

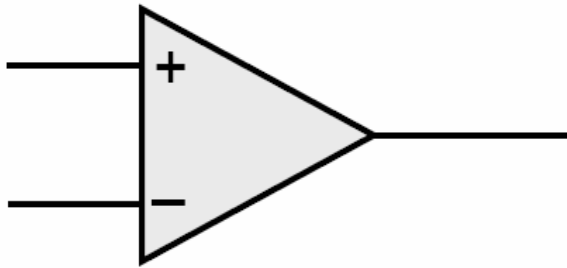
6.002

电路与  
电子学

## 运算放大器电路

## 复习

### ■ 运算放大器的模型



- ◆  $\infty$  输入阻抗
- ◆ 0 输出阻抗
- ◆ 增益 “A” 非常大

### ■ 模拟系统的组成模块

#### ■ 我们看下面的例子：

数模转换

滤波器

时钟发生器

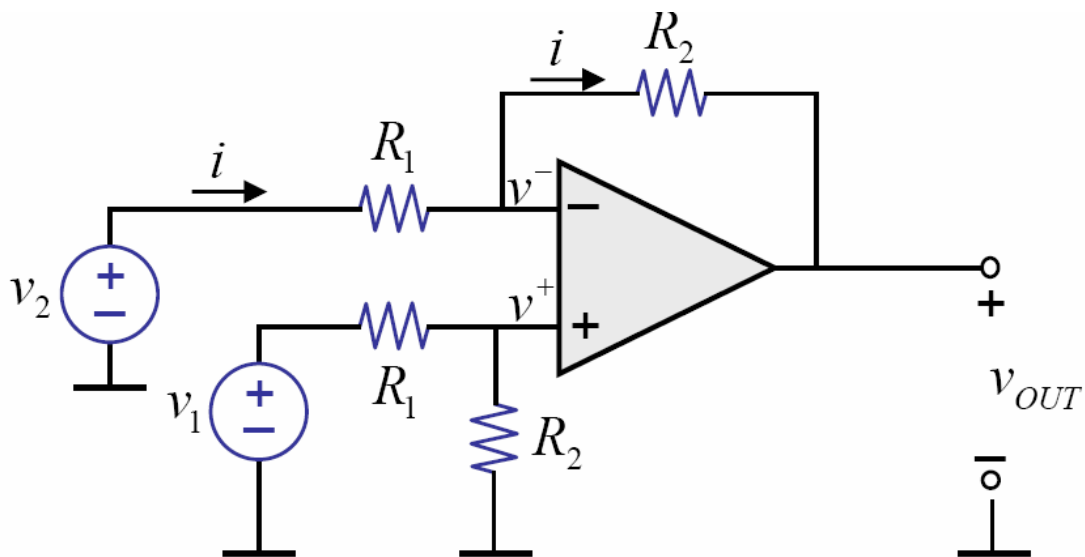
放大器

加法器

积分电路和微分电路

阅读：16.5 & 16.6 的 A&L 部分

思考下面的电路：



$$v^+ = v_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\approx v^-$$

$$i = \frac{v_2 - v^-}{R_1}$$

$$v_{OUT} = v^- - iR_2$$

$$= v^- - \frac{v_2 - v^-}{R_1} \cdot R_2$$

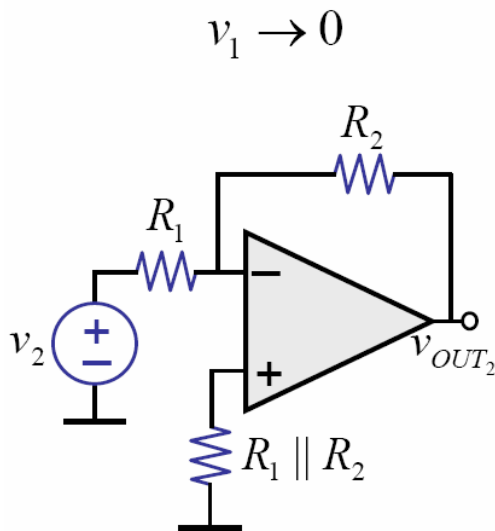
$$= v^- \left[ 1 + \frac{R_2}{R_1} \right] - v_2 \frac{R_2}{R_1}$$

$$= v_1 \frac{R_2}{\cancel{R_1 + R_2}} \cdot \frac{\cancel{R_1 + R_2}}{R_1} - v_2 \frac{R_2}{R_1}$$

