

电路

第2章 线性直流电路

开课教师： 王灿

开课单位： 机电学院--电气工程学科

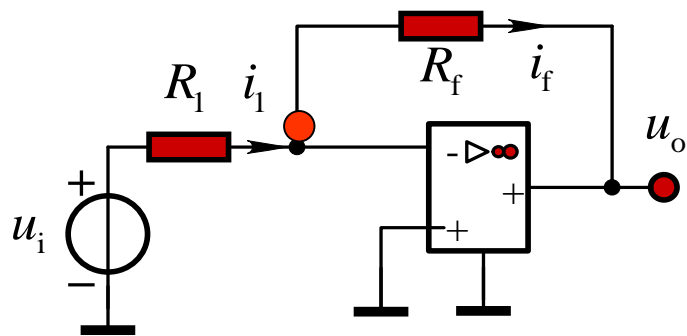


2.7 含运算放大器电路的分析

基本要求：结合反相同相放大器、加法器和差动放大器，掌握含理想运算放大器电路的分析方法。

1. 反相放大器

根据输入端口电流为零的特性



反相放大器图

根据输入端口电压为零的特性

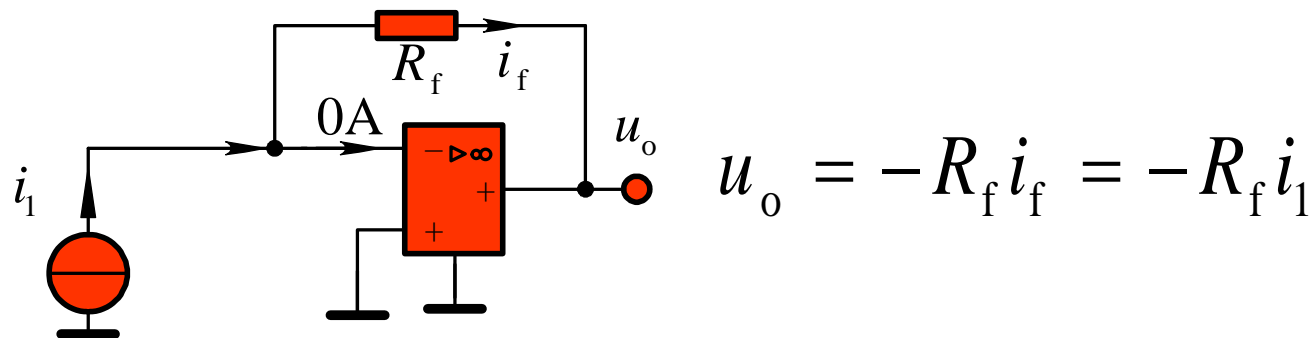
$$i_1 = \frac{u_i - 0}{R_1} \quad i_f = \frac{0 - u_o}{R_f}$$

