

# 3. Биполярные транзисторы

## 3.1 Принцип действия БТ. Одномерная теоретическая модель. Токи в БТ

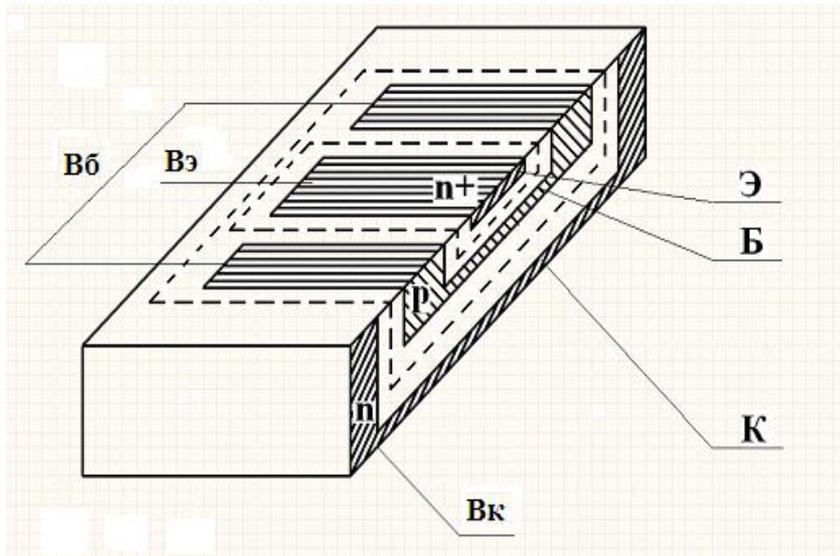


Рис.1

