

第8讲 运放模型与 简单运放电路

- 一、运放模型与特性
- 二、简单运放电路
- 三、负反馈

运放模型与特性

- 内容

运放模型与理想运放特性

- 目标

解释“虚断”和“虚短”概念。

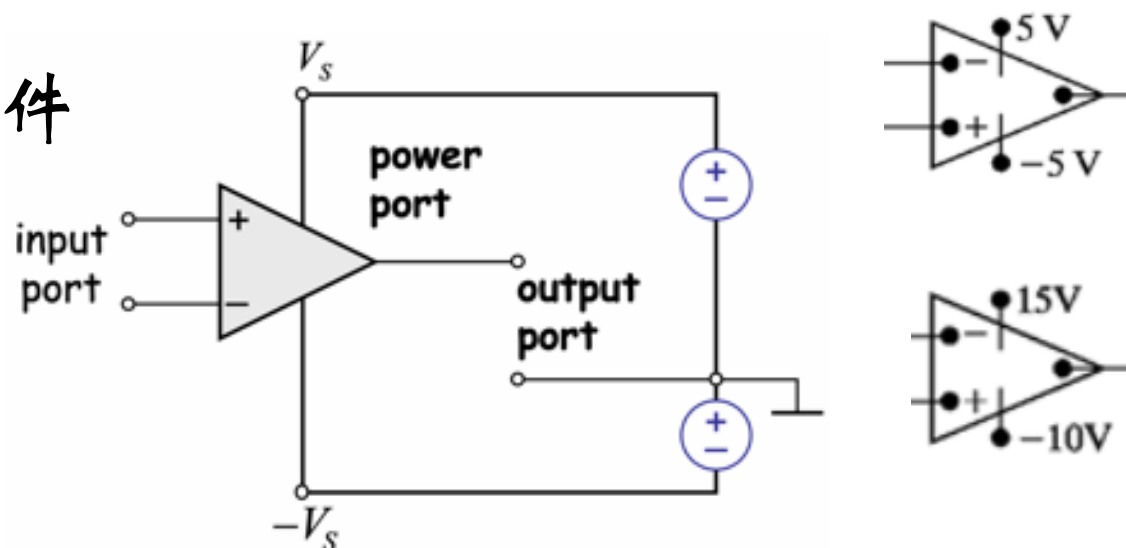
运放模型与特性 (1/3)

- 运放：具有很高放大倍数的电路单元。
 - 对模拟信号进行运算
 - 加、减、乘、除（模拟计算机的运算部件）
 - 积分： A/D ， D/A
 - 微分：有源滤波
 - 放大器
- 集成运放
 - 特点：宽带、高速、低噪、低失调
 - 封装：塑料、陶瓷、金属

运放模型与特性 (2/3)

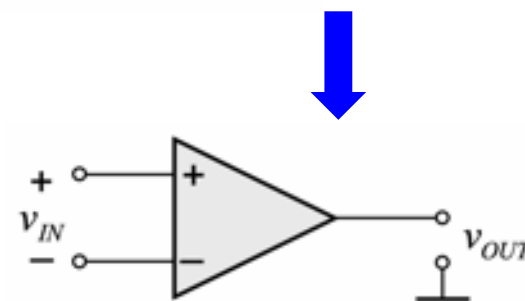
● 运放抽象：4端口器件

- 正电源输入端口
- 负电源输入端口
- 信号输入端口
- 信号输出端口



● 信号输入端

- 同相：输入增加则输出增加
- 反相：输入增加则输出下降
- 差模增益大，信号放大力强
- 共模增益小，抗干扰能力强



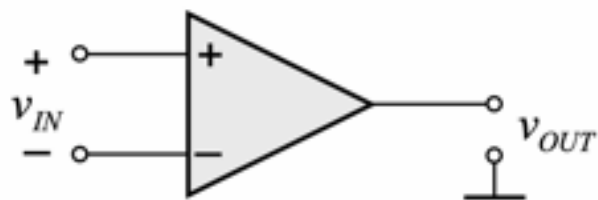
省略电源端口



输入部分相同的部分

运放模型与特性 (3/3)

● 运放理想模型

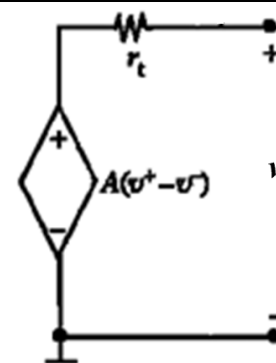
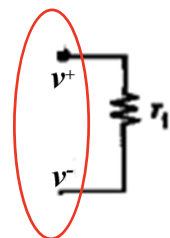


