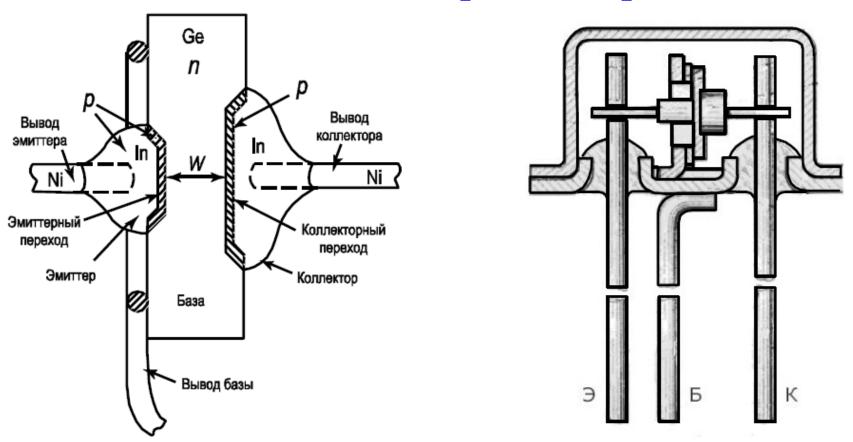


Напрямок стрілки в транзисторі вказує напрямок протікання струму.

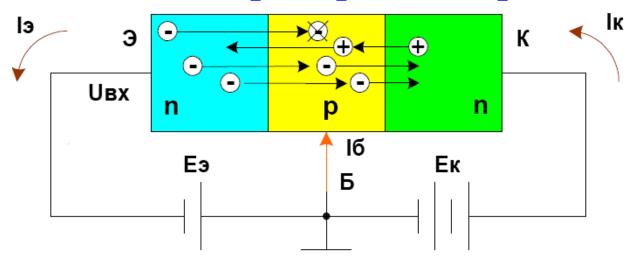


Колекторний р-п перехід має більшу площу ніж емітерний.

Концентрація носіїв заряду в емітері дещо більша ніж в колекторі.

Концентрація носіїв заряду в базі значно менша, ніж в емітері та колекторі.

- Кожен з *p*–*n*-переходів транзистора може бути зміщений в прямому або зворотному напрямку. В залежності від цього розрізняють чотири режими роботи транзистора:
- 1) **активний (підсилення, лінійний).** Емітерний перехід зміщений в прямому напрямку, а колекторний в зворотному;
- 2) *відсічки*. Обидва переходи зміщені в зворотному напрямку ;
- 3) *насичення*. Обидва переходи зміщені в прямому напрямку;
- 4) *інверсний*. Емітерний перехід зміщений в зворотному напрямку, а колекторний в прямому.



Активний режим. Емітерний р-n перехід відкритий. Колекторний р-n перехід закритий. Емітерний струм має дві компоненти— діркову та електронну.

Ефективність емітера характеризує коефіцієнт інжекції:

Ступінь рекомбінації електронів характеризує коефіцієнт переходу носіїв заряду:

$$\mathcal{S}=rac{I_{\mathit{Kn}}}{I_{\mathit{En}}}$$
 , де I $_{\mathit{Kn}}$ – колекторний струм електронів

$$\delta \cdot \gamma = rac{I_{Kn}}{I_E} pprox rac{I_K}{I_E} = lpha_0$$
 статичний коефіцієнт передачі (підсилення) струму емітера ($lpha_0$ = 0.99–0.995)

$$lpha = \left. rac{\partial I_K}{\partial I_E} \right|_{I_K,U_{KE}}$$
 динамічний коефіцієнт передачі (підсилення) струму емітера

