

# 请扫码登记

无线网名称：B3A06， 无线网密码：beihang41





核心专业课  
B3I493220

# 微电子器件实验

彭守仲

北京航空航天大学 集成电路学院

第一馆203办公室 [shouzhong.peng@buaa.edu.cn](mailto:shouzhong.peng@buaa.edu.cn)

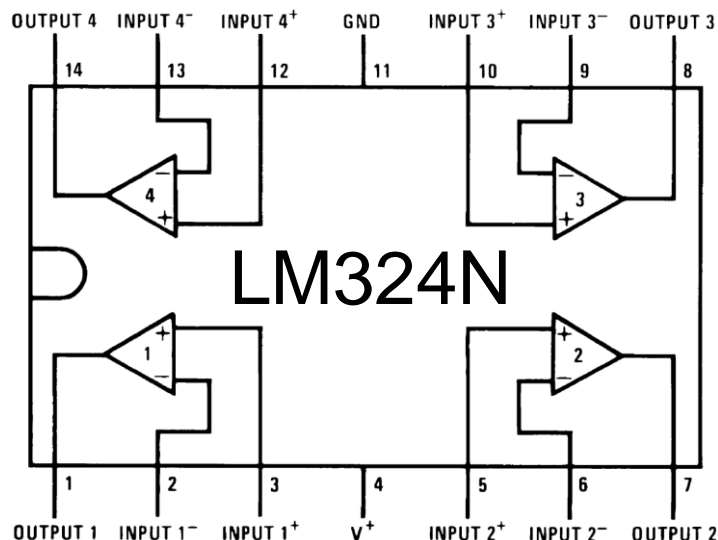
2020年12月23日

# 回顾：电压比较器



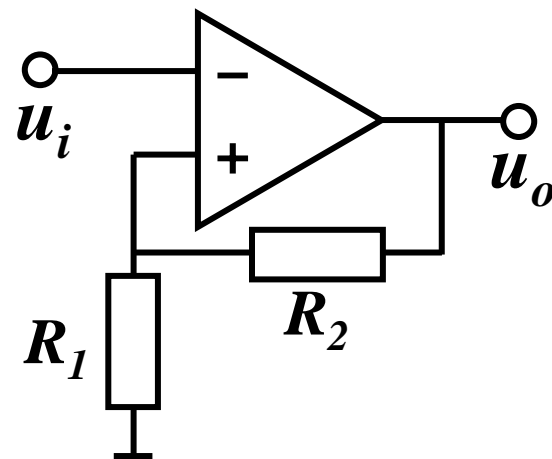
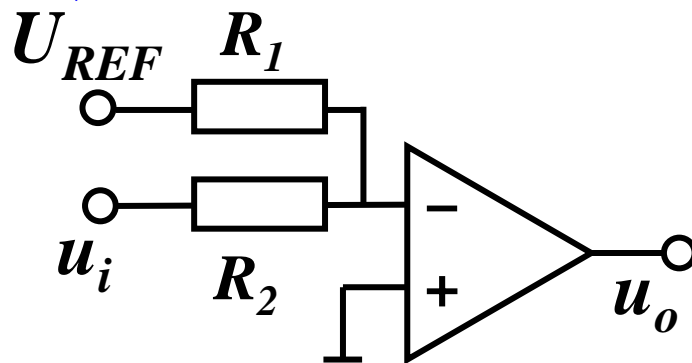
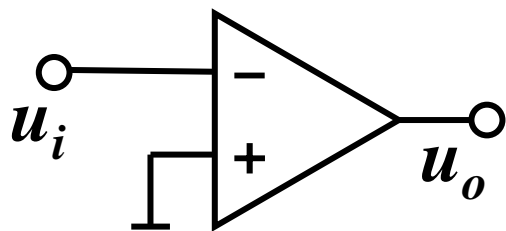
## ■ 测试电压比较器

- ①过零比较器( $u_o = \pm 5V$ )
- ②一般单限比较器( $U_T = -2V$ )
- ③滞回比较器(回差电压 $\Delta U = 5V$ )
- ④加了参考电压的滞回比较器  
( $U_{T1} = -1.5V$ ,  $U_{T2} = 3.5V$ )



