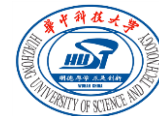


5 双极结型三极管及其放大电路



5.1 双极结型三极管 (BJT)

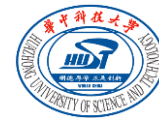
5.2 基本共射极放大电路

5.3 共集电极放大电路

5.4 BJT放大电路三种组态的比较, FET和BJT及其基本放大电路性能的比较

*5.5 多级放大电路

5.1 双极结型三极管 (BJT)



5.1.1 BJT的结构简介

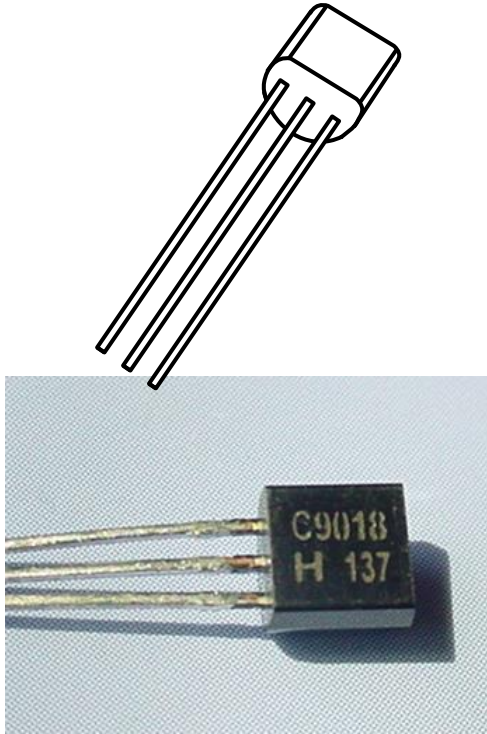
5.1.2 BJT的工作原理

5.1.3 BJT的 I - V 特性曲线

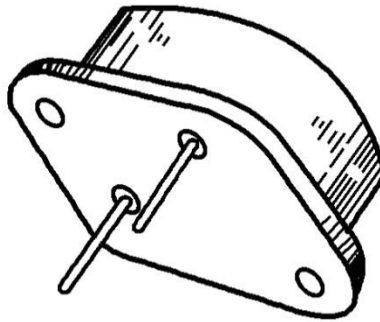
5.1.4 BJT的主要参数

5.1.1 BJT的结构简介

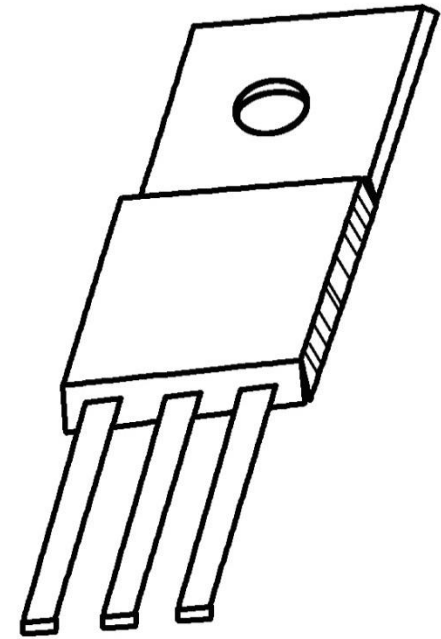
外形



(a) 小功率管



(b) 大功率管

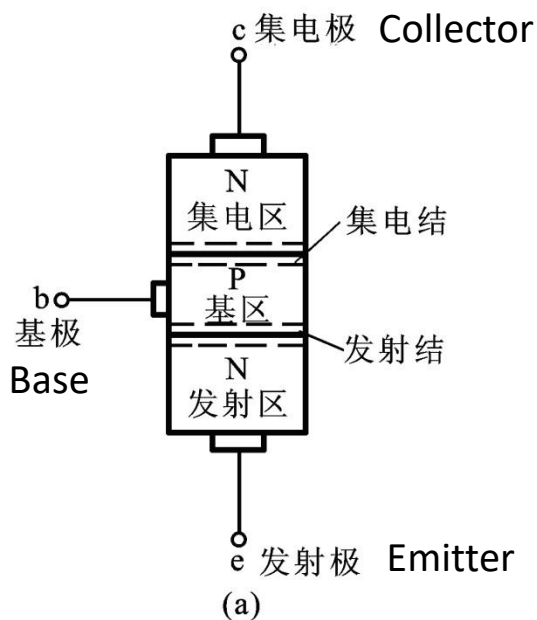


(c) 中功率管

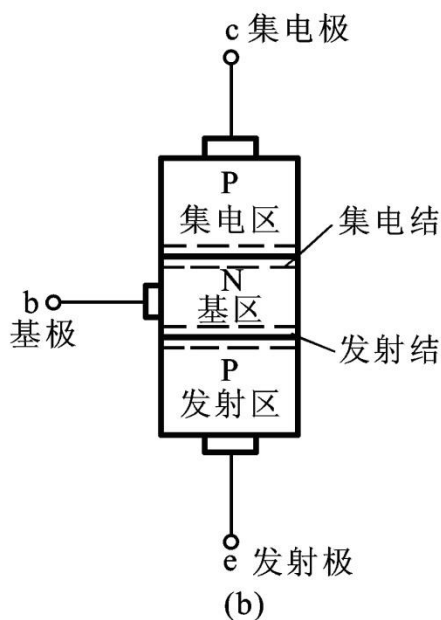
5.1.1 BJT的结构简介

结构示意图

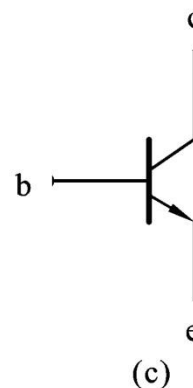
半导体三极管的结构示意图如下图所示。它有两种类型：**NPN**型和**PNP**型。



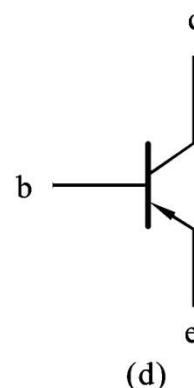
NPN型管结构示意图



PNP型管结构示意图

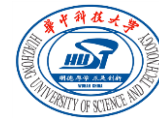


NPN型管
电路符号



PNP型管
电路符号

5.1 双极结型三极管 (BJT)



5.1.1 BJT的结构简介

5.1.2 BJT的工作原理

5.1.3 BJT的 I - V 特性曲线

5.1.4 BJT的主要参数

5.1.2 BJT的工作原理

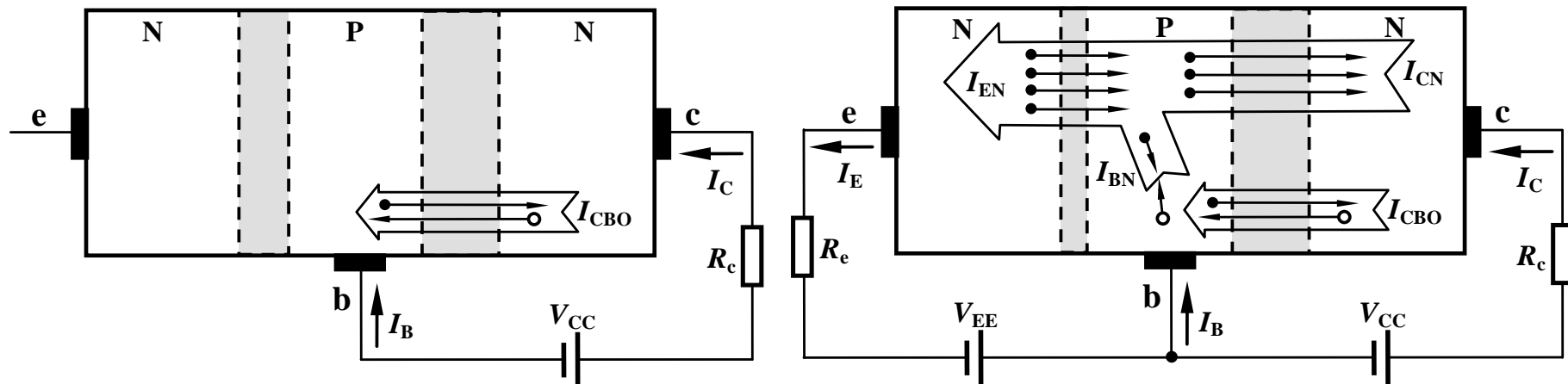
三极管的放大作用是在一定的外部条件控制下，通过载流子传输体现出来的。

外部条件：**发射结正偏，集电结反偏**

各区域作用	发射区：发射载流子
	集电区：收集载流子
	基区：传送和控制载流子

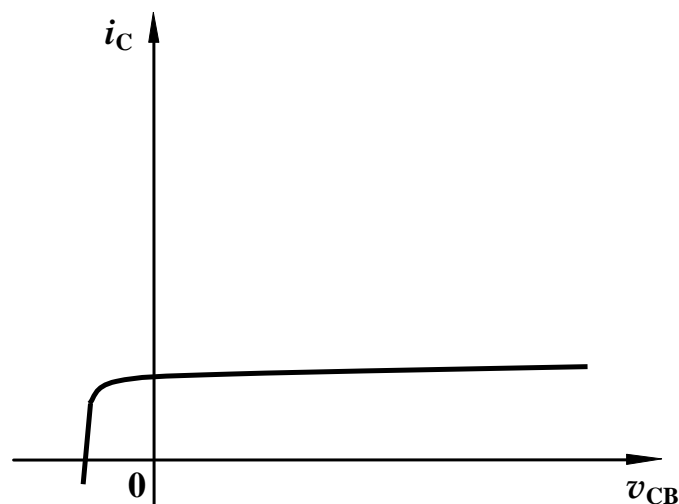
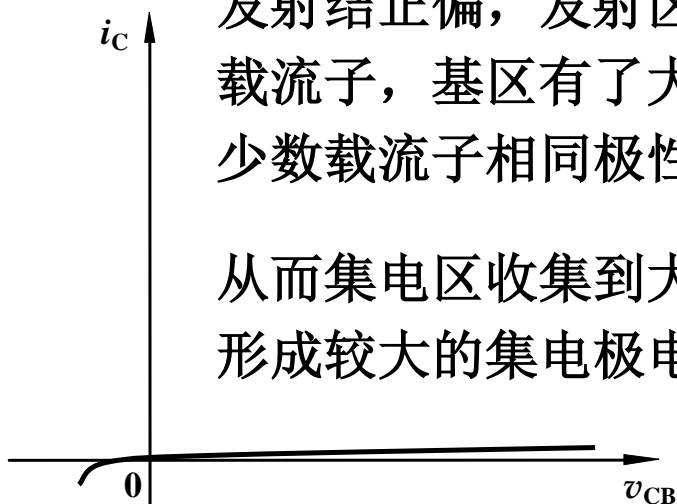
5.1.2 BJT的工作原理

1. 内部载流子的传输过程



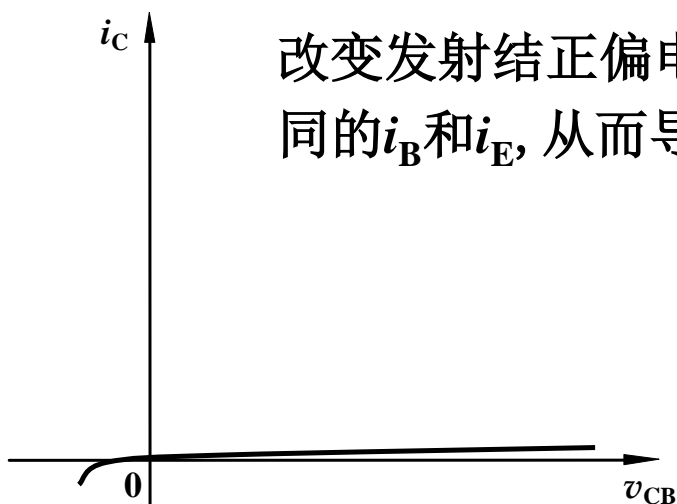
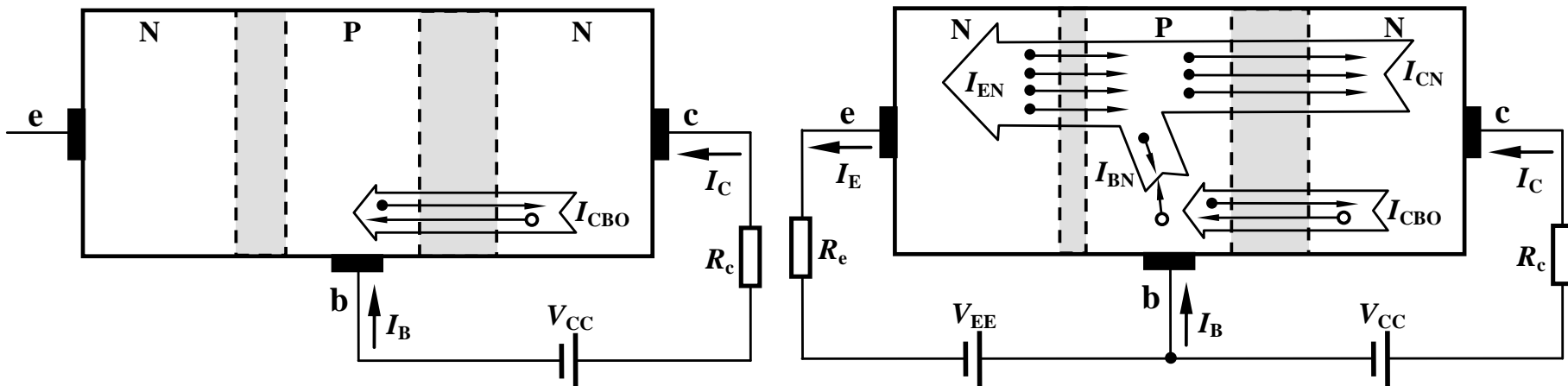
发射结正偏，发射区向基区注入载流子，基区有了大量与原基区少数载流子相同极性的载流子。

从而集电区收集到大量载流子，形成较大的集电极电流。

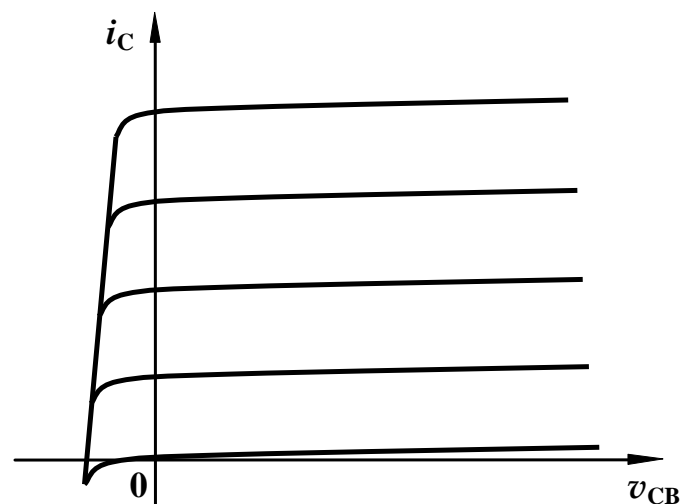


5.1.2 BJT的工作原理

1. 内部载流子的传输过程

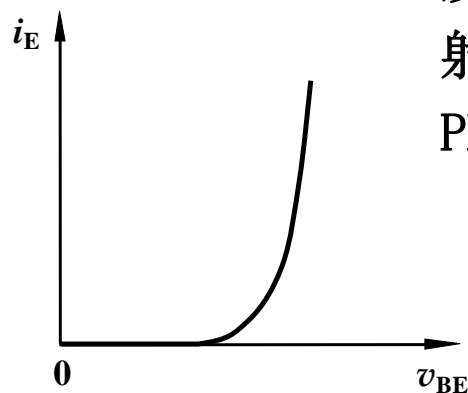
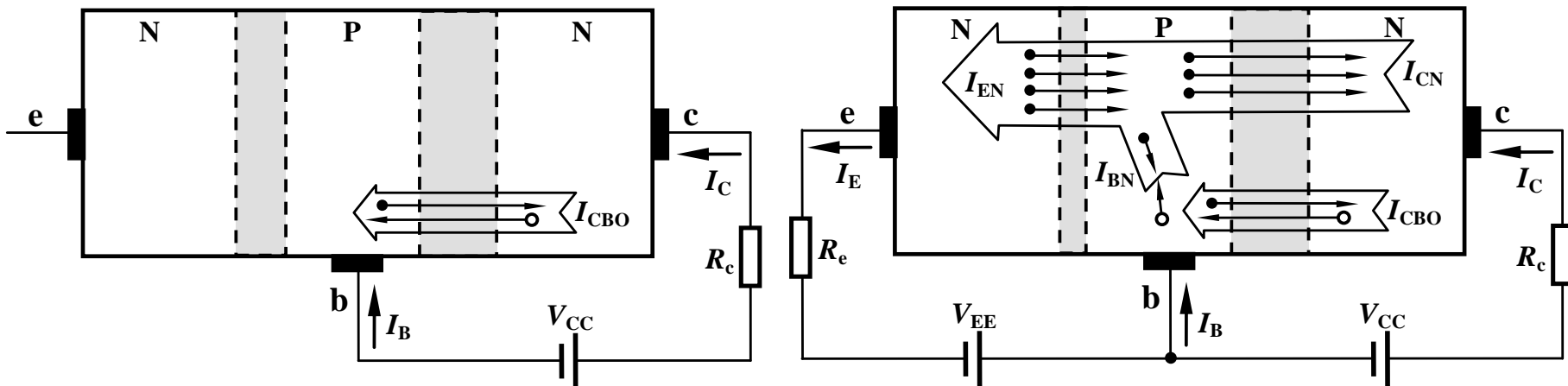


