

晶体三极管模型

埃伯斯-摩尔模型

不怎么用

等效电路模型

大信号等效电路

三种组态：

共基组态：只有 B 接高电压， E 接低电压，才能工作。

共发组态： B 端为输入， C 端为输出， $I_B + I_C = I_E$ ，主要用于电路放大，是最常用的组态

共集电极：

判断组态：分析交流小信号，谁接地就是什么组态

三种工作模式

工作模式与三极管的组态没有关联，只与在三极管上加的电压有关。

1.放大模式：

$$I_C = \beta I_B$$

2.饱和模式：两个结均正偏，失去正向受控作用，将两个结等效为两个导通电压，且

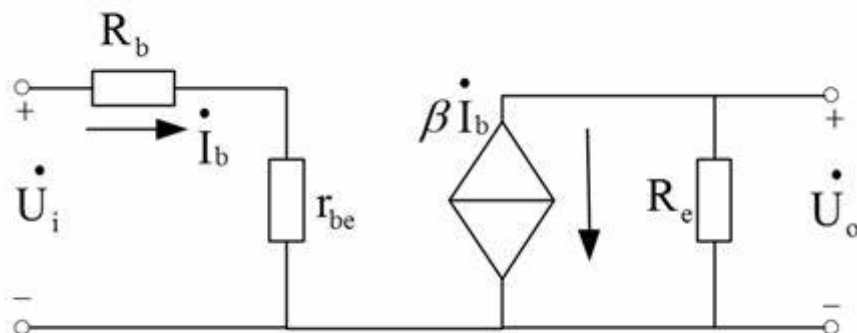
$$V_{BE(sat)} = 0.7V \quad V_{CE(sat)} = 0.3V$$

3.截止模式： be 和 ce 都开路， $I_B = 0$ ， $I_C = 0$

小信号等效电路

小信号等效电路只学共发组态、放大模式下的等效电路

分析小信号要把 V_{CC} 接地，电容短路



<http://blog.csdn.net/wm1975>

三极管基极和发射极之间是一只等效二极管，根据二极管小信号等效模型，可以等效为一只线性电阻，记为 r_{be} ，由二极管计算肖特基电阻的公式可得：

$$r_{be} = (1 + \beta) \frac{V_T}{I_{EQ}} = (1 + \beta)r_e$$

这就是三极管的输入电阻。其中 $r_e = \frac{V_T}{I_{EQ}}$ 为基极和发射极之间真实存在的肖特基电阻。

同时，对于小信号，

$$i_c = \beta i_b$$

考虑基区的体电阻，将 r_{be} 写成 $r_{b'e}$ ，从基极到发射极就应该有两个电阻，基区体电阻 $r_{bb'}$ 和肖特基电阻 $r_{b'e}$ ，基区体电阻较小，约几十欧，通常不考虑，如果要考虑， $r_{bb'}$ 是已知的，因为它与工艺有关。

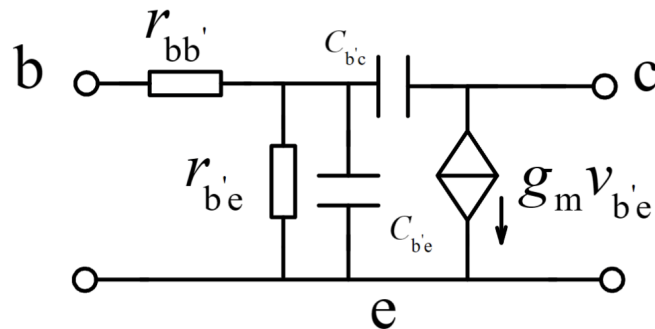
$i_c = g_m v_{b'e}$ ，其中， $v_{b'e}$ 是输入端的电压（ $r_{bb'}$ 右边点）， g_m 称为跨导

$$g_m = \frac{\beta}{r_{b'e}} = \frac{\alpha}{r_e} = \frac{I_{CQ}}{V_T} = 38.5 I_{CQ}$$

