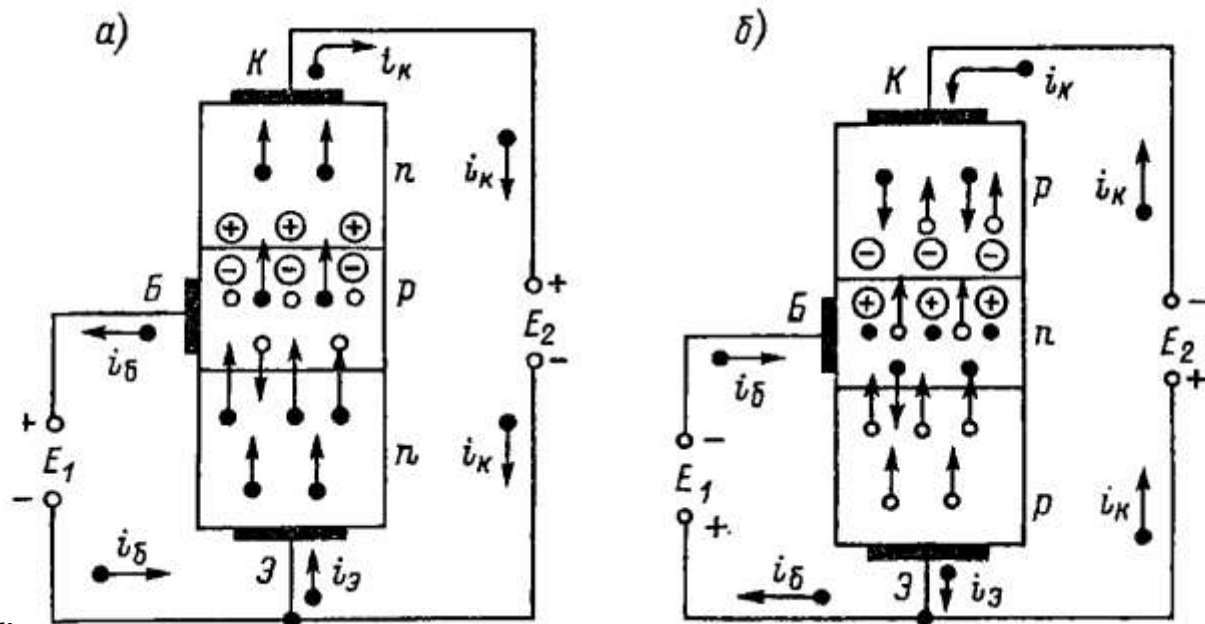


Рис. 3.1. Принцип устройства (а) и условное графическое обозначение (б) транзистора.



3.2. Движение электронов и дырок в транзисторах типа $n-p-n$ и $p-n-p$.

$$U_{КЭ} = U_{КБ} + U_{БЭ}. \quad (3.1)$$

$$U_{БЭ} \ll U_{КБ} \quad U_{КЭ} \approx U_{КБ}.$$

$$i_E = i_C + i_B. \quad (3.2)$$

$$r_{Э0} \approx \frac{25}{i_E} \quad (3.3)$$

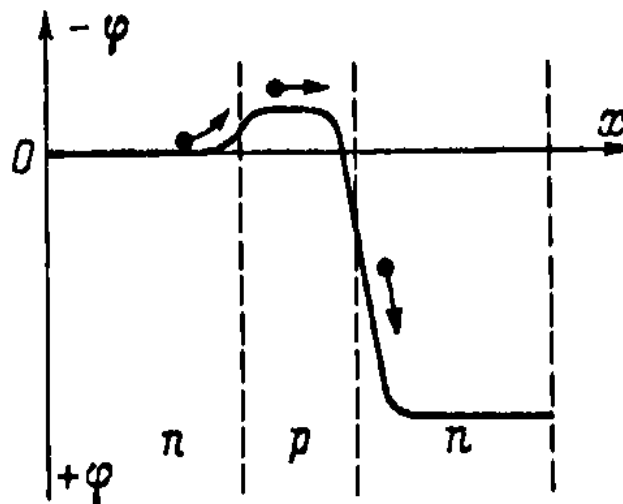


Рис. 3.3. Потенциальная диаграмма транзистора.