改变发射结正偏电压，则有不同的 i_B 和 i_E ，从而导致不同的 i_C 。

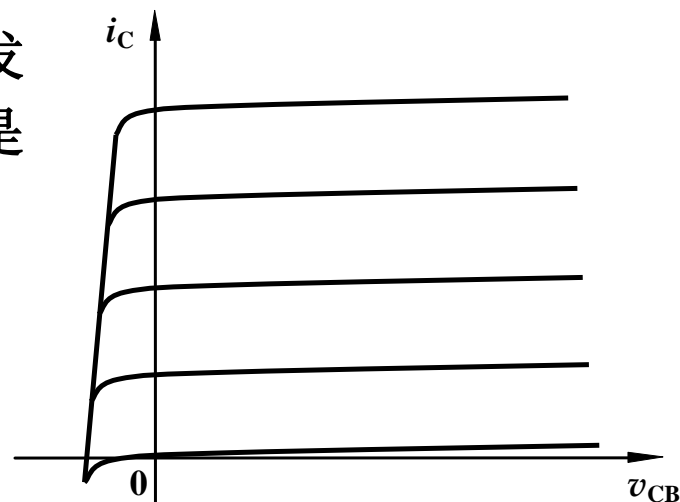


5.1.2 BJT的工作原理

1. 内部载流子的传输过程



发射结正偏电压与发射极电流的关系就是PN结正向特性。



5.1.2 BJT的工作原理

2. 控制关系的实现

$$I_E = I_B + I_C \quad I_C = I_{CN} + I_{CBO}$$

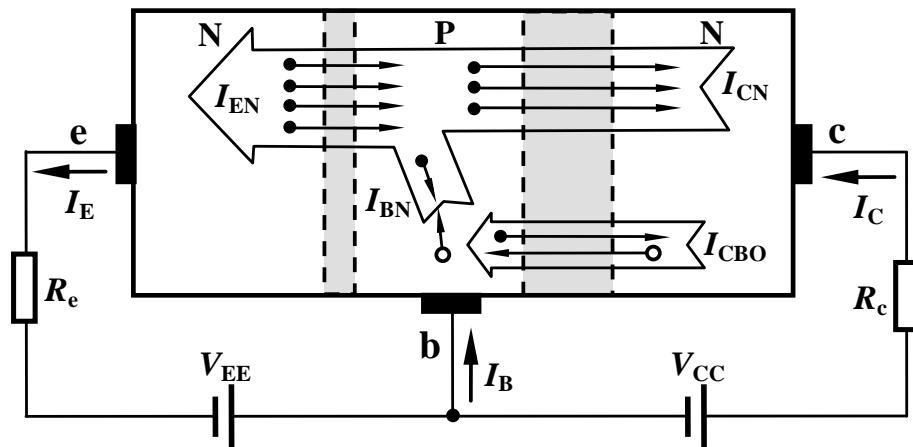
设 $\alpha = \frac{\text{传输到集电极的电流}}{\text{发射极注入电流}}$

$$\text{即 } \alpha = \frac{I_{CN}}{I_E}$$

通常 $I_C \gg I_{CBO}$ 则有 $\alpha \approx \frac{I_C}{I_E}$

α 为电流放大系数。它只与管子的结构尺寸和掺杂浓度有关，与外加电压无关。一般 $\alpha = 0.9 \sim 0.99$ 。

由于三极管内有两种载流子(自由电子和空穴)参与导电，故称为双极型三极管或**BJT** (Bipolar Junction Transistor)。



5.1.2 BJT的工作原理

2. 控制关系的实现

又设 $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$

根据 $I_E = I_B + I_C$ $I_C = I_{CN} + I_{CBO}$ $\alpha = \frac{I_{nC}}{I_E}$

且令 $I_{CEO} = (1 + \beta) I_{CBO}$ (穿透电流)

则 $\beta = \frac{I_C - I_{CEO}}{I_B}$ 当 $I_C \gg I_{CEO}$ 时, $\beta \approx \frac{I_C}{I_B}$

β 是另一个电流放大系数。同样, 它也只与管子的结构尺寸和掺杂浓度有关, 与外加电压无关。一般 $\beta \gg 1$ 。

5.1.2 BJT的工作原理

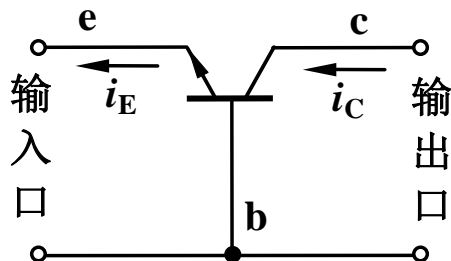
综上所述，三极管的放大作用，主要是依靠它的发射极电流能够通过基区传输，然后到达集电极而实现的。

实现这一传输过程的两个条件是：

- (1) **内部条件**：发射区杂质浓度远大于基区杂质浓度，且基区很薄。
- (2) **外部条件**：发射结正向偏置，集电结反向偏置。

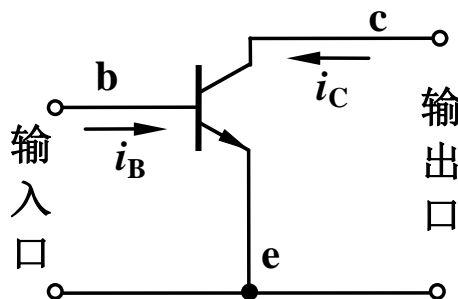
5.1.2 BJT的工作原理

3. 三极管的三种组态



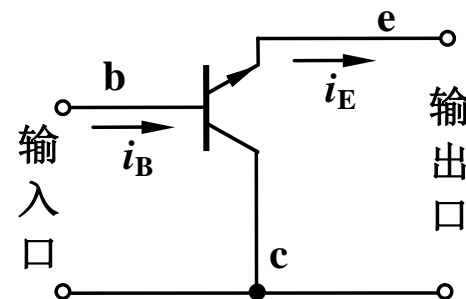
(a) 共基极

$$i_C = \alpha i_E$$



(b) 共发射极

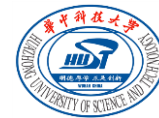
$$i_C = \beta i_B$$



(c) 共集电极

$$i_E = (1 + \beta) i_B$$

5.1 双极结型三极管 (BJT)



5.1.1 BJT的结构简介

5.1.2 BJT的工作原理

5.1.3 BJT的 I - V 特性曲线

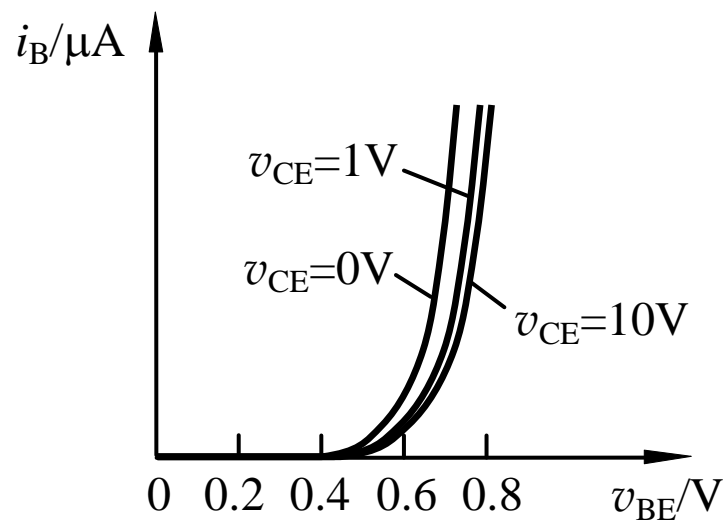
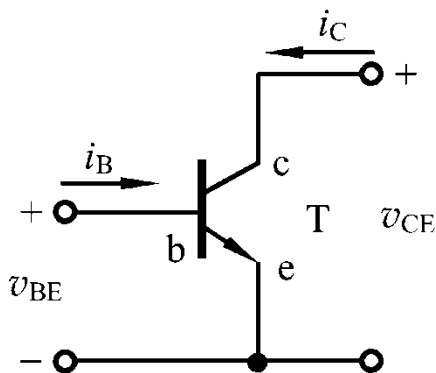
5.1.4 BJT的主要参数

5.1.3 BJT的*I*-*V*特性曲线

2. 共射极连接时的*I*-*V*特性曲线

输入特性曲线

$$i_B = f(v_{BE}) \Big|_{v_{CE}=\text{常数}}$$

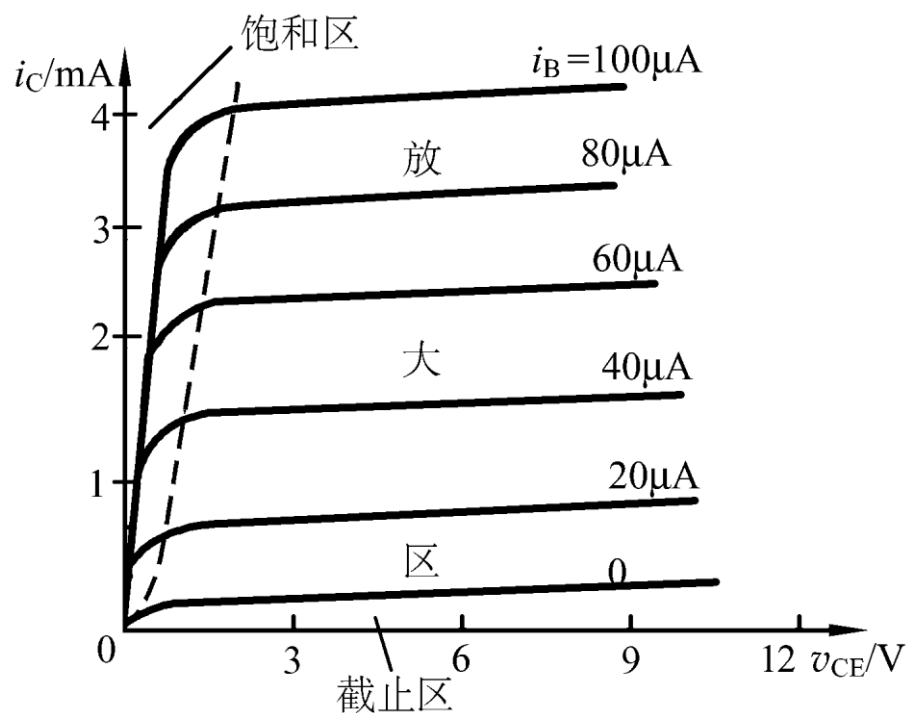
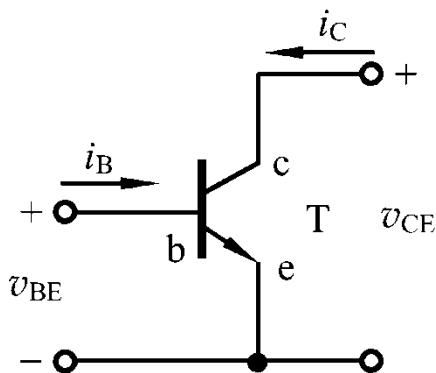


5.1.3 BJT的*I*-*V*特性曲线

2. 共射极连接时的*I*-*V*特性曲线

输出特性曲线

$$i_C = f(v_{CE}) |_{i_B = \text{常数}}$$



5.1.3 BJT的*I*-*V*特性曲线

2. 共射极连接时的*I*-*V*特性曲线

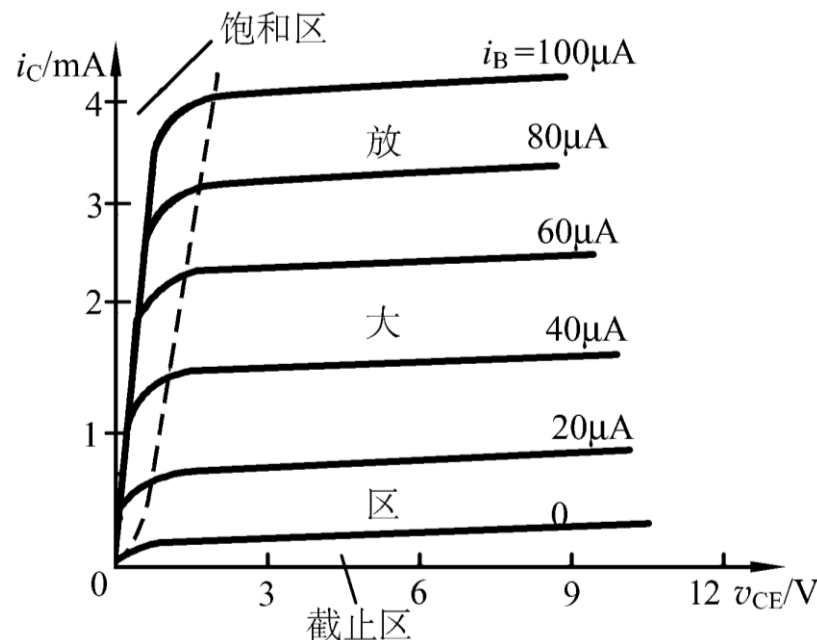
输出特性曲线

$$i_C = f(v_{CE}) |_{i_B = \text{常数}}$$

输出特性曲线的三个区域：

饱和区： i_C 明显受 v_{CE} 控制的区域，该区域内，一般 $v_{CE} < 0.7V$ (硅管)。此时，**发射结正偏，集电结正偏或反偏电压很小。**

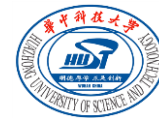
截止区： i_C 接近零的区域，相当 $i_B=0$ 的曲线的下方。此时， v_{BE} **小于死区电压。**



放大区： i_C 平行于 v_{CE} 轴的区域，曲线基本平行等距。此时，**发射结正偏，集电结反偏。**

$$v_{BE} \approx 0.7V \text{ 或 } 0.2V, \quad i_C = \beta i_B$$

5.1 双极结型三极管 (BJT)



