



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

§ 5.3 电流源偏置电路

lugh@ustc.edu.cn

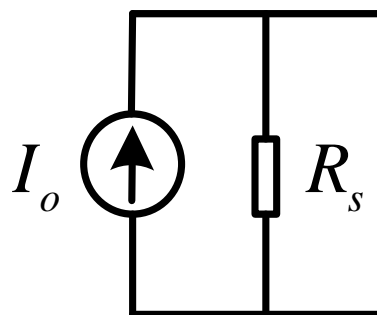
2016年11月8日

- 1. 镜像电流源
- 2. 微电流源
- 3. 比例电流源
- 4. 多路输出电流源
- 5. 电流源用于电平移动电路

1. 镜像电流源

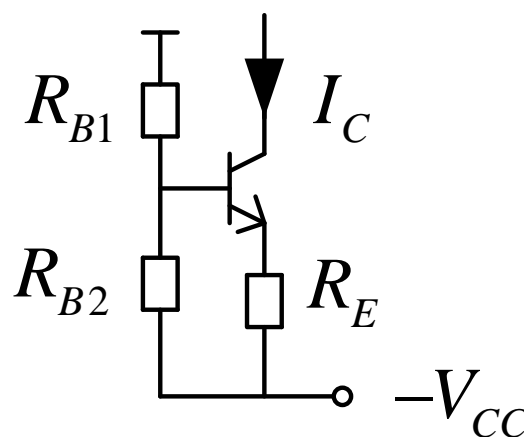
■ 理想电流源

- 直流电流恒定，不因外电路的改变而变化，且交流内阻无穷大



1. 镜像电流源

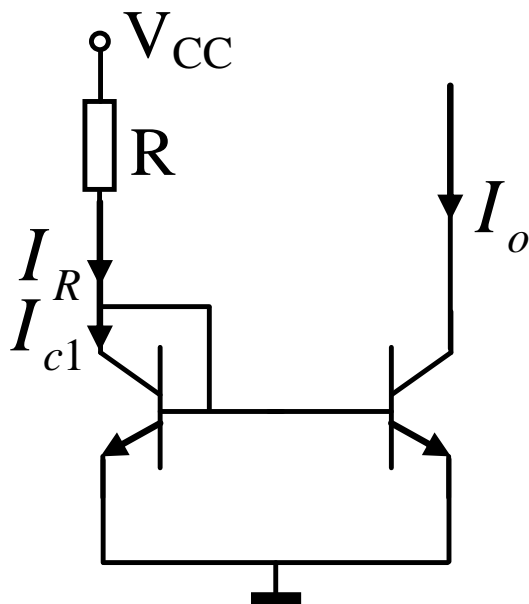
■ BJT基本电流源电路



- 将BJT偏置在线性放大区，则集电极静态电流 I_C 保持恒定，可视作恒流源
- 基本电流源温度稳定性较差，实际更常用的是镜像电流源

(1) 基本型

■ 电路结构

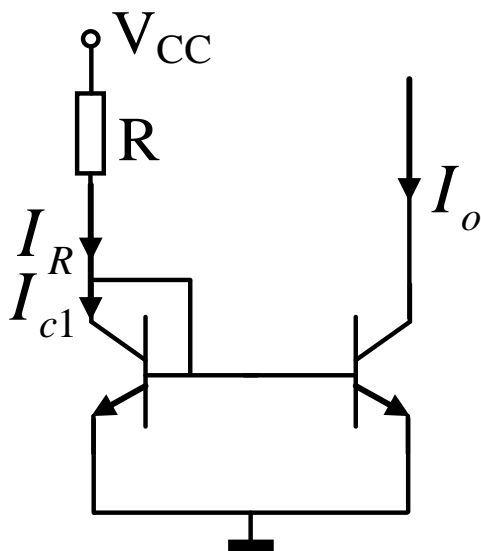


基准电流（参考电流）

$$I_R = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R}$$

(1) 基本型

■ 直流分析



$$I_E = I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

