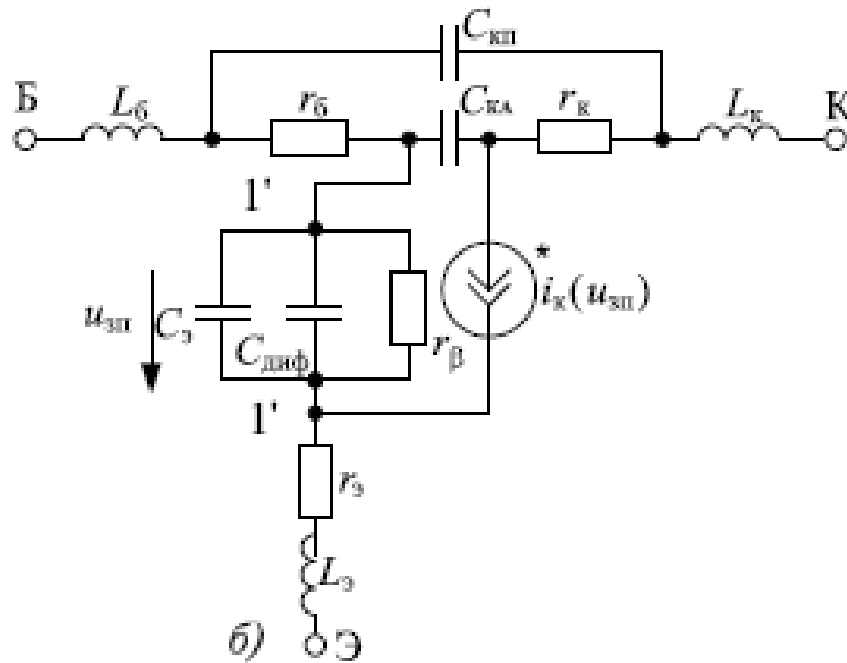
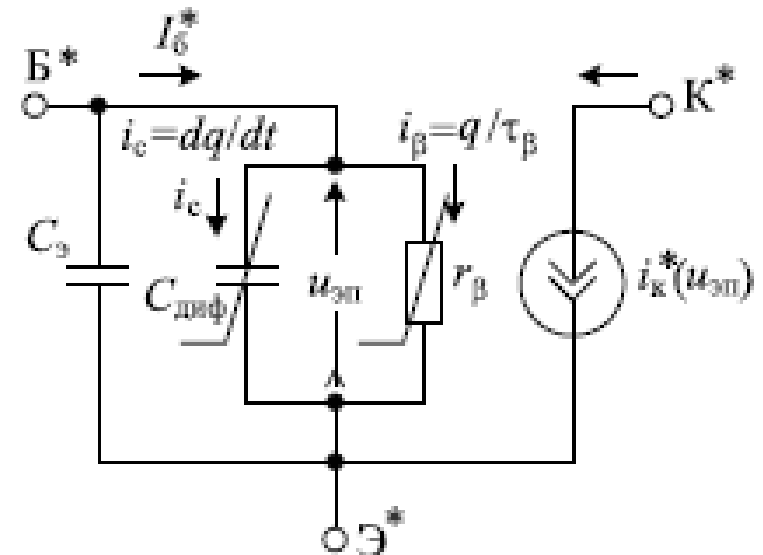


Лекция 4. Эквивалентные схемы транзисторов для УМ. Основные расчётные соотношения



эквивалентная схема би-
полярного транзистора



Упрощенная
эквивалентная схема би-
полярного транзистора

4 состояния: отсечка, активное, насыщение, инверсное зависят от состояния p-n переходов

В активном состоянии реализуются усилительные свойства транзистора.

$$i_k^*(t) = \left[\frac{q_{\text{диф}}(t)/\tau_T}{q_{\text{диф}}(t)/\tau_B + dq_{\text{диф}}(t)/dt} \right] i_6^*(t), \quad i_6^*(t) = i_\beta(t) + i_{C_{\text{диф}}}(t) :$$

