

本节内容

6.2.1 加法运算电路

6.2.2 减法运算电路

6.2.1 加法运算电路

1、反向求和电路

反向求和电路：反向比例运算放大器增加输入端

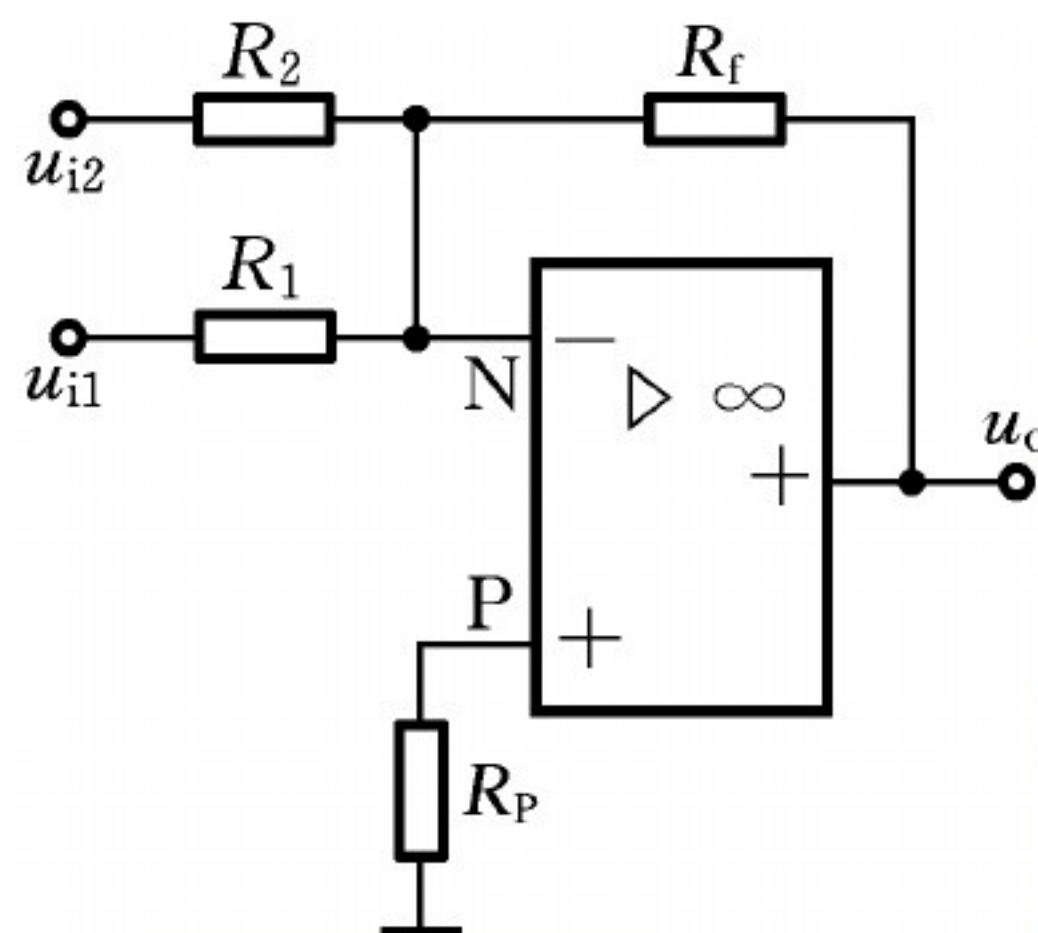
由KCL和“虚地”：

$$\frac{u_{i1}}{R_1} + \frac{u_{i2}}{R_2} = -\frac{u_o}{R_f}$$

$$u_o = -R_f \left(\frac{u_{i1}}{R_1} + \frac{u_{i2}}{R_2} \right)$$

在 $R_1 = R_2 = R$ 的情况下可得：

$$u_o = -\frac{R_f}{R} (u_{i1} + u_{i2})$$



特点：调节某一路信号的输入电阻不影响其他路输入与输出的比例关系； 没有共模输入

§ 6.2 加法运算和减法运算电路

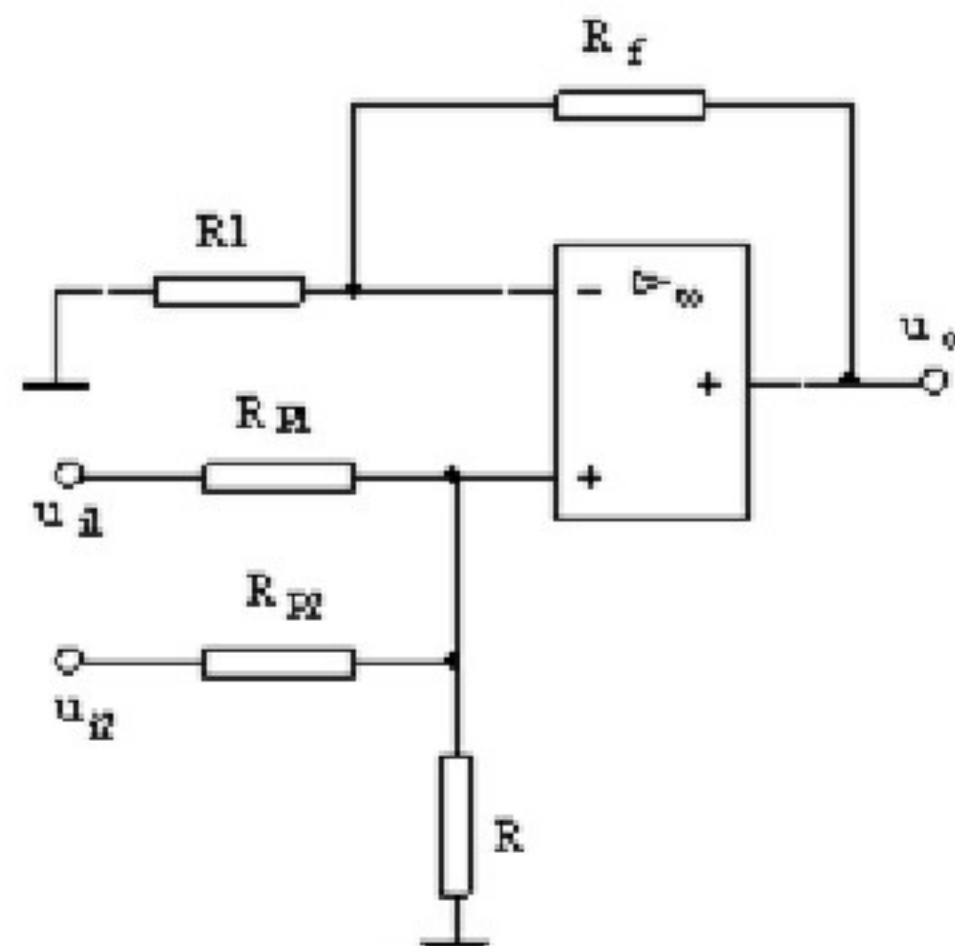
2、同向求和电路

同向求和电路： 同向比例运算放大器增加输入端
由叠加定理和分压公式可得：

$$\frac{R_{P2} // R}{R_{P1} + R_{P2} // R} u_{i1} + \frac{R_{P1} R}{R_{P2} + R_{P1} R} u_{i2} = \frac{R_1}{R_1 + R_f} u_o$$

$$u_o = \frac{R_1 + R_f}{R_1} \left(\frac{R_{P2} // R}{R_{P1} + R_{P2} // R} u_{i1} + \frac{R_{P1} // R}{R_{P2} + R_{P1} // R} u_{i2} \right)$$

