

## 5.4 深度负反馈放大电路放大倍数的分析

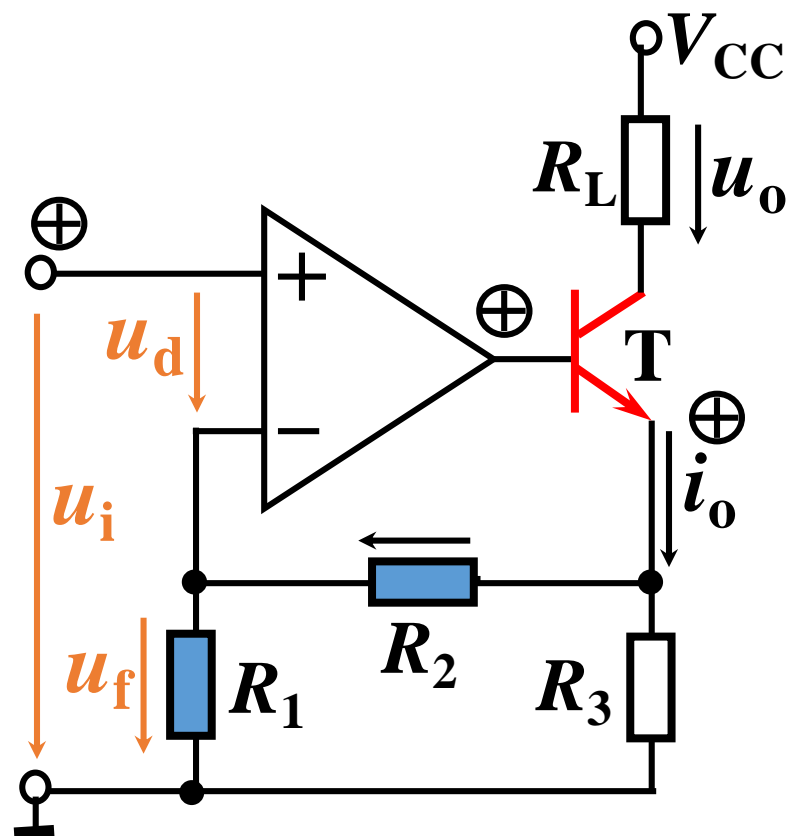
例:求图示电路的 $A_{uf}$

该电路为**电流串联负反馈** ,  
 **$R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$** 组成反馈网络

$$I_{R1} = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} i_o$$

$$u_f = R_1 I_{R1} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} i_o$$

反馈系数为:  $F = \frac{u_f}{i_o} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$



在深度负反馈的情况下，闭环电压放大倍数为：

$$A_{uf} = (1/F)R_L = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1 R_3} R_L$$

## 5.4 深度负反馈放大电路放大倍数的分析

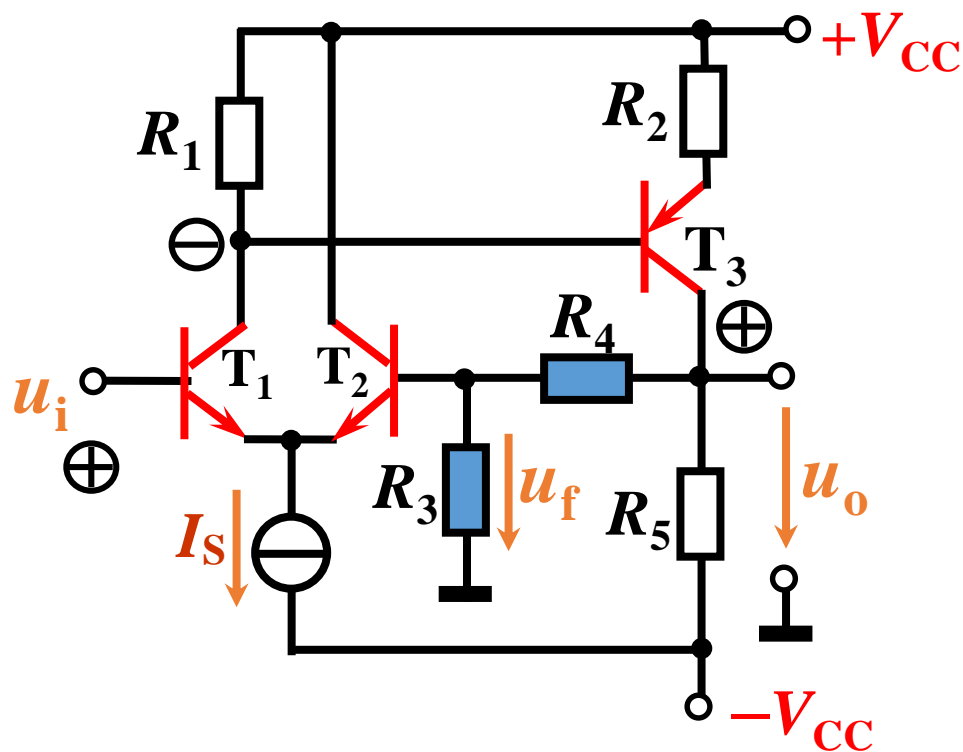
例:求图示电路的 $A_{uf}$

该电路为**电压串联负反馈**，  
 $R_3$ 、 $R_4$ 组成反馈网络

$$F = \frac{u_f}{u_o} = \frac{R_3}{R_3 + R_4}$$

在深度负反馈的情况下，  
闭环电压放大倍数为：

$$A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} \approx \frac{1}{F} = 1 + \frac{R_4}{R_3}$$