运放符号

● 理想模型特性

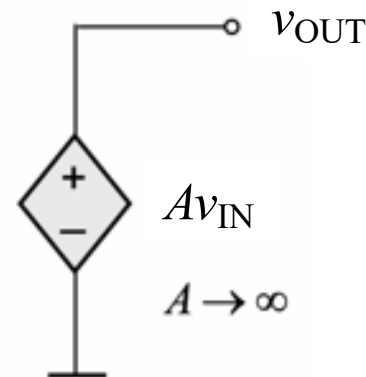
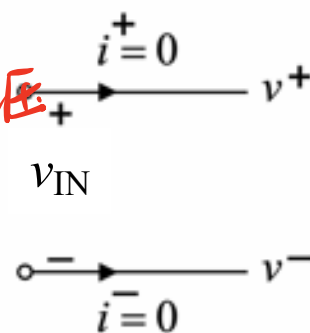
$$R_{IN} \rightarrow \infty$$

求电阻



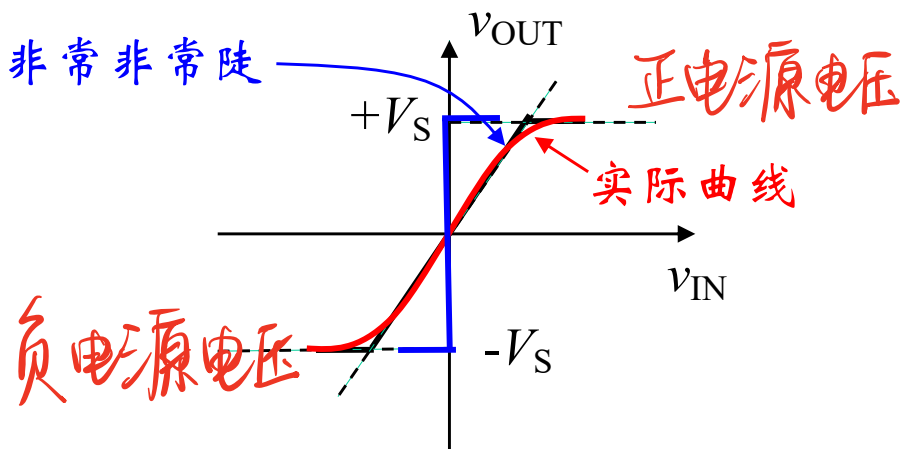
实际模型

求输出电压



理想等效模型

实际上非常非常陡



输入输出转移特性曲线

简单运放电路

- 内容

同相、反相放大电路

- 目标

利用理想运放模型推导出同相、反相放大电路的输出电压、输入输出电阻表达式。

简单运放电路 (1/5)

● 同相放大电路增益分析

$$v_O = A(v^+ - v^-)$$

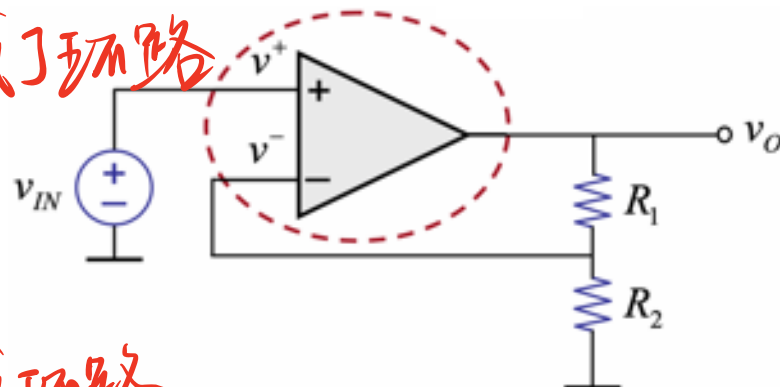
$$v_O = \frac{Av_{IN}}{1 + \frac{AR_2}{R_1 + R_2}}$$

