

## § 5-1 运算放大器的电路模型

多端元件、有源元件。

### 一、运算放大器的电路符号

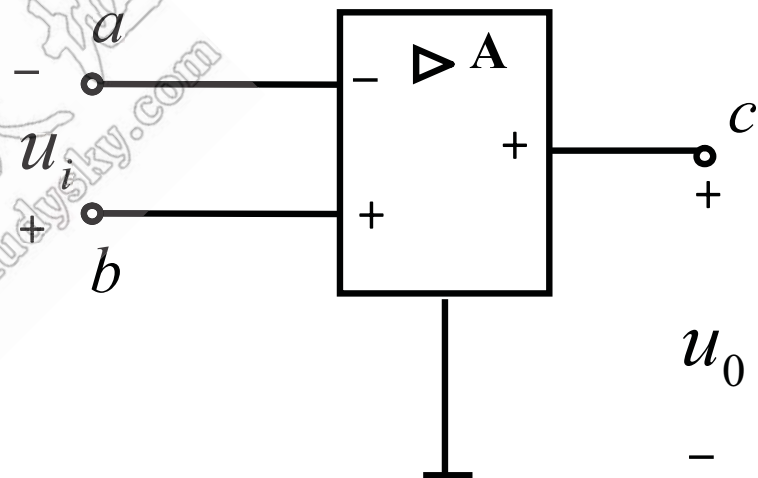
a、b为输入端，c为输出端

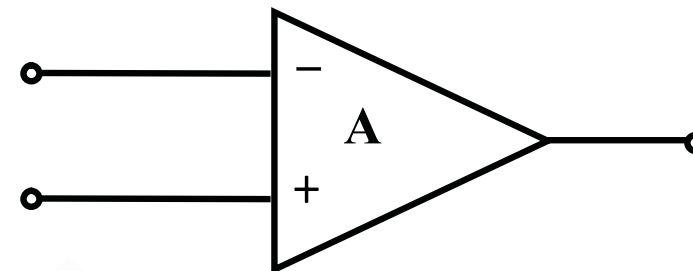
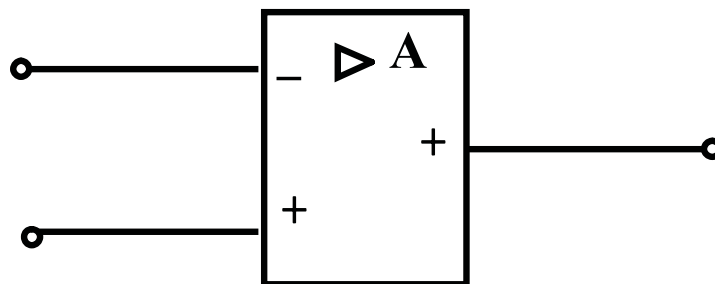
$$u_0 = Au_i = A(u_b - u_a)$$