Основне співвідношення струмів в транзисторі:

$$I_{s} = I_{k} + I_{6}$$

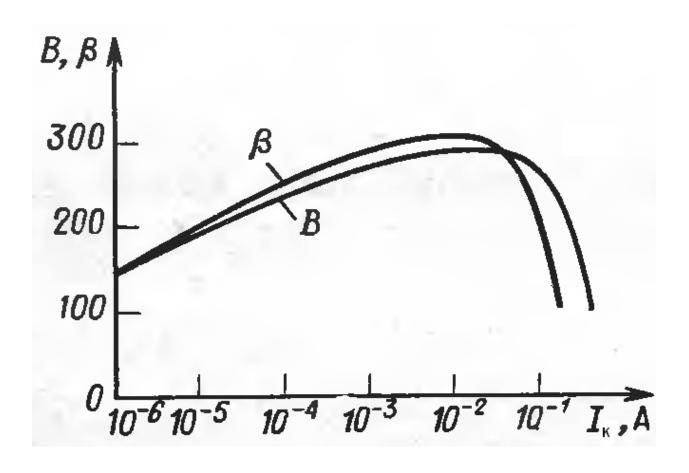
$$I_{K} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} I_{E} = BI_{E}$$

В – статичний коефіцієнт підсилення струму бази

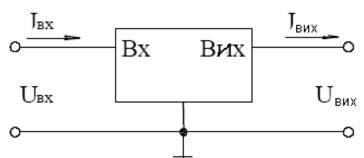
Динамічний коефіцієнт підсилення струму бази:

$$\beta = \frac{\partial I_K}{\partial I_E}\Big|_{U_{KE} = const}$$

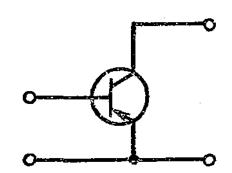
Типові залежності статичного та динамічного коефіцієнтів підсилення струму



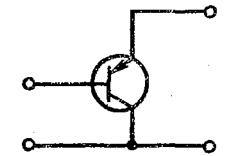
Зазвичай транзистори включаються в електричну схему таким чином, щоб один його електрод був вхідним, другий вихідним, третій — загальний для входу та виходу. В залежності від цього існує три способи ввімкнення транзистора :



з загальною базою (ЗБ)



загальним емітером (ЗЕ)



загальним колектором (ЗК)

Загальна база

Коефіцієнт підсилення струму

$$K_I = \frac{I_{\text{BUX}}}{I_{\text{BX}}} = \alpha < 1$$

Коефіцієнт підсилення

напруги
$$K_U = \frac{U_{eux}}{U_{ex}} = \alpha \frac{R_H}{R_{ex}} > 1$$

Коефіцієнт підсилення

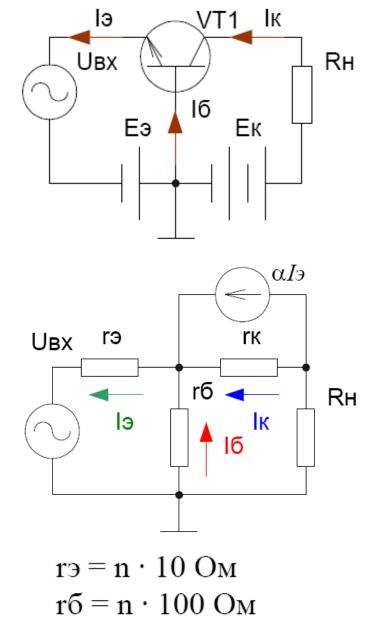
$$K_P = \frac{P_{eux}}{P_{ex}} = K_I \cdot K_U$$

