



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

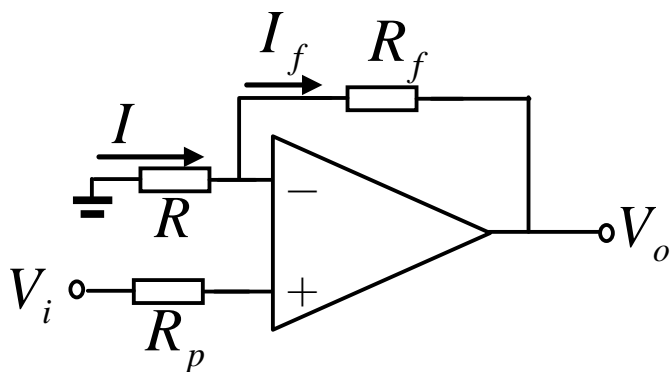
§ 7.3 同相运放电路

lugh@ustc.edu.cn

2016年12月7日

1. 基本形式

■ 电路结构



$$R_p = R_1 \parallel R_f$$

电压串联负反馈

1. 基本形式

■ 工作原理

$$\frac{0 - V_i}{R} = \frac{V_i - V_o}{R_f} \Rightarrow V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R}\right)V_i$$

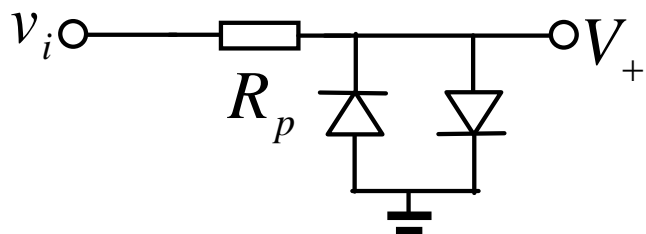
■ 优势

- 不同于反相运放，同相运放的输入阻抗很大，一般认为趋于无穷

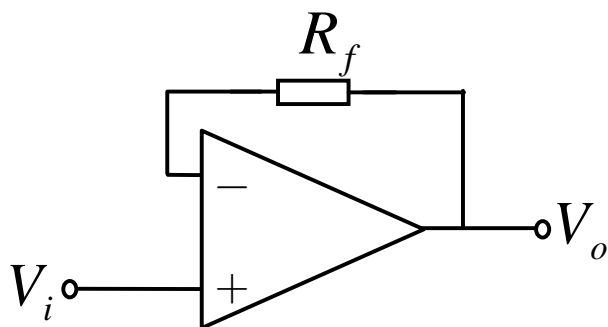
1. 基本形式

■ 缺点

- 两输入端有共模信号 $V_- = V_+ = V_i$ ，所以，对于同相运放电路，必须考虑实际运放的**CMRR**的影响，要求运放具有比较高的**CMRR**
- 一般运放都有最大允许共模输入电压，应用时必须保证 $|V_i| < V_{cm}$ 或在输入端加入限幅电路



2. 跟随器



$V_o = V_i$, 交直流都跟随

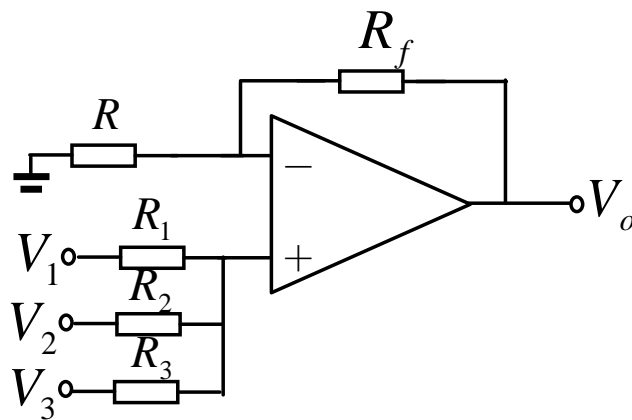
$$R_f = R_s$$

$$R_i = \infty \quad R_o = 0$$

反馈深度很深，需加相位补偿以防自激

3. 同相比例加法器

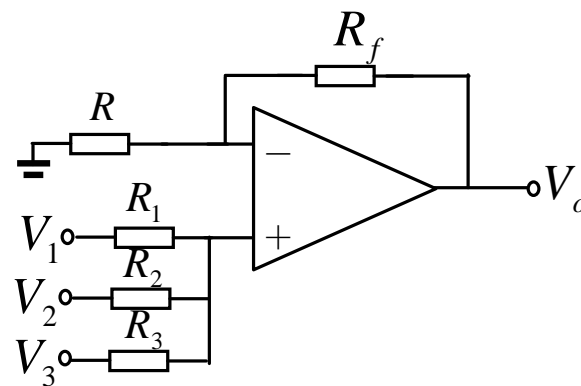
■ 电路结构



3. 同相比例加法器

■ 分析过程

$$\text{由 } \frac{V_1 - V_+}{R_1} + \frac{V_2 - V_+}{R_2} + \frac{V_3 - V_+}{R_3} = 0$$