三极管有两种控制形式，电流控制电流，电压控制电流，本质是电压控制。

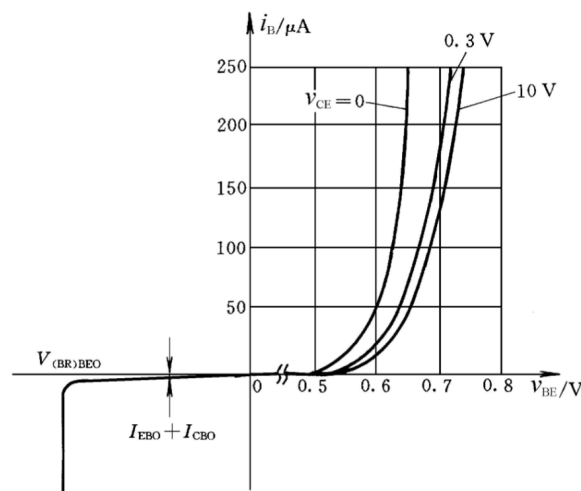
高频小信号等效电路

基极和发射极之间是扩散电容，基极和集电极之间是势垒电容，扩散电容要大于势垒电容



曲线模型

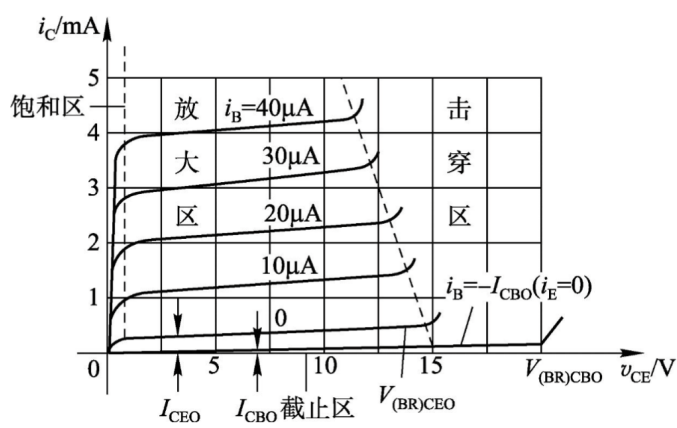
输入特性



V_{CE} 增大，曲线向右移动，0 ~ 3V 之间变化较大，因为这时三极管工作在饱和模式， V_{CE} 越小，饱和越深，发射区漂移到集电区的电子越少，在基区复合的机会越大， i_B 越大， $V_{CE} > 0.3V$ 之后曲线变化很小，三极管工作在放大模式， i_B 不随 V_{CE} 变化。但是当 V_B 一定时， V_{CE} 增大， V_{CB} 增大，基区宽度减小，发射区扩散来的电子复合机会减小， I_B 减小，曲线右移（基区宽度调制效应）。

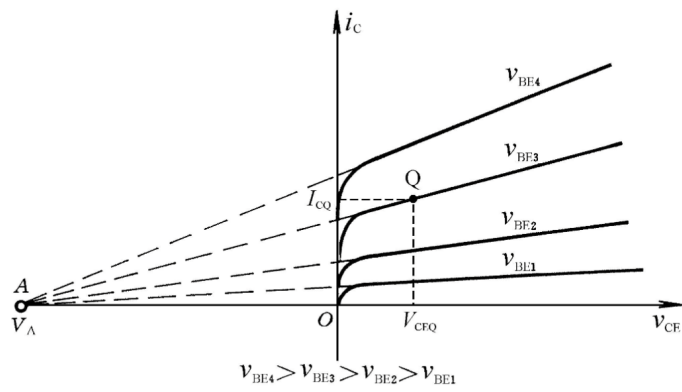
输出特性

输出特性曲线可分为四个区域：饱和、放大、截止、击穿



区域	条件	特点
饱和区	$V_{BE} > 0.7V$, $V_{CE} < 0.3V$ 发射结正偏, 集电结正偏	I_C 不受 I_B 控制, 而受 V_{CE} 影响, I_E 略增, I_C 显著增加
放大区	$V_{BE} \geq 0.7V$, $V_{CE} \geq 0.3V$ 发射结正偏, 集电结反偏	具有正向受控作用, 满足 $I_C = \beta I_B$, V_{CE} 增大, 曲线略上翘
截止区	$V_{BE} \leq 0.7V$, $V_{CE} \geq 0.3V$ 发射结反偏, 集电结反偏	$I_C \approx 0$, $I_B \approx 0$ 由 $I_B \approx 0$ 定义
击穿区	V_{CE} 非常大, 集电结反向击穿	I_C 急剧增大, 雪崩击穿

将不同 V_{BE} 对应的输出特性曲线反向延长, 将近似交于一点 A 上, A 点对应的电压用 V_A 表示, 称为厄利电压, $|V_A|$ 越大, 曲线上翘程度越小。



由于基区宽度调制效应, 可以引入一个电阻 r_{ce}

$$r_{ce} = \frac{|V_A|}{I_{CQ}}$$

混合 π 型等效电路将做出相应修正