● 当运放增益A (开环) 很大时

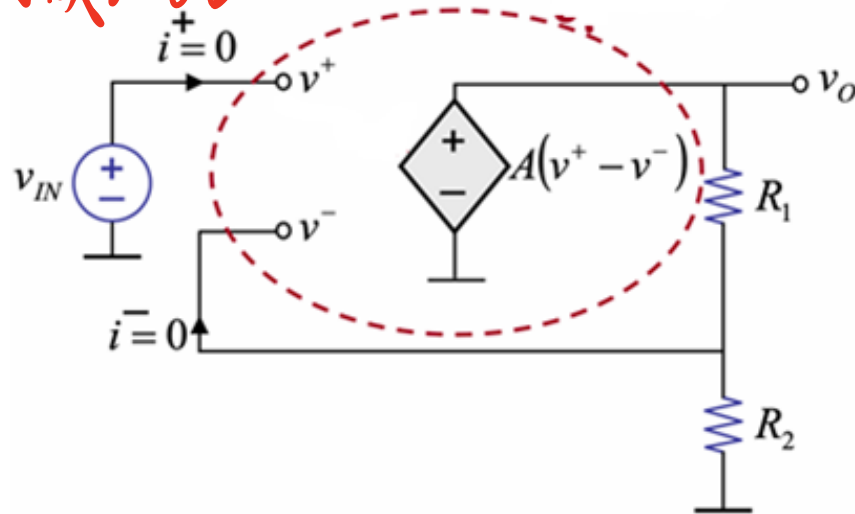
$$v_O \approx v_{IN} \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

● 结论：放大电路 (闭环) 增益 v_O/v_{IN} 仅由外部电阻决定。

构成了环路

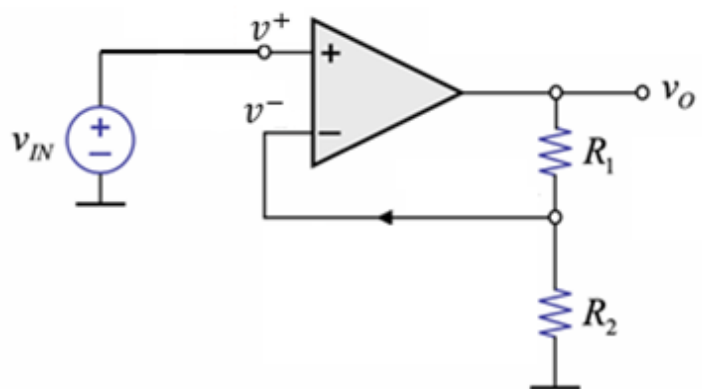


未构成环路

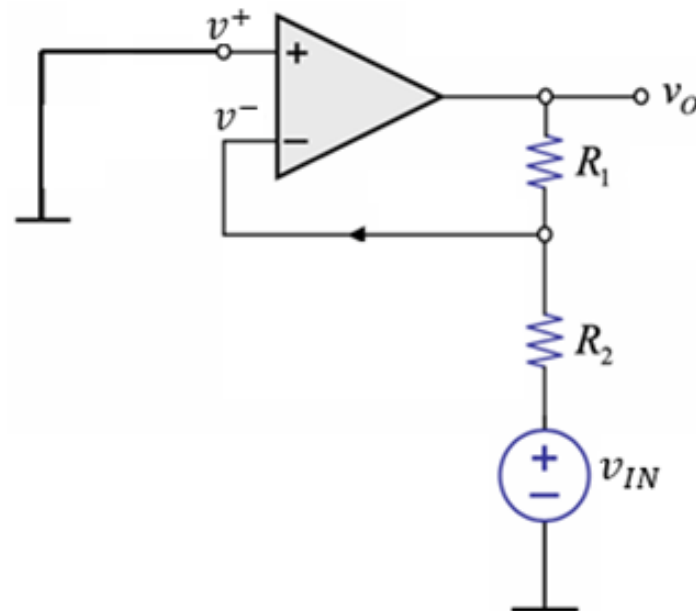


简单运放电路 (2/5)