$$\text{得到 } V_+ = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right) = R_1 \parallel R_2 \parallel R_3 \cdot \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right)$$

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R} \right) V_- = \left(1 + \frac{R_f}{R} \right) V_+ = \left(1 + \frac{R_f}{R} \right) \cdot R_1 \parallel R_2 \parallel R_3 \cdot \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right)$$

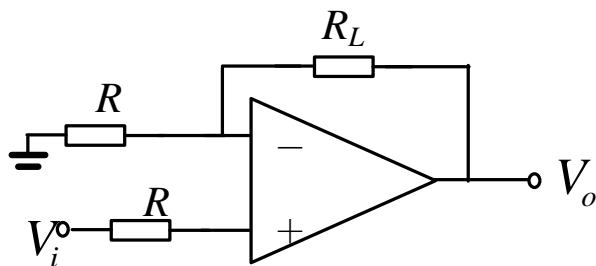
3. 同相比例加法器

■ 说明

- 与反相比例加法器相比，该电路的比例系数比较复杂，没有反相比例加法器那么容易调整
- 同样存在基本电路中的问题

4. 电压-电流变换电路

■ 电路结构



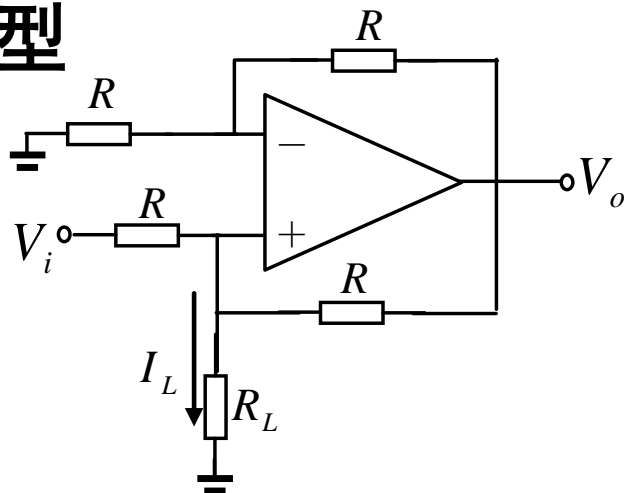
$$I_L = \frac{V_i}{R}$$

■ 说明

- 该电路是一种与负载无关，仅由输入电压控制输出电流的电压-电流变换电路，例如，用电流表测电压
- 该电路是一种悬浮输出的形式

4. 电压-电流变换电路

■ 单端输出改进型

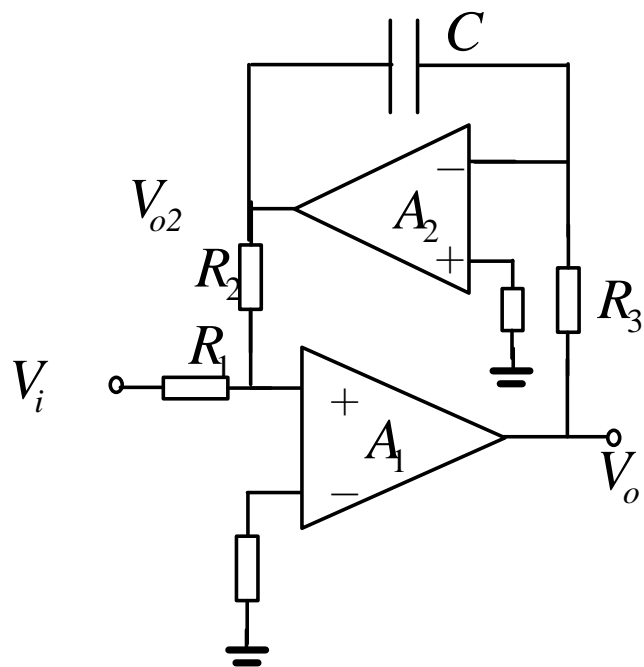


■ 工作原理

$$\frac{V_o - V_-}{R} = \frac{V_- - 0}{R} \Rightarrow V_- = \frac{1}{2} V_o$$
$$\Rightarrow I_L = \frac{V_i - V_+}{R} + \frac{V_o - V_+}{R} = \frac{V_i}{R}$$