输入、输出电压关系：
$$u_o = -\frac{R_f}{R_i} u_i$$

当 $R_1 = R_f$ 时， $u_o = -u_i$ 电路被称为反向器。

2.7 含运算放大器电路的分析

用反相放大器实现电流控制电压源



2. 同相放大器

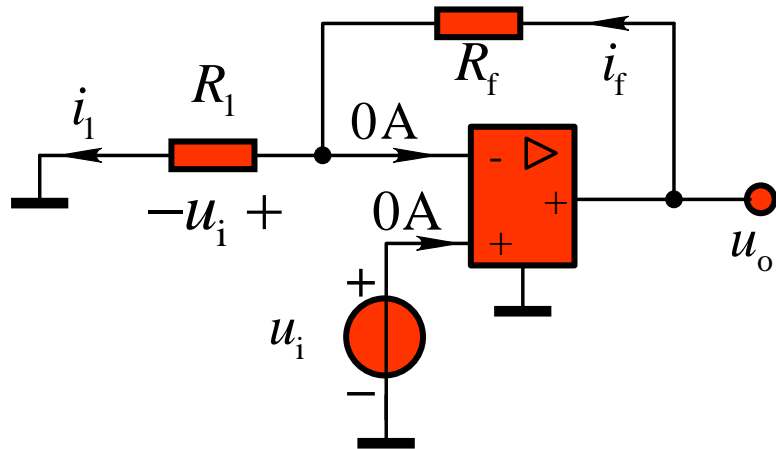
根据虚短和KVL

$$u_o = R_f i_f + u_i \quad i_1 = u_i / R_1$$

根据虚断 $i_f = i_1$

输出电压与输入电压的关系

$$u_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) u_i$$

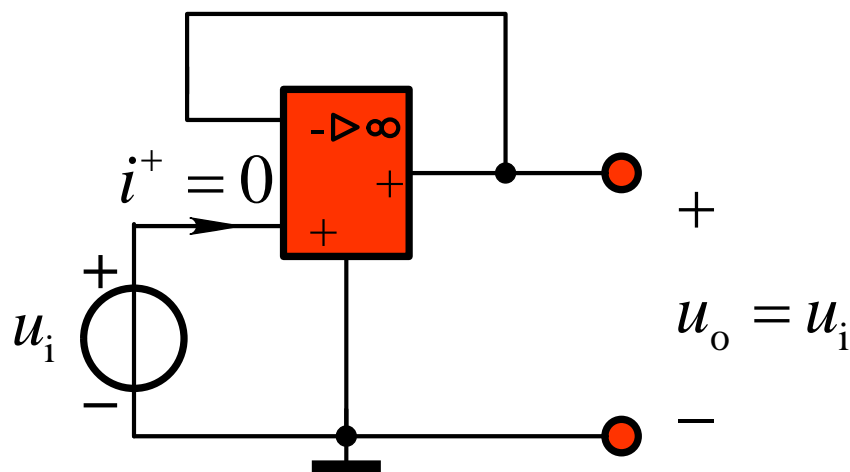


同相放大器

2.7 含运算放大器电路的分析

注：同相放大器是增益大于1的电压控制电压源，输出电压与输入电压极性相同。

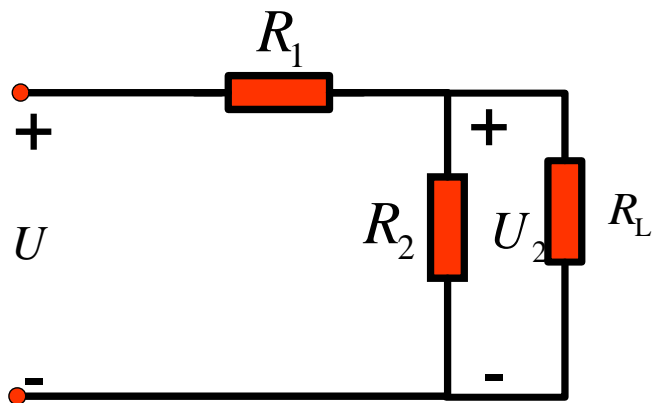
若令 $R_f=0$ ， $R_1=\infty$ ，此时电路变为电压跟随器。在电路中起隔离作用



电压跟随器

2.7 含运算放大器电路的分析

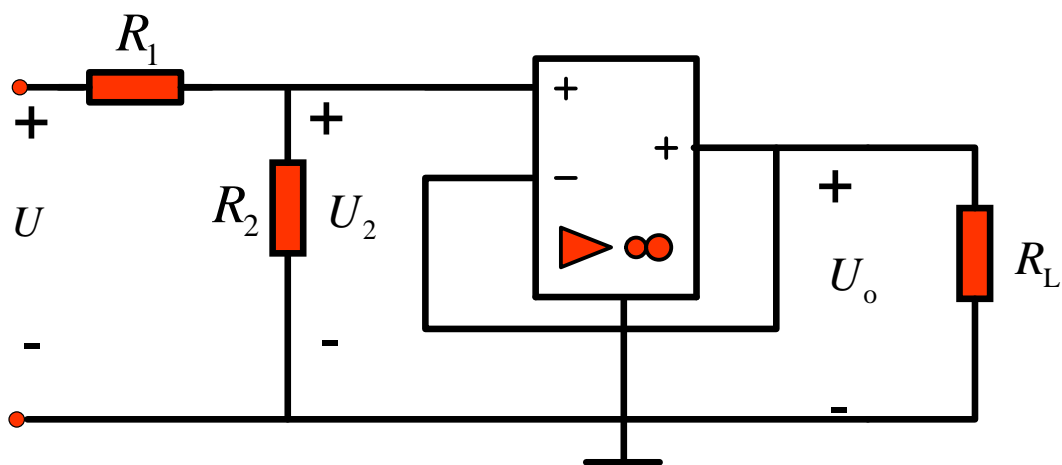
如:



图中由 R_1 和 R_2 构成的分压电路中，开路电压

$$U_{oc} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_1$$

接负载电阻 R_L 后 $U_2 < U_{oc}$

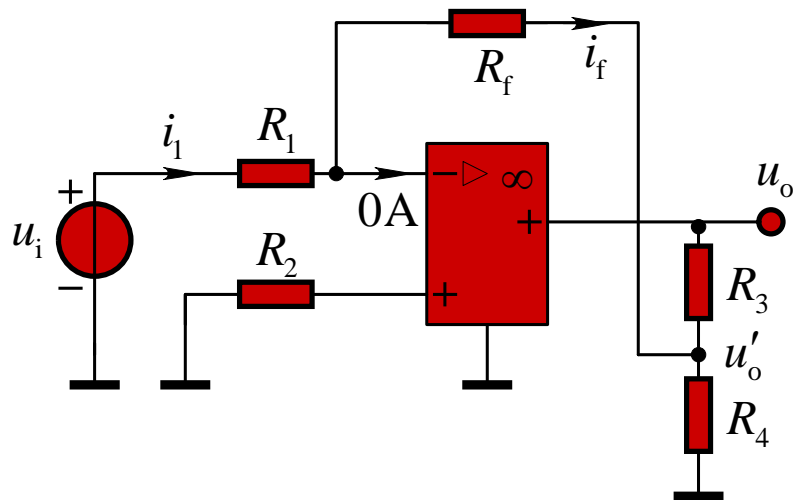


$$U_2 = U_{oc} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_1$$

电压跟随器在实际电路中起隔离作用

2.7 含运算放大器电路的分析

【例题2.17】 所示电路中，已知电阻 R_f 远远大于 R_4 ， R_f 支路对 R_3 和 R_4 电路的分流作用可忽略不计。求 u_o/u_i 。



解：根据虚短

$$i_1 = \frac{u_i - 0}{R_1} = \frac{u_i}{R_1} \quad i_f = \frac{0 - u'_o}{R_f} = -\frac{u'_o}{R_f}$$

再根据虚断及KCL得 $i_1 = i_f$

$$\text{整理得 } u'_o = -\frac{R_f}{R_1} u_i$$

因为忽略 R_f 支路的分流作用 $u'_o = \frac{R_4}{R_4 + R_3} u_o$

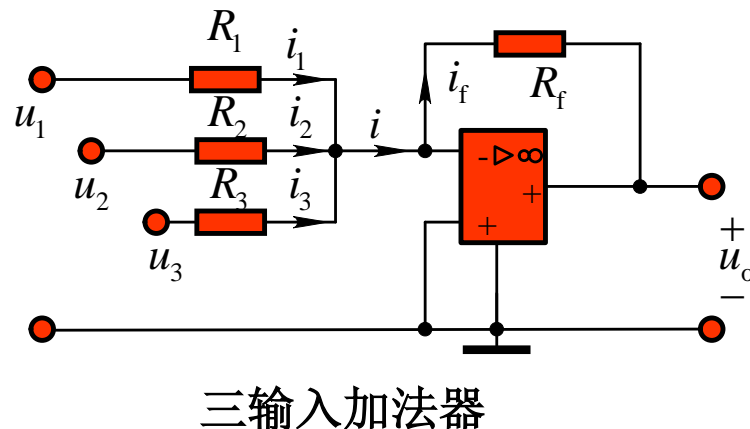
$$\text{求得 } \frac{u_o}{u_i} = -\frac{R_f}{R_1} \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right)$$

2.7 含运算放大器电路的分析

3. 加法器

根据虚短特性

$$i_1 = \frac{u_1}{R_1}, \quad i_2 = \frac{u_2}{R_2}, \quad i_3 = \frac{u_3}{R_3}$$



根据虚断特性和KCL $i_f = i = i_1 + i_2 + i_3$

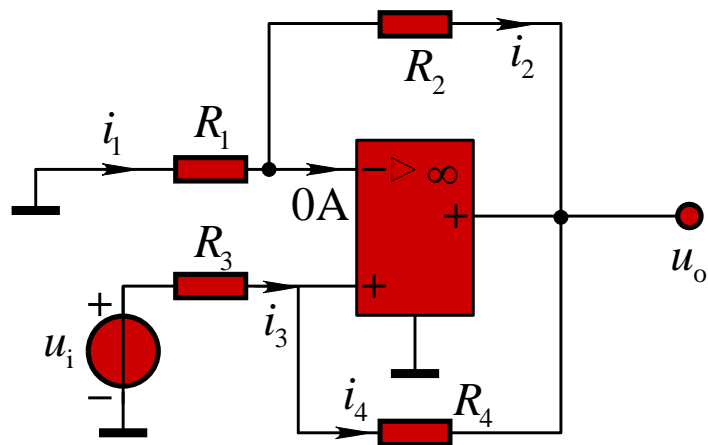
根据欧姆定律和KVL求得输出电压和输入电压的关系

$$u_o = -R_f i_f = -\frac{R_f}{R_1} u_1 - \frac{R_f}{R_2} u_2 - \frac{R_f}{R_3} u_3 = k_1 u_1 + k_2 u_2 + k_3 u_3$$