## 5.4 深度负反馈放大电路放大倍数的分析

例:求图示电路的 $A_{uf}$

该电路为**电压串联负反馈**

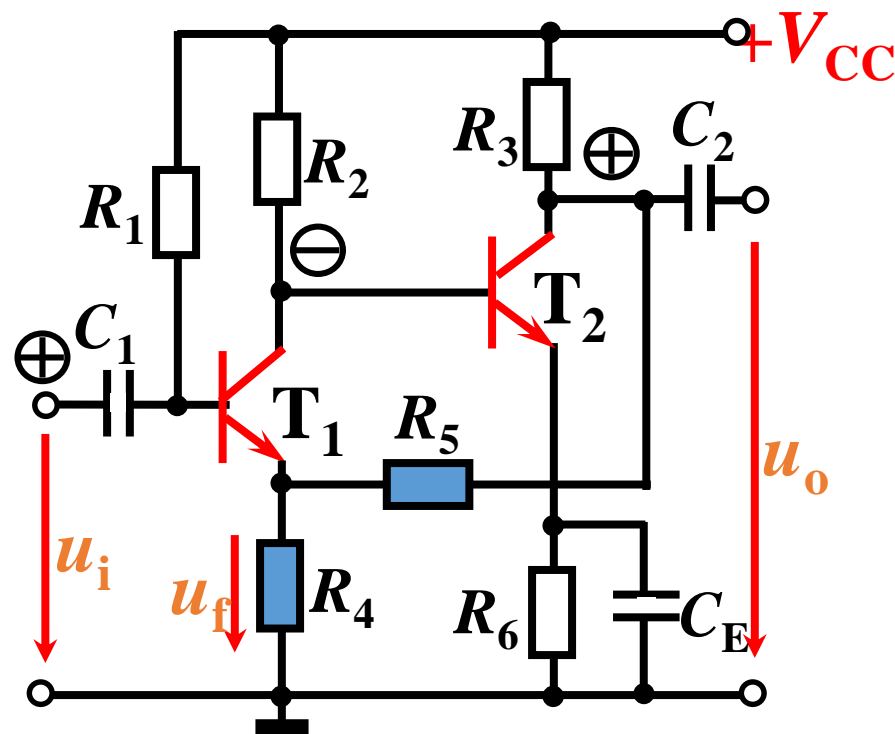
$R_4$ 、 $R_5$ 组成反馈网络

反馈系数为：

$$F = \frac{u_f}{u_o} = \frac{R_4}{R_4 + R_5}$$

在深度负反馈的情况下，  
闭环电压放大倍数为：

$$A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} \approx \frac{1}{F} = 1 + \frac{R_5}{R_4}$$



## 5.4 深度负反馈放大电路放大倍数的分析

例:求图示电路的 $A_{uf}$

该电路为**电流并联负反馈**，

反馈系数为：

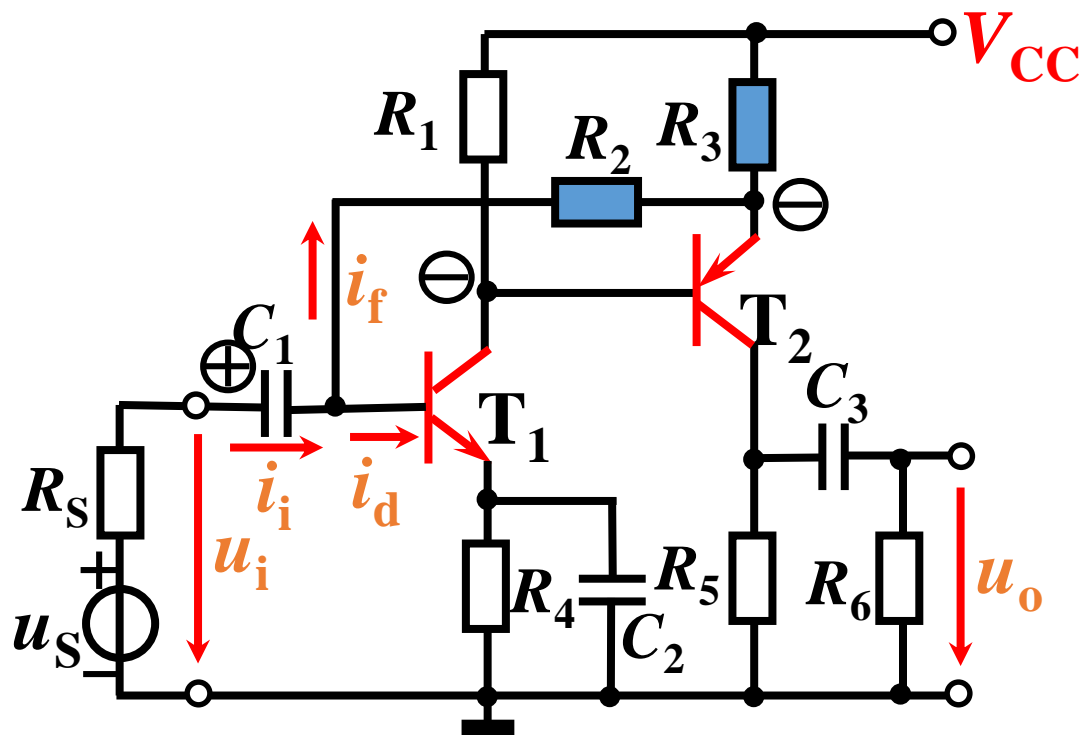
$$F = \frac{i_f}{i_o} \approx \frac{R_3}{R_2 + R_3}$$

在深度负反馈的情况下，  
闭环电流放大倍数为：

$$A_{if} = \frac{i_o}{i_i} \approx \frac{i_o}{i_f} = \frac{1}{F} = 1 + \frac{R_2}{R_3}$$

闭环电压放大倍数为：

$$A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} \approx \frac{1}{F} \frac{R'_L}{R_S} = \left( 1 + \frac{R_2}{R_3} \right) \frac{R_5 // R_6}{R_S}$$



