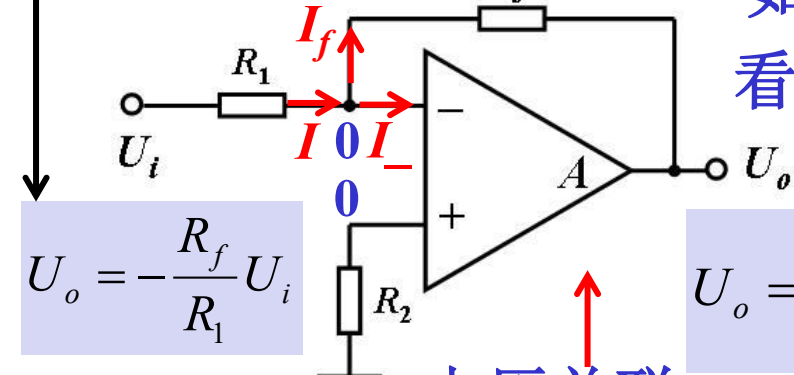


反相比例运算



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

$$\frac{U_i - 0}{R_1} = \frac{0 - U_o}{R_f}$$

电压并联
深度负反馈

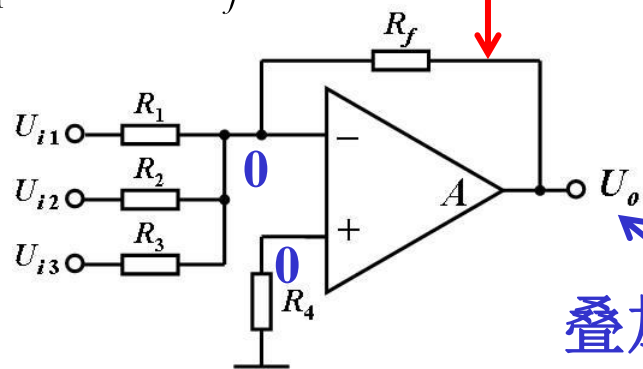
如何运算？
看反馈路径

$$U_o = (1 + \frac{R_f}{R_1}) U_+$$

电压串联
深度负反馈

叠加原理

反相
加法
运算



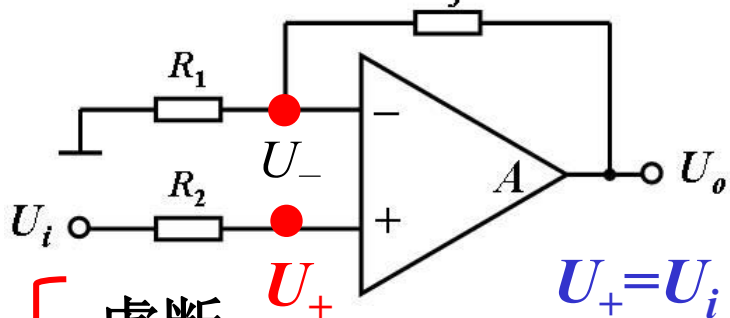
$$U_{o1} = \left(-\frac{R_f}{R_1} U_{i1}\right) + \left(-\frac{R_f}{R_2} U_{i2}\right) + \left(-\frac{R_f}{R_3} U_{i3}\right)$$

