Частотные характеристики биполярного транзистора в схеме с общей базой

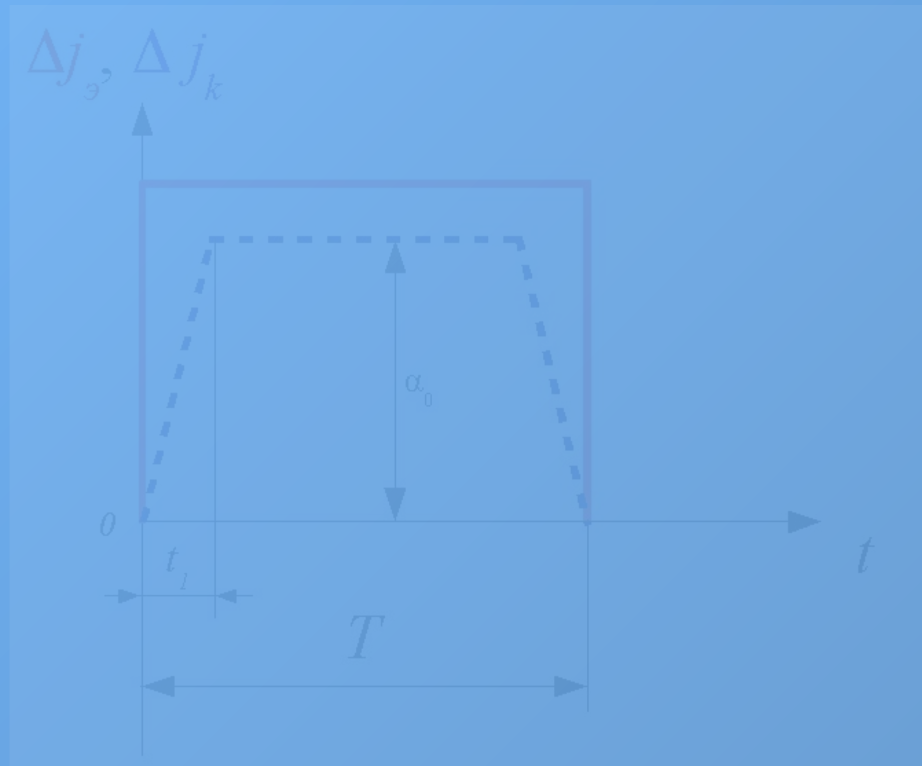
Одним из основных факторов, определяющих частотные характеристики транзистора является сравнительно медленное диффузионное перемещение инжектированных носителей от эмиттера к коллектору.

При перемещении носители достигают коллектора не ранее, чем за время диффузии носителей через базу, определяемое как

$$\tau_D = \frac{W}{\upsilon} \sim \frac{\mathrm{W} \cdot L_p}{D}$$

Такое запаздывание приводит к сдвигу фаз между током в эмиттерной и коллекторной цепи. Рассмотрим эти процессы более подробно для биполярного транзистора (БП) в схеме с общей базой.

