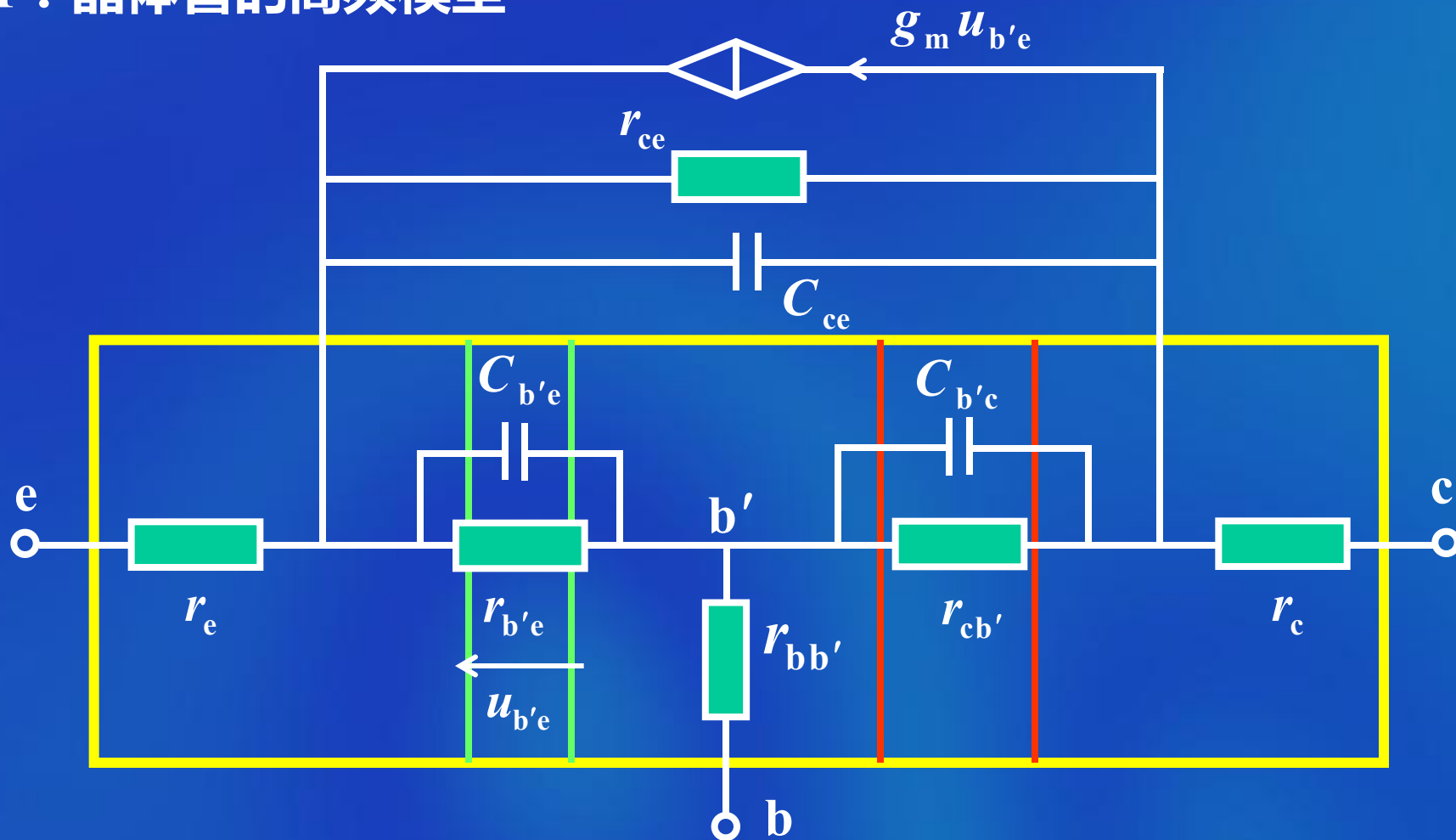


5.2 晶体管的高频特性

1. 晶体管的高频模型

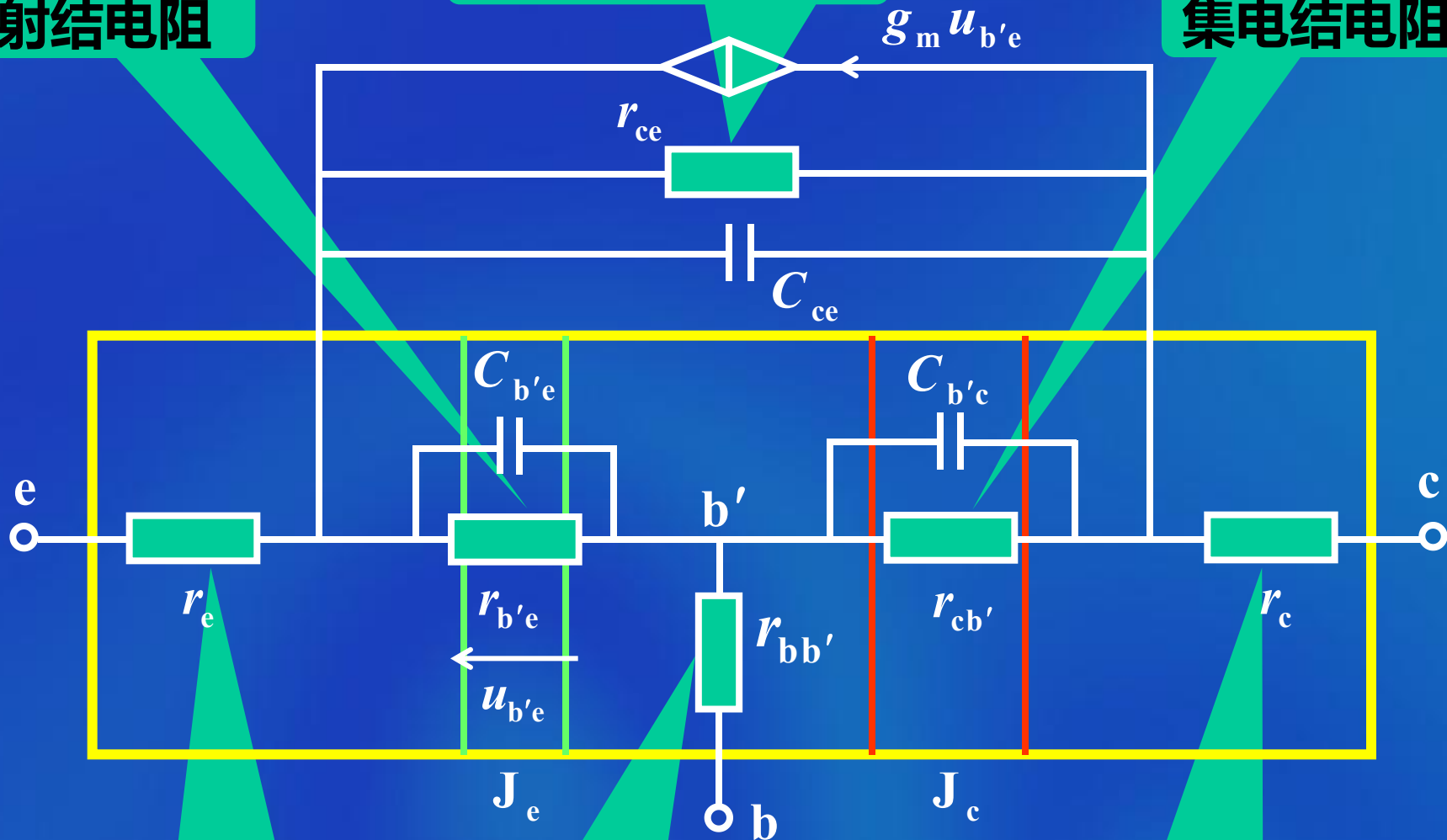
晶体管结构示意图



C、E极间电阻

发射结电阻

集电结电阻



发射区体电阻

