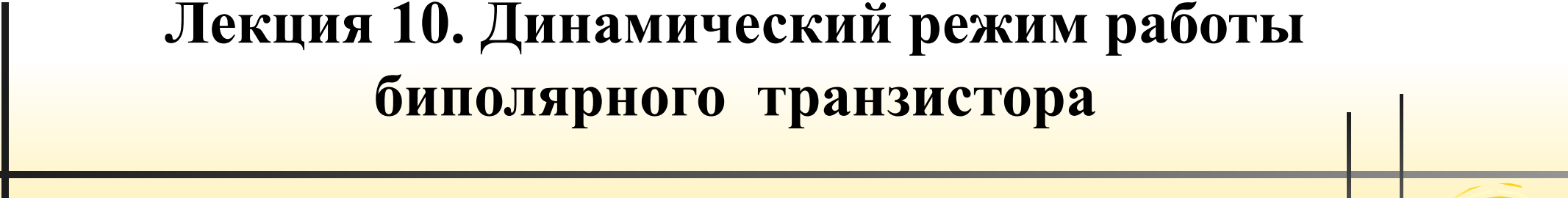

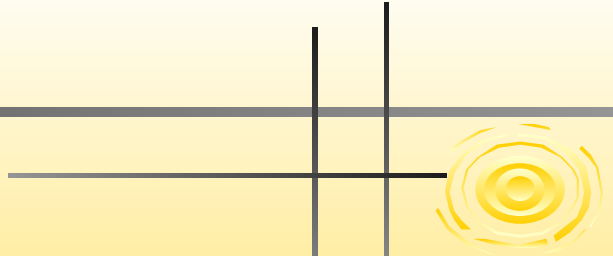




Компьютерная электроника



Лекция 10. Динамический режим работы биполярного транзистора



Динамический режим

Динамическим называется режим, при котором в выходную цепь транзистора включено сопротивление.

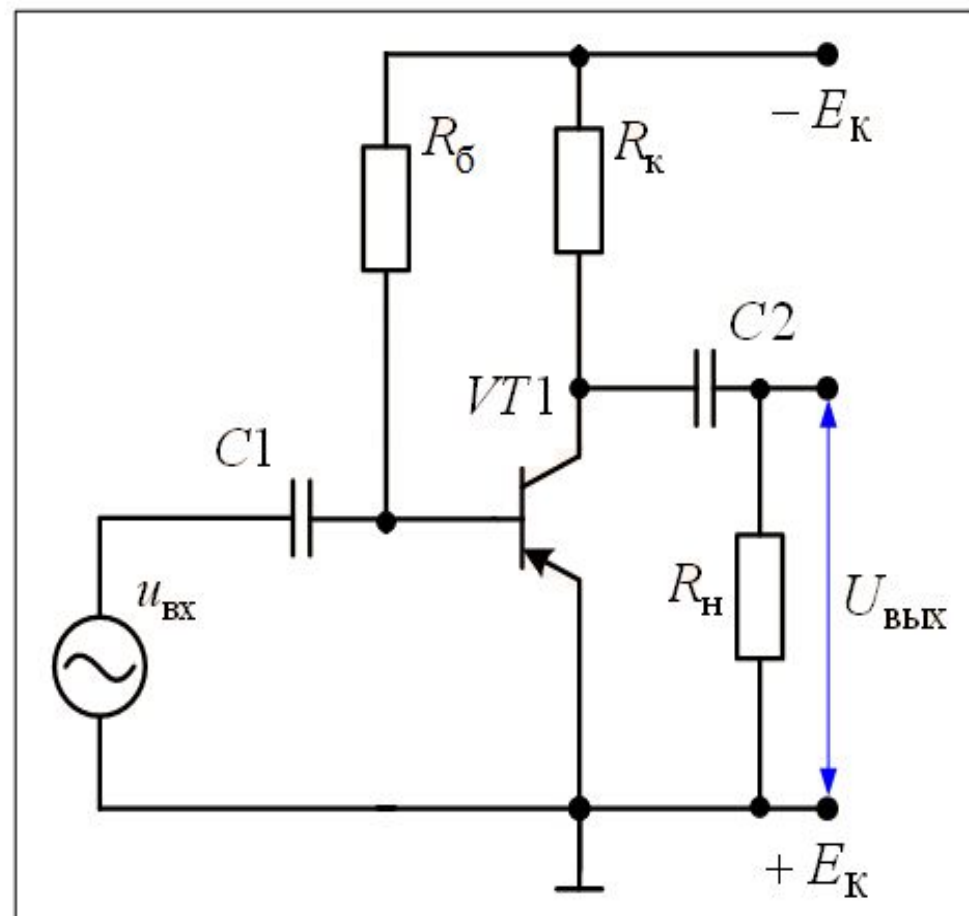
Конденсатор $C1$ предназначен:

1 для подачи усиливаемого сигнала на вход транзисторного каскада;

2 устраняет связь по постоянному току;

3 исключает шунтирование базо-эмиттерного перехода транзистора.

