



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

§ 5.4 有源负载差动放大器

lugh@ustc.edu.cn

2016年11月8日

有源负载差动放大器

■ 目标

- 提高单端输出时的差模增益及差动增益

■ 差模半电路分析结果

$$\text{双端输出: } A_{d\text{半}} = -\frac{\beta(R_C \parallel \frac{R_L}{2})}{h_{ie} + R_s \parallel R_B} \cdot \frac{R_B}{R_s + R_B}$$

$$\text{单端输出: } A_{d\text{半}} = -\frac{\beta(R_C \parallel R_L)}{h_{ie} + R_s \parallel R_B} \cdot \frac{R_B}{R_s + R_B}$$

有源负载差动放大器

■ 存在的问题

- 电路差模增益直接受 $R_C \parallel R_L$ 影响，要提高增益必须加大 R_C ，但加大 R_C 和加大 R_E 类似，必然带来直流损耗和电源电压等其它问题

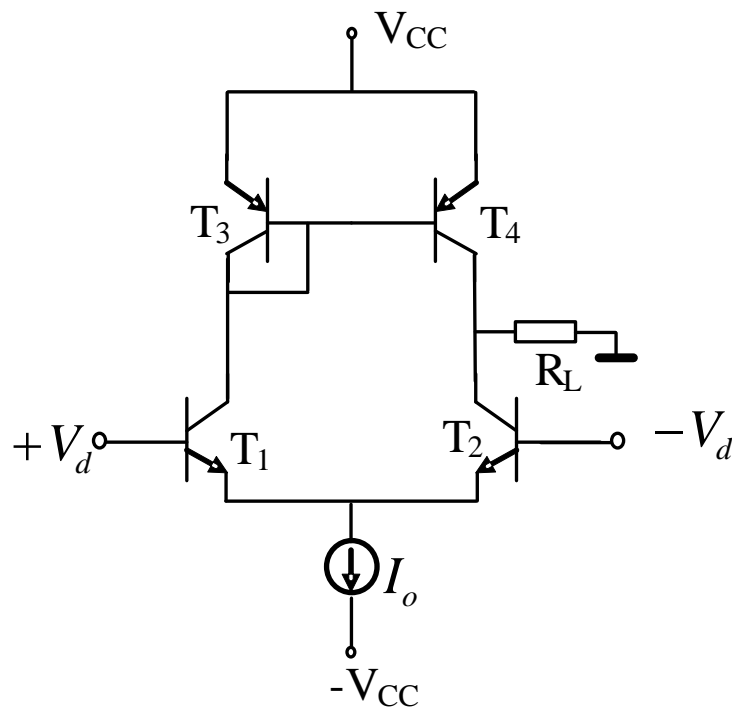
■ 解决途径

- 解决办法仍然可以用有源负载（电流源电路）来替代 R_C

有源负载差动放大器

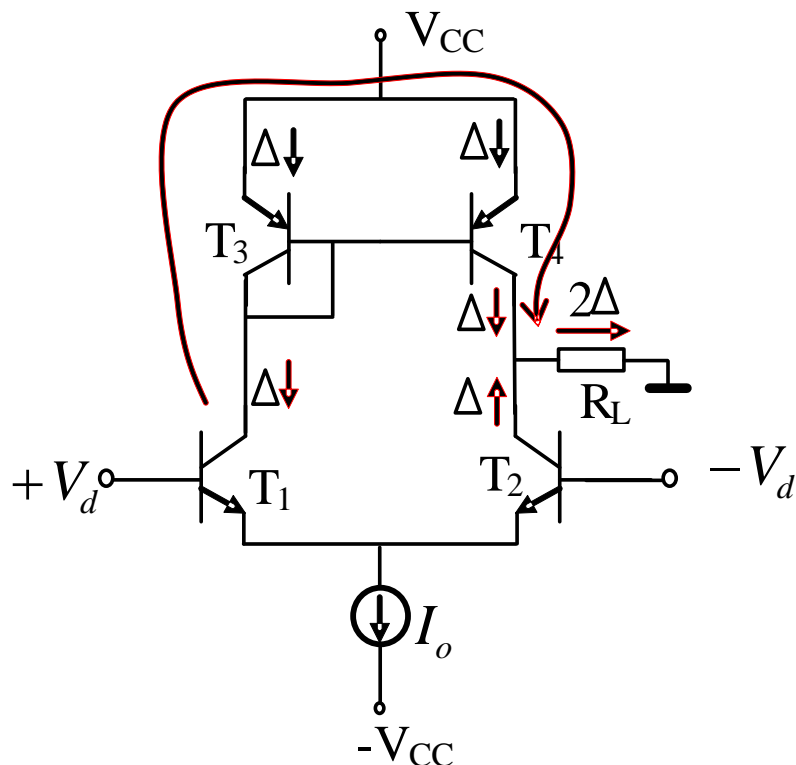
■ 单端输出情况

- 镜像电流源作为有源负载的差动放大器



有源负载差动放大器

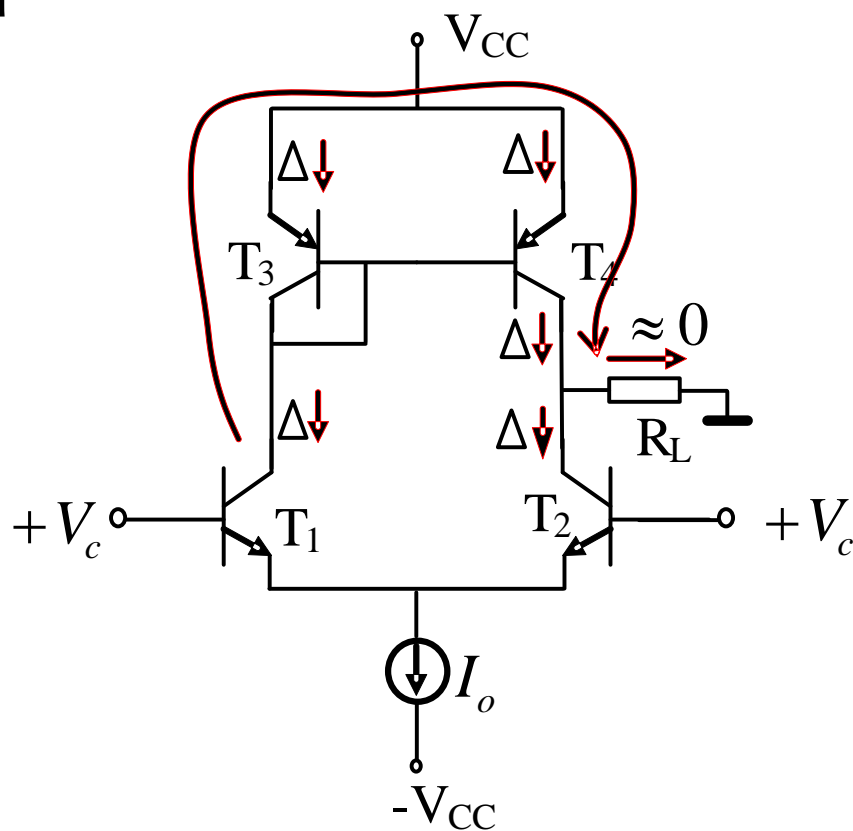
■ 差模分析



□ 采用有源负载，可使差动放大器在单端输出情况下，其差模增益加倍，即单端输出相当于双端输出的作用

有源负载差动放大器

■ 共模分析



有源负载差动放大器

■ 共模分析

- 对共模信号，采用有源负载也有类似双端输出的平衡抵消作用