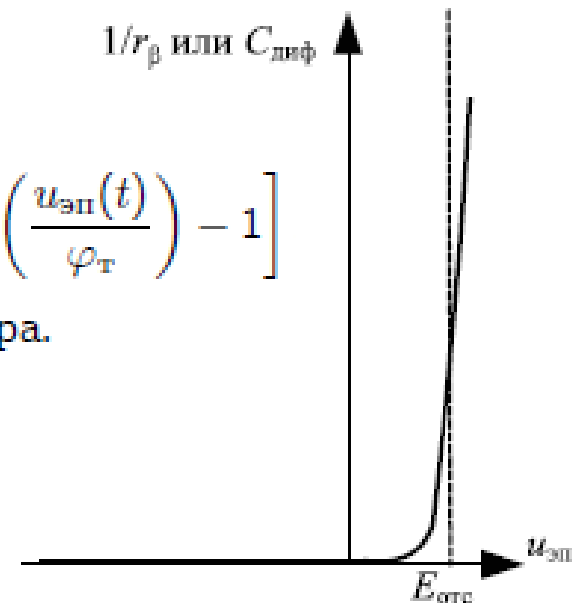
$$i_k^*(t) = h_{21э}(p) i_6^*(t)$$

$$r_\beta = \frac{\varphi_T}{I_{\text{кот}}} \frac{1}{\exp(u_{\text{эп}}/\varphi_T) - 1}; \quad C_{\text{диф}} = \frac{\tau_\beta}{r_\beta} = \tau_\beta \frac{I_{\text{кот}}}{\varphi_T} \left[\exp\left(\frac{u_{\text{эп}}(t)}{\varphi_T}\right) - 1 \right]$$

где $I_{\text{кот}} = q_{\text{диф}}/\tau_T$ — обратный тепловой ток коллектора.

$$\varphi_T = 0,026 \text{ В.}$$

$$\tau_\beta = r_\beta C_{\text{диф}} = \text{const.}$$



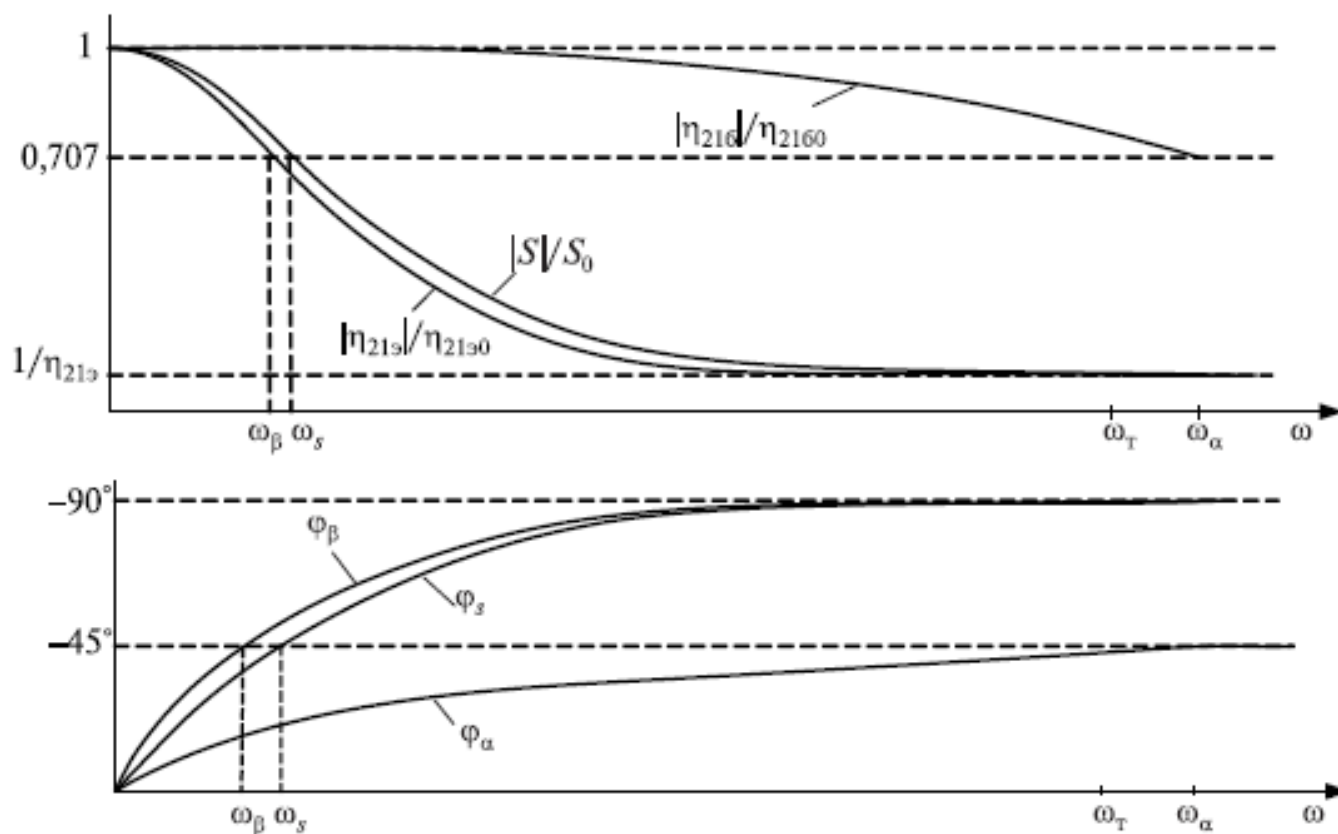
Зависимость
входной проводимости
и диффузионной
емкости p-n-перехода

