

Лекция №8

Влияние температуры на статические характеристики БТ

Влияние температуры на положение входной характеристики схемы с ОБ при поддержании неизменным ее параметра аналогично ее влиянию на ВАХ полупроводникового диода. В нормальном активном режиме ток эмиттерного перехода можно представить формулой

$$I_{\mathcal{E}} \approx I_{\mathcal{E}0} (\exp(U_{\mathcal{E}B} / \varphi_T) - 1). \quad (8.1)$$

С ростом температуры тепловой ток $I_{\mathcal{E}0}$ растет быстрее, чем убывает экспонента из-за увеличения $\varphi_T = kT/q$. В результате противоположного влияния двух факторов входные характеристики схемы с ОБ смещаются влево при выбранном токе $I_{\mathcal{E}}$ на величину $\Delta U \approx (1...2) \text{ мВ/}^{\circ}\text{C}$ (рис. 8.1, а).

Начало входной характеристики в схеме с ОЭ определяется тепловым током коллекторного перехода $I_{\text{КБО}}$ который сильно зависит от температуры, так что начало характеристики при увеличении температуры опускается (рис. 8.1, б).

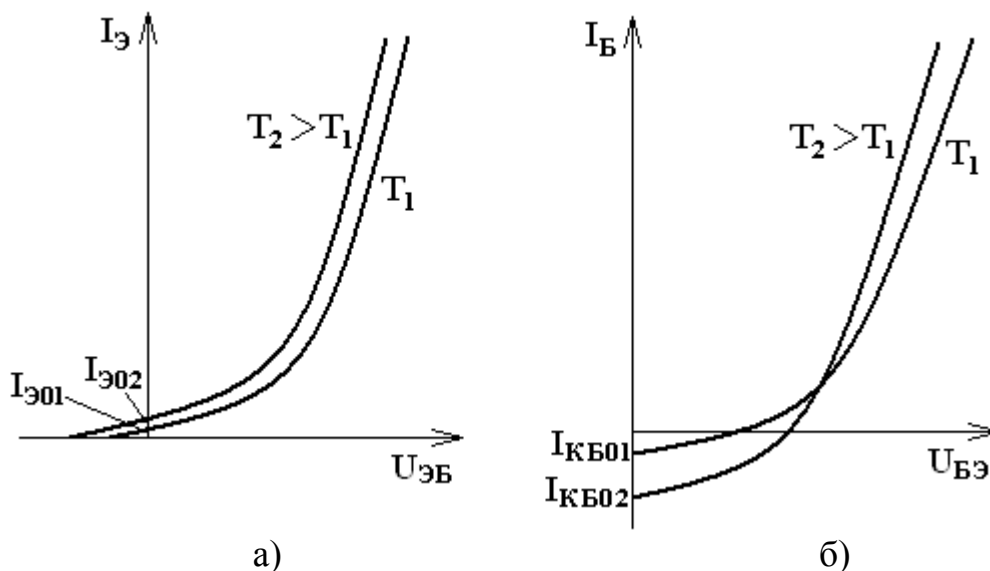


Рис.8.1 – Зависимость входных характеристик от температуры для
а) ОБ (а) и ОЭ (б)

Влияние температуры на выходные характеристики схем с ОБ и ОЭ в НАР удобно анализировать по формулам :

$$I_K = \alpha I_{\mathcal{E}} + I_{\text{КБО}} \text{ и } I_K = \beta I_B + (\beta + 1) / I_{\text{КБО}}.$$

Снятие выходных характеристик при различных температурах должно проводиться при поддержании постоянства параметров ($I_{\mathcal{E}} = \text{const}$ в схеме с ОБ и $I_B = \text{const}$ в схеме с ОЭ). Поэтому в схеме с ОБ при $I_{\mathcal{E}} = \text{const}$ рост I_K будет определяться только увеличением $I_{\text{КБО}}$ (рис. 8.2, а).