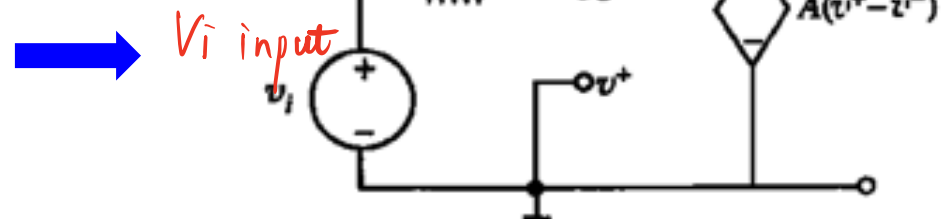
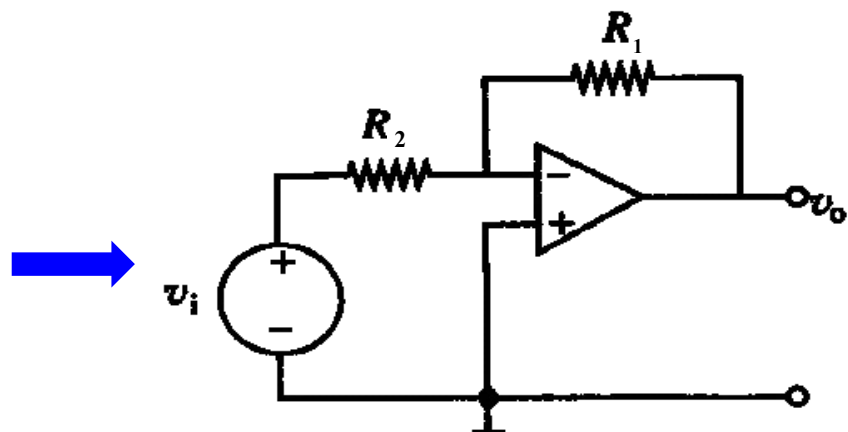
● 反相放大电路



同相放大电路



反相放大电路



简单运放电路 (3/5)

● 反相放大电路增益分析

● 画出等效电路

● 写出节点 v_o 、 v^+ 和 v^- 的KCL方程，并求出 v_o

虚短虚断可一起用

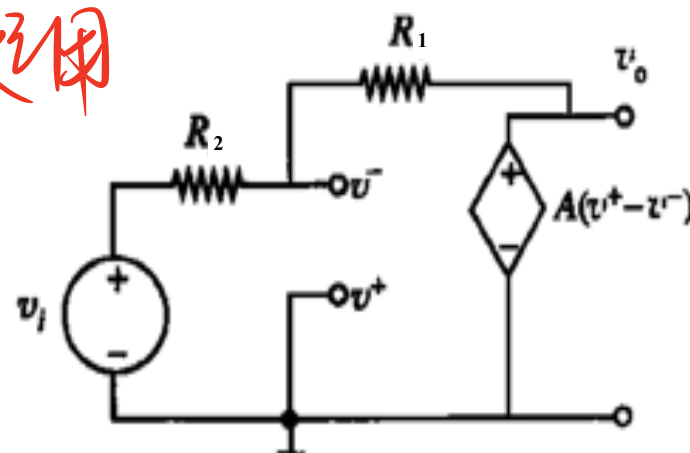
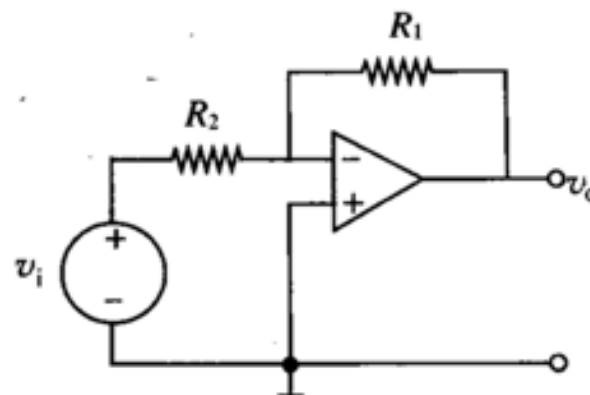
$$v_o = A(v^+ - v^-), v^+ = 0$$