$$= \frac{(R_1 + R_f) R_f}{R_1 R_f} (R_{P1} // R_{P2} // R) \left(\frac{u_{i1}}{R_{P1}} + \frac{u_{i2}}{R_{P2}} \right)$$



$$u_o = R_f \left(\frac{u_{i1}}{R_{P1}} + \frac{u_{i2}}{R_{P2}} \right)$$

将 $R_P = R_N$ 的条件代入可得：

在 $R_{P1} = R_{P2} = R$ 的情况下可得：

$$u_o = \frac{R_f}{R} (u_{i1} + u_{i2})$$

§ 6.2 加法运算和减法运算电路

3、利用加法器和反相比例器实现减法器

$$u_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}u_{i1} + \frac{R_f}{R_2}u_{i2}\right)$$

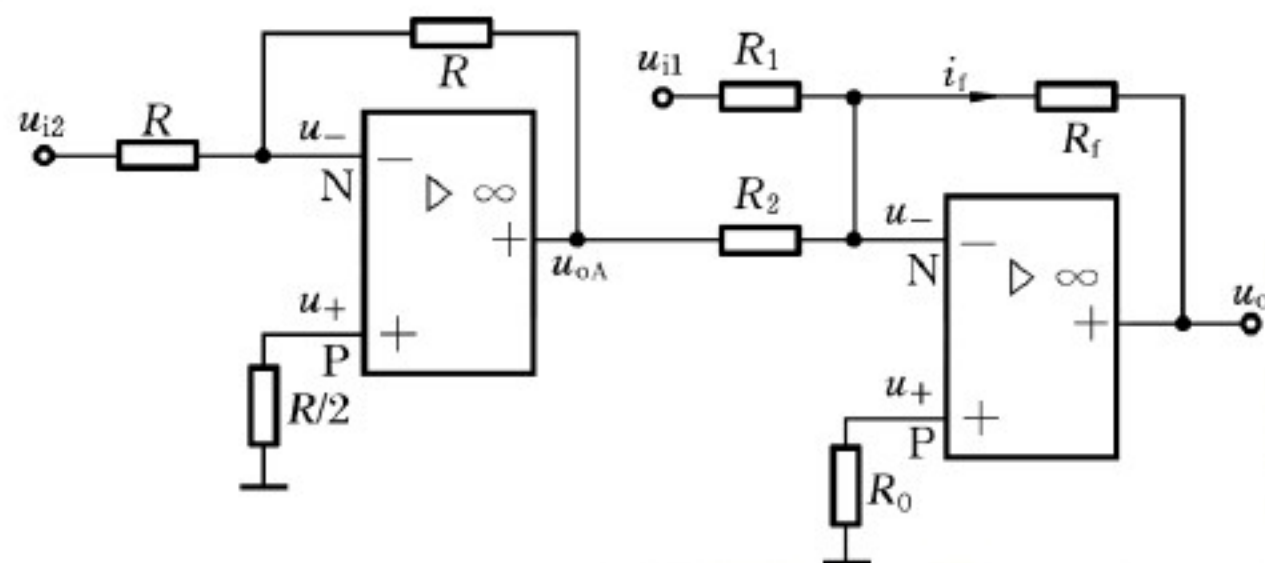
$$u_o = -\left(\frac{R_f}{R_1}u_{i1} + \frac{R_f}{R_2}(-u_{i2})\right) = \frac{R_f}{R_2}u_{i2} - \frac{R_f}{R_1}u_{i1}$$

$$(u_{OA} = -u_{i2})$$

若 $R_f = R_1 = R_2$,

则 $u_o = \frac{R_f}{R_2}u_{i2} - \frac{R_f}{R_1}u_{i1}$ 可以变为:

$$u_o = u_{i2} - u_{i1}$$



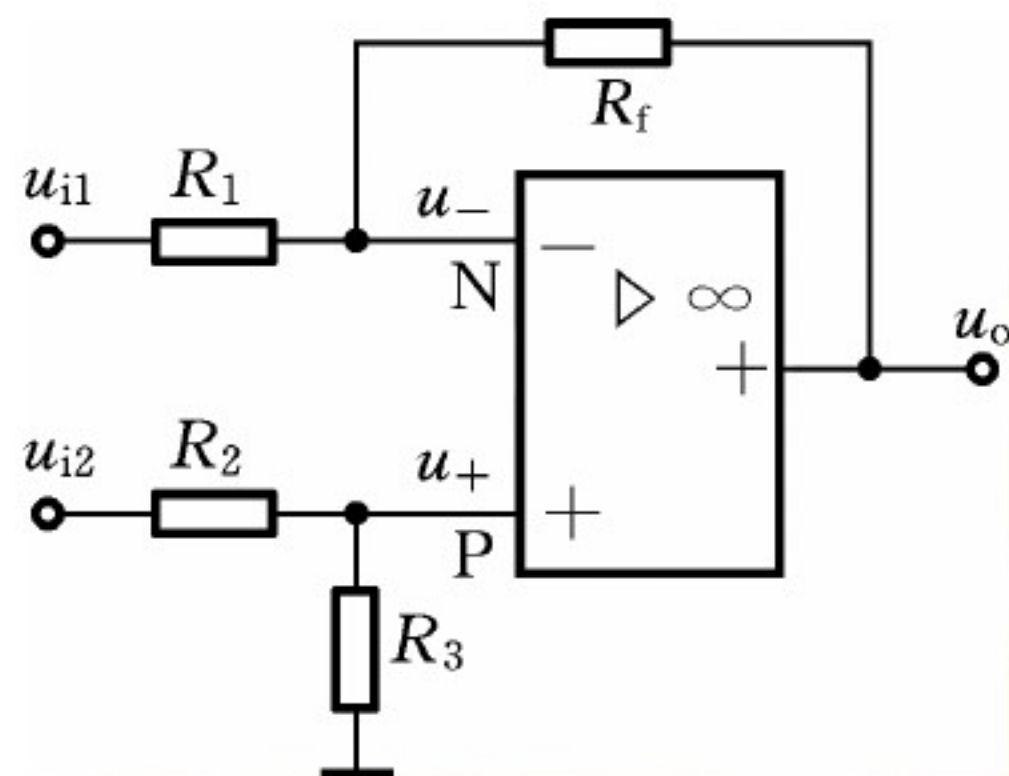
反相输入结构的减法电路，由于出现虚地，放大电路没有共模信号，故允许 u_{i1} 、 u_{i2} 的共模电压范围较大，且输入阻抗较低。在电路中，为减小温漂提高运算精度，同相端须加接平衡电阻。

6.2.2 减法运算电路

1、差动减法器

由 U_{i1} 产生的输出电压为: $u'_o = -\frac{R_f}{R_1} u_{i1}$

差动减法器: 用来实现两个电压 U_1 、 U_2 相减的差动输入式放大电路。



由 U_{i2} 产生的输出电压为:

$$u''_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \frac{R_3}{R_3 + R_2} u_{i2}$$

总的输出电压 U_o : $u_o = -\frac{R_f}{R_1} u_{i1} + \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \frac{R_3}{R_3 + R_2} u_{i2}$

当 $R_1 \sim R_4$ 的选择满足 $R_2/R_1 = R_f/R_3$ 时: $u_o = \frac{R_f}{R_1} (u_{i2} - u_{i1})$

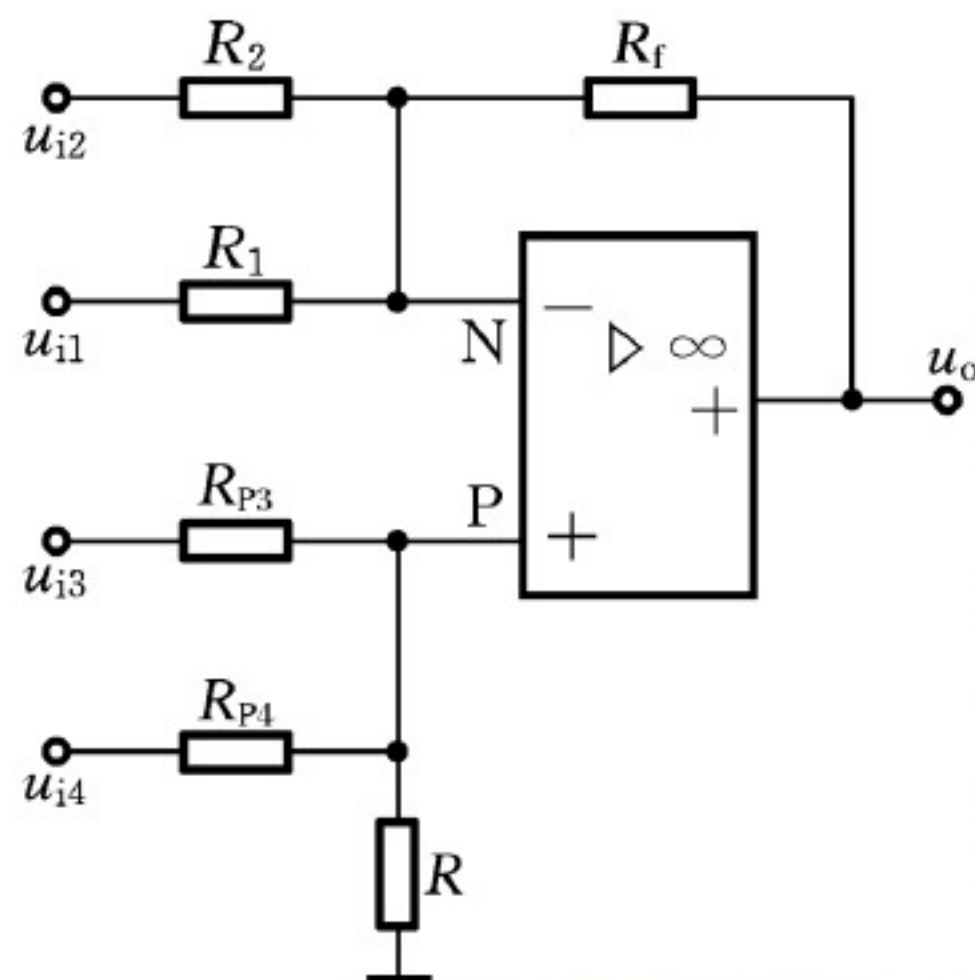
§ 6.2 加法运算和减法运算电路

2、加减运算电路

根据叠加定理和分压公式，输出电压与输入电压的关系可得：

$$u_+ = \frac{R_{P4} // R}{R_{P3} + R_{P4} // R} u_{i3} + \frac{R_{P3} // R}{R_{P4} + R_{P3} // R} u_{i4}$$

$$u_- = \frac{R_2 // R_f}{R_1 + R_2 // R_f} u_{i1} + \frac{R_1 // R_f}{R_2 + R_1 // R_f} u_{i2} + \frac{R_1 // R_2}{R_f + R_1 // R_2} u_o$$