$$I_o = I_{C2} = I_{C1} = I_R - 2I_B$$

$$\beta \gg 2 \Rightarrow I_o = \frac{I_R}{1 + \frac{2}{\beta}} \approx I_R$$

■ 说明

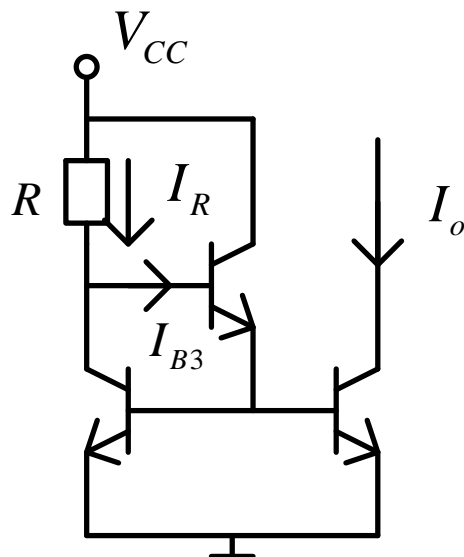
- 输出电流与基准电流近似相等，可看做其镜像（对称）

(2) 改进型

■ 设计目标

- 尽可能减小两管基极电流对基准电流的分流影响，或者说，降低晶体管 β 值对电流精度和稳定性的影响

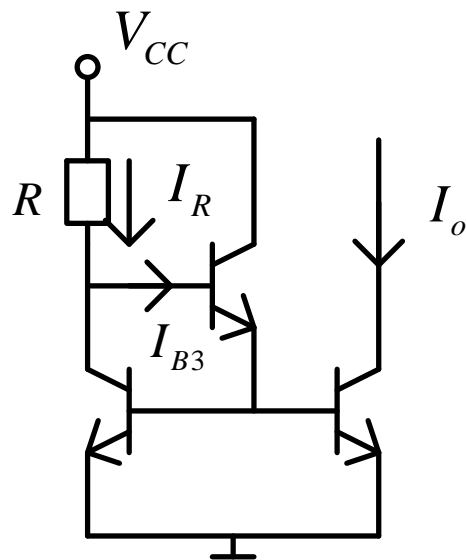
■ 电路结构



基准电流:
$$I_R = \frac{V_{CC} - 2V_{BE}}{R}$$

(2) 改进型

■ 直流分析



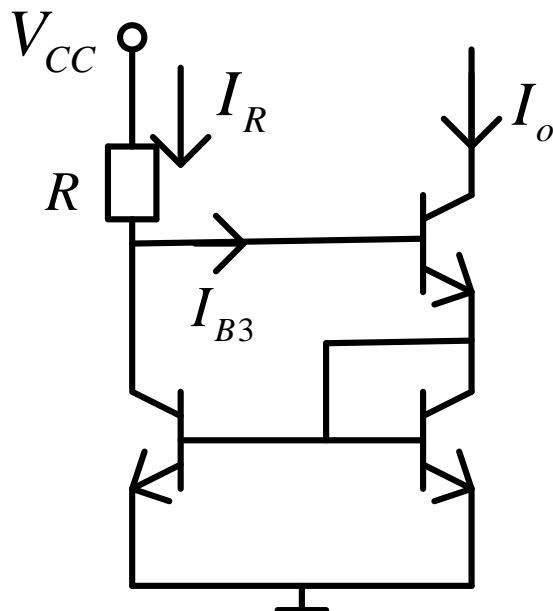
$$\begin{aligned} I_R &= I_{C1} + I_{B3} = I_{C1} + \frac{2I_B}{1 + \beta} \\ &= I_{C1} \left(1 + \frac{2}{\beta(1 + \beta)} \right) \\ \Rightarrow I_o = I_{C1} &= \frac{I_R}{1 + \frac{2}{\beta(1 + \beta)}} \end{aligned}$$