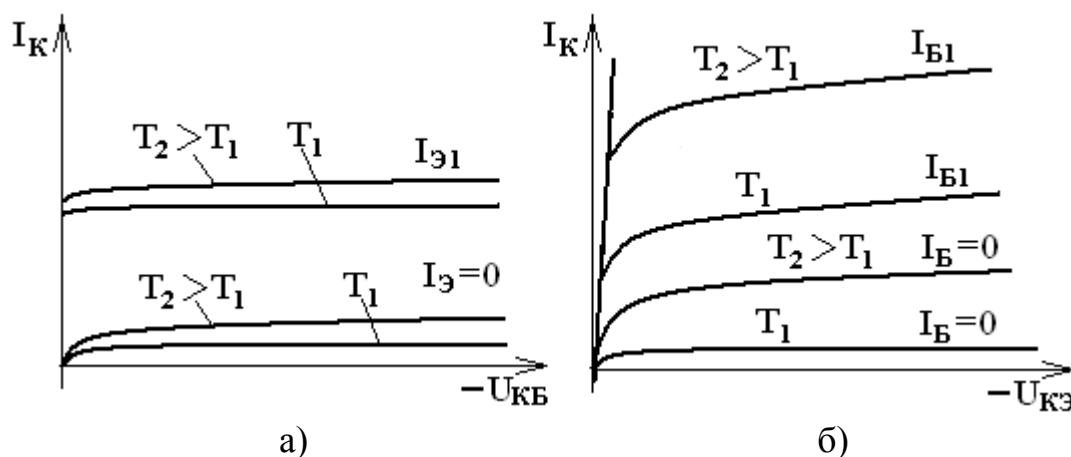


Рис.8.2 – Зависимость выходных характеристик БТ от температуры для схем очения с ОБ (а) и ОЭ (б)

Однако обычно $I_{КБО}$ значительно меньше $\alpha I_{Э}$, изменение I_K составляет доли процента и его можно не учитывать.

В схеме с ОЭ положение иное. Здесь параметром является I_B и его надо поддерживать неизменным при изменении температуры. Будем считать в первом приближении, что коэффициент передачи β не зависит от температуры. Постоянство βI_B означает, что температурная зависимость I_K будет определяться слагаемым $(\beta + 1)I_{КБО}$. Ток $I_{КБО}$ (как тепловой ток перехода) примерно удваивается при увеличении температуры на 10°C , и при $\beta \gg 1$ прирост тока $(\beta + 1)I_{КБО}$ может оказаться сравнимым с исходным значением коллекторного тока и даже превысить его.

На рис. 8.2,б показано большое смещение выходных характеристик вверх. Сильное влияние температуры на выходные характеристики в схеме с ОЭ может привести к потере работоспособности конкретных устройств, если не принять схемотехнические меры для стабилизации тока или термостатирование.

Дифференциальные параметры биполярного транзистора

Статические характеристики и их семейства наглядно связывают постоянные токи электродов с постоянными напряжениями на них. Однако часто возникает задача установить количественные связи между небольшими изменениями (дифференциалами) этих величин от их исходных значений. Эти связи характеризуют коэффициентами пропорциональности -дифференциальными параметрами.

Рассмотрим процедуру введения дифференциальных параметров БТ на примере наиболее распространенных *гибридных* (hybrid) или *h-параметров*, приводимых в справочниках по транзисторам. Для введения этой системы параметров в качестве независимых переменных при описании статического режима берут входной ток $I_{BX}=I_1$ ($I_{Э}$ или I_B) и выходное напряжение $U_{ВЫХ}=U_2$ ($U_{КБ}$ или $U_{КЭ}$, а биполярный транзистор рассматривают как 4-х полюсник (рис. 8.3).

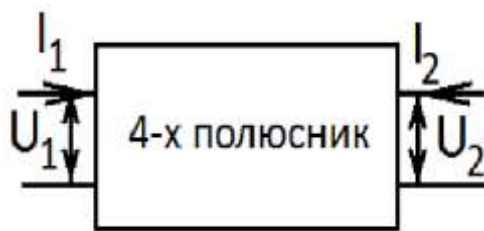


Рис. 8.3 – Биполярный транзистор как 4-х полюсник

$$\begin{cases} U_1 = f(I_1, U_2) \\ I_2 = f(I_1, U_2) \end{cases} \quad (8.2)$$

Тогда уравнение четырехполюсника можно записать в виде:

$$\begin{cases} dU_1 = \left(\frac{\partial U_1}{\partial I_1} \right) dI_1 + \left(\frac{\partial U_1}{\partial U_2} \right) dU_2 \\ dI_2 = \left(\frac{\partial I_2}{\partial I_1} \right) dI_1 + \left(\frac{\partial I_2}{\partial U_2} \right) dU_2 \end{cases} \quad (8.3)$$

Частные производные в выражениях (8.3) являются дифференциальными h -параметрами, т.е.

$$\begin{cases} dU_1 = h_{11} dI_1 + h_{12} dU_2 \\ dI_2 = h_{21} dI_1 + h_{22} dU_2 \end{cases} \quad (8.4)$$

(h_{11} – входное сопротивление, h_{12} – коэффициент обратной передачи по напряжению, h_{21} – коэффициент передачи входного тока и h_{22} – выходная проводимость). Названия и обозначения этих параметров взяты из теории четырехполюсников для переменного тока.