线性区特点：

虚短 $\rightarrow U_+ \approx U_-$

虚断 $\rightarrow I_+ = I_- \approx 0$

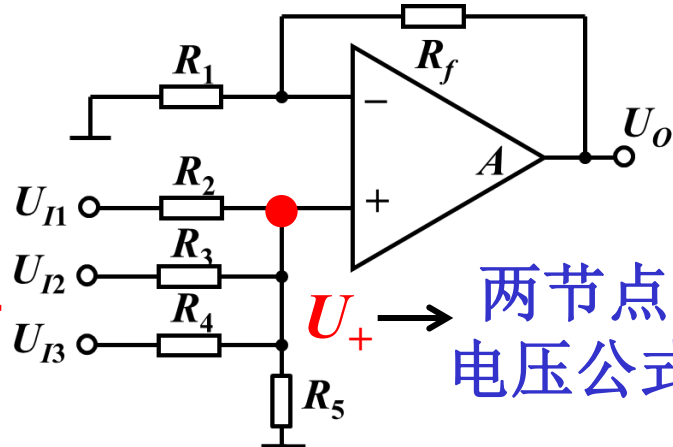
同相比例运算



$$U_+ = U_i$$

虚断

$$R_1 \text{ 和 } R_f \text{ 串联} \rightarrow U_- = \frac{R_1}{R_1 + R_f} U_o = U_+$$