(3) 反馈型

■ 设计目标

- 进一步提高输出阻抗

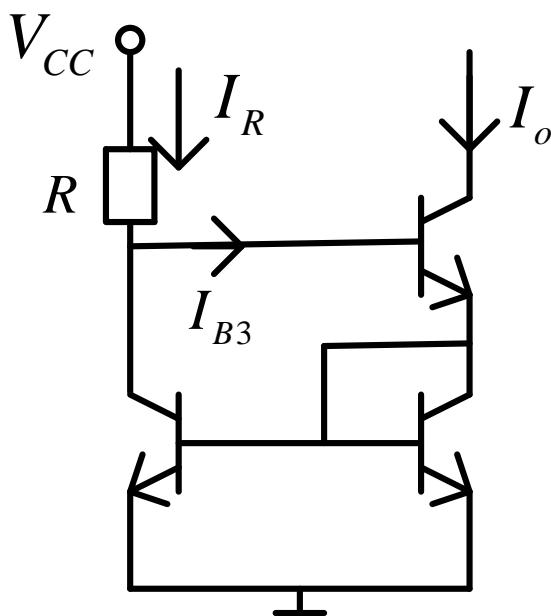
■ 电路结构



基准电流:
$$I_R = \frac{V_{CC} - 2V_{BE}}{R}$$

(3) 反馈型

■ 直流分析



$$I_R = I_{C1} + I_{B3} = \beta I_B + \frac{2I_B + \beta I_B}{1 + \beta} = I_B \left(\beta + \frac{2 + \beta}{1 + \beta} \right)$$

$$\Rightarrow I_B = \frac{I_R}{\beta + \frac{2 + \beta}{1 + \beta}}$$

$$\Rightarrow I_o = \beta I_{B3} = \beta \frac{2 + \beta}{1 + \beta} \frac{I_R}{\beta + \frac{2 + \beta}{1 + \beta}} = \frac{I_R}{1 + \frac{2}{\beta(\beta + 2)}}$$

$$\text{输出阻抗: } r_o \approx \frac{\beta}{2} r_c'$$

1. 镜像电流源

■ 应用

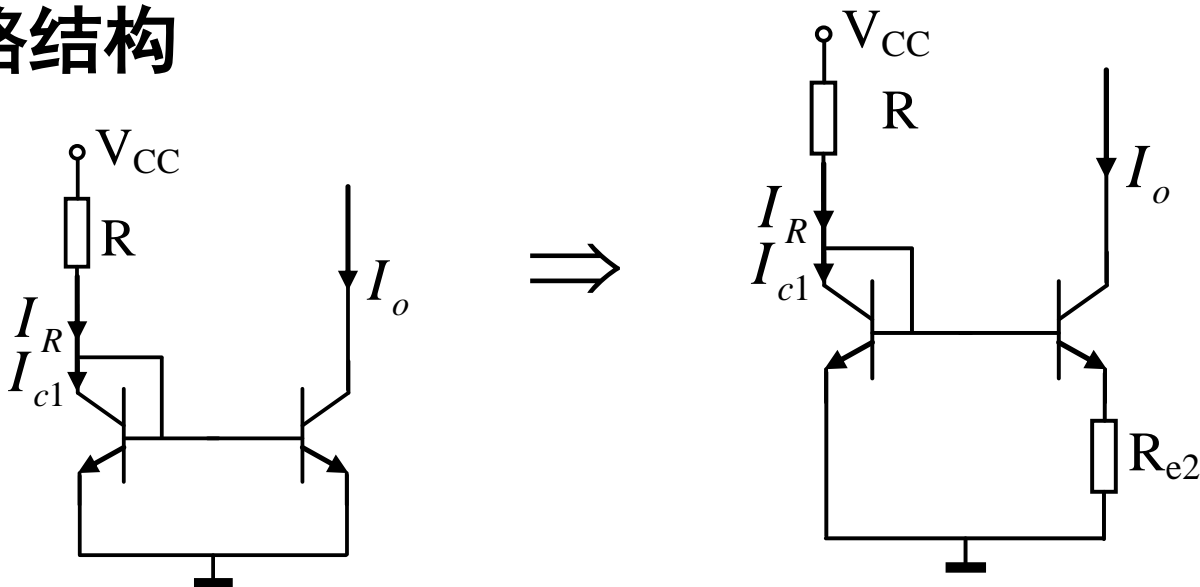
- 镜像电流源一般可提供mA量级的电流，可作放大电路的集电极、发射极偏置电流
- 镜像电流源提供的输出电流即基准电流，若要为基极提供偏置电流，基准电阻取值较大，然而制作大电阻不便于集成，故需采用微电流源