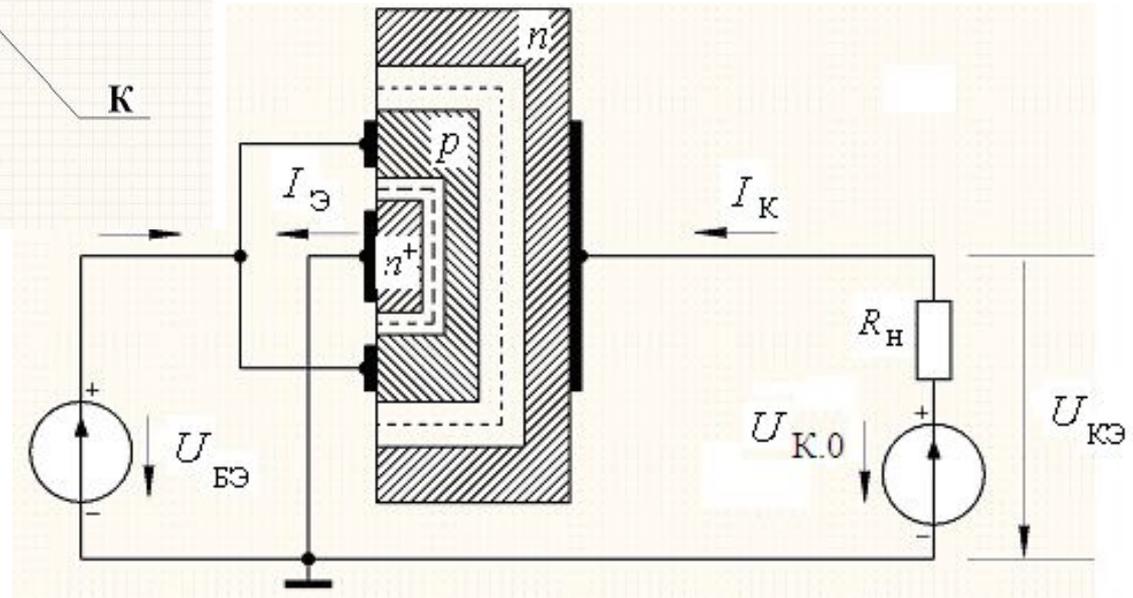


Рис.2 1

# Распределение потенциалов

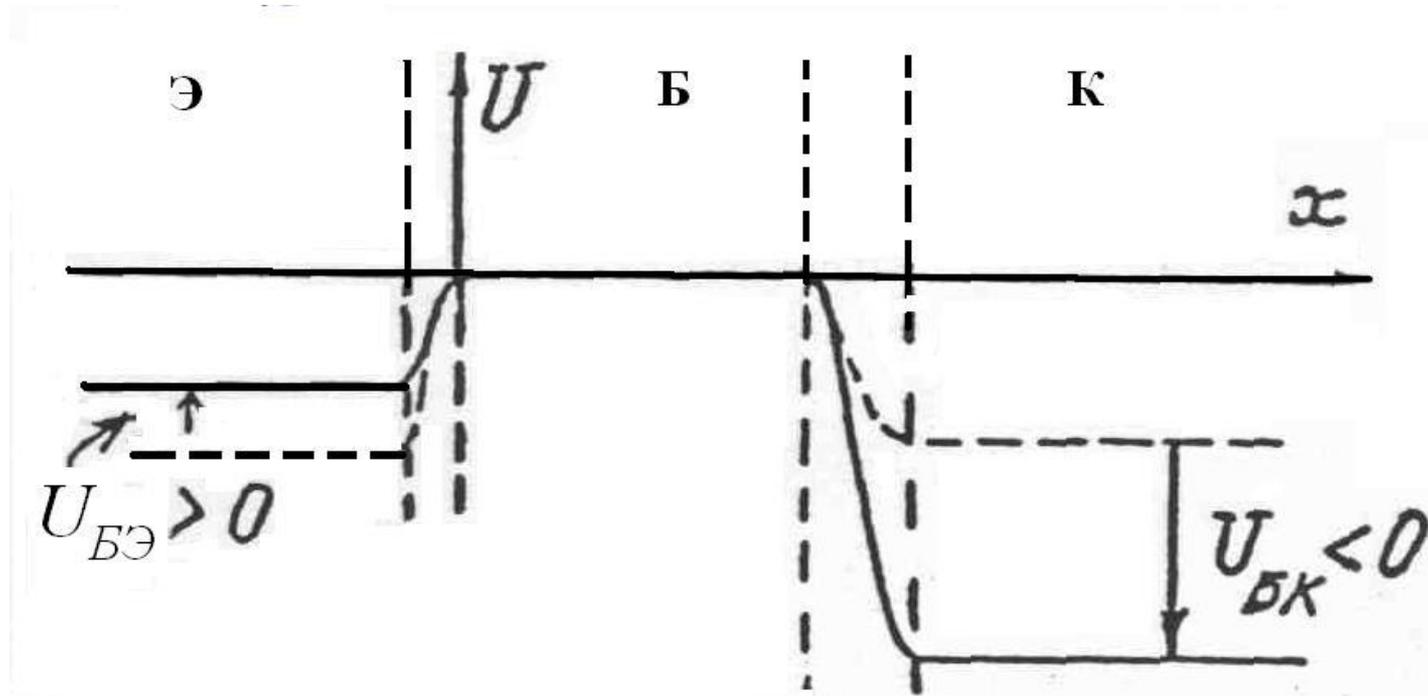
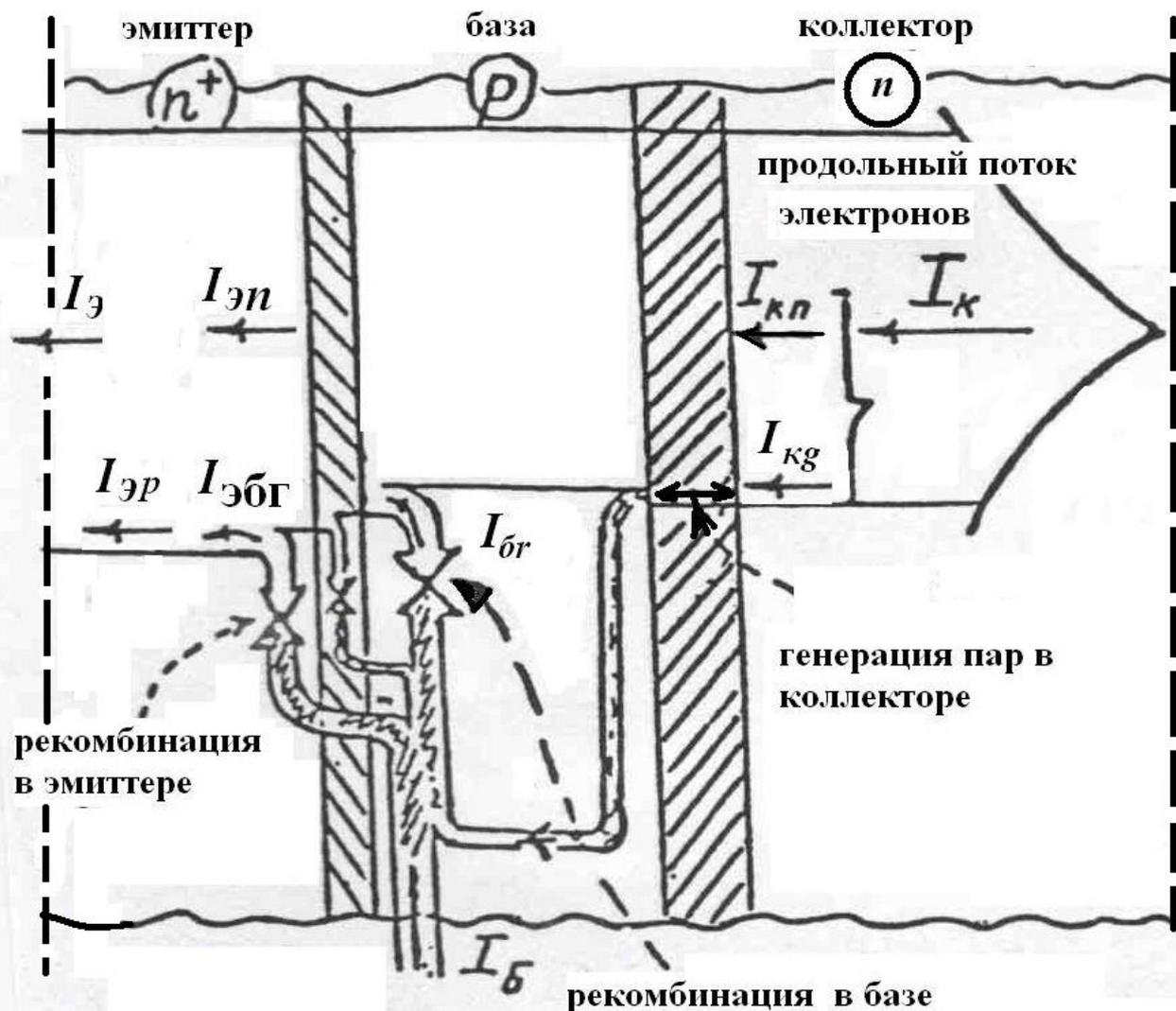