Вхідний опір

$$R_{ex} = \frac{U_{ex}}{I_{ex}} \approx r_E + \frac{1}{\beta} r_E$$

Вихідний опір

$$R_{eux} \approx r_K$$

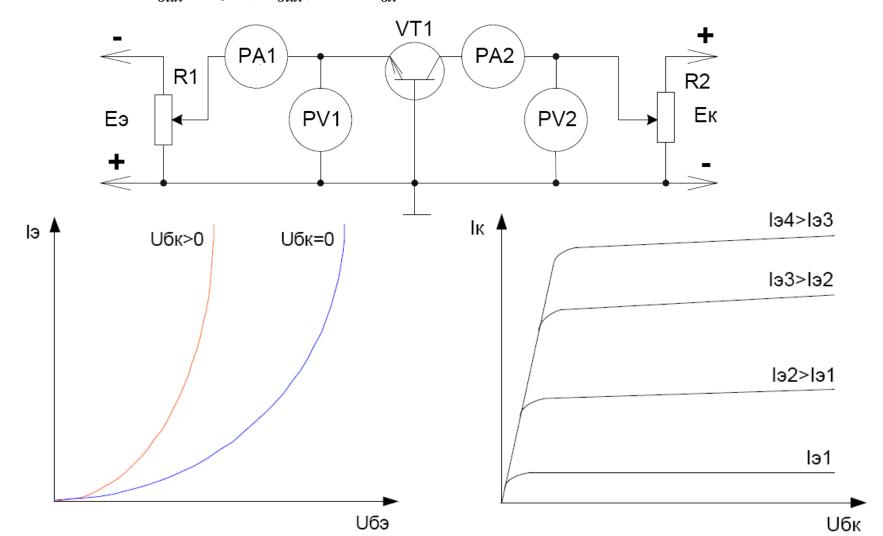


 $r_{K} = n \cdot (10 \div 100) \text{ kOm}$

Статичні характеристики

Вхідні:
$$I_{ex} = f(U_{ex})$$
 $U_{eux} = const$

Вихідні:
$$I_{eux} = f(U_{eux})$$
 $I_{ex} = const$



Загальний емітер

Коефіцієнт підсилення струму

$$K_I = \frac{I_{eux}}{I_{ex}} = \beta >> 1$$

Коефіцієнт підсилення

напруги
$$K_U = \frac{U_{eux}}{U_{ex}} = \beta \frac{R_H}{R_{ex}} > 1$$

Коефіцієнт підсилення

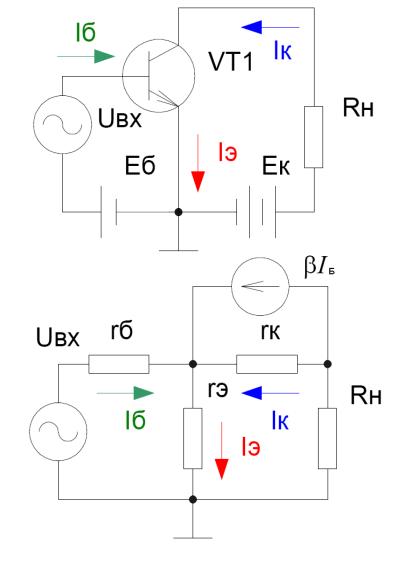
потужності
$$K_P = \frac{P_{eux}}{P_{ex}} = \beta^2 \frac{R_H}{R_{ex}} >> 1$$

