

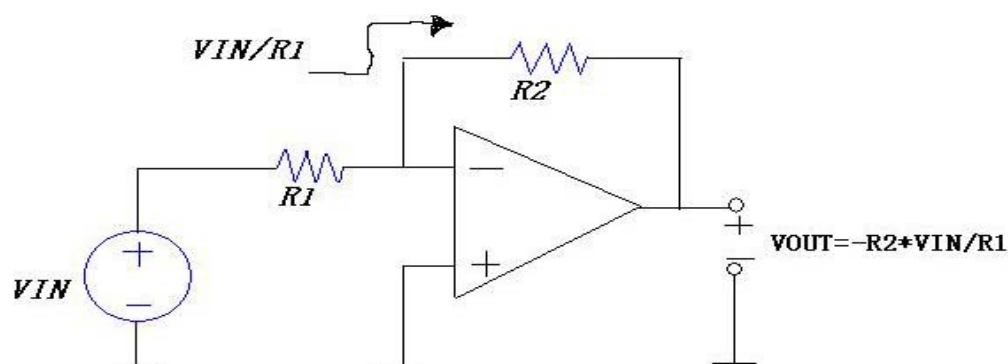
6.002

电路与
电子学

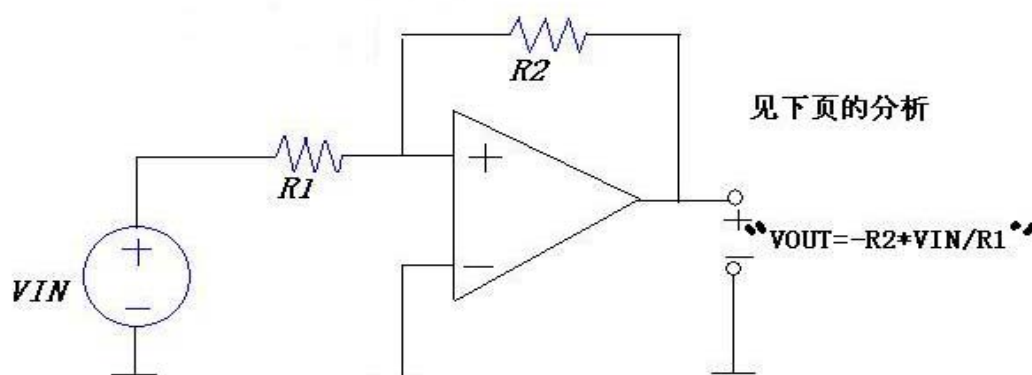
运放的正反馈

正负反馈

观察这个电路——**负反馈**



还有这个——**正反馈**



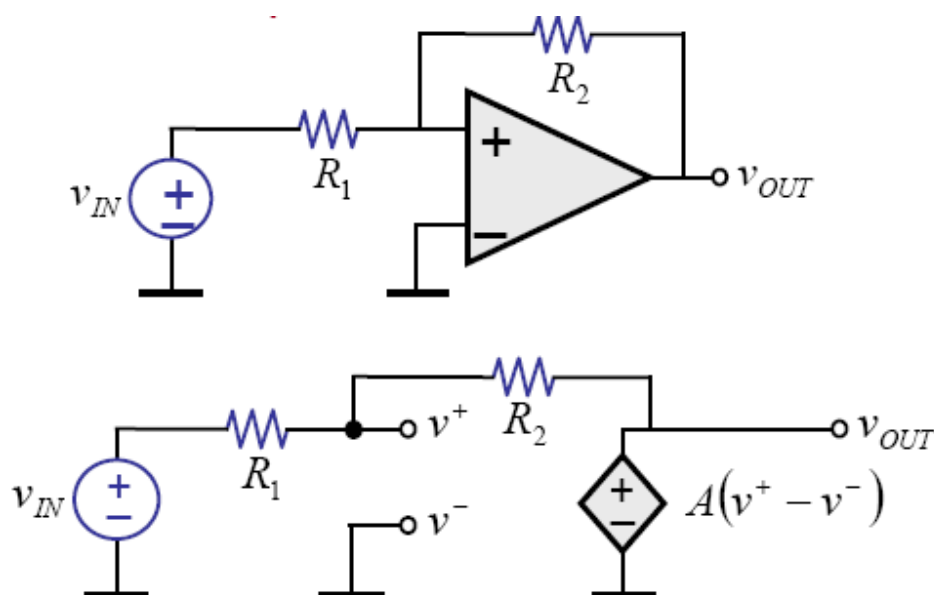
它们有什么不同？

考虑当出现扰动时会发生什么情况…

正反馈驱使运放进入饱和状态：

$$v_{OUT} \rightarrow \pm V_S$$

正反馈电路的静态分析



$$v_{OUT} = A(v^+ - v^-)$$

$$= Av^+$$

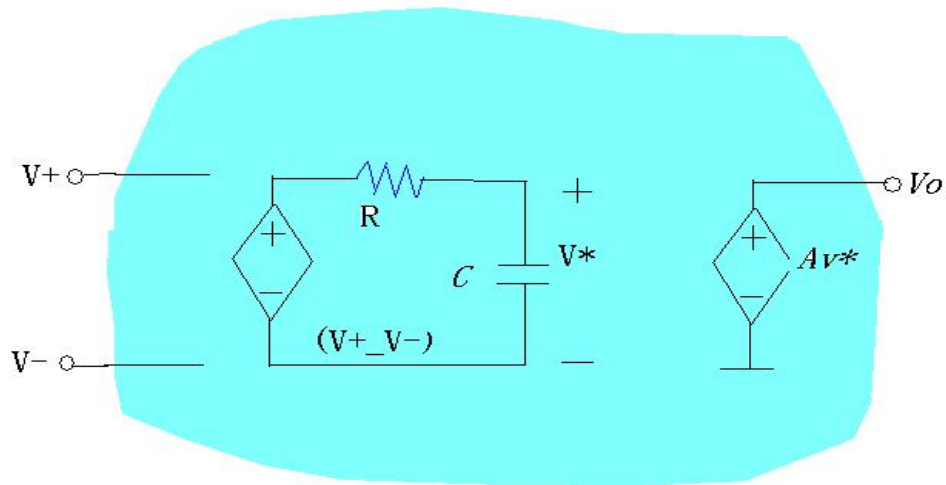
$$= A \left[\frac{v_{OUT} - v_{IN}}{R_1 + R_2} \cdot R_1 + v_{IN} \right]$$