$A$ —放大倍数

b端接地，则  $u_0 = -Au_a$       a为倒向输入端。

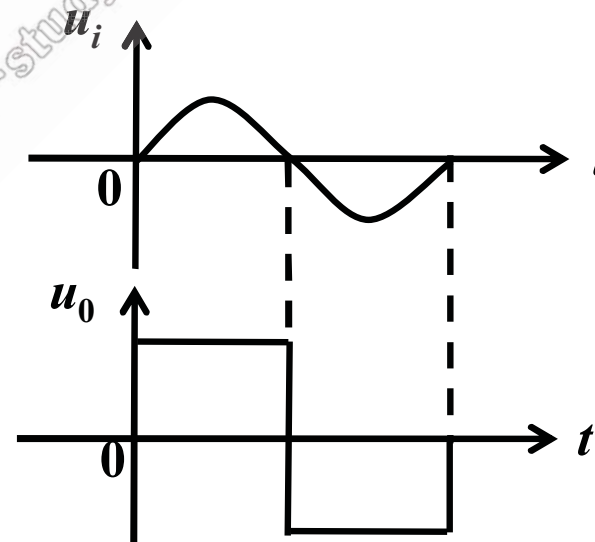
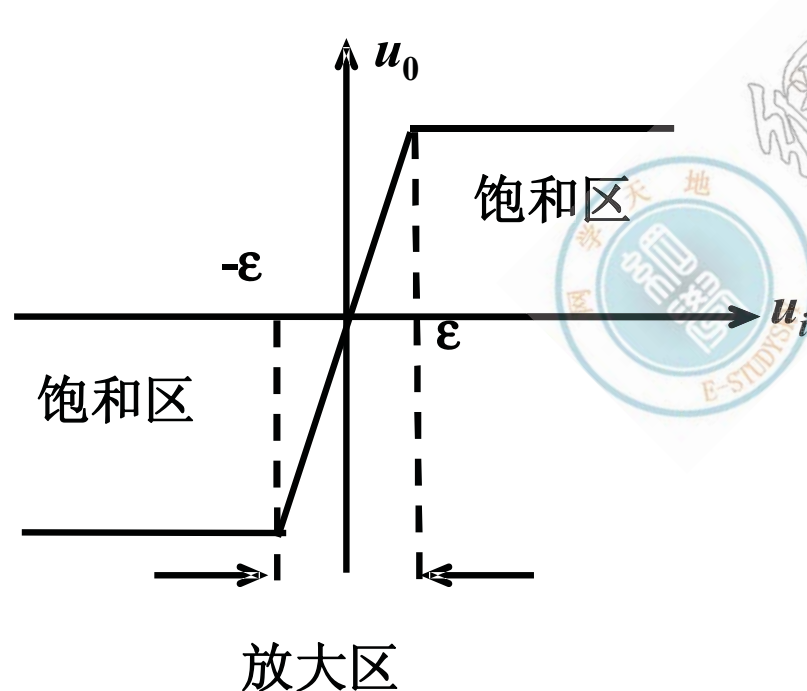
a端接地，则  $u_0 = Au_b$       b为非倒向输入端。





## 二、运放的特性

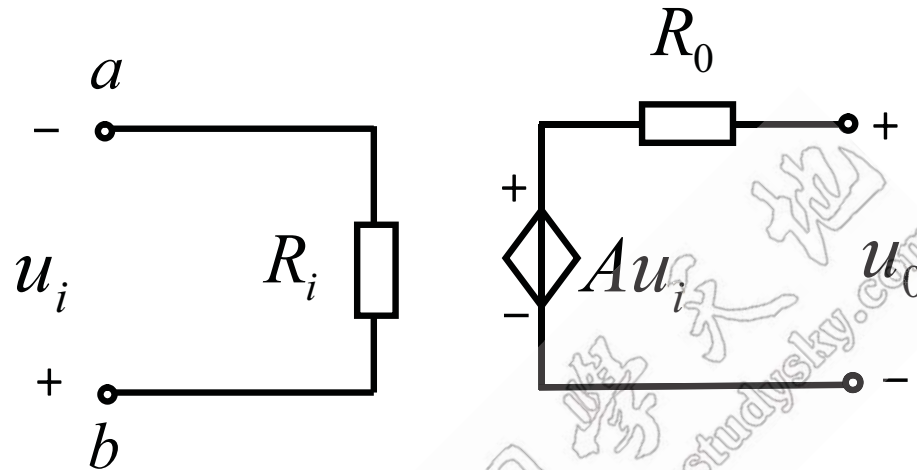
运放有两个工作区：放大区和饱和区。



利用运放的饱和特性作比较器



运放工作在放大区时：其等效的电路模型为



运放为单方向的差动放大器。

受控源为  $A(u_b - u_a) = Au_i$

$R_i$ ——输入电阻，很大

$R_o$ ——输出电阻，较小

当  $A = \infty$   $R_i = \infty$   $R_o = 0$  时，

称为理想运放。



“开环”应用、“闭环”应用。



## § 5-2 具有理想运放的电路分析

### 理想运放的特征：

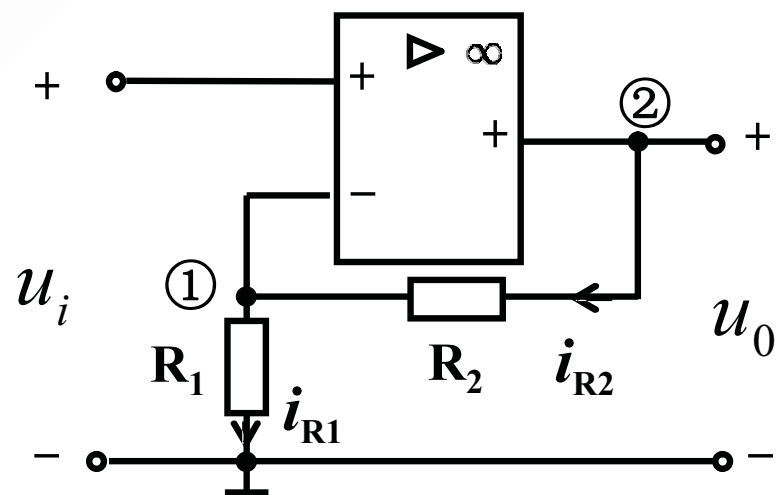
- ① 倒向端和非倒向端的输入电流均为零，称为“**虚断**”。
- ② 倒向端和非倒向端为等位点，称为“**虚短**”。