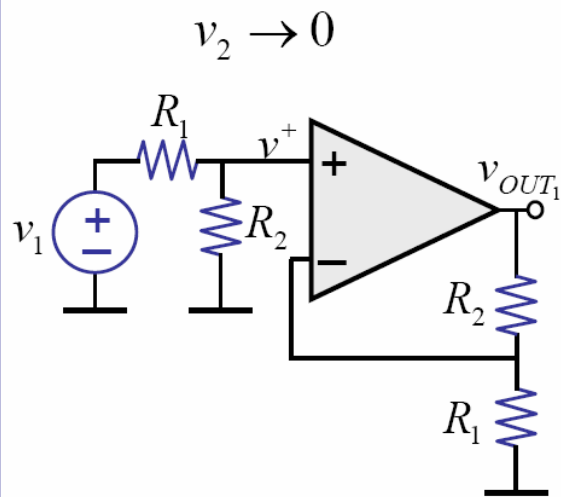
$$= \frac{R_2}{R_1} (v_1 - v_2)$$

减法！

## 另一种解决方案：利用叠加原理



$$v_{OUT_2} = -\frac{R_2}{R_1} v_2$$



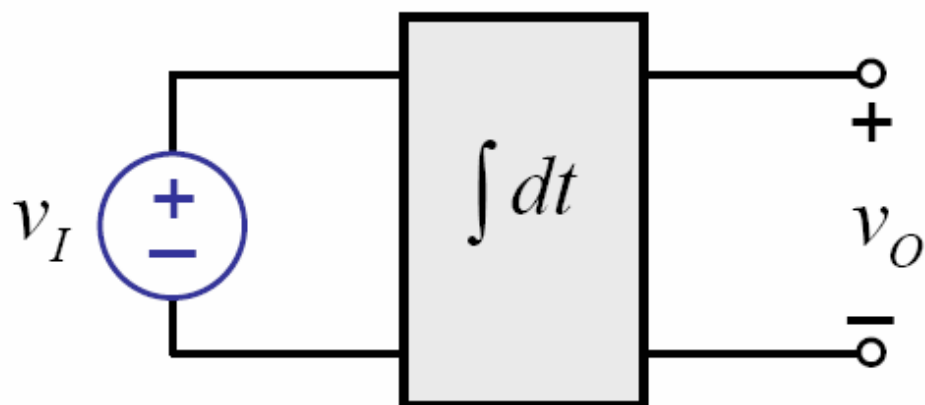
$$\begin{aligned} v_{OUT_1} &= v^+ \cdot \frac{\bar{R}_1 + R_2}{R_1} \\ &= \frac{v_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} \\ &= v_1 \frac{R_2}{R_1} \end{aligned}$$

