



# 积分与微分运算电路

主讲教师：王香婷 教授





## 积分与微分运算电路

主要内容:

积分运算电路、微分运算电路。

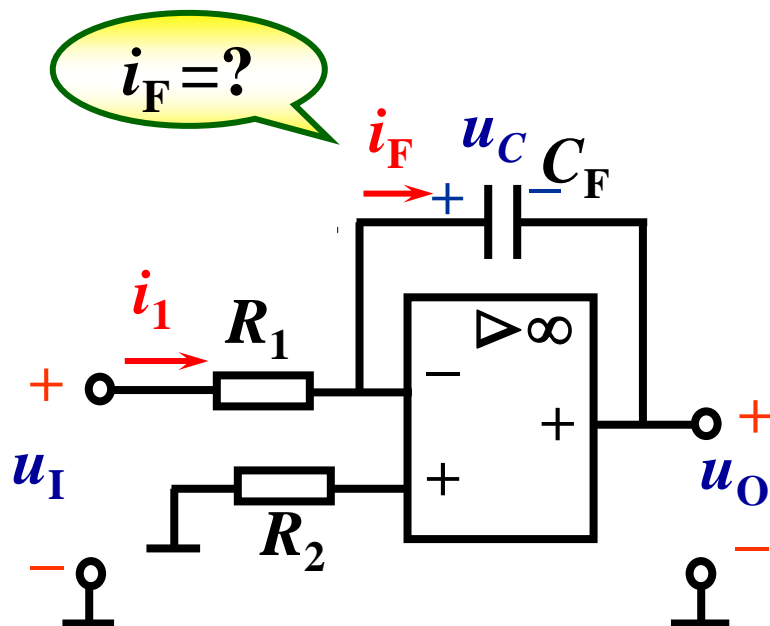
重点难点:

积分与微分运算电路的输入、输出关系及其应用。



## 积分与微分运算电路

### 1. 积分运算电路



2. 分析 由虚短及虚断可得:  $i_1 = i_F$

$$i_1 = \frac{u_I}{R_1} \quad i_F = C_F \frac{du_C}{dt}$$

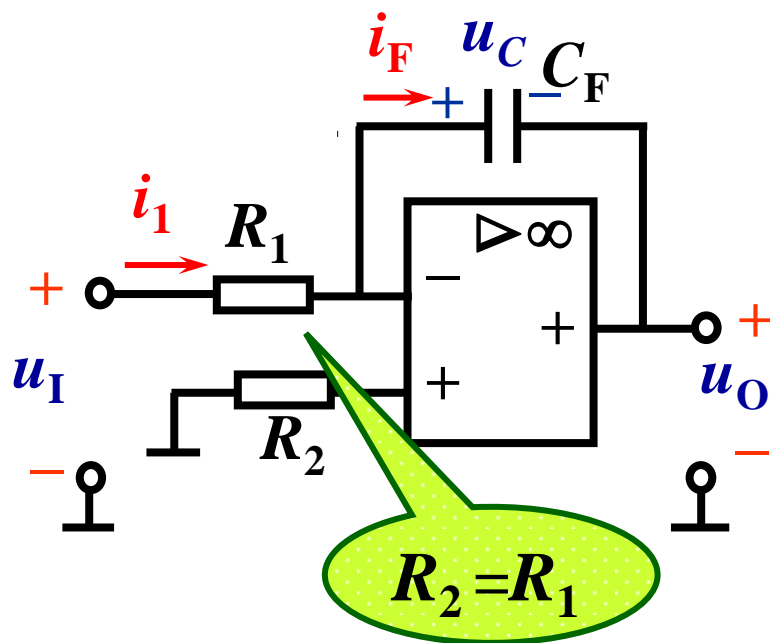
$$\frac{u_I}{R_1} = C_F \frac{du_C}{dt} = -C_F \frac{du_O}{dt}$$

