

## 第七章 集成运算放大器的应用

7.1 应用基础

7.2 运算电路

7.3 有源滤波

7.4 电压比较器

## 7.1 集成运放应用基础

### 7.1.1 低频等效电路

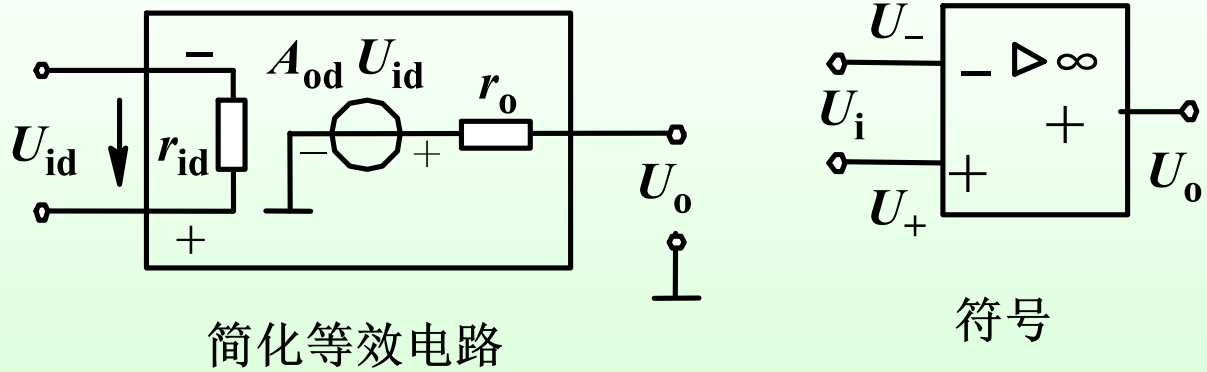


图7-1 集成运放低频等效电路

### 7.1.2 理想集成运算放大电路

(1) 开环电压放大倍数  $A_{od}=\infty$ ;

(2) 输入电阻  $r_{id}=\infty$ ;  $r_{ic}=\infty$ ;

(3) 输入偏置电流  $I_{B1}=I_{B2}=0$ ;

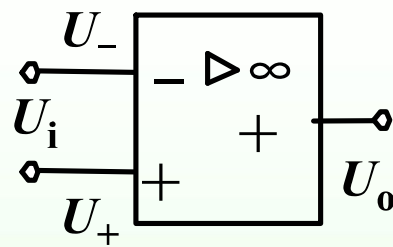
(4) 失调电压  $U_{IO}$ 、失调电流  $I_{IO}$  及其温漂  $\frac{dU_{IO}}{dT}$ 、 $\frac{dI_{IO}}{dT}$  均为零。

(5)  $CMRR = \infty$ ;

(6) 输出电阻  $r_{od}=0$ ;

(7) -3dB带宽  $f_h=\infty$ ;

(8) 无干扰、噪声。



### 7.1.3 集成运放的线性工作区

**线性工作区**:指 $U_o$ 与 $U_i$ 成正比的范围

$$U_o = A_{od}U_i = A_{od}(U_+ - U_-)$$

理想运放  $A_{od} = \infty$ ,  $U_o$  是有限值, 线性工作时

$$U_+ - U_- = \frac{U_o}{A_{od}} \approx 0 \therefore U_+ \approx U_- \text{ (虚短)}$$