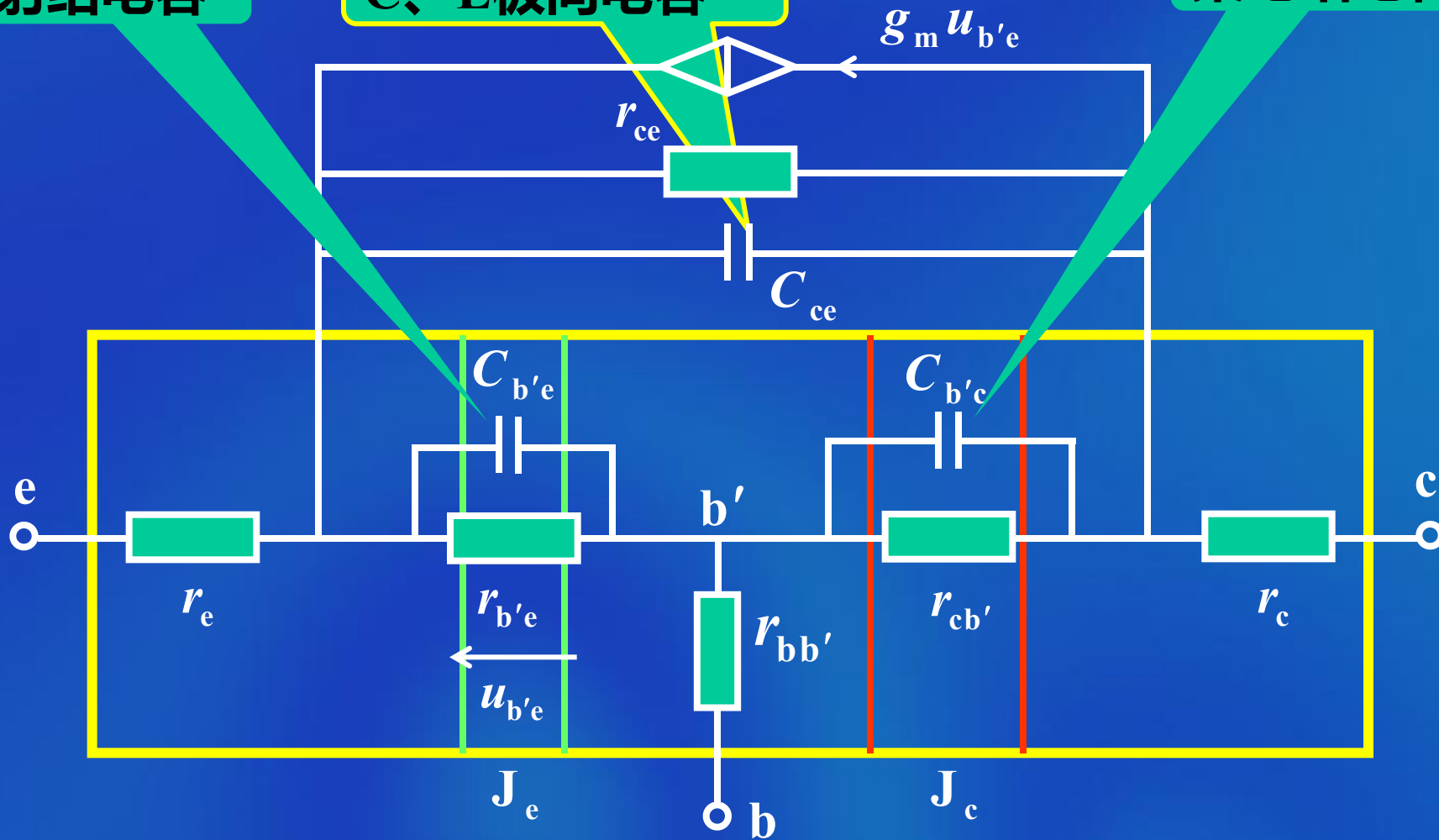
基区体电阻

集电区体电阻

发射结电容

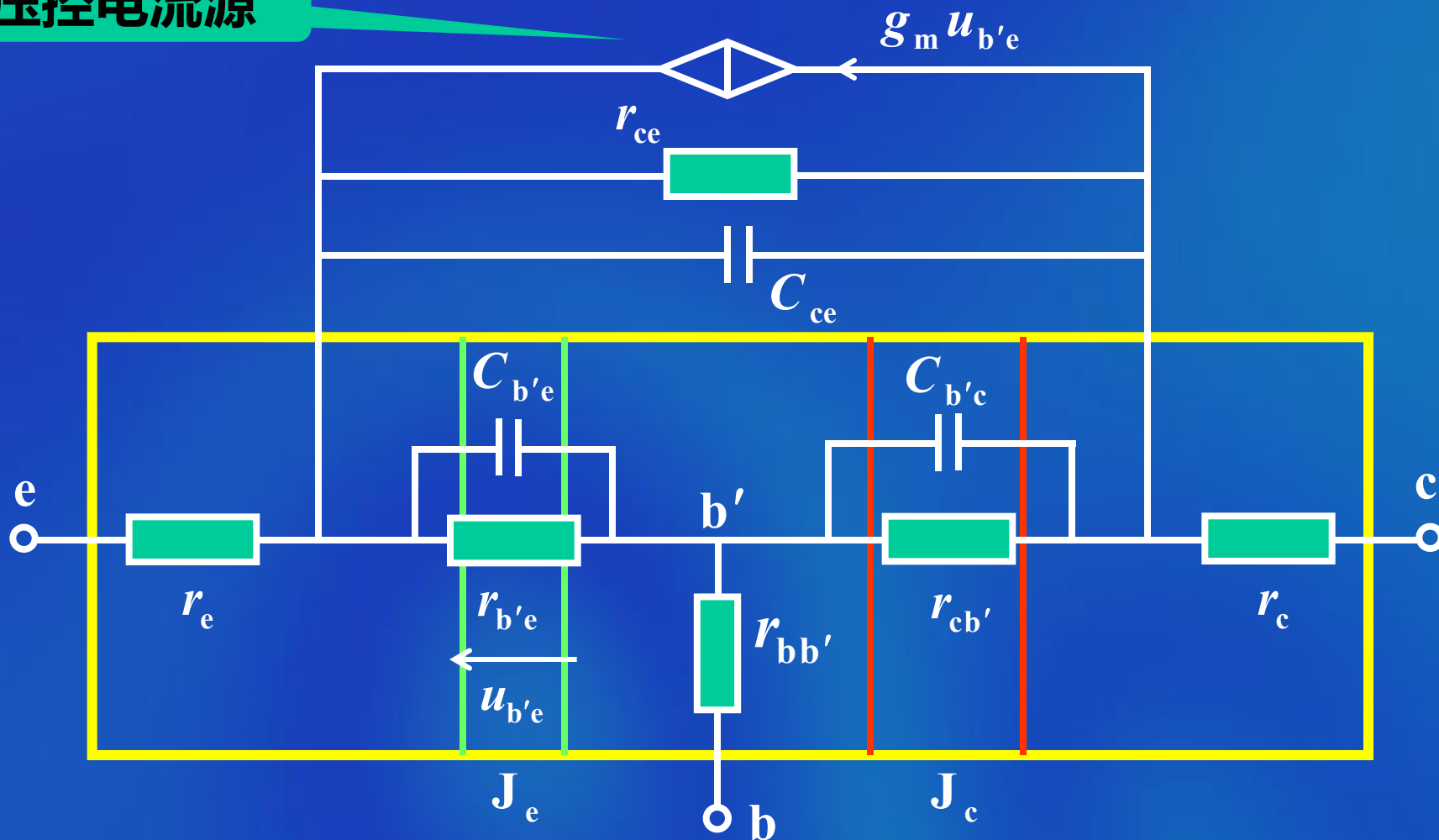
C、E极间电容

集电结电容

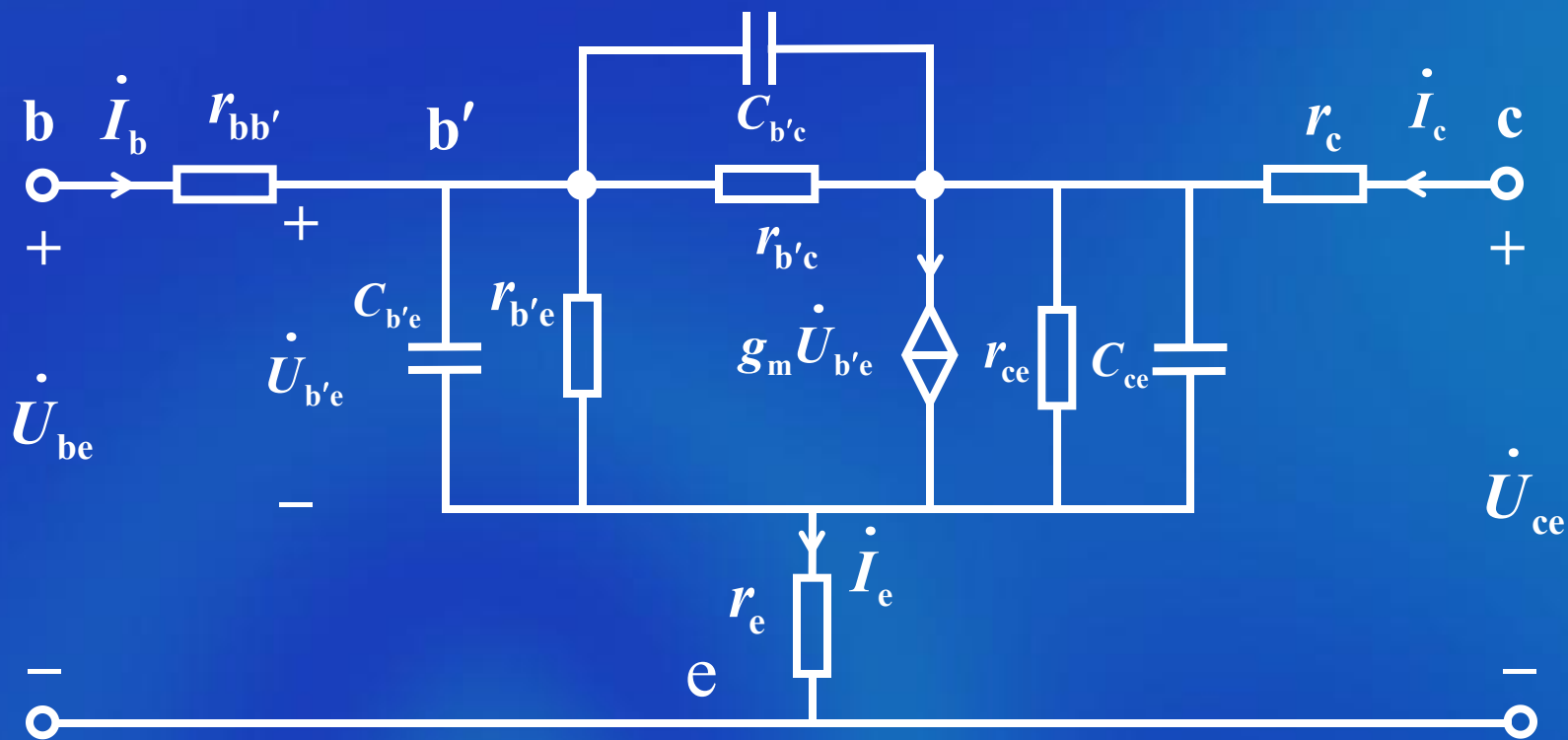