$$u_O = -\frac{1}{R_1 C_F} \int u_I dt$$

输出电压  $u_O$  与电路的输入电压  $u_I$  的积分成正比。

## 积分与微分运算电路

### 1. 积分运算电路



### 2. 分析:

$$u_O = -\frac{1}{R_1 C_F} \int u_I dt$$

当电容  $C_F$  的初始电压为  $u_C(t_0)$  时

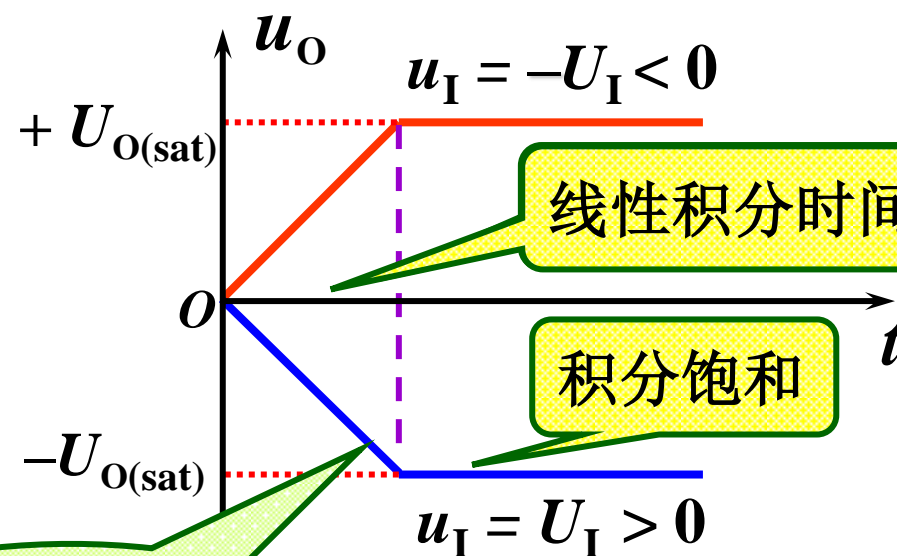
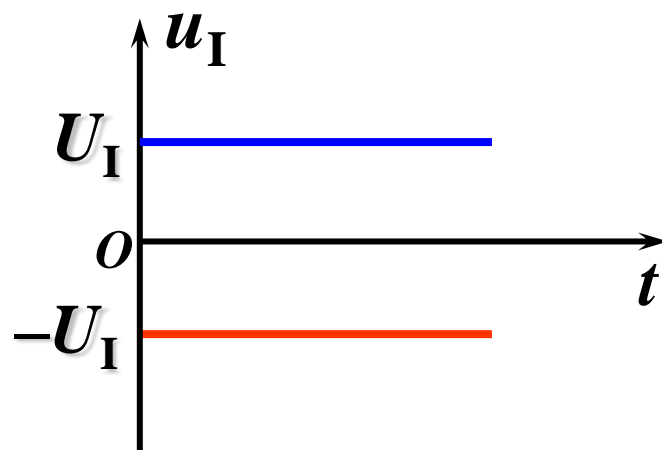
$$\begin{aligned} u_O &= -\left[ \frac{1}{R_1 C_F} \int_{t_0}^t u_I dt + u_C(t_0) \right] \\ &= -\frac{1}{R_1 C_F} \int_{t_0}^t u_I dt - u_C(t_0) \end{aligned}$$