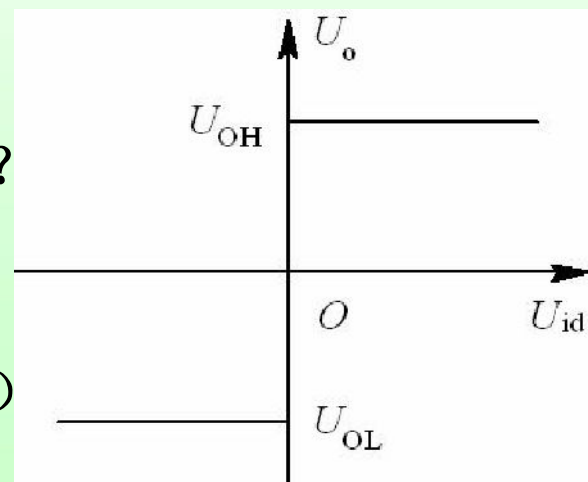
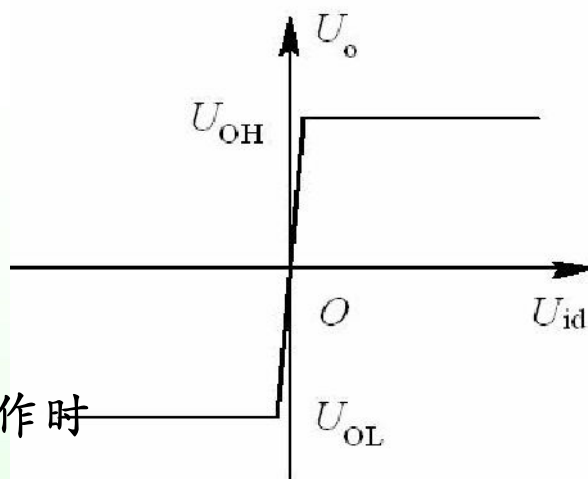
$$\text{又 } I_+ \approx I_- \approx 0 \text{ (虚断)}$$

什么情况下可使线性工作区增大?

### 7.1.4 集成运放的非线性工作区

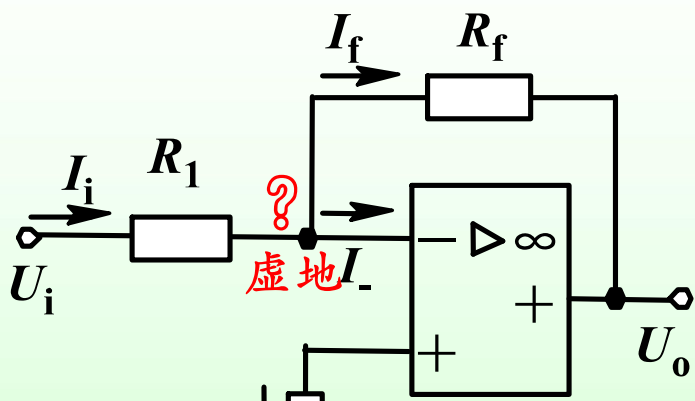
$U_o \neq A_{od}U_i$  仍有  $I_+ \approx I_- \approx 0$  (虚断)

$$U_o = ?$$



### 7.2.1 比例运算电路

#### 1. 反相比例运算



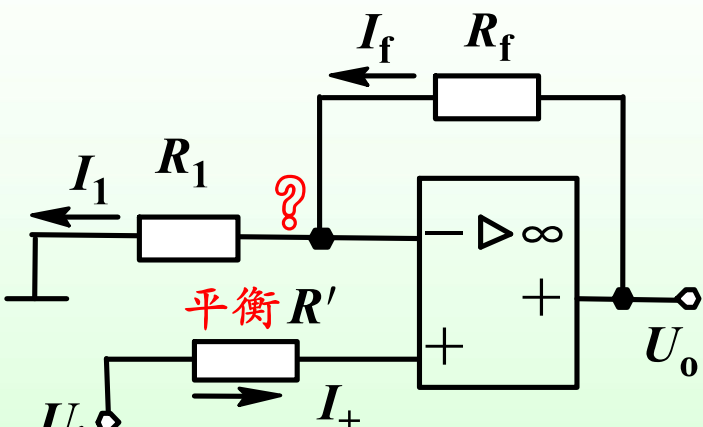
$I_+$  ↓  $R'$  ? 平衡电阻

$$A_{uf} = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{R_f}{R_1}$$

$$r_{if} = \frac{U_i}{I_i} = R_1 \quad r_o = 0$$

若  $R_f = R_1$ , 称为 **反相器**

#### 2. 同相比例运算



$$A_{uf} = \frac{U_o}{U_i} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \text{ 或 } = \frac{R_f}{R'}$$