Вхідний опір

$$R_{ex} = \frac{U_{ex}}{I_{ex}} = r_E + (1 + \beta)r_E$$

Вихідний опір

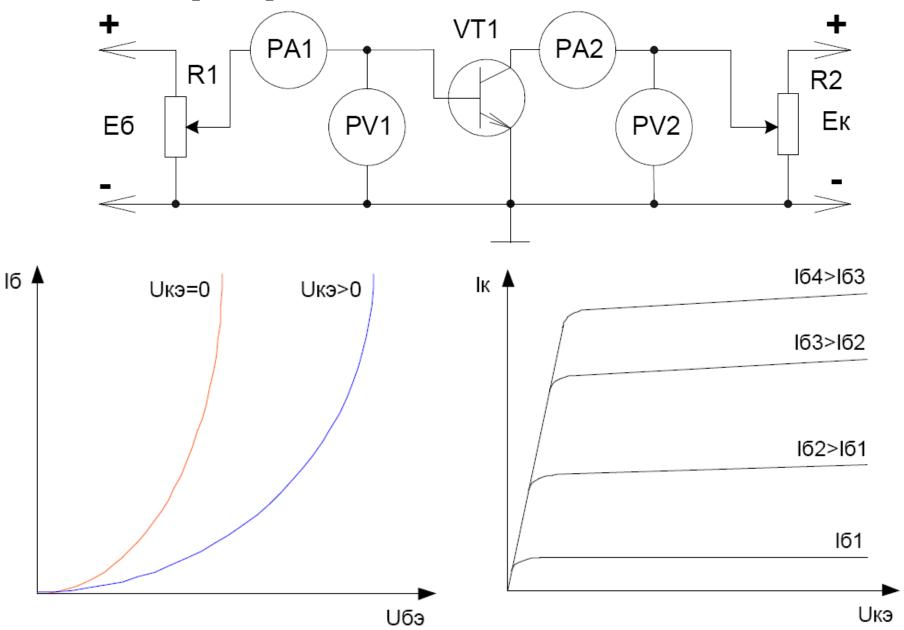
$$R_{eux} \approx r_K$$



$$r\vartheta = n \cdot 10 \text{ OM}$$

 $r\delta = n \cdot 100 \text{ OM}$
 $r\kappa = n \cdot (10 \div 100) \text{ kOm}$

Статичні характеристики



Загальний колектор

Коефіцієнт підсилення струму

$$K_I = \frac{1}{1 - \alpha} >> 1$$

Коефіцієнт підсилення

напруги
$$K_U = \frac{R_H}{R_H + r_E + r_E} < 1$$

Коефіцієнт підсилення

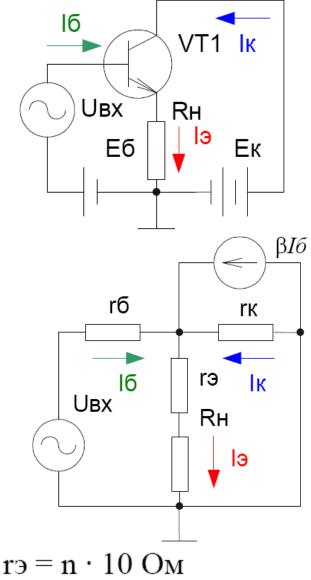
потужності
$$K_P = \frac{P_{eux}}{P_{ex}} = K_I \cdot K_U$$

Вхідний опір

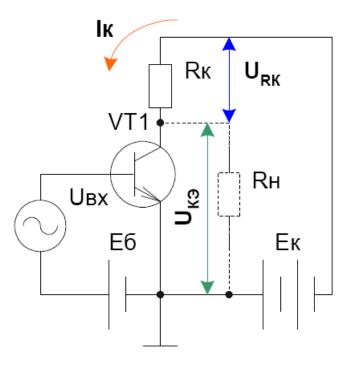
$$R_{ex} = r_{E} + (1 + \beta)(r_{E} + R_{H})$$