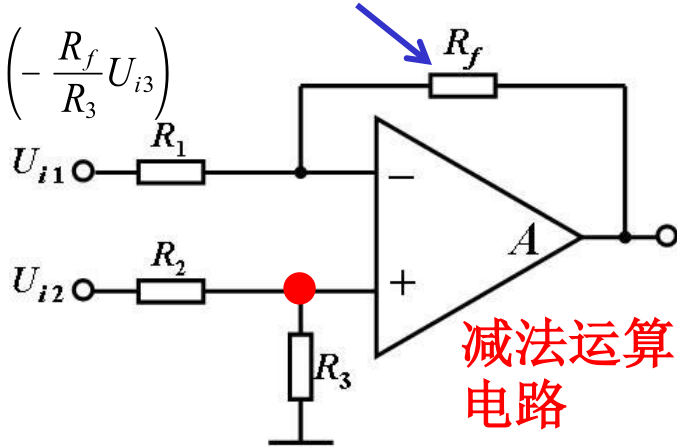
两节点
电压公式

同相加法运算

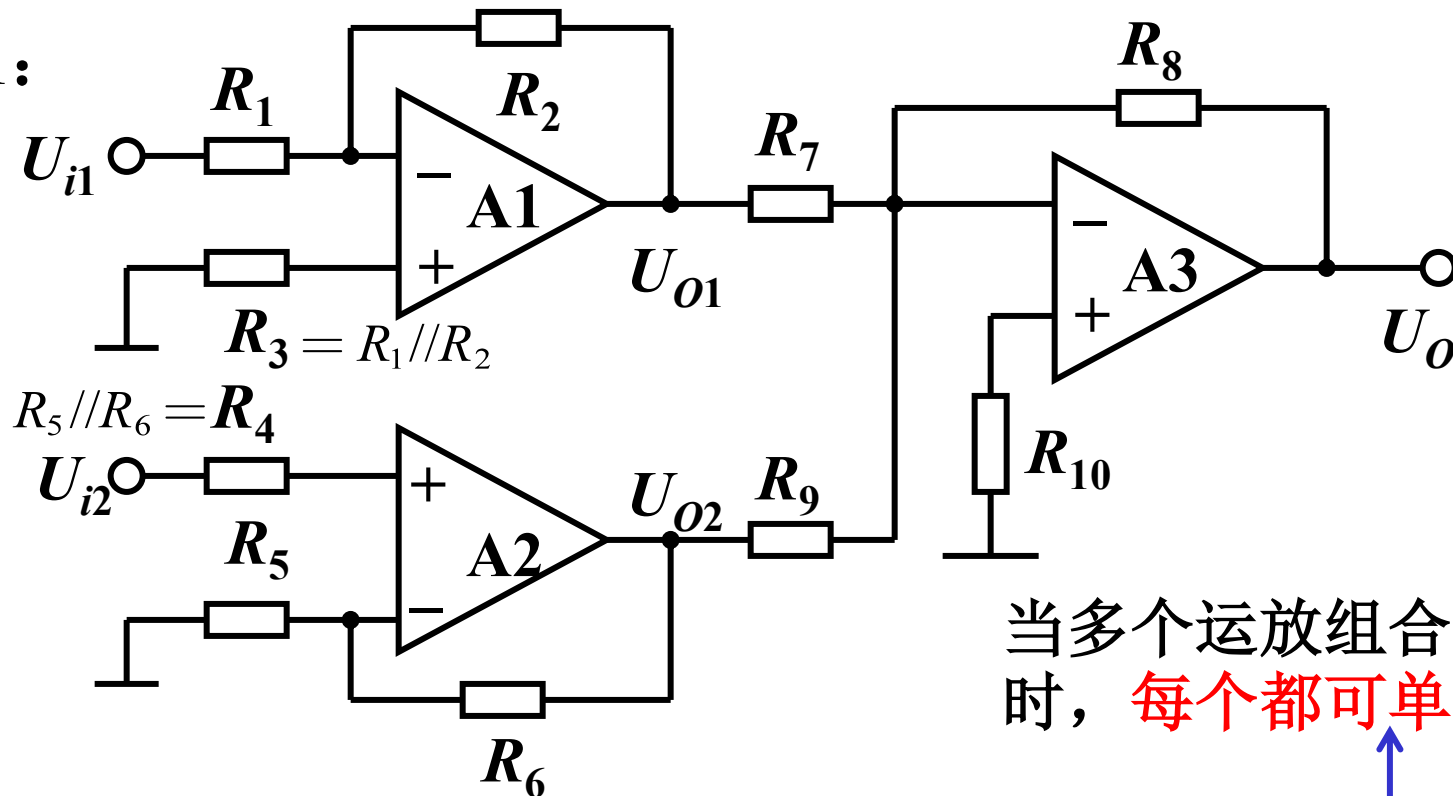
$$U_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \frac{R_3}{R_2 + R_3} U_{i2} - \frac{R_f}{R_1} U_{i1}$$