集电极电流将与发射结电阻两端的电压成正比

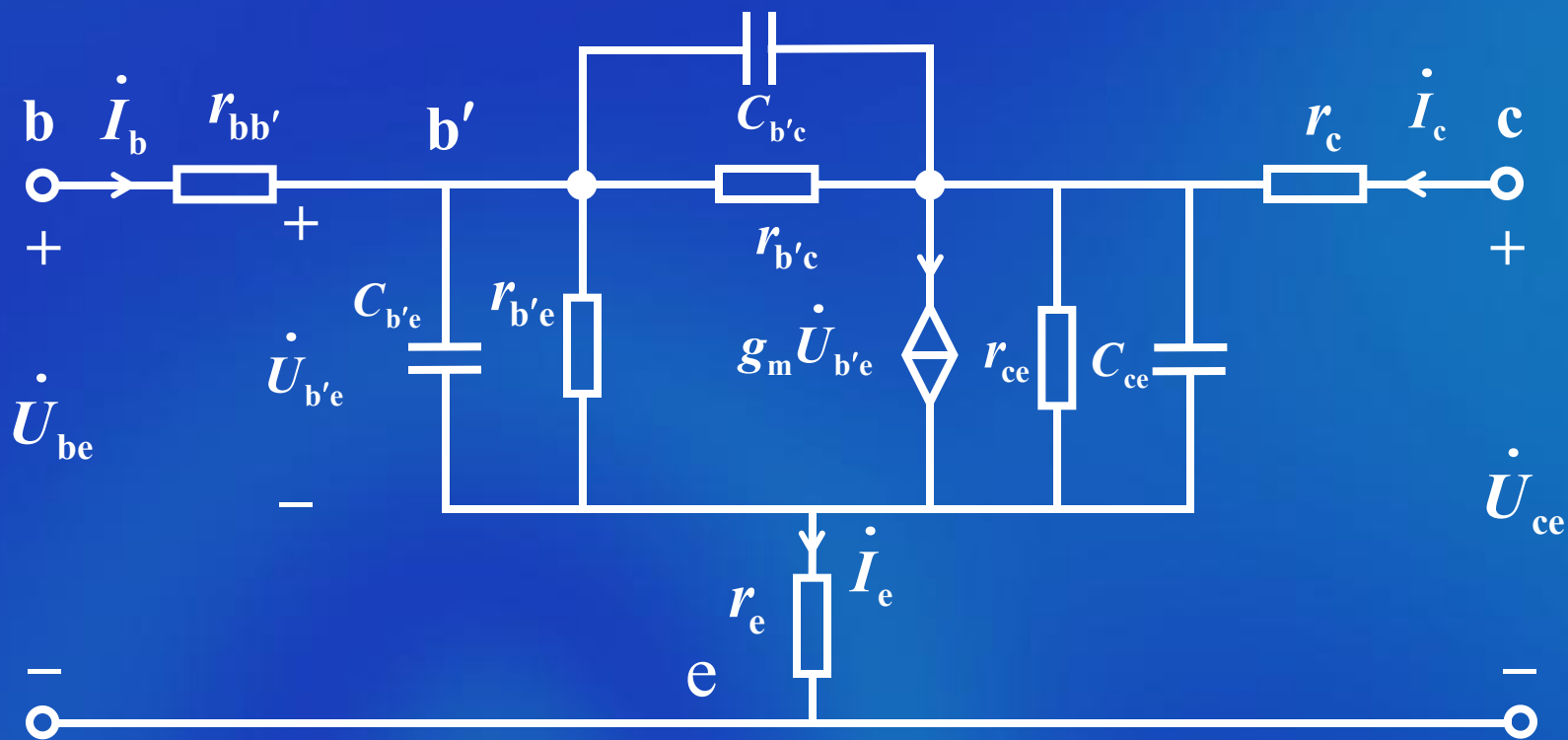
压控电流源



电路模型

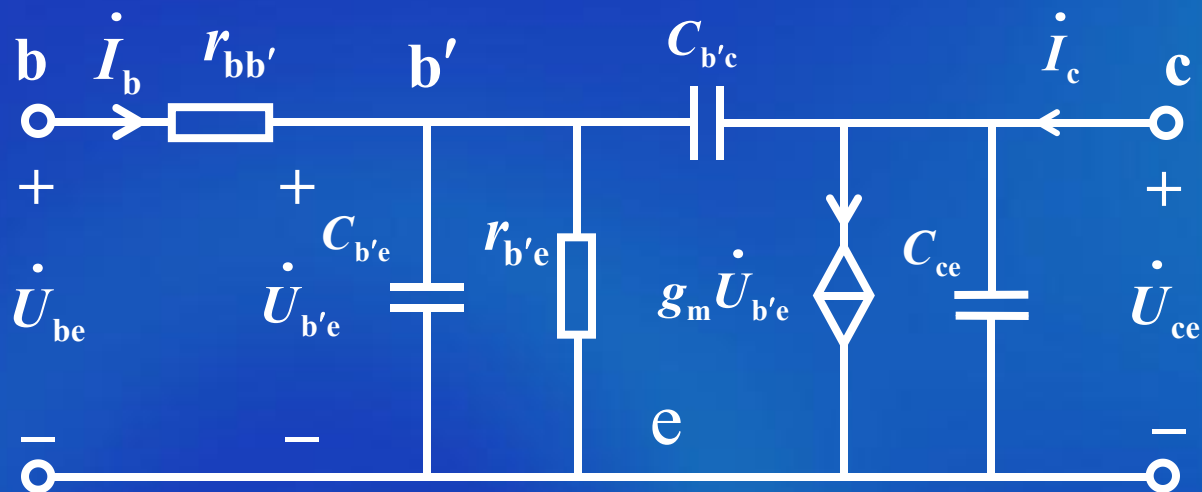


晶体管混合 π 型等效模型

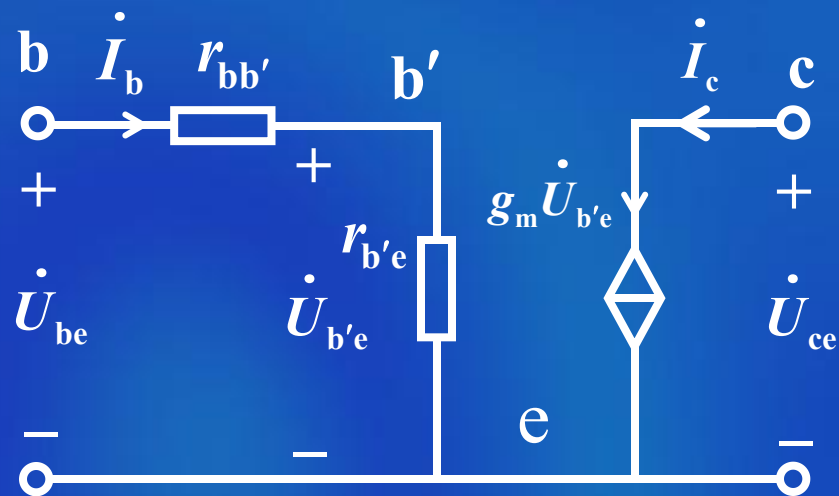
