

第五章 模拟运算电路

5.2 比例放大电路

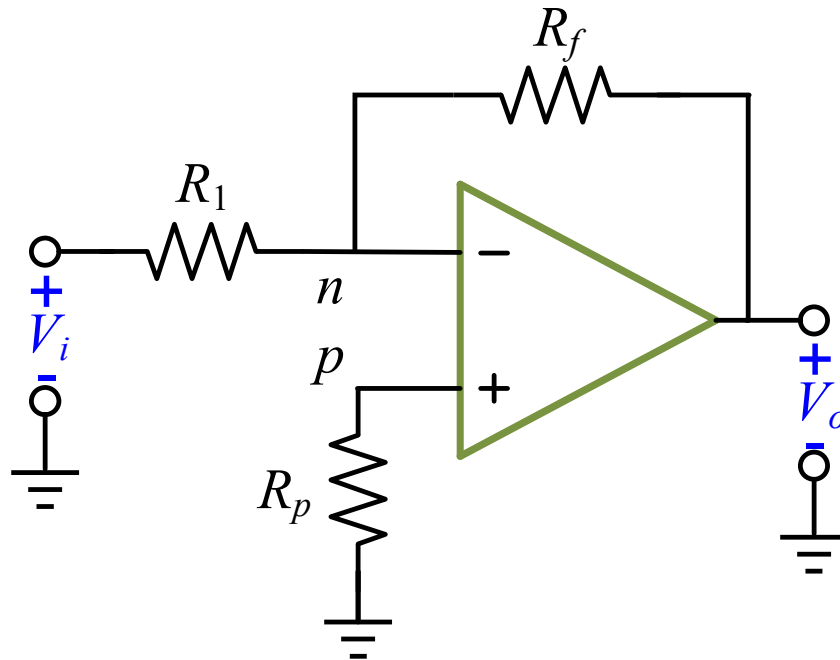
比例放大电路

- 反相放大器
- 同相放大器（含电压跟随器）

理想运算电路

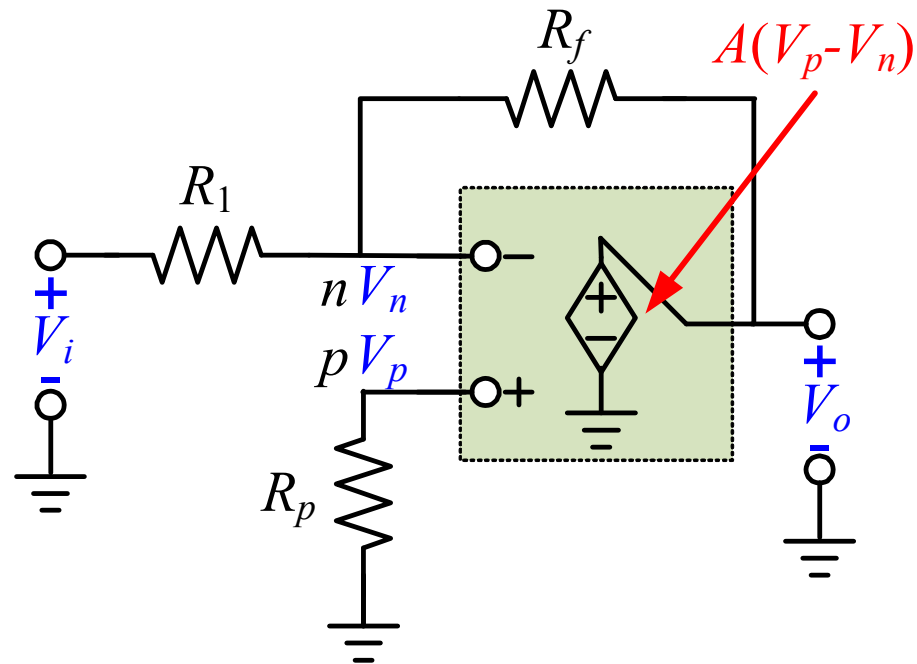
- 基于理想运放，实现比例放大，加/减/乘/除，对数/指数，微分/积分等多种模拟运算
- 以理想运放为核心器件
- 电路差别仅在于所选用的反馈网络
- 运放默认都是电压型运算放大器