# 作业

## 5.9 (e) (f)

## 5.14

# 第6章 信号运算和处理电路

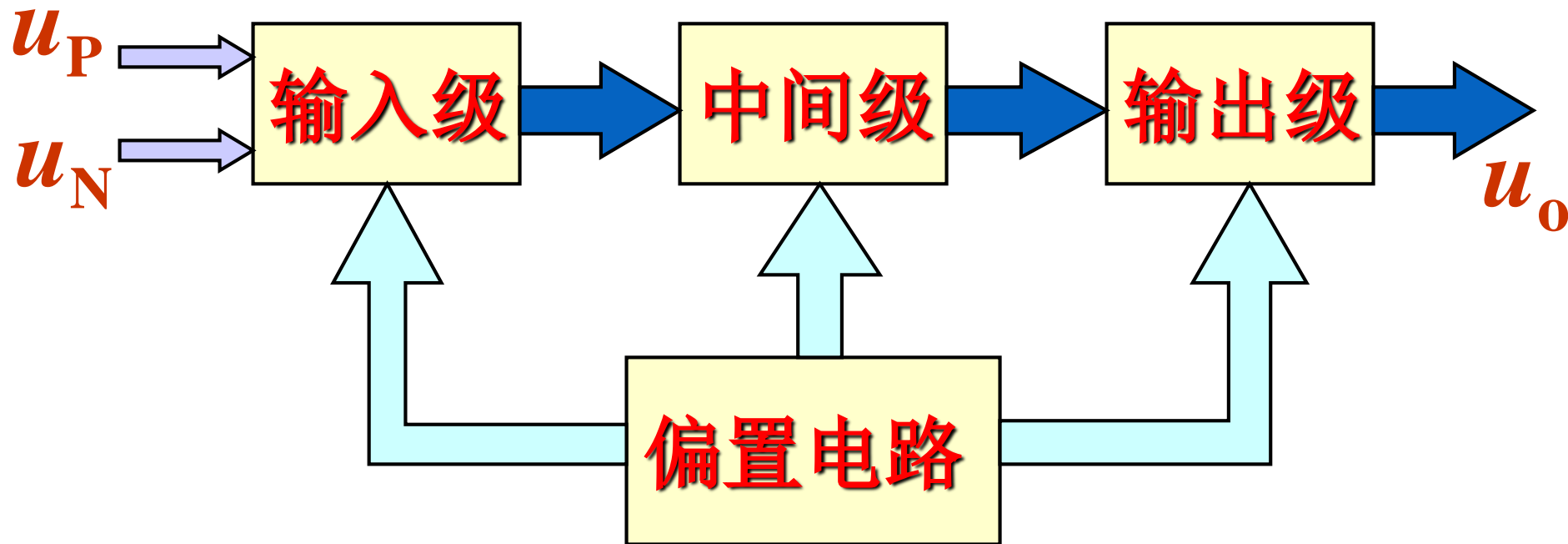
## 6.1 基本运算电路

## 6.2 模拟乘法器及其在运算电路中的应用

## 6.3 有源滤波电路

## 6.1.2 比例运算电路

集成运放



## 6.1.2 比例运算电路

### 理想运放

$$u_o = f(u_i),$$

$$\text{其中 } u_i = u_P - u_N$$

$$A_{od} = \infty;$$

$$r_i = \infty;$$

$$r_o = 0;$$

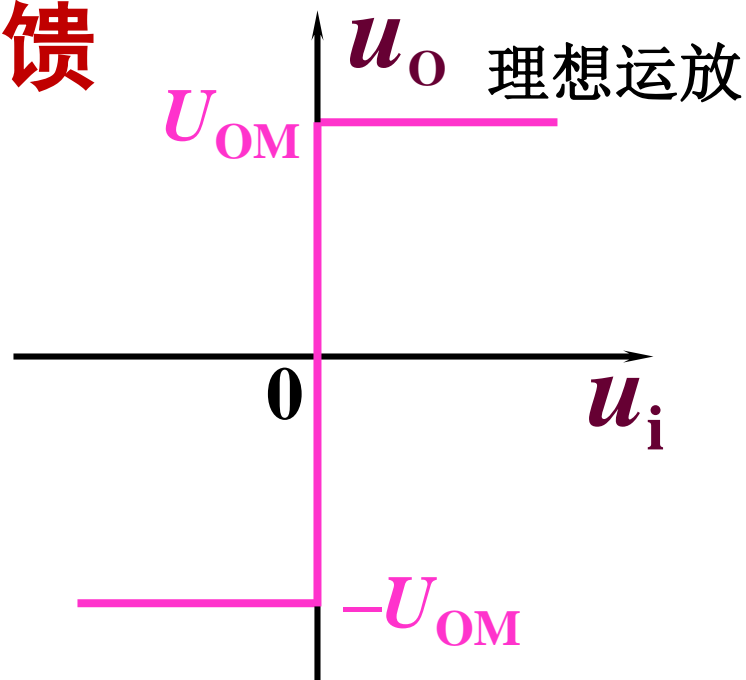
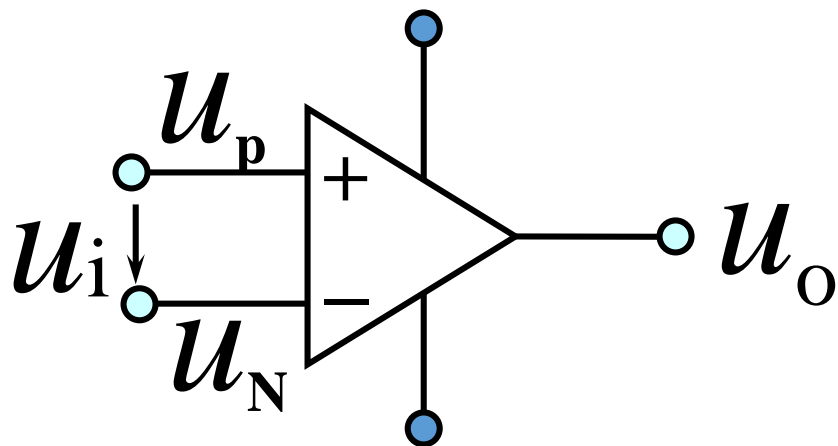
$$K_{CMR} = \infty;$$