- 即使发射极不采用电流源偏置，其**CMRR**仍然得到了极大提高

有源负载差动放大器

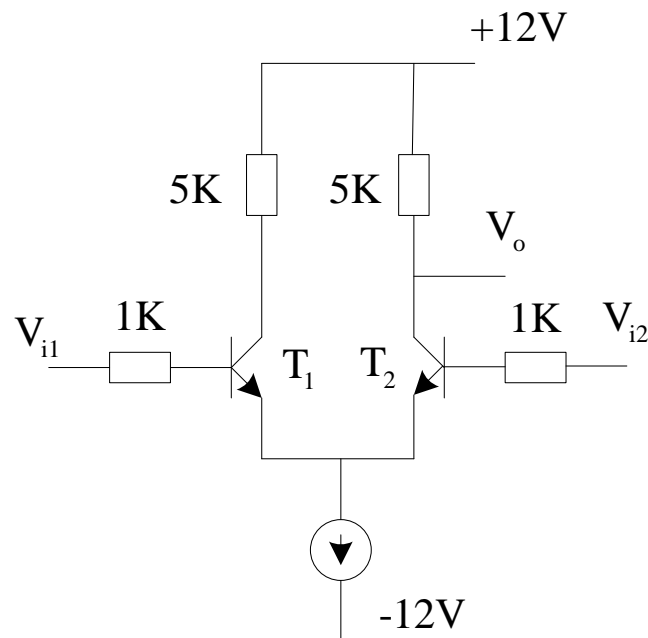
■ 例：差动放大器实例分析

已知两管参数一致， $\beta = 60$ ， $h_{ie} = 1K$ ，求下列情况下的输出电压 V_o 。

假设静态时 $V_o = 0V$ 。

(1) $V_{i1} = V_{i2} = 20mV$

(2) $V_{i1} = 20mV, V_{i2} = -20mV$

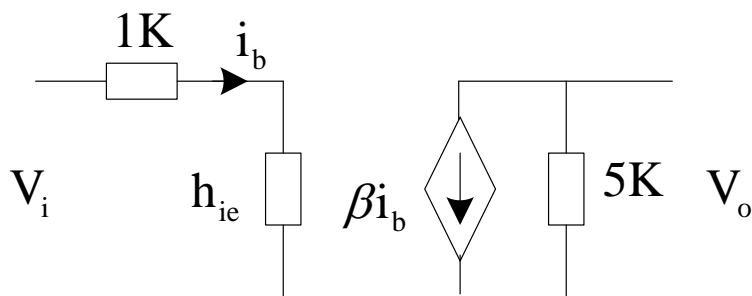
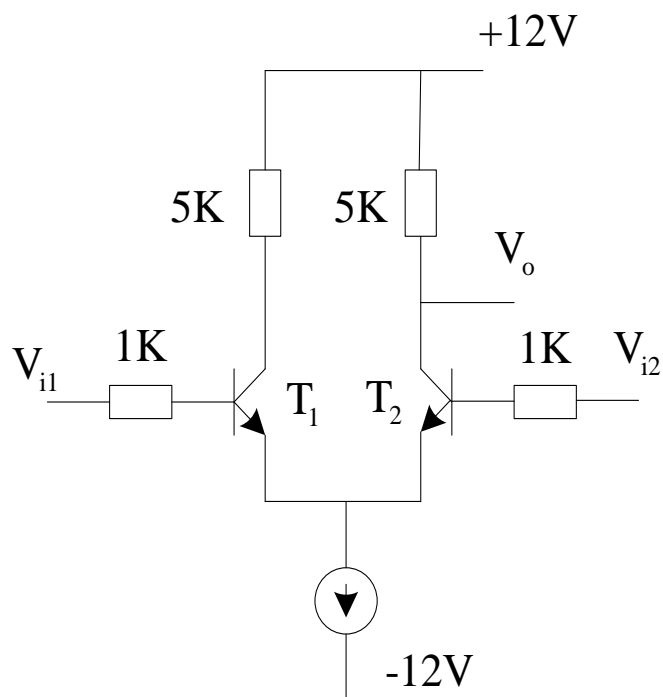


有源负载差动放大器

解：

$$(1) \text{ 依题意, } \left. \begin{matrix} V_d = 0 \\ A_c = 0 \end{matrix} \right\} \Rightarrow V_o = 0.$$