减法运算
电路

需要满足输入端
电阻平衡条件



例题1:



\because 输出电阻 $r_o = 0$ \therefore 输出近似为**恒压源**， U_o 与后续电路无关

A₁: 反相比例运算

A₂: 同相比例运算

A₃: 反相加法运算

$$U_{o1} = -\frac{R_2}{R_1} \times U_{i1} \quad U_{o2} = \left(1 + \frac{R_6}{R_5}\right) \times U_{i2} \quad U_o = \left(-\frac{R_8}{R_7}\right) \times U_{o1} + \left(-\frac{R_8}{R_9} \times U_{o2}\right)$$

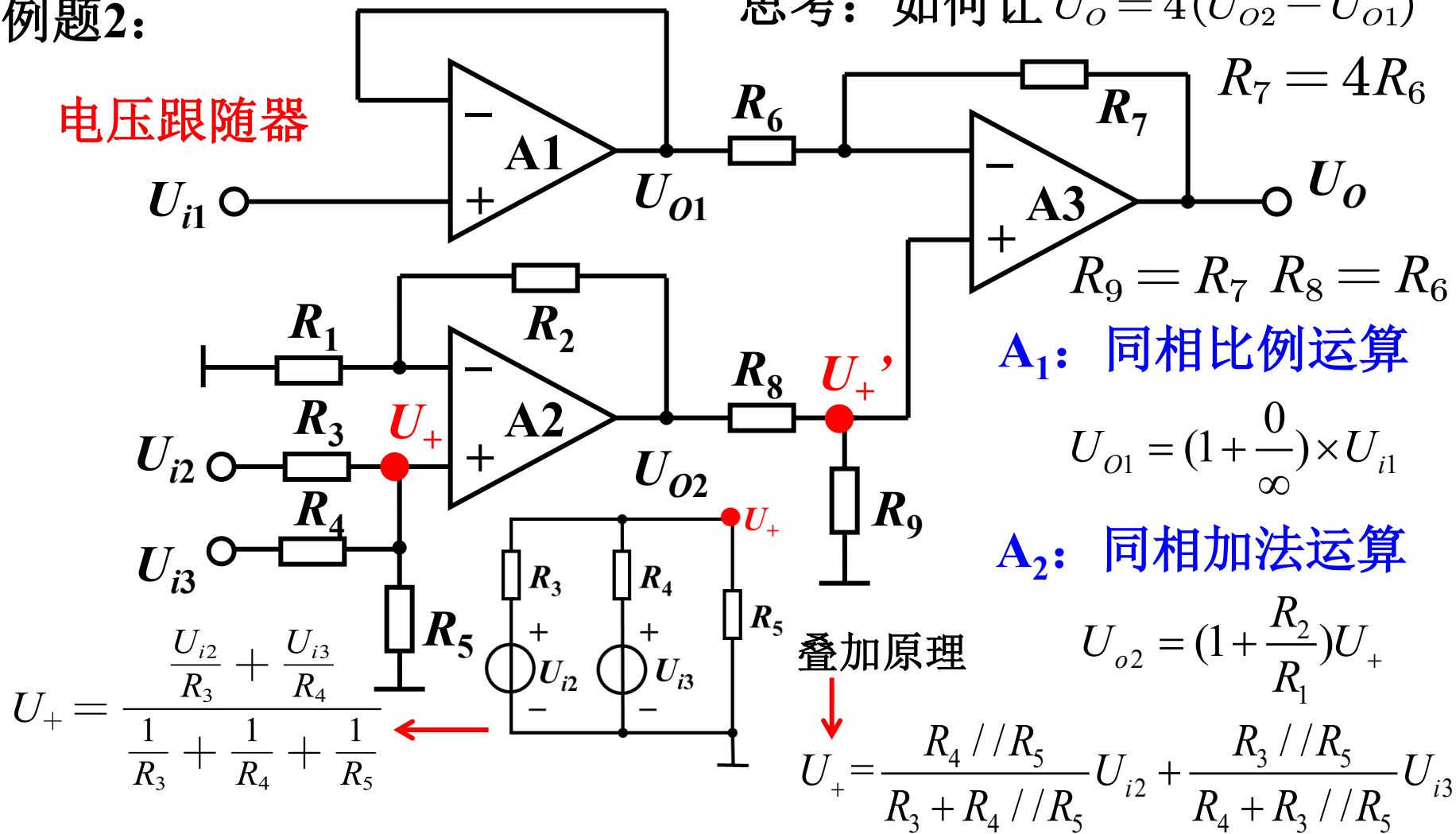
思考：若要求 $U_o = -(5U_{o1} + 4U_{o2})$ ，已知 $R_8 = 100\text{k}\Omega$ ，

$R_7 = ? \quad R_9 = ? \quad R_{10} = ? \quad R_{10} = R_7 // R_8 // R_9 = 10\text{k}\Omega \quad R_7 = 20\text{k}\Omega; \quad R_9 = 25\text{k}\Omega;$

例题2:

电压跟随器

思考: 如何让 $U_o = 4(U_{o2} - U_{o1})$



$$R_1 // R_2 = R_3 // R_4 // R_5 \quad R_6 // R_7 = R_8 // R_9$$

A_3 : 减法运算

$$U_o = (1 + \frac{R_7}{R_6}) \times U_+' + (-\frac{R_7}{R_6} \times U_{o1}) = (1 + \frac{R_7}{R_6}) \times \frac{R_9}{R_8 + R_9} U_{o2} - \frac{R_7}{R_6} \times U_{o1}$$