引入深度负反馈

线性区  $u_P = u_N$  虚短

$i_P = 0, i_N = 0$  虚断

非线性区  $i_P = 0, i_N = 0$  虚断





## 6.1.2 比例运算电路

### 一. 反相比例运算电路

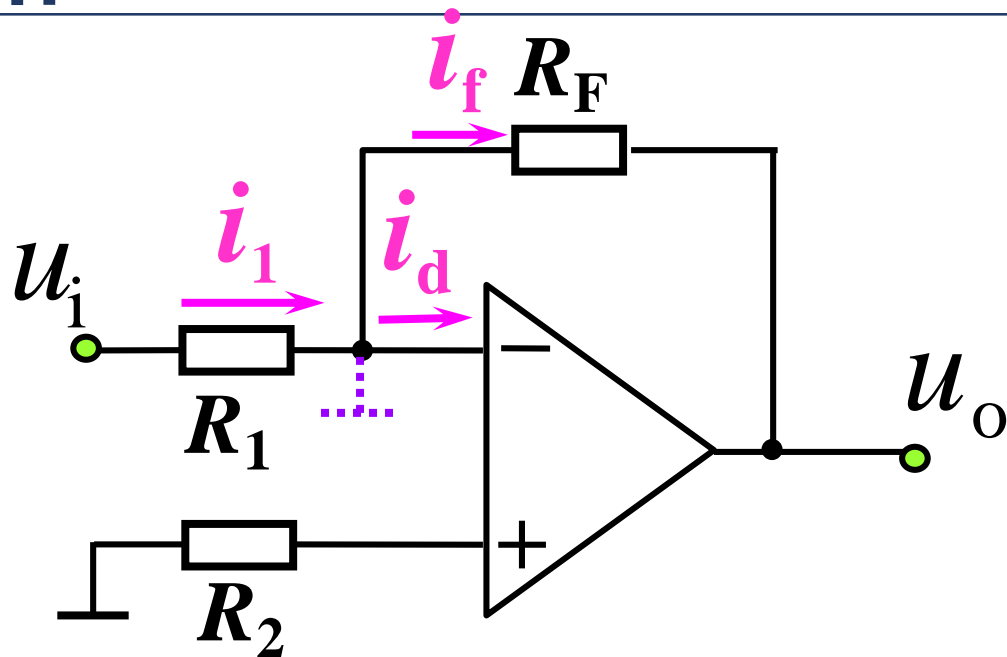
$R_F$ 引入电压并联负反馈

虚断  $i_P = 0$   $i_N = 0$

→  $u_P = 0$

虚短  $u_P = u_N = 0$

$$\frac{u_i - u_N}{R} = \frac{u_N - u_O}{R_F}$$



$$u_O = -\frac{R_F}{R_1} u_i$$

$$A_{uf} = -\frac{R_F}{R_1}$$

## 6.1.2 比例运算电路

### 一. 反相比例运算电路

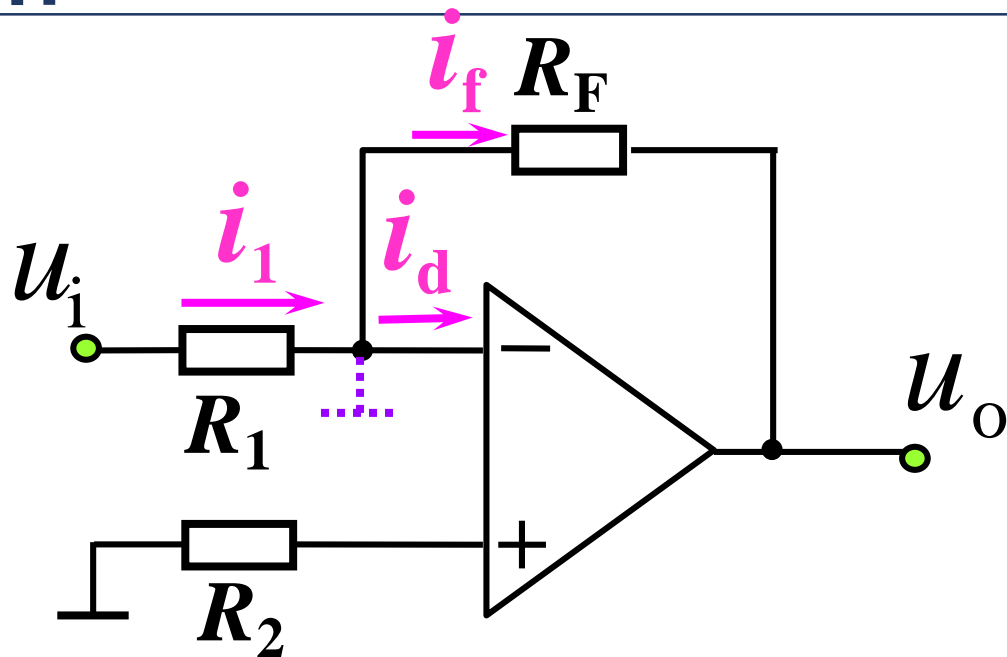
$R_F$ 引入电压并联负反馈