输入三角波，用示波器的两个通道同时测量

输入和输出信号并拍照，检查电路④



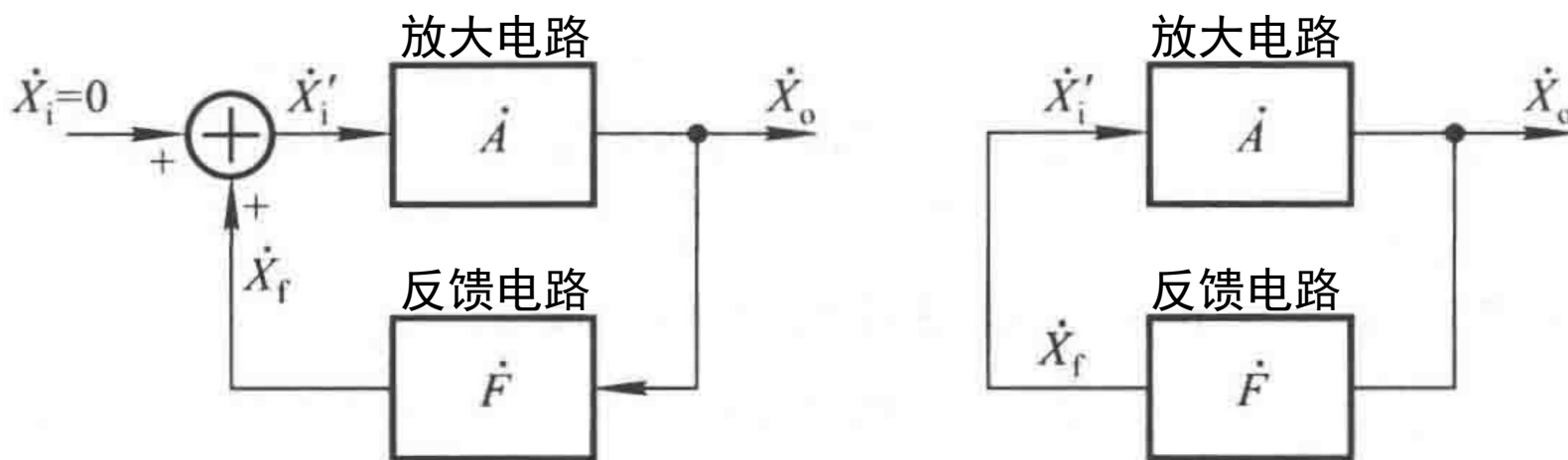
# 正弦波振荡电路



## ■ 正弦波振荡电路

- 在没有外加输入信号的情况下，依靠电路自激振荡产生正弦波输出电压
- 被广泛用于测量、遥控、通信、自动控制、热处理等加工设备之中，也作为模拟电子电路的测试信号
- 显著特征：引入正反馈以满足振荡条件，外加选频网络使振荡频率可控

$$X_o \uparrow \rightarrow X_f \uparrow (X'_i \uparrow) \rightarrow X_o \uparrow \uparrow$$



# 正弦波振荡电路



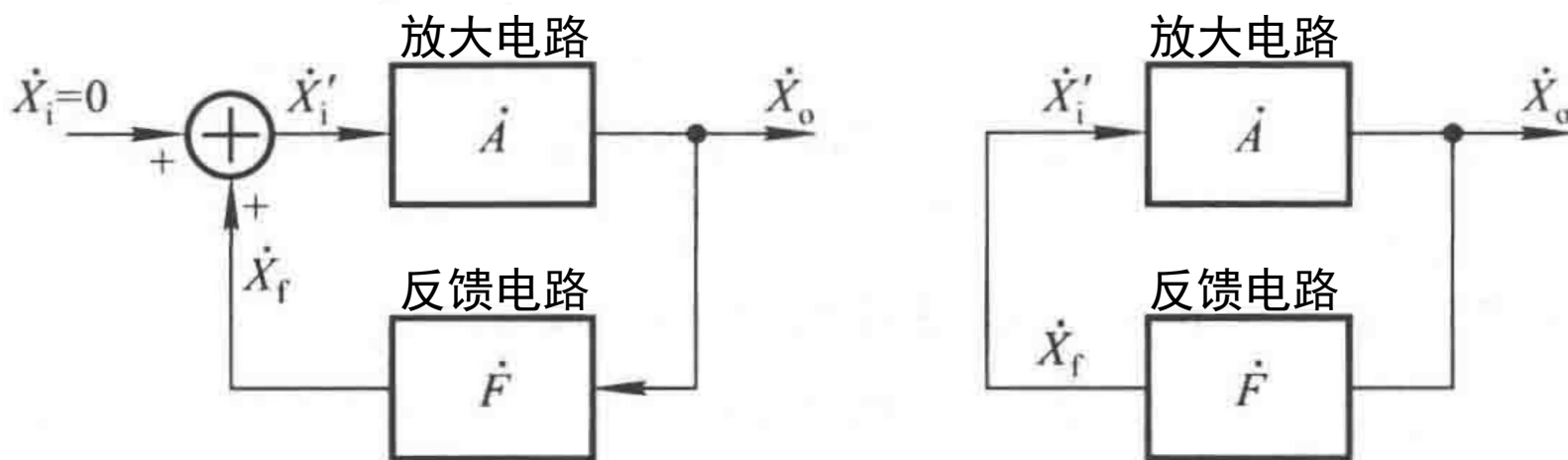
## ■ 振荡电路的平衡条件

- 当 $X_o$ 增大到一定数值时，由于晶体管的非线性特性和电源电压的限制，放大电路的放大倍数减小，最终 $X_o$ 幅值保持稳定，电路达到动态平衡
- 把频率 $f=f_0$ 以外的输出量逐渐衰减为零，因此输出量为 $f=f_0$ 的正弦波

动态平衡： $\dot{X}_o = \dot{A}\dot{X}_f = \dot{A}\dot{F}\dot{X}_o$

平衡条件： $\dot{A}\dot{F} = 1 \rightarrow \begin{cases} |\dot{A}\dot{F}| = 1 \\ \varphi_A + \varphi_F = 2n\pi \quad (n \text{ 为整数}) \end{cases}$