$$= \frac{AR_1}{R_1 + R_2} v_{OUT} - \frac{AR_1 v_{IN}}{R_1 + R_2} + Av_{IN}$$

$$v_{OUT} \left[1 - \frac{AR_1}{R_1 + R_2} \right] = v_{IN} A \left[1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right]$$

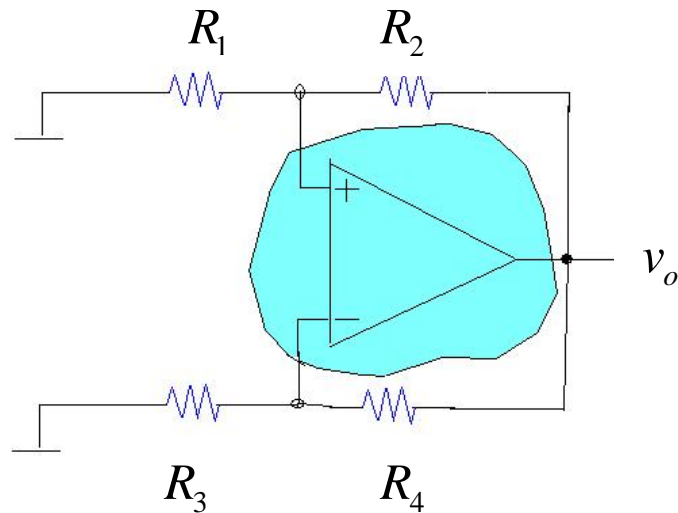
$$v_{OUT} = \left[\frac{1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2}}{-\frac{AR_1}{R_1 + R_2}} \right] \cdot v_{IN} = -\frac{R_2}{R_1} v_{IN}$$

