



减法运算电路

主讲教师：王香婷 教授





减法运算电路

主要内容:

减法运算电路; 多级信号运算电路。

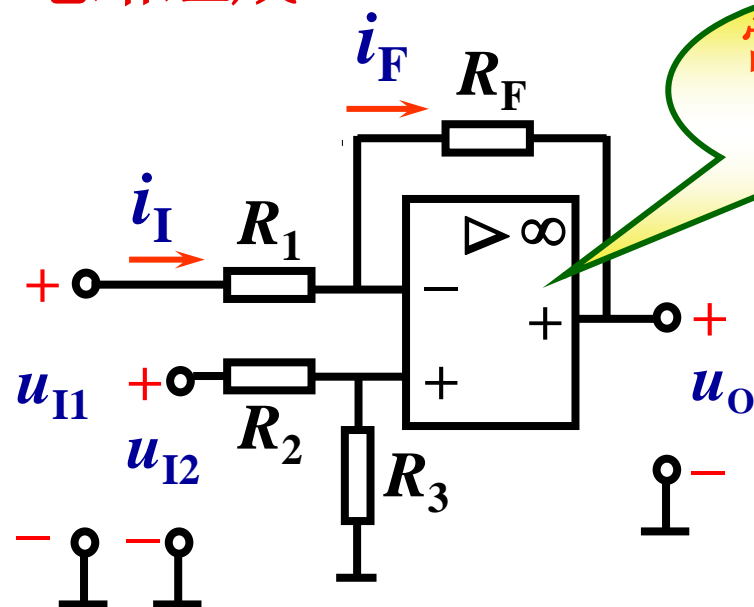
重点难点:

减法运算电路的输入、输出电压关系, 多级运算电路的分析。



减法运算电路

1. 电路组成



平衡电阻: $R_2 // R_3 = R_1 // R_F$

2. 分析 方法一

因虚断, $i_+ = i_- = 0$, 可得

$$u_+ = \frac{R_3}{R_2 + R_3} u_{I2}$$

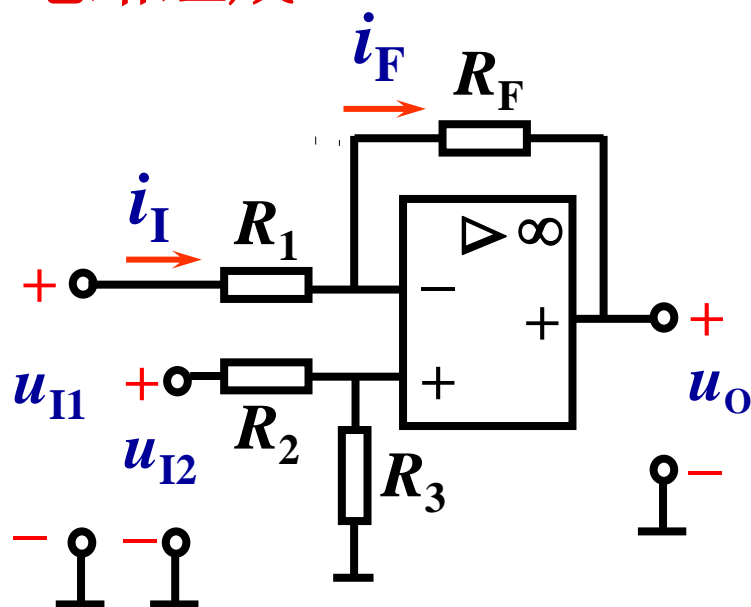
$$\begin{aligned} u_- &= u_{I1} - R_1 i_1 \\ &= u_{I1} - \frac{R_1}{R_1 + R_F} (u_o - u_{I1}) \end{aligned}$$

因虚短, $u_- \approx u_+ = 0$

$$u_o = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) \frac{R_3}{R_2 + R_3} u_{I2} - \frac{R_F}{R_1} u_{I1}$$

减法运算电路

1. 电路组成



平衡电阻: $R_2 // R_3 = R_1 // R_F$

2. 分析 方法一

$$u_o = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) \frac{R_3}{R_2 + R_3} u_{I2} - \frac{R_F}{R_1} u_{I1}$$