起振条件： $|\dot{A}\dot{F}| > 1$

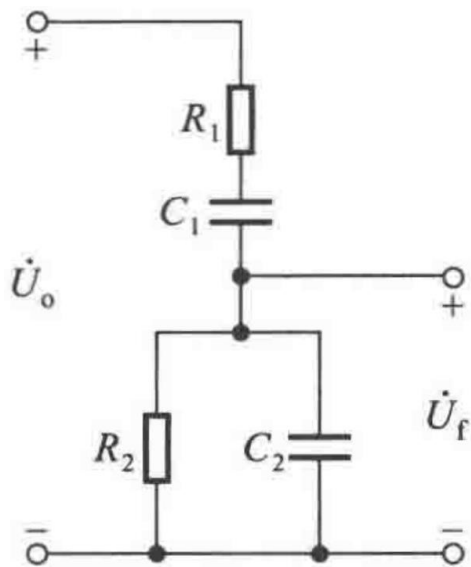


# 正弦波振荡电路



## ■ RC正弦波振荡电路

- 分类：RC正弦波振荡电路、LC正弦波振荡电路、石英晶体正弦波振荡电路
- RC桥式正弦波振荡电路（文氏桥振荡电路）



$$\dot{F} = \frac{\dot{U}_f}{\dot{U}_o} = \frac{R \parallel \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C} + R \parallel \frac{1}{j\omega C}}$$

$$\dot{F} = \frac{1}{3 + j\left(\omega RC - \frac{1}{\omega RC}\right)}$$

$$\text{令 } \omega_0 = \frac{1}{RC} \text{ 即 } f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \text{ 则 } \dot{F} = \frac{1}{3 + j\left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)}$$

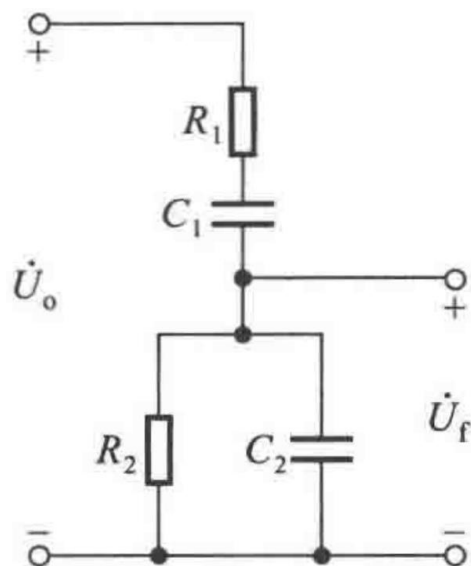
$$\text{即 } |\dot{F}| = \frac{1}{\sqrt{3^2 + \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)^2}} \quad \varphi_F = -\arctan \frac{1}{3} \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)$$

# 正弦波振荡电路



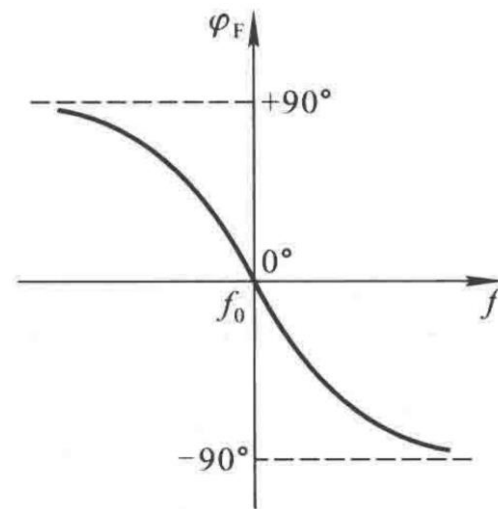
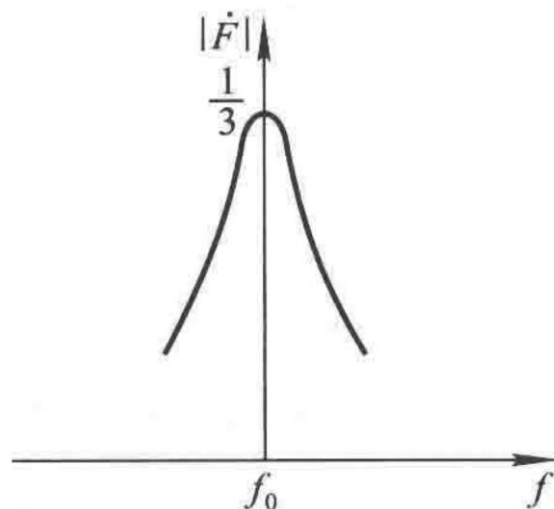
## RC正弦波振荡电路

- 分类：RC正弦波振荡电路、LC正弦波振荡电路、石英晶体正弦波振荡电路
- RC桥式正弦波振荡电路（文氏桥振荡电路）



$$\text{令 } \omega_0 = \frac{1}{RC} \text{ 即 } f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \text{ 则 } \dot{F} = \frac{1}{3 + j\left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)}$$

$$\text{即 } |\dot{F}| = \frac{1}{\sqrt{3^2 + \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)^2}} \quad \varphi_F = -\arctan \frac{1}{3}\left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)$$