当输入电压  $u_I$  是幅值为  $U$  的阶跃电压时

$$u_o = -\frac{1}{R_1 C_F} \int_{t_0}^t u_I dt = -\frac{U_I}{R_1 C_F} t$$

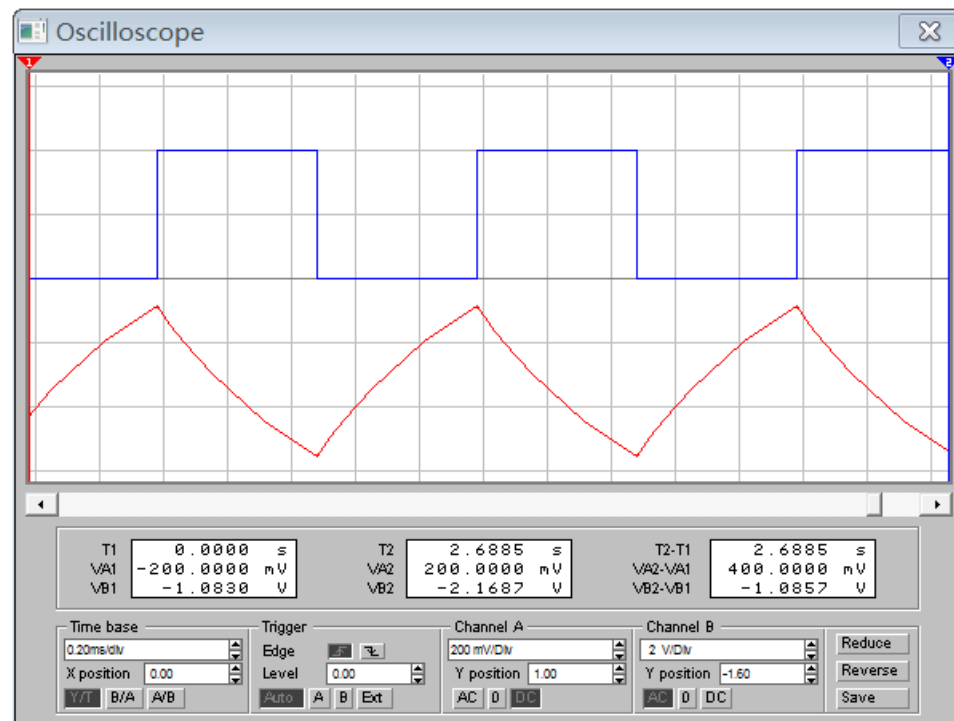
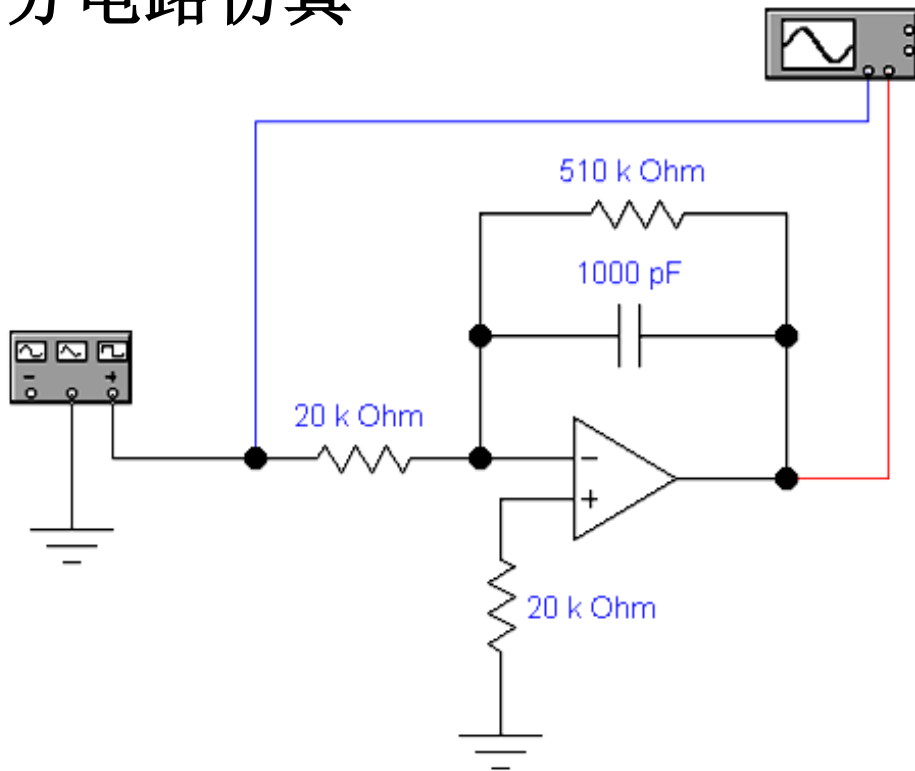
$$0 \leq t \leq \left| \frac{\pm U_{O(sat)}}{U_I} \right| R_1 C_F$$