运放的动态描述模型

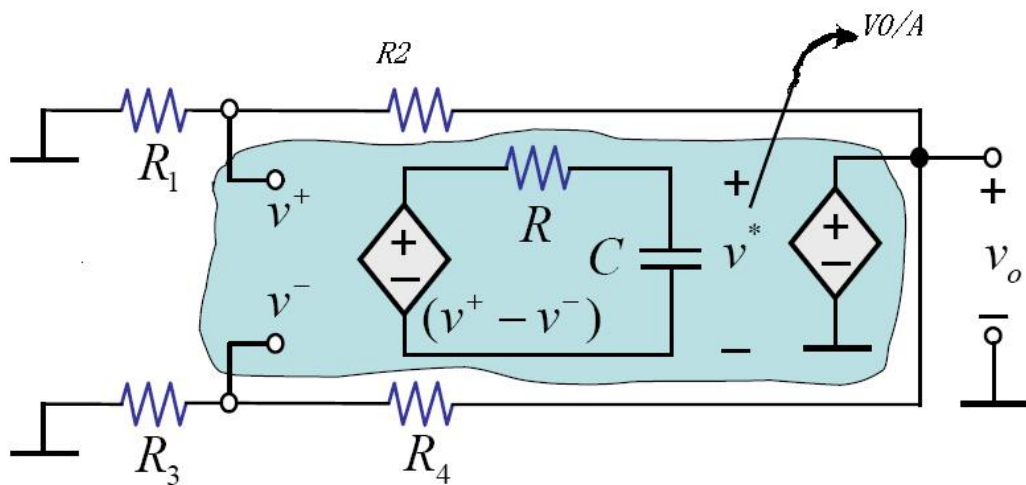


运放的动态描述

观察这个电路并分析它的动态特性以加深印象。



电路模型



下面让我们推出描述 v_{out} 的时间特性的等式。

运放的动态特性

$$V_o = A v^* \quad \text{或} \quad v^* = \frac{v_o}{A}$$

$$RC \frac{dv^*}{dt} + v^* = v^+ - v^-$$

$$v^+ = \frac{v_o R_1}{R_1 + R_2} = \gamma^+ v_o$$

$$v^- = \frac{v_o R_3}{R_3 + R_4} = \gamma^- v_o$$

$$\begin{aligned} \frac{RC}{A} \frac{dv_o}{dt} + \frac{v_o}{A} &= v^+ - v^- \\ &= (\gamma^+ - \gamma^-) v_o \end{aligned}$$

或者：

$$\frac{dv_o}{dt} + \left[\frac{1}{RC} + \frac{A}{RC} (\gamma^+ - \gamma^-) \right] v_o = 0$$