$$v_{OUT} = v_{OUT_1} + v_{OUT_2}$$

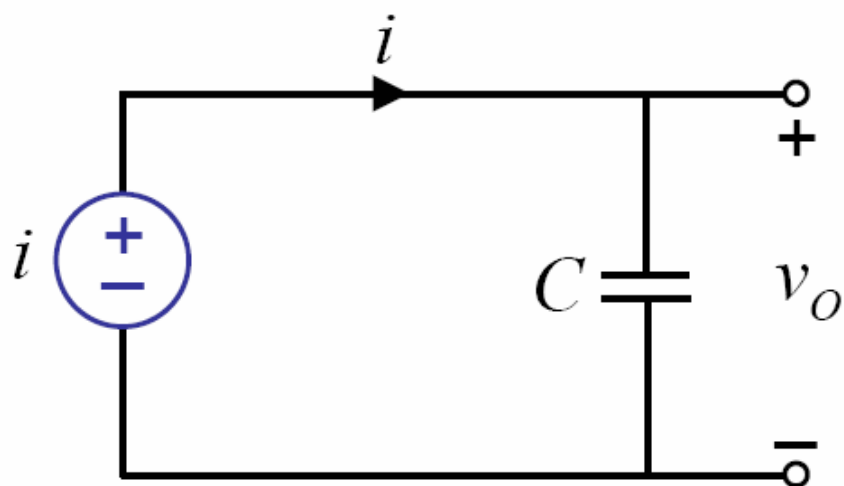
$$= \frac{R_2}{R_1} (v_1 - v_2)$$

还是减法！

让我们构建一个积分电路：



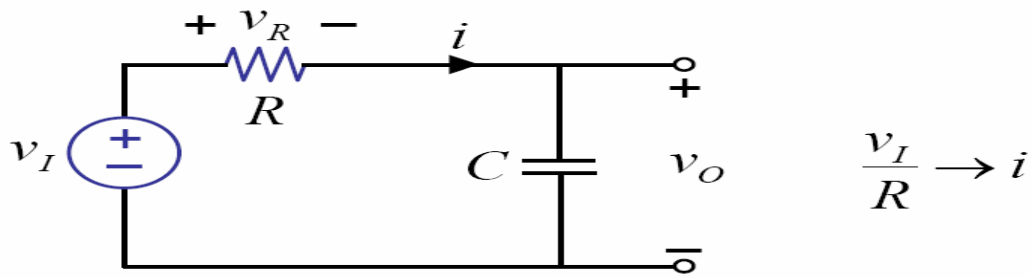
让我们从下面的思路开始：



$$v_O = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i \, dt$$

$v_O$  和  $\int i \, dt$  成比例，但是我们需要把  $v_I$  转换成电流。

## 首先试着使用电阻器



但是  $v_O$  必须远小于  $v_R$ , 否则  $i \neq \frac{v_I}{R}$   
 什么时候  $v_O$  小于  $v_R$ ?

$$\underbrace{RC \frac{dv_O}{dt}}_{v_R} + v_O = v_I \quad \longrightarrow \quad \begin{array}{l} \text{增大} \\ \text{RC, 减} \\ \text{小 } v_O \end{array}$$