反相放大器



电压并联负反馈放大器

反相放大器



增益 $A_f = \frac{V_o}{V_i}$

反相放大器增益

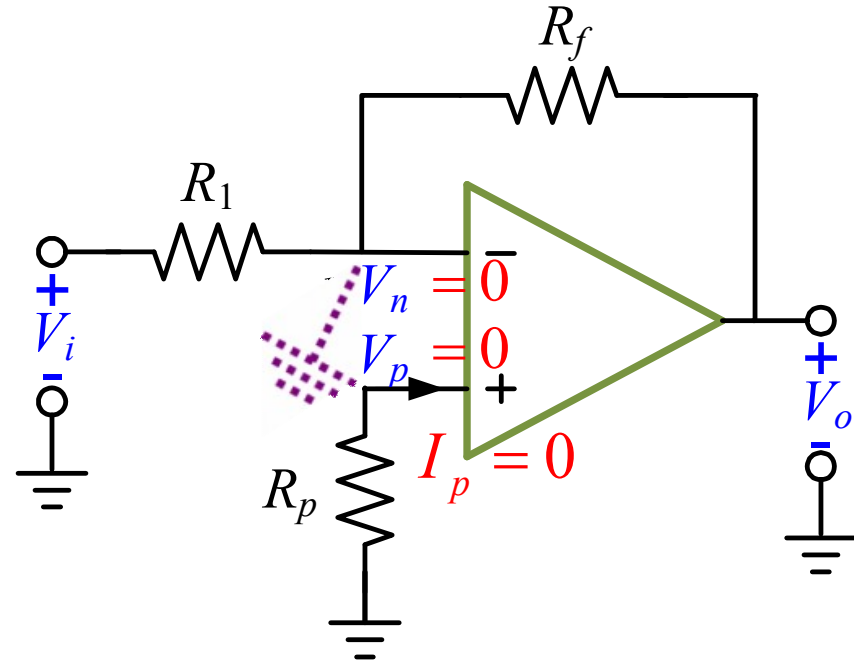
- 根据理想运放的“虚断”特性

$$I_p = 0 \quad V_p = 0$$

- 根据理想运放的“虚短”特性

$$V_n = V_p = 0$$

– 节点n为“虚地”