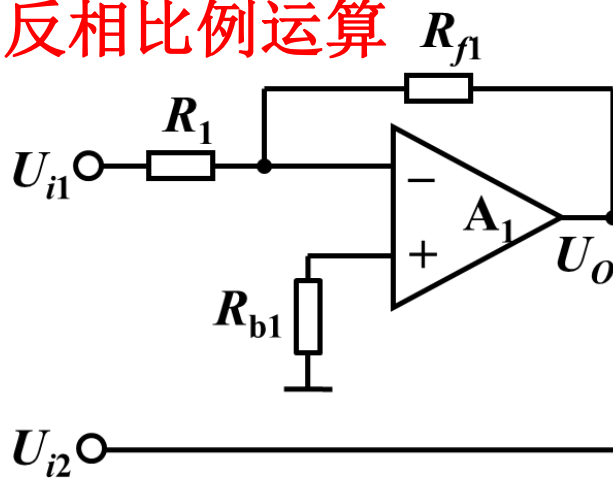
作业：P 286 图9-68

(1) 请问 A_1 和 A_2 分别实现了什么运算？

(2) 写出 U_{O1} 、 U_O 和 R_{b2} 的计算表达式

$$R_{b2} = R_2 // R_3 // R_{f2}$$

反相比例运算



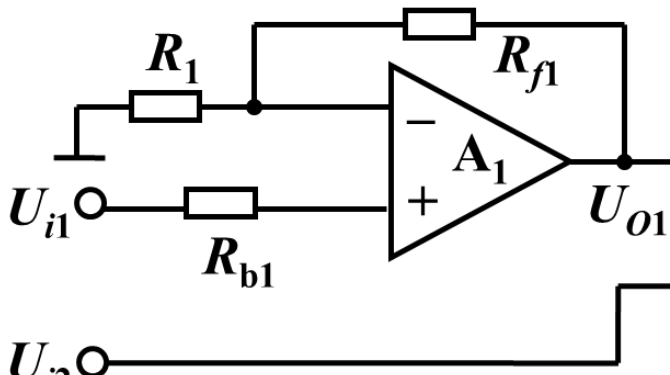
反相加法运算

$$U_{O1} = -\frac{R_{f1}}{R_1} \times U_{i1} \quad U_O = \left(-\frac{R_{f2}}{R_2} \times U_{O1}\right) + \left(-\frac{R_{f2}}{R_3} \times U_{i2}\right)$$

P 285 图9-67(a)

请写出 U_{O1} 、开关打开时和闭合后 U_O 的计算表达式

同相比例运算



减法运算

$$U_{O1} = \left(1 + \frac{R_{f1}}{R_1}\right) \times U_{i1}$$

$$U_O = \left(1 + \frac{R_{f2}}{R_2}\right) \times U_+ + \left(-\frac{R_{f2}}{R_2} \times U_{O1}\right)$$

