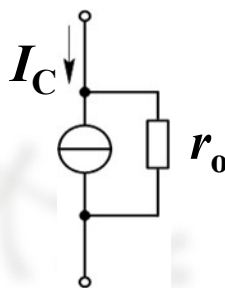
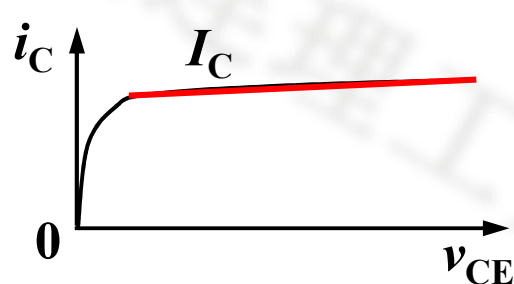
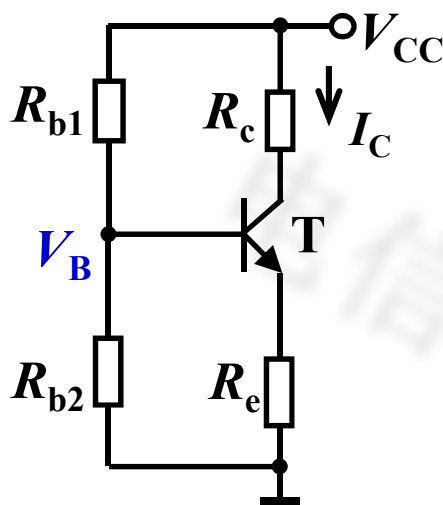


4. BJT电流源电路 (1) 基本结构

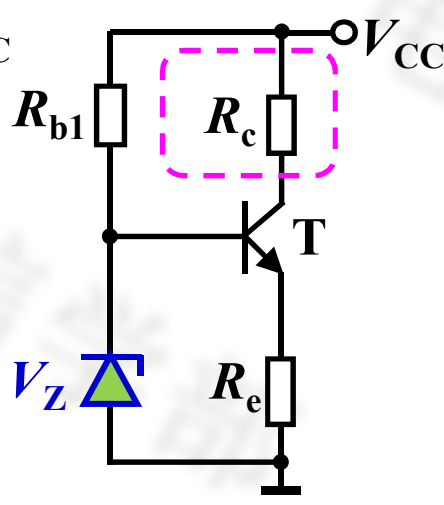
➤ 工作在放大区的晶体管是受控电流源，固定基极电压后即可等效为电流源。



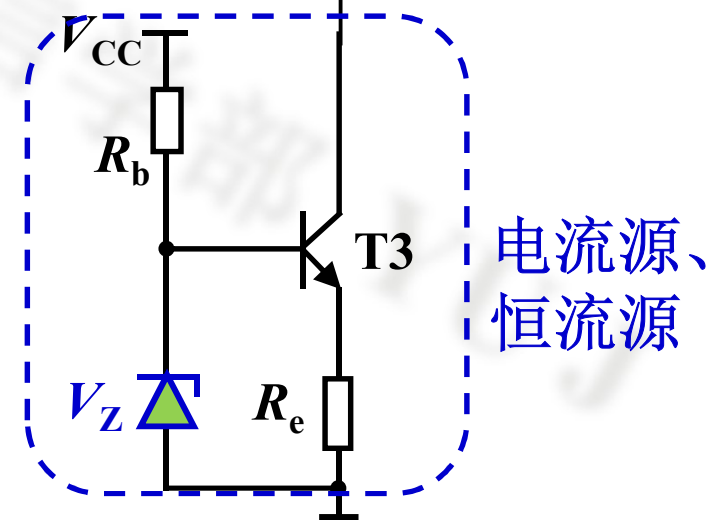
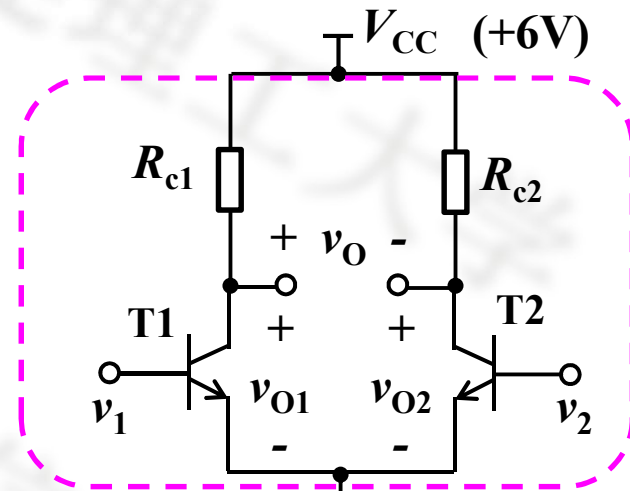
基极电阻分压偏置