$$u_o = -\frac{R_F}{R_1} u_i$$

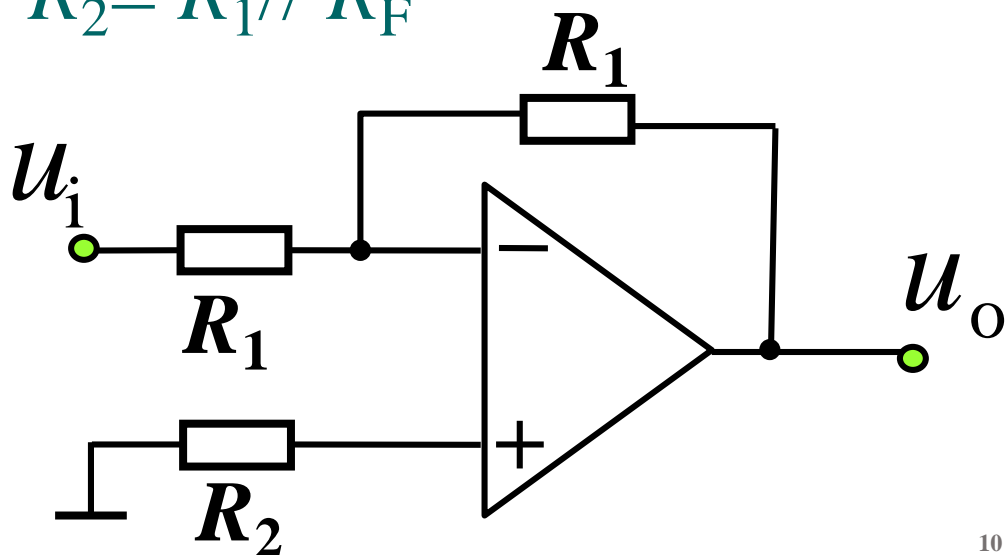
$$R_i = R_1$$

$$R_o = 0$$

若 $R_F = R_1$ ，则 $u_o = -u_i$   
反相器



$$R_2 = R_1 // R_F$$



## 6.1.2 比例运算电路

$$u_o = -\frac{R_F}{R_1} u_i$$

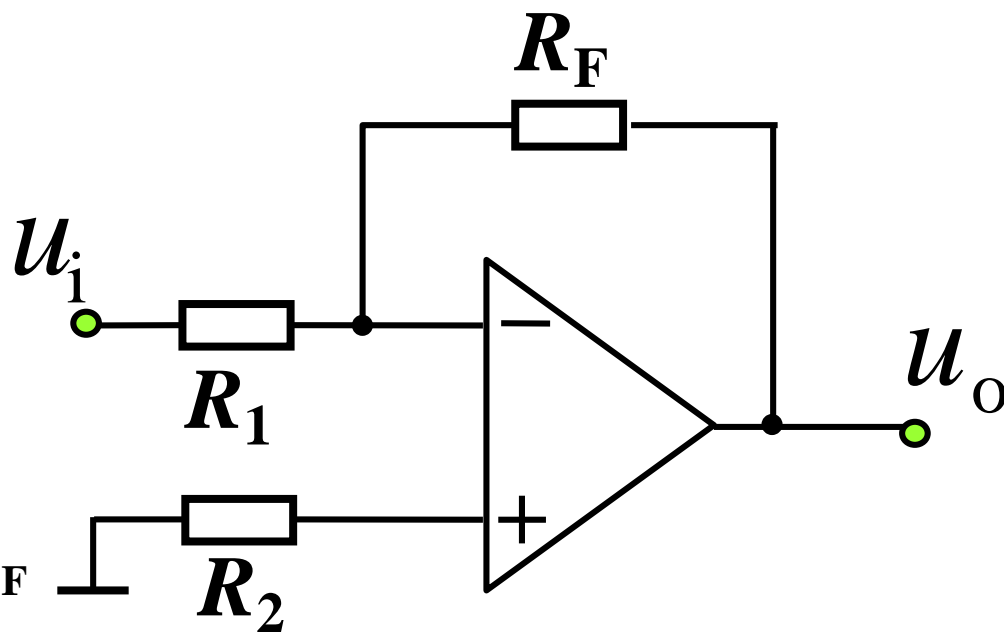
①  $A_{uf}$  为负值，即  $u_o$  与  $u_i$  极性相反。因为  $u_i$  加在反相输入端

②  $A_{uf}$  只与外部电阻  $R_1$ 、 $R_F$  有关，与运放本身参数无关

③  $|A_{uf}|$  可大于 1，也可等于 1 或小于 1

④  $u_N = u_P = 0$ ，反相输入端“虚地”