$$r_{if} = \frac{U_i}{I_+} = \infty \quad r_o = 0$$

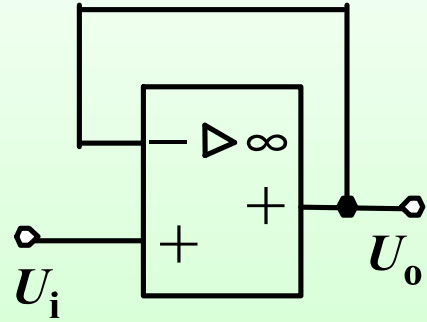
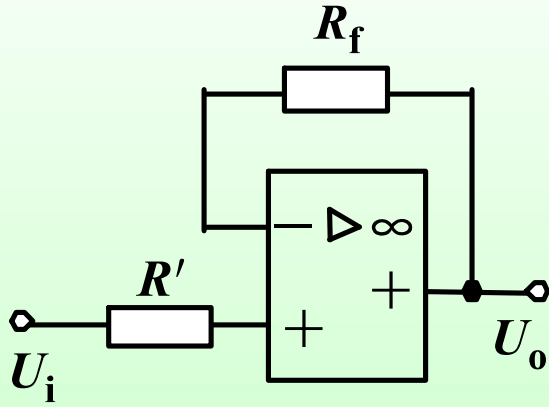
若  $R_1 = \infty$ , 称为 **电压跟随器**