$$\frac{v^- - v_i}{R_2} + \frac{v^- - v_o}{R_1} = 0$$

$$v_o = \frac{-AR_1/(R_2 + R_1)}{1 + AR_2/(R_2 + R_1)} v_i$$

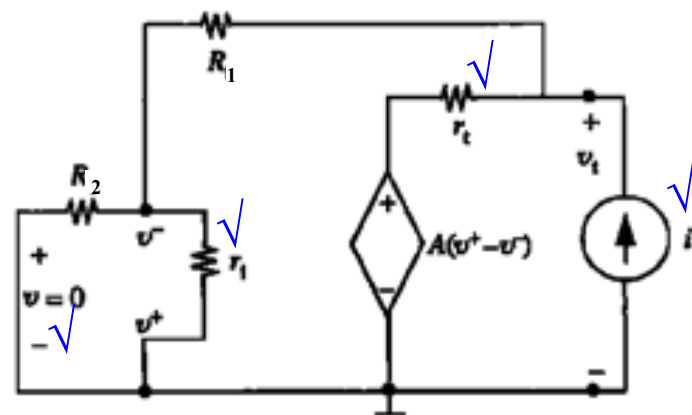
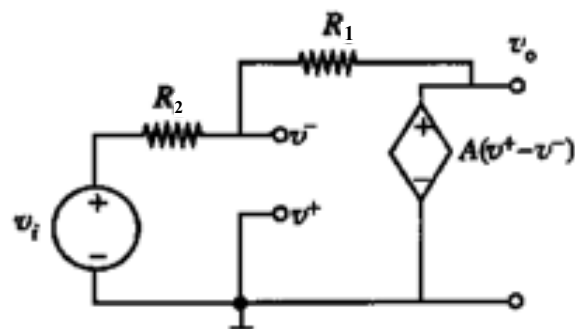
● 近似处理：当 A 很大时， $v_o \approx -\frac{R_1}{R_2} v_i$

● 结论：放大电路（闭环）增益 v_o/v_i 仅由外部电阻决定。



简单运放电路 (4/5)

● 反相放大电路输出电阻



- 画出对输出端加流求压的等效电路
- 写出节点 v_t 、 v^+ 和 v^- 的电压或KCL方程，并求出 $R_o = v_t / i_t$

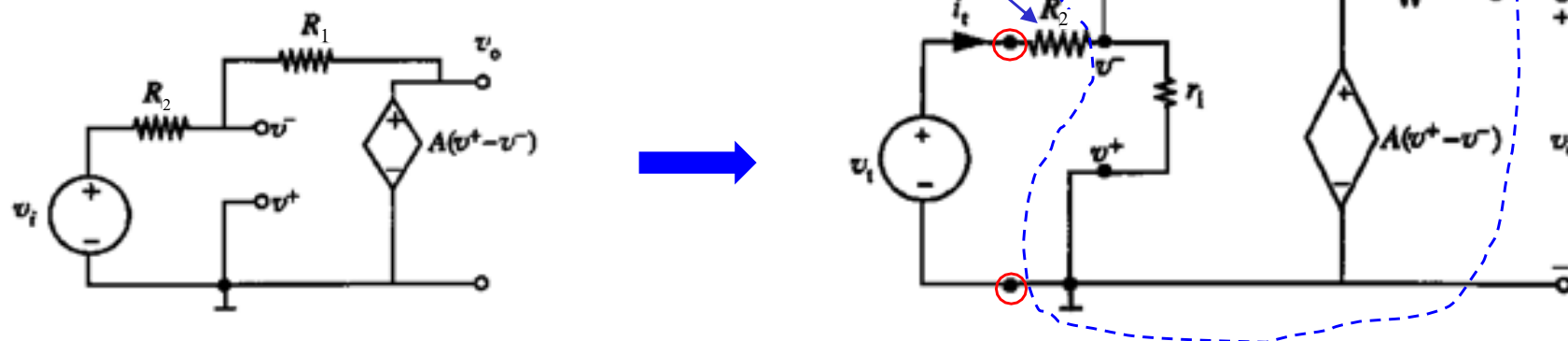
$$i_t + [A(v^+ - v^-) - v_t]g_t + (v^- - v_t)G_1 = 0$$

$$v^+ = 0, \quad v^-(G_2 + g_i) + (v^- - v_t)G_1 = 0$$

- 当 A 很大时, $R_o = \frac{v_t}{i_t} \approx \frac{r_t}{1 + A \frac{R_2}{R_2 + R_1}} \rightarrow R_o \ll r_t$

简单运放电路 (5/5)

● 反相放大电路输入电阻



- 画出对输入端加压求流的等效电路
- 写出输入节点(v^-)和 v^+ 的电压或KCL方程，并求出 $R_i = v_t / i_t$

v^- 节点

$$i_t - v_t g_i - (v_t - A(v^+ - v^-)) \left(\frac{G_1 g_t}{G_1 + g_t} \right) = 0$$

$$v^- = v_t, \quad v^+ = 0$$

- 当 A 很大时, $R_i = \frac{v_t}{i_t} + R_2 \approx \frac{R_1 + r_t}{A} + R_2 \rightarrow R_i \ll r_i$