Длительность импульса в эмиттерной цепи $T > \tau_D$



Время установления тока в коллекторной цепи

Время спада тока до 0 в коллекторной цепи

$$\tau_D + t_1$$

В обоих случаях причина – размытие фронта импульса

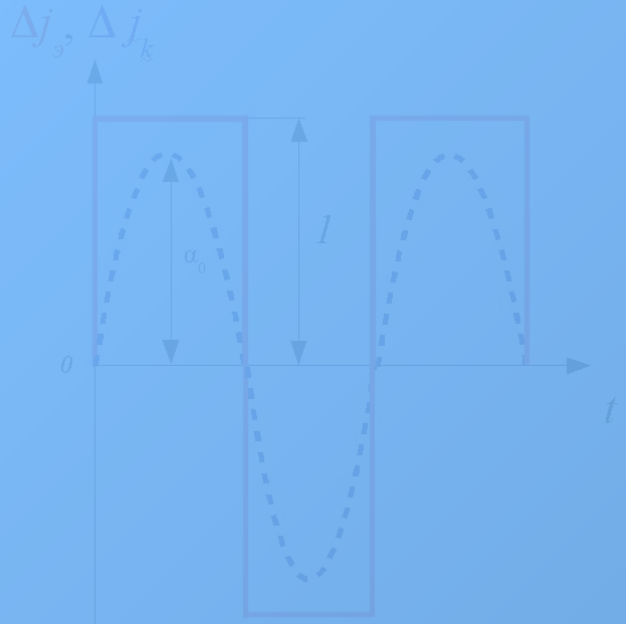
Таким образом, при больших длительностях импульсов эмиттерного тока частота сигналов в коллекторной цепи остается неизменной, амплитуда коллекторного тока составляет

$$I_к = \alpha I_э$$

Также наблюдается сдвиг фаз φ между $I_к$ и $I_э$

$$tg\varphi = \frac{\tau_D}{T} = \frac{\tau_D \omega}{2\pi}$$

Откуда $$\varphi = arctg\left(\frac{\tau_D \omega}{2\pi}\right)$$



Совместим эпюры эммитерного и коллекторного токов, сдвинув их на τ_D по оси времени. Будем увеличивать частоту переменного сигнала (или, что одно и тоже, уменьшать период эмиттерного тока).

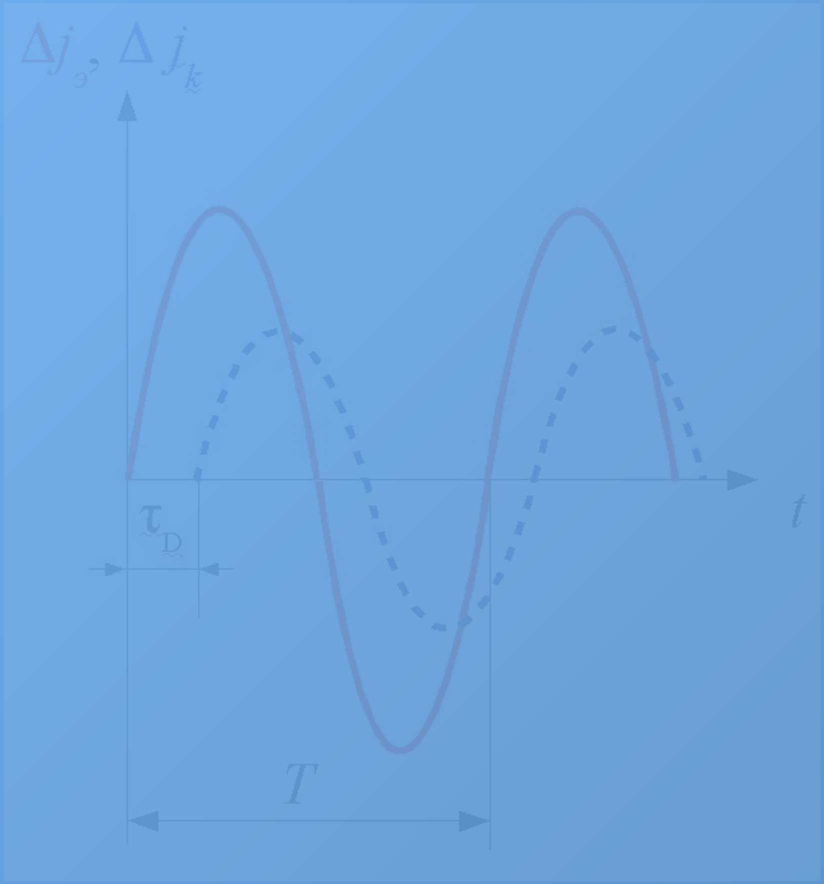
При $\frac{T}{4} > \tau_D$ “плоского участка” на эпюре коллекторного тока уже не будет; амплитуда же сохраняется прежней.