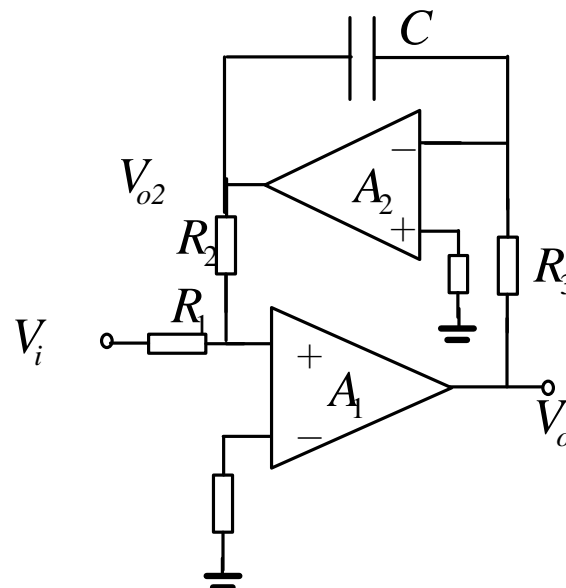
5. 逆函数微分电路

■ 电路结构



5. 逆函数微分电路

■ 分析过程



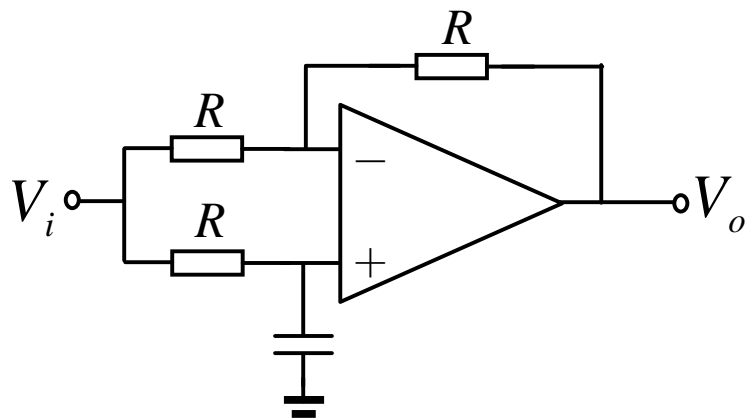
$$V_{o2} = -\frac{1}{sR_3C}V_o$$

$$\Rightarrow \frac{V_i - V_+}{R_1} = \frac{V_+ - V_{o2}}{R_2} \Rightarrow V_{o2} = -\frac{R_2}{R_1}V_i$$

$$\Rightarrow -\frac{R_2}{R_1}V_i = -\frac{1}{sR_3C}V_o \Rightarrow V_o(s) = \frac{sR_2R_3C}{R_1}V_i$$

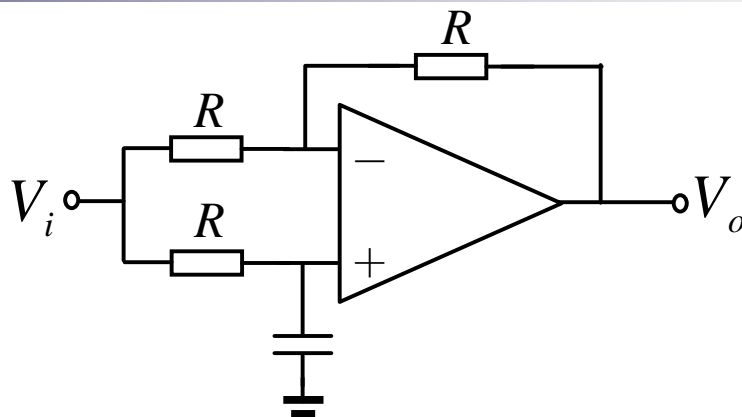
6. 移相电路

■ 电路结构



6. 移相电路

■ 分析过程



$$\begin{cases} \frac{V_i - V_-}{R} = \frac{V_- - V_o}{R} \Rightarrow V_- = \frac{V_i + V_o}{2} \\ \frac{V_i - V_+}{R} = \frac{V_+ - 0}{\frac{1}{sC}} \Rightarrow V_i = (1 + sRC)V_+ \end{cases}$$

$$\Rightarrow V_i = (1 + sRC) \frac{V_i + V_o}{2} \Rightarrow A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1 - sRC}{1 + sRC} = \begin{cases} |A_V| = 1 \\ \varphi_{A_V} = -2 \tan^{-1} \omega RC \end{cases}$$