Вихідний опір

$$R_{ex} = r_E + r_E$$



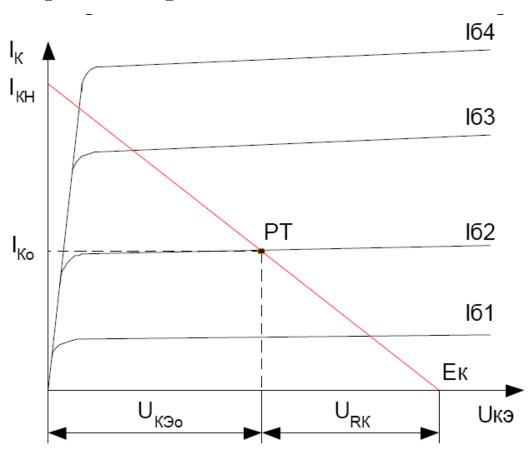
Динамічний режим роботи транзистора



$$E_{\kappa} = U_{R\kappa} + U_{\kappa 9}$$

$$U_{RK} = I_{K} \cdot R_{K}$$

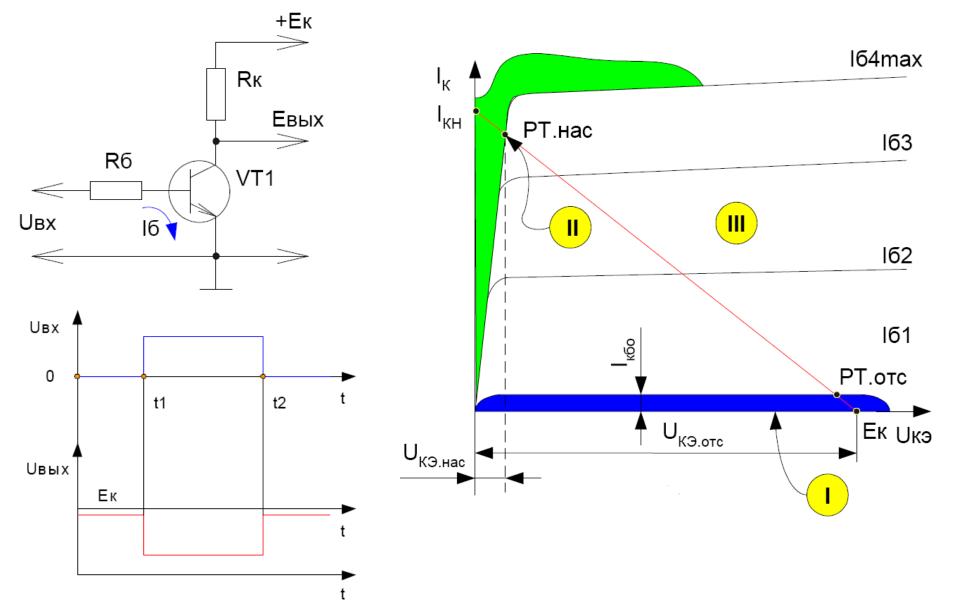
$$E_{\kappa} = U_{\kappa \ni} + I_{\kappa} \cdot R_{\kappa}$$



Червона лінія – вихідна динамічна характеристика

 $\mathbf{U}_{\kappa_{9}} = \mathbf{E}_{\kappa} - \mathbf{I}_{\kappa} \cdot \mathbf{R}_{\kappa}$ — рівняння динамічного режиму роботи транзистора

Робота транзистора в режимі ключа



При будь-якій схемі ввімкнення транзистор може бути представлений у вигляду активного чотириполюсника

Транзистор
$$\begin{vmatrix} I_2 \\ \downarrow \\ U_1 \end{vmatrix}$$
 $\begin{vmatrix} I_2 \\ \downarrow \\ U_2 \end{vmatrix}$ $\begin{vmatrix} u_1 \\ i_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} i_1 \\ u_2 \end{vmatrix}$ $\begin{vmatrix} i_1 \\ u_2 \end{vmatrix} = 0$ $h_{11} = \frac{i_2}{i_1} \begin{vmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} i_1 \\ u_2 \end{vmatrix} = 0$ $h_{21} = \frac{i_2}{i_1} \begin{vmatrix} h_{21} & h_{22} \\ u_2 \end{vmatrix} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} h_{21} & h_{22} \\ u_2 \end{vmatrix} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} h_{21} & h_{22} \\ u_2 \end{vmatrix} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} h_{21} & h_{22} \\ u_2 \end{vmatrix} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} h_{21} & h_{22} \\ u_2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} h_{21} & h_{22} \\ u_2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} h_{21} & h_{22} \\ u_2 \end{vmatrix} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} h_{21} & h_{22} \\ u_2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} h_{21} & h_{22} \\ u_2 \end{vmatrix} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} h_{21} & h_{22} \\ u_2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} h_{21} & h_{22} \\ u_2 \end{vmatrix} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} h_{21} & h_{22} \\ u_2 \end{vmatrix} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} h_{21} & h_{22} \\ u_2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} h_{21} & h_{22} \\ u_2 \end{vmatrix} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} h_{21} & h_{22} \\ u_2 \end{vmatrix} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} h_{21} & h_{22} \\ u_2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} h_{21} & h_{22} \\ u_2 \end{vmatrix} \end{vmatrix} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} h_{21} & h_{$