Токи и напряжения в каскаде определяются не только параметрами и характеристиками транзистора, но и параметрами и характеристиками примененных пассивных компонентов.



Динамический режим

Напряжение по постоянному току на коллекторе транзистора описывается соотношением:

$$U_{кэ} = E_k - I_k * R_k,$$

которое называется динамической характеристикой.

Для построения динамической характеристики рассматривают два крайних случая:

- 1 $I_k = 0$, в этом случае $U_{кэ} = E_k$;
- 2 $U_{кэ} = 0$, в этом случае $I_{k \max} = E_k / R_k$.

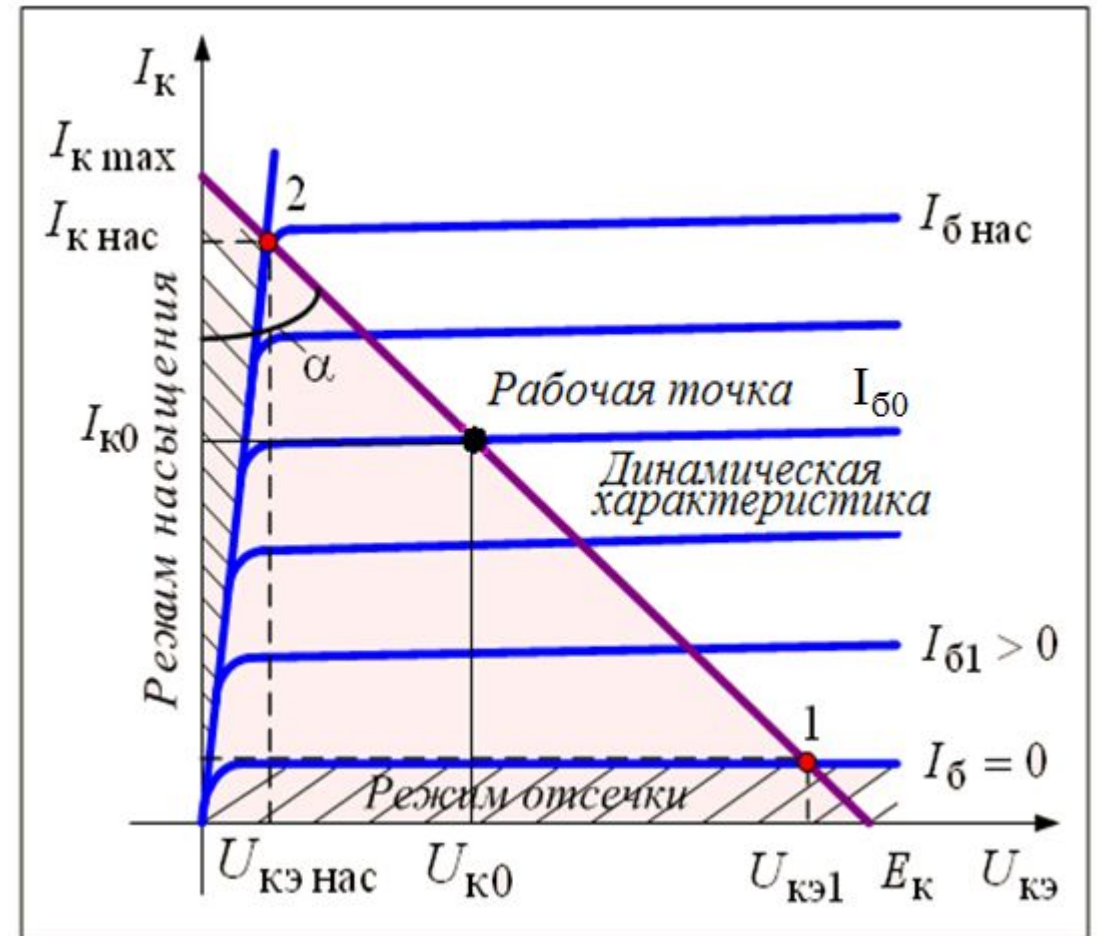
На оси абсцисс отложим отрезок, равный – напряжению источника питания коллекторной цепи, а на оси ординат - отрезок, соответствующий максимально возможному току в цепи $I_{k \max}$.

Между этими точками проведем динамическую характеристику.