5.1.1 BJT的结构简介

5.1.2 BJT的工作原理

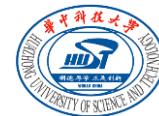
5.1.3 BJT的 I - V 特性曲线

5.1.4 BJT的主要参数

5.1.4 BJT的主要参数

自学

5 双极结型三极管及其放大电路



5.1 双极结型三极管（BJT）

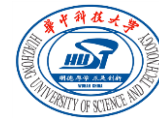
5.2 基本共射极放大电路

5.3 共集电极放大电路

5.4 BJT放大电路三种组态的比较，FET和BJT及其基本放大电路性能的比较

*5.5 多级放大电路

5.2 基本共射极放大电路



5.2.1 电路构成及信号放大的实现

5.2.2 小信号分析

5.2.1 电路构成及信号放大的实现

1. 发射结正偏、集电结反偏条件的建立

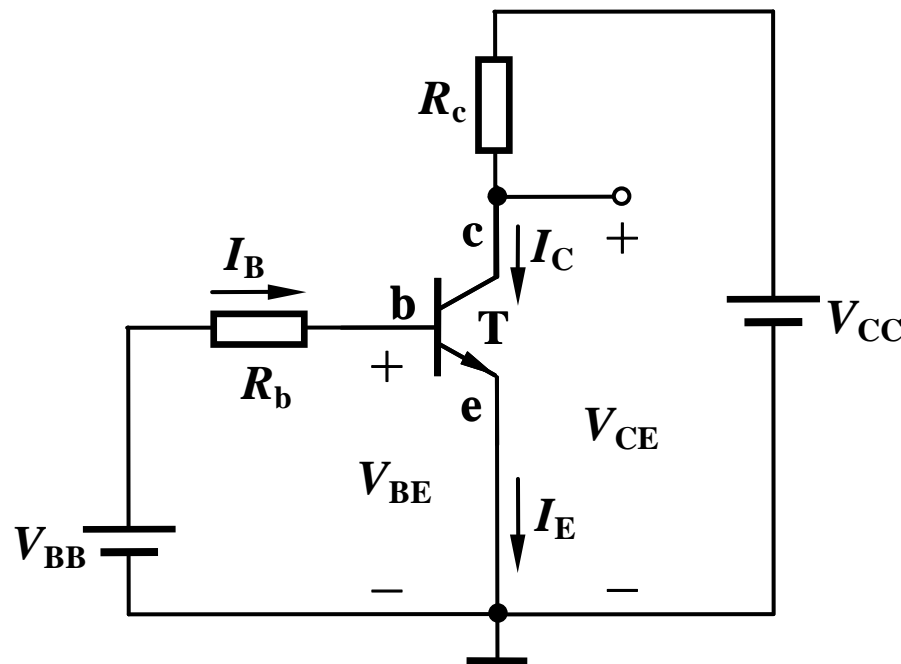
直流通路

静态工作点（ Q 点）：

$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - V_{BEQ}}{R_b}$$

$$I_{CQ} = \beta \cdot I_{BQ}$$

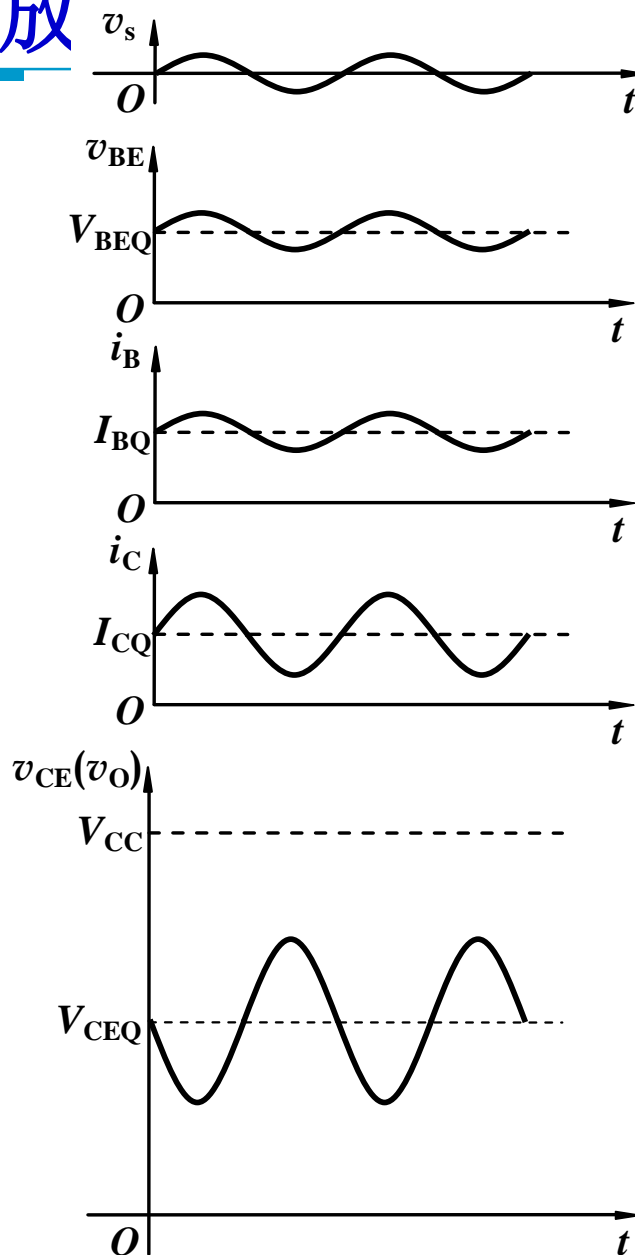
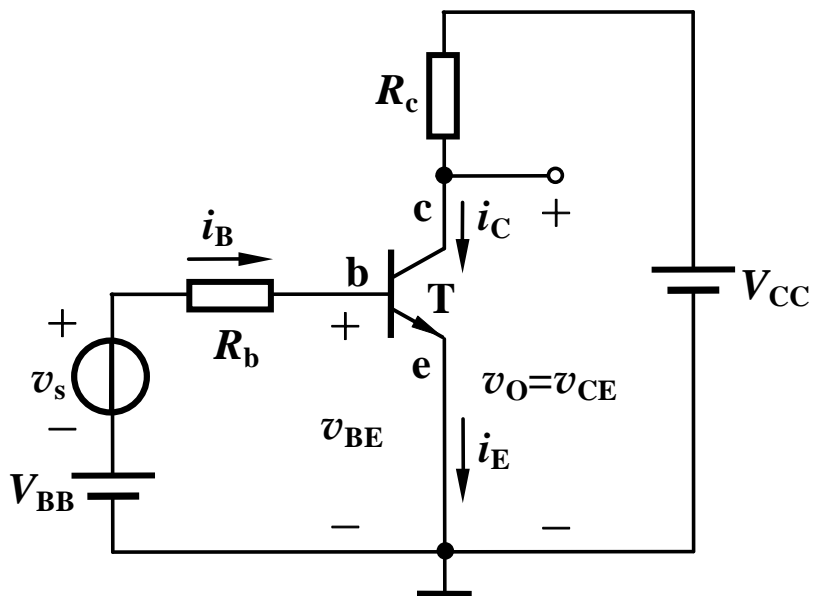
$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_c$$



一般硅管 $V_{BEQ}=0.7V$ ，锗管 $V_{BEQ}=0.2V$ ， β 已知。

5.2.1 电路构成及信号放

2. 动态工作过程



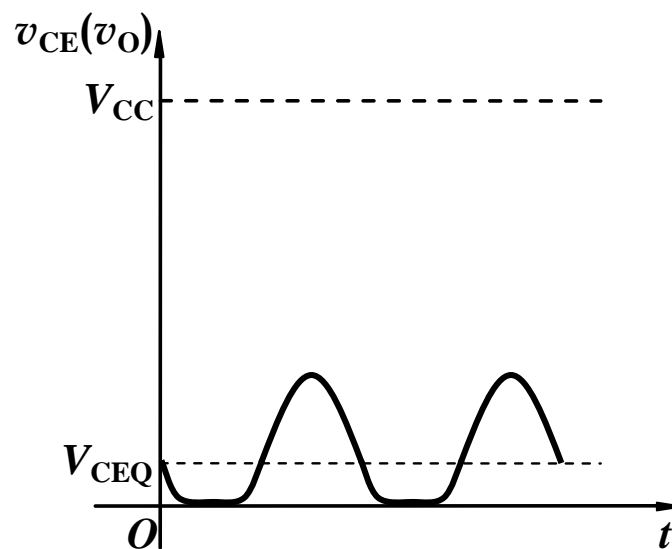
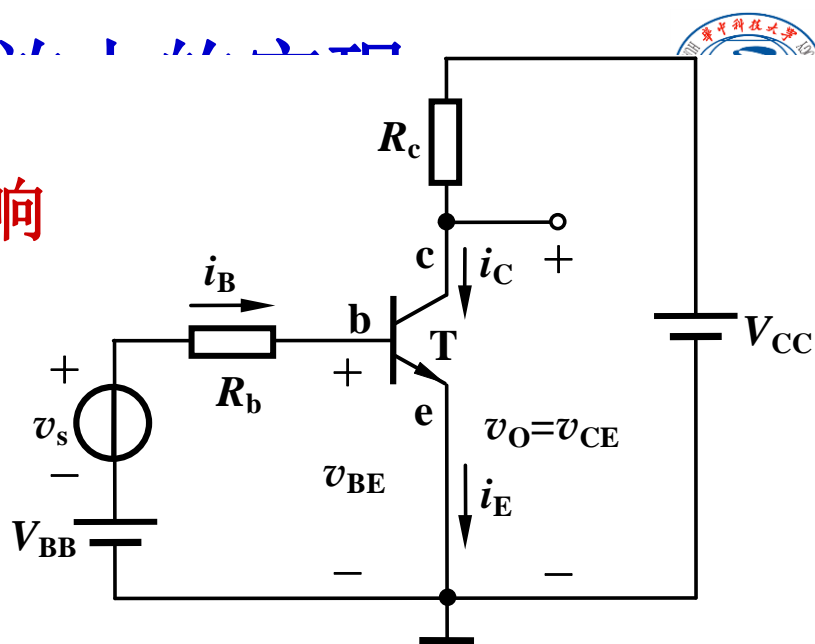
5.2.1 电路构成及信号放大

3. 静态工作点对信号放大的影响

(1) I_{BQ} 过大 $\rightarrow I_{CQ}$ 过大 $\rightarrow R_c$ 上压降过大 $\rightarrow V_{CEQ}$ 过小

或

(2) R_c 阻值过大 $\rightarrow R_c$ 上压降过大 $\rightarrow V_{CEQ}$ 过小



5.2.1 电路构成及信号放大

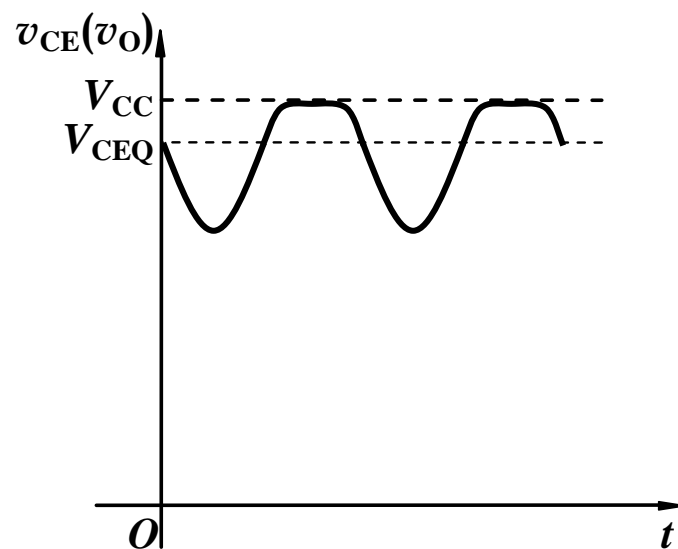
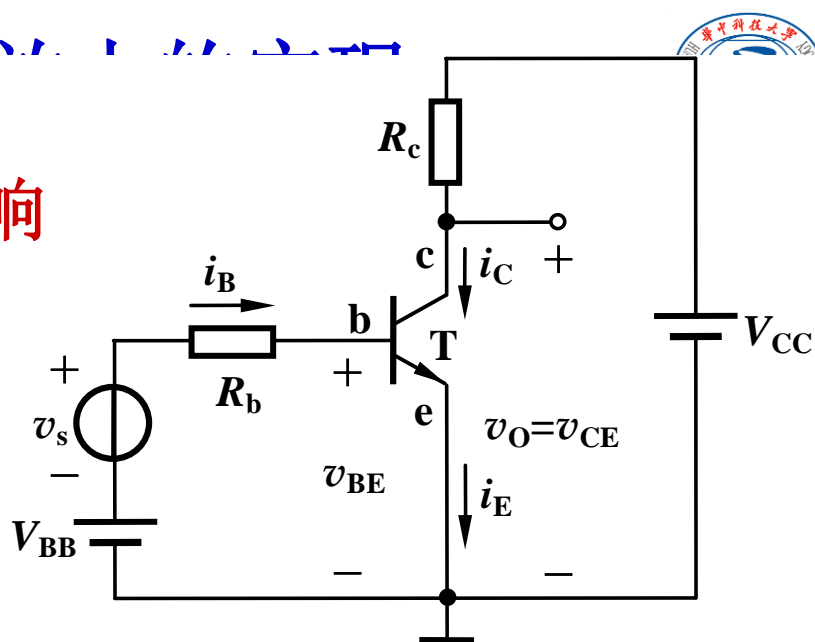
3. 静态工作点对信号放大的影响

若 I_{BQ} 过小, 使 I_{CQ} 过小, 导致 R_c 上压降很小, 则 V_{CEQ} 过大

■ 必须为BJT提供合适的静态偏置, 使其工作在放大区。

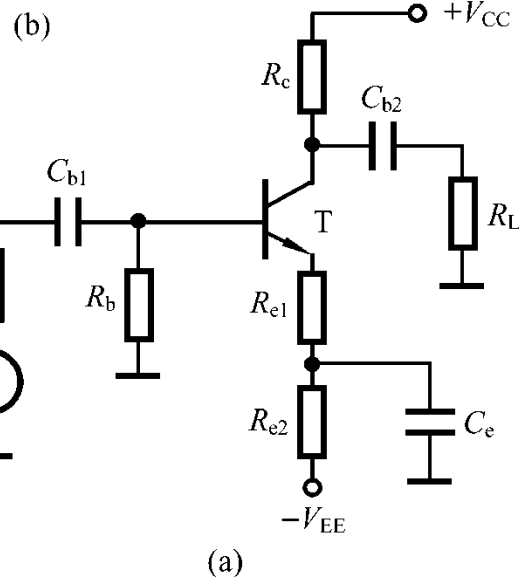
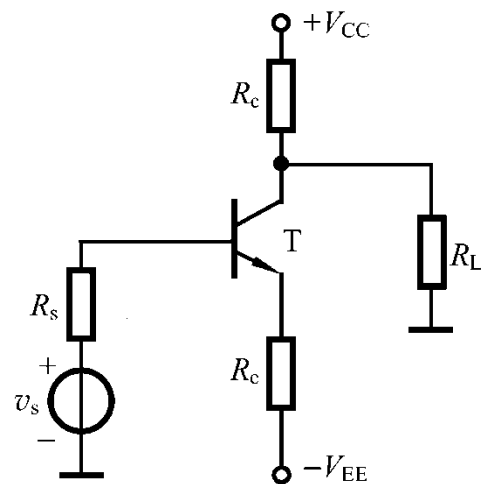
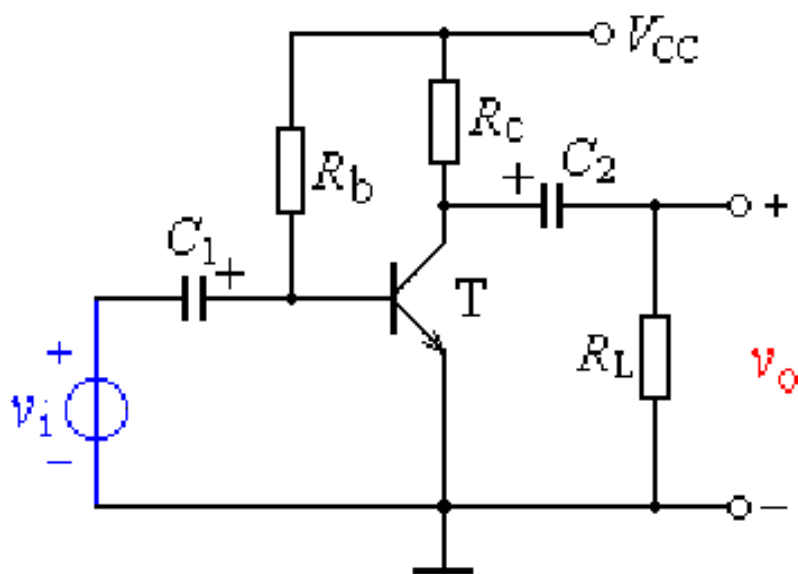
■ 信号叠加在静态电量上, 并通过BJT的控制关系传输到输出。信号也经常称为交流量。