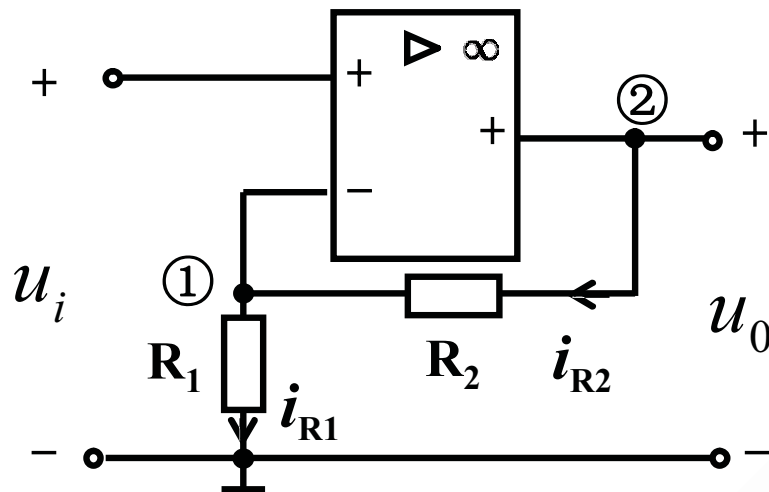
例5-1：求  $u_0$  与  $u_i$  之间的关系

解：  $u_0 = R_2 i_{R2} + R_1 i_{R1}$

结点①处  $i_{R2} = i_{R1}$

$$u_0 = (R_1 + R_2) i_{R1}$$





$$u_i = u_1 = R_1 i_{R1}$$

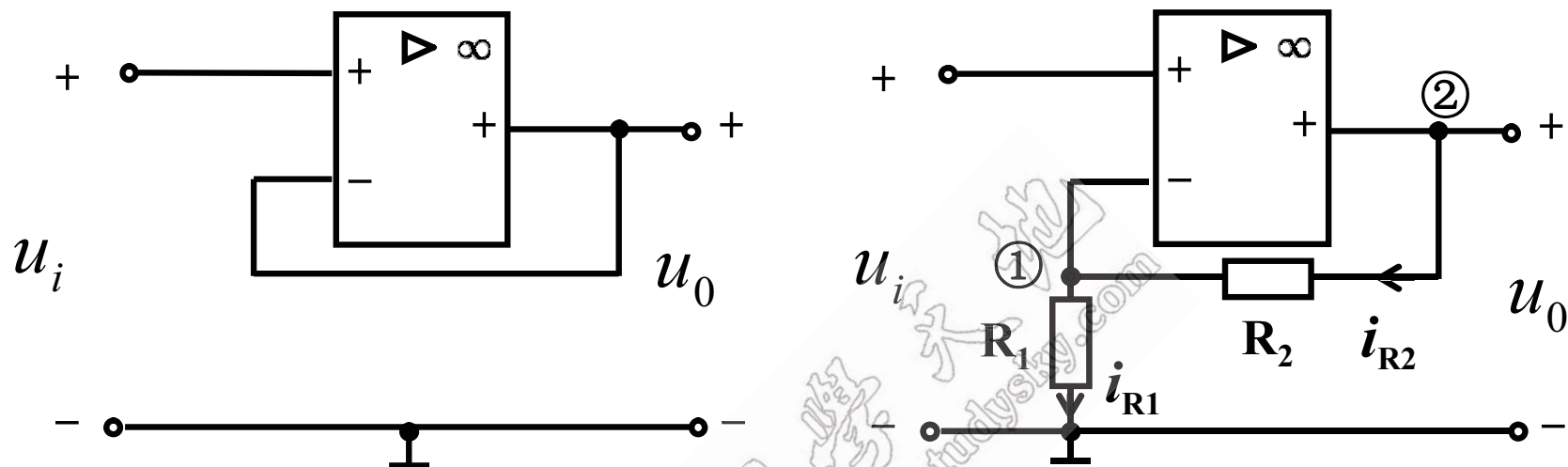