负反馈

- 内容

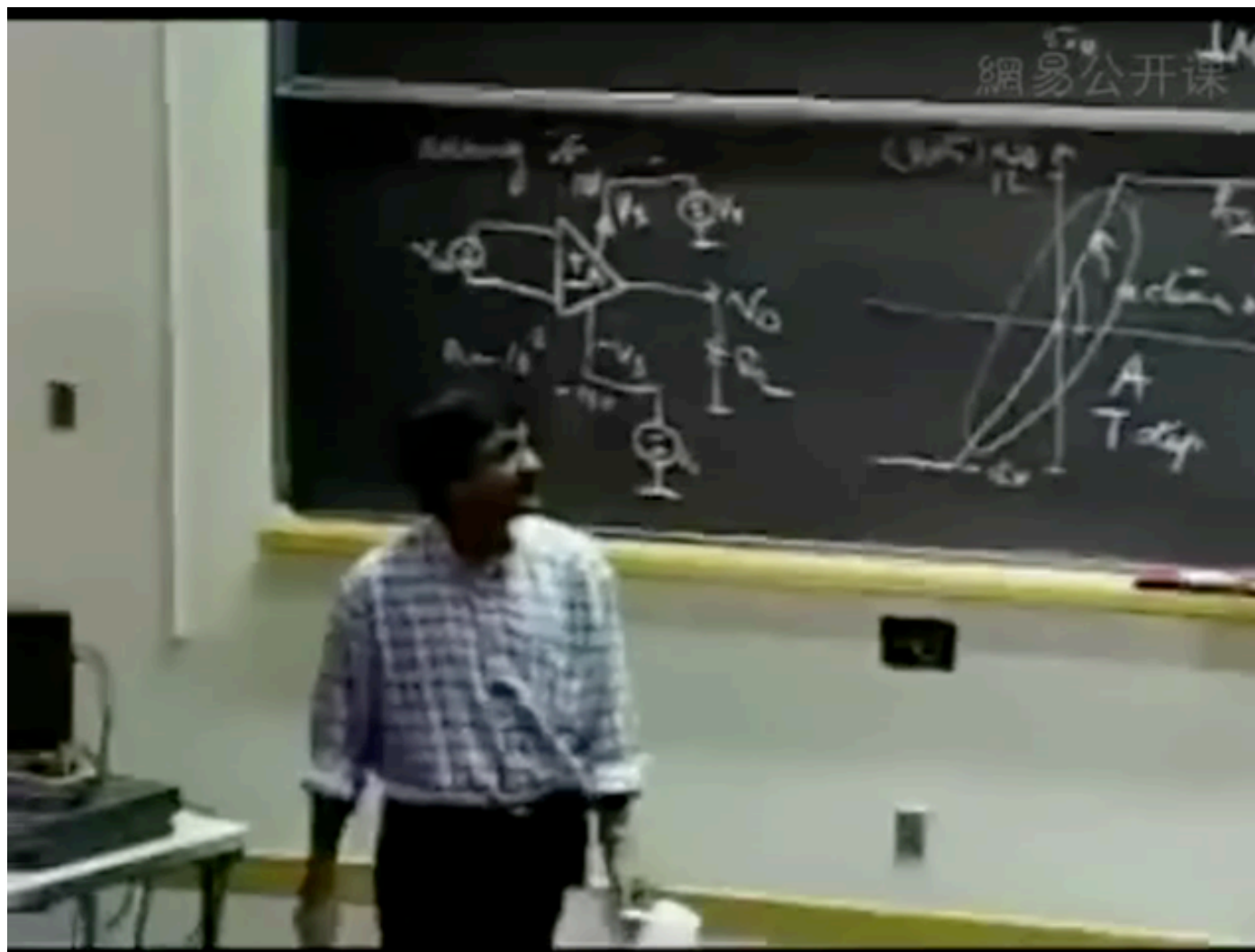
负反馈的概念和作用

- 目标

解释负反馈对放大电路性能的影响。