■ 输出信号的幅值受输出回路电源电压的限制。

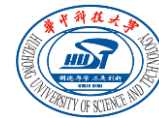


5.2.1 电路构成及信号放大的实现

BJT放大电路的其它组成形式



5.2 基本共射极放大电路



5.2.1 电路构成及信号放大的实现

5.2.2 小信号模型分析法

5.2.2 小信号模型分析法

BJT的H参数及小信号模型

共射极放大电路的小信号分析

BJT的H参数及小信号模型

1. H参数的引出

对于BJT双口网络，已知输入输出特性曲线如下：

$$i_B = f(v_{BE}) \Big|_{v_{CE}=\text{const}} \quad i_C = f(v_{CE}) \Big|_{i_B=\text{const}}$$

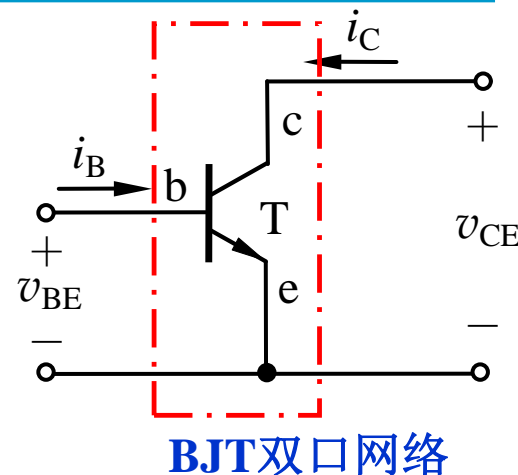
可以写成： $v_{BE} = f_1(i_B, v_{CE}) \quad i_C = f_2(i_B, v_{CE})$

在小信号情况下，对上两式取全微分得

$$dv_{BE} = \left. \frac{\partial v_{BE}}{\partial i_B} \right|_{V_{CEQ}} di_B + \left. \frac{\partial v_{BE}}{\partial v_{CE}} \right|_{I_{BQ}} dv_{CE}$$

$$di_C = \left. \frac{\partial i_C}{\partial i_B} \right|_{V_{CEQ}} di_B + \left. \frac{\partial i_C}{\partial v_{CE}} \right|_{I_{BQ}} dv_{CE}$$

用小信号交流分量表示 $v_{be} = h_{ie} i_b + h_{re} v_{ce} \quad i_c = h_{fe} i_b + h_{oe} v_{ce}$



BJT的H参数及小信号模型

1. H参数的引出

$$v_{be} = h_{ie} i_b + h_{re} v_{ce}$$

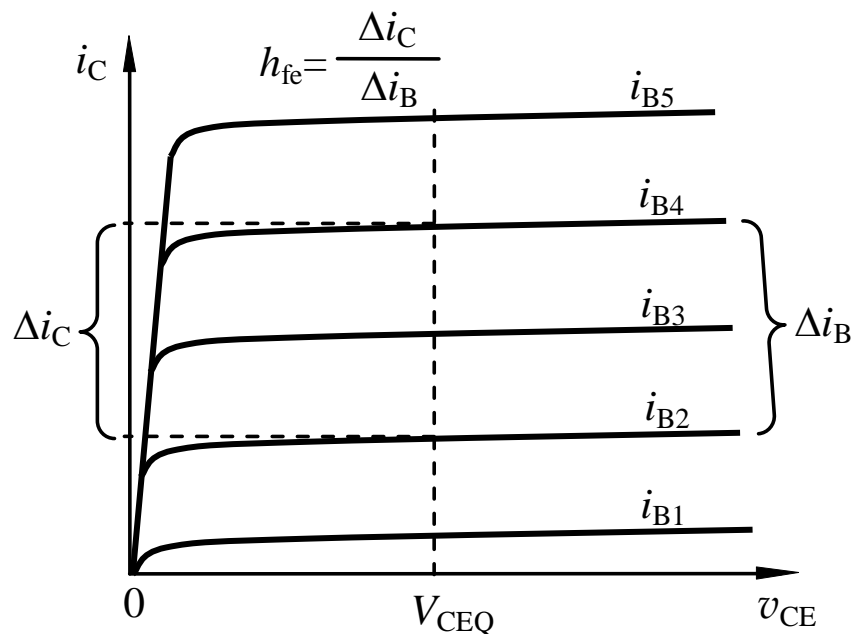
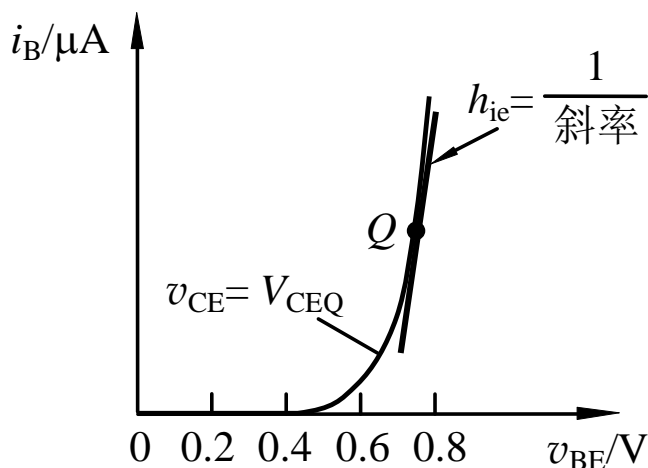
$$i_c = h_{fe} i_b + h_{oe} v_{ce}$$

$$h_{ie} = \left. \frac{\partial v_{BE}}{\partial i_B} \right|_{V_{CEQ}}$$

输出端交流短路时的输入电阻；

$$h_{fe} = \left. \frac{\partial i_c}{\partial i_B} \right|_{V_{CEQ}}$$

输出端交流短路时的正向电流传输比或电流放大系数；



BJT的H参数及小信号模型

1. H参数的引出

$$v_{be} = h_{ie} i_b + h_{re} v_{ce}$$

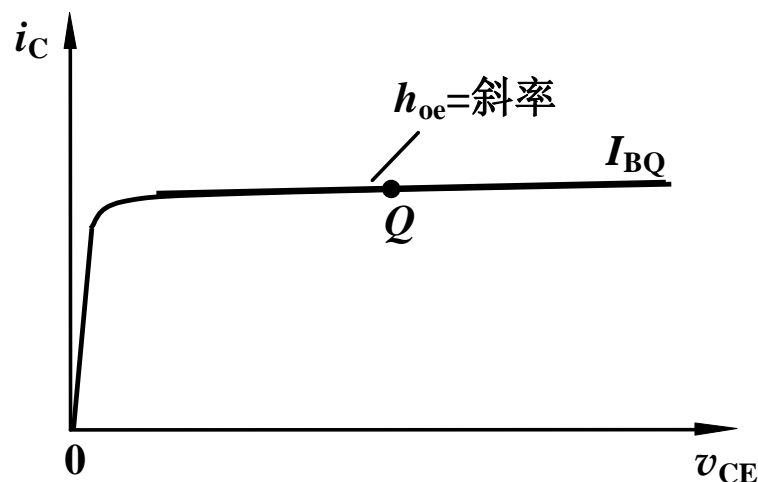
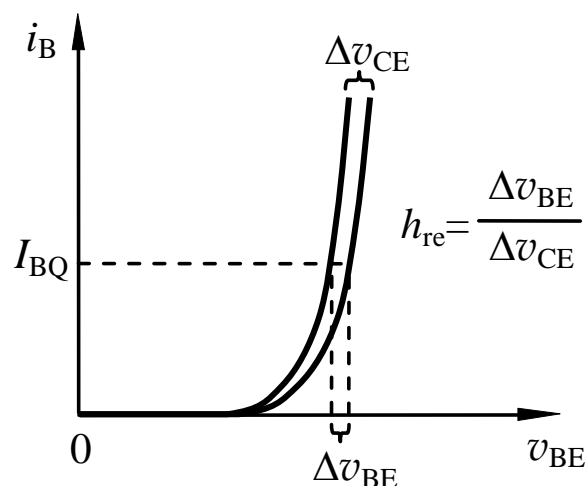
$$i_c = h_{fe} i_b + h_{oe} v_{ce}$$

$$h_{re} = \left. \frac{\partial v_{BE}}{\partial v_{CE}} \right|_{I_{BQ}}$$

输入端交流开路时的反向电压传输比；

$$h_{oe} = \left. \frac{\partial i_C}{\partial v_{CE}} \right|_{I_{BQ}}$$

输入端交流开路时的输出电导。



四个参数量纲各不相同，故称为混合参数（H参数）。

BJT的H参数及小信号模型

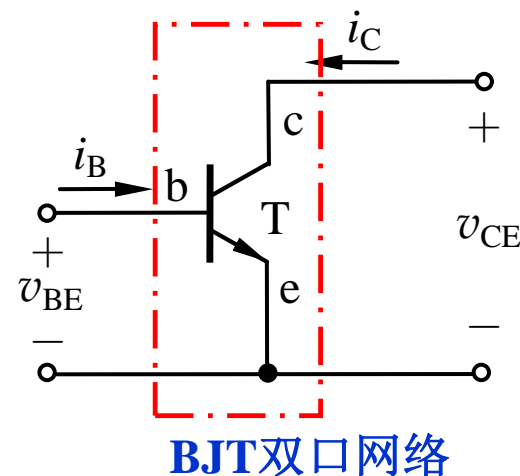
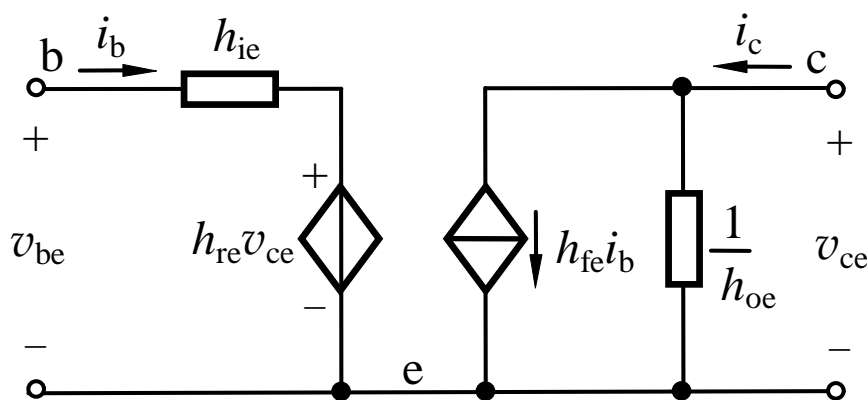
2. BJT的H参数小信号模型

根据

$$v_{be} = h_{ie} i_b + h_{re} v_{ce}$$

$$i_c = h_{fe} i_b + h_{oe} v_{ce}$$

可得小信号模型



- H参数都是小信号参数，即微变参数或交流参数。
- H参数与工作点有关。
- H参数都是微变参数，所以只适合对交流信号的分析。

BJT的H参数及小信号模型

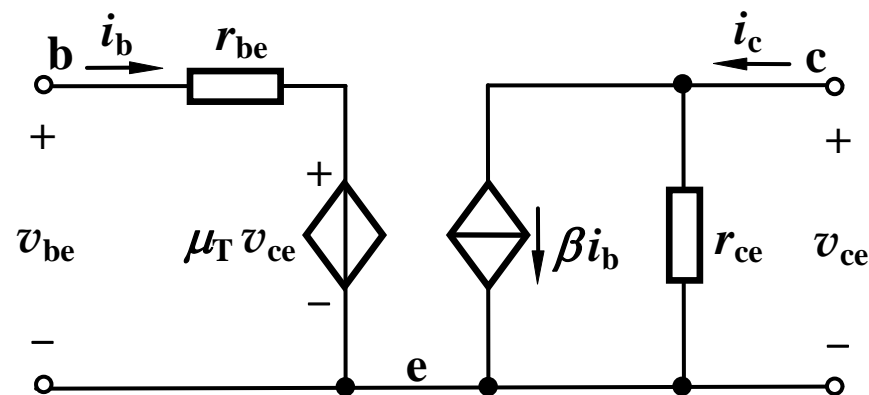
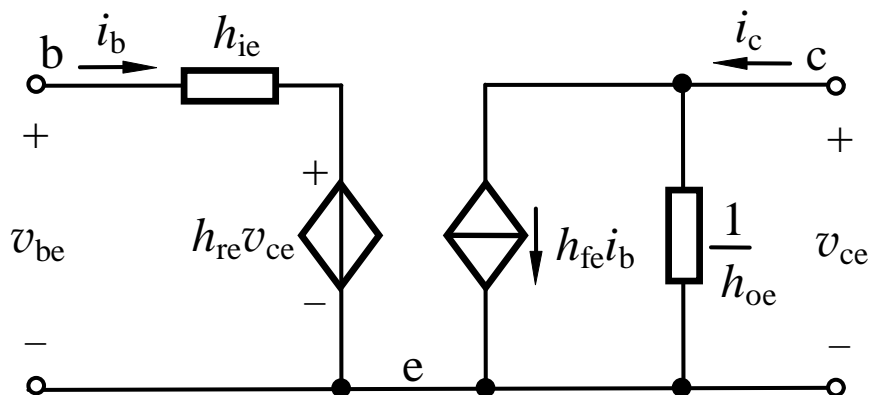
3. 小信号模型的简化

一般采用习惯符号

$$\text{即 } r_{be} = h_{ie} \quad \beta = h_{fe}$$

$$\mu_T = h_{re} \quad r_{ce} = 1/h_{oe}$$

则BJT的H参数模型为



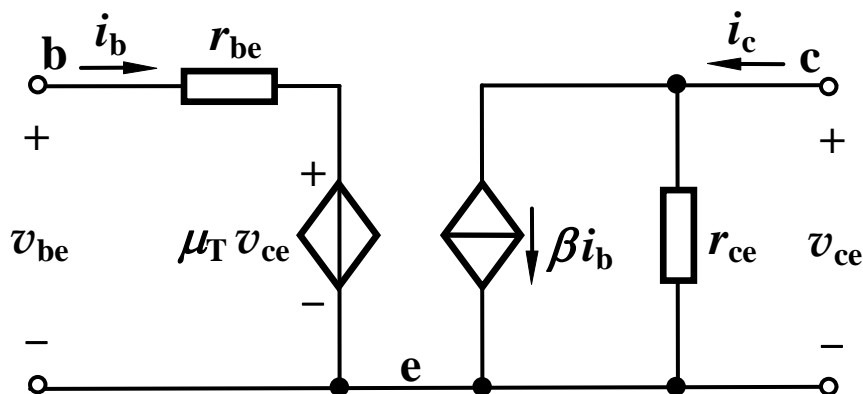
BJT的H参数及小信号模型

3. 小信号模型的简化

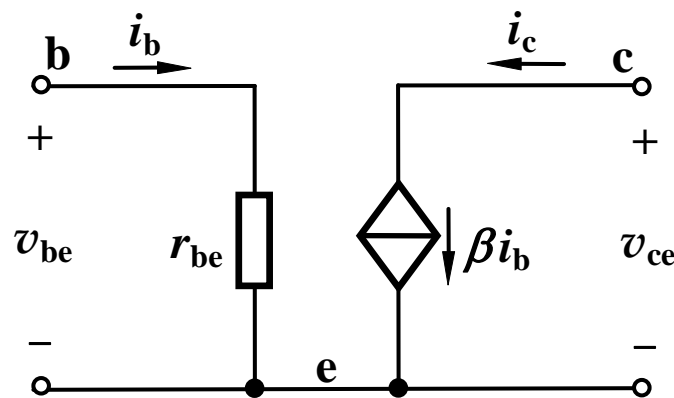
μ_T 很小，一般为 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ ，

r_{ce} 很大，约为 $100\text{k}\Omega$ ，

一般可忽略它们的影响，得到简化电路。



- βi_b 是受控源，且为电流控制电流源(CCCS);
- 电流方向与 i_b 的方向是关联的。



BJT的H参数及小信号模型

4. H参数值的确定

β 一般用测试仪测出;

r_{be} 与 Q 点有关, 可用图示仪测出。

一般也用公式估算 r_{be} , 即

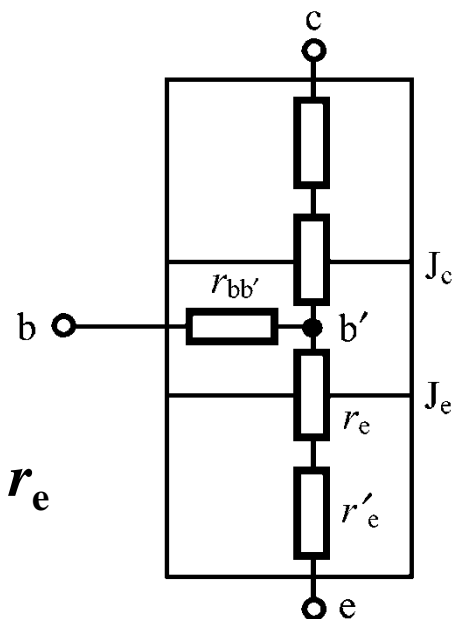
$$r_{be} = \frac{v_{be}}{i_b} = \frac{i_b r_{bb'} + (1 + \beta) i_b (r_e + r_e')}{i_b} \approx r_{bb'} + (1 + \beta) r_e$$

其中对于低频小功率管 $r_{bb'} \approx 200\Omega$

$$\text{而 } r_e = \frac{V_T (\text{mV})}{I_{EQ} (\text{mA})} = \frac{26\text{mV}}{I_{EQ} (\text{mA})} \approx \frac{26\text{mV}}{I_{CQ} (\text{mA})} \quad (T=300\text{K})$$

$$\text{则 } r_{be} \approx 200\Omega + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_{CQ} (\text{mA})}$$

若用万用表的“欧姆”档测量b、e两极之间的电阻, 是否为 r_{be} ?