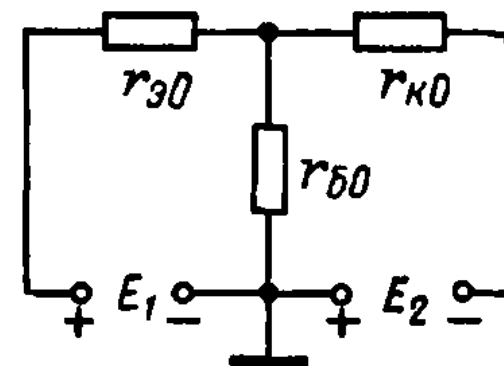
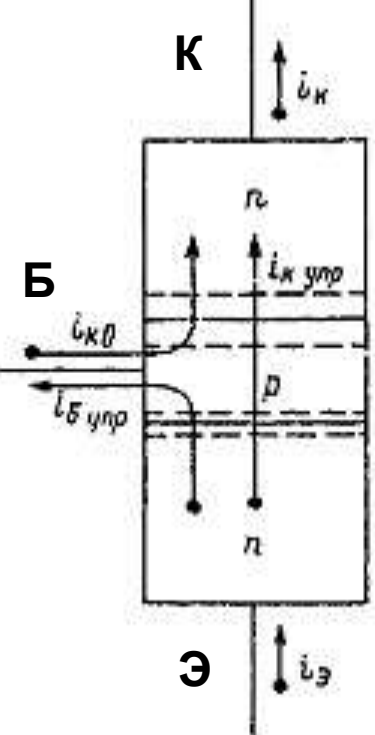


Рис. 3.4. Эквивалентная схема транзистора для постоянного тока.



$i_{K \text{ упр}} = \alpha \cdot i_E \quad (3.4) \quad i_{K0} \quad i_K = \alpha \cdot i_E + i_{K0}. \quad (3.5) \quad i_{K0} \ll i_E \quad i_K \approx \alpha \cdot i_E.$

$i_K = \alpha \cdot (i_K + i_{\bar{\sigma}})_E + i_{K0}. \quad i_K = \frac{\alpha}{1-\alpha} i_{\bar{\sigma}} + \frac{i_{K0}}{1-\alpha}. \quad \frac{\alpha}{1-\alpha} = \beta \quad \text{и} \quad \frac{i_{K0}}{1-\alpha} = i_{KЭ0},$

$i_K = \beta \cdot i_{\bar{\sigma}} + i_{KЭ0}. \quad (3.6) \quad \alpha = \frac{\beta}{1+\beta}. \quad (3.7) \quad \alpha = 0,95 \quad \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0,95}{0,05} = 19,$

$\alpha = 0,99 \quad \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0,99}{0,01} = 99,$

$i_{KЭ0} = \frac{i_{K0}}{1-\alpha} = (\beta + 1)i_{K0} \approx \beta \cdot i_{K0} \quad \text{при} \quad \beta \gg 1 \quad (3.8)$

Рис. 3.5. Токи в транзисторе.

3.3. Основные схемы включения транзисторов

3.3.1. Схема с общим эмиттером (ОЭ)

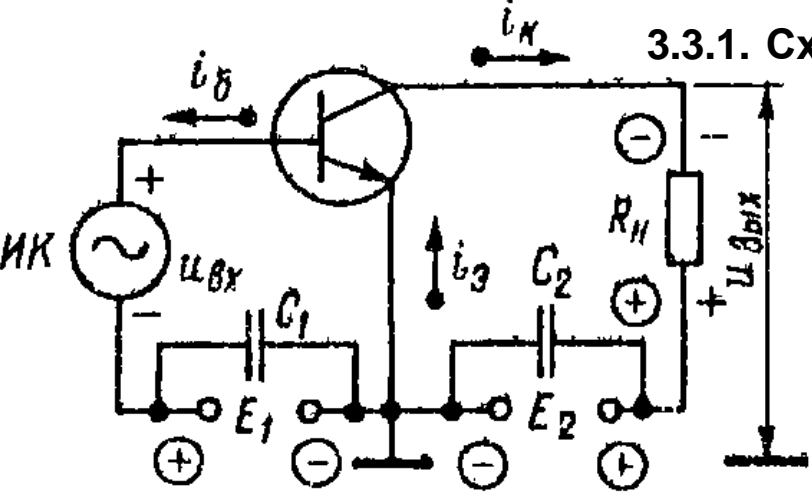


Рис. 3.6. Схема включения с общим эмиттером.

$k_i = \frac{I_{m \text{ Вых}}}{I_{m \text{ Вх}}} = \frac{I_{m \text{ К}}}{I_{m \bar{\sigma}}}. \quad (3.9)$

$\beta = \frac{\Delta i_K}{\Delta i_{\bar{\sigma}}} \quad \text{при} \quad u_{KЭ} = \text{const}. \quad (3.10)$