В частотной области при подаче гармонического сигнала:

$$I_{\kappa}^*(\omega) = h_{21\varepsilon}(\omega) I_6^*(\omega), \quad h_{21\varepsilon}(\omega) = h_{21\varepsilon 0} / (1 + j\omega\tau_{\beta}).$$

где $h_{21\varepsilon 0} = \tau_{\beta} / \tau_{\tau}$ — коэффициент усиления транзистора в схеме с ОЭ по постоянному току

$$|h_{21\varepsilon}(\omega)| = h_{21\varepsilon 0} / \sqrt{1 + (\omega\tau_{\beta})^2}; \quad \varphi_{\beta}(\omega) = -\arctg(\omega\tau_{\beta}).$$



В частотной области при подаче гармонического сигнала:

$$\omega_T = 1/\tau_T = h_{21\beta 0}\omega_\beta, \text{ на которой } |h_{21\beta}(\omega_T)| = h_{21\beta 0}/\sqrt{1 + (\omega_T\tau_\beta)^2} \approx h_{21\beta 0}/\omega_T\tau_\beta = 1,$$

а) «низкие» $\omega < 0,3\omega_\beta = 0,3\omega_T/h_{21\beta 0}, \quad h_{21\beta}(\omega) \approx h_{21\beta 0};$

б) «средние» $0,3\omega_\beta < \omega < 3\omega_\beta, \quad h_{21\beta}(\omega) = h_{21\beta 0}/(1 + j\omega\tau_\beta).$