При дальнейшем уменьшении периода эмиттерного тока начнет уменьшаться амплитуда коллекторного тока, поскольку инжектированные носители не успевают дойти до коллекторного перехода.

На языке коэффициента передачи это значит, что возникла АЧ-зависимость коэффициента передачи *α(ω).*

БП в схеме с ОБ

Величина $\alpha(\omega)$ характеризует коэффициент передачи тока и определяется модулем $|\alpha|$ и фазой φ_α



Причина возникающей зависимости $\alpha(\omega)$

Инерционность переноса носителей от эмиттера к коллектору.

Предельная частота усиления по току ω_α БП с ОБ – частота входного сигнала, при которой модуль коэффициента передачи уменьшается в $\sqrt{2}$ раза по сравнению со статическим значением α_0

$$\frac{|\alpha(\omega_\alpha)|}{\alpha_0} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\alpha = \gamma \cdot \kappa$$

Основное значение в зависимости *α(ω)* играет зависимость коэффициента переноса *κ(ω)*, которая устанавливается из уравнения непрерывности:

$$\frac{dp}{dt} = -\frac{p - p_0}{\tau_p} + Dp\frac{d^2 p}{dx^2}$$

Решение уравнения непрерывности дает следующее выражение для комплексной величины коэффициента переноса:

$$\kappa(\omega) = \frac{i_к}{i_{эр}} = \frac{1}{ch\left[\sqrt{(1 \pm i\omega L_p)}\frac{W}{L_p}\right]}$$

Из полученного соотношения следует выражение для статического коэффициента передачи *к(ω = 0)*:

$$\kappa(\omega = 0) = \frac{1}{ch\dfrac{W}{L_p}} \approx 1 - \frac{1}{2}\frac{W^2}{L_p^2}$$

Путем несложных преобразований из двух предыдущий соотношений получают значение граничной частоты $\omega_\alpha = \omega_\kappa$, при которой величина *к(ω)* уменьшится в $\sqrt{2}$ раз:

$$\omega_\alpha = \frac{\sqrt{2} \cdot L_p^2}{\tau_p W^2}$$

Однако более точное решение уравнения непрерывности дает следующее выражение для предельной частоты усиления по току ω_α :

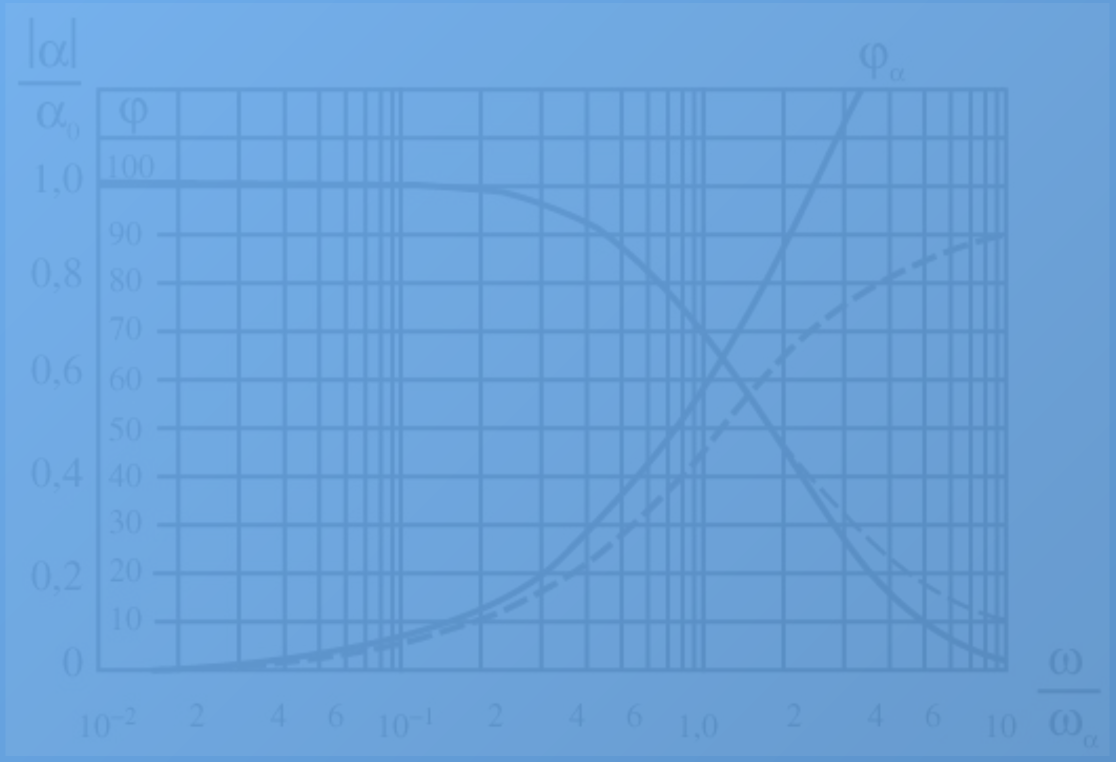
$$\omega_\alpha = \frac{G(\alpha_0) D_p}{W^2}$$, где $G(\alpha_0) \approx 2{,}53$