若: $R_1 = R_2$, $R_3 = R_F$

$$\text{则: } u_o = \frac{R_F}{R_1} (u_{I2} - u_{I1})$$

如: $R_1 = R_2 = R_3 = R_F$

$$u_o = u_{I2} - u_{I1}$$

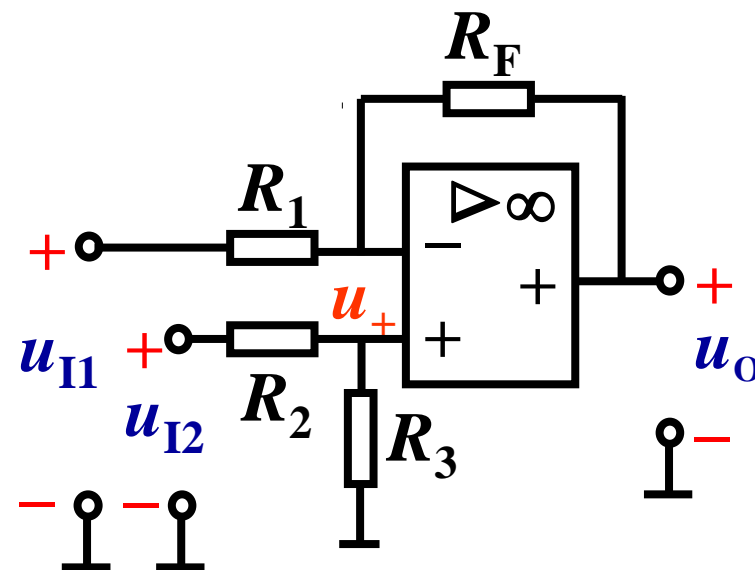
输出与两个输入信号的差值成正比。

2. 分析方法二：根据已知结论，利用叠加原理。

$$u'_o = -\frac{R_F}{R_1} u_{I1}$$

$$\begin{aligned} u''_o &= (1 + \frac{R_F}{R_1}) u_+ \\ &= (1 + \frac{R_F}{R_1}) \frac{R_3}{R_2 + R_3} u_{I2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_o &= u'_o + u''_o \\ &= (1 + \frac{R_F}{R_1}) \frac{R_3}{R_2 + R_3} u_{I2} - \frac{R_F}{R_1} u_{I1} \end{aligned}$$



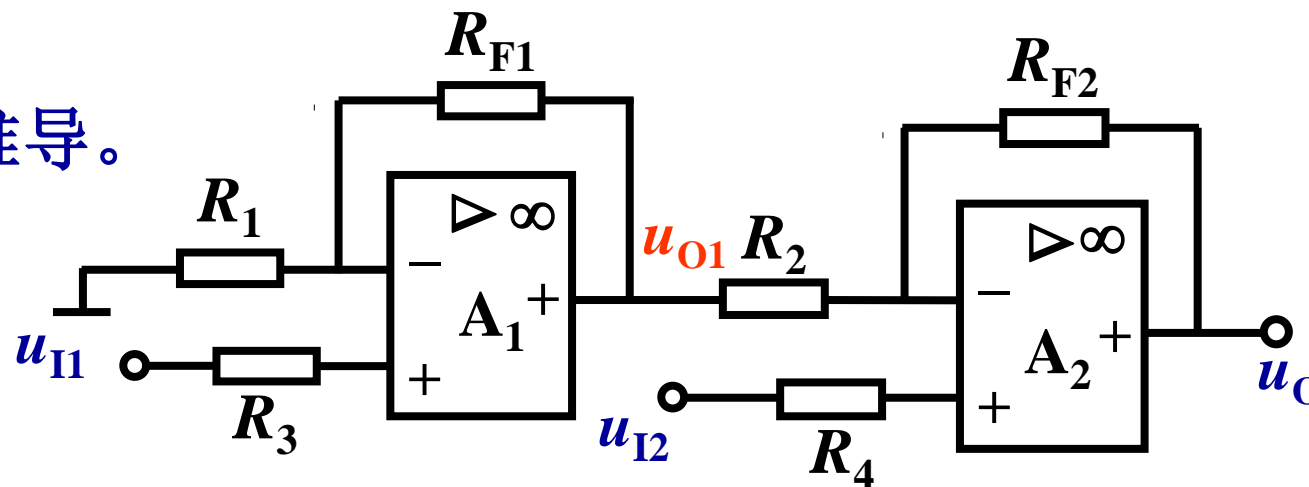
缺点：比例系数调节不方便。

用差分输入方式构成的减法运算电路的输入电阻较低。为了提高减法运算电路的输入电阻，可采用双运算放大器同相输入减法运算电路。

例1：分析同相串联的减法运算电路的输出。

分析方法：

利用已知结论，进行逐级推导。



解： $u_{O1} = (1 + \frac{R_{F1}}{R_1})u_{I1}$

$$u_O = -\frac{R_{F2}}{R_2}u_{O1} + (1 + \frac{R_{F2}}{R_2})u_{I2}$$

$$= -\frac{R_{F2}}{R_2}(1 + \frac{R_{F1}}{R_1})u_{I1} + (1 + \frac{R_{F2}}{R_2})u_{I2}$$