根据“虚短”的概念和 $R_P = R_N$ 的条件可得：

$$u_o = R_f \left(\frac{u_{i3}}{R_{P3}} + \frac{u_{i4}}{R_{P4}} - \frac{u_{i1}}{R_1} - \frac{u_{i2}}{R_{P2}} \right)$$

在 $R_1 = R_2 = R_{P3} = R_{P4} = R$ 的情况下可得： $u_o = \frac{R_f}{R} (u_{i3} + u_{i4} - u_{i1} - u_{i2})$ 6

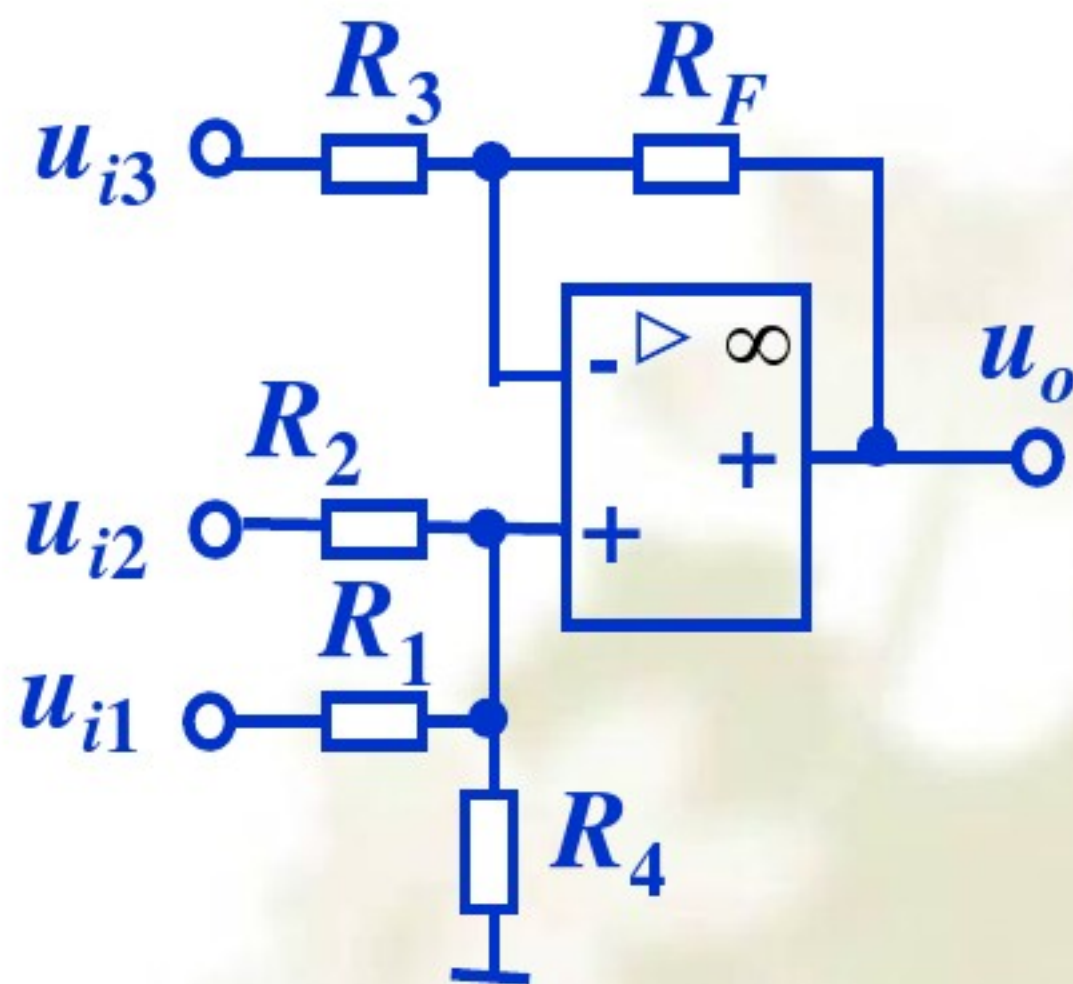
§ 6.2 加法运算和减法运算电路

例：设计一个加减运算电路， $R_F=240\text{k}\Omega$ ，使

$$u_o = 10u_{i1} + 8u_{i2} - 20u_{i3}$$

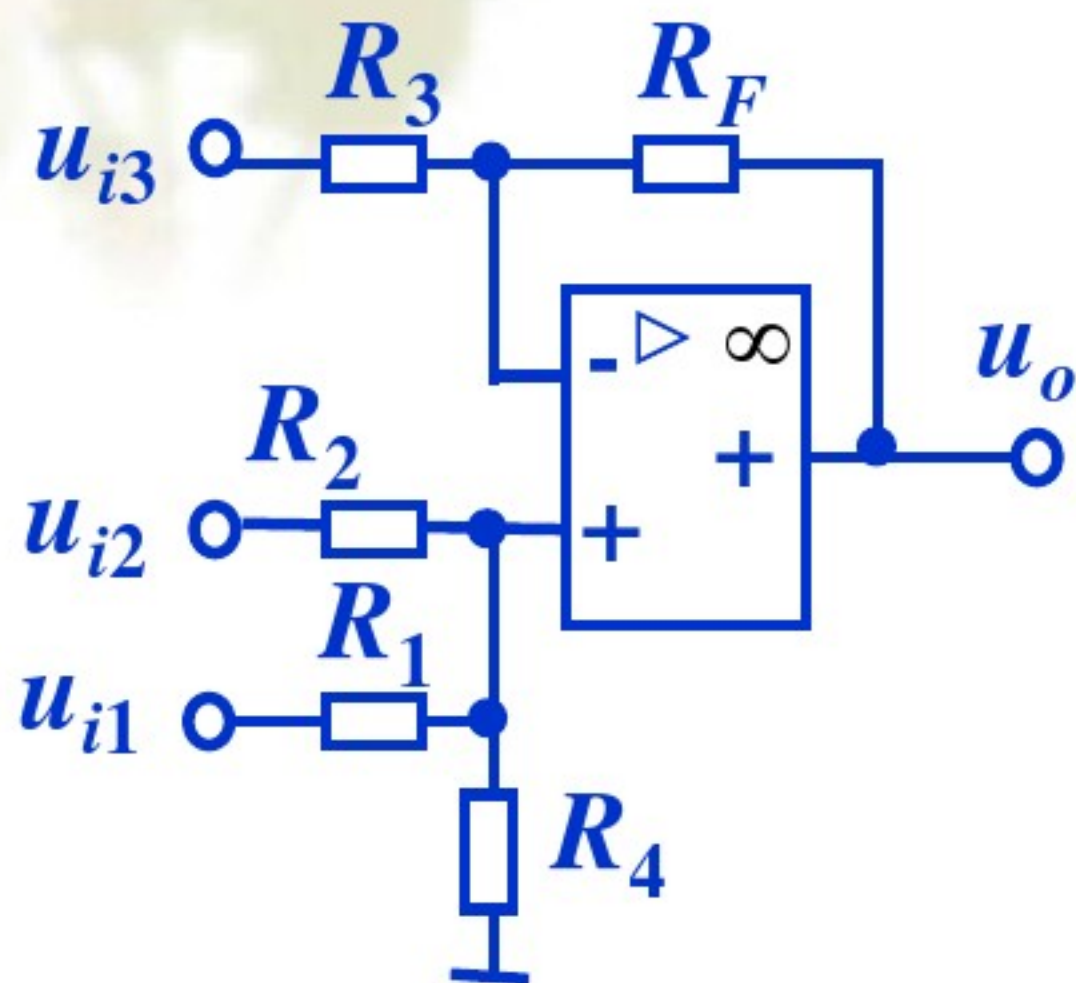
解： (1) 画电路。

系数为负的信号从反相端输入，系数为正的信号从同相端输入。



§ 6.2 加法运算和减法运算电路

(2) 求各电阻值。



$$R_1 // R_2 // R_4 = R_3 // R_F$$

$$u_o = R_F \left(\frac{u_{i1}}{R_1} + \frac{u_{i2}}{R_2} - \frac{u_{i3}}{R_3} \right)$$

$$R_F = 240\text{k}\Omega$$

$$R_1 = 24\text{k}\Omega$$

$$R_2 = 30\text{k}\Omega$$

$$R_3 = 12\text{k}\Omega$$

$$R_4 = 80\text{k}\Omega$$

$$u_o = 10u_{i1} + 8u_{i2} - 20u_{i3}$$

$$u_o = 10u_{i1} + 8u_{i2} - 20u_{i3}$$

单运放的加减运算电路

$$u_o = R_5 \left(-\frac{u_{i1}}{R_1} - \frac{u_{i2}}{R_2} + \frac{u_{i3}}{R_3} + \frac{u_{i4}}{R_4} \right)$$