Рис.3

# Токи в биполярном транзисторе



$$I_{\text{к}} = I_{\text{кп}} + I_{\text{кг}}$$

$$I_{\text{Э}} = I_{\text{Эп}} + I_{\text{Эр}}$$

$$I_{\text{Эп}} = I_{\text{кп}} + I_{\text{бр}} + I_{\text{ЭбГ}}$$

$$I_{\text{б}} = I_{\text{Э}} - I_{\text{к}}$$

$$I_{\text{б}} = I_{\text{Эр}} + I_{\text{бр}} + I_{\text{ЭбГ}} - I_{\text{кг}}$$

Рис.4

## 3.2 Уравнения для токов в БТ

$$\Pi D(x) = -e n \frac{dn'_p}{dx} \quad \Pi D(0) = -e n \frac{dn'_p}{dx} \Big|_{x=0} \quad \Pi D(w) = -e n \frac{dn'_p}{dx} \Big|_{x=w}$$

$$\frac{\partial n_p}{\partial t} = D_n \frac{\partial^2 n'_p}{\partial x^2} - \frac{n'_p}{\tau_n} \quad D_n \frac{d^2 n'_p}{dx^2} - \frac{n'_p}{\tau_n} = 0$$

$$n'_p(0) = n_{p0} \left( e^{u_{B'Э}/\varphi_T} - 1 \right) \quad n'_p(w) = n_{p0} \left( e^{u_{B'К}/\varphi_T} - 1 \right)$$

$$n'_p(x) = n'_{pF}(x) + n'_{pI}(x)$$

$$\begin{cases} n'_{pF}(0) = n_{p0} \left( e^{u_{B'Э}/\varphi_T} - 1 \right) \\ n'_{pF}(w) = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} n'_{pI}(0) = 0 \\ n'_{pI}(w) = n_{p0} \left( e^{u_{B'К}/\varphi_T} - 1 \right) \end{cases}$$