Динамический режим

Из анализа статических характеристик транзистора и динамической характеристики каскада выделяют три режима работы транзистора:

- режим насыщения - оба перехода открыты, падение напряжение на транзисторе мало и равно $U_{кэ\text{ нас}}$;
- режим отсечки - оба перехода закрыты, падение напряжение на транзисторе описывается соотношением $U_{кэ\text{ отс}} = U_{кэ1} = E_k - R_k * I_{кэ0} \approx E_k$;
- активный режим - эмиттерный переход открыт, коллекторный закрыт. Каскад работает в режиме усиления электрических сигналов.



Рабочая точка транзисторного каскада

Динамическая характеристика определяет возможные соотношения между токами и напряжениями в каскаде. Для определения конкретного тока и напряжения выбирают рабочую точку.

Рабочей называется точка на динамической характеристике, которая определяет напряжение на транзисторе и ток, протекающий через него, при отсутствии входного сигнала.

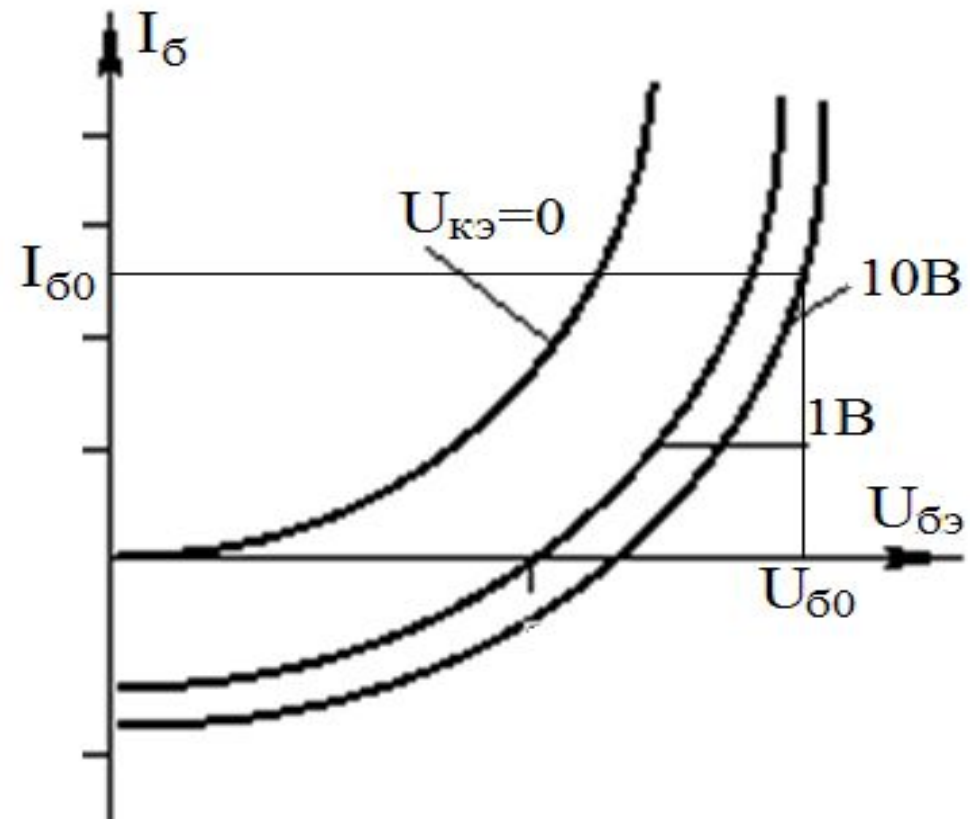
Рабочая точка характеризуется 4-мя параметрами:

$U_{к0}$, $I_{к0}$ и $I_{б0}$ - определяют по выходной динамической характеристике;

$U_{б0}$ - определяют по входной динамической характеристике.

Построение входной динамической характеристики затруднительно, поэтому для инженерных практических расчетов в качестве входной динамической характеристики принимается входная статическая характеристика при напряжении питания отличном от нуля.