$$\frac{dv_o}{dt} + \frac{A}{RC} (\gamma^+ - \gamma^-) v_o = 0$$

$\underbrace{\hspace{1cm}}$
 $time^{-1}$

或者： $\frac{dv_o}{dt} + \frac{v_o}{T} = 0$ 其中

$$T = \frac{RC}{A(\gamma^+ - \gamma^-)}$$

$v_o(0) = 0$

考虑对 v_0 的微小干扰（噪声）。

如果 $\gamma^- > \gamma^+$

T 是正的

$$v_0 = K e^{\frac{t}{T}} \quad \text{稳定}$$

如果 $\gamma^+ > \gamma^-$

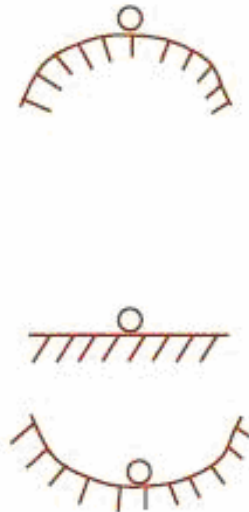
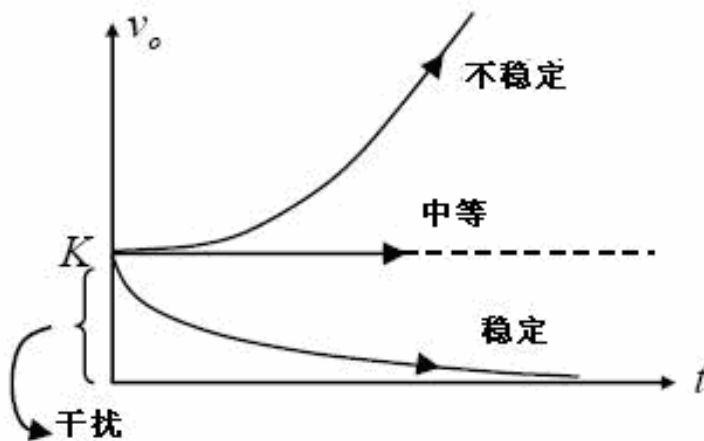
T 是负的

$$v_0 = K e^{\frac{t}{|T|}} \quad \text{不稳定}$$

如果 $\gamma^+ = \gamma^-$

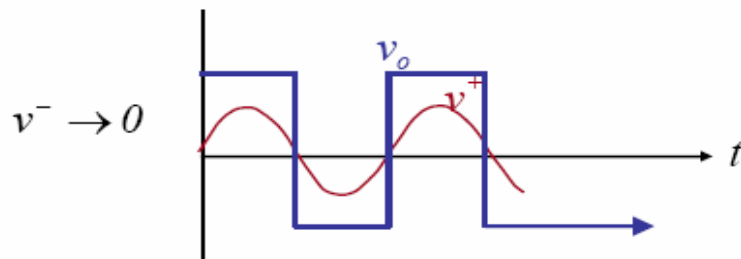
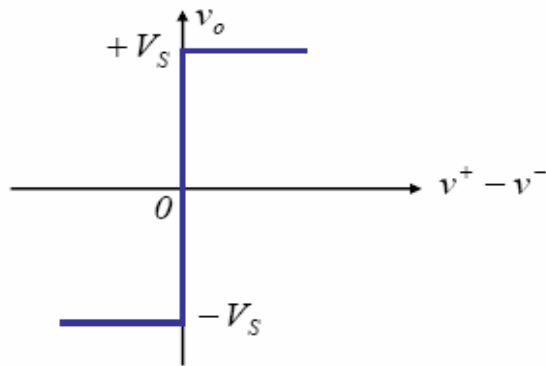
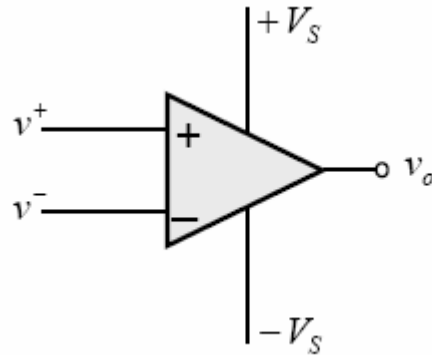
T 是非常大