反相放大器增益

- 根据理想运放的“虚断”特性

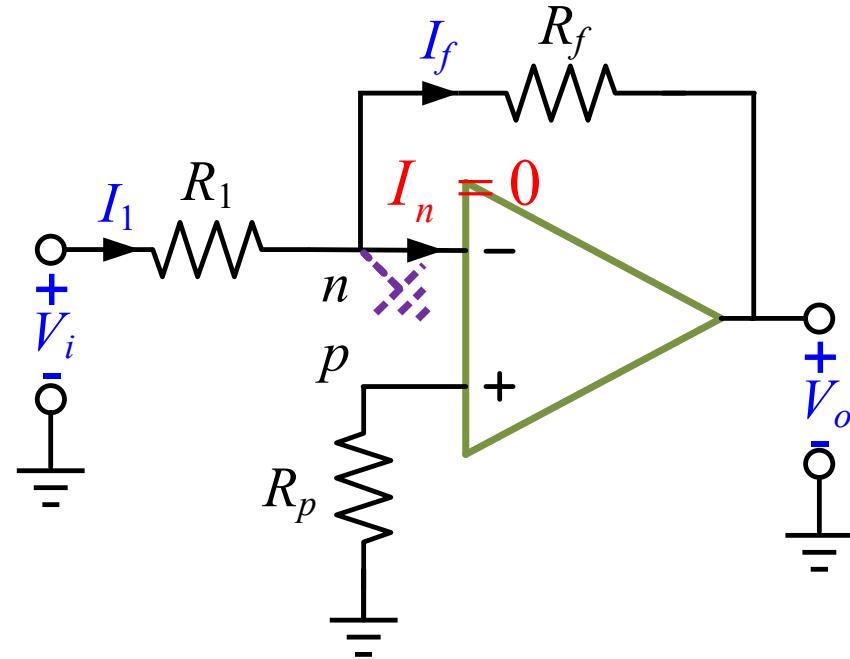
$$I_n = 0 \quad I_1 = I_f$$

- 根据电阻元件特性

$$V_o = -I_f R_f, \quad V_i = I_i R_1$$

- 增益

$$A_f = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-I_f R_f}{I_i R_1} = -\frac{R_f}{R_1}$$