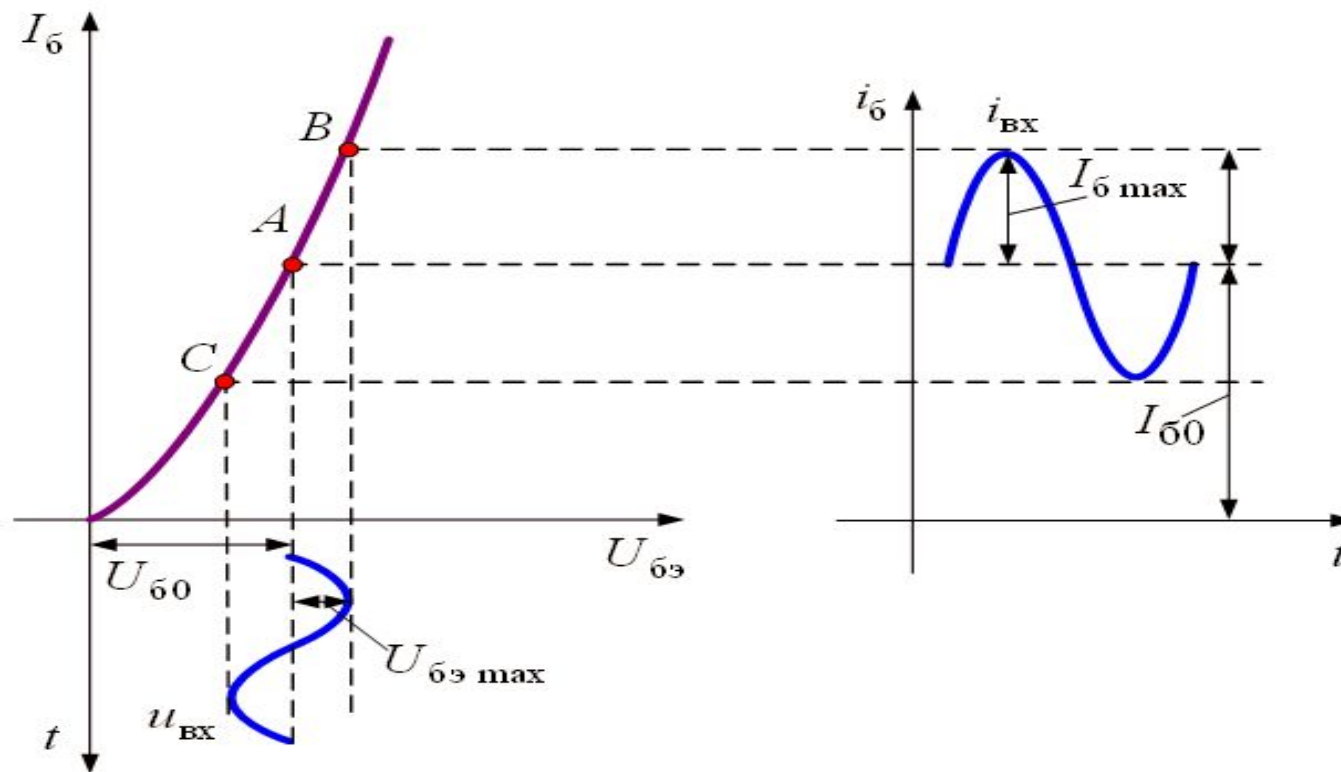
Рабочая точка транзисторного каскада



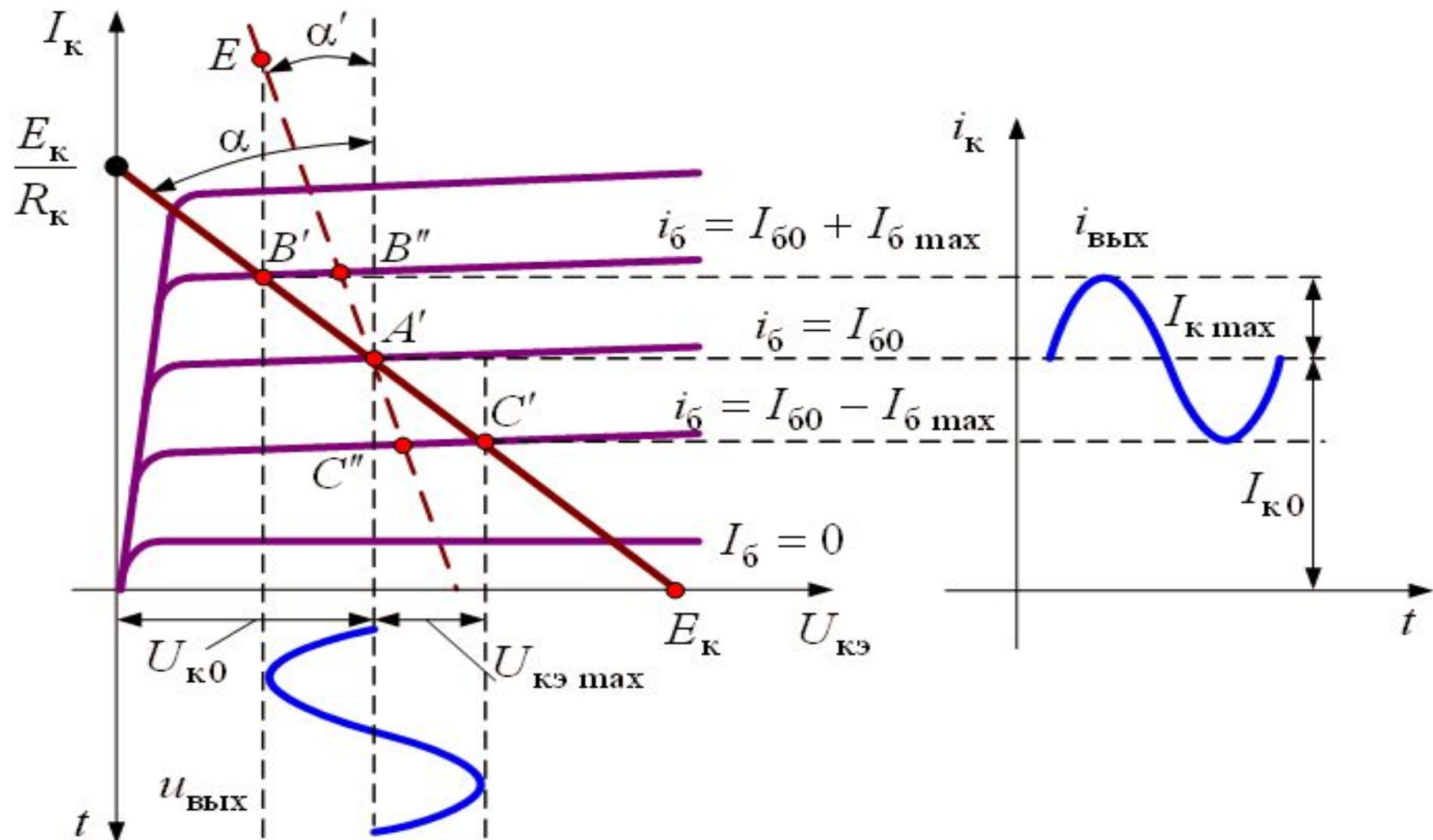
Усиление сигналов с помощью транзистора

Поясним качественно усиление электрических сигналов с помощью транзистора.

Для минимизации искажений рабочую точку выбирают в середине линейного участка входной характеристики. Тогда базовый ток будет изменяться по закону изменения входного напряжения



Усиление сигналов с помощью транзистора



Усиление сигналов с помощью транзистора

Коллекторный ток $I_k \approx \beta * I_b$, поэтому он изменяется по закону изменения базового тока. Рабочая точка по переменному току перемещается по динамической характеристике, изменяется напряжение на коллекторе транзистора. В схеме увеличению входного сигнала соответствует увеличение базового тока, а следовательно, и коллекторного тока, а выходное напряжение при этом уменьшается. Из этого следует, что в этой схеме входное и выходное напряжение изменяются в противофазе.

Переменная составляющая выходного напряжения проходит через разделительный конденсатор $C2$ и выделяется на нагрузке R_H . По постоянному и переменному току нагрузка каскада описывается соотношениями:

$$R_{\sim} = R_k; \quad R_{=} = (R_k * R_H) / (R_k + R_H),$$

поэтому динамические нагрузки по постоянному и переменному току проходят по разному.

Из анализа рисунка следует, что подключение нагрузки уменьшает амплитуду выходного сигнала.

Температурные свойства транзистора

Транзисторы в аппаратуре подвергаются нагреванию как за счет собственного тепла, выделяющегося при протекании по ним тока, так и за счет внешних источников тепла. Рассмотрим влияние температуры на параметры T-образной эквивалентной схемы:

$\beta \approx 1/(1-\alpha)$ – существенно возрастает из-за увеличения времени жизни носителей заряда при возрастании температуры;