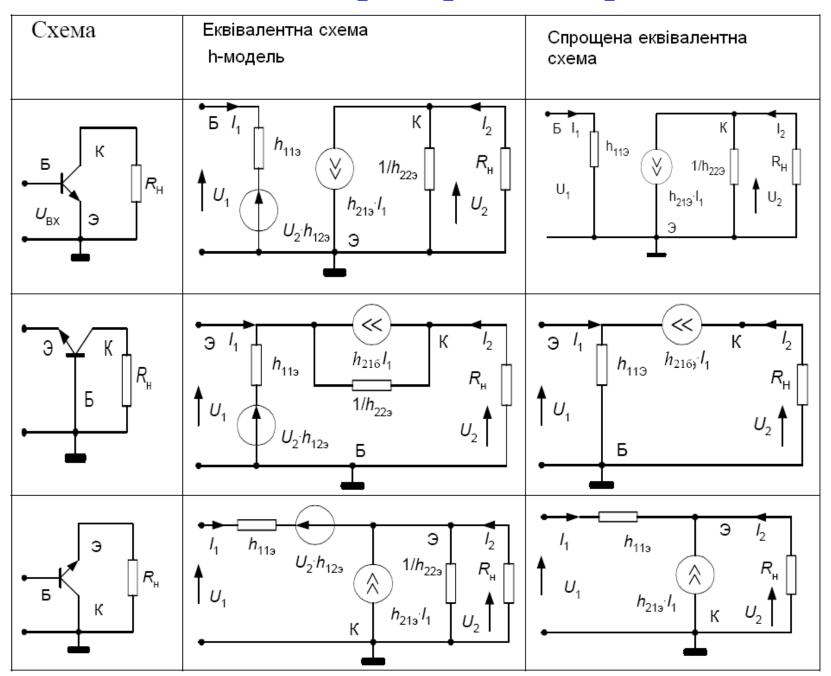
h₁₁ – вхідний опір при К.З. на виході

 h_{12} – коефіцієнт оберненого зв'язку по напрузі при X.X. на вході

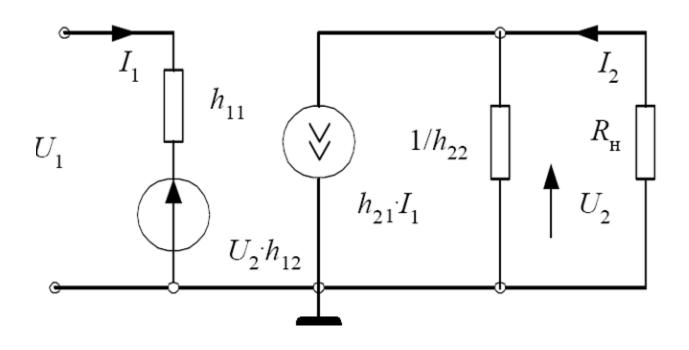
h₂₁ – коефіцієнт передачі струму при К.З. на виході

h₂₂ – вихідна провідність при Х.Х. на вході

h-параметри залежать від схеми ввімкнення транзистора



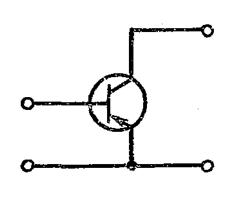
Універсальна еквівалентна схема



Всі h-параметри повинні відповідати схемі ввімкнення транзистора

h-параметри для схеми ЗЕ	h-параметри для схеми 3Б	h-параметри для схеми ЗК		
h_{119}	$h_{116} = \frac{h_{119}}{1 - h_{229} + h_{219} + \Delta h_{9}}$	$h_{11\kappa} = h_{119}$		
h_{129}	$h_{126} = \frac{\Delta h_{9} - h_{129}}{1 + h_{129} + h_{219} + \Delta h_{9}}$	$h_{12\kappa} = 1 - h_{129}$		
h ₂₁₉	$h_{216} = \frac{-\left(h_{219} + \Delta h_{9}\right)}{1 - h_{129} + h_{219} + \Delta h_{9}}$	$h_{21\text{\tiny K}} = -(1 + h_{21\text{\tiny 9}})$		
h ₂₂₉	$h_{226} = \frac{h_{229}}{1 - h_{129} + h_{219} + \Delta h_9}$	$h_{22\kappa} = h_{229}$		
$\Delta h_{_{9}} = h_{119} \cdot h_{229} - h_{129} \cdot h_{219}$				