$u_o$  是时间  $t$  的一次函数。



输出电压随  
时间线性变化

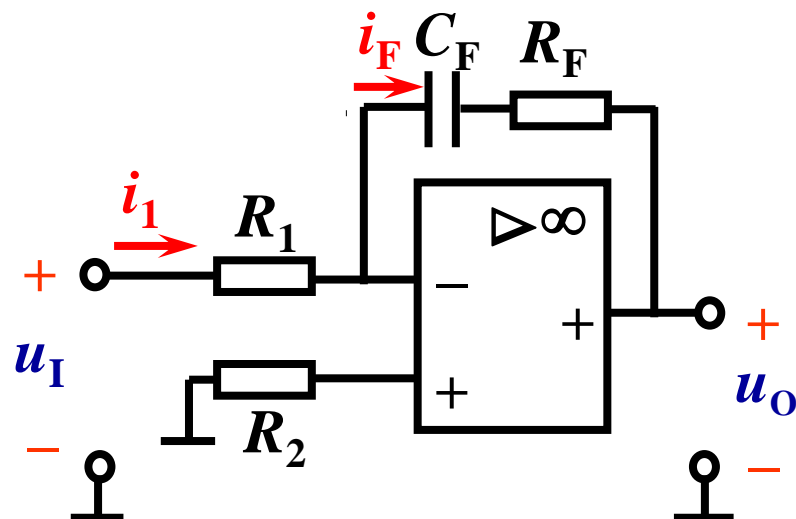
## 积分电路仿真



积分电路是一种应用广泛的电子电路。该电路除能实现对信号的积分运算外，还用于精确的时间控制和信号发生电路及模拟量与数字量的转换中。

## 比例-积分运算电路 – PI 调节器

## 电路的输出电压

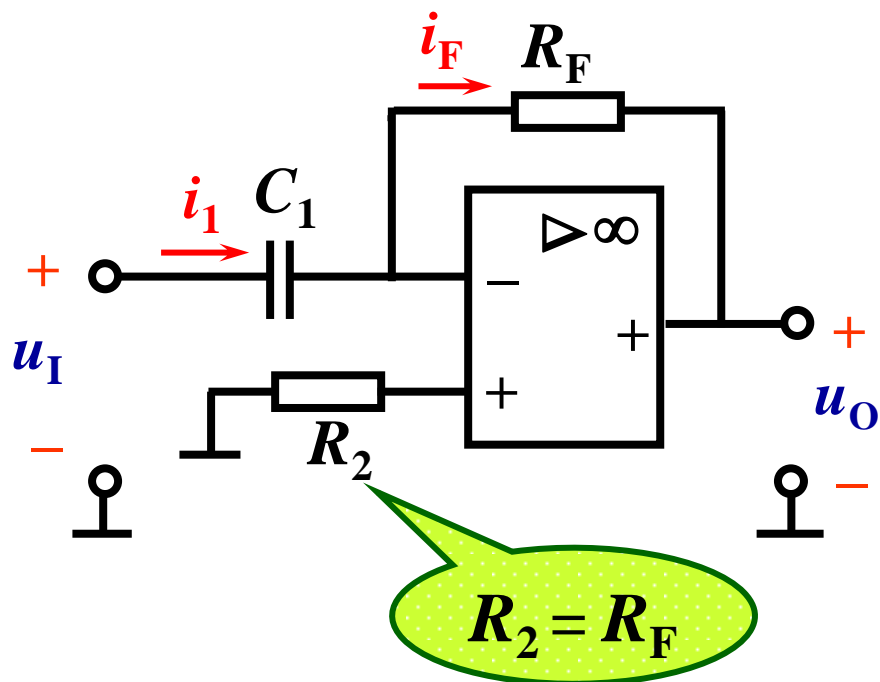


$$\begin{aligned} u_O &= -(R_F i_F + u_C) \\ &= -(R_F i_1 + \frac{1}{C_F} \int i_1 dt) \\ &= -(\frac{R_F}{R_1} u_I + \frac{1}{R_1 C_F} \int u_I dt) \end{aligned}$$

输出电压是对输入电压的比例-积分

这种运算器又称 **PI 调节器**，常用于控制系统中，以保证自控系统的稳定性和控制精度。改变  $R_F$  和  $C_F$ ，可调整比例系数和积分时间常数，以满足控制系统的要求。

## 2. 微分运算电路

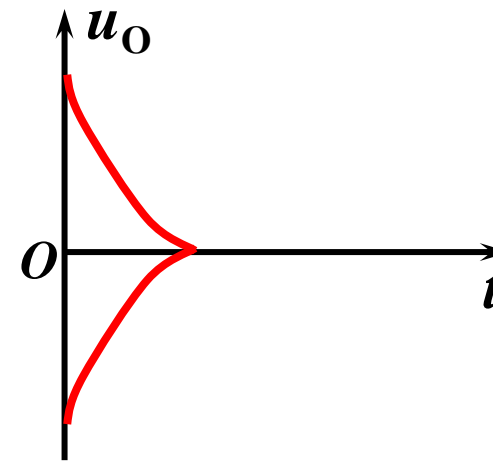
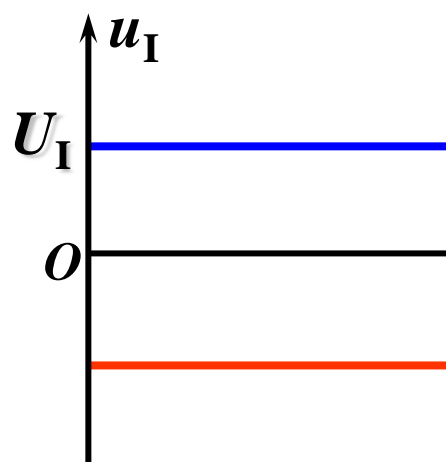