$$I_C \approx I_E = (V_B - V_{BE})/R_e$$

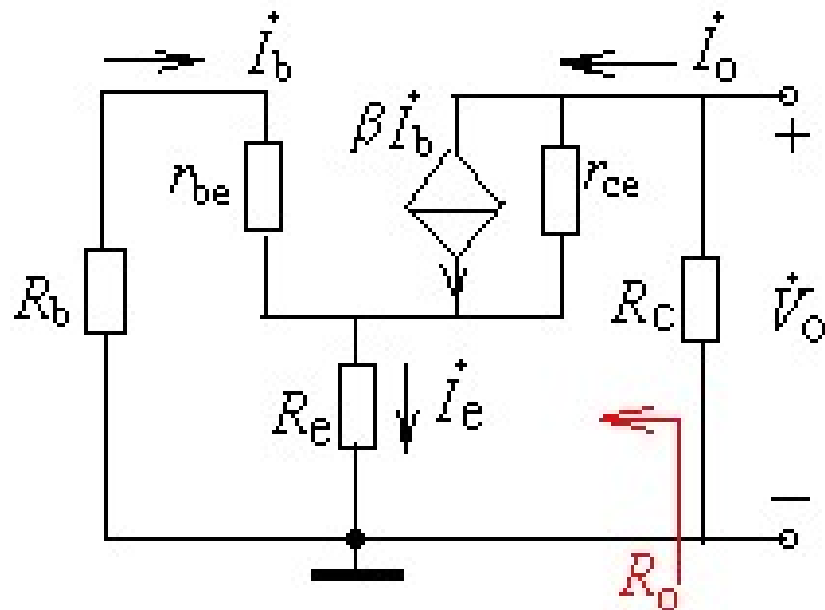


基极稳压二极管偏置

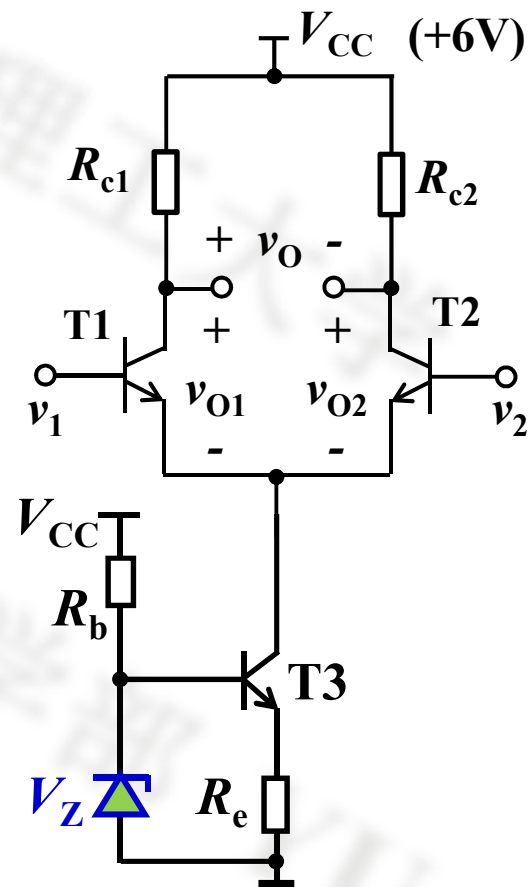


4. BJT电流源电路

(2) 电流源的输出阻抗



求 r_o 微变等效电路
(参考 P137 式 4.4.8)



此电流源等效输出阻抗: $r_o \approx r_{ce3} \left(1 + \frac{\beta_3 R_e}{R_b + r_{be3} + R_e} \right)$

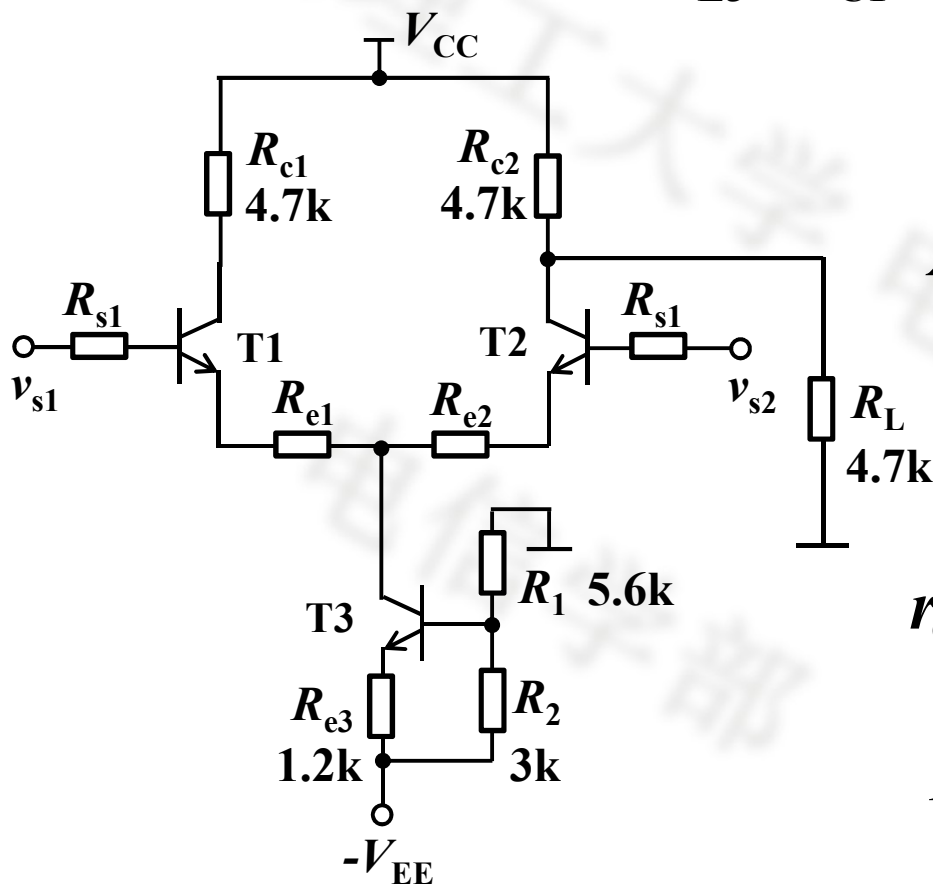
4. BJT电流源电路 (3) 尾部是电流源的差放分析

晶体管工作在放大状态，求共模抑制比，差模输入、输出阻抗。

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 50$$

$$r_{ce3} = 200k\Omega$$

解：先静态分析，依次计算 V_{B3} 、 V_{E3} 、 I_{E3} 、 $I_{C1} \approx I_{C2} \approx I_{E1} \approx I_{E2} \approx I_{E3}/2$ 、 r_{be1} 、 r_{be3} ；



$$K_{CMR} = |A_{vd2} / A_{vc2}|$$

$$A_{vd2} = \frac{\beta_2 (R_{c2} // R_L)}{2 [R_{s2} + r_{be2} + (1 + \beta_2) R_{e2}]}$$

$$A_{vc2} \approx (R_{c2} // R_L) / (2r_o)$$

$$r_o \approx r_{ce3} \left(1 + \frac{\beta_3 R_{e3}}{R_1 // R_2 + r_{be3} + R_{e3}} \right)$$