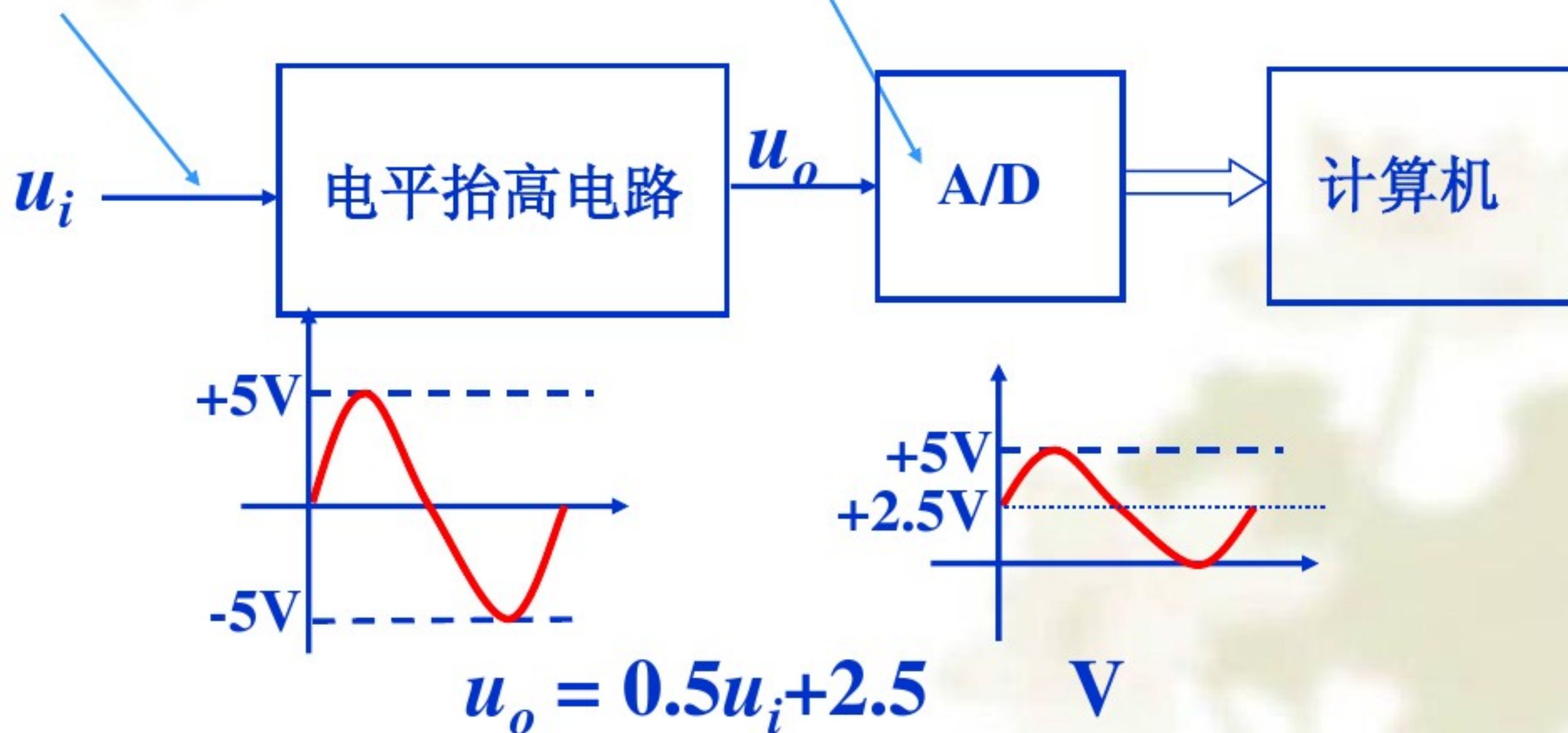
优点：元件少，成本低。

缺点：要求 $R_1//R_2//R_5=R_3//R_4//R_6$ 。阻值的调整计算不方便。

改进：采用双运放电路。

※ § 6.2 加法运算和减法运算电路 ※

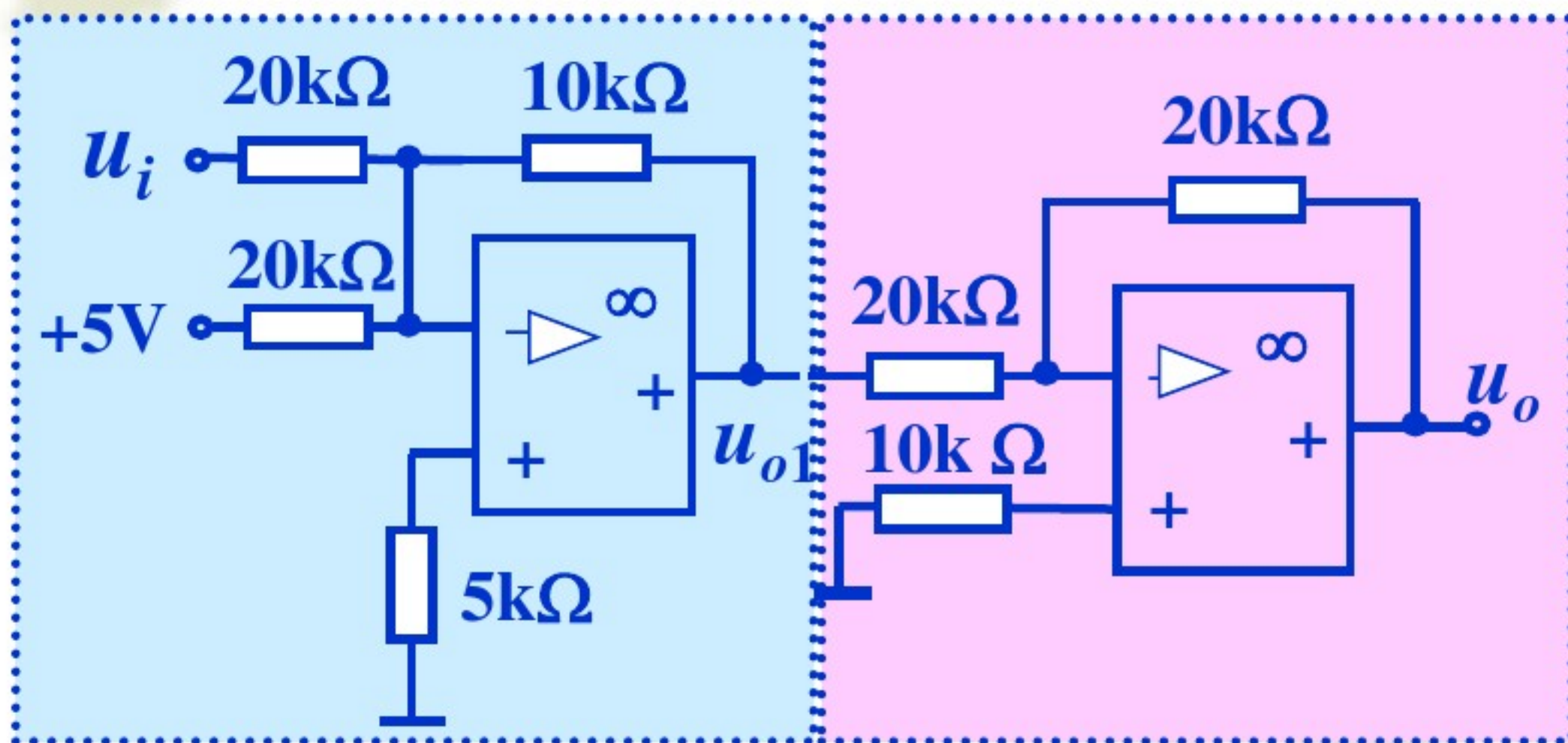
例：A/D变换器要求其输入电压的幅度为 $0 \sim +5\text{V}$ ，现有信号变化范围为 $-5\text{V} \sim +5\text{V}$ 。试设计一电平抬高电路，将其变化范围变为 $0 \sim +5\text{V}$ 。