反相放大器输入电阻

- 反相放大器输入电阻

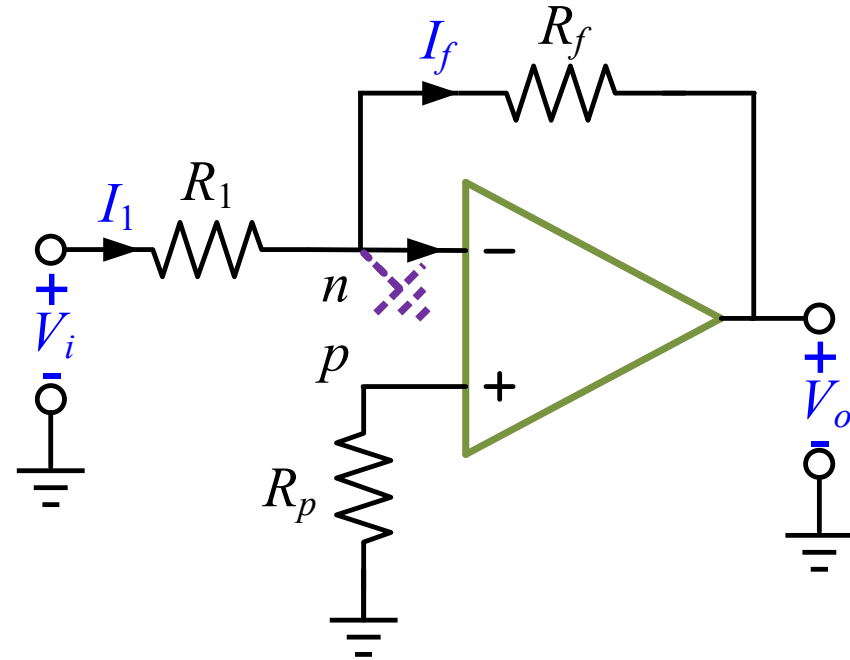
$$R_{if} = \frac{V_i}{I_1} = R_1$$

- 闭环输入电阻

- 理想运放输入电阻

$$R_i = \infty$$

- 开环输入电阻



反相放大器输出电阻

- 理想运放输出电阻

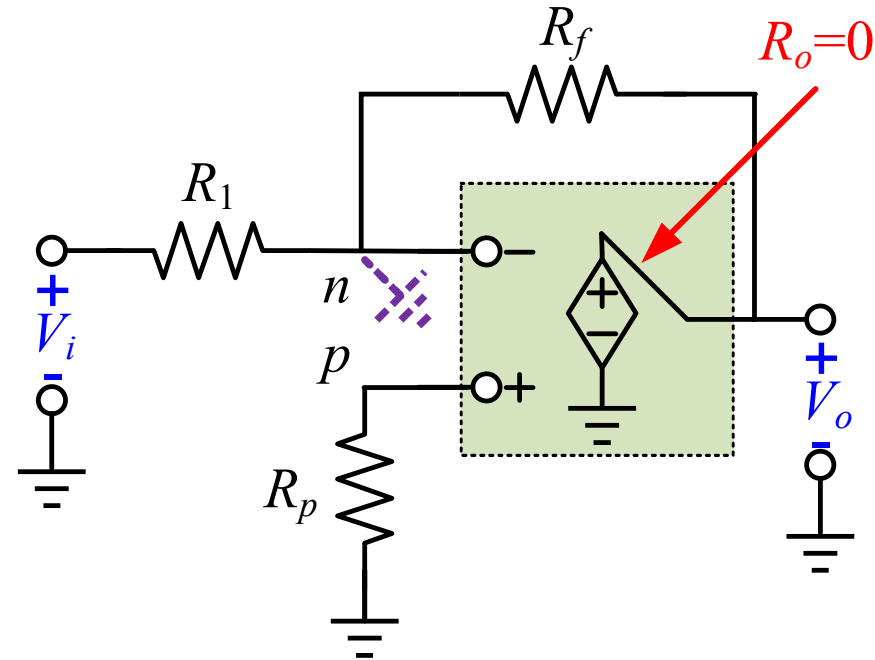
$$R_o = 0$$

- 开环输出电阻

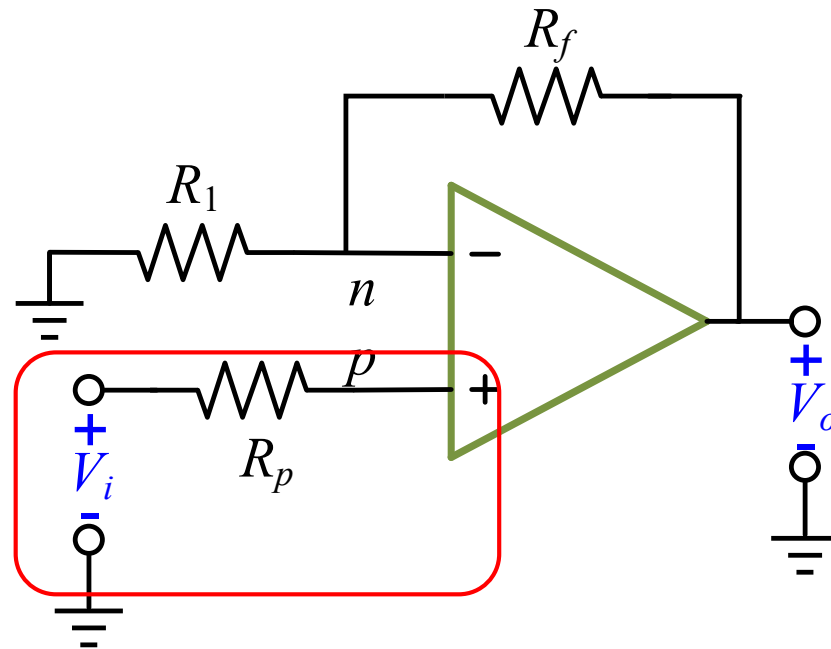
- 反相放大器输出电阻

$$R_{of} = R_o \parallel R_f = 0$$

- 闭环输出电阻



同相放大器



输入信号加在运放同相输入端

同相放大器反馈类型