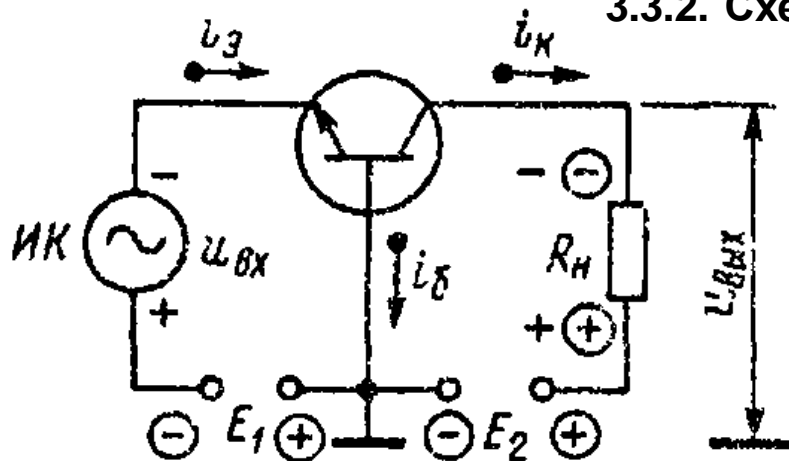
$k_u = \frac{U_{m \text{ Вых}}}{U_{m \text{ Вх}}} = \frac{U_{m R}}{U_{m \bar{\sigma} Э}} = \frac{U_{m \text{ КЭ}}}{U_{m \bar{\sigma} Э}} \quad (3.11)$

$$P_{\text{ВЫХ}} = 0,5 I_{m \text{ Вых}} \cdot U_{m \text{ Вых}} = 0,5 I_{m R} \cdot U_{m \text{ КЭ}}; \quad (3.12) \quad P_{\text{ВХ}} = 0,5 I_{m \text{ ВХ}} \cdot U_{m \text{ ВХ}} = 0,5 I_{m \text{ Б}} \cdot U_{m \text{ БЭ}}; \quad (3.13)$$

$$k_p = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}} = \frac{I_{m \text{ Вых}} \cdot U_{m \text{ Вых}}}{I_{m \text{ ВХ}} \cdot U_{m \text{ ВХ}}} = k_i \cdot k_u. \quad (3.14)$$

$$R_{\text{ВХ}} = \frac{U_{m \text{ ВХ}}}{I_{m \text{ ВХ}}} = \frac{U_{m \text{ БЭ}}}{I_{m \text{ Б}}}. \quad (3.15)$$

3.3.2. Схема с общей базой (ОБ)



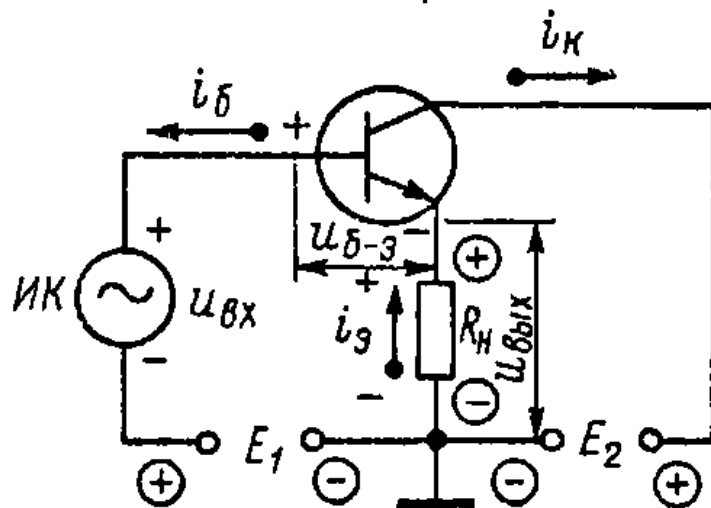
$$k_i = \frac{I_{m \text{ Вых}}}{I_{m \text{ ВХ}}} = \frac{I_{m \text{ К}}}{I_{m \text{ Э}}} \approx 1, \quad (3.16) \quad \alpha = \frac{\Delta i_{\text{К}}}{\Delta i_{\text{Э}}} \quad \text{при } u_{\text{КБ}} = \text{const.} \quad (3.17)$$

$$k_u = \frac{U_{m \text{ КБ}}}{U_{m \text{ ЭБ}}}; \quad (3.18)$$

$$R_{\text{ВХ}} = \frac{U_{m \text{ ЭБ}}}{I_{m \text{ Э}}}; \quad (3.19)$$

Рис. 3.7. Включение транзистора по схеме с общей базой.

3.3.3. Схема с общим коллектором (ОК)



$$u_{\text{ВХ}} = u_{\text{БЭ}} + u_{\text{ВЫХ}} \quad (3.20) \quad k_i = \frac{I_{m \text{ Э}}}{I_{m \text{ Б}}} = \frac{I_{m \text{ К}} + I_{m \text{ Б}}}{I_{m \text{ Б}}} = \frac{I_{m \text{ К}}}{I_{m \text{ Б}}} + 1; \quad (3.21)$$

$$k_u = \frac{U_{m \text{ Вых}}}{U_{m \text{ ВХ}}} = \frac{U_{m \text{ Вых}}}{U_{m \text{ Вых}} + U_{m \text{ БЭ}}} < 1. \quad (3.22) \quad k_u \approx 1.$$

$$R_{\text{ВХ}} = \frac{U_{m \text{ ВХ}}}{I_{m \text{ ВХ}}} = \frac{U_{m \text{ Вых}} + U_{m \text{ БЭ}}}{I_{m \text{ Б}}}. \quad (3.23)$$

Рис. 3.8. Включение транзистора по схеме с общим коллектором.