由虚短及虚断性质可得

$$i_1 = i_F$$

$$C_1 \frac{du_I}{dt} = -\frac{u_O}{R_F}$$

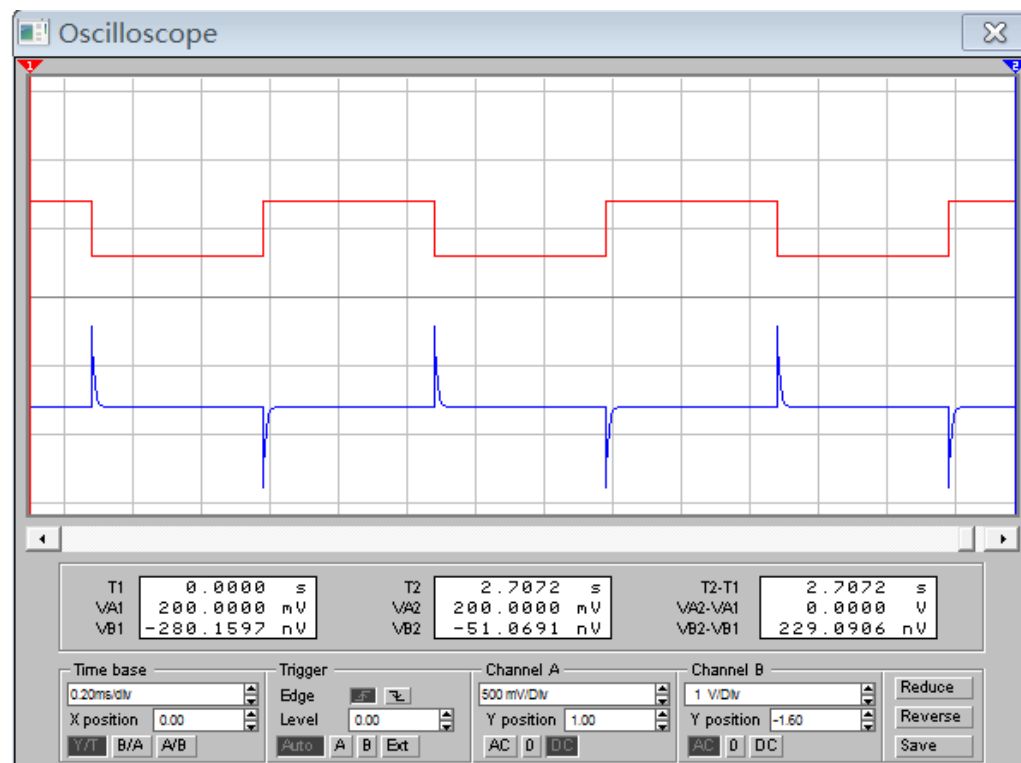
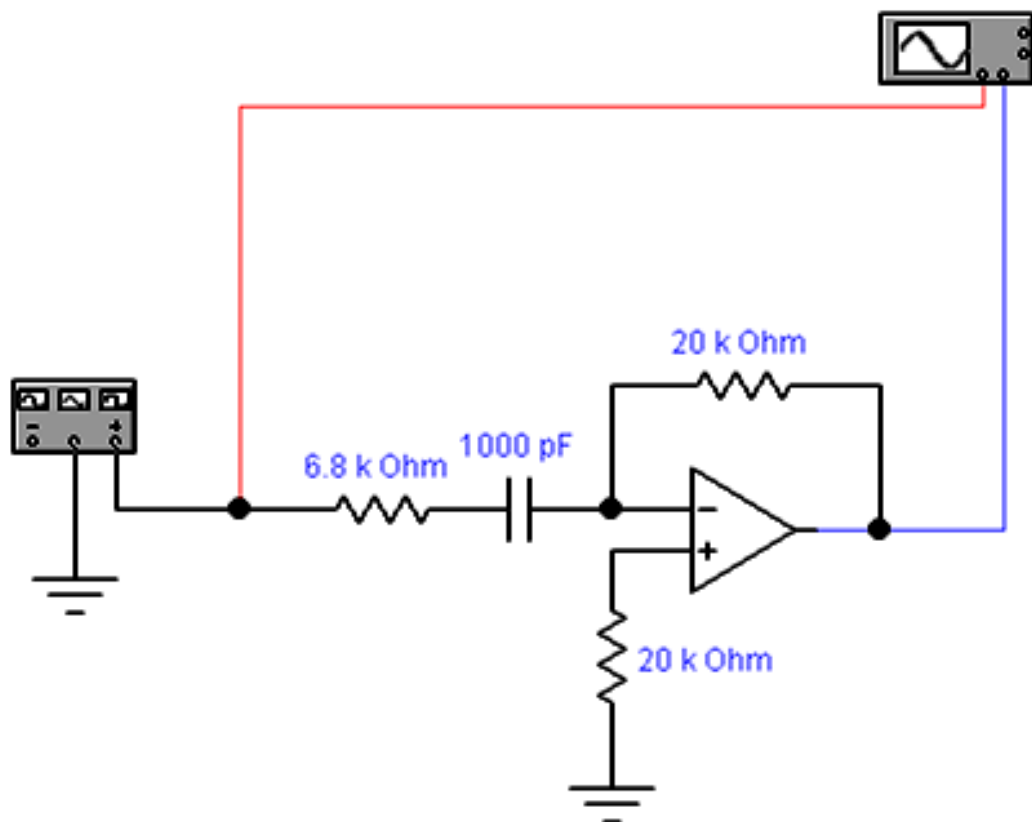
$$u_O = -R_F C_1 \frac{du_I}{dt}$$