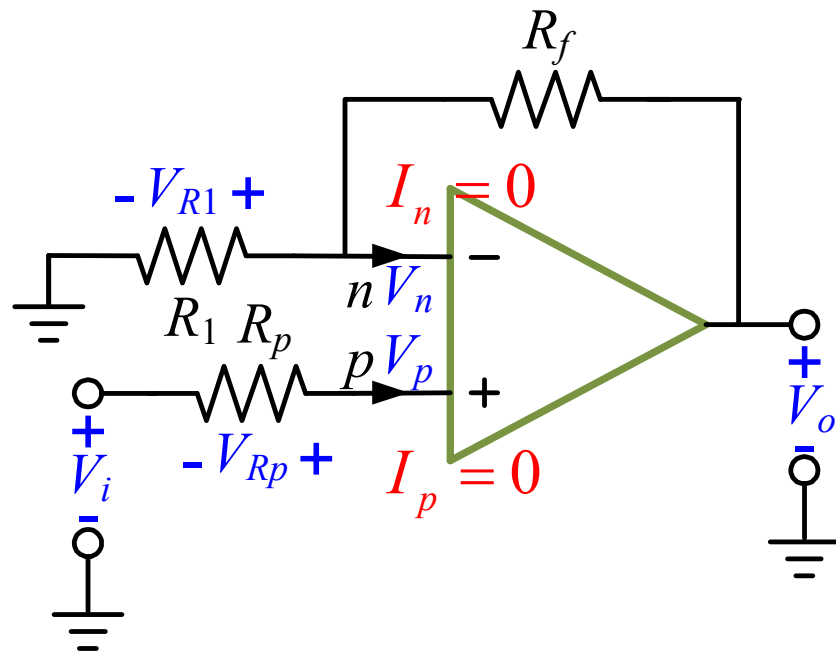
$$I_p = 0, \quad V_{R_p} = 0, \quad V_p = V_i$$

$$I_n = 0$$

$$V_n = V_{R_1} = \frac{R_1}{R_1 + R_f} V_o = \beta V_o$$

- 理想运放输入

$$V_p - V_n = V_i - \beta V_o$$



电压串联反馈

同相放大器反馈类型

$$I_p = 0, \quad V_{R_p} = 0, \quad \boxed{V_p = V_i}$$

$$I_n = 0$$

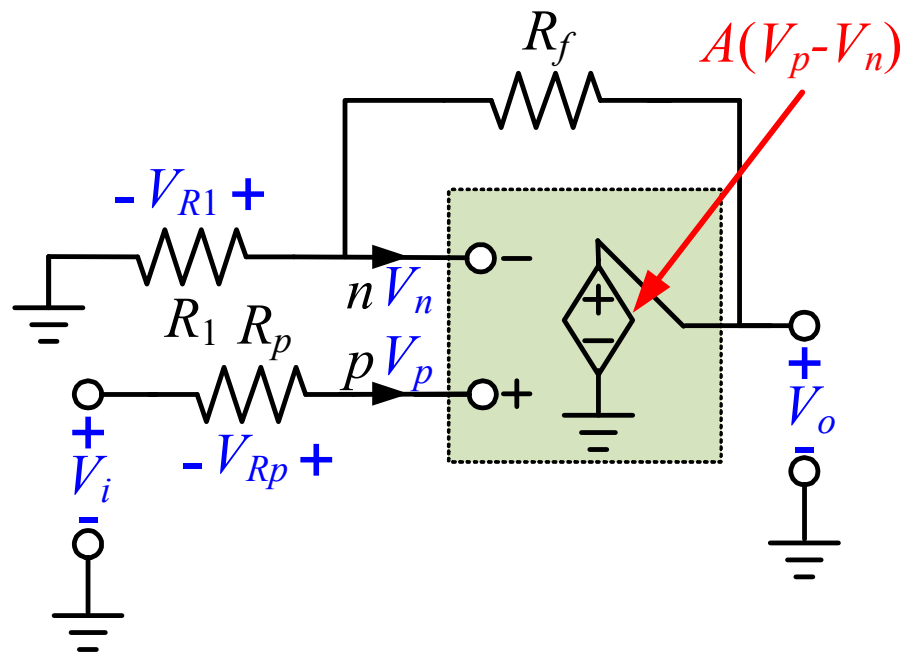
$$V_n = V_{R_1} = \frac{R_1}{R_1 + R_f} V_o = \beta V_o$$