(2) $V_d = 20\text{mV}$ ，画出差模半电路



$$A_d = A_{d\frac{1}{2}} = -\frac{\beta \cdot 5}{1 + h_{ie}} = -150$$

$$\Rightarrow V_o = -A_d V_d = 3V$$



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

§ 5.5 互补输出级

lugh@ustc.edu.cn

2016年11月8日

互补输出级

■ 设计要求

- 较低的输出阻抗
- 大的动态输出电压范围

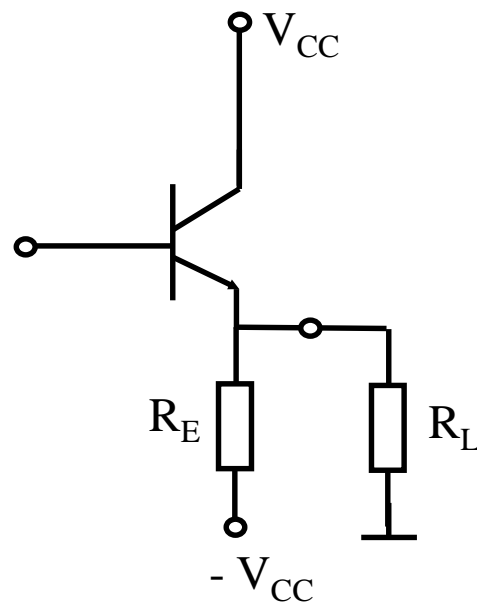
1. 双电源共集输出级

■ 双电源共集输出级

- 双电源解决零输出
- 共集有低输出阻抗

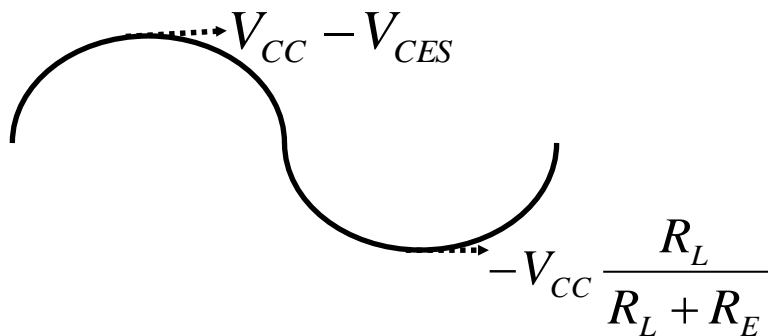
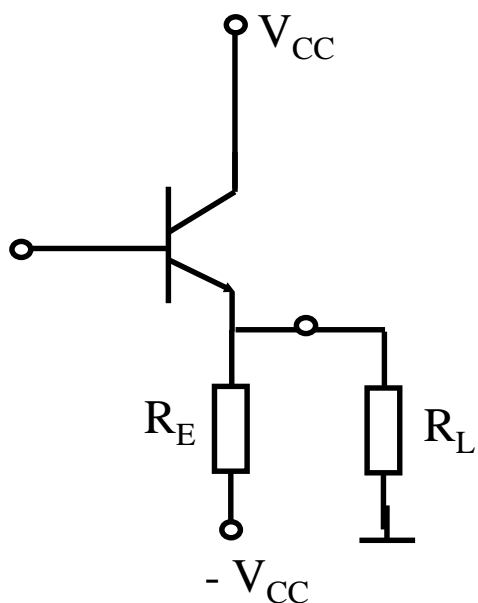
■ 两缺点

- 有较大的静态功耗
- 输出电压幅度正、负不对称，大信号时易失真



1. 双电源共集输出级

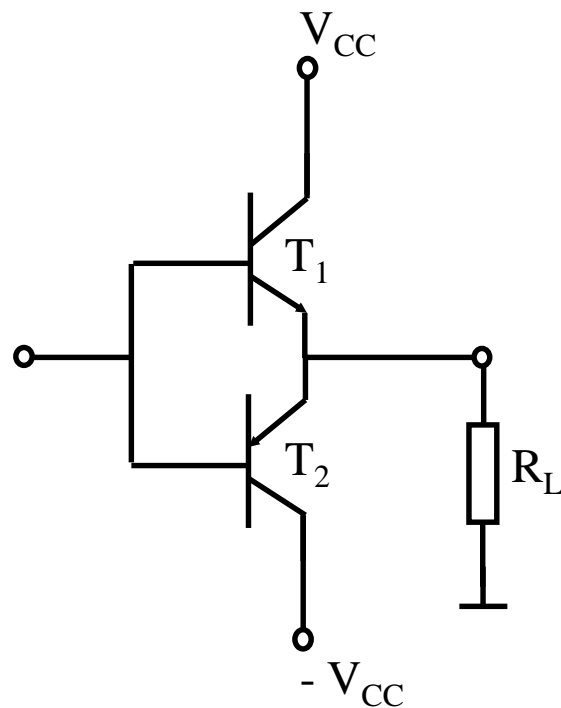
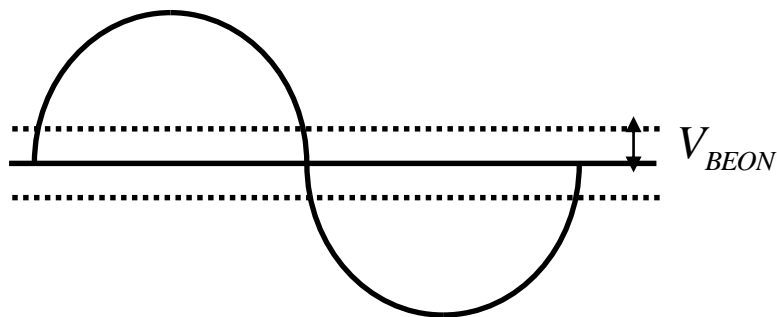
□ 输出电压幅度