若 $R_1 = R_2 = R_3 = R_f$ 则 $u_o = -u_1 - u_2 - u_3$

2.7 含运算放大器电路的分析

【例题2.18】求图示电路输出电压 u_o 与输入电压 u_i 的关系。



解：根据虚断的概念得

$$u^- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u_o$$

再根据虚断、虚短得

$$i_3 = i_4 = \frac{u_i - u^-}{R_3}$$

由KVL得 $(R_3 + R_4)i_3 = u_i - u_o$

$$\text{联立得 } u_o = \frac{R_1 R_4 + R_2 R_4}{R_1 R_4 - R_2 R_3} u_i$$

2.7 含运算放大器电路的分析

4. 差动放大器

根据虚短和虚断的性质得：

$$u_{n1} = u_{n2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} u_2$$

进一步求得电流 i_1 和 i_2

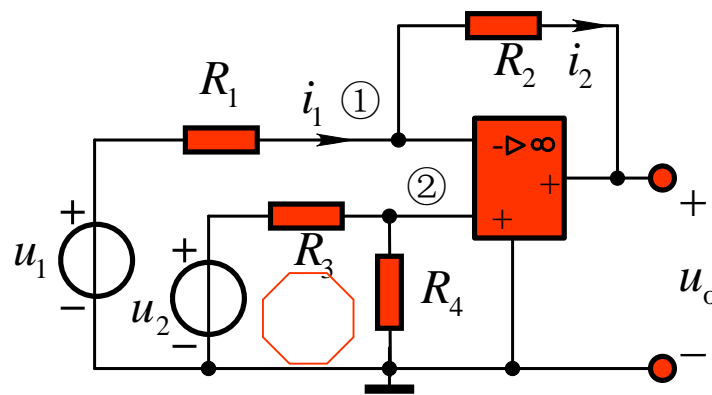
$$i_2 = i_1 = \frac{u_1 - u_{n1}}{R_1} = \frac{u_1 - u_{n2}}{R_1}$$

应用KVL求得输出电压与输入电压的关系

$$u_o = -R_2 i_2 + u_{n2} = \frac{R_2}{R_1} \frac{(1 + R_1 / R_2)}{(1 + R_3 / R_4)} u_2 - \frac{R_2}{R_1} u_1$$