5.2.2 小信号模型分析法

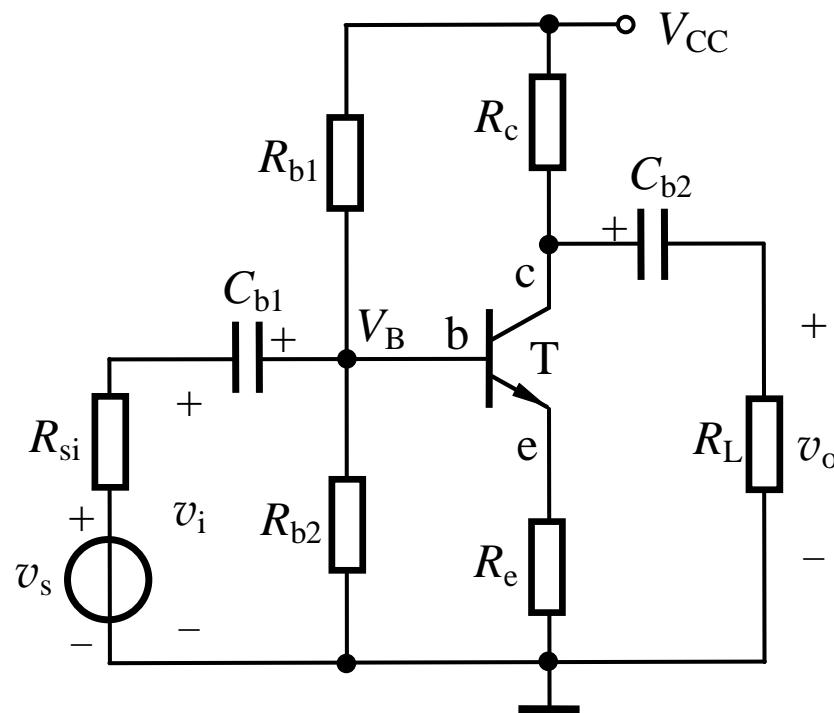
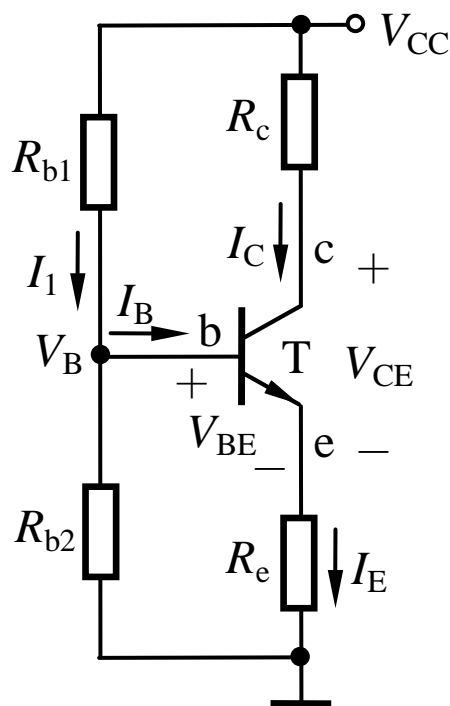
BJT的H参数及小信号模型

共射极放大电路的小信号分析

共射极放大电路的小信号分析

例5.4.1 已知图示基极分压式射极偏置共射极放大电路中， $V_{CC}=16V$ ， $R_{b1}=56k\Omega$ ， $R_{b2}=20k\Omega$ ， $R_e=2k\Omega$ ， $R_c=3.3k\Omega$ ， $R_L=6.2k\Omega$ ， $R_{si}=500\Omega$ ，BJT的 $\beta=80$ ， $r_{ce}=100k\Omega$ ， $V_{BEQ}=0.7V$ 。设电容 C_{b1} 、 C_{b2} 对交流信号可视为短路。试计算 A_v 、 R_i 、 $A_{vs}=v_o/v_s$ 、 R_o 。

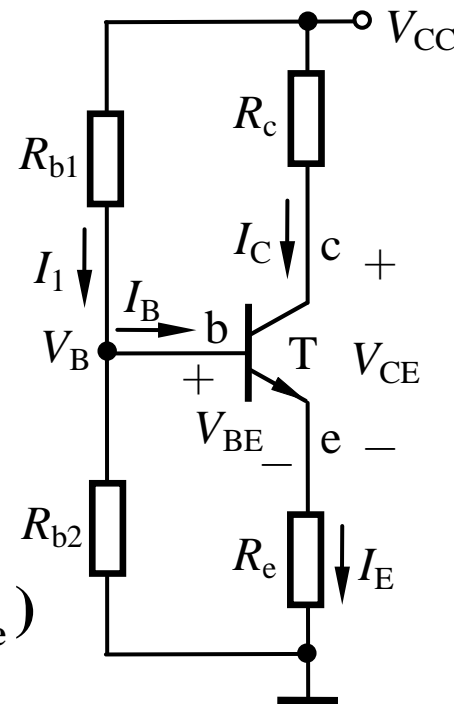
解：①由直流通路求静态工作点



共射极放大电路的小信号分析

例5.4.1 已知图示基极分压式射极偏置共射极放大电路中， $V_{CC}=16V$ ， $R_{b1}=56k\Omega$ ， $R_{b2}=20k\Omega$ ， $R_e=2k\Omega$ ， $R_c=3.3k\Omega$ ， $R_L=6.2k\Omega$ ， $R_{si}=500\Omega$ ，BJT的 $\beta=80$ ， $r_{ce}=100k\Omega$ ， $V_{BEQ}=0.7V$ 。设电容 C_{b1} 、 C_{b2} 对交流信号可视为短路。试计算 A_v 、 R_i 、 $A_{vs}=v_o/v_s$ 、 R_o 。

解：①由直流通路求静态工作点



$$V_{BQ} \approx \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} \cdot V_{CC}$$

$$I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{V_{BQ} - V_{BEQ}}{R_e}$$

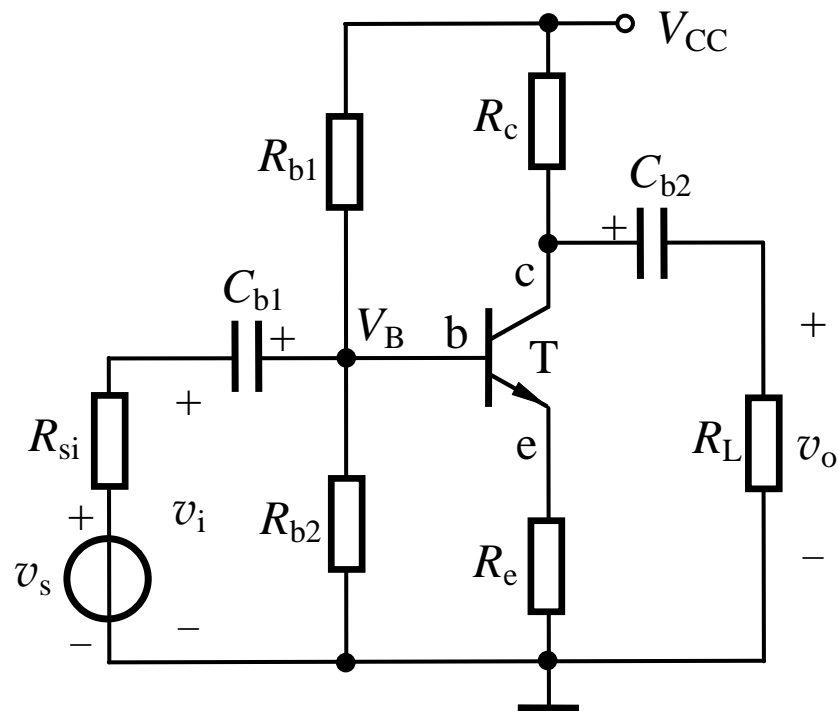
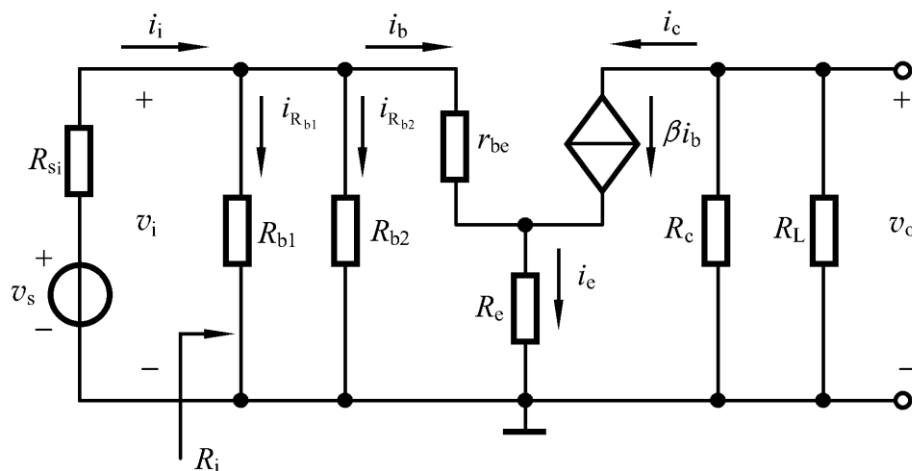
$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_c - I_{EQ}R_e \approx V_{CC} - I_{CQ}(R_c + R_e)$$

$$I_{BQ} = \frac{I_C}{\beta} \quad \text{求得 } I_{EQ} \approx 1.76 \text{ mA}$$

共射极放大电路的小信号分析

解：②动态指标分析

画小信号等效电路



H参数 r_{be}

$$r_{be} = 200\Omega + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_{EQ}(\text{mA})} = 200\Omega + (1 + 80) \frac{26\text{mV}}{1.76\text{mA}} \approx 1.4\text{k}\Omega$$

共射极放大电路的小信号分析

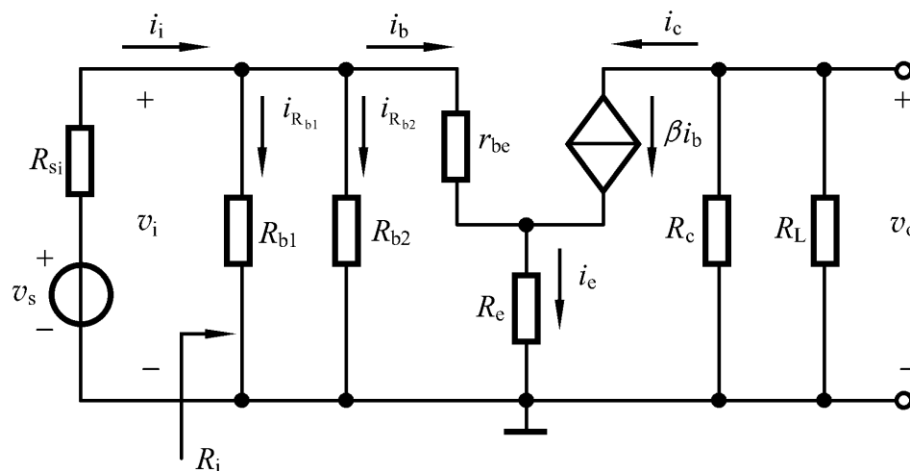
解：②动态指标分析

电压增益 A_v

$$v_o = -\beta i_b (R_c // R_L)$$

$$v_i = i_b r_{be} + i_e R_e$$

$$= i_b r_{be} + (1 + \beta) i_b R_e$$



$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-\beta(R_c // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)R_e} = \frac{-80 \times \frac{3.3 \times 6.2}{3.3 + 6.2} \text{ k}\Omega}{(1.4 + 81 \times 2) \text{ k}\Omega} \approx -1.05$$

共射极放大电路的小信号分析

解：②动态指标分析

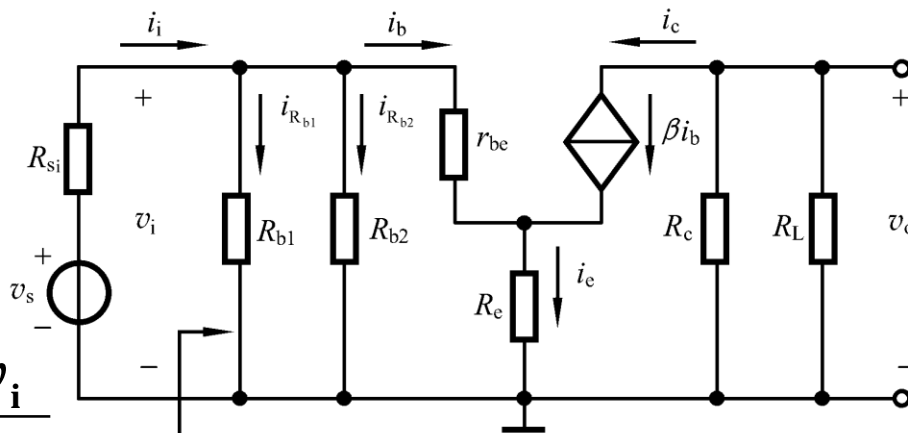
输入电阻 R_i

$$i_i = i_b + i_{R_b}$$

$$= \frac{v_i}{r_{be} + (1 + \beta)R_e} + \frac{v_i}{R_{b1}} + \frac{v_i}{R_{b2}}$$