- 理想运放输入

$$V_p - V_n = V_i - \beta V_o$$

与 V_i 同相

$$V_p - V_n = V_i - \beta V_o < V_i$$



电压串联负反馈

同相放大器增益

$$V_p = V_i \quad V_n = \beta V_o$$

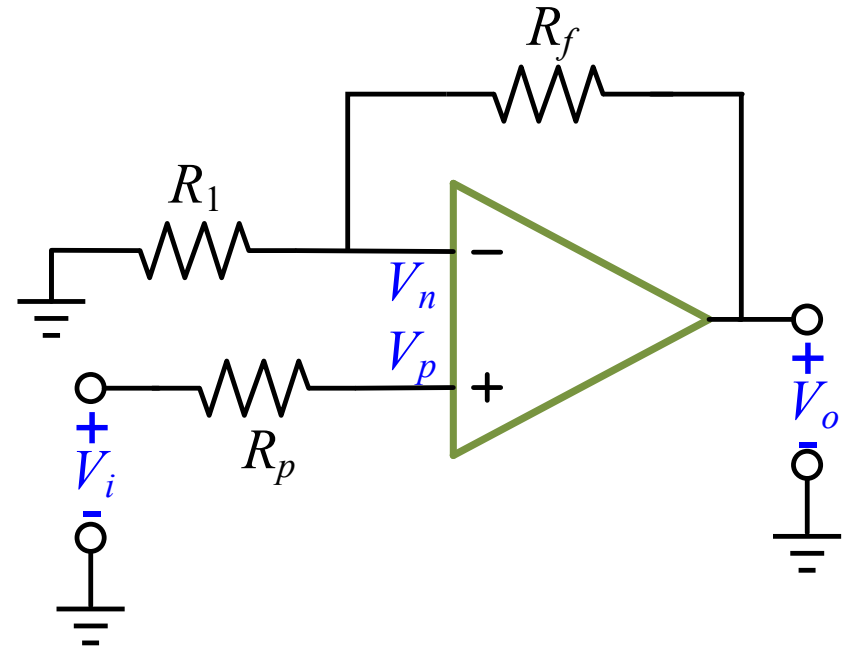
- 根据理想运放的“虚短”特性

$$V_p = V_n$$

- 增益

$$V_i = \beta V_o$$

$$A_f = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{\beta} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$