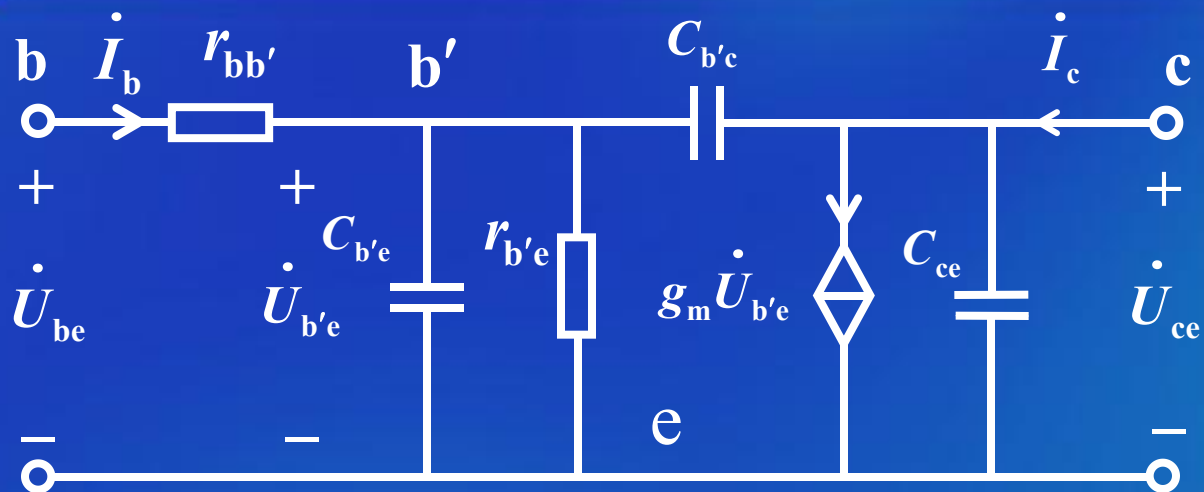


通常 r_e 、 r_c 很小， r_{ce} 、 $r_{b'c}$ 很大，均可以忽略。

简化的混合 π 型等效模型

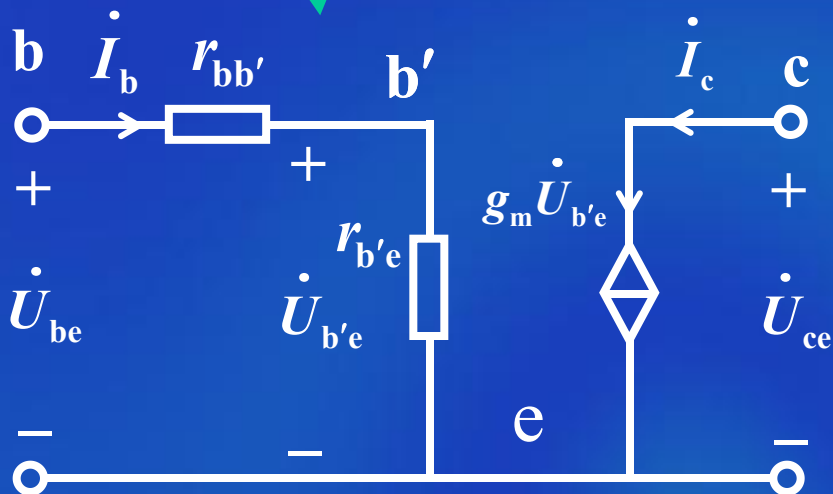


低频混合 π 型等效电路