Конечные результаты преобразований дают выражение для коэффициента переноса:

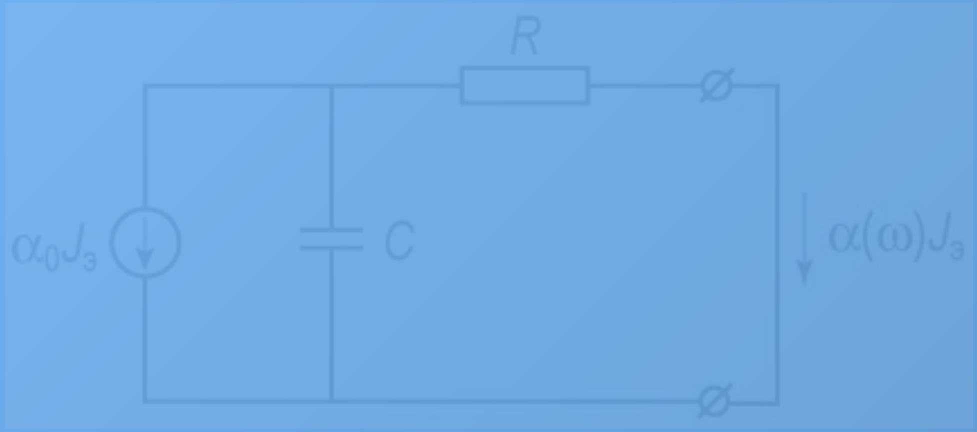
$$\kappa(\omega) = \kappa_0 - j\frac{\omega}{\omega_\alpha}G(\alpha)$$

Выражение для угла фазового сдвига φ_α в этом случае имеет вид:

$$\varphi = arctg\left(\frac{1}{2\pi}\cdot\frac{G(\alpha_0)\cdot\omega}{\omega_\alpha}\right)$$



Для представления в эквивалентных схемах амплитудной и фазочастотной зависимостей *α(ω)* используют RC-цепочку:



Если входной переменный сигнал $\alpha_0 I_э$, то ток в цепи резистора будет отображать АЧ- и ФЧ-зависимости $\alpha_0(\omega) I_э$.

Расчет показывает, что для RC-цепочки:

$$|\alpha(\omega)| = \frac{\alpha_0}{\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{\omega_\alpha}\right)^2}} \qquad tg(\varphi_\alpha) = \frac{\omega}{\omega_\alpha}$$

КОНЕЦ