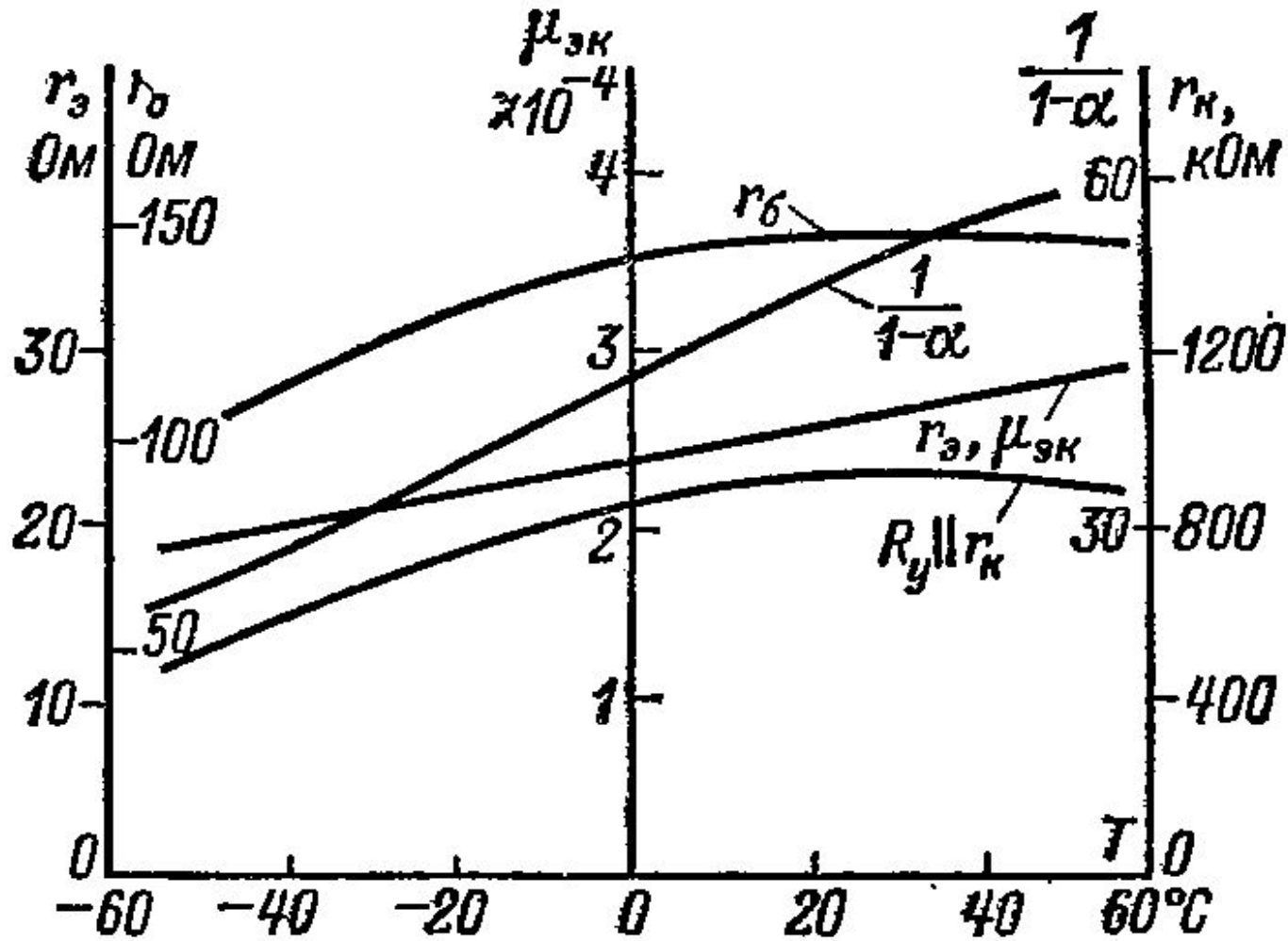
$r_{\text{э}}$ – линейно зависит от температуры, так как $r_{\text{э}} = \phi_{\text{T}}/I_{\text{э}}$, где $\phi_{\text{T}} = k \cdot T / e$ – температурный потенциал. При комнатной температуре ($T = 300\text{K}$) $\phi_{\text{T}} \approx T/11600 = 25 \text{ мВ}$;

$\mu_{\text{эк}}$ – линейно зависит от температуры через температурный потенциал;

$r_{\text{б}}$ – возрастает из-за изменения удельного сопротивления материала полупроводника;

$r_{\text{к}} \parallel R_{\text{ут}}$ – зависит, в основном, через диффузионную длину и должно возрастать при увеличении температуры. В районе комнатной температуры наблюдается спад из-за возрастания токов утечки.

Температурные свойства транзистора



Температурные свойства транзистора

Наибольшее влияние на работу транзистора оказывает увеличение обратного тока закрытого перехода при возрастании температуры, которое, как известно, описывается соотношением:

$$I_0(T) = I_0(T_0) * 2^{\Delta T/T^*}.$$

Пусть, для примера, $I_{k0} = 4$ мА, $\beta = 100$, а $I_{k\bar{b}0} = 1$ мкА, а температура изменилась на 40°C . У германиевого транзистора $T^* = 8^\circ\text{C}$. Тогда ток коллектора при повышенной температуре составит:

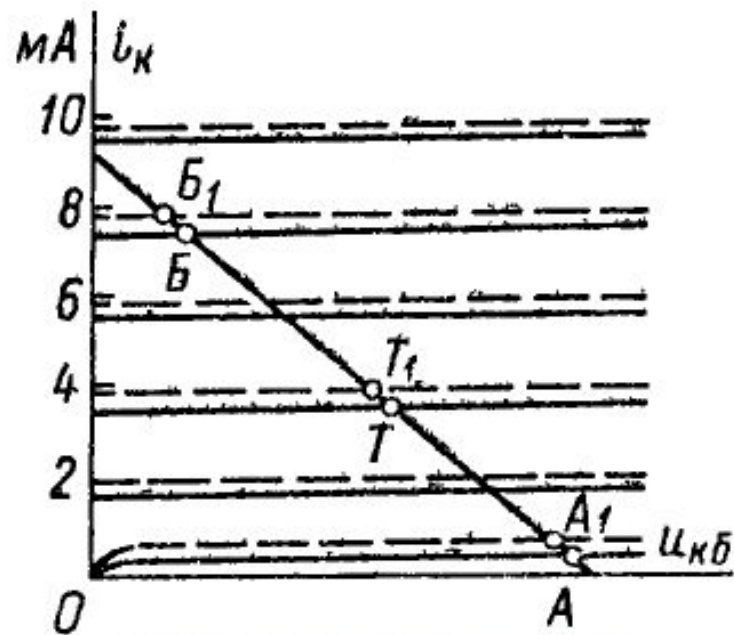
$$\text{в схеме ОБ } I_k(T) = I_{k0} + I_{k\bar{b}0}(T) = 4,032 \text{ мА};$$

$$\text{в схеме ОЭ } I_k(T) = I_{k0} + I_{k\bar{e}0}(T) = 7,2 \text{ мА}.$$

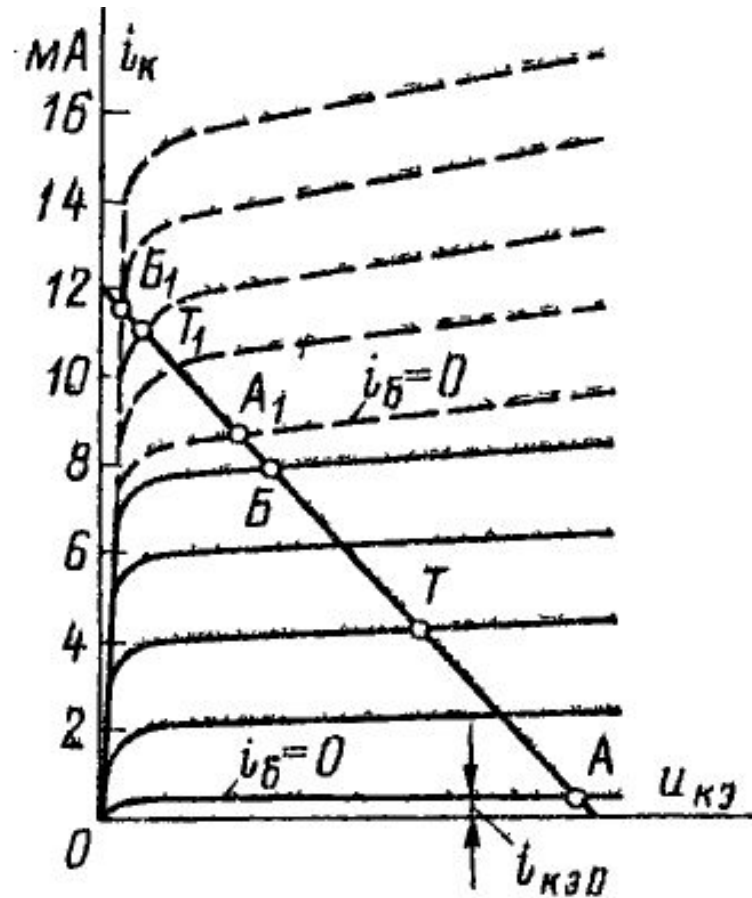
В схеме ОЭ выходные характеристики и рабочая точка существенно изменяются, что может привести к заметным искажениям усиливаемого сигнала.

Из анализа приведенного можно сделать вывод, что схема ОБ обладает заметно лучшими температурными свойствами.