Загальний емітер



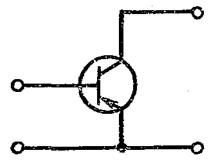
$$0.6$$
 0.4
 0.4
 0.2
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0

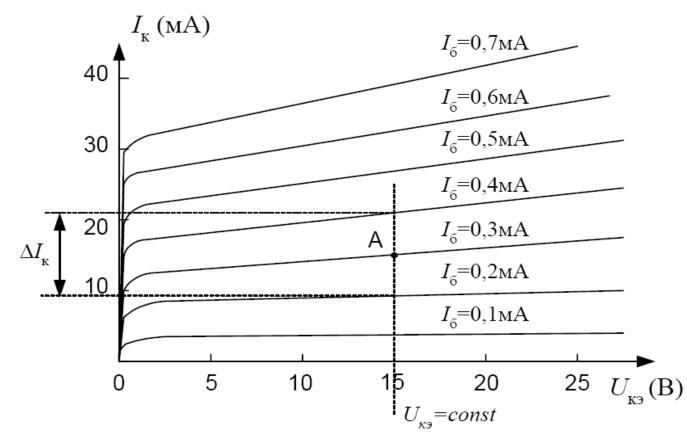
 $U_{\rm v}=5{\rm B}$

$$h_{119} = \frac{\Delta U_{E9}}{\Delta I_E}$$
 $U_{KE} = const$

$$h_{123} = \frac{\Delta U_{E3}}{\Delta U_{E3}} = (10^{-3} - 10^{-4})$$
 $I_E = const$

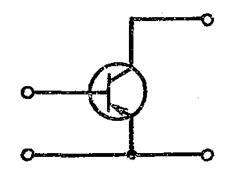
Загальний емітер

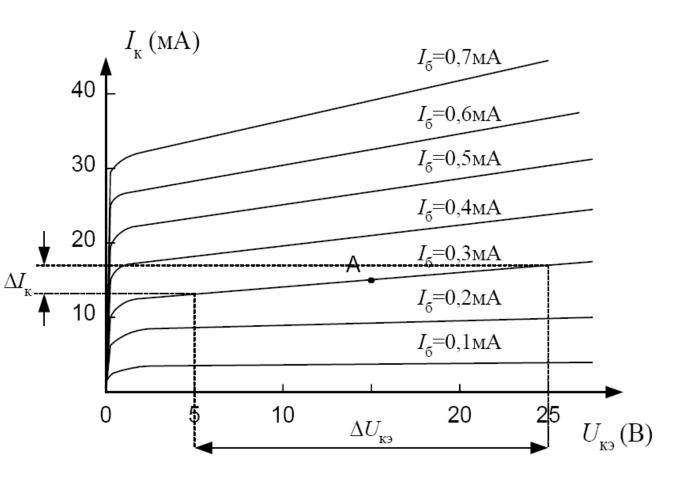




$$h_{219} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_E}$$
 $U_{KE} = const$







$$h_{223} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{\nu E}}$$
 $I_E = const$