得  $i_{R1} = \frac{1}{R_1} u_i$

$$\therefore u_0 = \frac{R_1 + R_2}{R_1} u_i$$

$$\frac{R_1 + R_2}{R_1} \geq 1,$$

为非倒向放大器（又称比例器）。



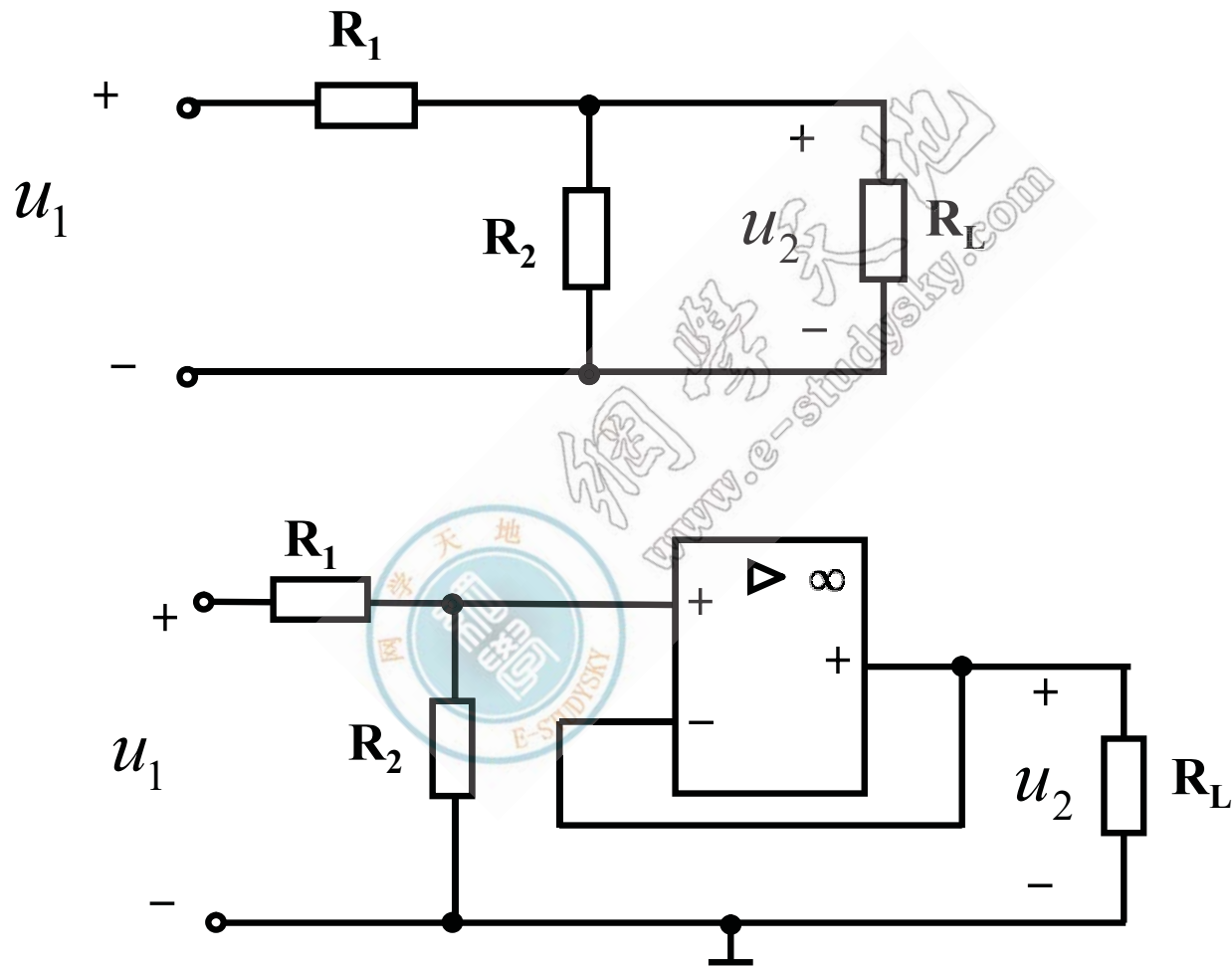


相当于右图中  $R_2 = 0$        $R_1 = \infty$

得  $u_0 = u_i$