3.4. Статические характеристики транзистора

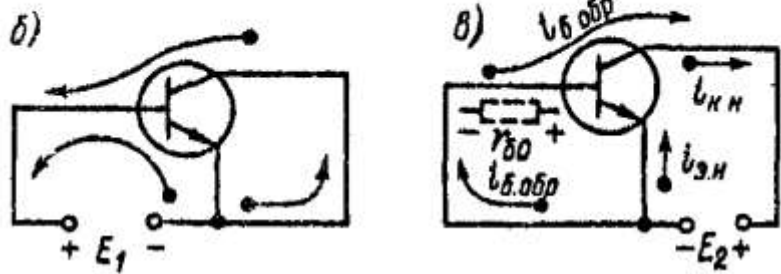
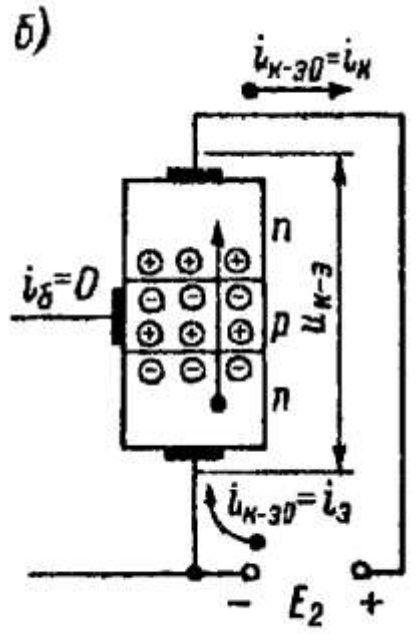
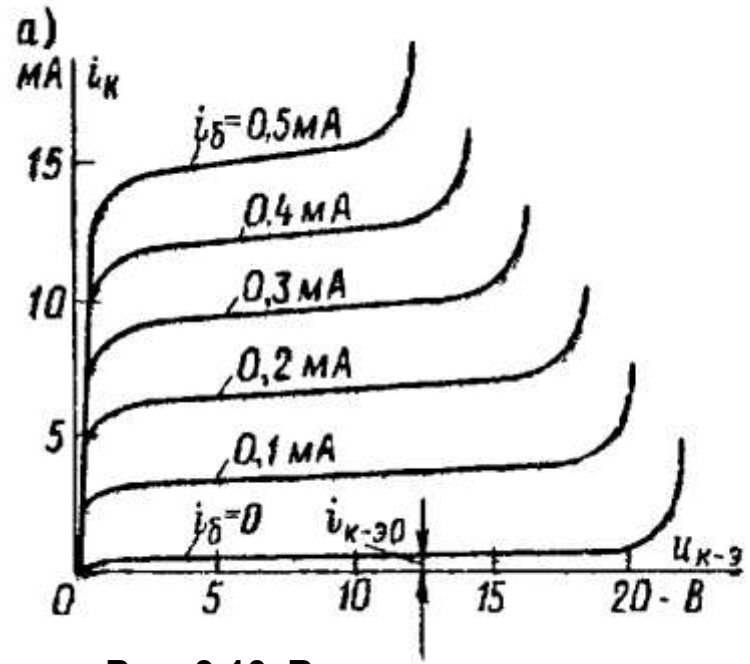
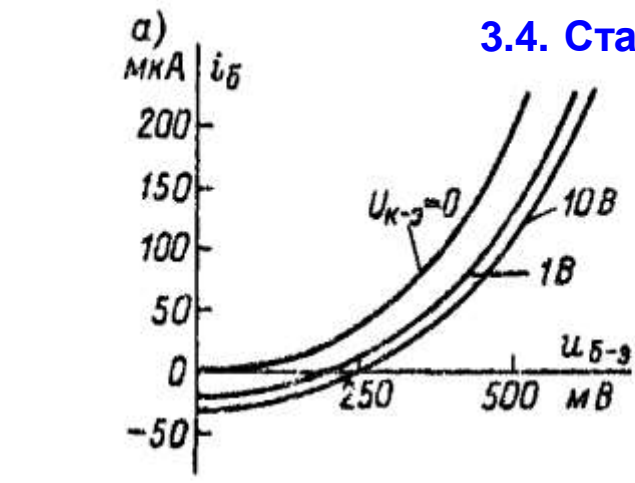


Рис. 3.10. Выходные характеристики транзистора при включении его по схеме с ОЭ.

Рис. 3.9. Входные характеристики транзистора при включении его по схеме с ОЭ.