Температурные свойства транзистора



Рабочая точка схемы ОБ



Рабочая точка схемы ОЭ

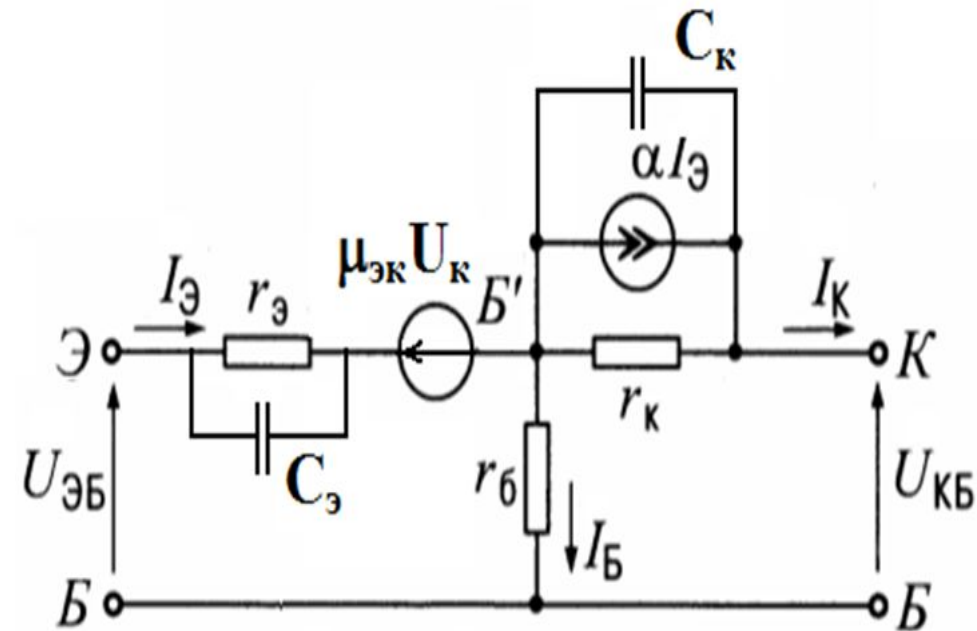
Частотные свойства транзистора

С повышением частоты усиление транзисторных каскадов снижается, главным образом, по трем причинам.

1 Шунтирующее действие барьерной емкости. С возрастанием частоты все большая часть генератора тока замыкается через барьерную емкость C_k .

2 Шунтирующее действие диффузионной емкости. С возрастанием частоты уменьшается падение напряжения на эмиттерном переходе, а ток эмиттера, как известно, зависит от этого напряжения.

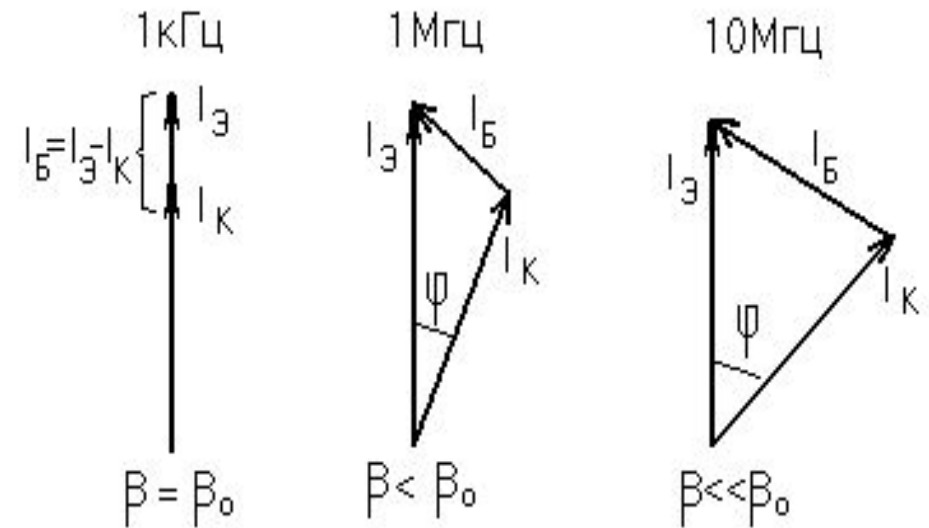
3 Инерционные свойства, приводящие к отставанию тока коллектора от тока эмиттера.



Частотные свойства транзистора

Третью причину проиллюстрируем векторными диаграммами.

На более высокой частоте запаздывание тока I_K относительно тока I_E ведет к появлению заметного сдвига фаз φ между этими токами. Теперь ток базы I_B равен геометрической разности токов I_E и I_K , вследствие чего он заметно увеличивается. Коэффициент β снижается.



Коэффициент усиления по току в схеме ОБ и ОЭ описывается соответственно соотношениями: $\alpha = I_K / I_E$ и $\beta = I_K / I_B$. Из анализа векторных диаграмм следует, что наиболее сильно возрастает базовый ток. Это позволяет сделать вывод о лучших частотных свойствах схемы ОБ.