Параметры	Общий эмиттер	Общая база	Общий коллектор
K_U	$-\frac{h_{21\mathfrak{3}}\cdot R_{_{\mathbf{H}}}}{h_{11\mathfrak{3}}+\Delta h_{_{3}}\cdot R_{_{\mathbf{H}}}}$	$\frac{\left(h_{21\mathfrak{3}}+\Delta h_{\mathfrak{3}}\right)\cdot R_{_{\mathbf{H}}}}{h_{11\mathfrak{3}}+\Delta h_{_{\mathfrak{3}}}\cdot R_{_{\mathbf{H}}}}$	$\frac{\left(1+h_{219}\right)\cdot R_{_{\rm H}}}{h_{119}+\left(1-h_{129}+h_{219}+\Delta h_{_{9}}\right)\cdot R_{_{\rm H}}}$
	$-\frac{h_{21{}^{9}}\cdot R_{_{\rm H}}}{R_{_{\rm \Gamma.9KB}}\ +\ h_{11{}^{9}}}$	$\frac{h_{219} \cdot R_{\text{H}}}{R_{\text{\tiny \Gamma.9KB}} + h_{119}}$	$\frac{h_{21\;\mathfrak{s}}\;\cdot\;R_{_{\mathbf{H}}}}{h_{11\;\mathfrak{s}}\;+\;h_{21\;\mathfrak{s}}\;\cdot\;R_{_{\mathbf{H}}}}$
K_I	h ₂₁₉	$h_{219} + \Delta h_9$	$-\frac{1+h_{213}}{1-h_{213}}$
	$1+h_{22\mathfrak{s}}\cdot R_{_{\mathbf{H}}}$	$1 - h_{123} + h_{213} + \Delta h_3 + h_{223} \cdot R_{\text{H}}$	$1+h_{229}\cdot R_{\scriptscriptstyle \mathrm{H}}$
	h _{21 э}	h	$1 + h_{219}$
	$1 + h_{22} \cdot R_{\text{\tiny H}}$	$h_{219} + h_{229} \cdot R_{\scriptscriptstyle \mathrm{H}}$	$1 + h_{22} \cdot R_{\scriptscriptstyle \mathrm{H}}$
$R_{\scriptscriptstyle m BX}$	$h_{119} + \Delta h_{_{9}} \cdot R_{_{\mathbf{H}}}$	$h_{119} + \Delta h_{\scriptscriptstyle 9} \cdot R_{\scriptscriptstyle m H}$	$h_{119} + (1 - h_{129} + h_{219} + \Delta h_{9}) \cdot R_{\text{H}}$
	$1+h_{22}$, $\cdot R_{\scriptscriptstyle extbf{H}}$	$1 - h_{129} + h_{219} + \Delta h_9 + h_{229} \cdot R_{_{ m H}}$	$\Delta h_{\scriptscriptstyle 9} + h_{\scriptscriptstyle 229} \cdot R_{\scriptscriptstyle m H}$
	h_{119}	$\frac{h_{11 \ 3}}{h_{21 \ 3}} \qquad \left(\frac{h_{11 \ 3} + R_{\pi}}{h_{21 \ 3}}\right)$	$h_{113} + (h_{213} + 1) \cdot R_{H}$
$R_{\scriptscriptstyle m BMX}$	$h_{119} + R_{\scriptscriptstyle \Gamma}$	$h_{119} + (1 - h_{129} + h_{219} + \Delta h_{9}) \cdot R_{r}$	$h_{119} + R_{r}$
	$\overline{\Delta h_{\mathfrak{s}} + h_{22\mathfrak{s}} \cdot R_{\scriptscriptstyle extbf{r}}}$	$\Delta h_{_{9}} + h_{_{229}} \cdot R_{_{\Gamma}}$	$\overline{1-h_{12\mathfrak{d}}+h_{21\mathfrak{d}}+\Delta h_{\mathfrak{d}}+h_{22\mathfrak{d}}\cdot R_{_{\mathtt{H}}}}$
	1	$h_{113} + h_{213} \cdot R_{r}$	$h_{11 \circ} + R_{ r}$
	\overline{h}_{22}	$h_{22} \cdot R_{r}$	— h 21 3

Примечания: 1. Нижние значения в таблице являются приближенными.

- 2. $\Delta h_{\mathfrak{s}} = h_{11\mathfrak{s}} \cdot h_{22\mathfrak{s}} h_{12\mathfrak{s}} \cdot h_{11\mathfrak{s}}$.
- 3. $R_{\rm r}$ сопротивление источника входного сигнала (сопротивление генератора).