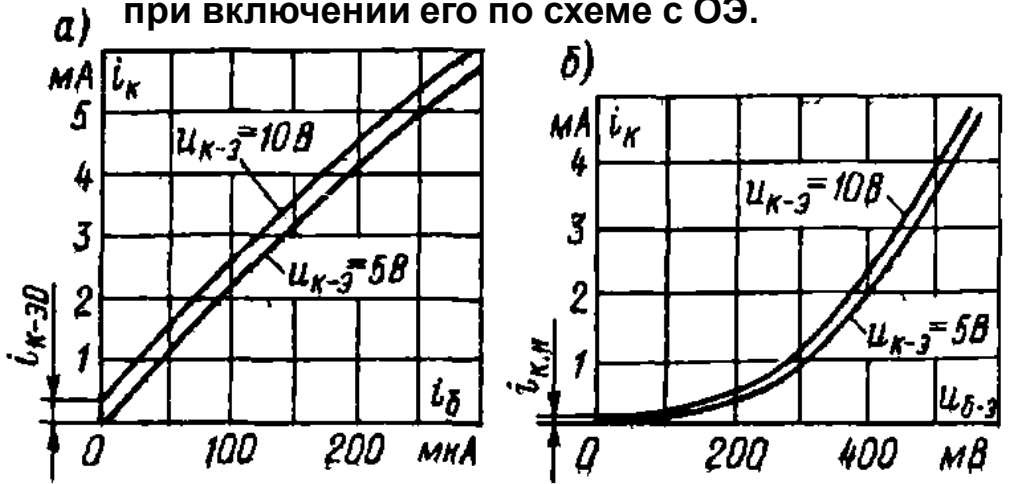


Рис. 3.12. Характеристики управления при включении транзистора по схеме с ОЭ.

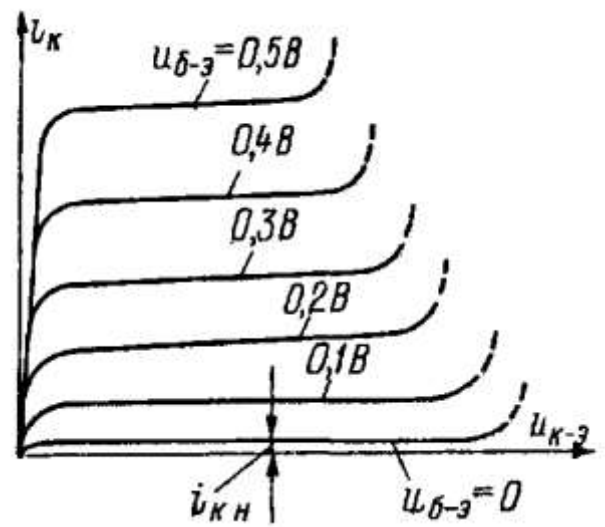


Рис. 3.11. Выходные характеристики транзистора при постоянном напряжении база – эмиттер.

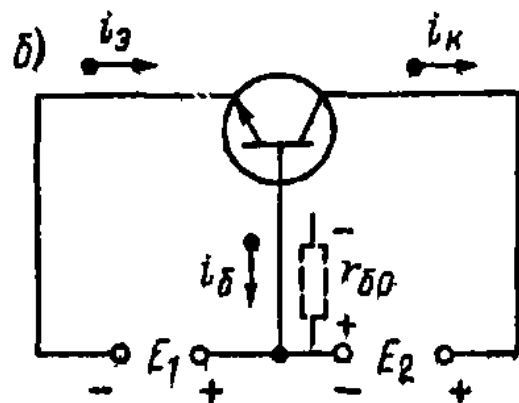
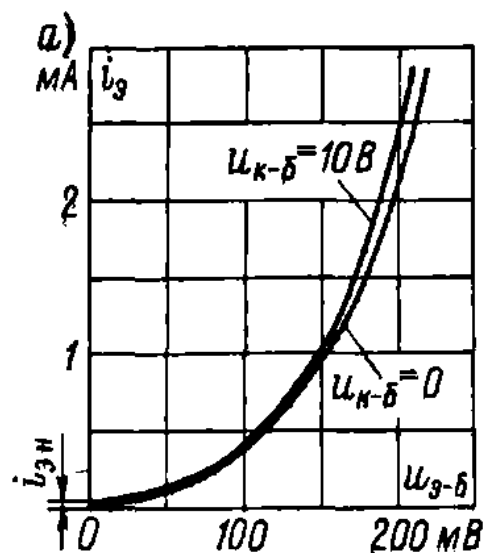


Рис. 3.13. Входные характеристики транзистора при включении его по схеме с ОБ.