### 7.2.1 比例运算电路

#### 1. 反比例运算

#### 2. 同比例运算

电压跟随器



精度高、 $r_i$ 高、 $r_o$ 低

### 7.2.1 比例运算电路

1. 反相比例运算
3. 差动比例运算

2. 同相比例运算

若  $R_1 \parallel R_f = R_2 \parallel R_p$ ，则

$$U_o = \frac{R_f}{R_2} U_{i2} - \frac{R_f}{R_1} U_{i1}$$

若对称  $R_1 = R_2, R_f = R_p$ ，则

$$U_o = \frac{R_f}{R_1} (U_{i2} - U_{i1})$$

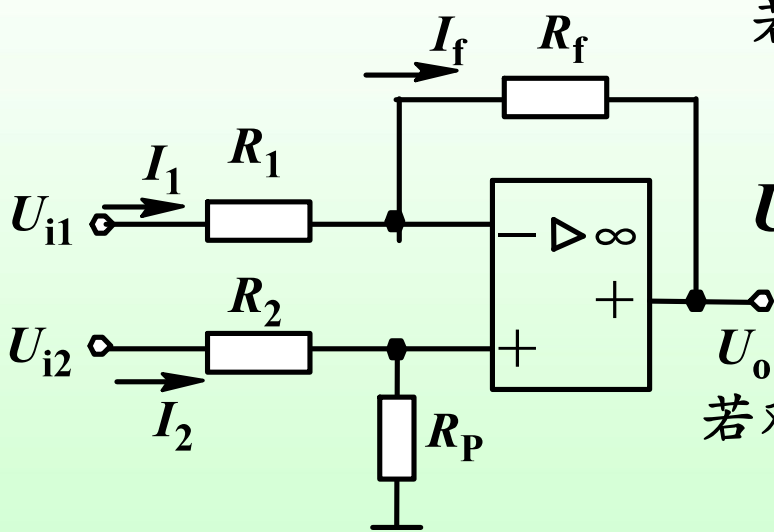


图 7-6 差动比例运算电路

7.2.1 比例运算电路

7.2.2 求和电路

1. 反相求和

$$I_f = I_1 + I_2 + I_3 = ?$$

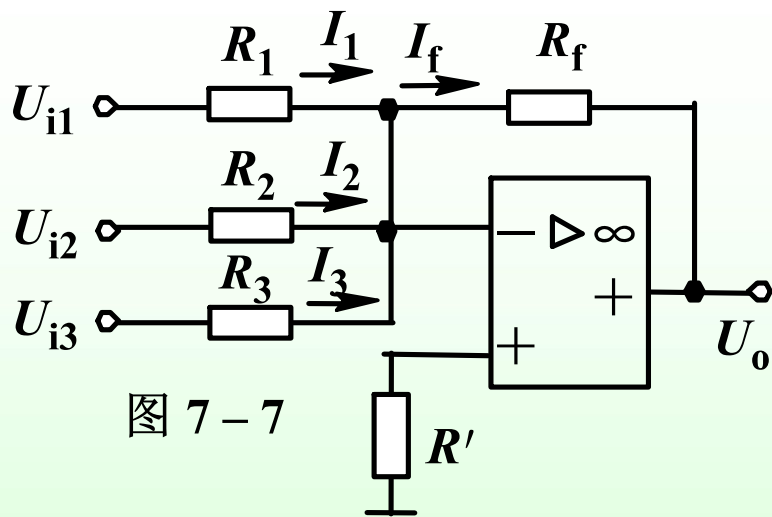


图 7-7

$$U_o = - \left( \frac{R_f}{R_1} U_{i1} + \frac{R_f}{R_2} U_{i2} + \frac{R_f}{R_3} U_{i3} \right)$$

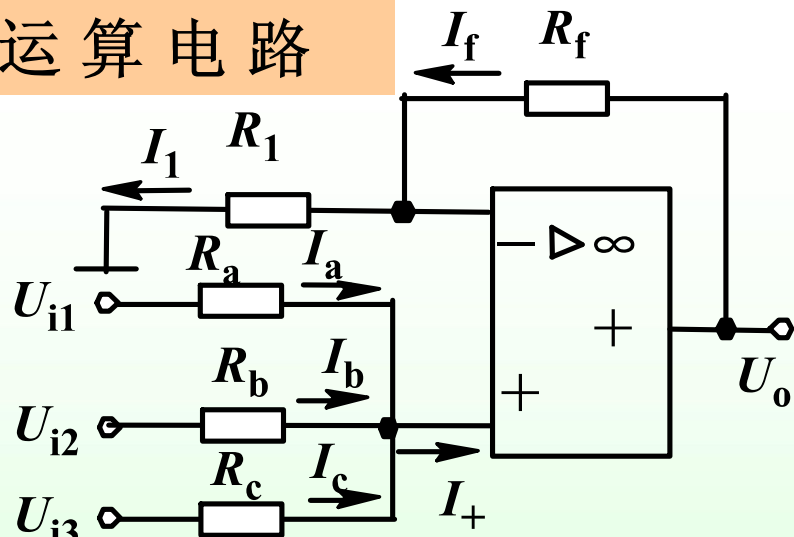
**例:**用运放实现  $U_o = -(2U_{i1} + U_{i2} + 5U_{i3})$



7.2.1 比例运算电路

7.2.2 求和电路

1. 反相求和
2. 同相求和



$$\frac{U_{i1} - U_+}{R_a} + \frac{U_{i2} - U_+}{R_b} + \frac{U_{i3} - U_+}{R_c} = 0$$

$$\frac{U_{i1}}{R_a} + \frac{U_{i2}}{R_b} + \frac{U_{i3}}{R_c} = \left( \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_c} \right) U_+$$

$$U_+ = U_- = \frac{R_1}{R_1 + R_f} U_o$$

若平衡  $R_a \parallel R_b \parallel R_c = R_1 \parallel R_f$ ，则

$$U_o = \frac{R_f}{R_a} U_{i1} + \frac{R_f}{R_b} U_{i2} + \frac{R_f}{R_c} U_{i3}$$