□ 甲类工作状态

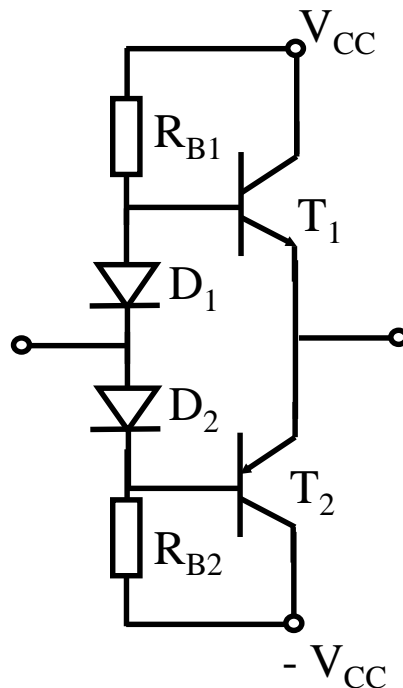
2. 互补输出级

- 无静态功耗
- 推挽输出：两管交替导通，形成完整的输出信号。波形上下对称
- 乙类工作状态
- 新的问题：交越失真



2. 互补输出级

- 二极管的静态压降提供三极管临界导通，导通角介于甲、乙类之间的称为甲乙类工作状态
- 调试比较麻烦，二极管的压降必须和三极管的导通电压配合调整
- 二极管刚导通时，交流阻抗较大，信号有损耗



2. 互补输出级

■ 具有 V_{BE} 倍增器的互补输出电路

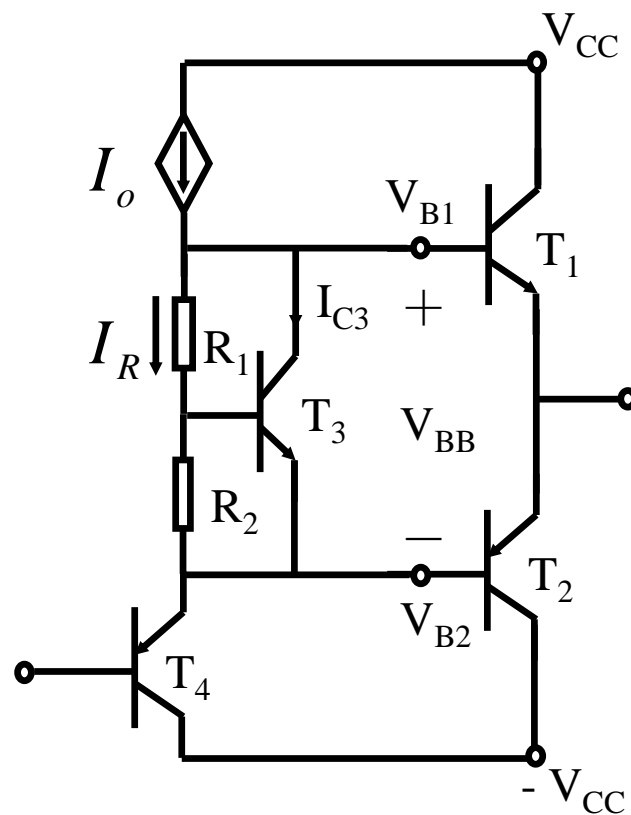
□ V_{BE} 倍增器，将 V_{BE} 倍增至 V_{BB}

条件： $I_R \gg I_{B3}$

$$\begin{cases} V_{BB} = V_{CE3} = V_{R1} + V_{R2} \\ V_{R2} = V_{BE3} \end{cases}$$

$$\Rightarrow V_{BE3} = V_{CE3} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\Rightarrow V_{BB} = V_{BE3} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