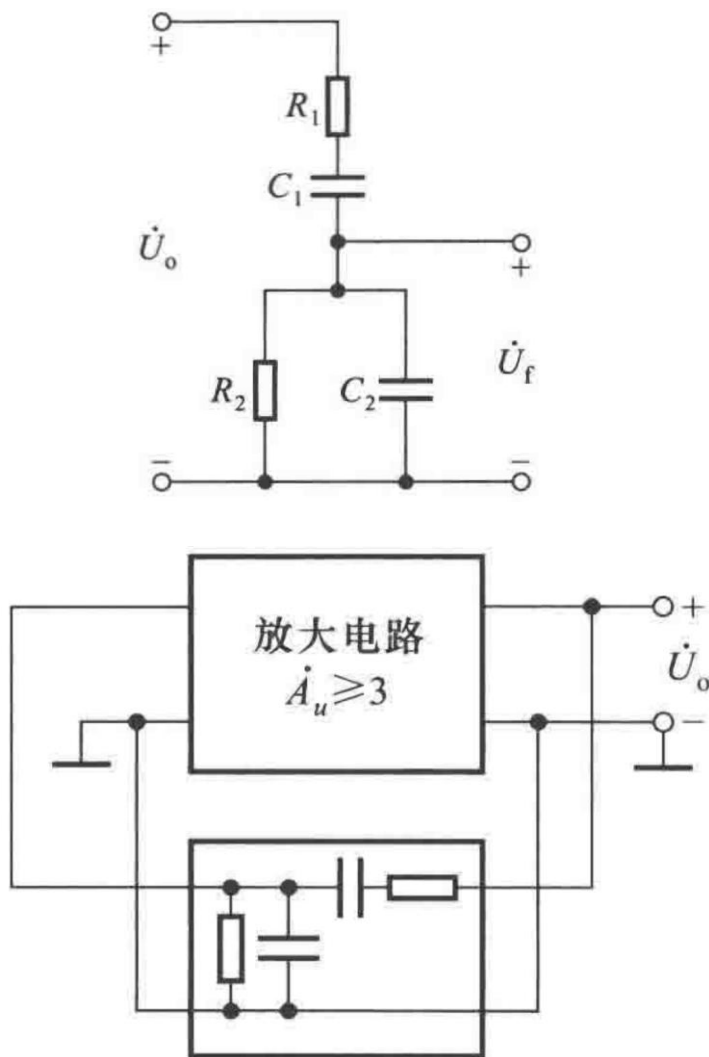




# 正弦波振荡电路



## RC正弦波振荡电路



起振条件:  $|\dot{A}\dot{F}| > 1$

当  $f = f_0$  时,  $\dot{F} = \frac{1}{3}$ , 所以:  $\dot{A} = \dot{A}_u \geq 3$

所以:  $\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_p} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \geq 3$