该电路具有极高的输入电阻，又可实现两信号相减的运算电路。

例2: 理想集成运算放大器电路如图所示，求输出电压 u_o 。

解： A_1 为同相比值运算电路

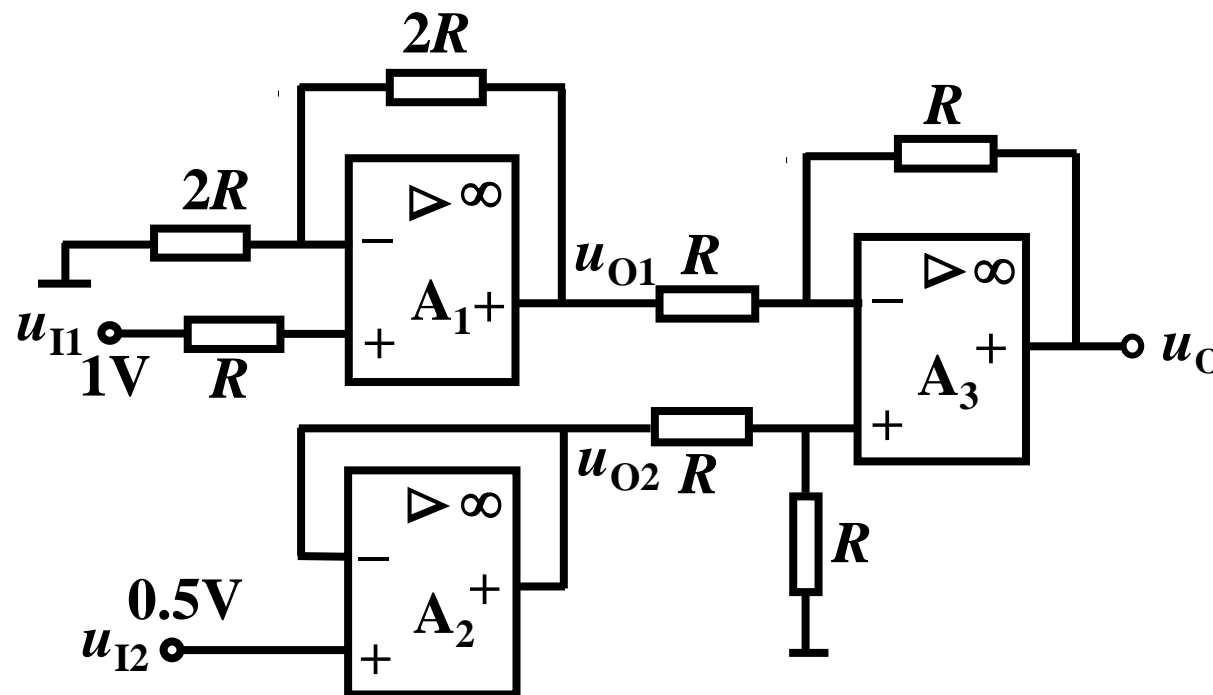
$$u_{O1} = \left(1 + \frac{2R}{2R}\right) u_{I1} = 2V$$