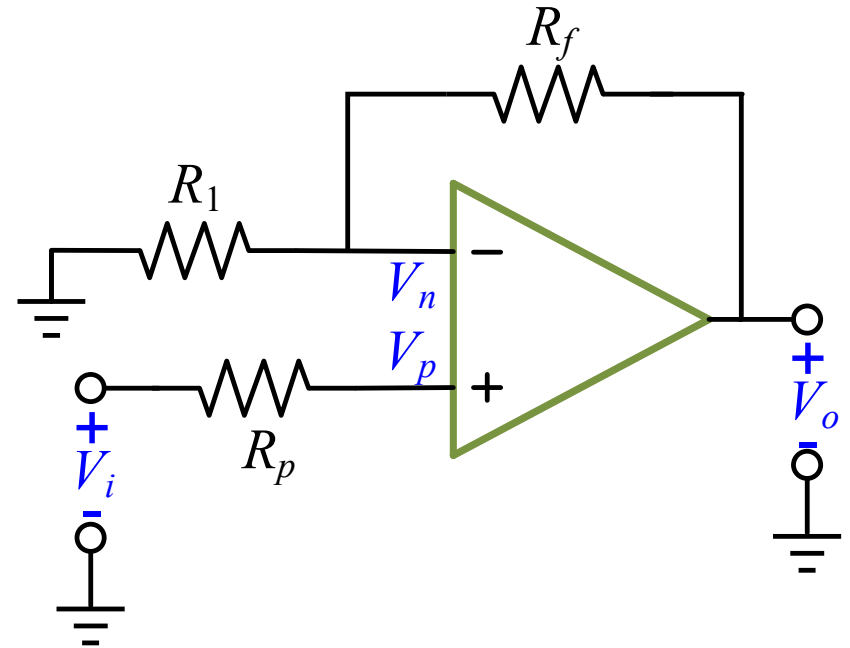
输入电阻与输出电阻

- 输入电阻

$$R_i = \infty, \quad R_{if} = \infty$$

- 输出电阻

$$R_o = 0, \quad R_{of} = 0$$



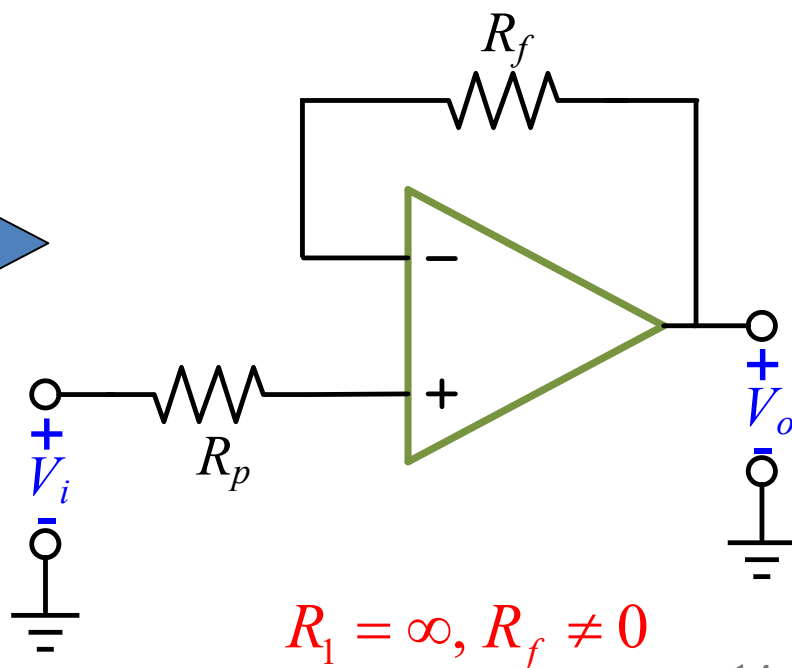
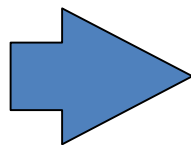
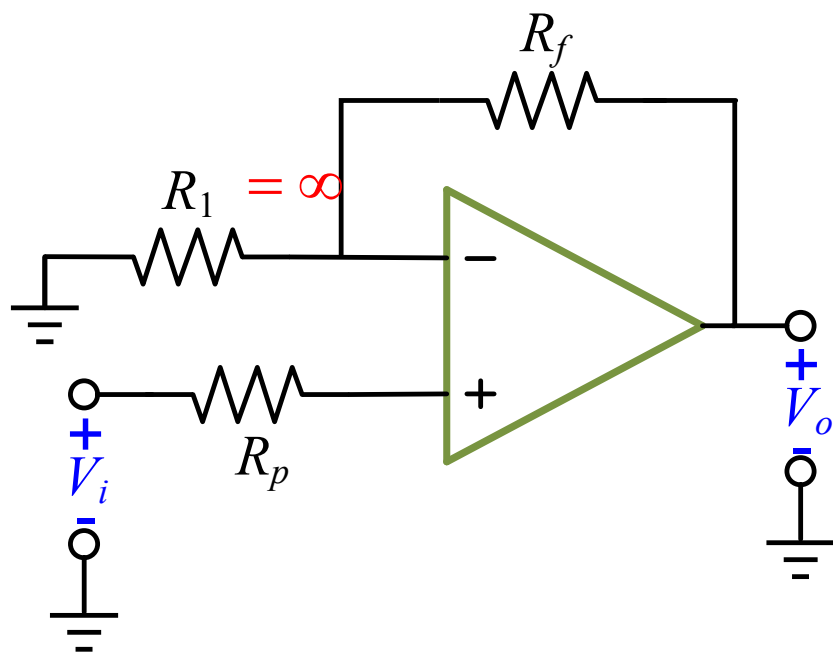
电压跟随器