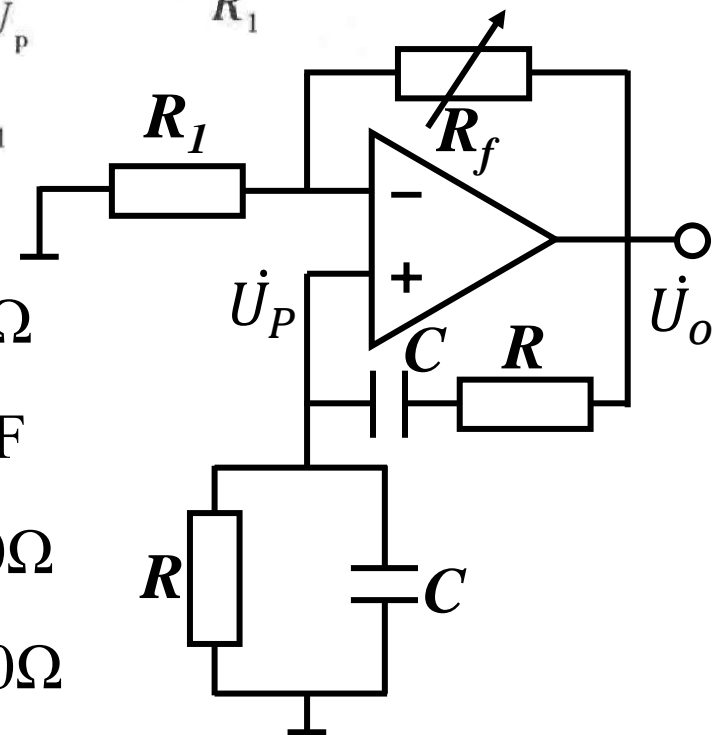
即:  $R_f \geq 2R_1$

$$R = 100\Omega$$

$$C = 10\mu\text{F}$$

$$R_1 = 100\Omega$$

$$R_f \geq 200\Omega$$





# 波形发生器



## ■ 波形发生器

- 波形发生器是利用非线性电路将一种形状的波形变为另一种波形
- 正弦波 -> 方波 -> 三角波

RC桥式正弦波  
振荡电路

正弦波

方波

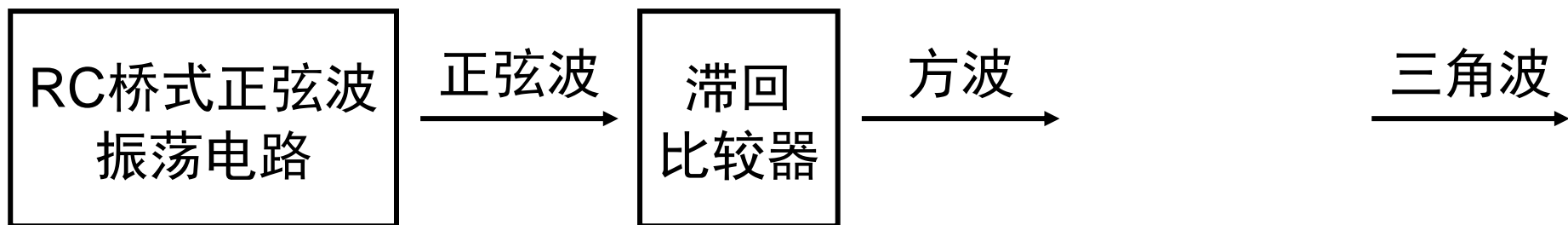
三角波

# 波形发生器



## ■ 波形发生器

- 波形发生器是利用非线性电路将一种形状的波形变为另一种波形
- 正弦波 -> 方波 -> 三角波

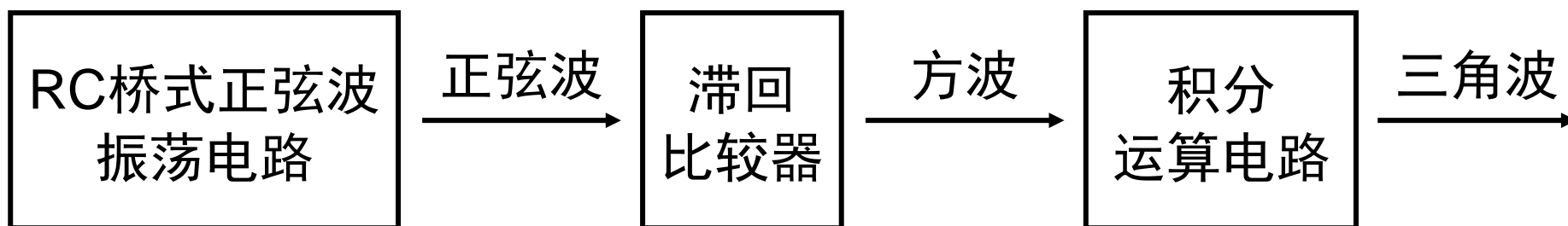


# 波形发生器



## ■ 波形发生器

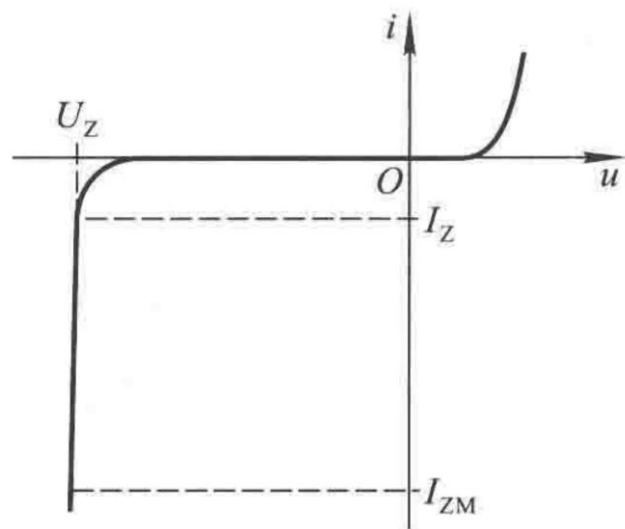
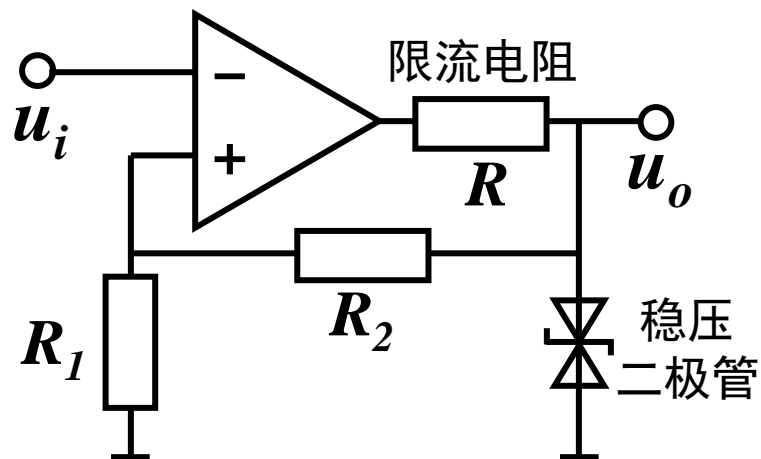
- 波形发生器是利用非线性电路将一种形状的波形变为另一种波形
- 正弦波 -> 方波 -> 三角波