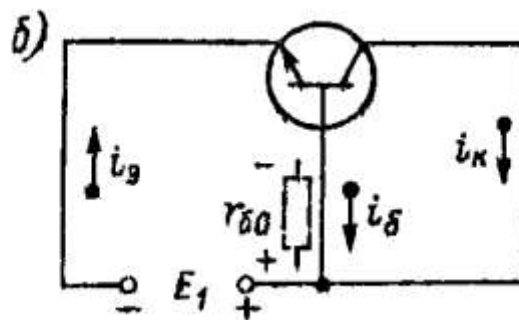
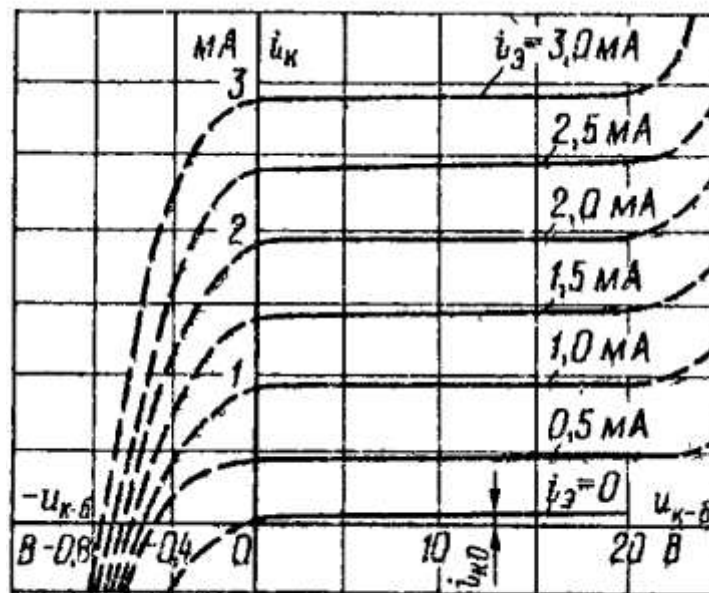


Рис. 3.14. Выходные характеристики транзистора при включении его по схеме с ОБ.

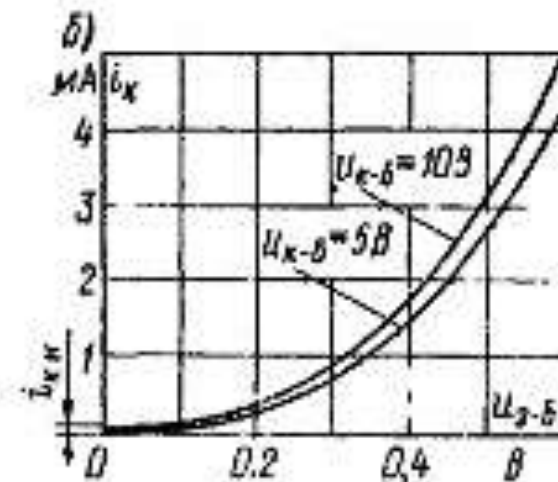
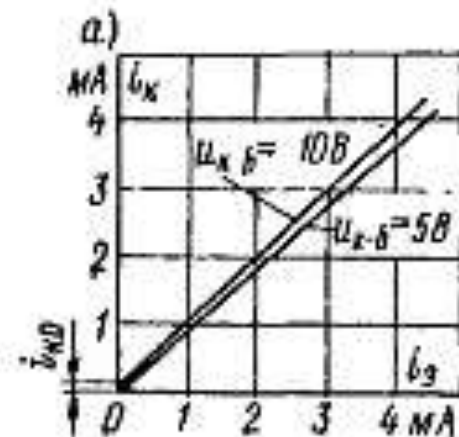


Рис. 3.15. Характеристики управления при включении транзистора по схеме ОБ.