- 同相放大器的特例

$$A_f = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 1$$

– 常用作缓冲器

$$R_{if} = \infty, \quad R_{of} = 0$$



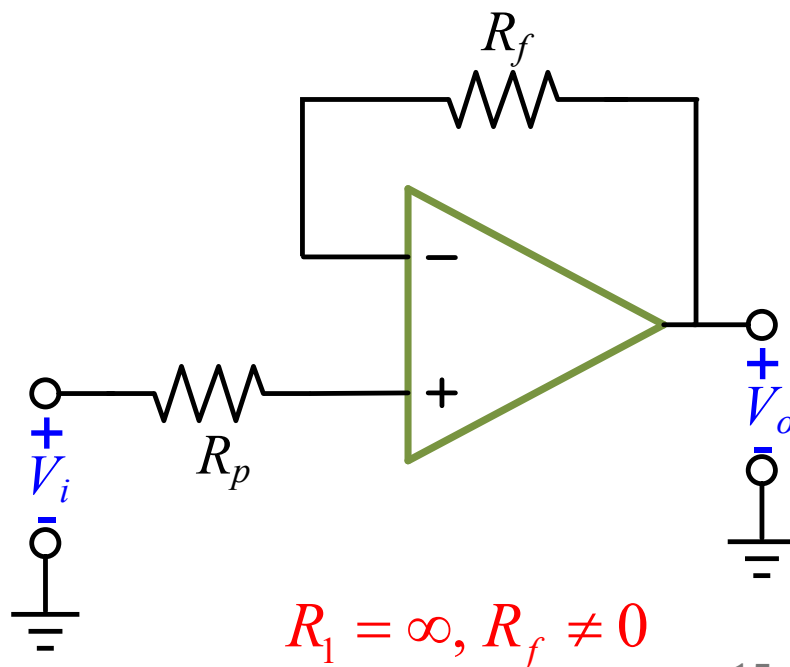
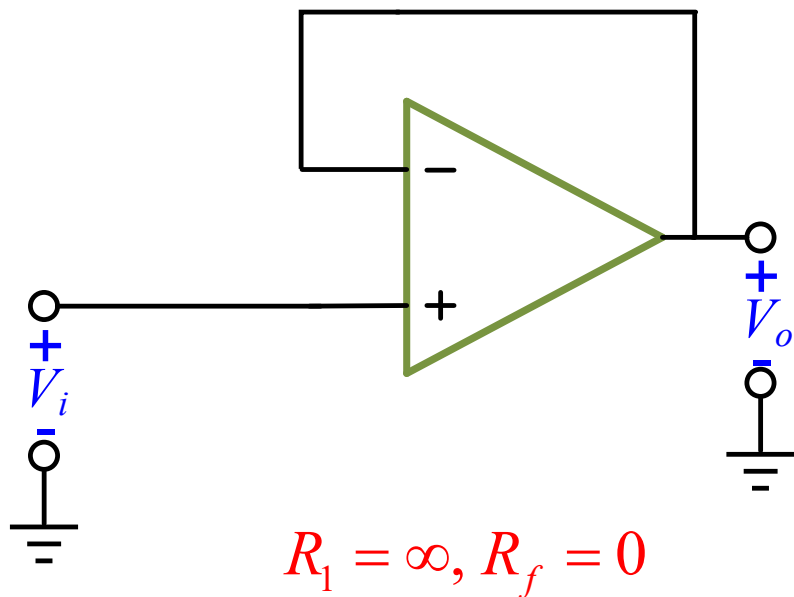
电压跟随器

- 同相放大器的特例

$$A_f = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 1$$

- 常用作缓冲器

$$R_{if} = \infty, \quad R_{of} = 0$$



小结

- 反相放大器属于电压并联负反馈
- 同相放大器属于电压串联负反馈
- 闭环增益都只和反馈网络有关，可以用2个电阻精确确定