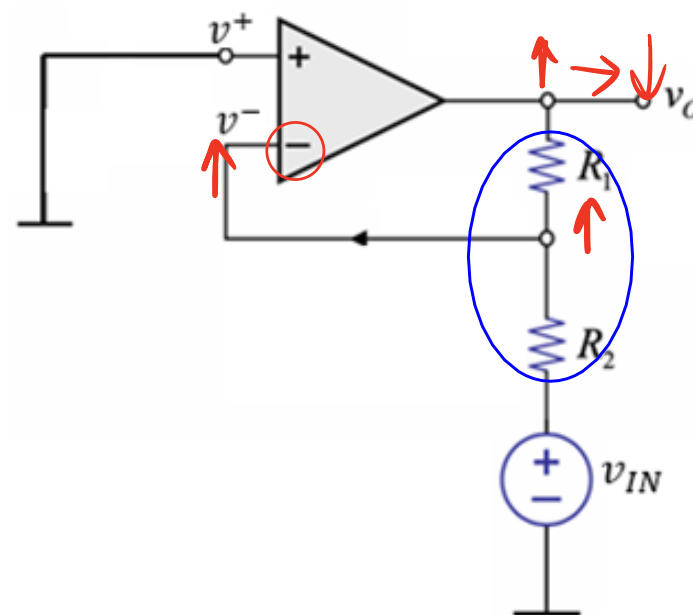
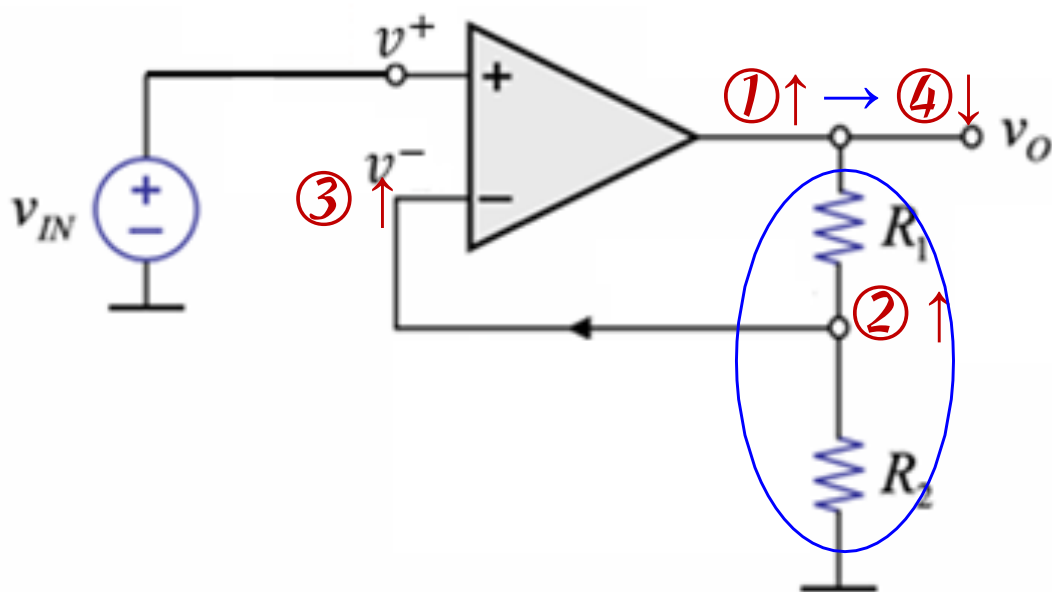
负反馈 (1/4)