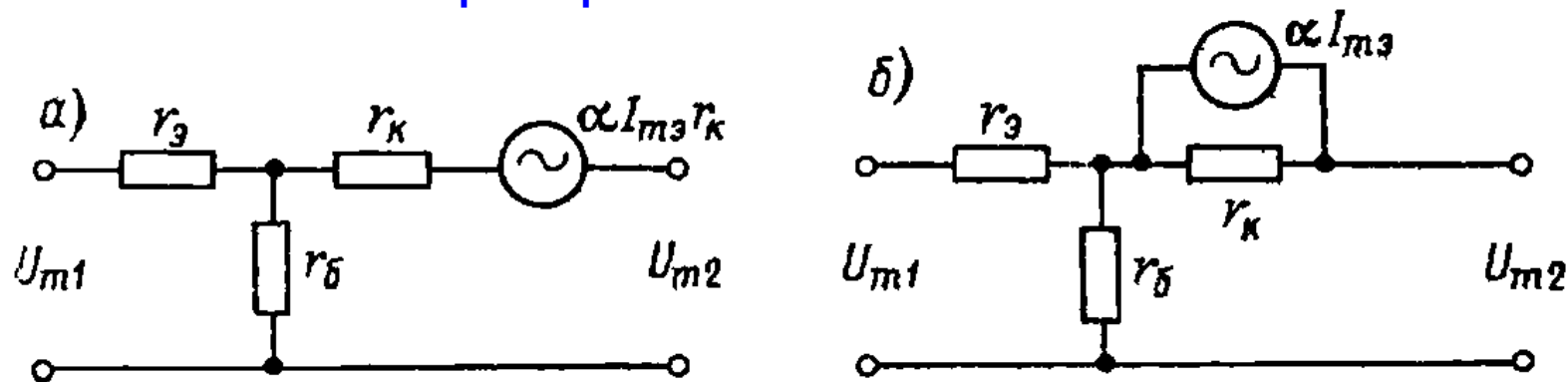


Рис. 3.16. Эквивалентные Т-образные схемы транзистора по схеме ОБ с генераторами ЭДС (а) и тока (б).

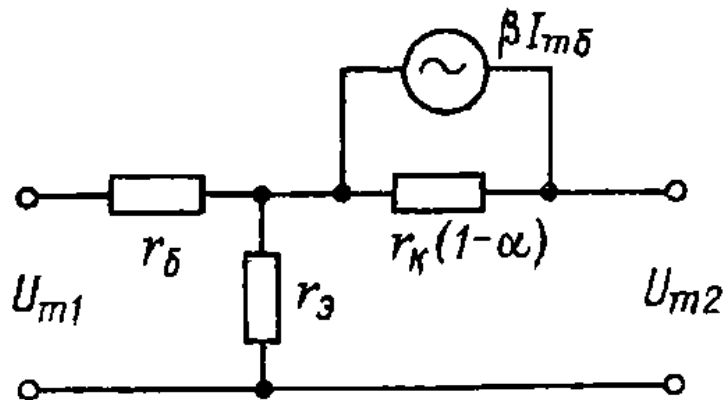


Рис. 3.17. Эквивалентная Т-образная схема транзистора, включенного по схеме ОЭ.

$$U_m = \alpha \cdot I_{m\bar{3}} \cdot r_K - I_{m\bar{K}} \cdot r_K, \quad I_{m\bar{3}} = I_{m\bar{K}} + I_{m\bar{6}}$$

$$U_m = \alpha \cdot (I_{m\bar{K}} + I_{m\bar{6}}) \cdot r_K - I_{m\bar{K}} \cdot r_K = \alpha \cdot I_{m\bar{K}} \cdot r_K +$$

$$+ \alpha \cdot I_{m\bar{6}} \cdot r_K - I_{m\bar{K}} \cdot r_K = \alpha \cdot I_{m\bar{6}} \cdot r_K - (1 - \alpha) I_{m\bar{K}} \cdot r_K.$$

$$\frac{\alpha \cdot I_{m\bar{6}} \cdot r_K}{(1 - \alpha) \cdot r_K} = \beta \cdot I_{m\bar{6}}.$$

Система h -параметров

$$U_{m1} = h_{11} I_{m1} + h_{12} U_{m2};$$

$$I_{m2} = h_{21} I_{m1} + h_{22} U_{m2}.$$

(3.24)

Входное сопротивление

$$h_{11} = \frac{U_{m1}}{I_{m1}} \text{ при } U_{m2} = 0$$

(3.25)

Коэффициент обратной связи по напряжению

$$h_{12} = \frac{U_{m1}}{U_{m2}} \text{ при } I_{m1} = 0$$

(3.26)

Коэффициент усиления по току

$$h_{21} = \frac{I_{m2}}{I_{m1}} \quad \text{при} \quad U_{m2} = 0 \quad (3.27)$$

Выходная проводимость

$$h_{22} = \frac{I_{m2}}{U_{m2}} \quad \text{при} \quad I_{m1} = 0 \quad (3.28)$$