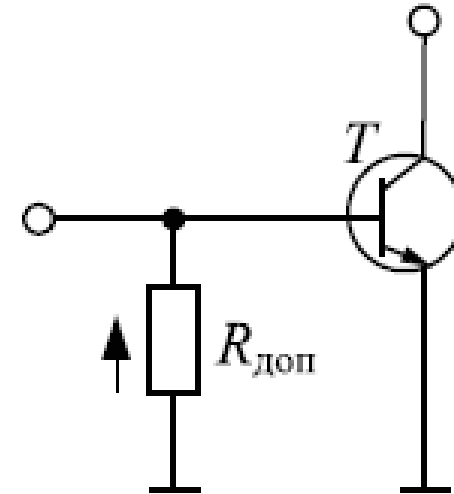
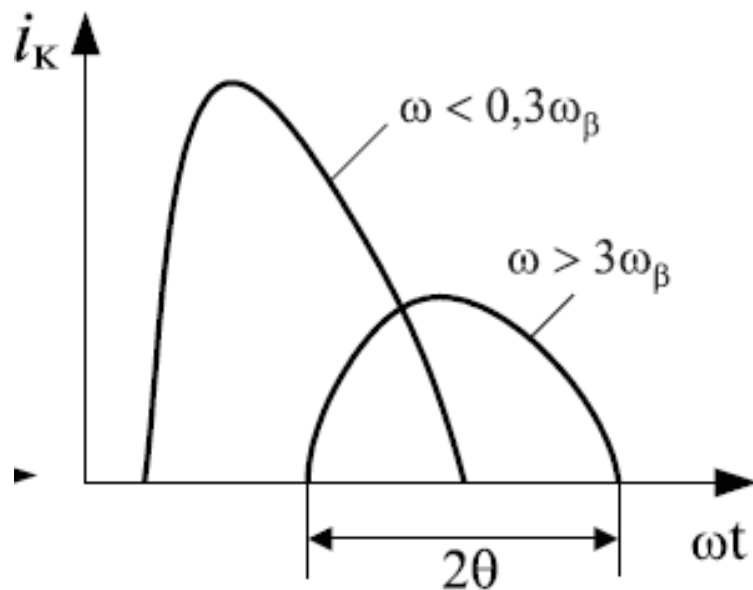
в) «высокие» $\omega > 3\omega_\beta = 3\omega_T/h_{21\beta 0}, \quad h_{21\beta}(\omega) \approx -j\frac{h_{21\beta 0}\omega_\beta}{\omega} = -j\omega_T\omega.$

При включении транзистора с ОБ коэффициент передачи по току

$$h_{21B}(\omega) = h_{21\beta 0}/(1 + j\omega\tau_\alpha),$$

где $h_{21\beta 0} = I_k/I_\beta = 1$ — коэффициент усиления на низких частотах ($\omega \rightarrow 0$);
 $\omega_\alpha = (1,2 \dots 1,6)\omega_T$ — граничная частота усиления по току в схеме с ОБ.

Искажения импульсов за счёт инерционности перехода Б-Э:

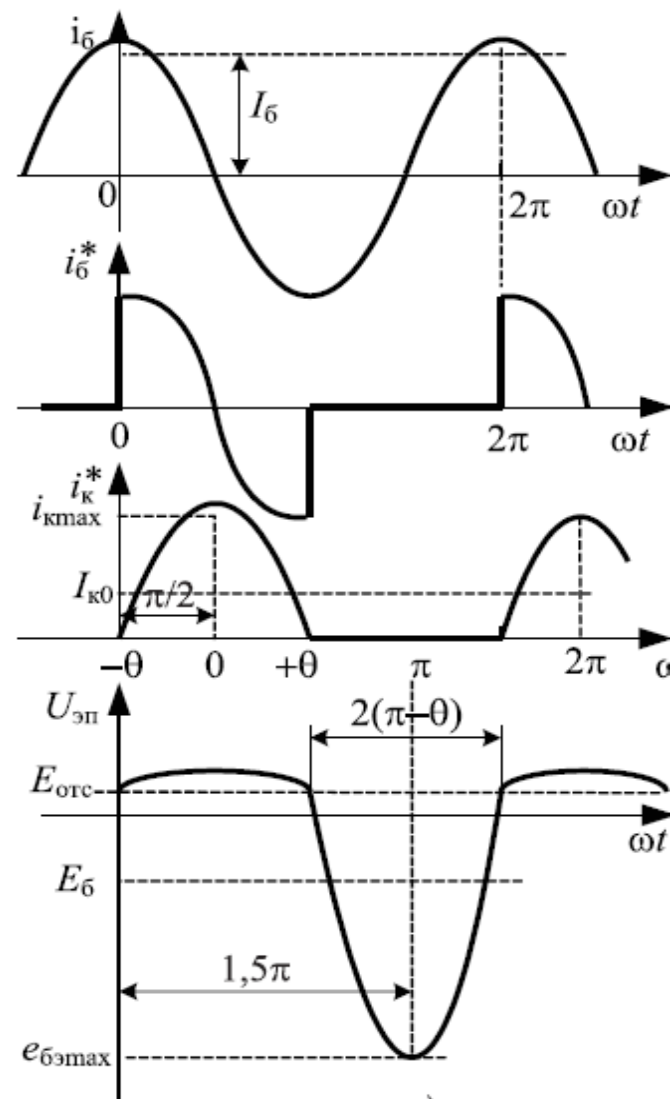
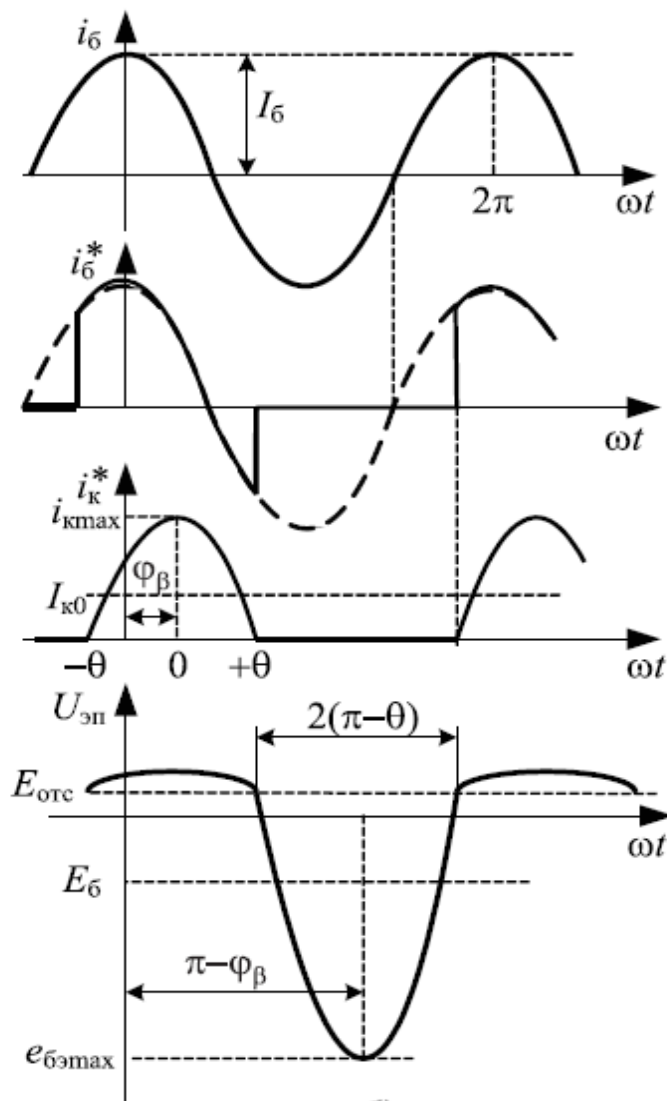
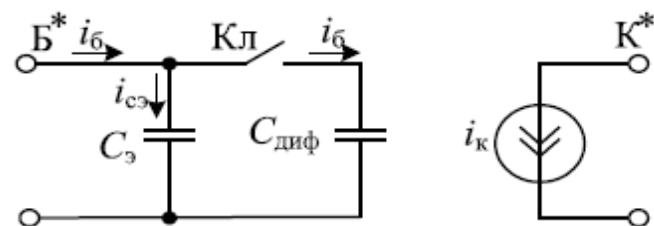
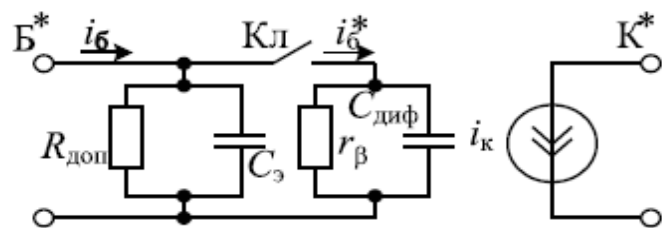


Для выравнивания пост. времени
включают $R_{\text{доп}}$

$$\tau_{\text{зак}} = \frac{R_{\text{эу}} R_{\text{доп}}}{R_{\text{эу}} + R_{\text{доп}}} C_{\text{э}} = \tau_{\text{отк}} = \tau_{\beta} = \frac{h_{21\text{э0}}}{\omega_T}.$$