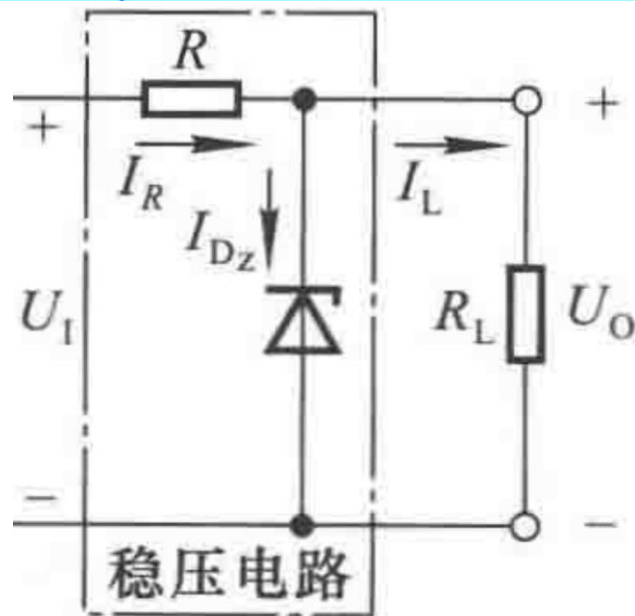
# 波形发生器



## 带稳压管的滞回比较器



稳压二极管的伏安特性曲线



有：  $U_1 = U_R + U_O$

$I_R = I_{DZ} + I_L$

$U_1 \uparrow \rightarrow U_O (U_Z) \uparrow \rightarrow I_{DZ} \uparrow \rightarrow I_R \uparrow \rightarrow U_R \uparrow$   
 $U_O \downarrow \leftarrow$

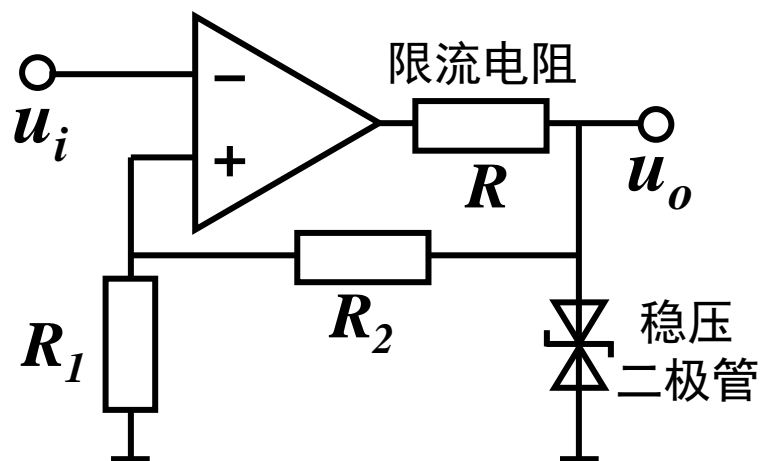
要求：  $I_Z \leq I_{DZ} \leq I_{ZM}$

(选择合适的限流电阻)