若调  $A_{u1}$ ，只需调  $R_a R_1$ ，不影响其他参数。

### 7.2.3 加减电路

#### 1. 单运放加减

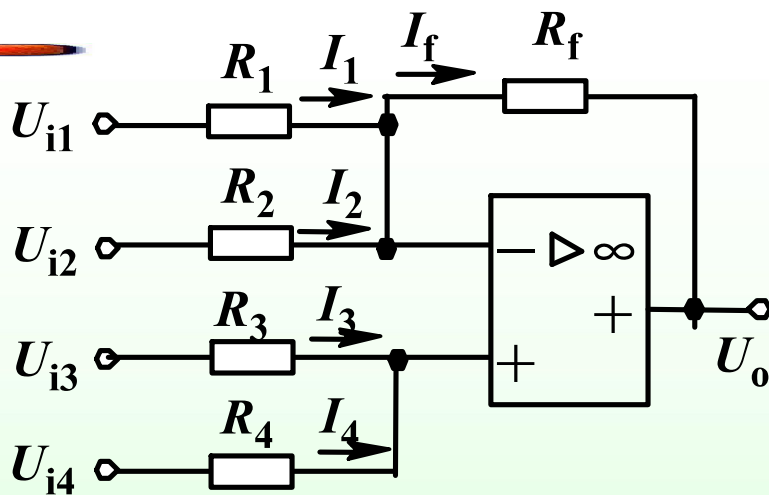


图 7-9 单运放加减

若满足平衡条件， 则

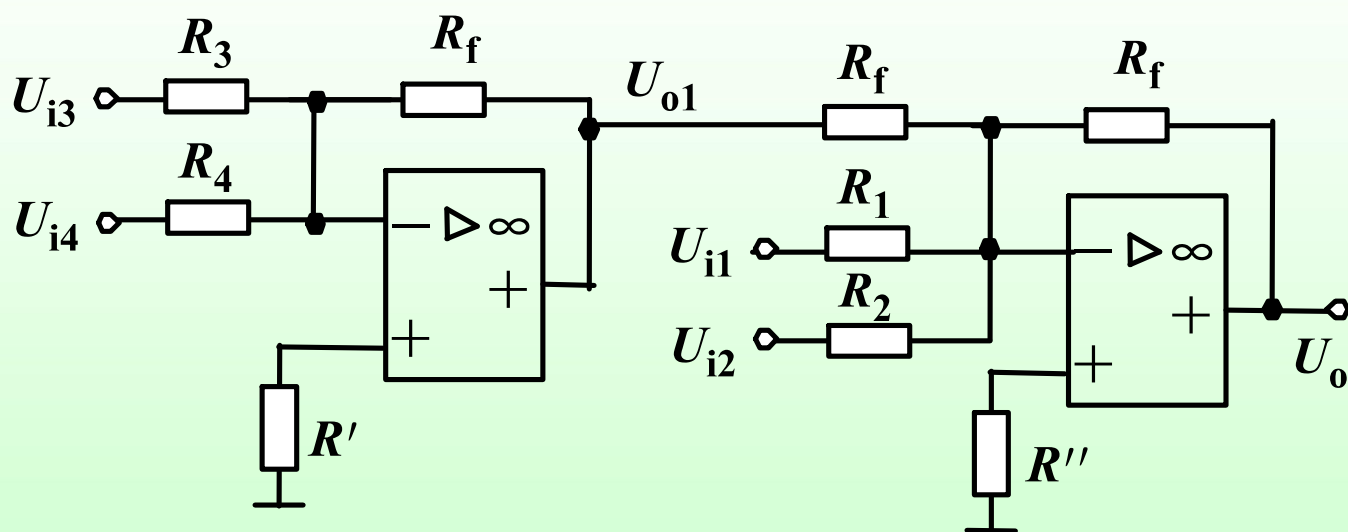
$$U_o = \frac{R_f}{R_3} U_{i3} + \frac{R_f}{R_4} U_{i4} - \frac{R_f}{R_1} U_{i1} - \frac{R_f}{R_2} U_{i2}$$

电路**缺点**： 调节不便

## 7.2.3 加减电路

### 1. 单运放加减

### 2. 双运放加减



$$U_o = \frac{R_f}{R_3} U_{i3} + \frac{R_f}{R_4} U_{i4} - \frac{R_f}{R_1} U_{i1} - \frac{R_f}{R_2} U_{i2}$$

小结：

运算电路为什么要强调“平衡”？

要求：

会分析、会设计运算电路，确定电路参数。

作业：

P184 9, 10 预习“运算电路的后半部分”