$R_{\text{уэ}} \approx 100 \dots 1000 \text{ Ом}$ – сопротивление
утечки

$$R_{\text{доп}} = \frac{h_{21\text{э0}}}{\omega_T C_{\text{э}}} \frac{1}{1 - h_{21\text{э0}} / (\omega_T C_{\text{э}} R_{\text{уэ}})} \approx \frac{h_{21\text{э0}}}{\omega_T C_{\text{э}}} \quad \text{при } R_{\text{уэ}} \rightarrow \infty.$$



Основные расчётные соотношения

$$I_{к1} = \gamma_1(\theta) |h_{21э}(\omega)| I_6; \quad I_{к0} = \gamma_0(\theta) |h_{21э}(\omega)| I_6.$$

$$E_6 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_{эп}(\omega t) d\omega t$$

Напряжение смещения на базе для заданного Θ

$$E_6 = -\frac{\gamma_0(\pi - \theta)}{\gamma_0(\theta)} \frac{R_{доп}}{h_{21э0}} I_{к0} + E_{отс}.$$

$$e_{6э \max} = -\frac{\gamma_0(\pi - \theta)}{\gamma_0(\theta)} \frac{1}{\alpha_0(\pi - \theta)} \frac{R_{доп}}{h_{21э0}} I_{к0} + E_{отс}; \quad < \text{Предельно допустимого !}$$

УМ на полевых транзисторах

Ряд модификаций: с управляющим p - n -переходом, с барьером Шоттки, с индуцированным и встроенным каналом и др.

с индуцированным каналом (с горизонтальной и вертикальной структурами, с V-образной структурой, с двойной диффузией, с V-образной канавкой и другие) в первую очередь с технологией VDMOS и LDMOS :

Бурное развитие технологий ПТ в последние годы приводит к явному вытеснению БТ

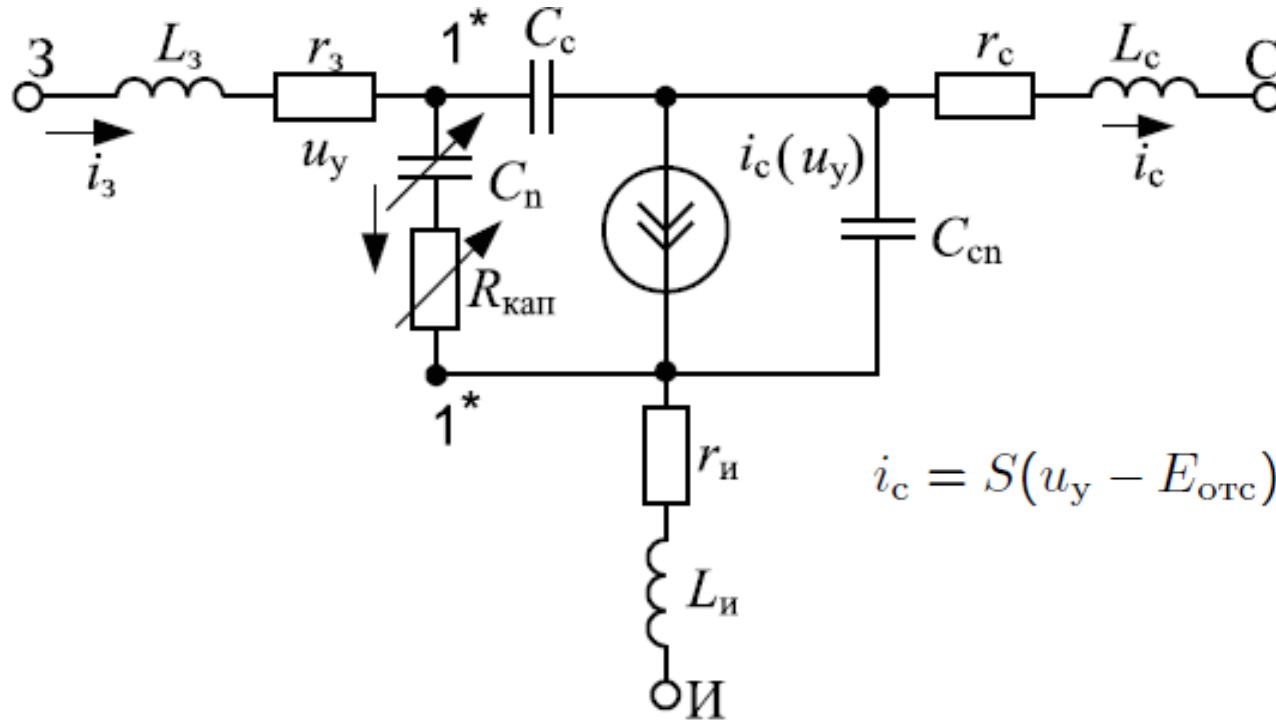
Это связано, в первую очередь, с высоким коэффициентом усиления по мощности (на $f \approx 1$ ГГц вместо 3...5 раз у биполярных транзисторов) он достигает у полевых до 1000 (≈ 30 дБ)