✧ § 6.2 加法运算和减法运算电路 ✧

$$u_o = 0.5u_i + 2.5 \quad \text{V}$$

$$= 0.5(u_i + 5) \quad \text{V}$$



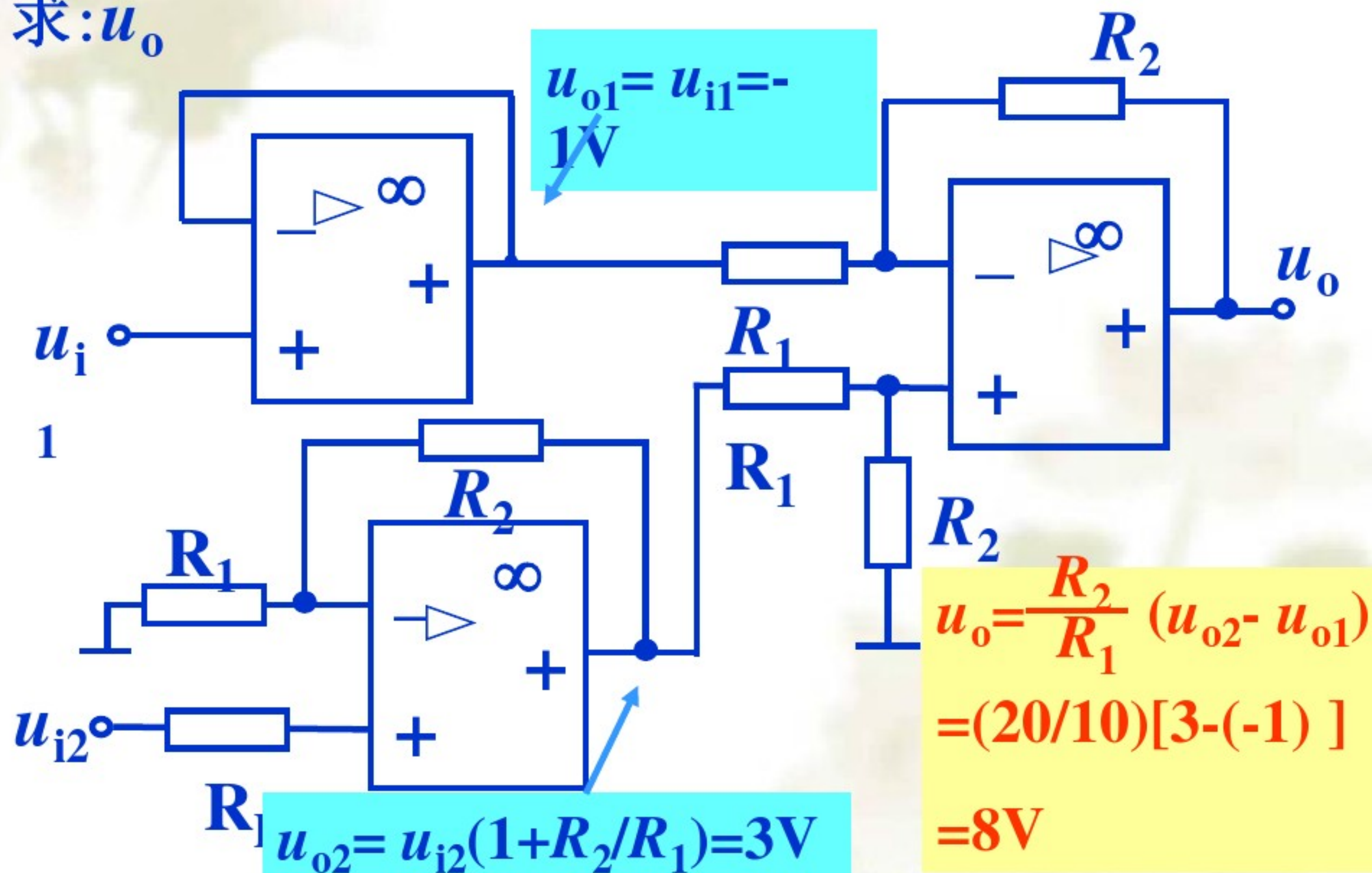
$$u_{o1} = -\frac{10}{20} \times (u_i + 5) = -0.5(u_i + 5)$$

$$u_o = -\frac{20}{20} \times u_{o1} = 0.5(u_i + 5)$$

§ 6.2 加法运算和减法运算电路

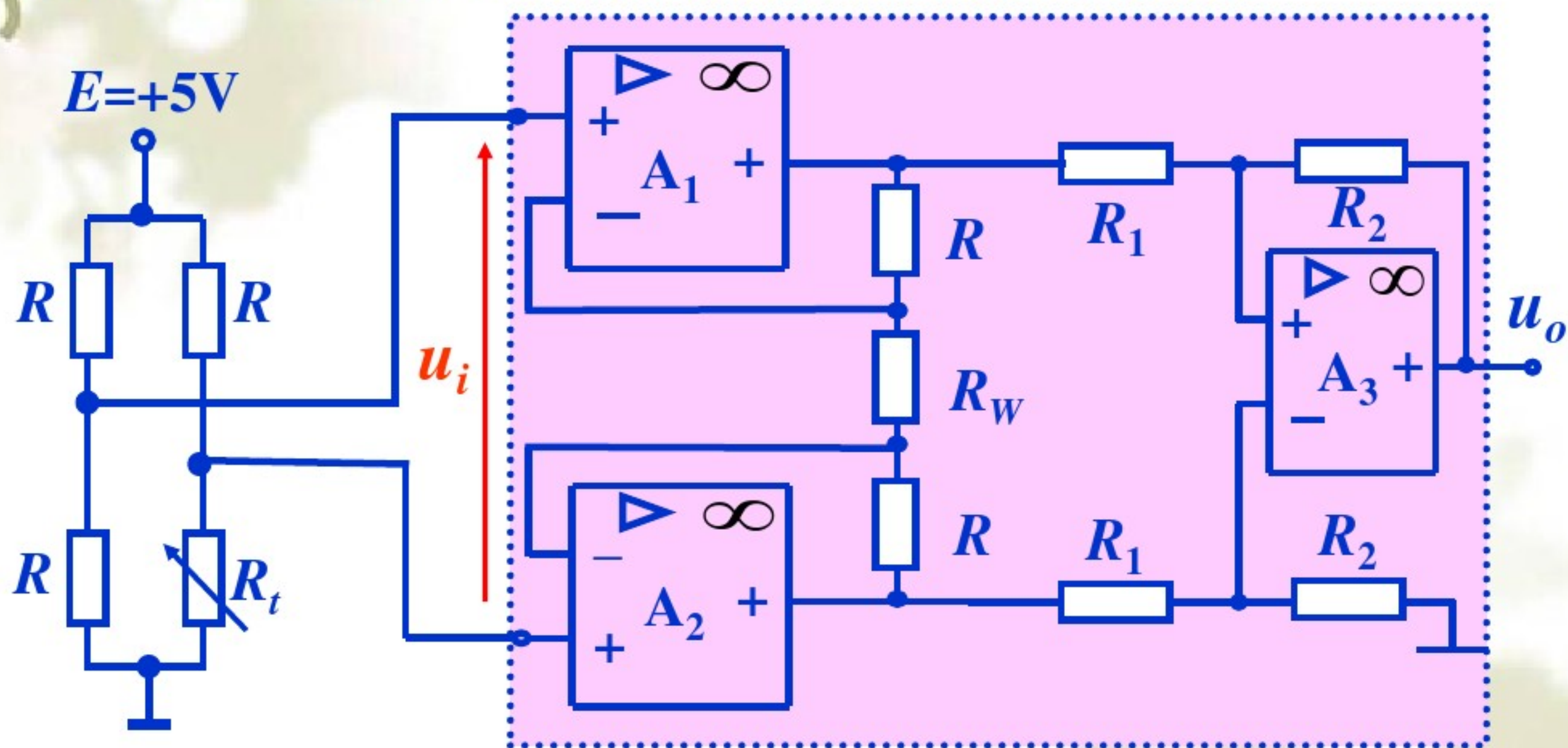
例题. $R_1=10\text{k}\Omega$, $R_2=20\text{k}\Omega$, $u_{i1}=-1\text{V}$, $u_{i2}=1\text{V}$ 。