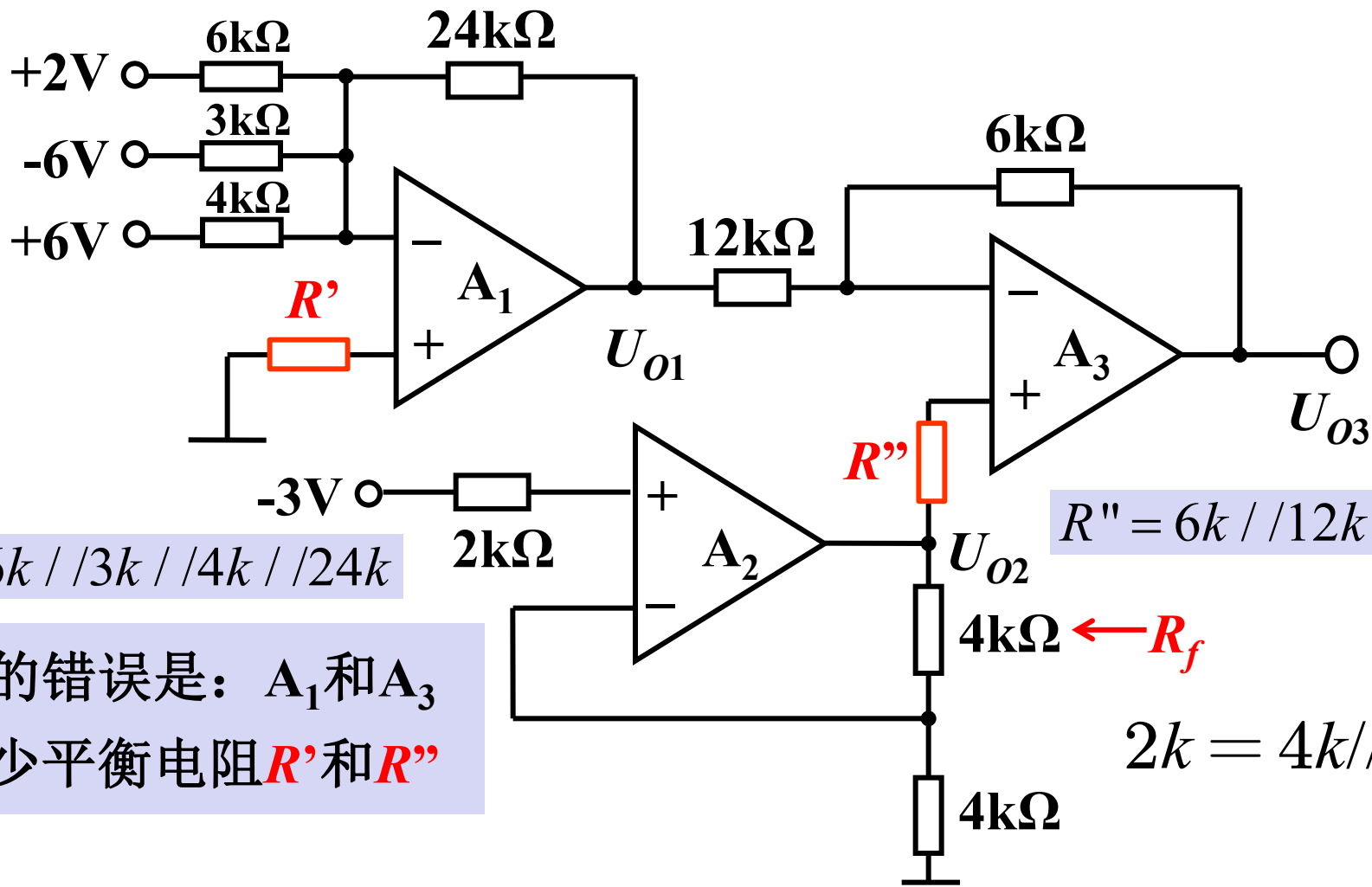
开关打开 $\rightarrow U_+ = U_{i2}$

$$\text{开关闭合} \rightarrow U_+ = \frac{R_{b3}}{R_{b3} + R_{b2}} \times U_{i2}$$

P285 图9-66 (1) 请说明 A_1 、 A_2 和 A_3 分别实现了什么运算？

(2) 请写出 U_{O1} 、 U_{O2} 和 U_{O3} 的计算表达式

(3) 请找出图中两个错误的地方，并进行订正

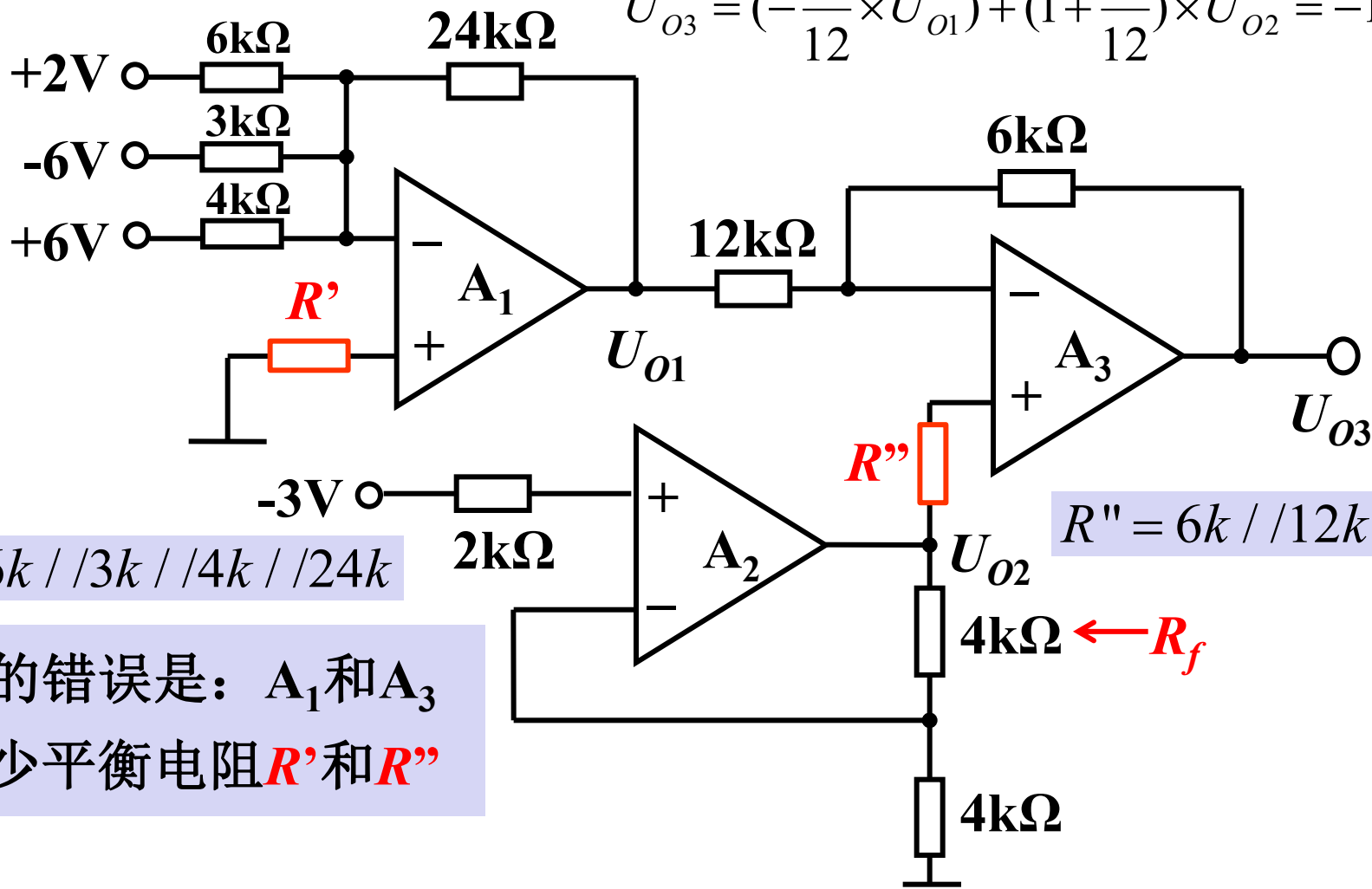


A_1 : 反相加法运算 A_2 : 同相比例运算 A_3 : 减法运算

$$U_{o1} = \left(-\frac{24}{6} \times 2\right) + \left(-\frac{24}{3} \times -6\right) + \left(-\frac{24}{4} \times 6\right) = 4V$$

$$U_{o2} = \left(1 + \frac{4}{4}\right) \times (-3) = -6V$$

$$U_{o3} = \left(-\frac{6}{12} \times U_{o1}\right) + \left(1 + \frac{6}{12}\right) \times U_{o2} = -11V$$



$$R' = 6k // 3k // 4k // 24k$$

$$R'' = 6k // 12k$$

图中的错误是: A_1 和 A_3 都缺少平衡电阻 R' 和 R''