A_2 为电压跟随器

$$u_{O2} = u_{I2} = 0.5V$$

A_3 为减法运算电路

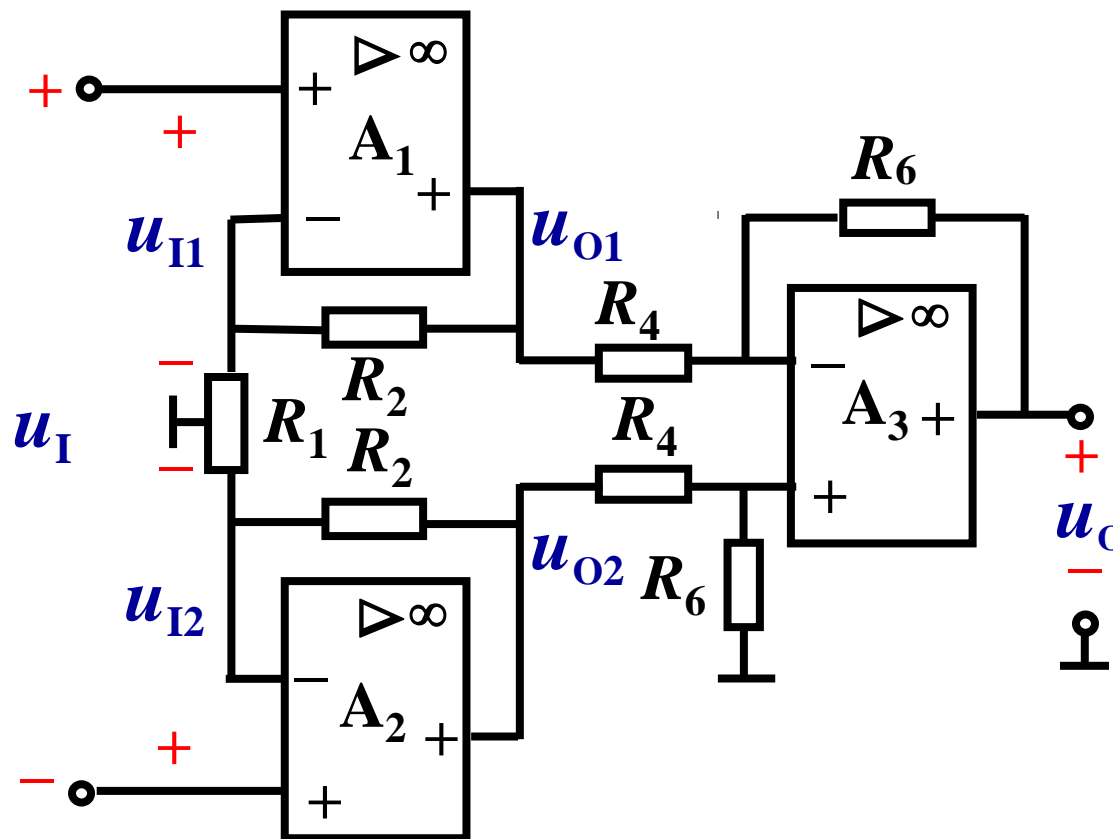
$$u_o = \left(1 + \frac{R}{R}\right) \frac{R}{R+R} u_{O2} - \frac{R}{R} u_{O1} = -1.5V$$