$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{1}{\frac{1}{r_{be} + (1 + \beta)R_e} + \frac{1}{R_{b1}} + \frac{1}{R_{b2}}}$$

$$= R_{b1} // R_{b2} // [r_{be} + (1 + \beta)R_e] \approx 13.52k\Omega$$



共射极放大电路的小信号分析

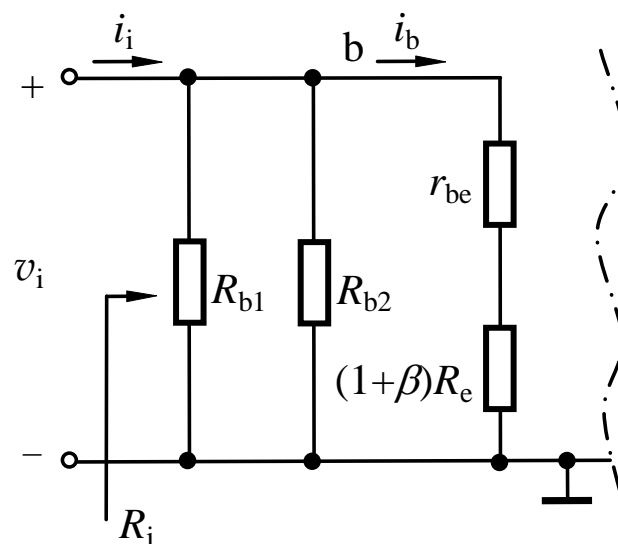
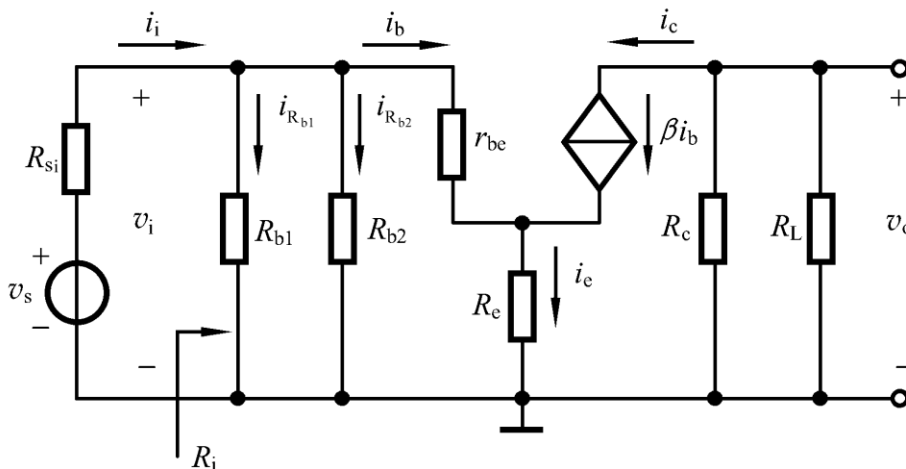
解：②动态指标分析

输入电阻 R_i

$$R_i = R_{b1} // R_{b2} // [r_{be} + (1 + \beta)R_e]$$

式中 $(1 + \beta)R_e$ 是发射极支路电阻 R_e 折算到基极支路时的等效电阻。

发射极支路电阻折算到基极支路需要将电阻扩大 $(1 + \beta)$ 倍；反之，基极支路电阻折算到发射极支路需要将电阻缩小 $(1 + \beta)$ 倍。



共射极放大电路的小信号分析

解：②动态指标分析

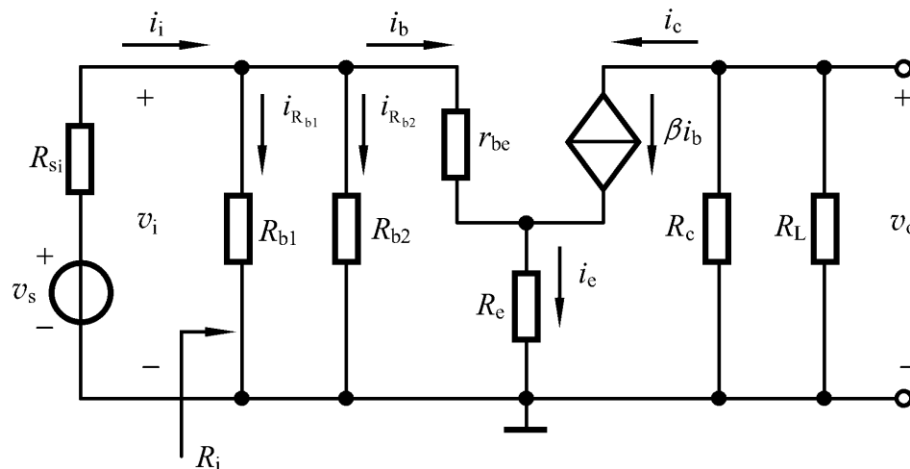
源电压增益 A_{vs}

$$A_{vs} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{v_i} \cdot \frac{v_i}{v_s}$$

$$= A_v \cdot \frac{R_i}{R_{si} + R_i}$$

$$= -1.05 \times \frac{13.52\text{k}\Omega}{(0.5 + 13.52)\text{k}\Omega}$$

$$\approx -1.01$$



共射极放大电路的小信号分析

解：②动态指标分析

输出电阻 R_o

基极回路根据KVL得：

$$i_b(r_{be} + R'_{si}) + (i_b + i_c)R_e = 0$$

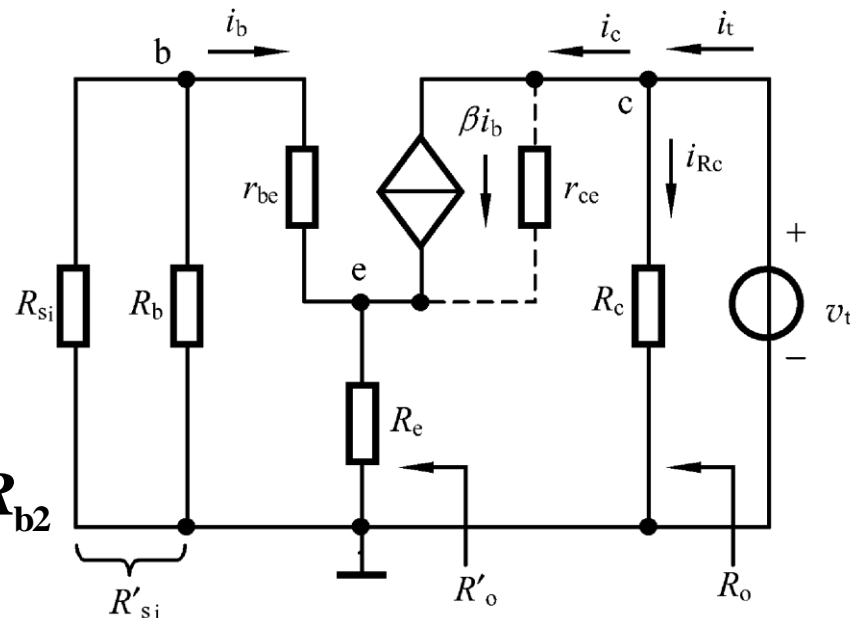
其中 $R'_{si} = R_{si} // R_b$ $R_b = R_{b1} // R_{b2}$

集电极回路根据KVL得：

$$v_t - (i_c - \beta i_b)r_{ce} - (i_b + i_c)R_e = 0$$

$$\text{得 } v_t = i_c \left[r_{ce} + R_e + \frac{R_e}{r_{be} + R'_{si} + R_e} (\beta r_{ce} - R_e) \right]$$

$$\text{所以 } R'_o = \frac{v_t}{i_c} = r_{ce} \left(1 + \frac{\beta R_e}{r_{be} + R'_{si} + R_e} \right) \quad (r_{ce} \gg R_e)$$



共射极放大电路的小信号分析

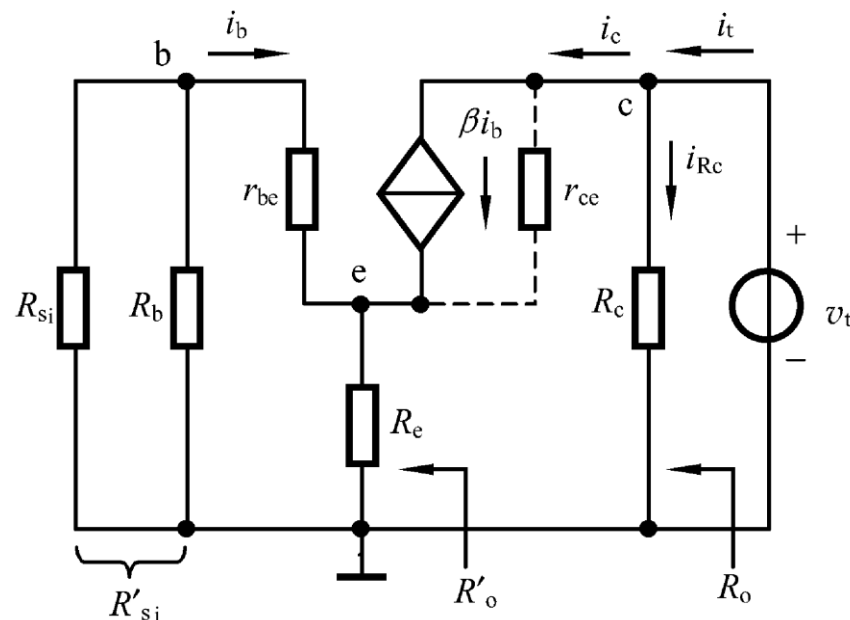
解：②动态指标分析

输出电阻 R_o

$$R_o = \frac{v_t}{i_t} = R'_o // R_c$$

通常 $R'_o \gg R_c$

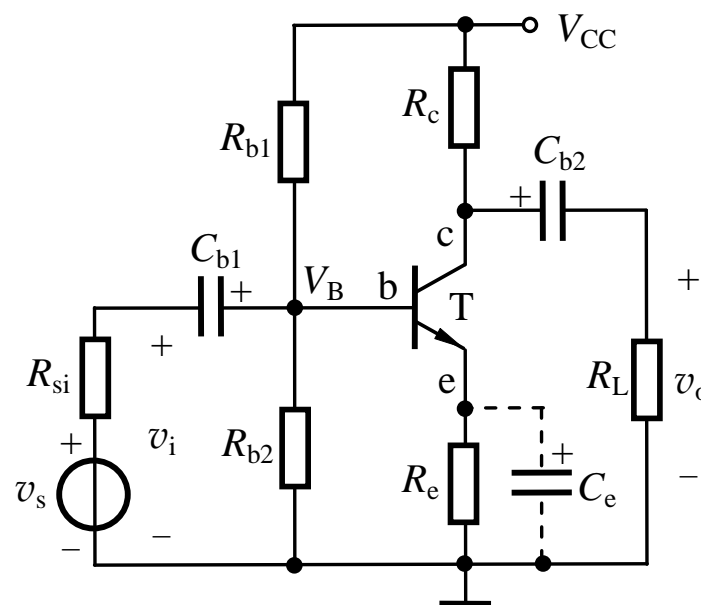
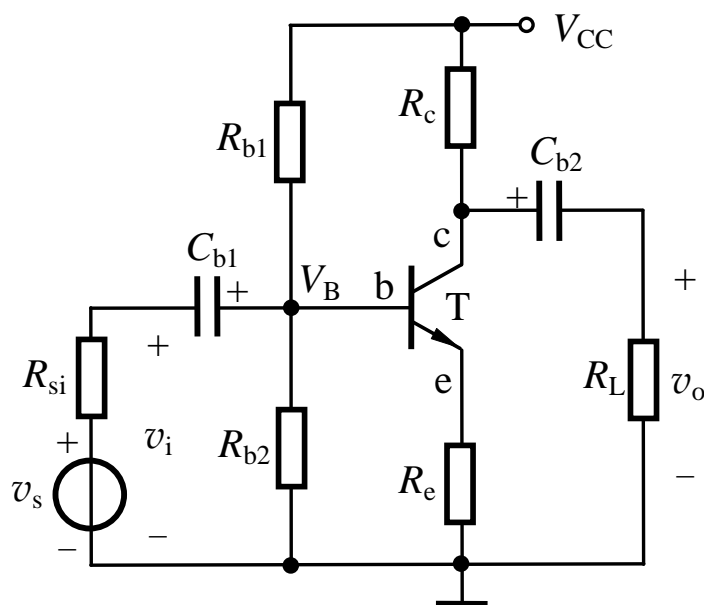
所以 $R_o \approx R_c = 3.3 \text{ k}\Omega$



共射极放大电路的小信号分析

解：③讨论

放大电路的电压增益 A_v 很小，只有1.05倍，其原因是发射极接入了电阻 R_e 。在两端并联一个大电容可以消除 R_e 的影响。



共射极放大电路的小信号分析

解：③讨论

此时小信号等效电路

电压增益变为

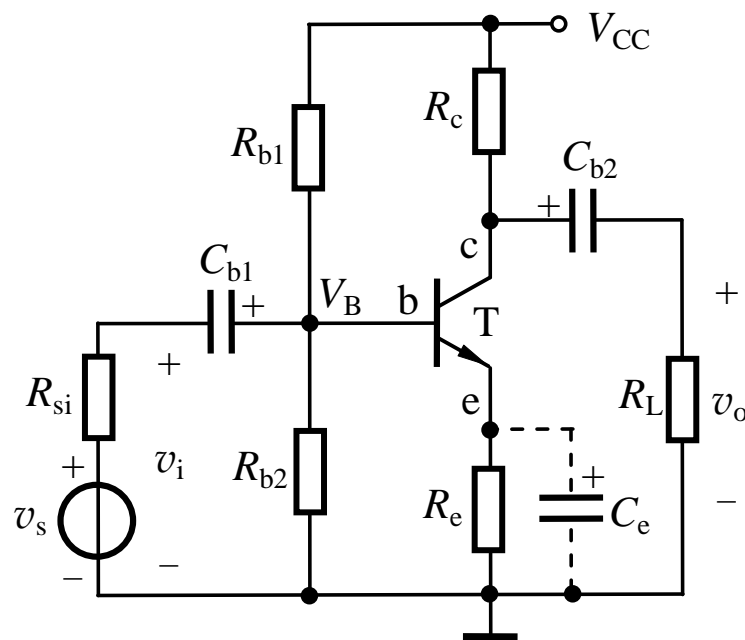
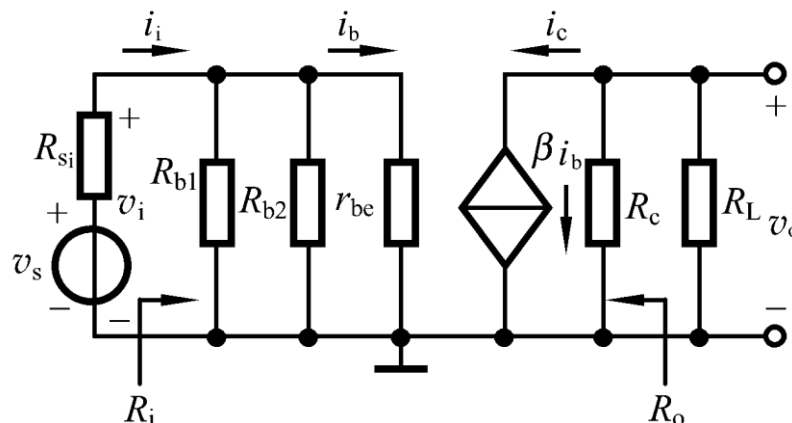
$$A_v = \frac{-\beta(R_c // R_L)}{r_{be}} = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}}$$

$$\approx -123.07$$

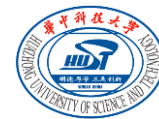
输入电阻变为

$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = R_{b1} // R_{b2} // r_{be}$$

$$\approx 1.28\text{k}\Omega$$



5 双极结型三极管及其放大电路



5.1 双极结型三极管（BJT）

5.2 基本共射极放大电路

5.3 共集电极放大电路

5.4 BJT放大电路三种组态的比较，FET和BJT及其基本放大电路性能的比较

*5.5 多级放大电路

5.3 共集电极放大电路

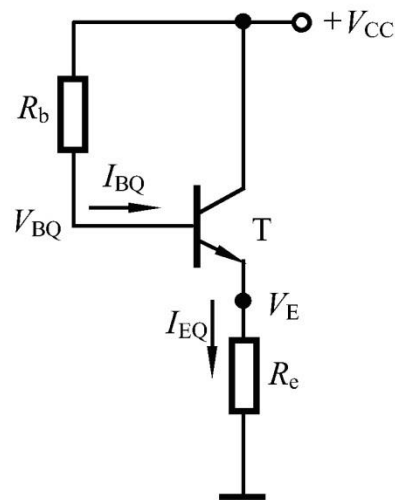
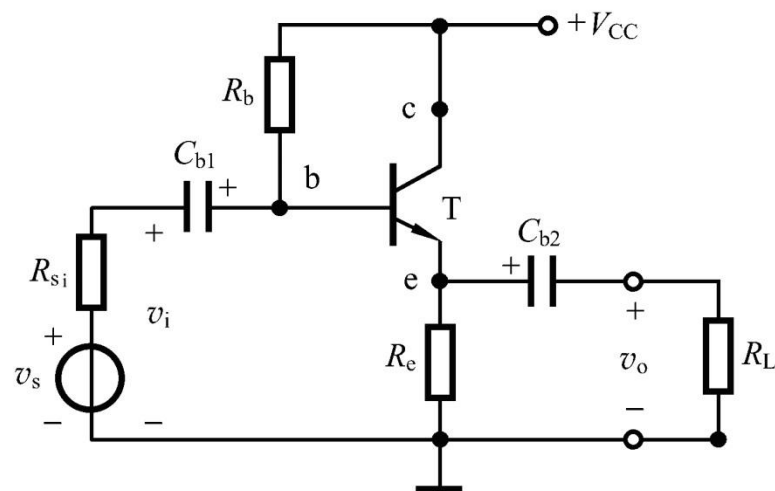
1. 静态分析