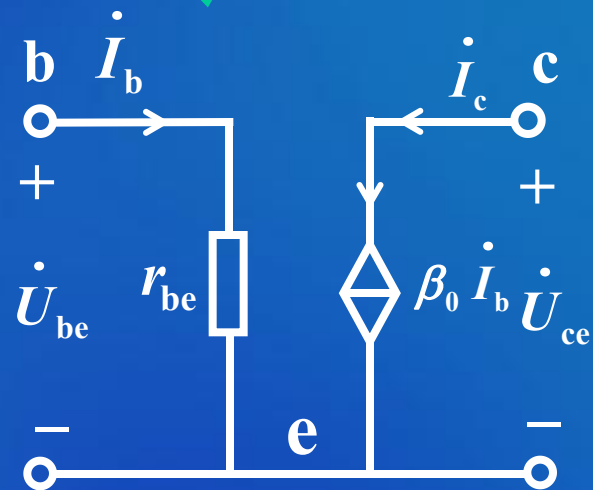


晶体管混合 π 型低频等效电路与微变等效电路的关系

低频等效电路

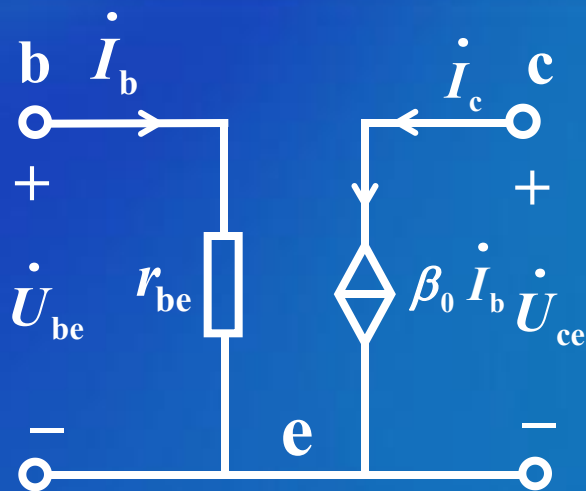
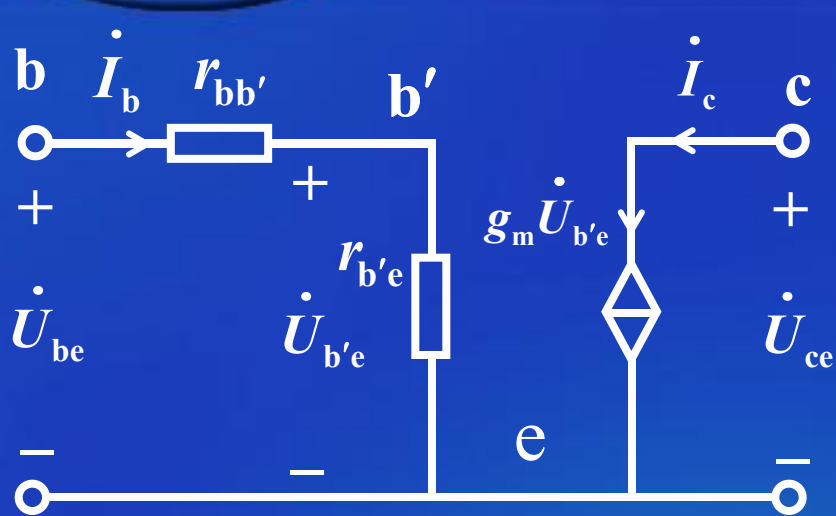