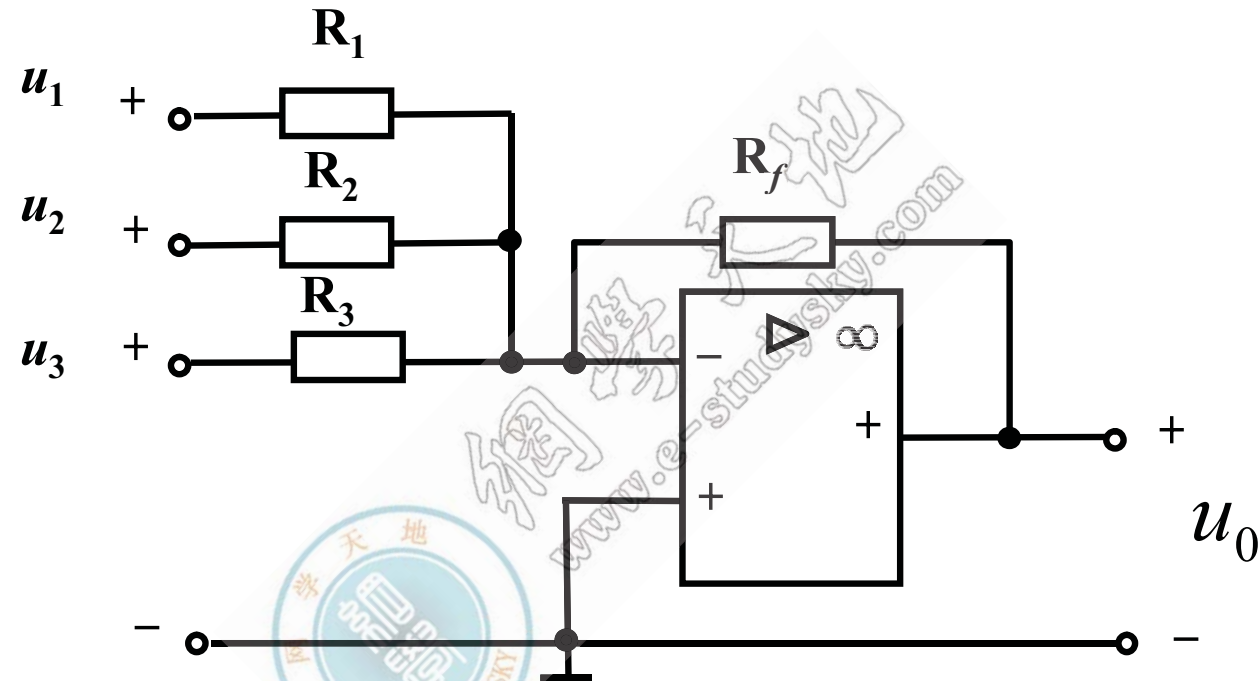
称电压跟随器。前后段的隔离作用。

比较下列两图：



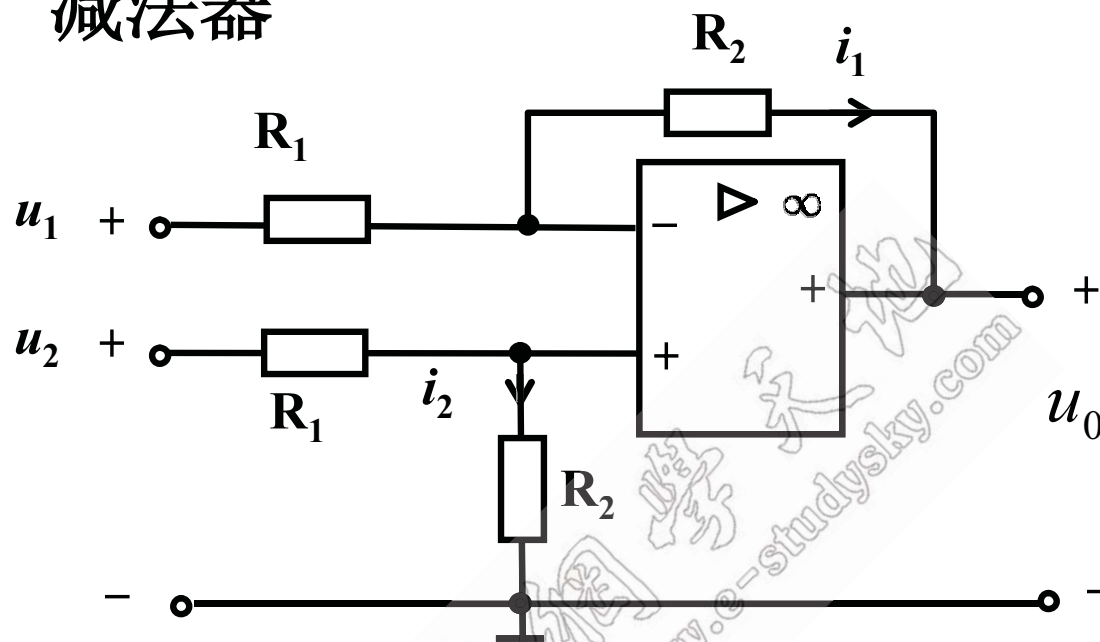


## 例5—2：加法器



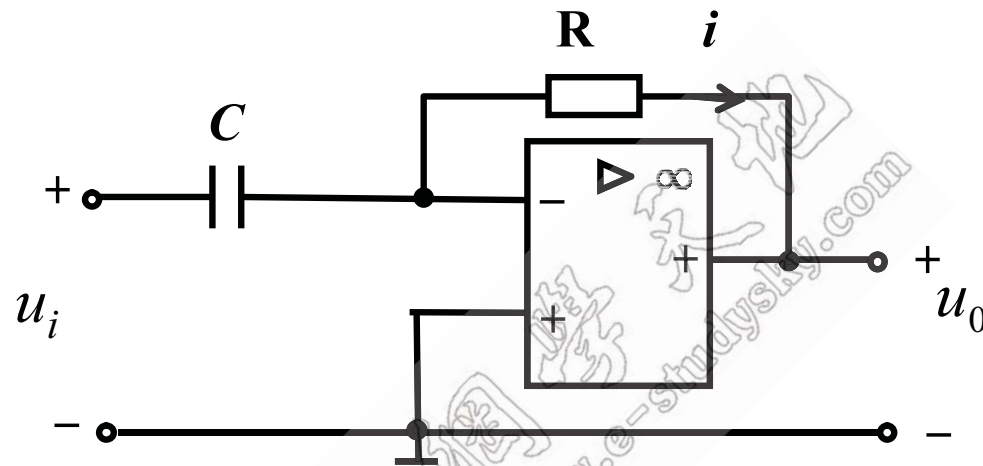
$$u_0 = - \left( \frac{R_f}{R_1} u_1 + \frac{R_f}{R_2} u_2 + \frac{R_f}{R_3} u_3 \right)$$

## 减法器



$$\begin{aligned}
 u_0 &= R_2(-i_1) + R_2(i_2) = -R_2\left(\frac{u_1 - u_-}{R_1}\right) + R_2\left(\frac{u_2 - u_+}{R_1}\right) \\
 &= \frac{R_2}{R_1}(-u_1 + u_- + u_2 - u_+) = \frac{R_2}{R_1}(u_2 - u_1)
 \end{aligned}$$