由于微分电路的输出电压与输入电压的变化率成比例，而电路中的干扰信号都是迅速变化的高频信号，因此微分器抗干扰能力差。



## 微分电路仿真



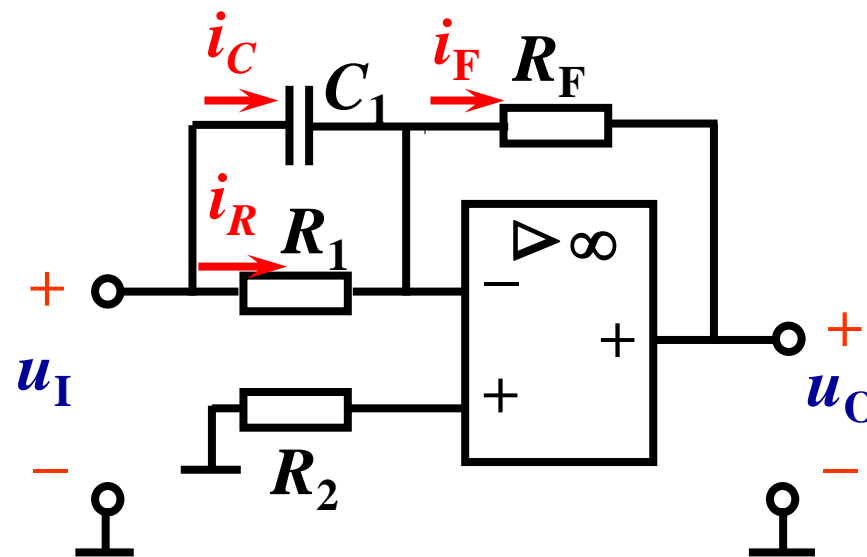
## 比例 - 微分运算电路 — PD调节器

$$u_O = -R_F i_F$$

$$i_F = i_R + i_C$$

$$= \frac{u_I}{R_1} + C_1 \frac{du_I}{dt}$$

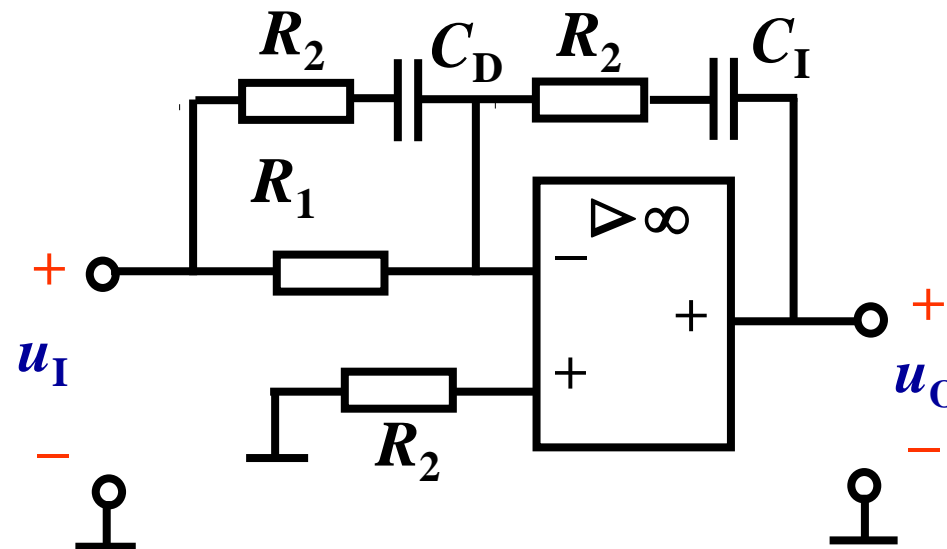
$$u_O = -\left(\frac{R_F}{R_1} u_I + R_F C_1 \frac{du_I}{dt}\right)$$



上式表明：输出电压是对输入电压的比例 - 微分。