微变等效电路



两者等效





两者等效

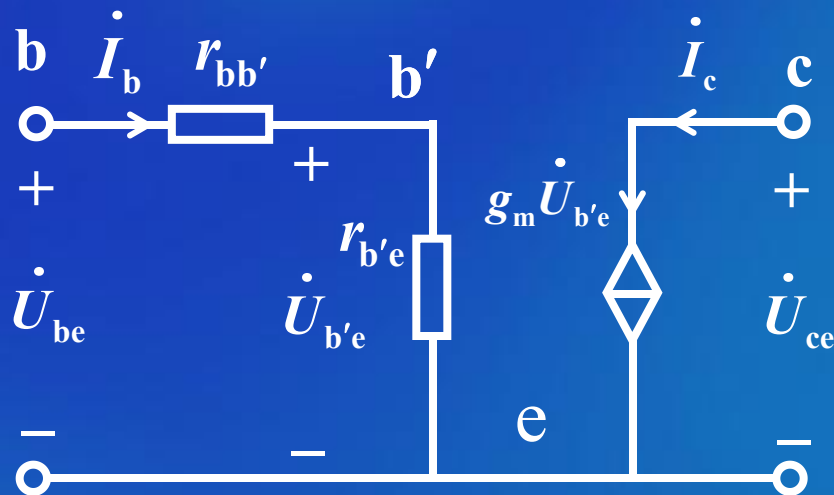
故有

$$r_{be} = r_{bb'} + r_{b'e}$$

$$\beta_0 = g_m r_{b'e}$$

其中 β_0 为晶体管**低频**电流放大系数

g_m 的物理意义：

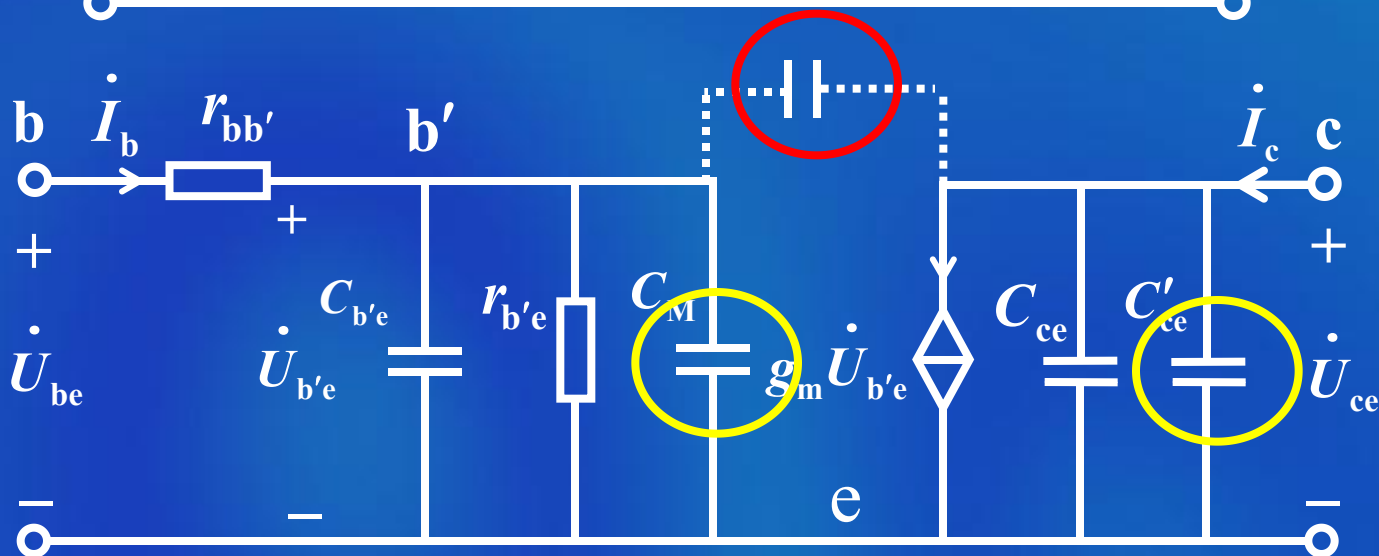
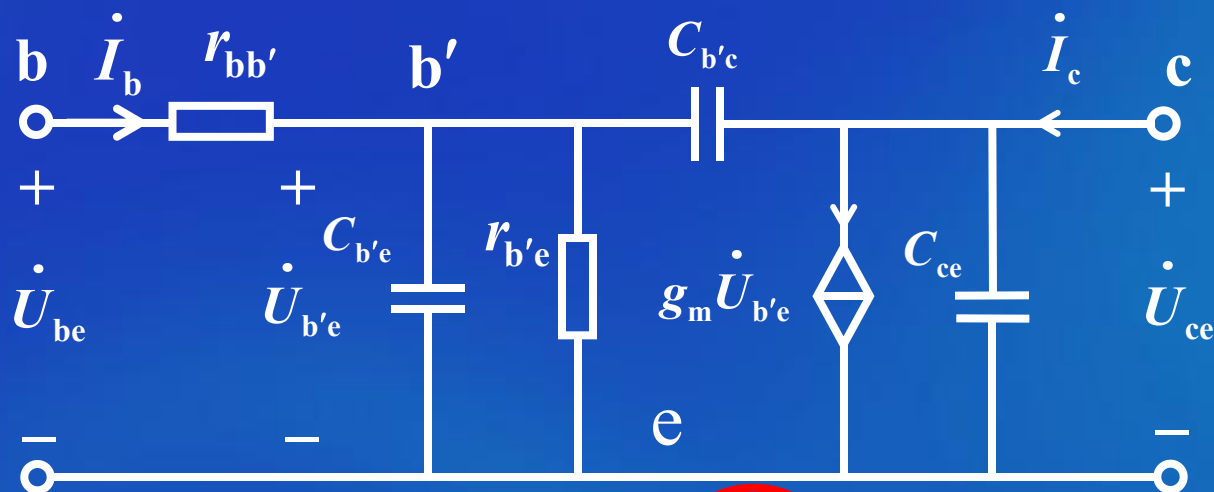