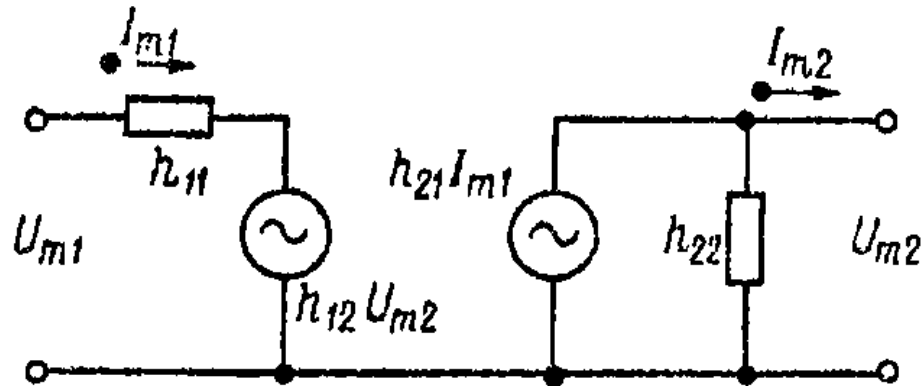
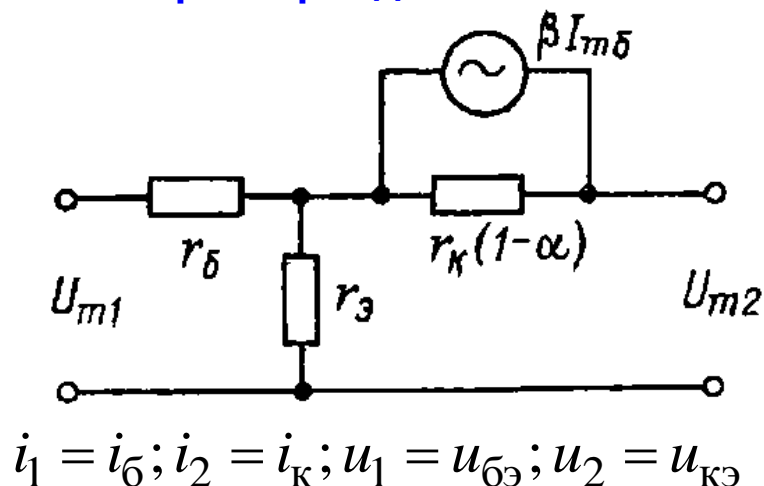


Рис. 3.18. Эквивалентная схема транзистора с использованием h -параметров.

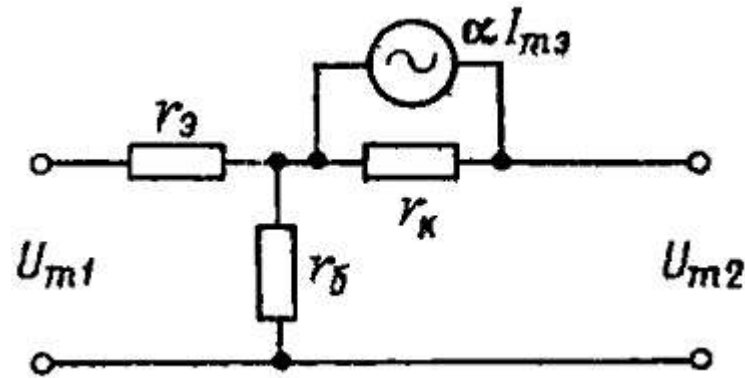
h -параметры для схемы ОЭ



$$\begin{aligned} h_{11\text{э}} &= \frac{U_{m1}}{I_{m1}} \bigg|_{U_{m2}=0} = \frac{U_{m\text{бэ}}}{I_{m\text{б}}} \bigg|_{U_{m\text{кэ}}=0} = \frac{I_{m\text{б}} \cdot r_{\text{б}} + I_{m\text{э}} \cdot r_{\text{э}}}{I_{m\text{б}}} = \frac{I_{m\text{б}} \cdot r_{\text{б}} + (I_{m\text{б}} + I_{m\text{к}}) \cdot r_{\text{э}}}{I_{m\text{б}}} = \\ &= \frac{I_{m\text{б}} \cdot r_{\text{б}} + (I_{m\text{б}} + \beta I_{m\text{б}}) \cdot r_{\text{э}}}{I_{m\text{б}}} = \frac{I_{m\text{б}} \cdot r_{\text{б}} + I_{m\text{б}} (1 + \beta) \cdot r_{\text{э}}}{I_{m\text{б}}} = r_{\text{б}} + (1 + \beta) \cdot r_{\text{э}} = r_{\text{б}} + \frac{r_{\text{э}}}{1 - \alpha} \end{aligned} \quad (3.29)$$

$$h_{12э} = \left. \frac{U_{m1}}{U_{m2}} \right|_{I_{m1}=0} \approx \frac{r_э}{r_k(1-\alpha)}; h_{21э} = \left. \frac{I_{m2}}{I_{m1}} \right|_{U_{m2}=0} = \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}; h_{22э} = \left. \frac{I_{m2}}{U_{m2}} \right|_{I_{m1}=0} = \frac{1}{r_k(1-\alpha)}. \quad (3.30)$$

h-параметры для схемы ОБ



$$h_{11б} = \left. \frac{U_{mэб}}{I_{mэ}} \right|_{U_{mkб}=0} = r_э + (1-\alpha) \cdot r_б; \quad h_{12б} = \left. \frac{U_{mэб}}{U_{mkб}} \right|_{I_{mэ}=0} = \frac{r_б}{r_б + r_k} \approx \frac{r_б}{r_k};$$

$$h_{21б} = \left. \frac{I_{mk}}{I_{mэ}} \right|_{U_{mkб}=0} = -\alpha; \quad h_{22б} = \left. \frac{I_{mk}}{U_{mkб}} \right|_{I_{mэ}=0} = \frac{1}{r_k + r_б} \approx \frac{1}{r_k}. \quad (3.31)$$