$$v_0 = K \quad \text{中等}$$

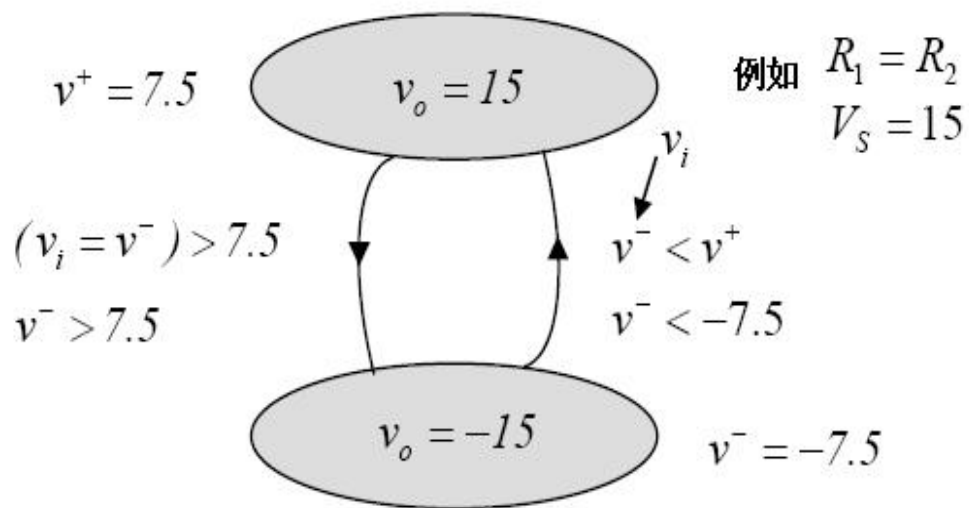
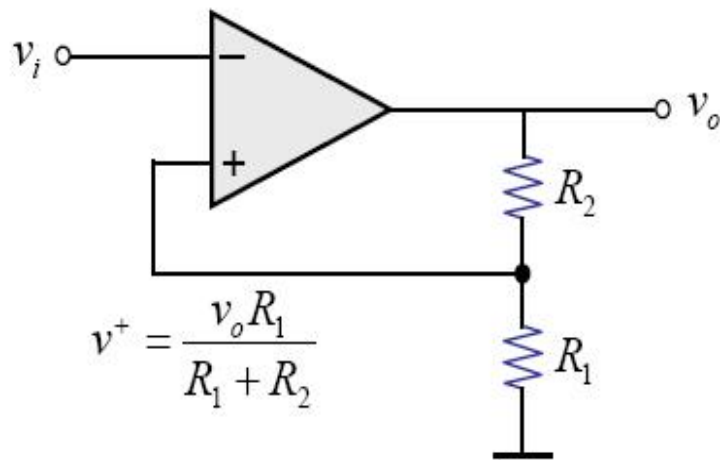


现在，让我们用正反馈搭建一些实用电路。

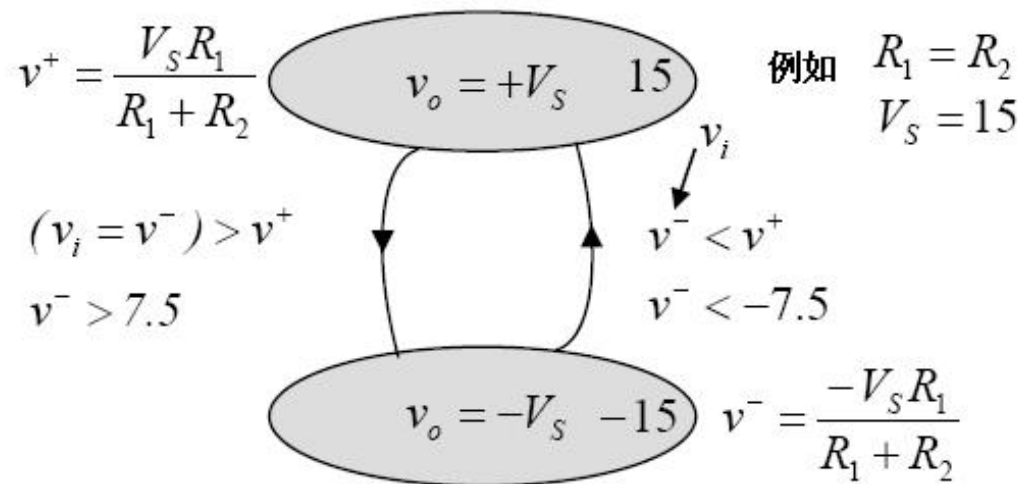
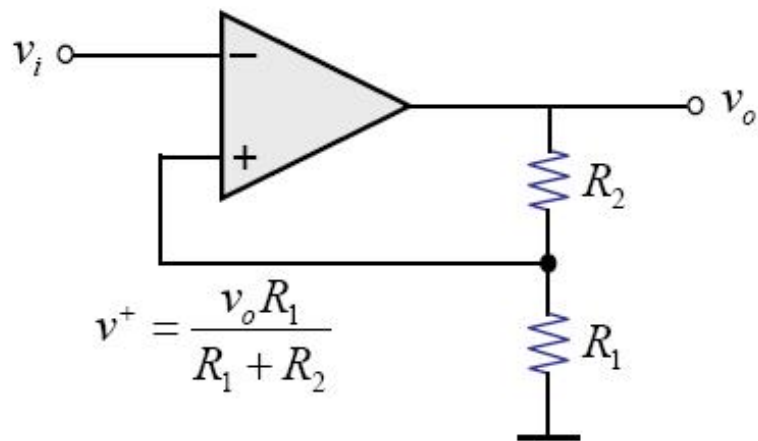
运放不稳定性方面的应用：用普通运放构造一个比较器