Для схемы с общей базой

$$\begin{cases} dU_{ЭБ} = h_{11Б} dI_Э + h_{12Б} dU_{КБ} \\ dI_К = h_{21Б} dI_Э + h_{22Б} dU_{КБ} \end{cases} \quad (8.5)$$

Эти уравнения устанавливают и способ нахождения по статическим характеристикам и метод измерения h -параметров. Полагая $dU_{КБ} = 0$, т.е. $U_{КБ} = \text{const}$, можно найти $h_{11Б}$ и $h_{21Б}$, а считая $dI_Э = 0$, т.е. $I_Э = \text{const}$. Можно определить $h_{12Б}$ и $h_{22Б}$.

Аналогично для схемы с общим эмиттером можно переписать (8.3) в виде:

$$\begin{cases} dU_{БЭ} = h_{11Э} dI_Б + h_{12Э} dU_{КЭ} \\ dI_К = h_{21Э} dI_Б + h_{22Э} dU_{КЭ} \end{cases} \quad (8.6)$$

Приращения статических величин в нашем случае имитируют переменные токи и напряжения.

Для расчета низкочастотных устройств h -параметры можно определить по характеристикам транзистора. На рисунке 8.4 показано, каким образом можно определить $h_{11Э}$ по входным характеристикам.

$$h_{11Э} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{\Delta I_Б} \Big|_{U_{КЭ} = \text{const}} \quad (8.7)$$

Из рисунка видно, что параметр меняется в зависимости от положения рабочей точки. Зависимость этого параметра от тока базы приведена на рисунке 8.5.

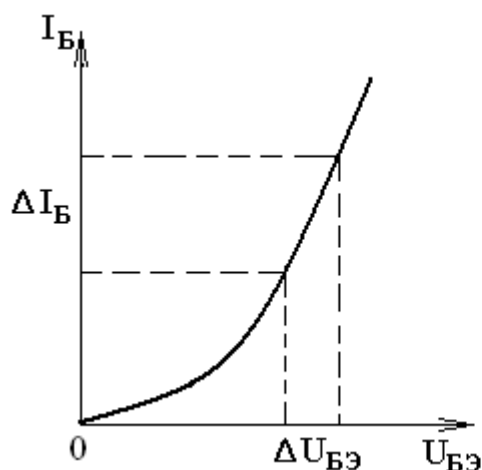


Рис. 8.4 – Определение параметра $h_{11э}$

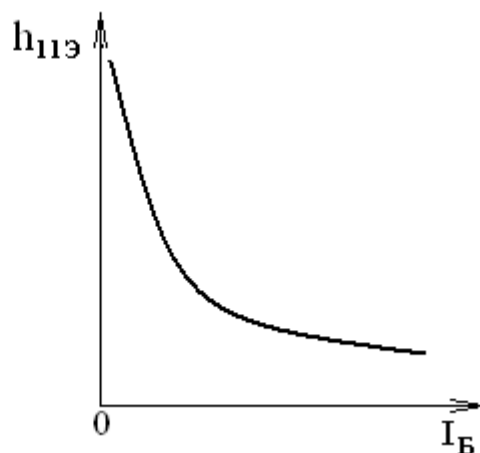


Рис. 8.5 – Зависимость параметра $h_{11э}$ от тока базы

На рисунке 8.6 показано определение параметра $h_{21э}$ по выходным характеристикам.

$$h_{21э} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} | U_{KЭ} = const \quad (8.8)$$

Зависимость этого параметра от тока базы приведена на рисунке 8.7.

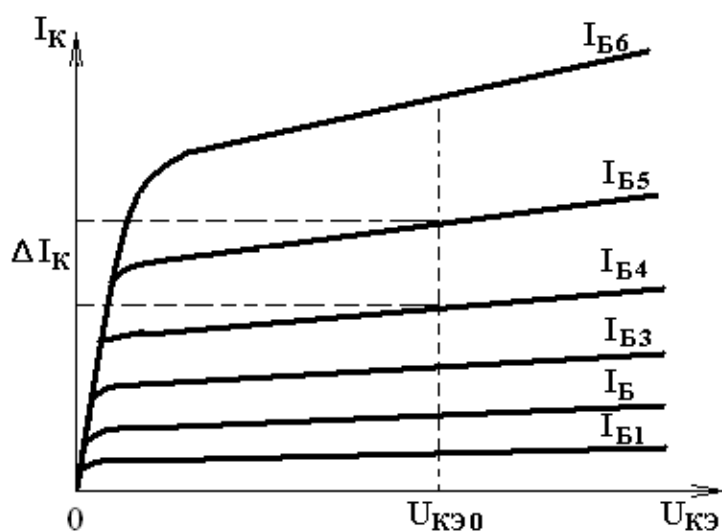


Рис. 8.6 – Определение параметра $h_{21э}$

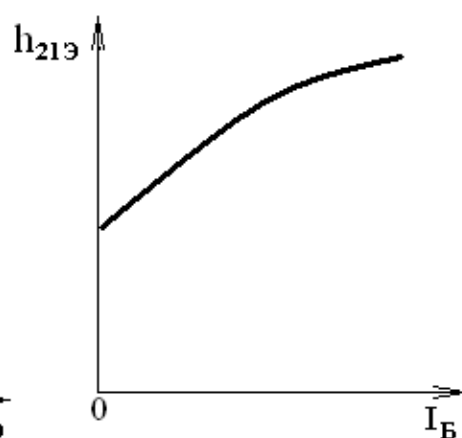


Рис. 8.7 Зависимость параметра $h_{21э}$ от тока базы

На рисунке 8.8 показано определение параметра $h_{22э}$ по выходным характеристикам.