表示晶体管的发射结电压 $\dot{U}_{b'e}$ 对管子集电极电流 \dot{I}_c 的控制能力，称为跨导。

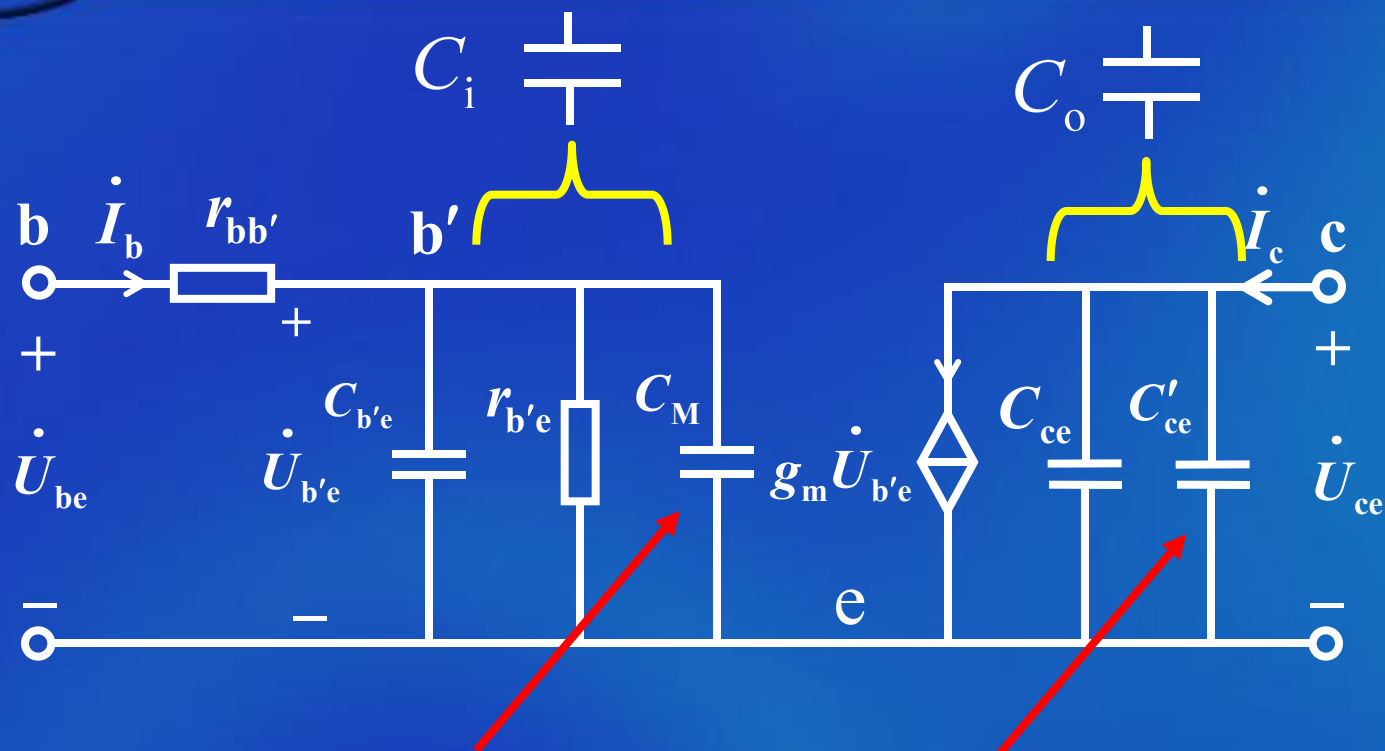
定义：

$$g_m = \left. \frac{di_C}{du_{B'E}} \right|_{u_{CE}=\text{常数}}$$

晶体管混合 π 型电路的密勒等效电路



密勒等效电路



图中

$$C_M = C_{b'e} (1 - \dot{A})$$

$$C'_{ce} = C_{b'e} \left[1 - \frac{1}{\dot{A}} \right]$$

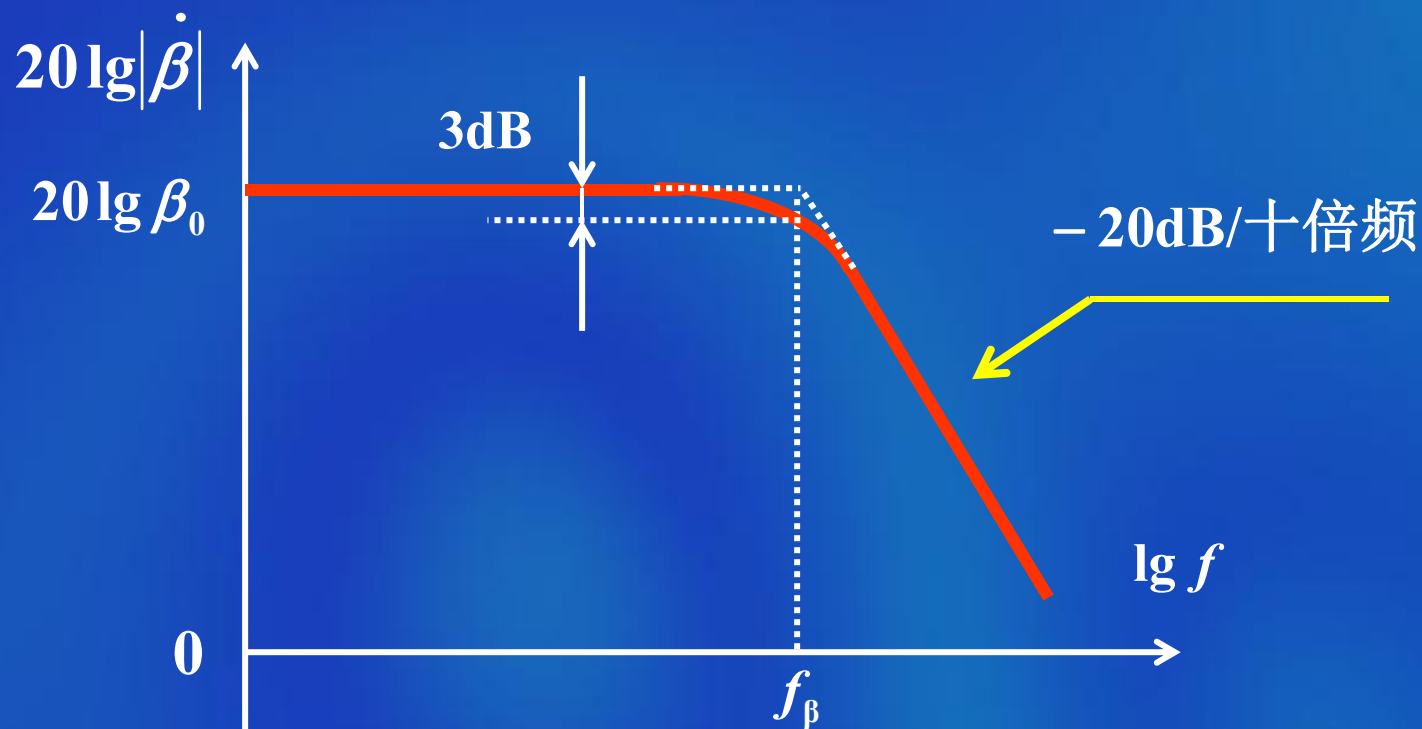
式中

$$\dot{A} = \frac{\dot{U}_{ce}}{\dot{U}_{b'e}} \approx \frac{U_{ce}}{U_{b'e}}$$

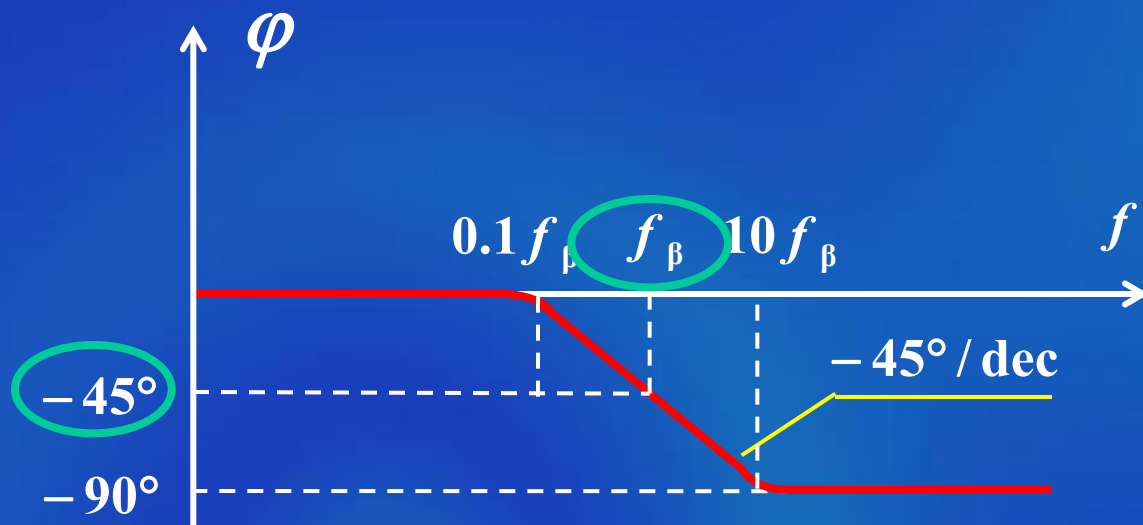
2. 晶体管的高频特性和高频参数

(1) 晶体管电流放大倍数 $\beta = \dot{\beta}(f)$

实际的幅频曲线



β 的相频特性



(2) 晶体管特征频率 f_T

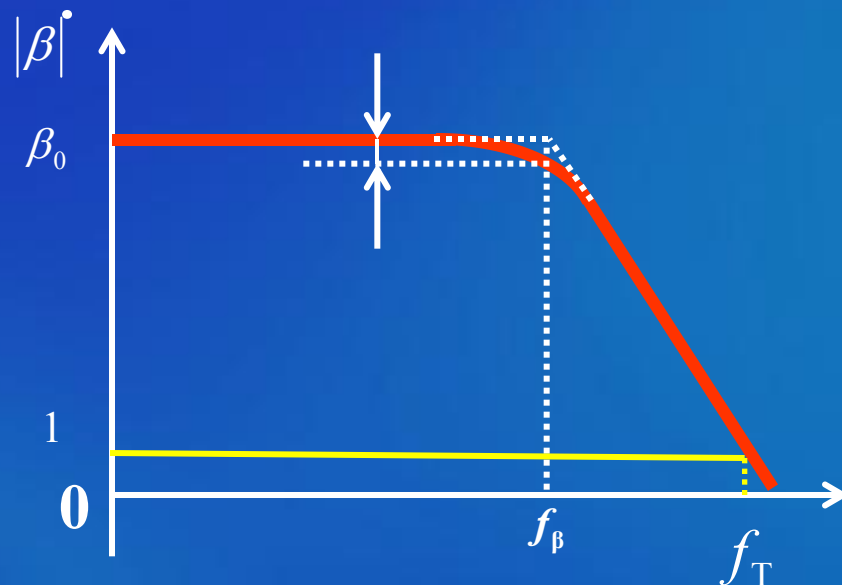
定义