Решение уравнения непрерывности для области базы

$$D_n \frac{d^2 n'_p}{dx^2} = 0 \quad n'_{pF}(x) = \left(1 - \frac{x}{w}\right) n'_{pF}(0)$$

$$I_{KnF} = I_{\varepsilon nF} \theta e \frac{D_n}{w} n'_{pF}(0)$$

Где  $I_{KnF} = I_{\varepsilon nF} e \Pi_{\varepsilon Sn} \left( e^{u_{B'Э} / \varphi_T} - 1 \right)$ ,  $\varepsilon Sn = \frac{D_n}{w} p_0$

$$Q_{BF} = e \int_0^w dx n'_{pF} \quad e \Pi w n \frac{1}{2} n'_{pF}(0)$$

$$\tau_T = \frac{w^2}{2D_{KnF}}$$

$$\tau_T = \frac{Q_{BF}}{I}$$

# Основные коэффициенты

$$I_{\text{кн}} \approx I_{\text{кнF}} = I_{\text{кнF}} = \frac{q_{\text{BF}}}{\tau_{\text{T}}} \quad I_{\text{эпF}} - I_{\text{кнF}} = I_{\text{BrF}} = \frac{q_{\text{BF}}}{\tau_{\text{n}}} \quad \frac{I_{\text{BrF}}}{I_{\text{кнF}}} = \frac{\tau_{\text{T}}}{\tau_{\text{n}}} \ll 0,01$$

$$I_{\text{эF}} = I_{\text{эпF}} + I_{\text{эпSF}} \quad I_{\text{эSF}} = I_{\text{эпSF}} + I_{\text{эпSF}}$$

$$I_{\text{эF}} = I_{\text{эSF}} \left( e^{u_{\text{Б'э}}/\varphi_{\text{T}}} - 1 \right)$$

$$I_{\text{эF}} = (1 + \delta_{\text{э}}) I_{\text{эпF}}, \quad \delta_{\text{э}} = \frac{I_{\text{эпSF}}}{I_{\text{эпF}}}, \quad \gamma_{\text{э}} = \frac{1}{1 + \delta_{\text{э}}}$$

$$I_{\text{эпF}} = I_{\text{кнF}} + I_{\text{BrF}} = (1 + \delta_{\text{б}}) I_{\text{кнF}}, \quad \delta_{\text{б}} = \frac{I_{\text{BrF}}}{I_{\text{кнF}}} = \frac{\tau_{\text{T}}}{\tau_{\text{n}}}$$

$$I_{\text{эF}} \boxtimes (1 + \delta_{\text{э}} + \delta_{\text{б}}) I_{\text{кнF}} \quad I_{\text{BF}} \boxtimes (\delta_{\text{э}} + \delta_{\text{б}}) I_{\text{кнF}}$$

$$I_{\text{BF}} = \frac{\delta_{\text{э}} + \delta_{\text{б}}}{\tau_{\text{T}}} q_{\text{BF}} = \left( \frac{\delta_{\text{э}}}{\tau_{\text{T}}} + \frac{1}{\tau_{\text{n}}} \right) q_{\text{BF}}, \quad I_{\text{BF}} = \frac{q_{\text{BF}}}{\tau_{\text{б}}}$$

# Уравнения токов БТ

$$\alpha = \frac{I_{KF}}{I_{KF}} = \frac{1}{1 + \delta_{\text{Э}} + \delta_{\text{Б}}} < 1, \quad I_{KF} = \alpha I_{\text{ЭФ}} \quad \beta = \frac{I_{KF}}{I_{BF}} = \frac{1}{\delta_{\text{Э}} + \delta_{\text{Б}}} \gg 1, \quad \beta = \frac{\tau_{\beta}}{\tau_{\text{T}}}$$

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}, \quad \beta = \frac{\alpha}{\alpha - 1}.$$

Уравнения токов в  
прямом включении

$$\begin{cases} I_{\text{ЭФ}} = I_{\text{ЭС}} \left( e^{u_{\text{Б'Э}}/\varphi_{\text{T}}} - 1 \right) \\ I_{\text{KF}} = \alpha I_{\text{ЭФ}} \\ I_{\text{BF}} = (1 - \alpha) I_{\text{ЭФ}} \end{cases}$$

Уравнения токов в  
инверсном включении

$$\begin{cases} I_{\text{ЭИ}} = \alpha_{\text{I}} I_{\text{КИ}} \\ I_{\text{КИ}} = I_{\text{КИС}} \left( e^{u_{\text{БК}}/\varphi_{\text{T}}} - 1 \right) \\ I_{\text{БИ}} = (1 - \alpha_{\text{I}}) I_{\text{КИ}} \end{cases}$$

**Уравнения токов для произвольных напряжений  
на p-n переходах**

$$\begin{cases} I_{\text{Э}} = I_{\text{ЭФ}} - I_{\text{ЭИ}} \\ I_{\text{К}} = I_{\text{KF}} - I_{\text{КИ}} \\ I_{\text{Б}} = I_{\text{BF}} + I_{\text{БИ}} \end{cases}$$