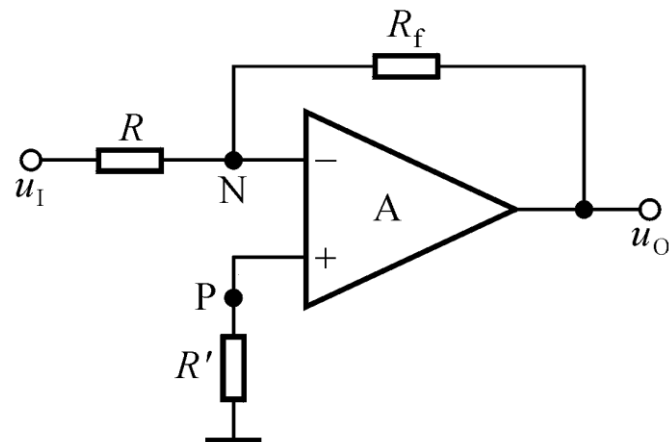
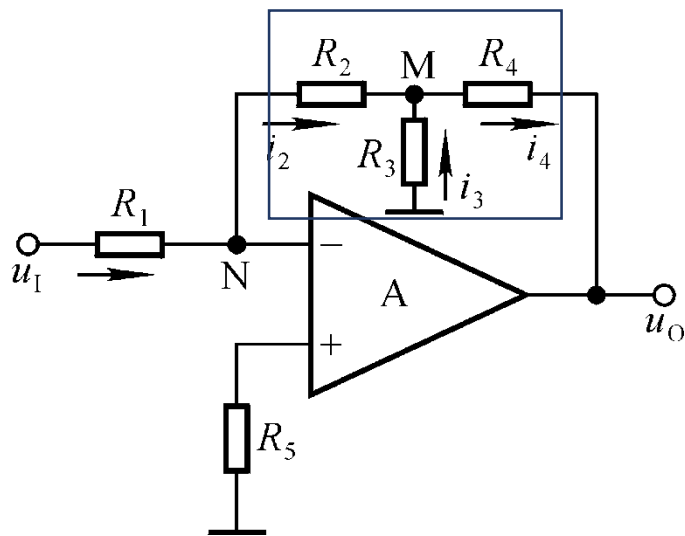
⑤ 电压并联负反馈，输入、输出电阻低， $R_i = R_1$



## 6.1.2 比例运算电路

### 反相输入运算电路—引入T形反馈网络

- 电路形式： $R_2$ 、 $R_3$ 和 $R_4$ 构成T形网络



## 6.1.2 比例运算电路

分析

$$i_N = 0, i_P = 0 \quad u_N = u_P = 0$$

N点KCL

$$\frac{u_I - u_N}{R_1} = \frac{u_N - u_M}{R_2}$$

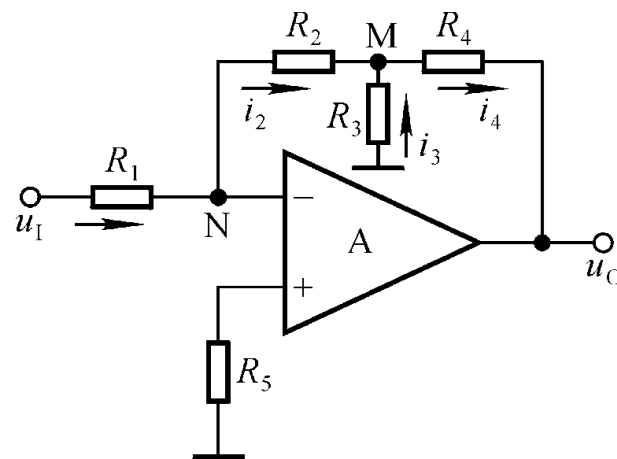
$$u_M = -\frac{R_2}{R_1} u_I$$

M点KCL

$$\frac{u_N - u_M}{R_2} + \frac{0 - u_M}{R_3} = \frac{u_M - u_O}{R_4}$$

$$u_O = R_4 \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) u_M$$

$$u_O = -\frac{R_2 R_4}{R_1} \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) u_I = -\frac{R_2 + R_4}{R_1} \left( 1 + \frac{1}{R_3} \cdot \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} \right) u_I$$



## 6.1.2 比例运算电路

- 电路实例：要求放大 $A_u = -50$ ， $R_i = 100\text{k}\Omega$ 。  
反相放大：

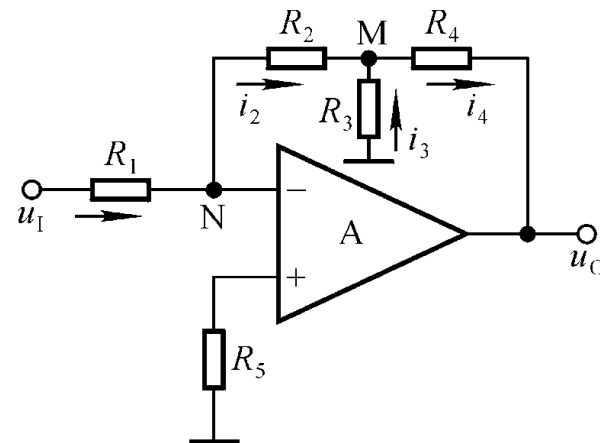
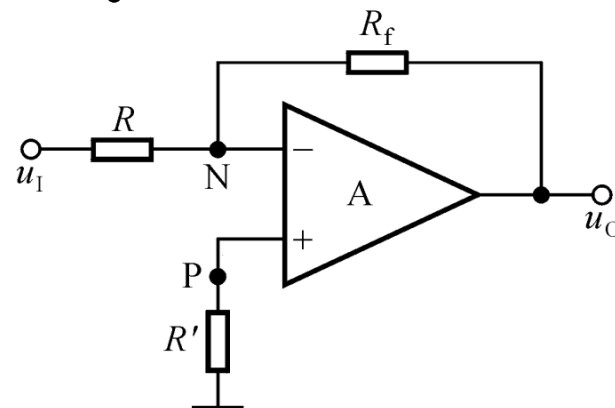
$$R_i = R = 100\text{k}\Omega$$