当 $f=f_T$ 时, $|\dot{\beta}|=1$

$$1 = \frac{\beta_0}{\sqrt{1 + [f_T/f_\beta]^2}}$$

由于 $f_T \gg f_\beta$ f_β 和 f_T 都与晶体管的静态工作点有关

故 $f_T \approx \beta_0 f_\beta$ f_T 是衡量晶体管高频特性的最常用指标



(3) 晶体管电流放大倍数 $\alpha = \dot{\alpha}(f)$

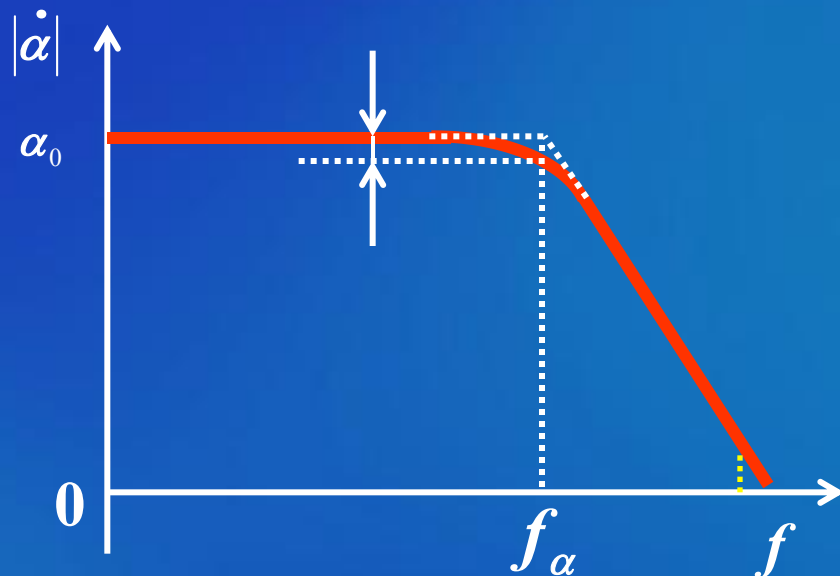
可以证明

$$\dot{\alpha} = \frac{\alpha_0}{1 + \mathrm{j} f / f_{\alpha}}$$

式中

α_0 ——晶体管共基极低频电流放大系数

f_{α} ——晶体管共基极截止频率



由 α 与 β 的关系 $\alpha = \frac{\dot{\beta}}{1 + \dot{\beta}}$

将 $\dot{\beta} = \frac{\beta_0}{1 + j f / f_\beta}$ 代入上式

得晶体管共基极截止频率

$$f_\alpha = (1 + \beta_0) f_\beta$$

通常将 $f_\alpha > 3\text{MHz}$ 的晶体管称为高频管

将 $f_\alpha < 3\text{MHz}$ 的晶体管称为低频管