$$h_{22э} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{KЭ}} | I_B = const \quad (8.9)$$

Зависимость этого параметра от тока базы приведена на рисунке 8.9.

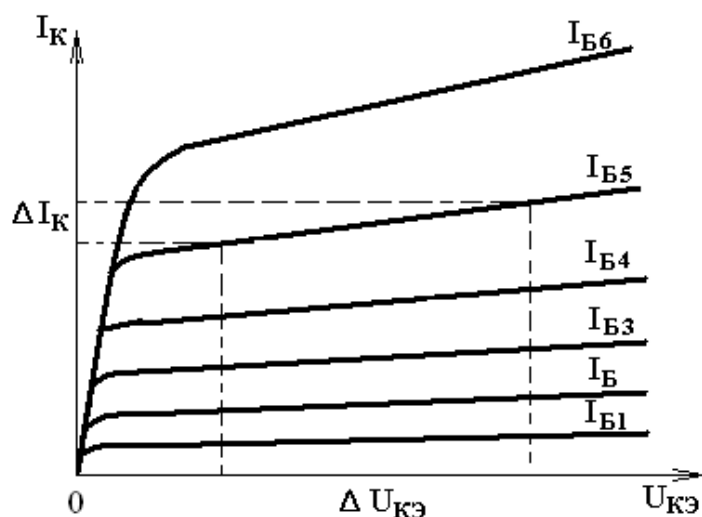


Рис. 8.8 – Определение параметра $h_{22Э}$

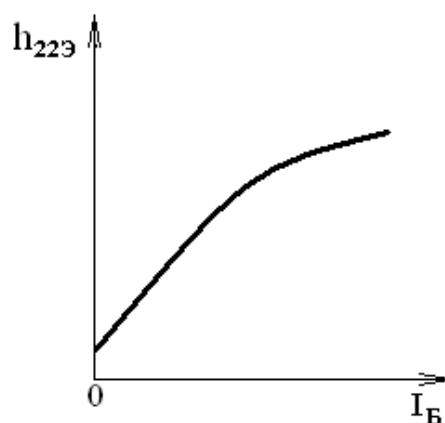


Рис. 8.9 – Зависимость параметра $h_{22Э}$ от тока базы

На рисунке 8.10 показано определение параметра $h_{12Э}$ по входным характеристикам.

$$h_{12Э} = \frac{\Delta U_{БЭ}}{U_{КЭ2} - U_{КЭ1}} | I_Б = const \quad (8.10)$$

Зависимость этого параметра от тока базы приведена на рисунке 8.11.

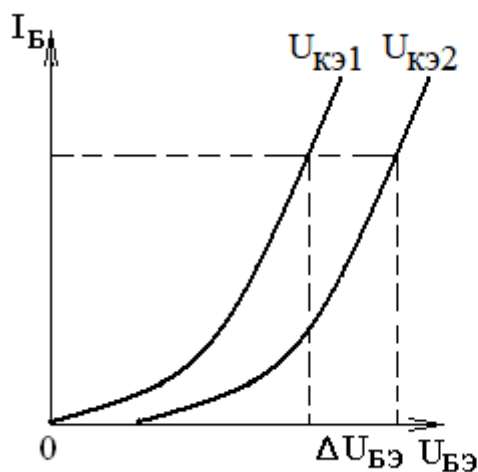


Рис. 8.10 – Определение параметра $h_{12Э}$

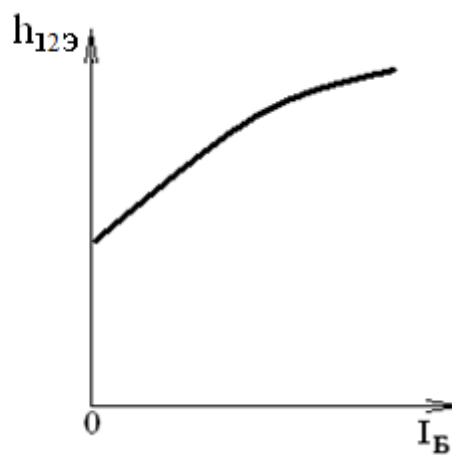


Рис. 8.11 – Зависимость параметра $h_{12Э}$ от тока базы