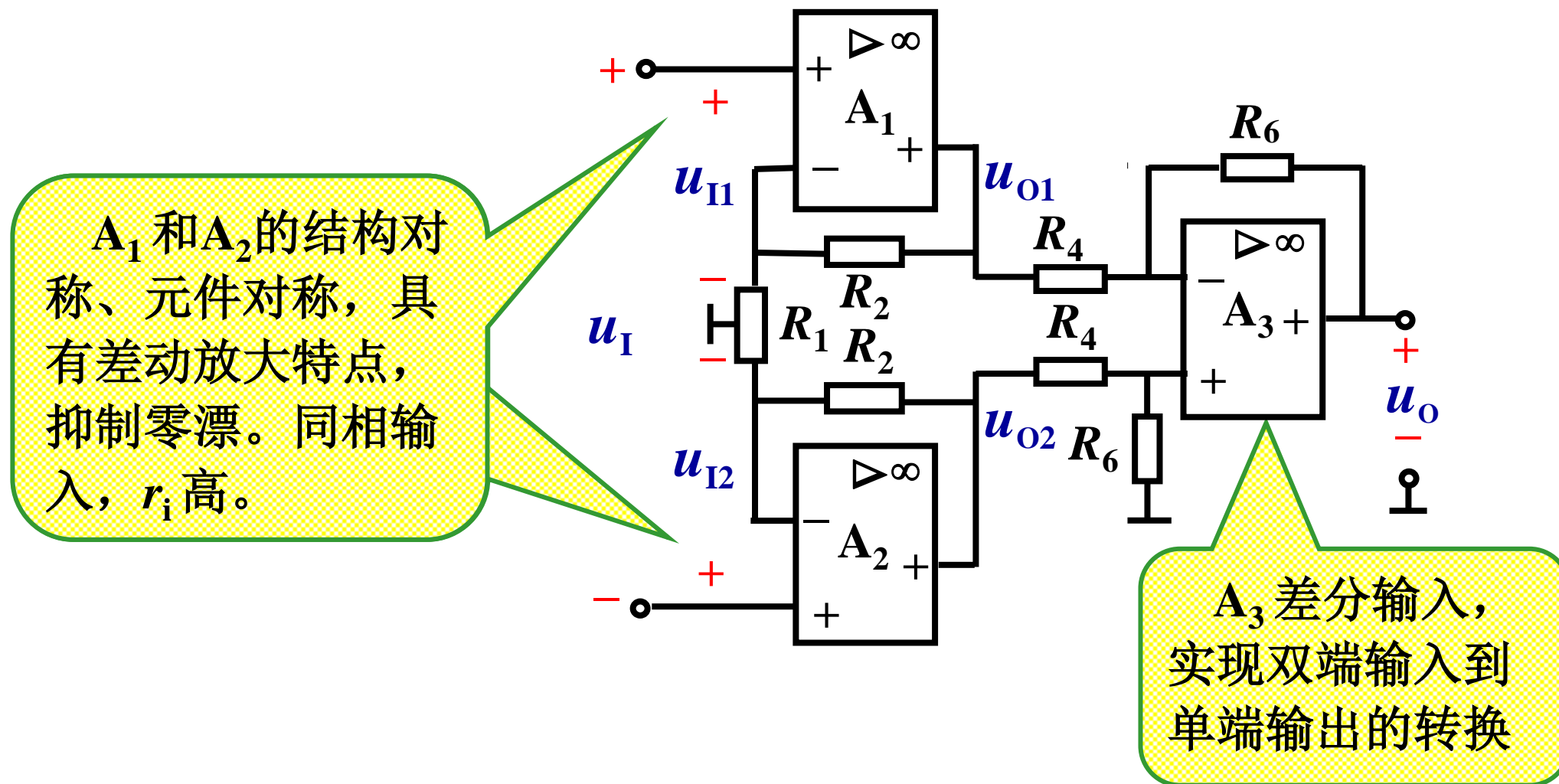
例3：运算放大器在测量放大电路中的应用。

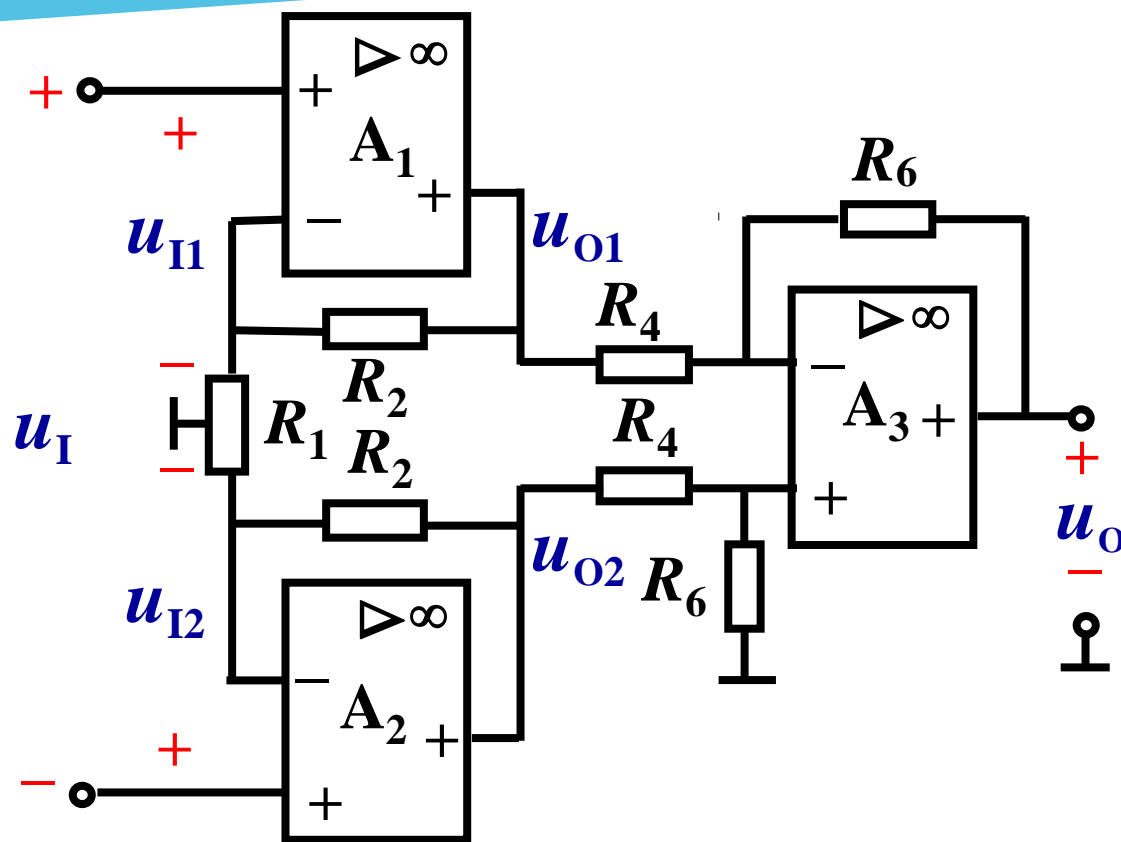
测量放大器电路的作用是将测量电路或传感器送来的微弱信号进行放大，再送到后面电路去处理。