6. 移相电路

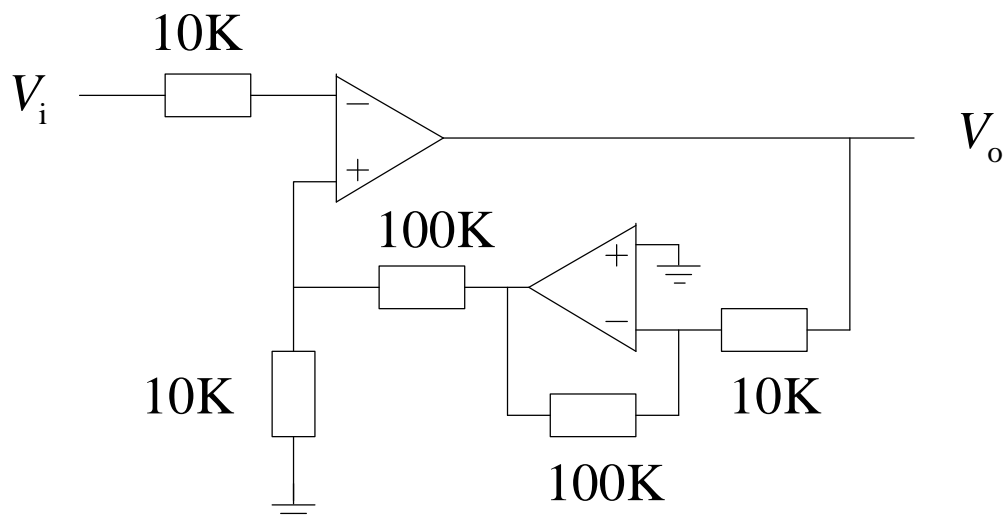
- R和C互换则相位反相

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1 + sRC}{1 - sRC}$$

6. 移相电路

■ 例：理想运放电路分析

理想运放电路，当 $V_i = 1V$ ，求 V_o 。



6. 移相电路

解：

分析可知，电压串联负反馈 \Rightarrow 两运放工作于线性区

$$V_A = -V_o \frac{100}{10} \cdot \frac{10}{100+10} = -V_o \cdot \frac{10}{11} = V_i$$