控制系统中，PD调节器在调节过程中起加速作用，即使系统有较快的响应速度和工作稳定性。

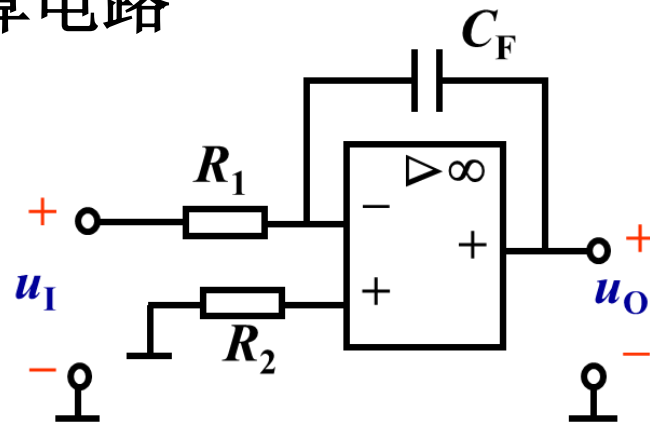
## 比例-积分-微分运算电路 — PID调节器



**PID** 调节器是一种常见的控制电路，调节器的任务是将一定物理量(被调节参数 $X$ )调节到预先给定的理论值(或称而定支 $W$ )，并克服干扰的影响保持这一值。

## 小 结

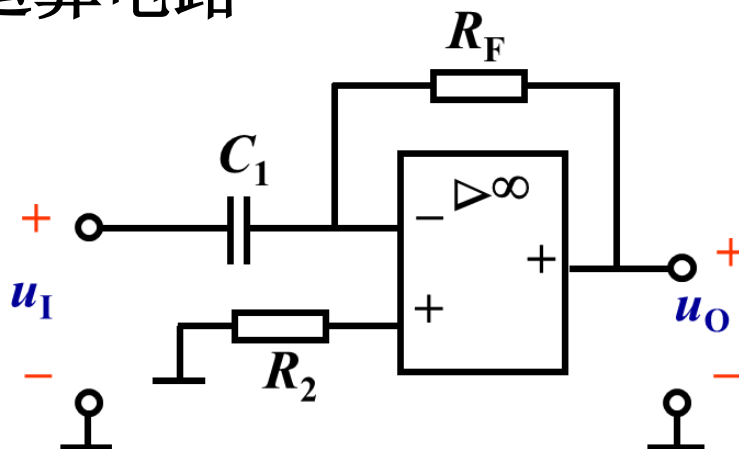
### 1. 积分运算电路



$$u_o = -\frac{1}{R_1 C_F} \int u_I dt$$

平衡电阻:  $R_2 = R_1$

### 2. 微分运算电路



$$u_o = -R_F C_1 \frac{du_I}{dt}$$

平衡电阻:  $R_2 = R_1$