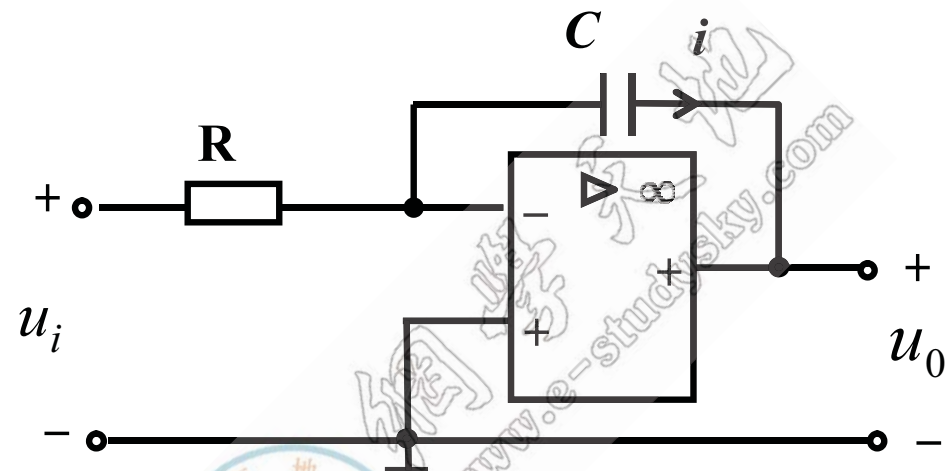
## 微分电路



$$u_0 = -Ri = -RC \frac{du_i}{dt}$$



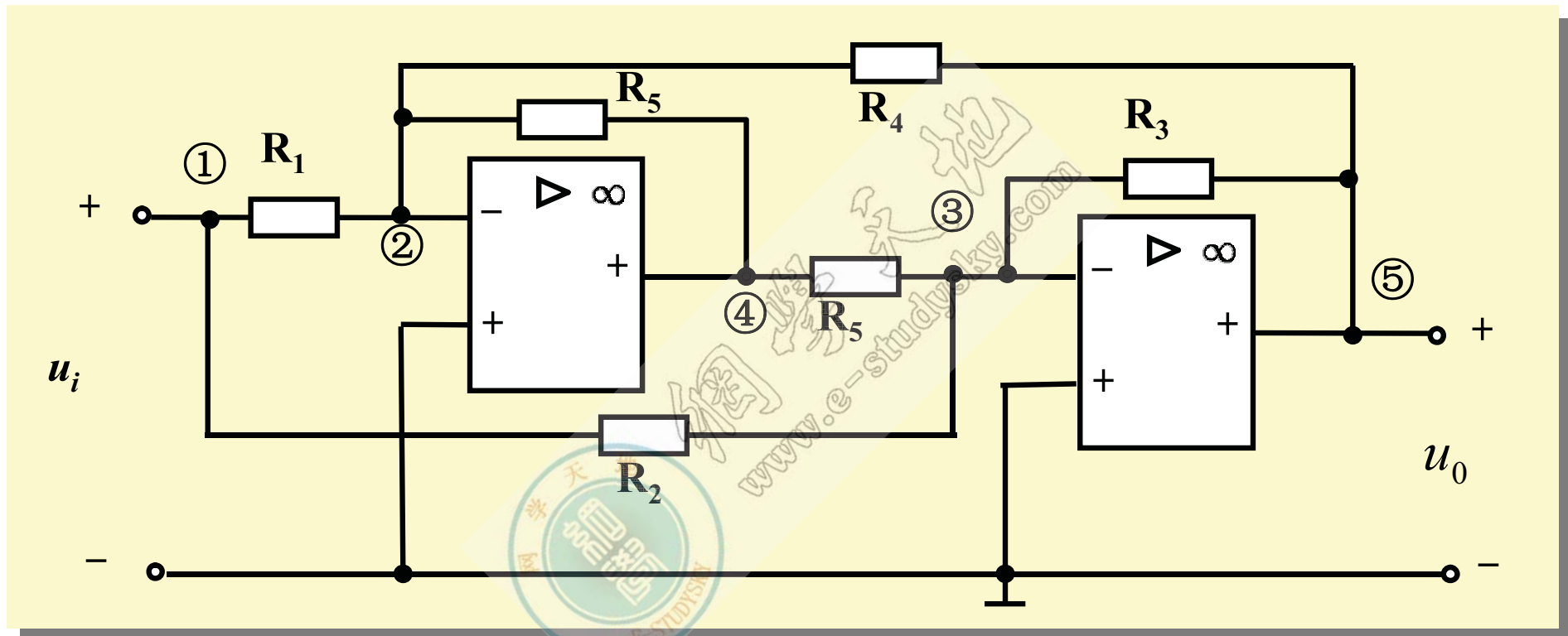
## 积分电路



$$u_0 = -\frac{1}{C} \int i dt = -\frac{1}{RC} \int u_i dt$$




# 例5—3：求 $\frac{u_0}{u_i}$



解：结点电压法。但运放的输出端不能列KCL方程。

结点①  $u_1 = u_i$



结点② 
$$\frac{u_2 - u_1}{R_1} + \frac{u_2 - u_4}{R_5} + \frac{u_2 - u_0}{R_4} = 0$$

结点③ 
$$\frac{u_3 - u_4}{R_5} + \frac{u_3 - u_1}{R_2} + \frac{u_3 - u_0}{R_3} = 0$$

利用“虚短”列辅助方程： $u_2 = 0$        $u_3 = 0$

$$u_0 \left( \frac{1}{R_4} - \frac{1}{R_3} \right) = \left( \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) u_i$$

$$\frac{u_0}{u_i} = \frac{G_2 - G_1}{G_4 - G_3}$$