$$\Rightarrow V_o = -1.1V$$



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

§ 7.4 实际运放的误差分析

lugh@ustc.edu.cn

2016年12月7日

提纲

1. 失调误差
2. 有限CMRR

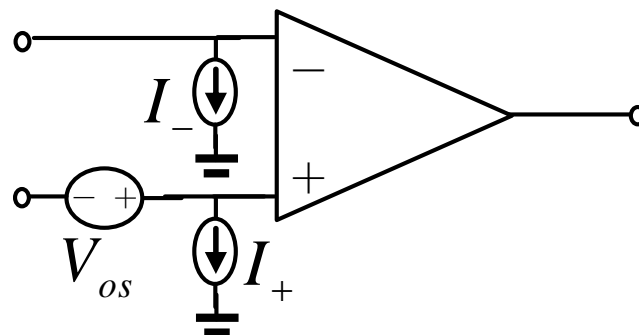
1. 失调误差

■ 输入失调参数

- 失调电压
- 失调电流

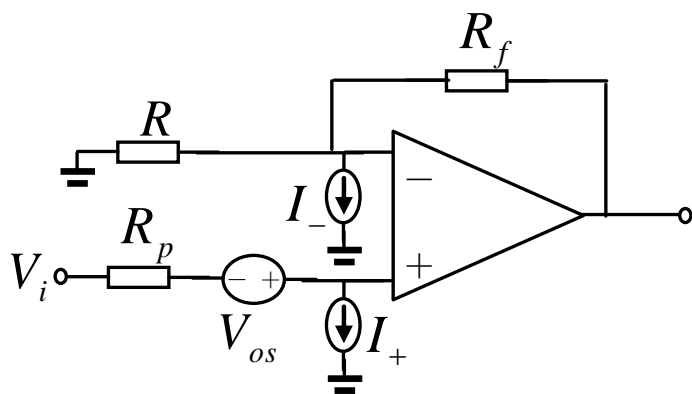
■ 分析模型

- 采用理想运放，将各种失调参数作为独立输入源，叠加在理想运放的输入端口，其输出满足线性叠加关系



1. 失调误差

■ 同相运放电路中的误差分析



$$\begin{cases} \Delta V_{o1} = (1 + \frac{R_f}{R}) \cdot V_{os} \\ \Delta V_{o2} = -(1 + \frac{R_f}{R}) \cdot I_+ R_p \\ \Delta V_{o3} = I_- R_f \end{cases}$$

$$\Rightarrow \Delta V_o = (1 + \frac{R_f}{R}) \cdot V_{os} + I_- R_f - (1 + \frac{R_f}{R}) \cdot I_+ R_p$$

1. 失调误差

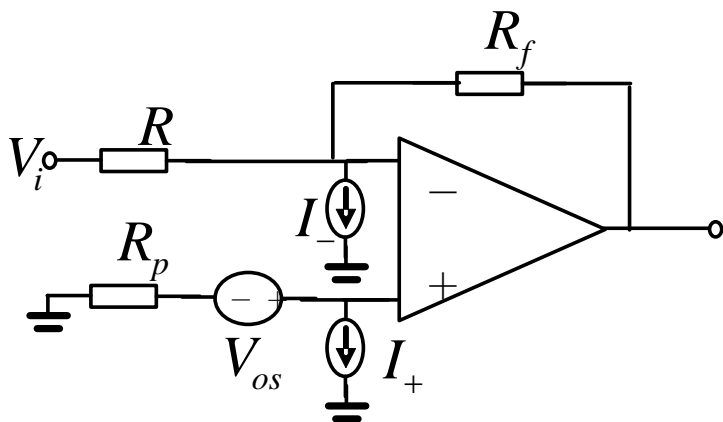
$$\text{令 } R_f = (1 + \frac{R_f}{R})R_p, \text{ 即 } R_p = R_f \parallel R$$

$$\Rightarrow \Delta V_o = (1 + \frac{R_f}{R}) \cdot V_{os} + I_{os} R_f$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \Delta V_i = V_{os} + \frac{R_f}{A_v} I_{os} \\ A_v = (1 + \frac{R_f}{R}) \end{cases}$$

1. 失调误差

■ 反相运放电路中的误差分析



$$\Delta V_o = \frac{R_f}{R} V_{os} + V_{os} + I_{os} R_f$$
$$\Rightarrow \begin{cases} \Delta V_i = V_{os} + \frac{1}{|A_V|} V_{os} + I_{os} R \\ A_V = -\frac{R_f}{R} \end{cases}$$

1. 失调误差

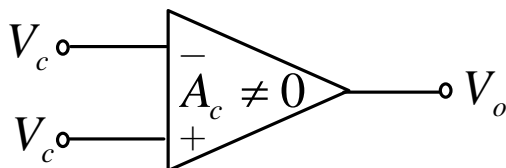
■ 说明

- 失调误差的影响主要看折合到输入端的值，和需要放大的有效输入信号大小相比，若满足下式，可忽略其影响

$$\Delta V_i \ll V_i$$

2. 有限CMRR

■ 非理想运放

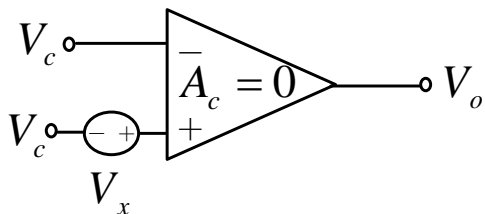


$$A_c \neq 0$$

$$V_o = A_c V_c$$

■ 分析模型

- 将非理想运放对共模信号的输出折算到理想运放的同相输入端，利用理想运放分析有限**CMRR**的影响



$$A_c = 0$$

$$V_o = A_d \frac{V_x}{2} = A_c V_c \Rightarrow V_x = 2V_c \frac{A_c}{A_d} = \frac{2V_c}{CMRR}$$

2. 有限CMRR

■ 说明

- 对同相运放电路，由于 $V_c = V_i$ ，对输入端影响 $\Delta V_i = \frac{2V_i}{CMRR}$
- 对反相运放电路，由于 $V_c = 0$ ，对输入端无影响