当

$$RC \frac{dv_O}{dt} \gg v_O \quad \text{理想情况:} \quad \omega RC \gg 1$$

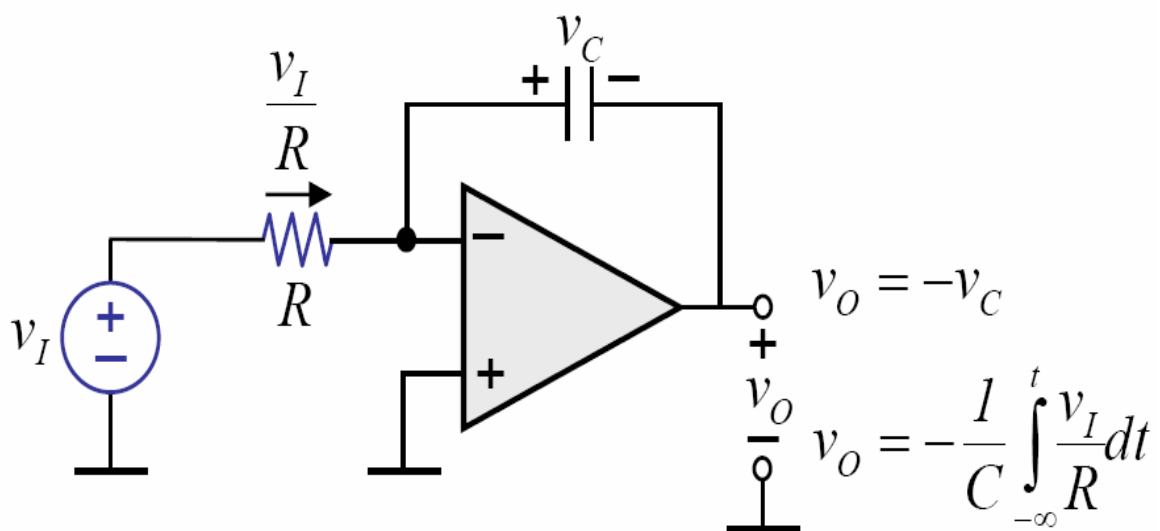
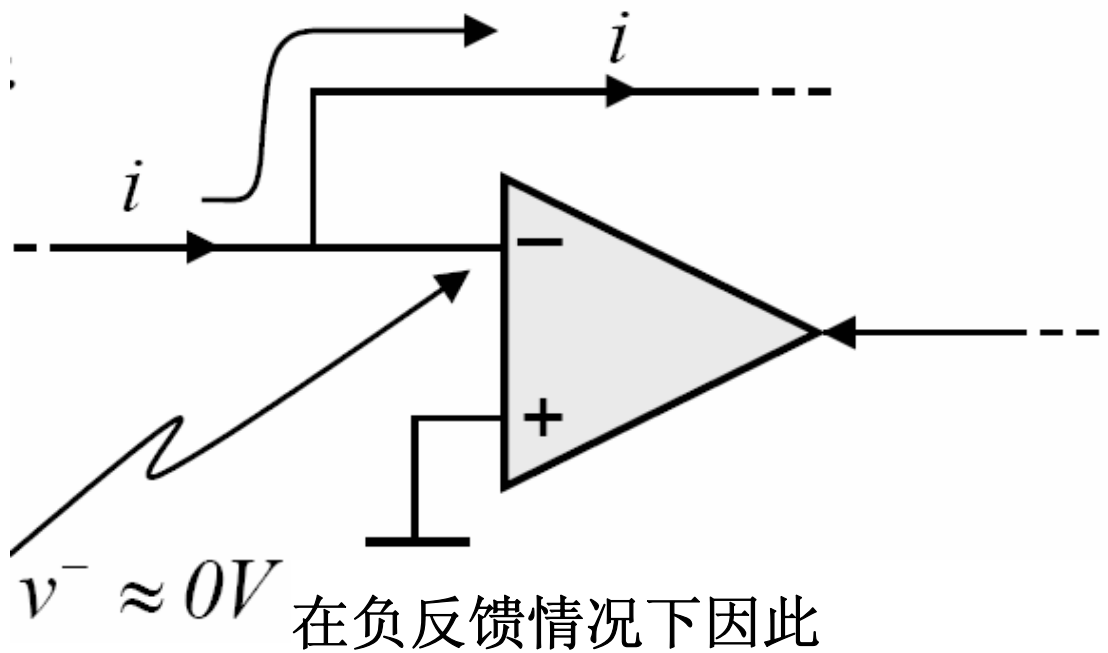
$$RC \frac{dv_O}{dt} \approx v_I$$

或者::