# 波形发生器



## 带稳压管的滞回比较器

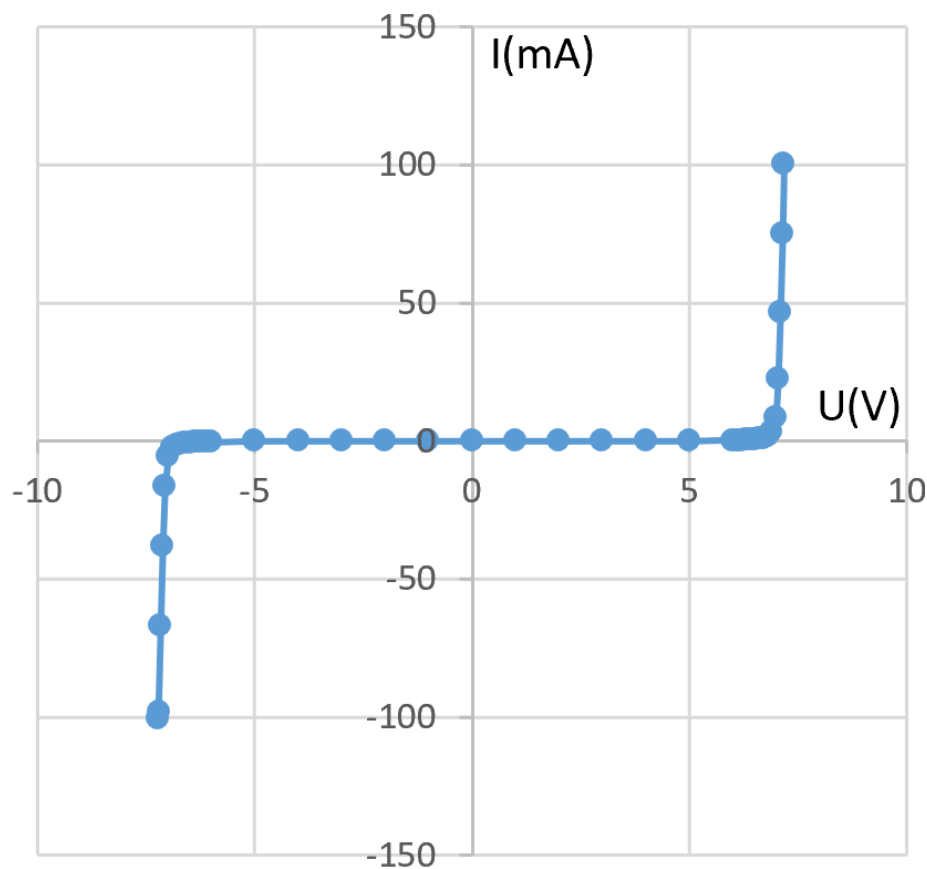


$$R=50\Omega$$

$$R_1=1\text{k}\Omega$$

$$R_2=1\text{k}\Omega$$

运放电源： $\pm 10\text{V}$

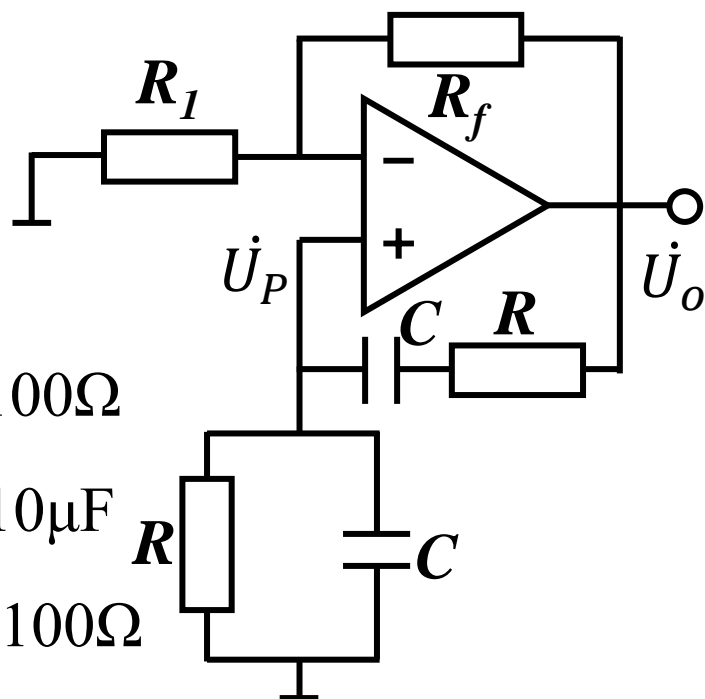


稳压二极管的伏安特性曲线

# 波形发生器



## RC桥式正弦波振荡电路



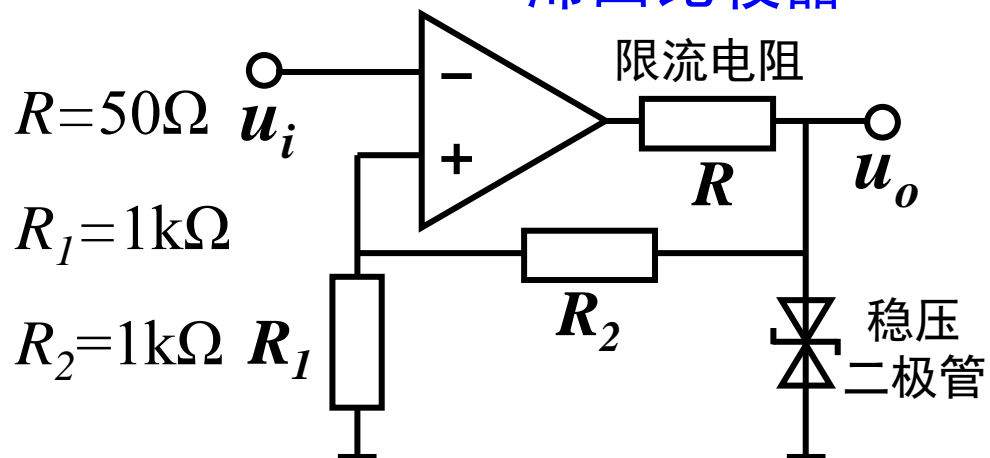
$$R = 100\Omega$$

$$C = 10\mu\text{F}$$

$$R_1 = 100\Omega$$

$$R_f \geq 200\Omega$$