- 仅用运算放大器构成的放大电路工作很不稳定



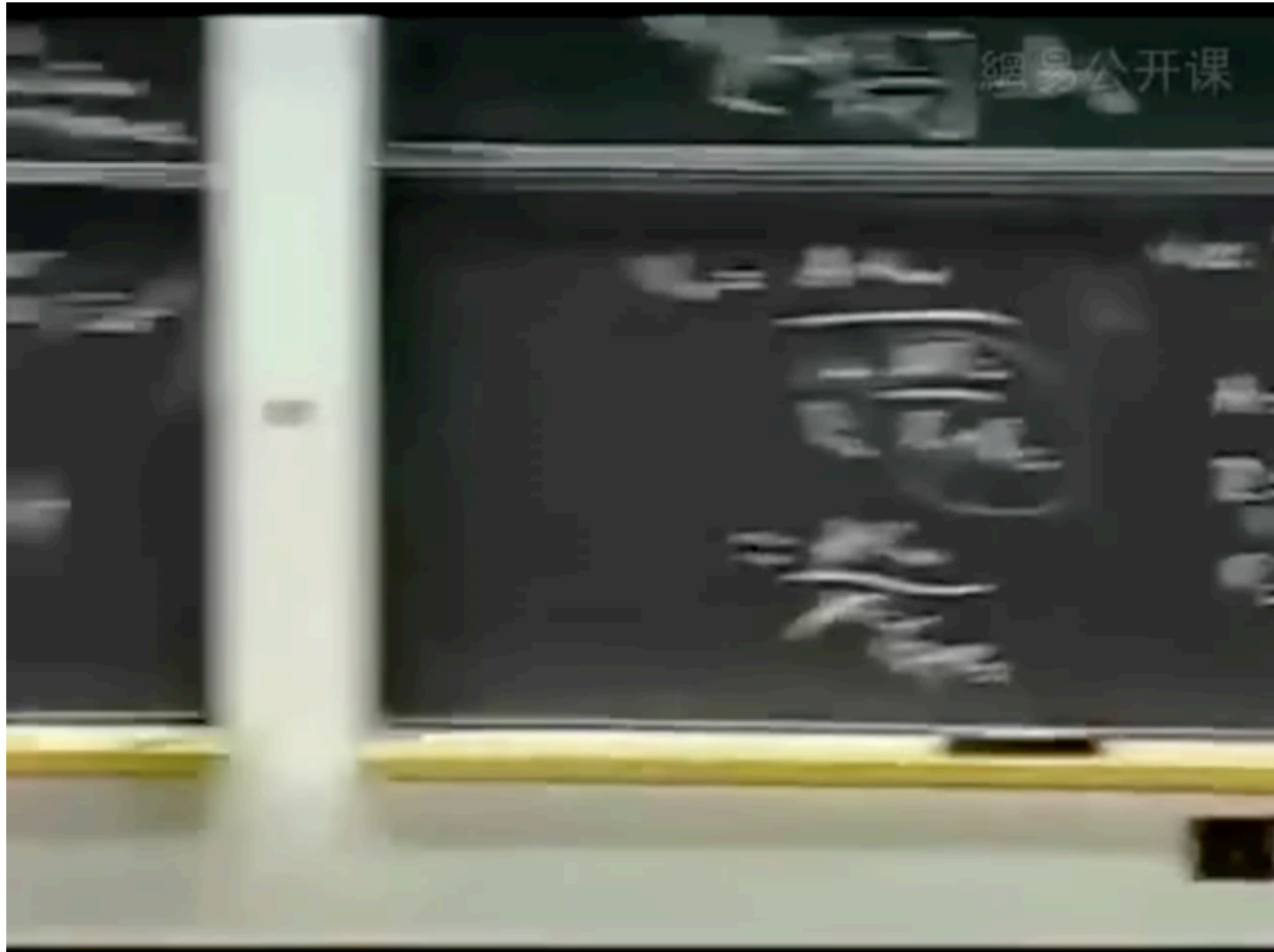
负反馈 (2/4)

- 反馈、正反馈、负反馈
- 负反馈工作过程



- 同相放大电路输出 $v_O \approx \frac{R_1 + R_2}{R_2} v_{IN}$
- 反相放大电路输出 $v_O \approx -\frac{R_1}{R_2} v_{IN}$

负反馈 (3/4)

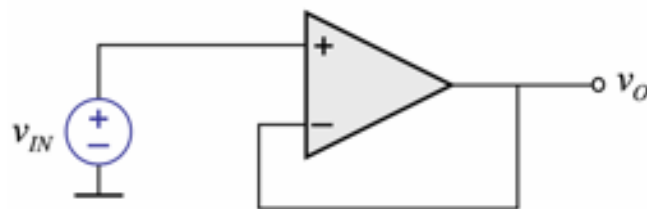


负反馈 (4/4)

- 负反馈改善了电路的性能

- 工作稳定
- 改变输入输出阻抗
- 增加带宽
- 等等

- 电压跟随器 $v_O = ?$ V_{IN}



- 为什么增益为1? 请别用公式回答!
- 为什么可用作负载隔离, 即输入电阻很大且输出电阻很小? 请别用公式回答!

小结

- 运放模型

 - 4端口器件

 - 虚断：流入输入端的电流近似为零

 - 虚短：输入端之间的电压近似为零

- 简单运放电路

 - 同相放大器

 - 反相放大器

- 负反馈：对放大器性能影响很大

 - 稳定工作点

 - 增加输入电阻、减少输出电阻，电压跟随器

- 测验