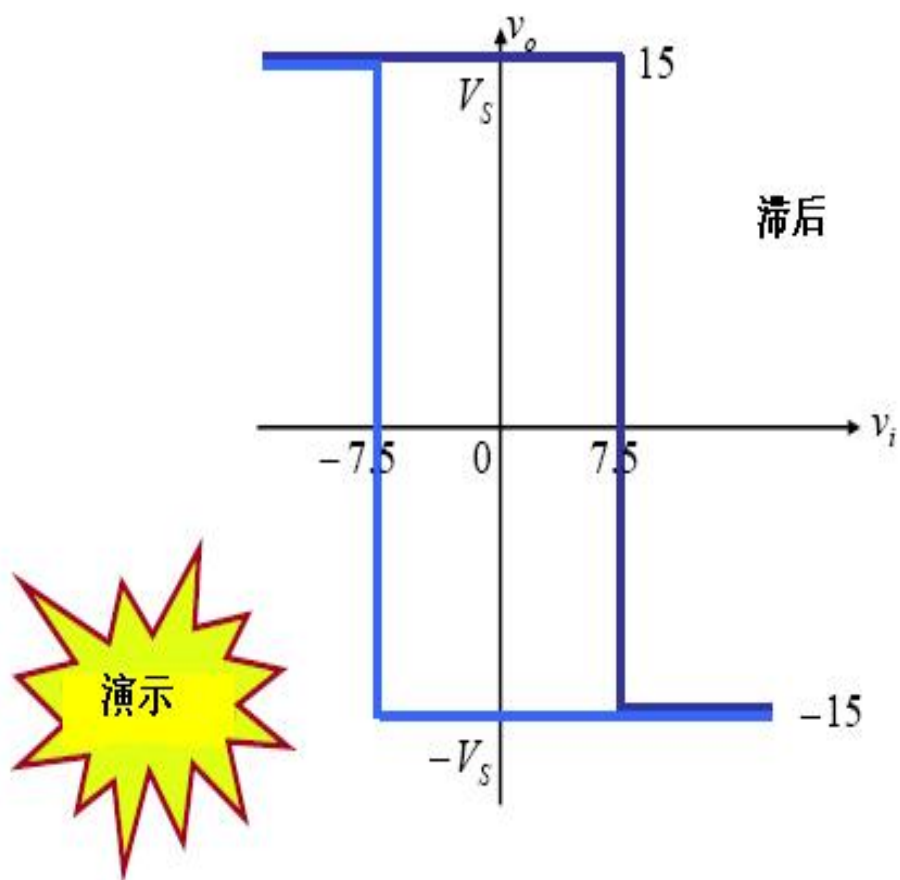


现在，利用正反馈：

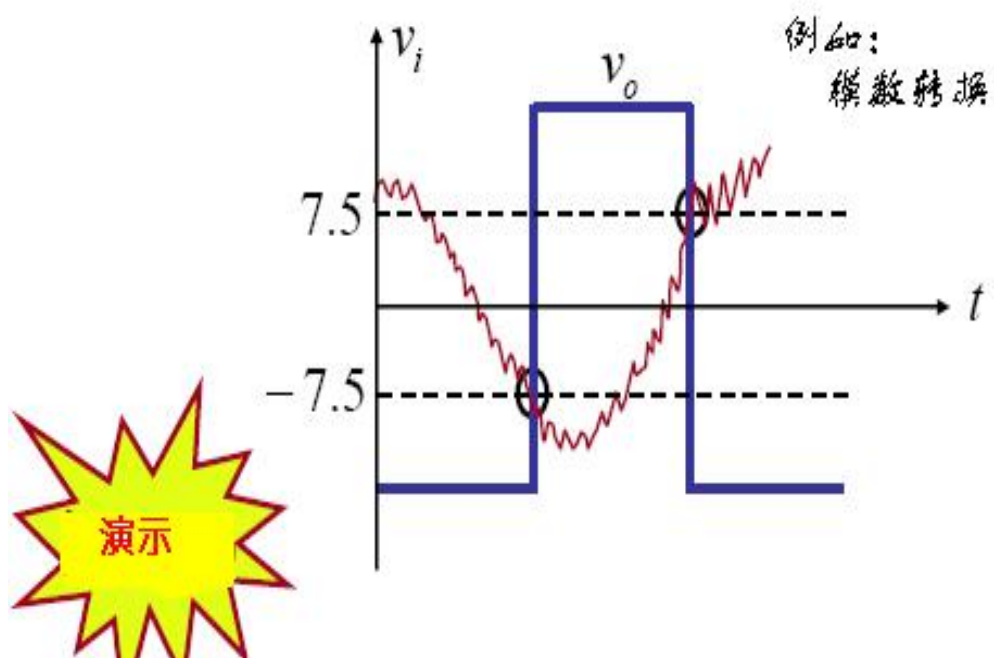


现在，利用正反馈：



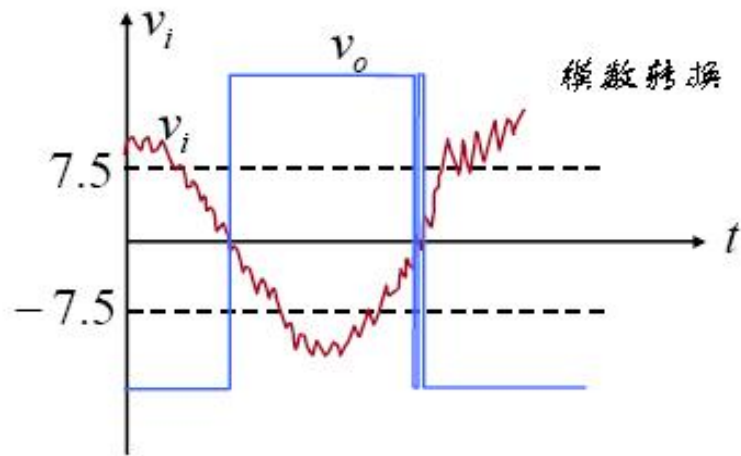


滞后为什么有用呢?