求: u_o



§ 6.2 加法运算和减法运算电路

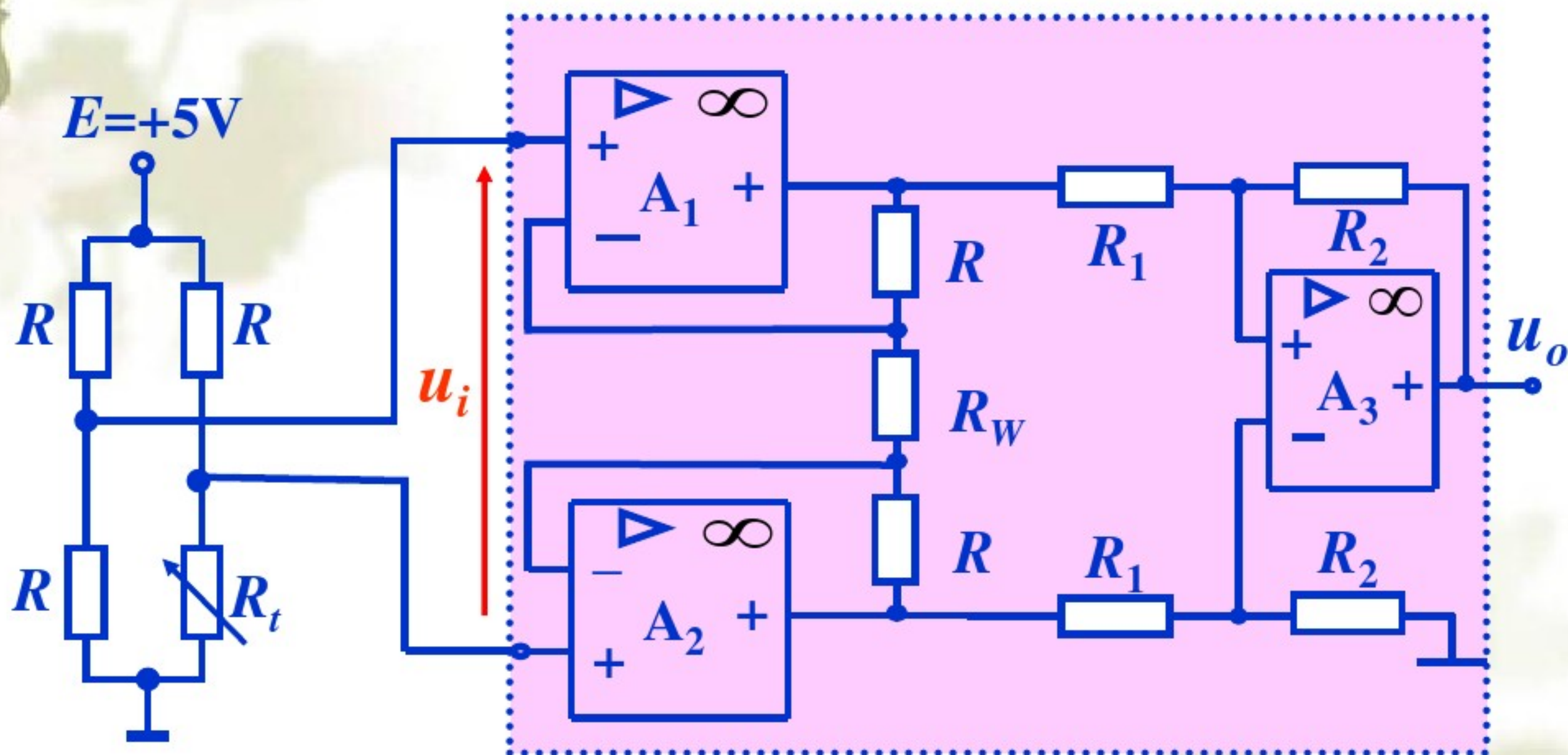
例：由三运放放大器组成的温度测量电路。



R_t : 热敏电阻

集成化: 仪表放大器

§ 6.2 加法运算和减法运算电路



$$R_t = f(T^{\circ}C)$$

$$u_i = \frac{R_t}{R_t + R} E - \frac{E}{2} = \frac{R_t - R}{2(R_t + R)} E$$

$$u_o = \frac{R_2}{R_1} \times \frac{2R + R_w}{R_w} u_i = \frac{R_2}{R_1} \times \frac{2R + R_w}{R_w} \times \frac{R_t - R}{2(R_t + R)} E$$