特别的： $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3} = A$

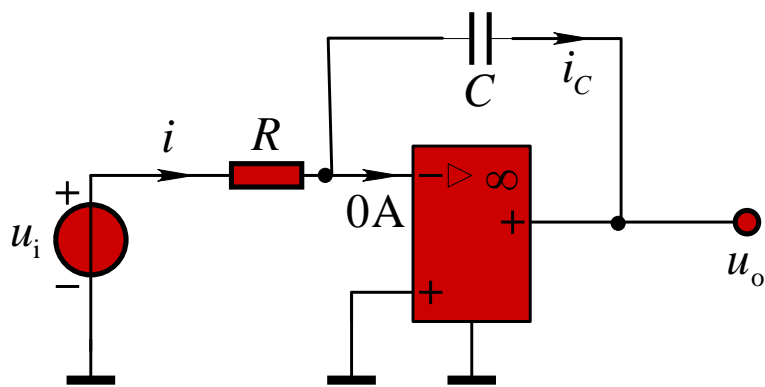
输出电压与两输入电压之差成正比 $u_o = A(u_2 - u_1)$



差动放大器电路

2.7 含运算放大器电路的分析

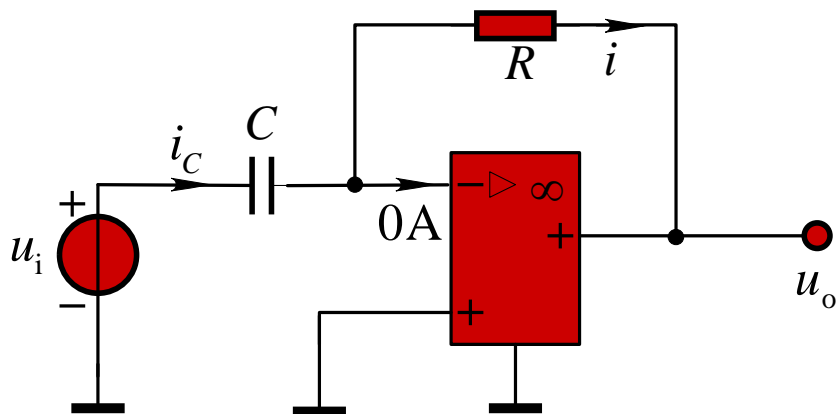
5. 积分运算电路



根据虚断和虚短 $i = i_C = \frac{u_i}{R}$

$$u_o = -u_C = -\frac{1}{C} \int i_C dt = -\frac{1}{RC} \int u_i dt$$

6. 微分运算电路

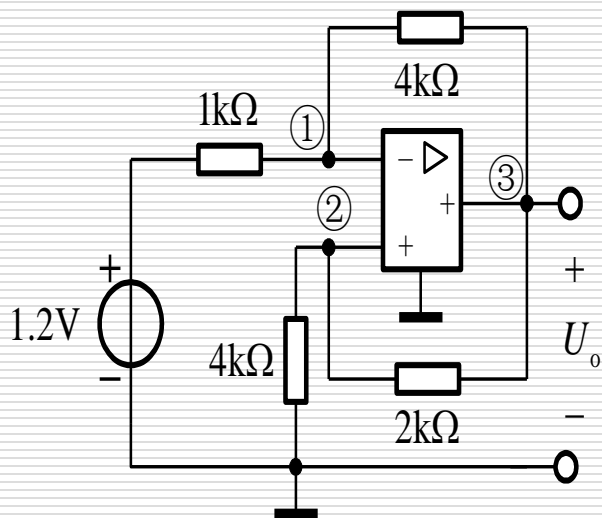


$$i_C = i = C \frac{du_i}{dt}$$

$$u_o = -Ri = -RC \frac{du_i}{dt}$$

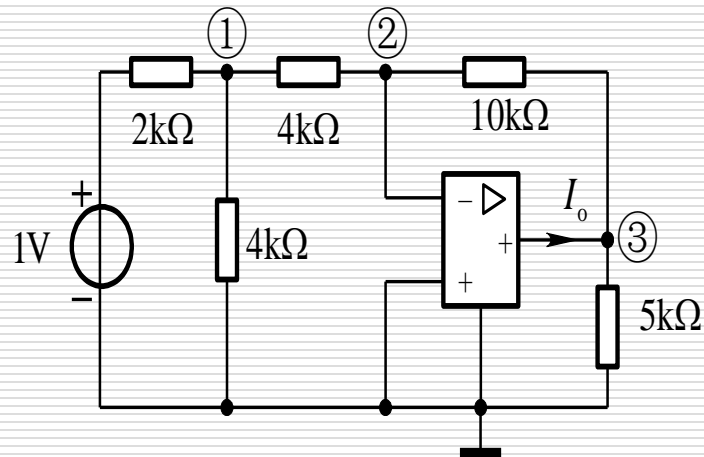
含运放电路分析

求图示电路输出电压



$$U_{n1} = \frac{48}{35} \text{V} = 1.371\text{V}, U_{n3} = \frac{72}{35} \text{V} = 2.057\text{V}$$

求图示电路输出电流



$$\begin{cases} \left(\frac{1}{2\text{k}\Omega} + \frac{1}{4\text{k}\Omega} + \frac{1}{4\text{k}\Omega}\right)U_{n1} - \frac{1}{4\text{k}\Omega}U_{n2} = \frac{1\text{V}}{2\text{k}\Omega} \\ -\frac{1}{4\text{k}\Omega}U_{n1} + \left(\frac{1}{4\text{k}\Omega} + \frac{1}{10\text{k}\Omega}\right)U_{n2} - \frac{1}{10\text{k}\Omega}U_{n3} = 0 \\ -\frac{1}{10\text{k}\Omega}U_{n2} + \left(\frac{1}{10\text{k}\Omega} + \frac{1}{5\text{k}\Omega}\right)U_{n3} = I_o \\ U_{n2} = 0 \end{cases}$$



谢

谢！