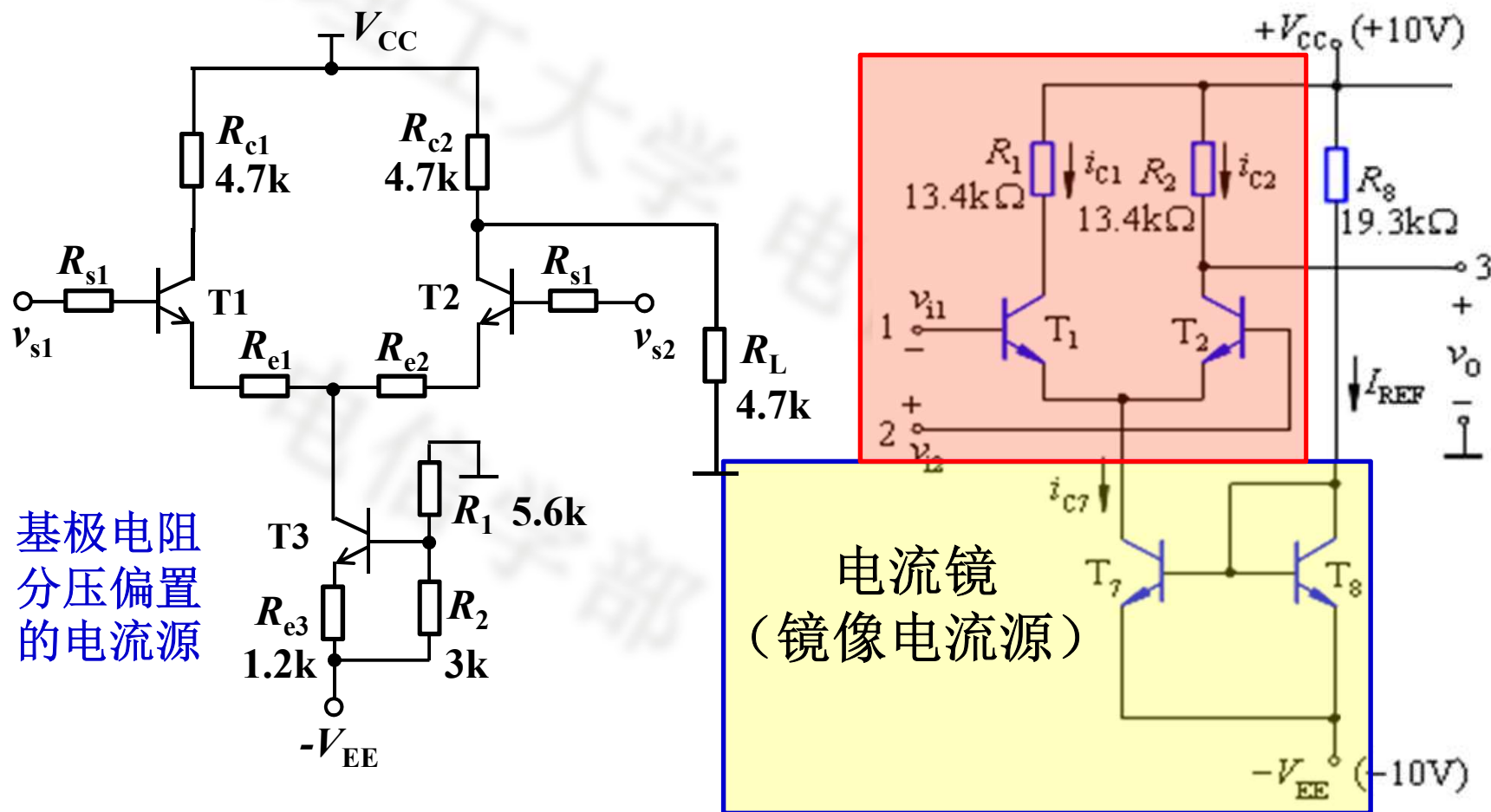
$$R_{id} = 2 [R_{s2} + r_{be2} + (1 + \beta_2) R_{e1}]$$

$$R_o = R_{c2}$$

4. BJT电流源电路 (4) 镜像电流源 (电流镜)

集成电路中，电流源的基极偏置电路常采用**电流镜**结构：

➤面积更小，更精确。



4. BJT电流源电路 (4) 镜像电流源 (电流镜)

① 基本电流镜

(Current mirror P257)