$$R_f = 50 \times 100\text{k}\Omega$$

T型反相放大：

$$R_1 = R_2 = R_4 = 100\text{k}\Omega$$

$$R_3 = 2.08\text{k}\Omega$$



## 6.1.2 比例运算电路

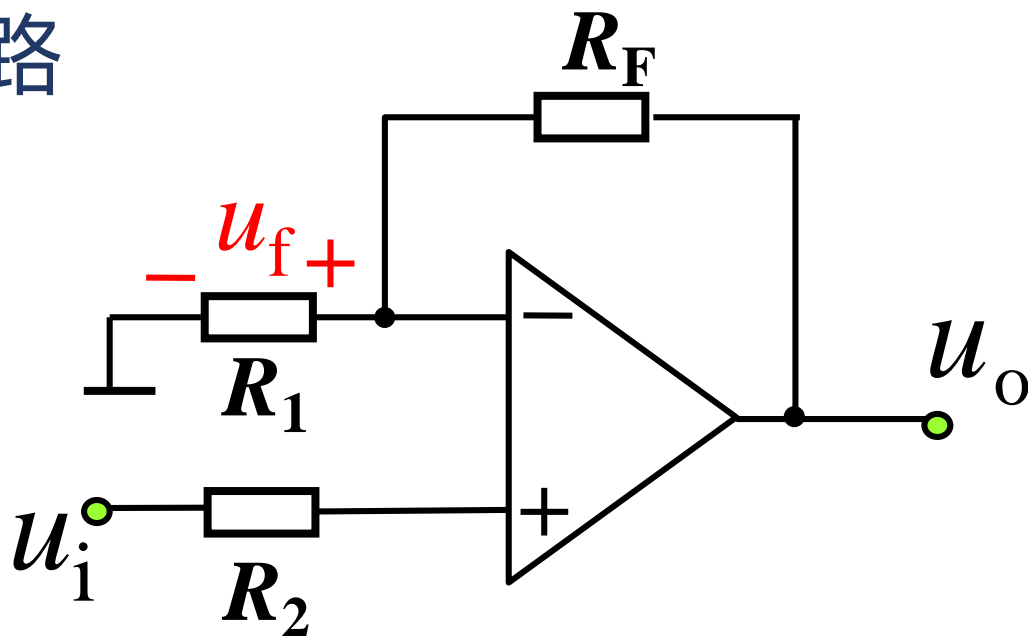
### 二. 同相比例运算电路

$R_F$ 引入电压串联负反馈

虚断  $i_P = 0$   $i_N = 0$

$$u_P = u_i$$

$$u_f = \frac{R_1}{R_1 + R_F} u_o$$



$$R_2 = R_1 // R_F$$

虚短  $u_P = u_N = u_f$

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

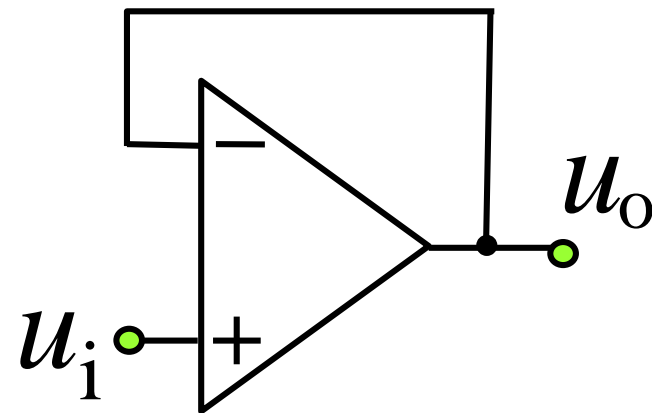
## 6.1.2 比例运算电路

### 电压跟随器

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

当  $R_1 = \infty$  或  $R_F = 0$  时,

$$u_o = u_i, \quad A_{uf} = 1$$



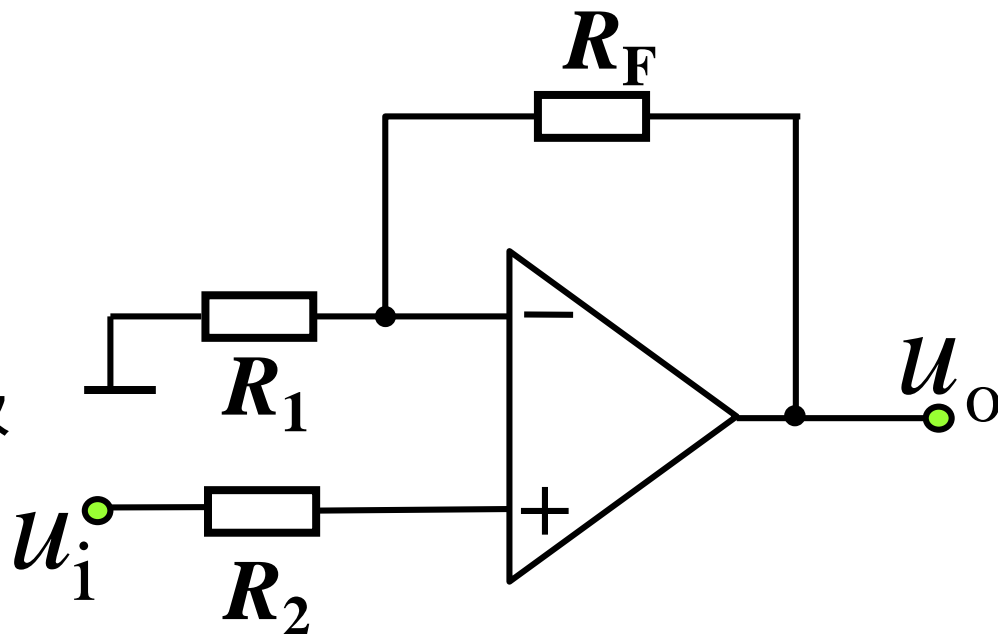
由运放构成的电压跟随器  
输入电阻高  
输出电阻低  
跟随性能比射极输出器更好