一般对测量放大电路的要求是输入电阻高、噪声低、稳定性好、精度及可靠性高、共模抑制比大、线性度好、失调小、并有一定的抗干扰能力。



例3：运算放大器在测量放大电路中的应用。





对A₁和A₂有

$$\frac{u_{O1} - u_{O2}}{R_1 + 2R_2} = \frac{u_{I1} - u_{I2}}{R_1}$$

对A₃有

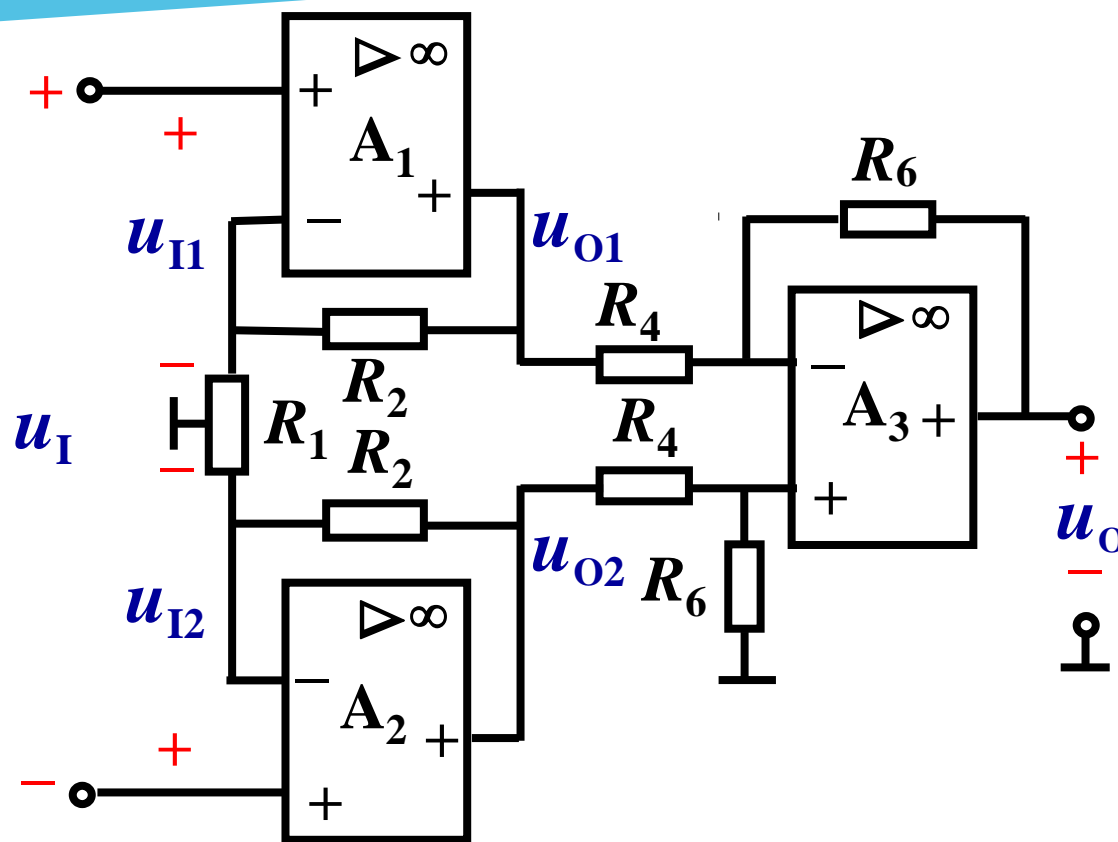
$$u_O = -\frac{R_6}{R_4} (u_{O1} - u_{O2})$$

$$\text{所以 } u_O = -\frac{R_6}{R_4} \frac{R_1 + 2R_2}{R_1} (u_{I1} - u_{I2})$$

若用 u_{Id} 表示差模信号，即 $u_{Id} = u_{I1} - u_{I2}$ ，

$$u_O = -\frac{R_6}{R_4} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) u_{Id}$$