由直流通路

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BEQ}}{R_b + (1 + \beta)R_e}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} \approx I_{EQ}$$

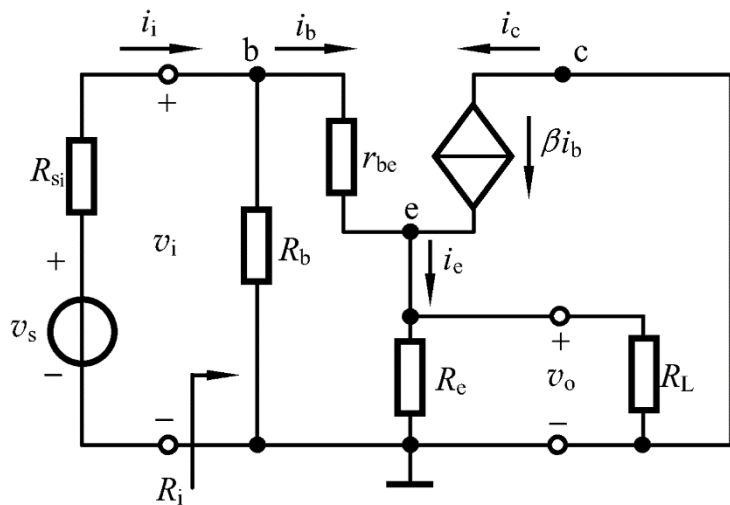
$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{EQ}R_e$$



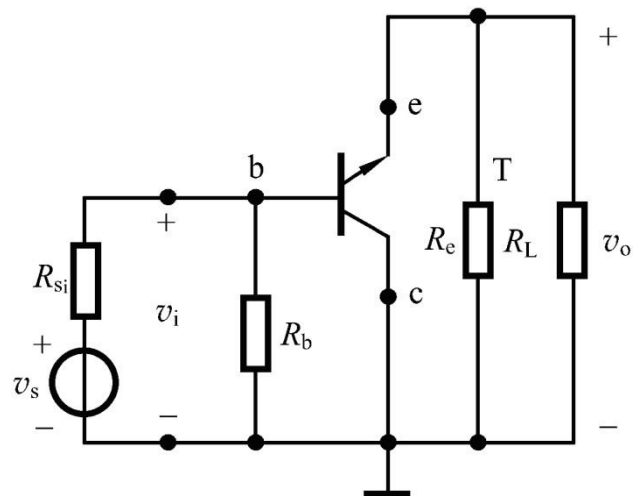
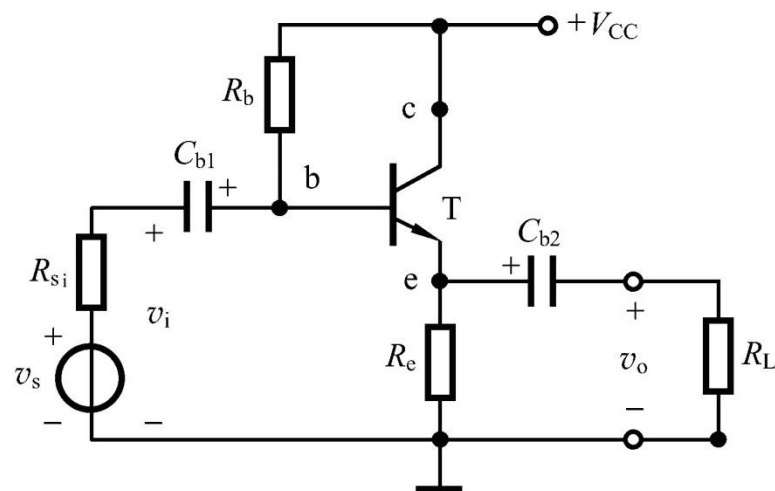
5.3 共集电极放大电路

2. 动态分析

$$r_{be} = 200\Omega + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_{CQ}}$$



小信号等效电路



交流通路

5.3 共集电极放大电路

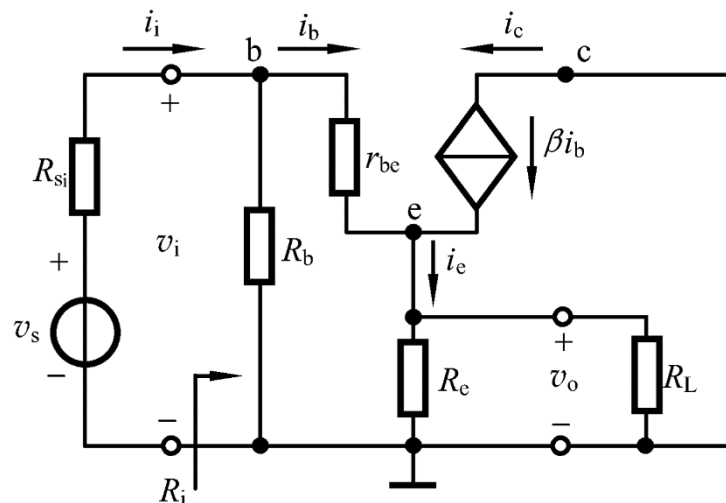
2. 动态分析

由

$$v_i = i_b r_{be} + (1 + \beta) i_b R'_L$$

$$v_o = (1 + \beta) i_b R'_L$$

其中 $R'_L = R_e // R_L$



得电压增益 $A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{(1 + \beta) i_b R'_L}{i_b [r_{be} + (1 + \beta) R'_L]} = \frac{(1 + \beta) R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R'_L}$

通常有 $(1 + \beta) R'_L \gg r_{be}$ 所以 $A_v \approx 1$ v_o 与 v_i 同相

电压跟随器

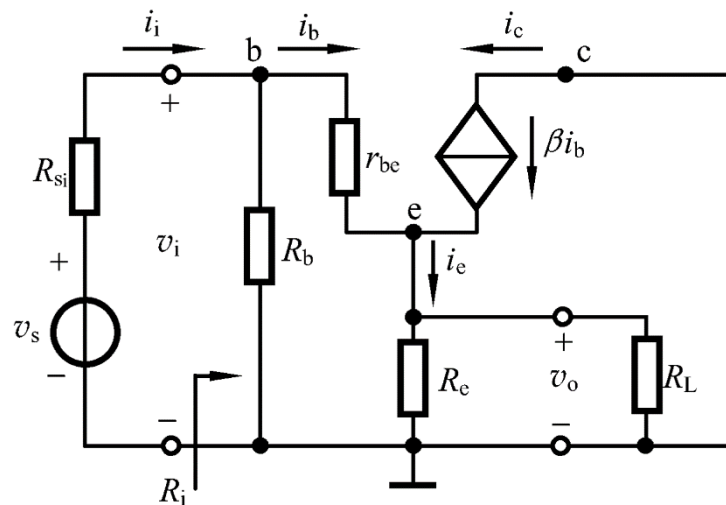
5.3 共集电极放大电路

2. 动态分析

输入电阻

$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{v_i}{\frac{v_i}{R_b} + \frac{v_i}{r_{be} + (1 + \beta)R'_L}}$$

$$= R_b // [r_{be} + (1 + \beta)R'_L]$$



$(1 + \beta)R'_L$ 是发射极支路等效电阻 R'_L 折算到基极支路时的等效电阻。

输入电阻大

5.3 共集电极放大电路

2. 动态分析

输出电阻

$$R_o = \left. \frac{v_t}{i_t} \right|_{v_s=0, R_L=\infty}$$

$$i_t = i_b + \beta i_b + i_{R_e}$$

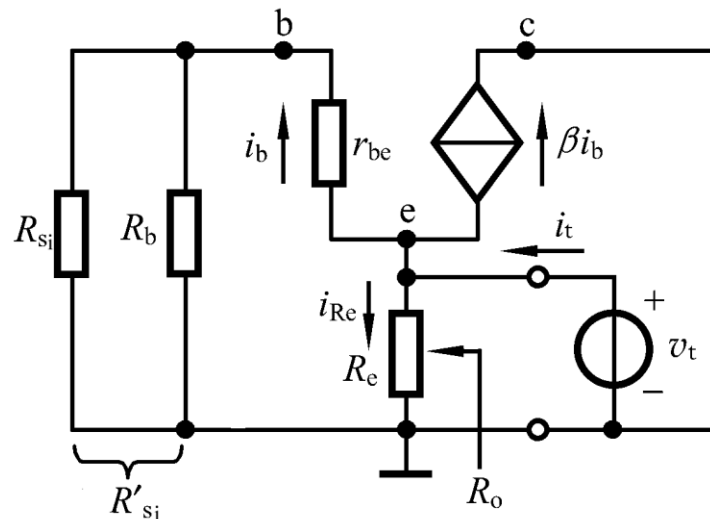
$$= v_t \left(\frac{1}{R'_{si} + r_{be}} + \beta \frac{1}{R'_{si} + r_{be}} + \frac{1}{R_e} \right)$$

其中 $R'_{si} = R_{si} // R_b$

得 $R_o = R_e // \frac{R'_{si} + r_{be}}{1 + \beta}$

后一部分是基极支路电阻 $R'_{si} + r_{be}$ 折合到射极支路时的等效电阻。

输出电阻小

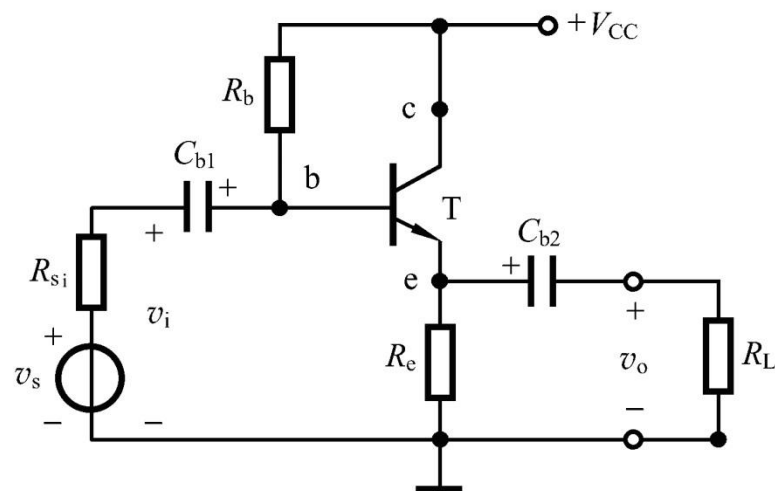


5.3 共集电极放大电路

$$A_v \approx 1$$

$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = R_b // [r_{be} + (1 + \beta)R'_L]$$

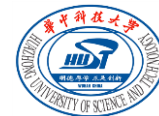
$$R_o = \frac{v_t}{i_t} = R_e // \frac{R'_s + r_{be}}{1 + \beta}$$



共集电极电路特点：

- ◆ 电压增益小于1但接近于1， v_o 与 v_i 同相
- ◆ 输入电阻大，对电压信号源衰减小
- ◆ 输出电阻小，带电压负载能力强

5 双极结型三极管及其放大电路



5.1 双极结型三极管（BJT）

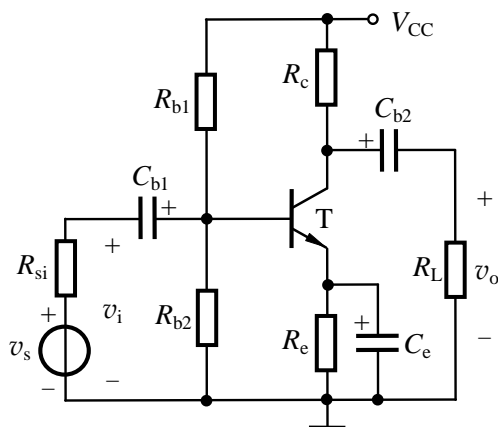
5.2 基本共射极放大电路

5.3 共集电极放大电路

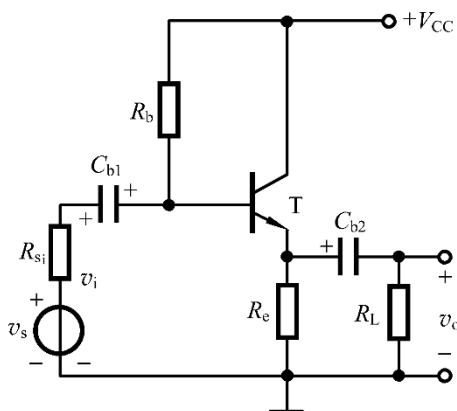
5.4 BJT放大电路三种组态的比较，FET和BJT及其基本放大电路性能的比较

*5.5 多级放大电路

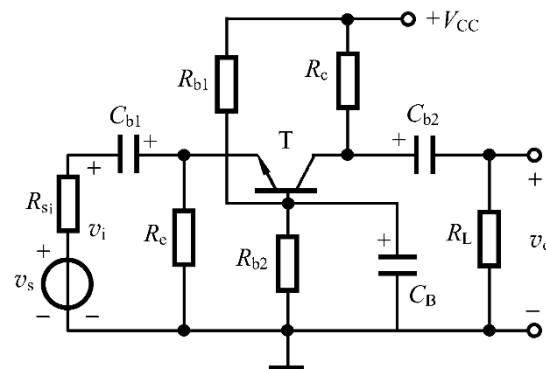
5.4 BJT放大电路三种组态的比较



共射极电路



共集电极电路



共基极电路

电压增益:

$$-\frac{\beta \cdot (R_c // R_L)}{r_{be}}$$

$$\frac{(1 + \beta) \cdot (R_e // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)(R_e // R_L)} \approx 1$$

$$\frac{\beta \cdot (R_c // R_L)}{r_{be}}$$

输入电阻:

$$R_b // r_{be}$$

$$R_b // [r_{be} + (1 + \beta)(R_e // R_L)]$$

$$R_e // \frac{r_{be}}{1 + \beta}$$

输出电阻:

$$R_c$$

$$R_e // \frac{(R_s // R_b) + r_{be}}{1 + \beta}$$

$$R_c$$

相位关系:

反相

同相

同相

用途:

多级放大电路的中间级

输入级、中间级、输出级

高频或宽频带电路

FET和BJT及其基本放大电路性能的比较

FET和BJT内部都含有两个PN结，外部都有3个电极。它们有如下的对应关系：

FET		BJT
栅极g	↔	基极b
源极s	↔	发射极e
漏极d	↔	集电极c

表 5.5.3 FET 和 BJT 放大电路性能的比较

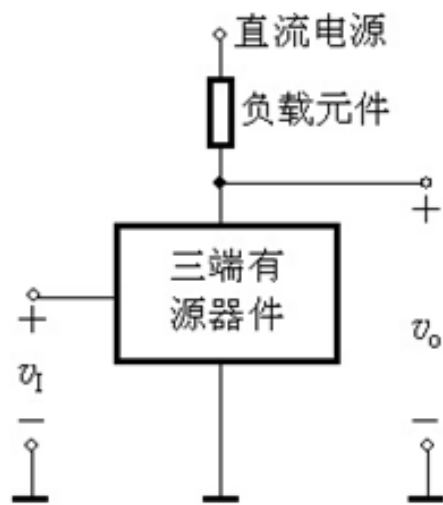
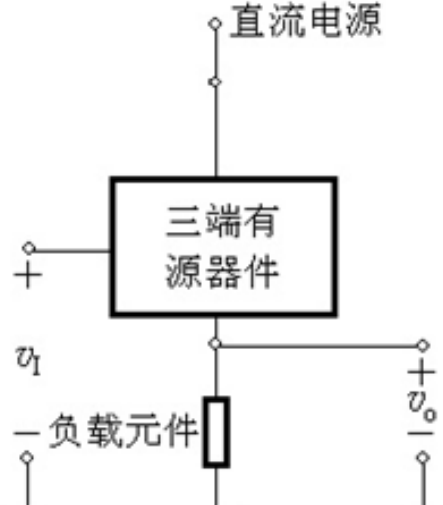
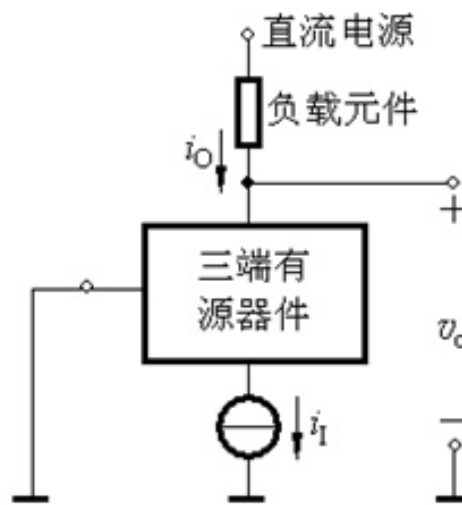
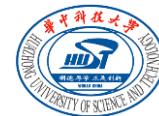
	反相电压放大电路	电压跟随器	电流跟随器
通用组态电路示意图			
组态命名依据的主要特征	不仅有 v_o 与 v_i 反相, 而且一般有 $ A_v \gg 1$	$v_o \approx v_i$, $A_v \approx 1$, 即 v_o 与 v_i 大小接近相等, 相位相同	$i_o \approx i_i$ 对于 BJT 有 $i_c \approx i_e$ 对于 FET 有 $i_d \approx i_s$
电路名称	共源极电路 共射极电路	共漏电极电路 共集极电路	共栅极电路 共基极电路
用途	电压增益高, 输入电阻和输入电容均较大, 适用于多级放大电路的中间级	输入电阻高、输出电阻低, 可作阻抗变换, 用于输入级、输出级或缓冲级	输入电阻小, 输入电容小, 适用于高频、宽带电路

表 5.5.2 MOS FET 和 BJT 的比较

	增强型 NMOS 管	NPN 型 BJT
电路符号		
工作在放大区的两个条件	<p>(1) 生成沟道 $v_{GS} \geq V_{TN}$ ($\approx 0.3 \sim 0.5V$, 现代工艺可达到的数值)</p> <p>(2) 沟道出现预夹断 $v_{DS} \geq v_{GS} - V_{TN}$</p>	<p>(1) 发射结正偏 $v_{BE} \geq V_{th}$ ($\approx 0.5V$)</p> <p>(2) 集电结反偏 或放宽为 $v_{BC} < 0.4V$ 且 $v_{BC} \geq 0.3V$</p>
放大区的电流-电压关系	$i_D = \frac{\mu_n C_{ox}}{2} \cdot \frac{W}{L} (v_{GS} - V_{TN})^2 (1 + \lambda v_{DS})$ $= K_n (v_{GS} - V_{TN})^2 (1 + \lambda v_{DS})$ $i_G = 0$	$i_E \approx I_{ES} e^{v_{BE}/V_T}$ $i_C = \alpha i_E$ $i_B = i_C / \beta$
简化的低频小信号模型 (共源、共射)		
互导 (或跨导) g_m	$g_m = 2K_n (V_{GSQ} - V_{TN}) = 2\sqrt{K_n I_{DQ}}$	$g_m = \beta / r_{be} \approx I_{EQ} / V_T$
共源、共射连接时三极管的输入电阻	$r_{gs} = \infty$	$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26mV}{I_{EQ}mA} \approx \frac{\beta}{g_m}$
三极管的输出电阻	$r_{ds} = [\lambda K_n (v_{GS} - V_{TN})^2]^{-1} = \frac{1}{\lambda I_{DQ}} = \frac{V_A}{I_{DQ}}$	$r_{ce} \approx \frac{V_A}{I_{CQ}}$

5 双极结型三极管及其放大电路



5.1 双极结型三极管（BJT）

5.2 基本共射极放大电路

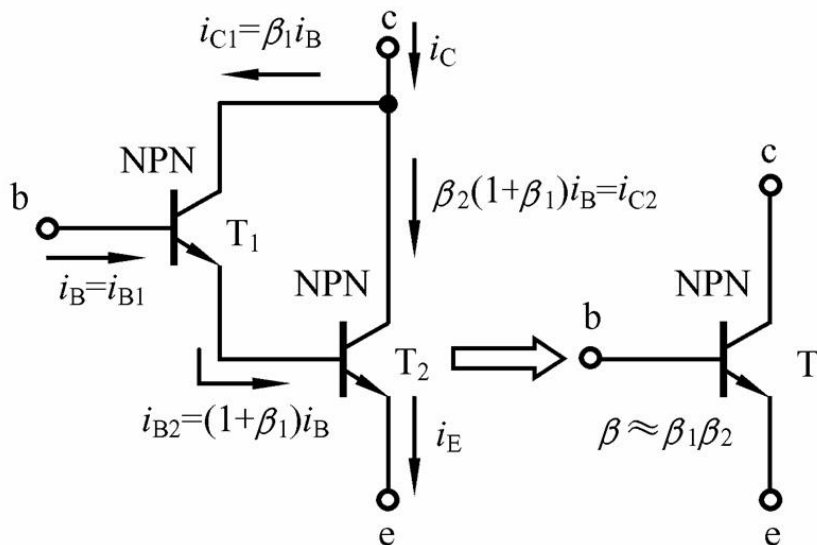
5.3 共集电极放大电路

5.4 BJT放大电路三种组态的比较，FET和BJT及其基本放大电路性能的比较

*5.5 多级放大电路

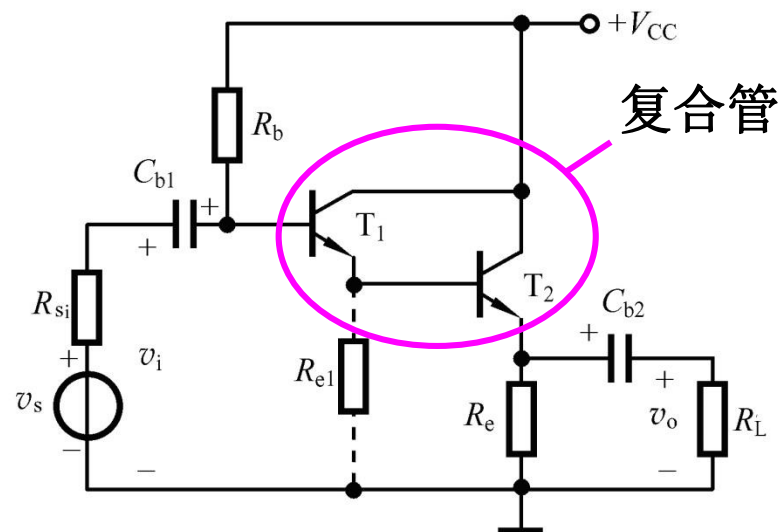
5.6.2 共集-共集放大电路

1. 复合管的主要特性



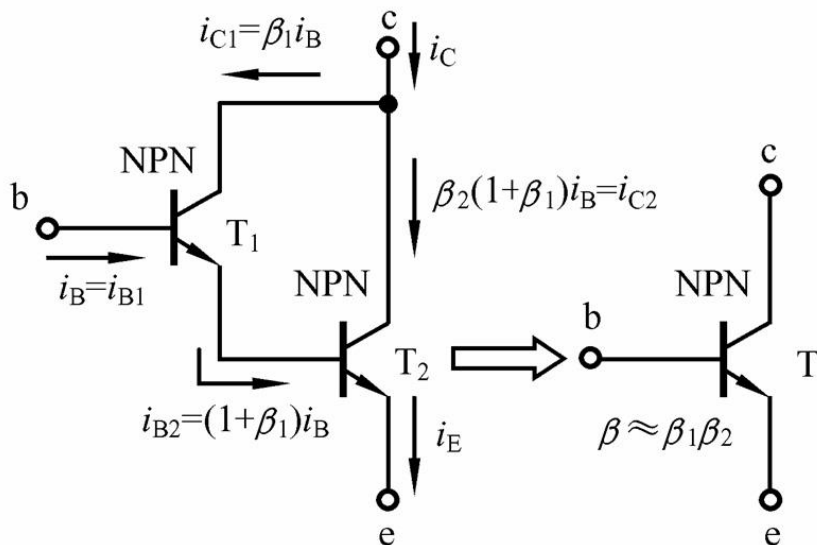
两只NPN型BJT组成的复合管

$$r_{be} = r_{be1} + (1 + \beta_1) r_{be2}$$

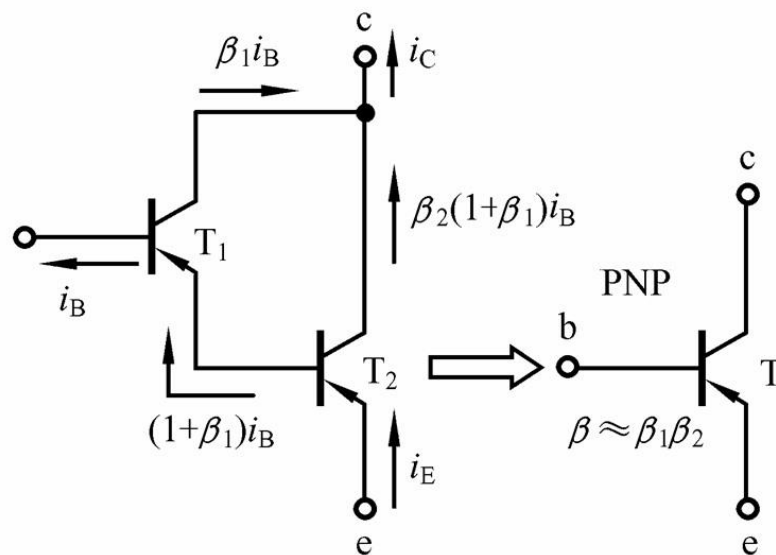


5.6.2 共集-共集放大电路

1. 复合管的主要特性



两只NPN型BJT组成的复合管

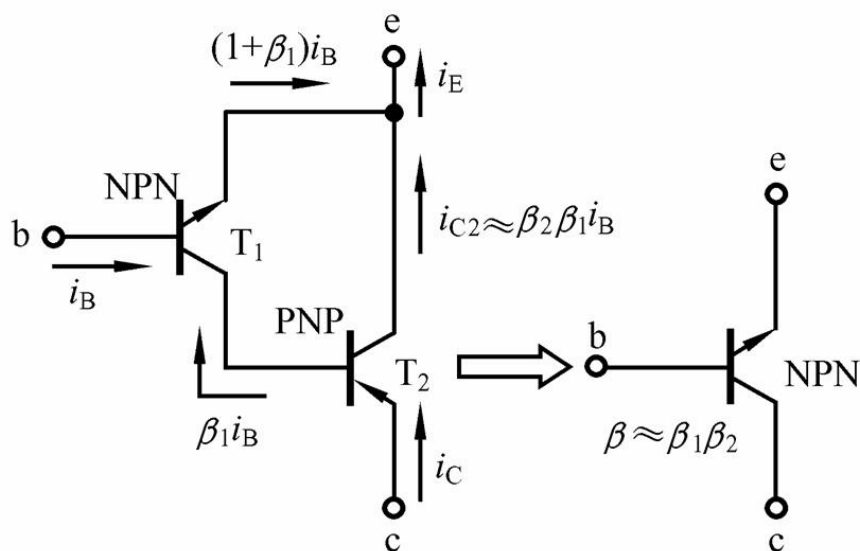


两只PNP型BJT组成的复合管

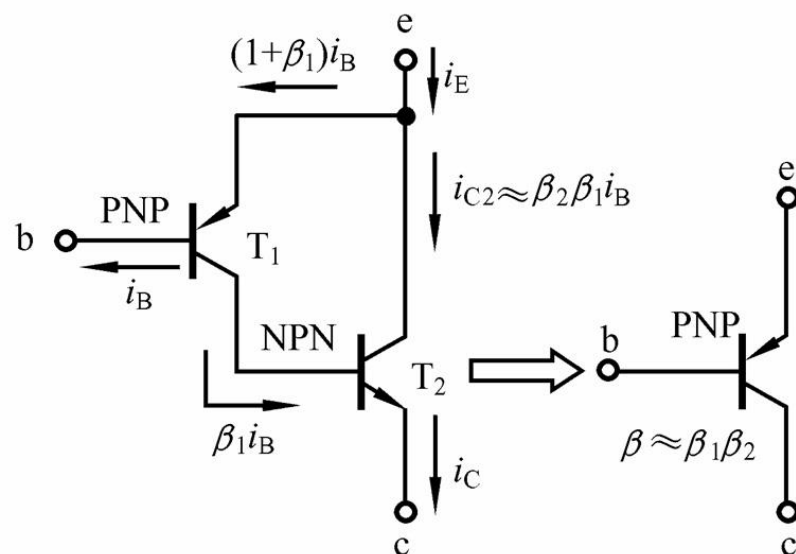
$$r_{be} = r_{be1} + (1 + \beta_1) r_{be2}$$

5.6.2 共集-共集放大电路

1. 复合管的主要特性



NPN与PNP型BJT组成的复合管

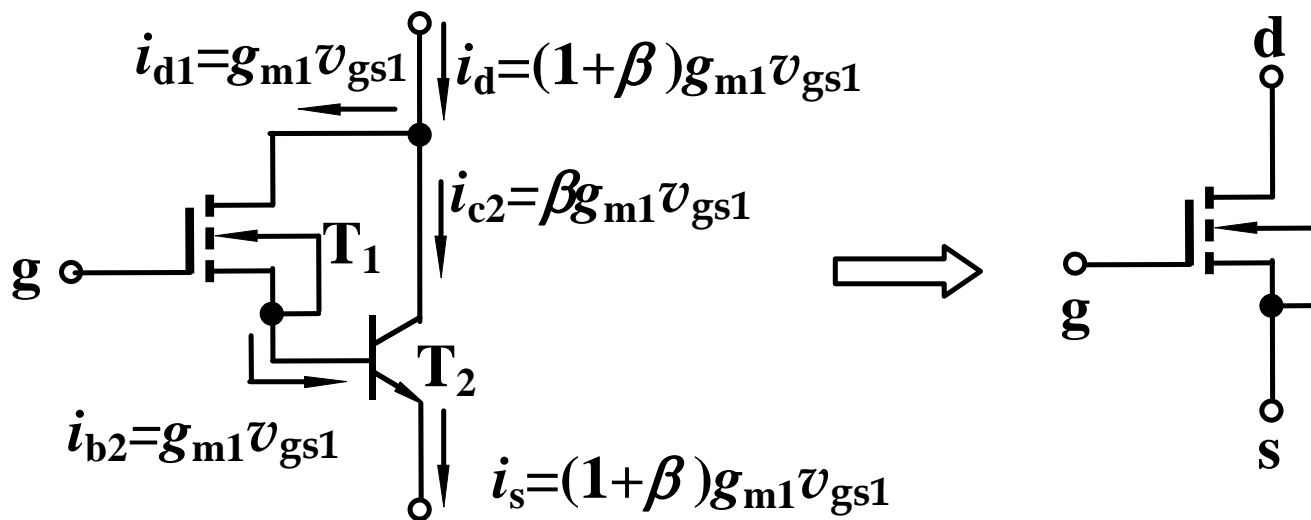


PNP与NPN型BJT组成的复合管

$$r_{be} = r_{be1}$$

5.6.2 共集-共集放大电路

1. 复合管的主要特性



MOS管与BJT组成的复合管

思考：

- ☐ BJT具有正常放大作用的外部条件是什么？
- ☐ BJT有哪些控制关系？
- ☐ 为什么要建立BJT的小信号模型？H参数小信号模型中各参数的物理意义是什么？它们与管子的静态工作点有关吗？在放大区哪个参数受影响最大？小信号模型的适用范围？
- ☐ 双电源供电的BJT放大电路和单电源供电的BJT放大电路有何同异点？
- ☐ 如何判别共射、共集和共基三种放大电路？三种电路的静态分析方法及动态分析方法有没有本质区别？三种放大电路各有什么特点？三种放大电路是否都可采用双电源工作？
- ☐ 复合管有什么特点？