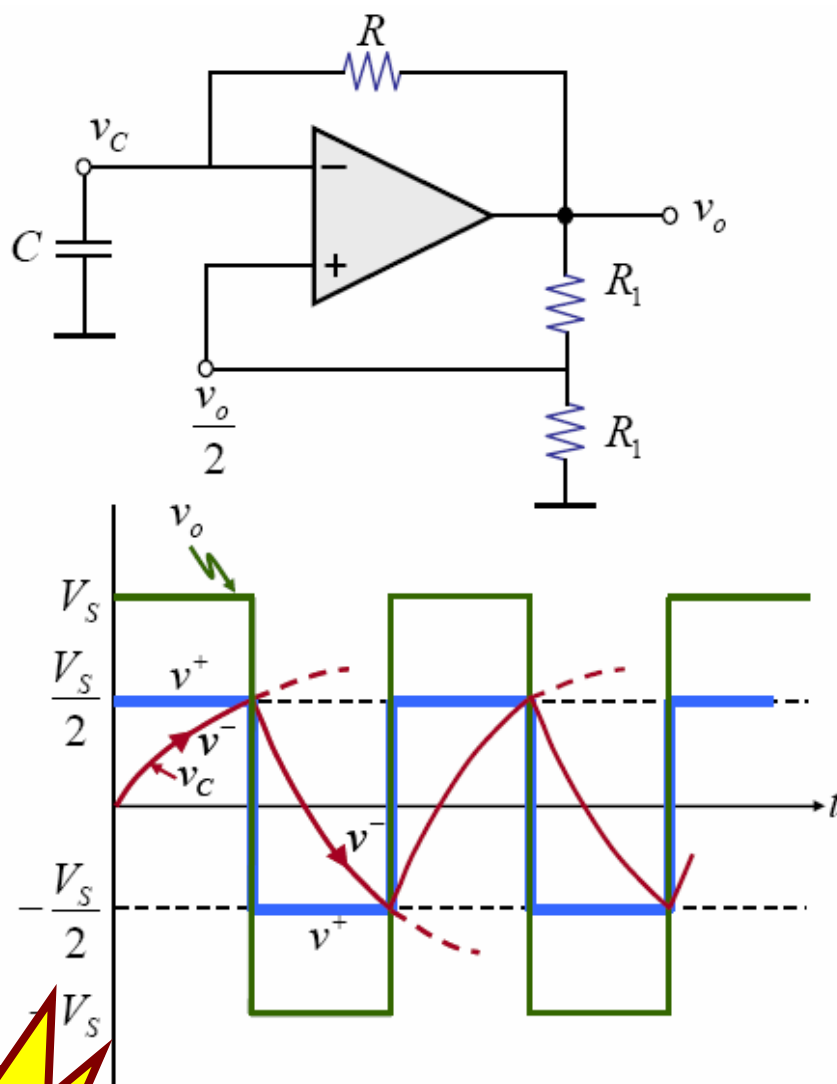


例如：
模数转换

没有滞后作用：



振荡器—能产生时钟脉冲



假设： $v_o = V_s$ 在 $t=0$ 时
 $v_c = 0$

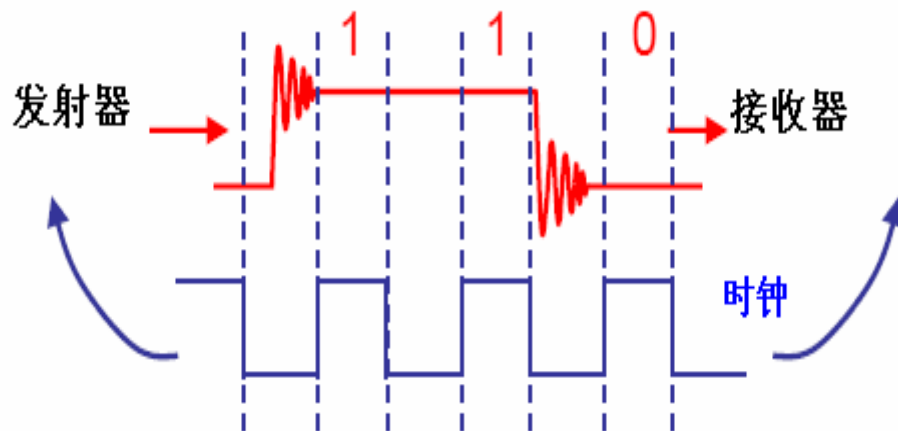
数字系统的时钟

- 我们利用运放构成一振荡器：



能作为时钟使用

- 为什么我们要在数字系统中使用时钟？
(见《A & L》的 735 页)



- ① 1, 1, 0?
- ② 信号何时有效？

共用时基——什么时候“看”信号（例如：
在时钟为高电平时）

→时间离散化

信息的一位与时间周期有关。