2. 微电流源电路

■ 基本思路

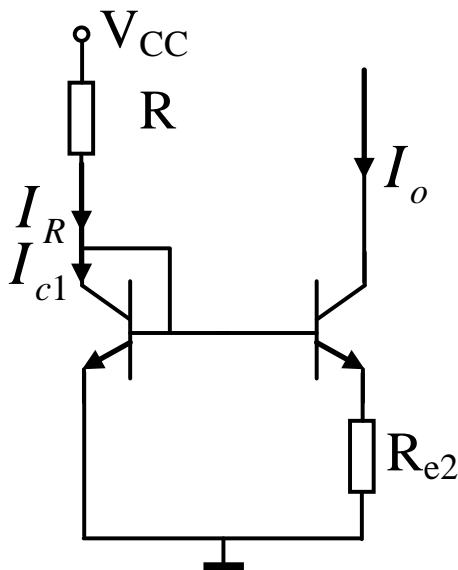
- 通过串入电阻，降低T2管的 V_{BE} 使得 $V_{BE2} < V_{BE1}$ ，进而降低T2管输出电流

■ 电路结构



2. 微电流源电路

■ 直流分析



$$\text{基准电流: } I_R = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R}$$

$$V_{BE1} = V_{BE2} + I_o R_{e2}$$

$$I_o R_{e2} = V_{BE1} - V_{BE2} = V_T \left(\ln \frac{I_{E1}}{I_{s1}} - \ln \frac{I_{E2}}{I_{s2}} \right)$$

$$= V_T \ln \frac{I_{E1}}{I_{E2}} = V_T \ln \frac{I_R}{I_o}$$

$$I_o = \frac{V_T}{R_{e2}} \ln \frac{I_R}{I_o}$$

2. 微电流源电路

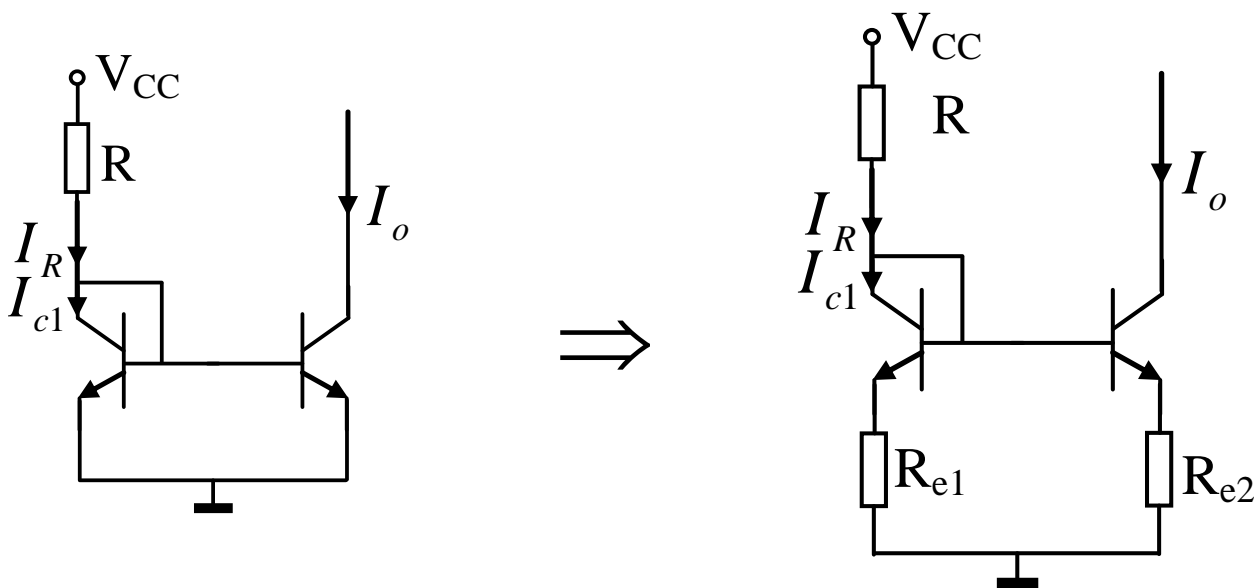
$$I_o = \frac{V_T}{R_{e2}} \ln \frac{I_R}{I_o}$$