$$v_O \approx \frac{1}{RC} \int_{-\infty}^t v_I dt$$

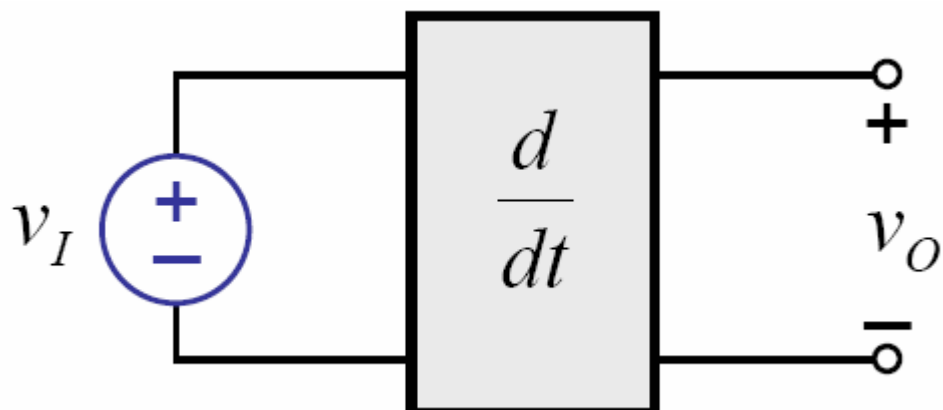
演  
示

有一个更好的方法：  
注意

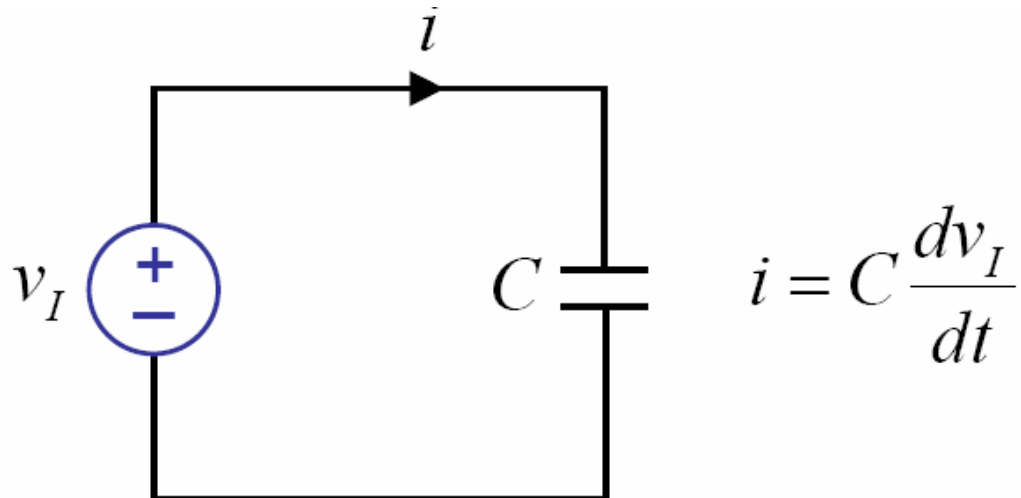


我们得到了我们的积分电路！

现在让我们构建一个微分电路：



从下面的思路开始：



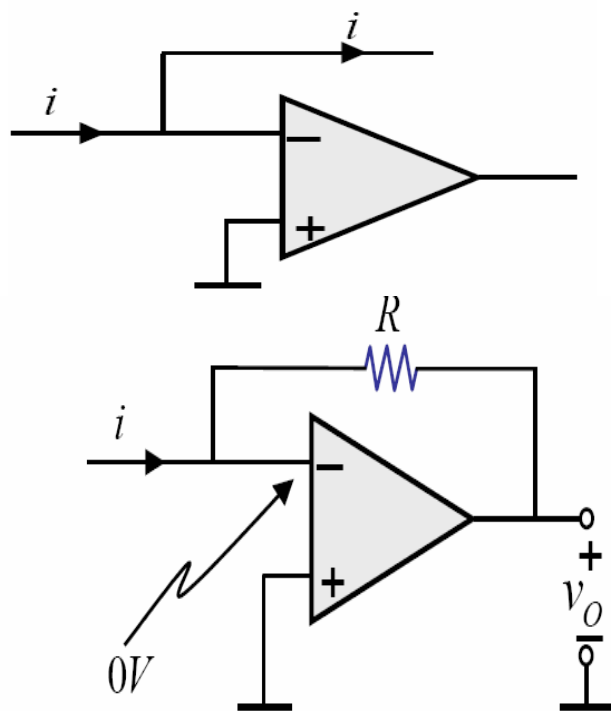
$i$  和  $\frac{dv_I}{dt}$  成正比例

但是我们需要把电流转换成电压。



# 微分器

想一下：



$$v_O = -iR$$

电流转换为电压