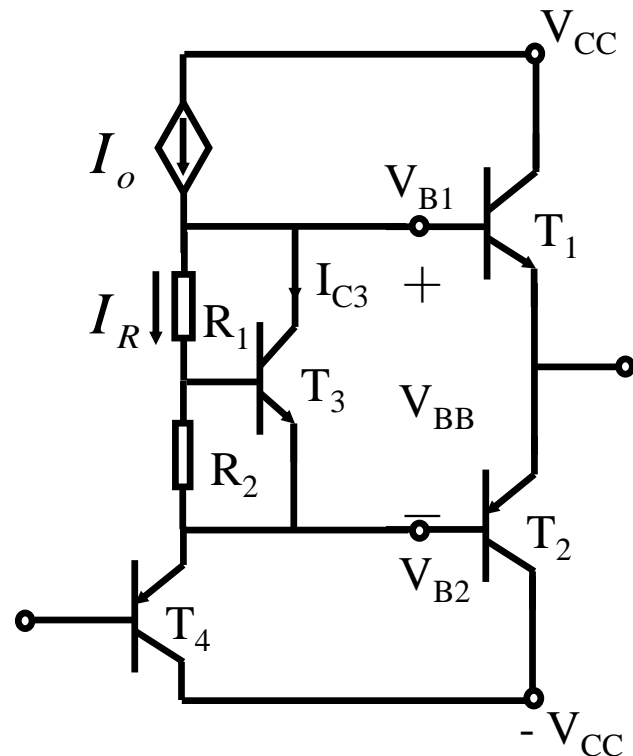


2. 互补输出级

■ 具有 V_{BE} 倍增器的互补输出电路

- 静态和动态时 V_{BB} 大小基本不变

$$\text{静态时 } V_{B1} = \frac{1}{2} V_{BB}, \quad V_{B2} = -\frac{1}{2} V_{BB}$$



- 动态时输入电压先通过射随器直接加在 T_2 基极
- 由于 V_{BB} 大小基本不变，输入电压又可以直接耦合在 T_1 基极

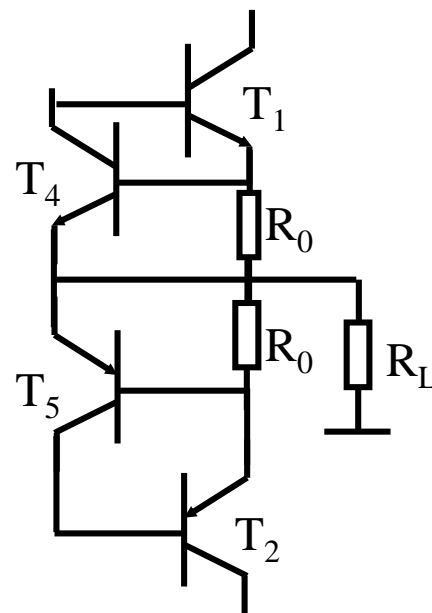
3. 过载保护

■ 过载保护

- 输出端短时间短路到地时，保护电路使管子不至烧毁

正常工作时 $I_{E1}R_0 < V_{BE}$ ， T_4 、 T_5 截止

过载时 T_4 、 T_5 导通，分流一部分过载电流





中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

§ 5.7 集成运放参数和 分析模型

lugh@ustc.edu.cn

2016年11月8日

1. 主要特性参数

- 开环电压增益
- CMRR
- 特征频率
 - 开环电压增益随着工作频率的升高而下降，称 $A=1$ 时对应的工作频率为特征频率

1. 主要特性参数

■ 输入失调电压 V_{os}

- 非零输出电压折合（除以电压增益）到输入端时的电压称为输入失调电压
- 产生原因：运放内部电路的不完全对称、温漂等

■ 输入失调电流 I_{os}

- 零输入时两个输入端偏置电流之差 $I_{os} = |I_+ - I_-|$
- 两个失调参数对输入端影响时符合线性叠加
- 一般要求 $\Delta V_i \ll V_i$