## 6.1.2 比例运算电路

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

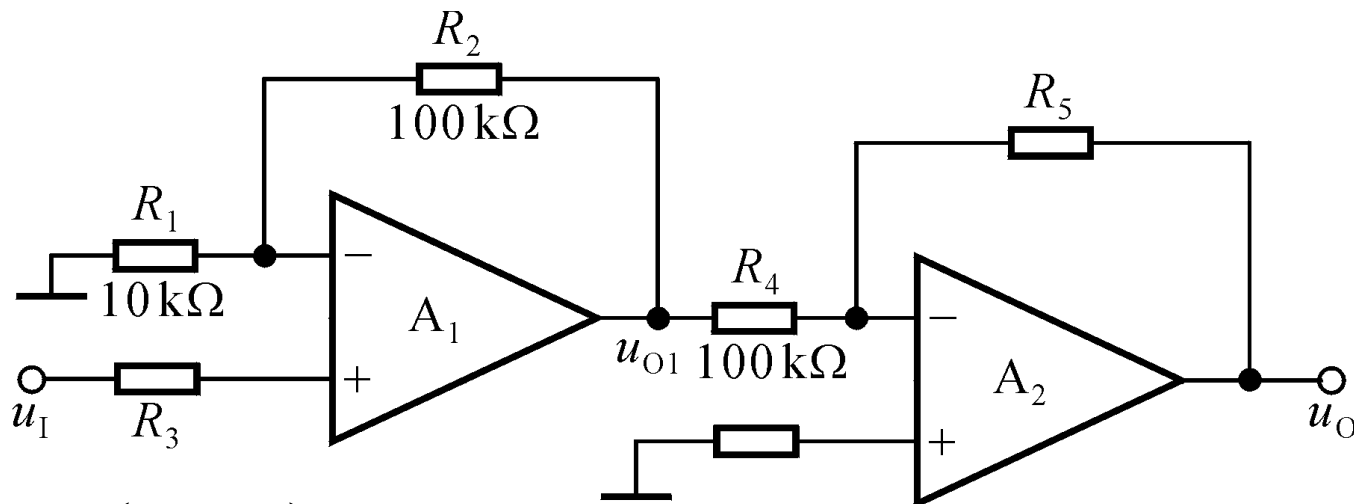
①  $A_{uf}$  为正值，即  $u_o$  与  $u_i$  极性相同。因为  $u_i$  加在同相输入端。



- ②  $A_{uf}$  只与外部电阻  $R_1$ 、 $R_F$  有关，与运放本身参数无关。
- ③  $A_{uf} \geq 1$ ，不能小于 1。
- ④  $u_N = u_P \neq 0$ ，反相输入端不存在“虚地”现象。
- ⑤ 电压串联负反馈，输入电阻高、输出电阻低，共模输入电压。

## 6.1.2 比例运算电路

例：电路如图所示， $u_o = -55u_I$ ，（1）求 $R_5$ 的值；（2）若 $u_I$ 与地接反，求输出电压与输入电压的关系



（1）

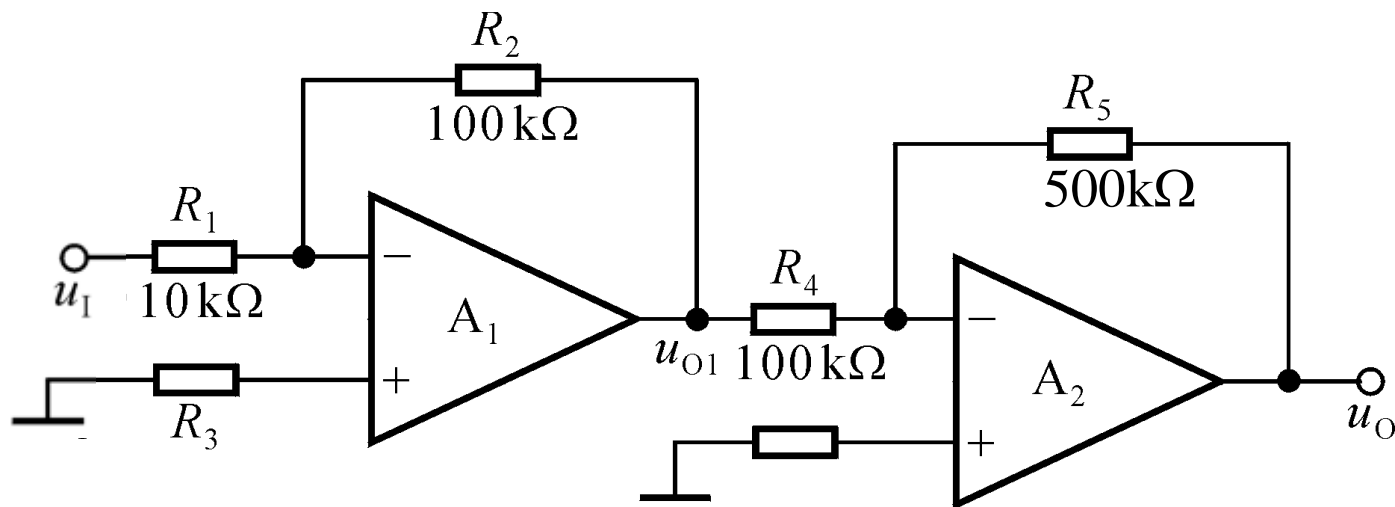
$$u_{O1} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) u_I = 11u_I$$

$$u_{O1} = -\frac{R_5}{R_4} u_{O1} = -\frac{R_5}{100\text{k}\Omega} \times 11u_I = -55u_I$$

$$R_5 = 500\text{k}\Omega$$

## 6.1.2 比例运算电路

例：电路如图所示， $u_o = -55u_I$ ，（1）求 $R_5$ 的值；（2）若 $u_I$ 与地接反，求输出电压与输入电压的关系



(2)

$$u_{O1} = -\frac{R_2}{R_1} u_I = -10u_I$$

$$u_{O1} = -\frac{R_5}{R_4} u_{O1} = -5 \times (-10)u_I = 50u_I$$