对 $I_R = 1mA$ ，若要求 $I_o = 10\mu A$ ，则可得室温下
 $R_e = 12k\Omega$ ，其上压降很小为0.12V，而电流已经下降了100倍

3. 比例电流源

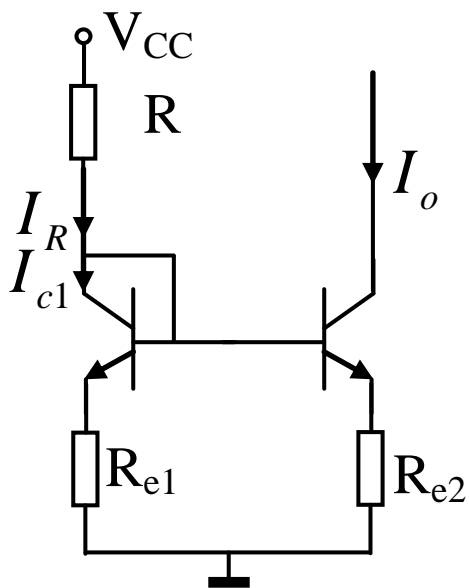
■ 设计目标

- 输出电流与基准电流呈比例关系



3. 比例电流源

■ 直流分析



$$V_{BE1} + I_R R_{e1} = V_{BE2} + I_o R_{e2}$$

$$I_o R_{e2} - I_R R_{e1} = V_{BE1} - V_{BE2} = V_T \ln \frac{I_R}{I_o}$$

$$\frac{1}{10} < \frac{I_R}{I_o} < 10 \Rightarrow$$

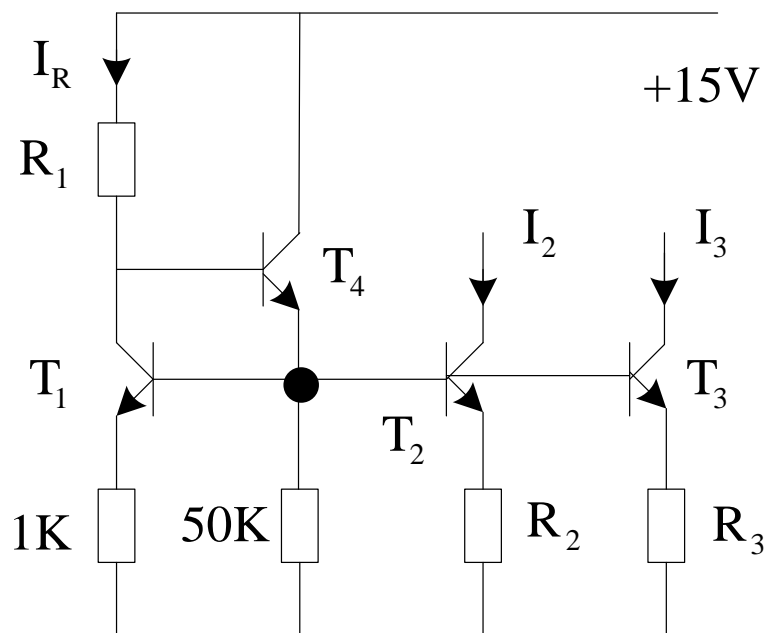
$$\left| V_T \ln \frac{I_R}{I_o} \right| < 26mV \times \ln 10 = 60mV$$

$$\Rightarrow I_o \approx I_R \frac{R_{e1}}{R_{e2}}$$

4. 多路输出电流源

■ 例：电流源电路分析

已知 $I_R = 1\text{mA}$, $T_1 \sim T_4$ 的 $\beta \gg 1$, $V_{\text{BEON}} = 0.7\text{V}$, 若要求 $I_2 = 1\text{mA}$, $I_3 = 0.5\text{mA}$, 求 R_1 , R_2 , R_3 。



4. 多路输出电流源

解:

由 $15 - I_R R_1 - 0.7 - 0.7 - I_R \cdot 1 = 0$ 可知, $R_1 = 12.6\text{K}\Omega$

而 $I_R \cdot 1 = I_2 R_2 = I_3 R_3$, 故

$R_2 = 1\text{K}\Omega$, $R_3 = 2\text{K}\Omega$

5. 电流源用于电平移动电路

■ 必要性

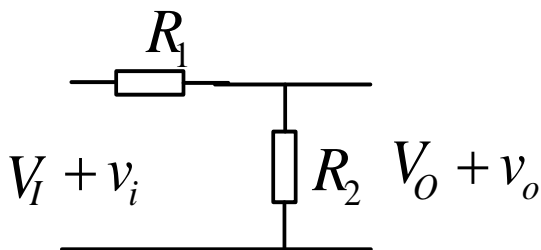
- 为了解决多级放大器的零输入-零输出问题，需要引入电平移动电路
- 电平移动电路在改变直流电平的同时，不应该损失交流信号

■ 可选方案

- 使用电流源电路
- 使用互补电路（ **PNP** 管与**NPN**管同时使用）

5. 电流源用于电平移动电路

■ 电阻分压式电平移动电路



$$V_O = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_I$$

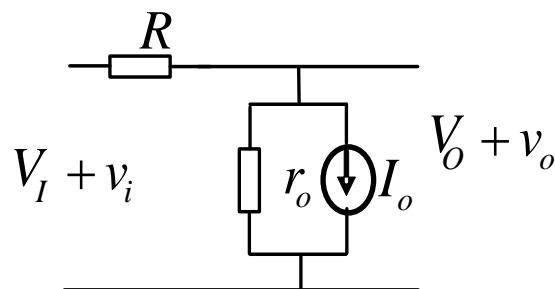
$$v_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_i$$

■ 说明

- 分压式电平移动电路对直流和交流信号均进行分压，导致交流信号损失严重，不能满足设计要求

5. 电流源用于电平移动电路

■ 电流源用于电平移动电路

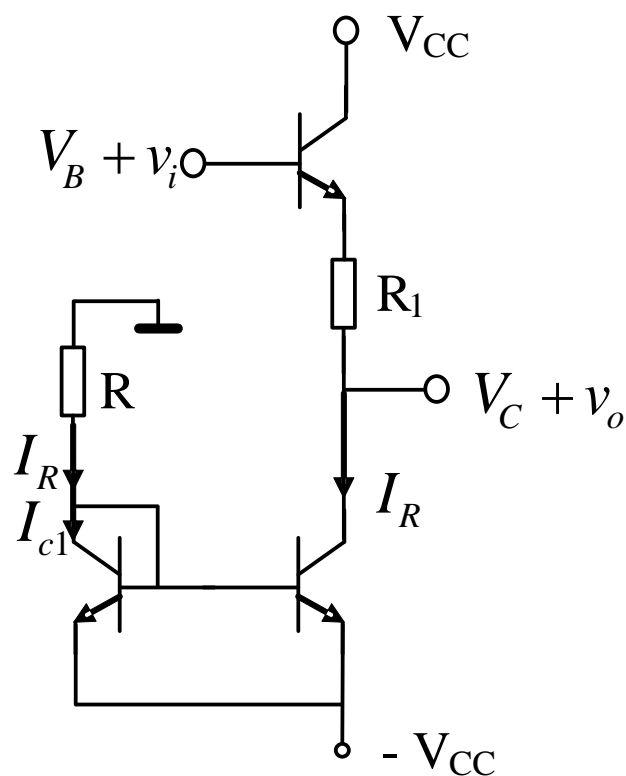


$$V_o = V_i - I_o R$$

$$v_o = \frac{r_o}{r_o + R} v_i \approx v_i$$

5. 电流源用于电平移动电路

■ 实际电路



5. 电流源用于电平移动电路

■ 直流分析

$$I_R = \frac{V_{CC} - V_{BEON}}{R}$$

$$V_C = V_B - V_{BEON} - I_R R_1$$

■ 交流分析

$$v_o = \frac{r_o}{r_o + R_1} v_i \approx v_i$$