当 $u_{I1} = u_{I2}$ 即输入共模信号时，输出电压 $u_O = 0$ 。



分析可知：该电路放大差模信号，抑制共模信号。

A_1 、 A_2 均采用同相输入方式，输入电阻高；

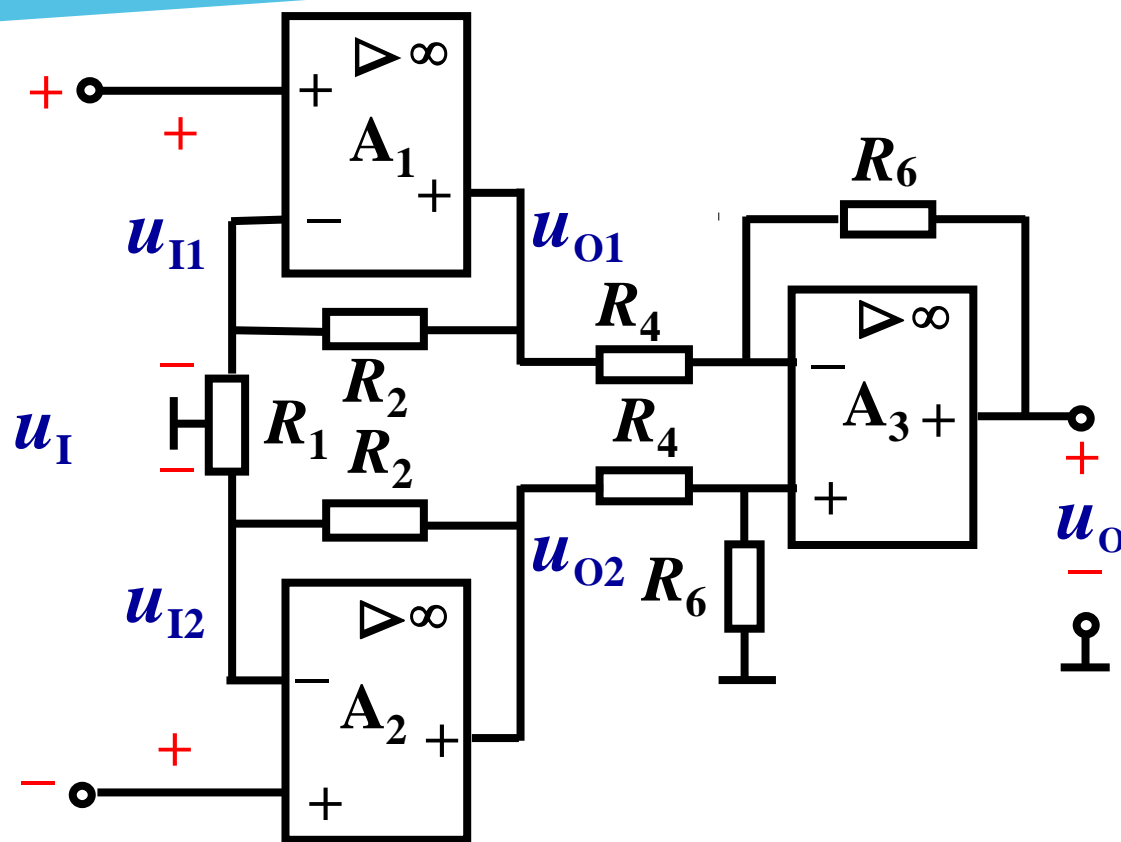
电路结构对称，抑制共模信号能力强。

该电路适于放大弱信号，是测量仪表中常用基本电路。

若用 u_{Id} 表示差模信号，即 $u_{Id} = u_{I1} - u_{I2}$ ，

$$u_o = -\frac{R_6}{R_4} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) u_{Id}$$