Высокие рабочие частоты. Вплоть до 10...30 ГГц (у БТ единицы ГГц).

для УМ мобильных телефонов выпускают транзисторы с предельно низкими напряжениями питания (вплоть до 1...2 В).

Полевые транзисторы конструктивно выполняют только для включения по схеме с общим истоком (ОИ).

УМ на полевых транзисторах.



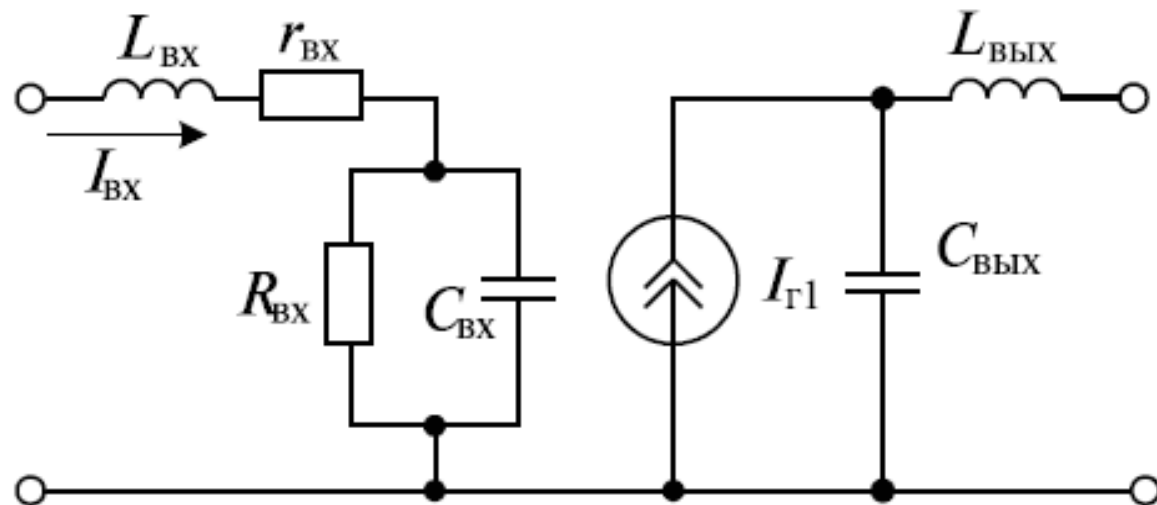
Эквивалентная электрическая схема полевого транзистора

Емкость $C_{и}(u_y)$ и сопротивление $R_{кан}(u_y)$ нелинейные

$R_{кан}(u_y) = \tau_{вх} / C_{и}(u_y)$, где $\tau_{вх} \approx 1,5 \cdot 10^{-12}$ с

до $0,5f_{гр}$, где $f_{гр} = 1/2\pi\tau_{вх}$ — по статическим ВАХ

На высоких частотах возбуждение гармонич. током на нагрузку в виде Си, как и БТ



Упрощенная эквива-
лентная схема биполярного и по-
левого транзисторов в виде одно-
направленного четырехполюсника