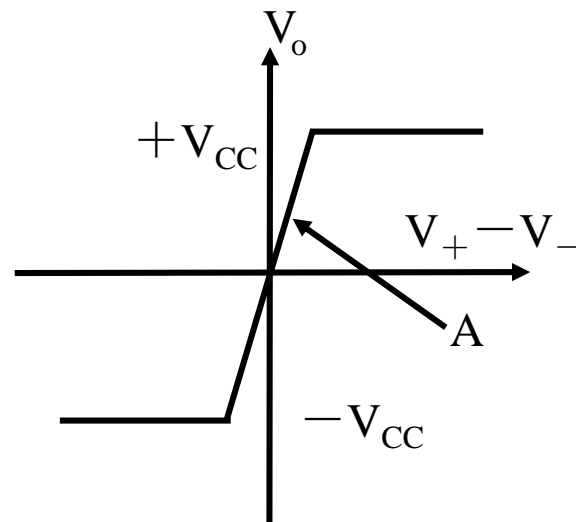
2. 运放的分析模型

■ 电压传输特性

$$V_o = A(V_+ - V_-)$$

线性区 $V_+ - V_- \leq \frac{V_{CC}}{A}$, 很小

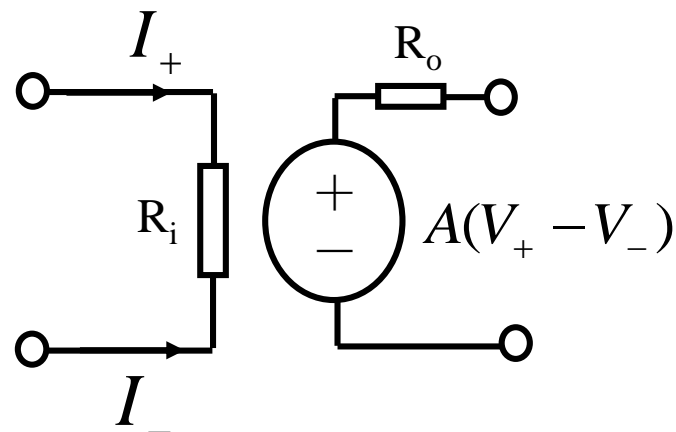
饱和区 $\begin{cases} +V_{CC} & V_+ > V_- \\ -V_{CC} & V_+ < V_- \end{cases}$, 可作比较器



2. 运放的分析模型

■ 线性工作模型

- 一般外加反馈网络，闭环工作
- 模型用起来比较麻烦，很少使用



2. 运放的分析模型

■ 理想运放

$$A = \infty \quad R_i = \infty \quad R_o = 0$$

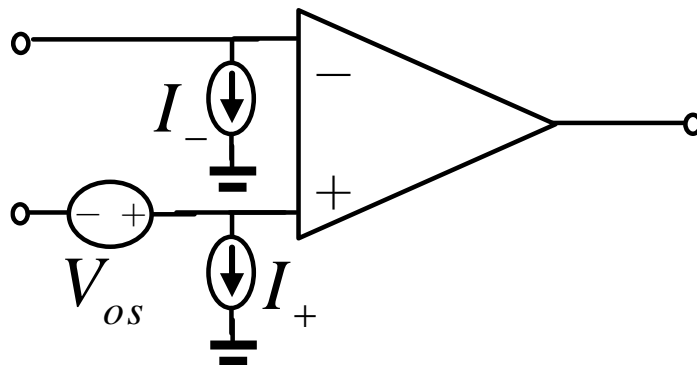
$$CMRR = \infty$$

$$V_{os} = 0 \quad I_{os} = 0$$

没有线性区

2. 运放的分析模型

■ 考虑失调影响的分析模型



本章小结

■ 差动放大器

- 理解直接耦合式多级放大电路中存在的零点偏移现象
- 熟悉差动电路的作用以及交流性能指标的定义
- 理解**CMRR**的物理意义
- 熟悉差动放大器的基本结构及其直流分析方法
- 掌握差动放大器的半电路分析方法
- 熟悉电流源偏置的差动放大器交直流分析方法

本章小结

■ 电流源电路

- 熟悉电流源电路的基本特点和作用
- 掌握基本镜像电流源、微电流源、比例电流源以及多路输出电流源的基本结构、工作原理和静态输出电流

■ 互补输出级

- 了解互补输出电路的特点
- 熟悉电压倍增器电路的工作原理

本章小结

■ 运放的分析模型

- 熟悉运放的电压传输特性
- 掌握理想运放的各参数取值
- 掌握运放失调参数的定义