晶体管工作在放大区且 $\beta \gg 1$ 。

三极管 T_1 、 T_2 匹配 (性能完全

因为基极相连, $V_{BE1} \equiv V_{BE2}$

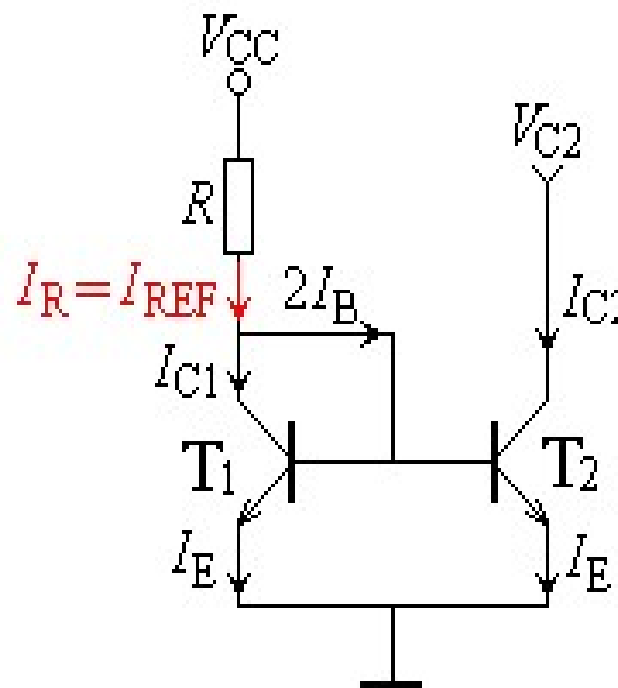
所以 $I_{B1} = I_{B2} = I_B$

$I_{C1} = I_{C2} = I_C$

通常, $\beta \gg 1$, 则 $2I_B \ll I_{C1}$

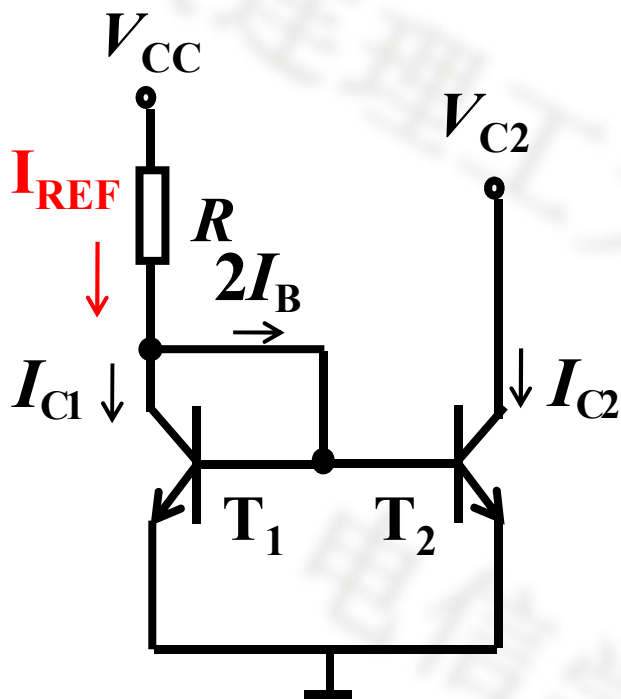
$I_{C1} = I_{REF} - 2I_B \approx I_{REF}$

$$\therefore I_{C2} \approx I_{REF} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R}$$



4. BJT电流源电路 (4) 镜像电流源 (电流镜)

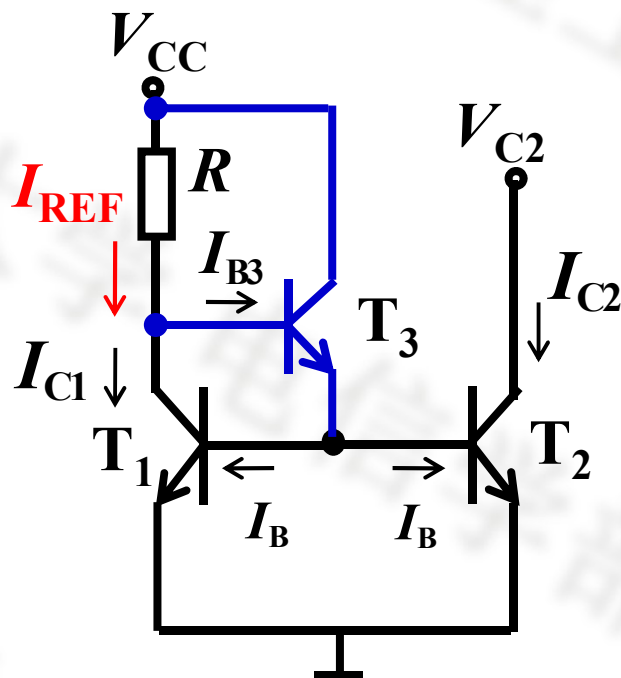
基本电流镜



存在问题1:

I_{C1} 对 I_{REF} 的复制精度

② 精密电流镜: 加入 T_3 , 相比于基本电流镜, 其 I_{C1} 对 I_{REF} 的复制精度提高了。



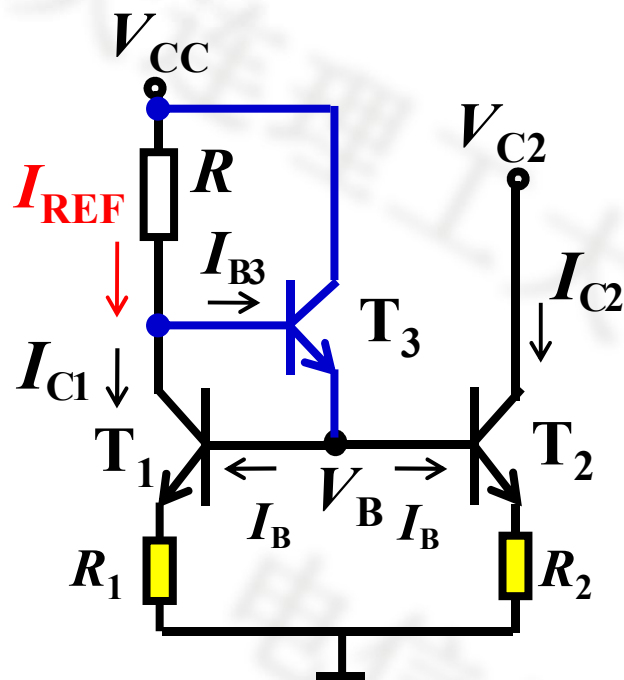
精密镜像电流源

对 I_{REF} 的分流为
 $2I_B/(1+\beta_3)$,
比原来小很多。

$$I_C = I_{REF} = \frac{V_{CC} - V_{BE3} - V_{BE1}}{R}$$

4. BJT电流源电路 (4) 镜像电流源 ② 精密电流镜

发射极加入电阻, 使 I_{C2} 可对 I_{REF} 按比例缩放。



精密镜像电流源

晶体管工作在放大区且 $\beta \gg 1$ 。

$$I_{E1} \approx I_{C1} \approx I_{REF}$$

$$V_B = V_{BE1} + I_{REF} R_1$$

$$= V_{BE2} + I_{C2} R_2$$

$$I_{REF} R_1 = I_{C2} R_2$$

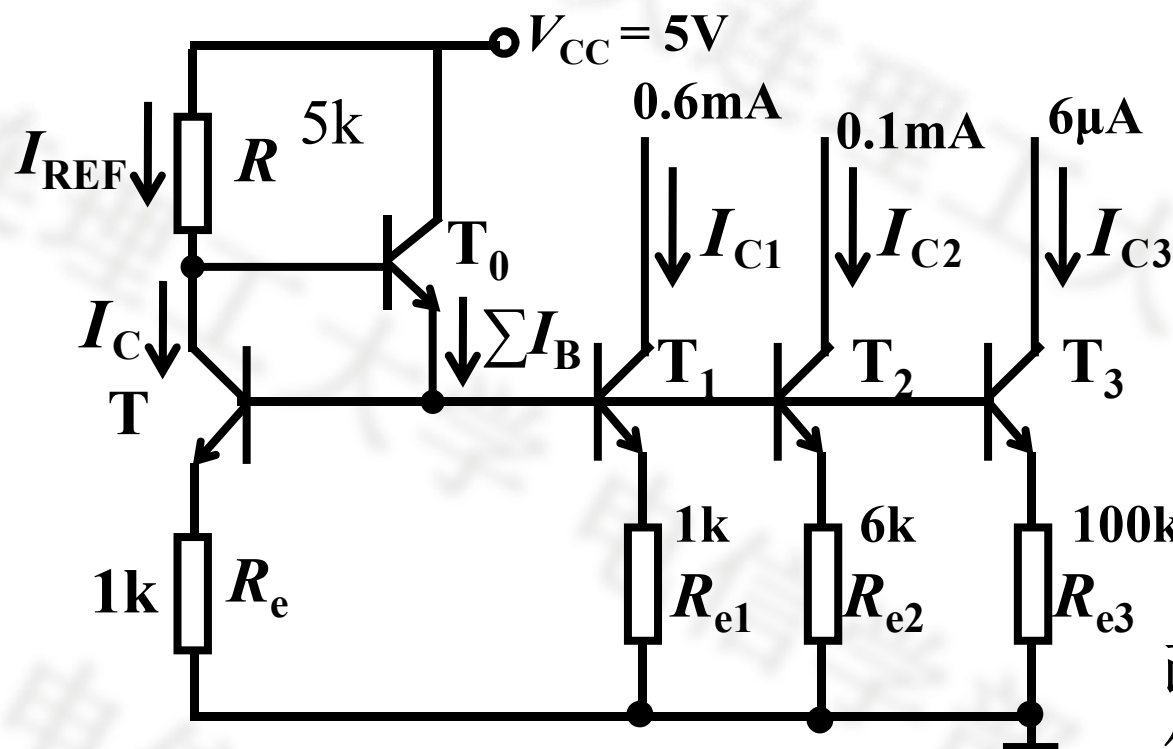
$$I_{C2} = I_{REF} \frac{R_1}{R_2}$$

前提: $V_{BE1} \approx V_{BE2}$

适用于 $\frac{1}{10} < \frac{I_{REF}}{I_O} < 10$

4. BJT电流源电路 (4) 镜像电流源 ② 精密电流镜

例：多路
电流源
P259



R 太大，不
易于集成

改进：
微电流源

在模拟集成电路中，经常用到多路电流源。

对基准电流 I_{REF} 进行复制、缩放，产生需要的多路偏置电流。

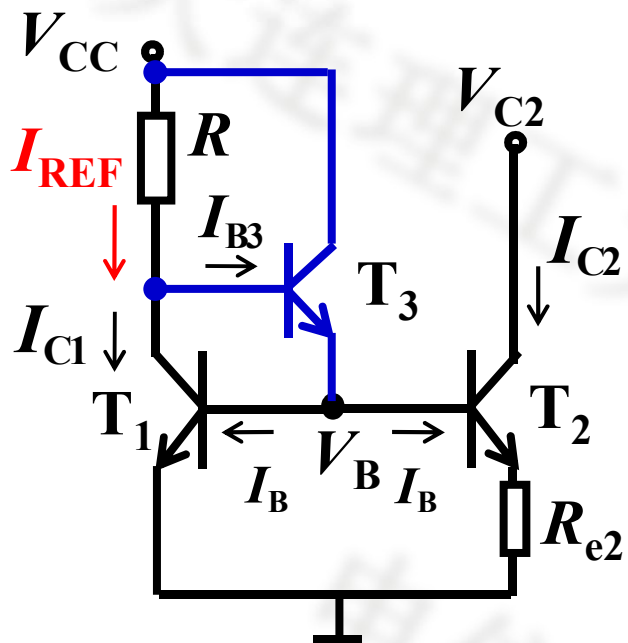
$$I_C = I_{REF} - \Sigma I_B / \beta_0 \approx I_{REF}$$

$$I_{REF} R_e = I_{C1} R_{e1} = I_{C2} R_{e2} = I_{C3} R_{e3}$$

$$I_{REF} = \frac{V_{CC} - 2V_{BE}}{R + R_e} = 0.6\text{mA}$$

4. BJT电流源电路 (4) 镜像电流源 ③ 微电流镜

$V_{CC}=5V$, 期望 $I_{C2}=6\mu A$



基本镜像电流源: $R = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{REF}} \approx 710k\Omega$