当 $u_{I1} = u_{I2}$ ，即输入共模信号时，输出电压 $u_o = 0$ 。



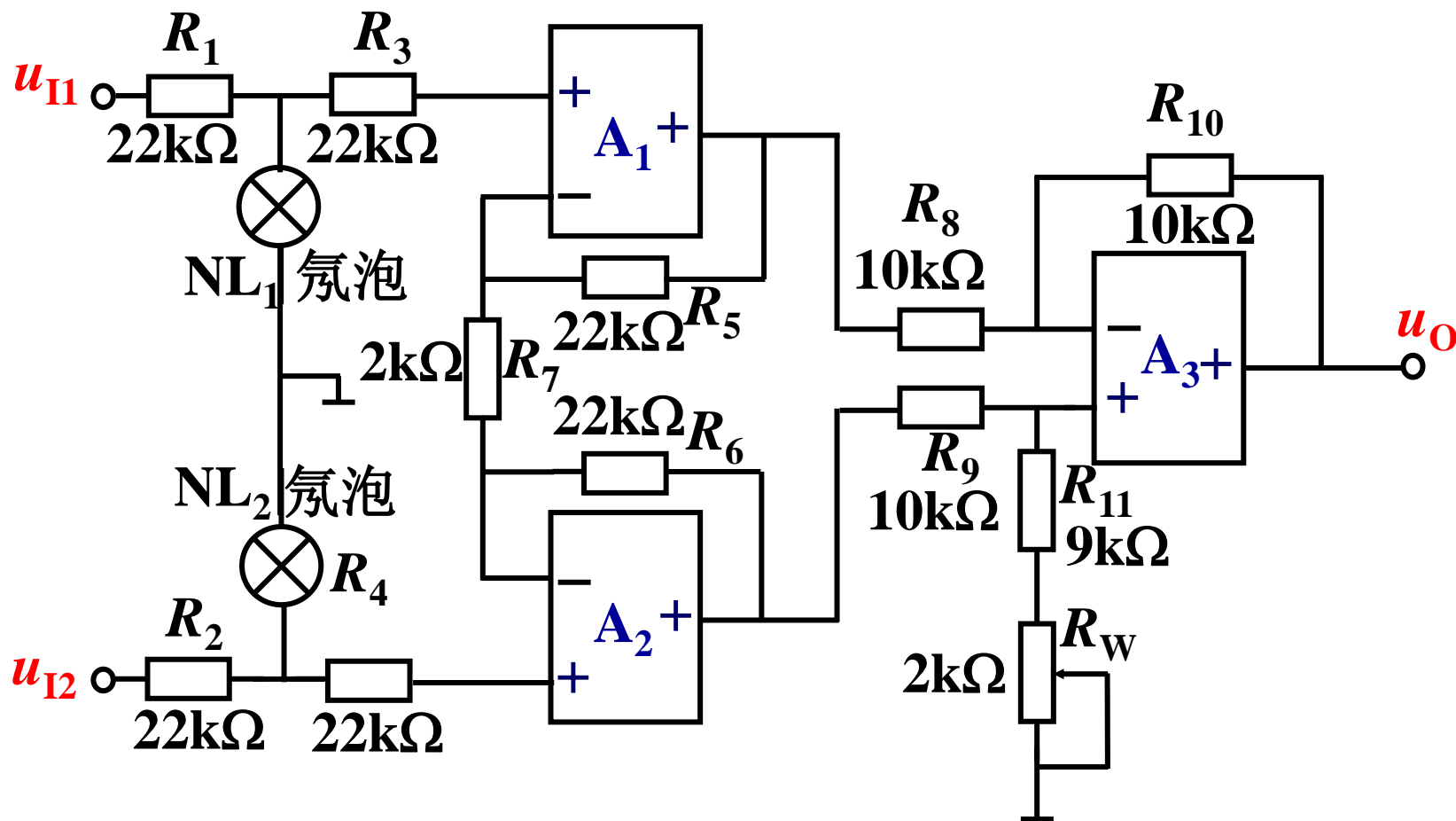
测量放大电路电路广泛应用于工业现场、生物信号及其仪器仪表的数据采集、信号放大电路中。

若用 u_{Id} 表示差模信号，即 $u_{Id} = u_{I1} - u_{I2}$ ，

$$u_o = -\frac{R_6}{R_4} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) u_{Id}$$

当 $u_{I1} = u_{I2}$ ，即输入共模信号时，输出电压 $u_o = 0$ 。

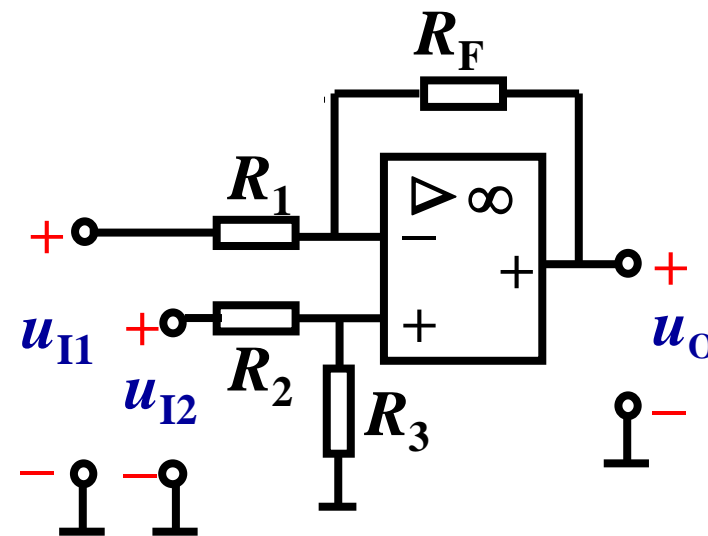
应用：用于人体心电信号检测的实用三运放电路。



小结

1. 减法运算电路

$$u_o = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) \frac{R_3}{R_2 + R_3} u_{I2} - \frac{R_F}{R_1} u_{I1}$$



2. 信号运算电路分析方法归纳

- (1) 根据“虚短”、“虚断”的基本依据，利用欧姆定律和基尔霍定律进行分析(如同相、反相比比例运算电路)。
- (2) 根据已知结论，利用叠加原理进行分析(如加法运算电路和减法运算电路)。
- (3) 利用已知结论，进行逐级推导。