微电流源: 添加 R_{e2}

太大了

$$V_{BE1} - V_{BE2} \approx I_{C2} R_{e2}$$

$$I_{REF} \approx I_{C1} = I_S e^{V_{BE1}/V_T}$$

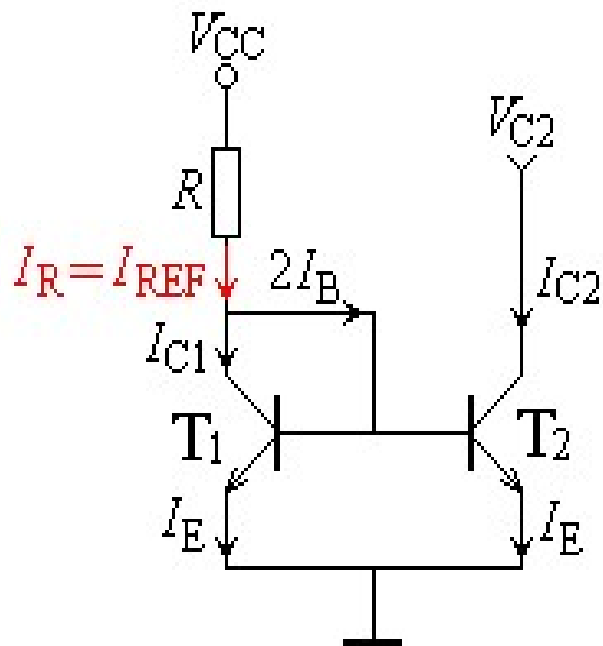
$$I_{C2} = I_S e^{V_{BE2}/V_T}$$

$$I_{REF} / I_{C2} = e^{(V_{BE1} - V_{BE2})/V_T} \approx e^{I_{C2} R_{e2} / V_T}$$

$$R_{e2} = \frac{V_T}{I_{C2}} \ln\left(\frac{I_{REF}}{I_{C2}}\right) = \frac{26mV}{6\mu A} \times \ln \frac{1mA}{6\mu A} \approx 22.2k\Omega$$

$$I_{REF} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R} = \frac{5 - 0.7}{4.3k} = 1mA \quad (\text{假如取 } R=4.3k)$$

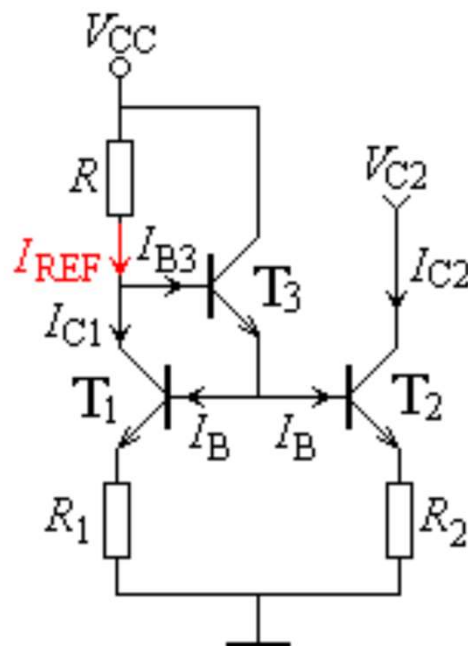
4. BJT电流源电路 (4) 镜像电流源 ④ 典型结构对比



镜像电流源

$$I_{C2} = I_{REF}$$

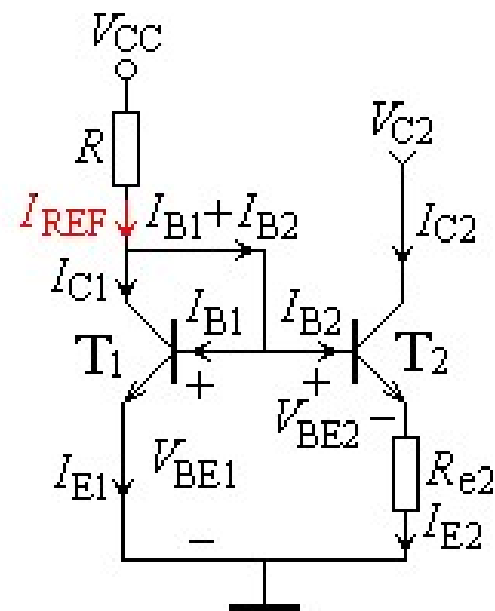
$$I_{REF} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R}$$



精密电流源

$$I_{C2} = I_{REF} \frac{R_1}{R_2}$$

$$I_{REF} = \frac{V_{CC} - 2V_{BE}}{R + R_{e1}}$$



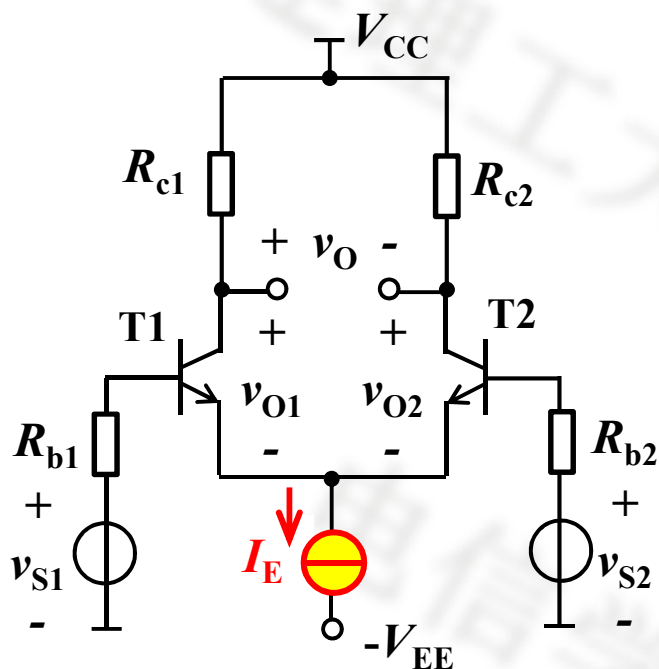
微电流源

$$\frac{I_{REF}}{I_{C2}} = \exp\left(\frac{I_{C2} R_{e2}}{V_T}\right)$$

$$I_{REF} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R}$$

4. BJT电流源电路

(5) 电流源的作用



① 电流源小信号模型相当于阻值很大的电阻。

② 电流源不影响差模放大倍数。

③ 电流源影响共模放大倍数，使共模放大倍数减小，从而增加共模抑制比。

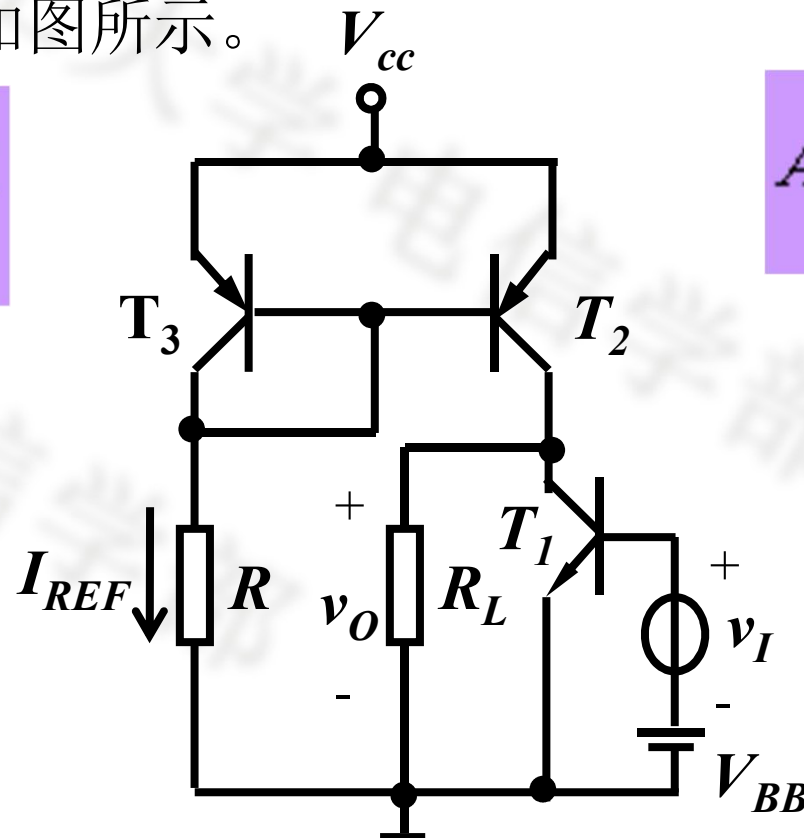
④ 理想的恒流源相当于阻值为无穷大的电阻，所以共模抑制比是无穷。

5. 电流源负载的双入单出差放

由于电流源具有交流电阻大的特点（理想电流源的内阻为无穷大），所以在模拟集成电路中被广泛用作放大电路的负载。这种由有源器件及其电路构成的放大电路的负载称为有源负载。共发射极有源负载放大电路如图所示。

$$A_v = -\frac{\beta \cdot (r_o \parallel R_L)}{r_{be}}$$

其中 r_o 是电流源的内阻，即从集电极看进去的交流等效电阻。



$$A_v = -\frac{\beta \cdot (R_c \parallel R_L)}{r_{be}}$$

而用电阻 R_c 作负载时由于 $r_o \gg R_c$ 所以有源负载大大提高了放大电路的电压增益。

5. 电流源负载的双入单出差放

分析图中各部分的作用。 Q1, Q2差分放大输入对管;

Q3~Q5精密电流镜作为有源负载;

C_c 耦合电容, 隔直通交;

R_L 负载, 单端输出;

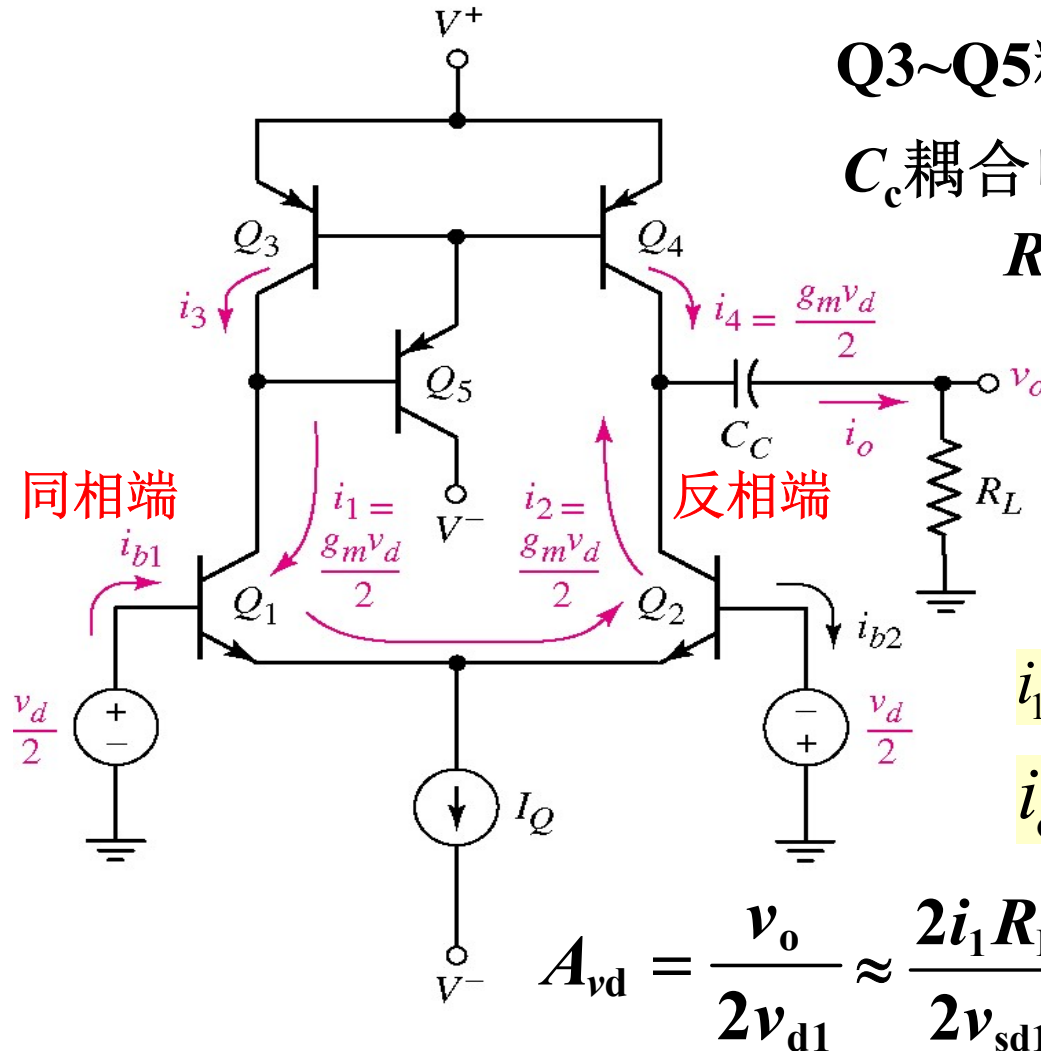
差模电压增益分析:

$$i_4 = i_3 \text{ (Current mirror)}$$

$$i_3 = i_1 \quad i_4 = i_1$$

$$i_1 = i_2 \text{ (with the direction shown)}$$

$$i_o = i_4 + i_2 = 2i_1$$

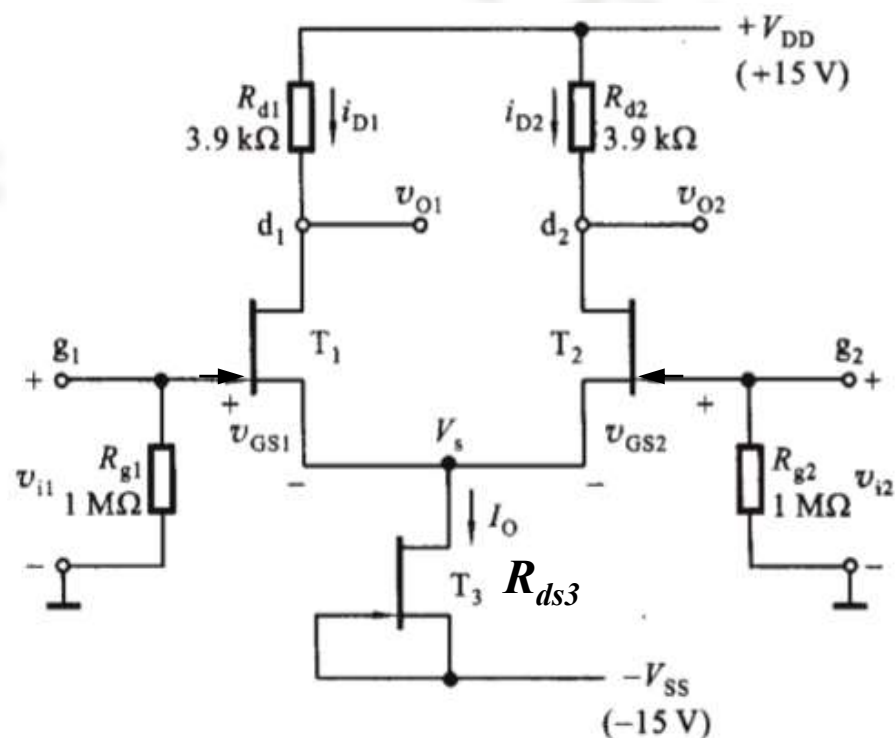
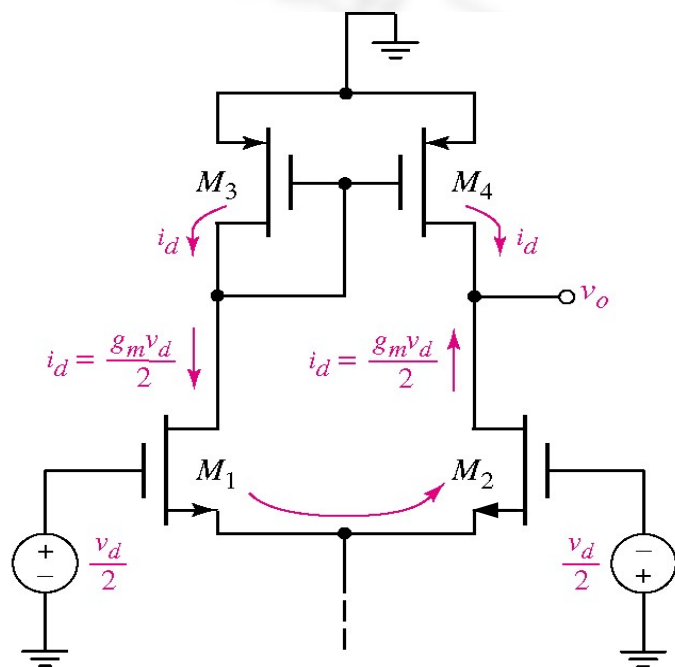


Ref to Fig.6.2.6(p271, ED5)

6. FET 差放

P273-276 (ED5)

BJT换成FET，分析过程一样。输入阻抗无穷大。



电流镜负载差放-差模分析

6.1 电流源与差放

小结

掌握：差放的电路结构、基本概念

掌握：电流源、镜像电流源

掌握：静态工作点分析、差模分析、共模分析

预习：集成运算放大器（书中6.4）

作业

P316: 6.2.4



群名称:模电2018_生医和计算机
群 号:561745191