## 滞回比较器

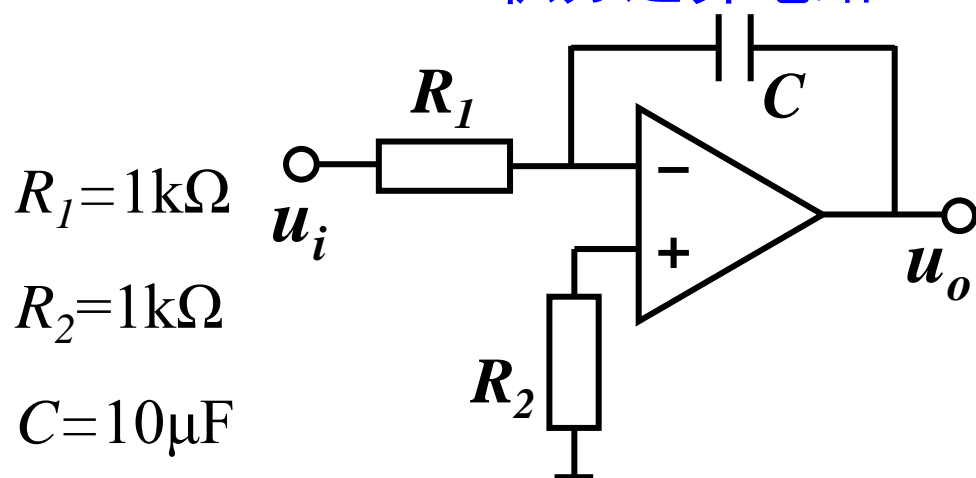


$$R = 50\Omega$$

$$R_1 = 1\text{k}\Omega$$

$$R_2 = 1\text{k}\Omega$$

## 积分运算电路



$$R_1 = 1\text{k}\Omega$$

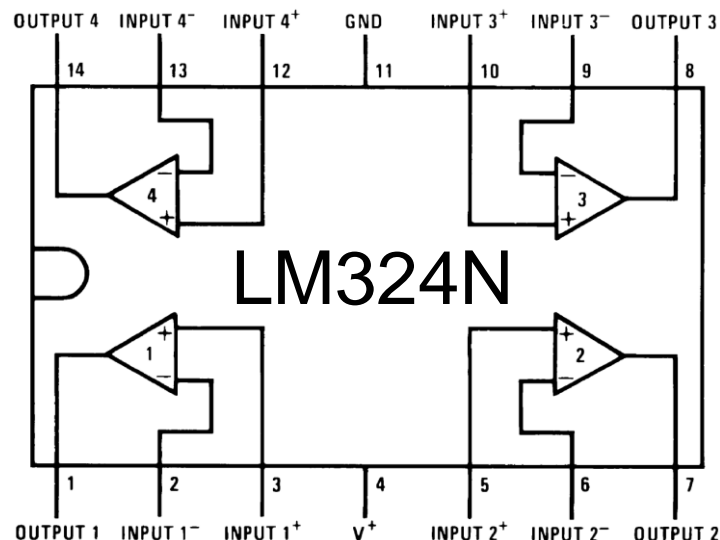
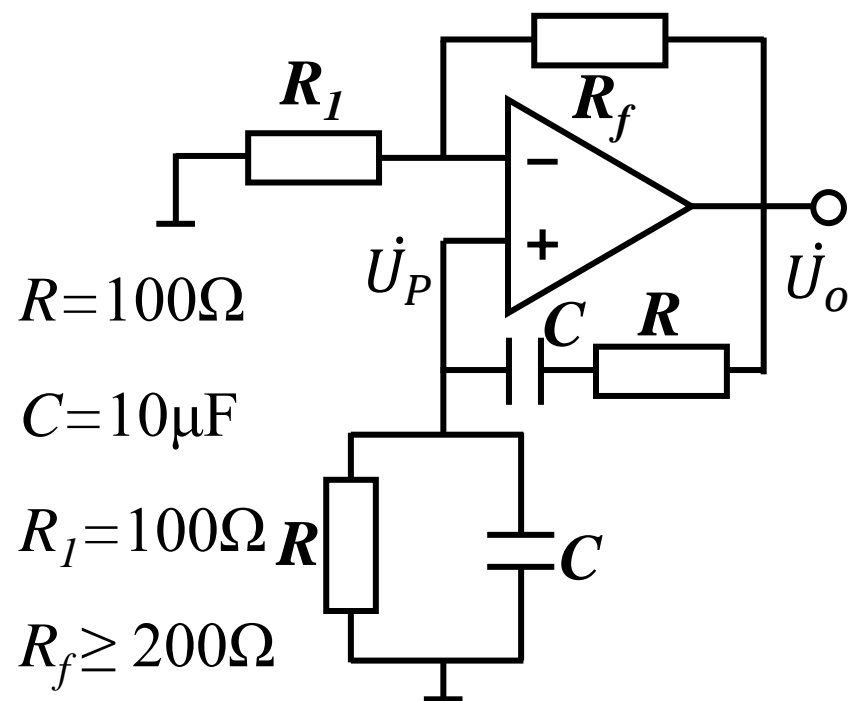
$$R_2 = 1\text{k}\Omega$$

$$C = 10\mu\text{F}$$

# 步骤1：RC桥式正弦波振荡电路

## ■ 测试正弦波振荡电路

搭建RC桥式正弦波振荡电路，  
测量得到正弦波



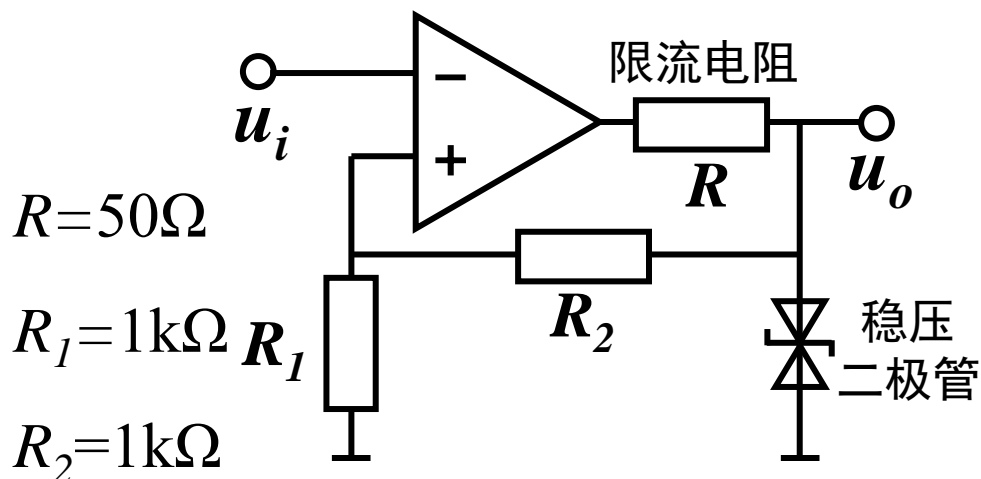
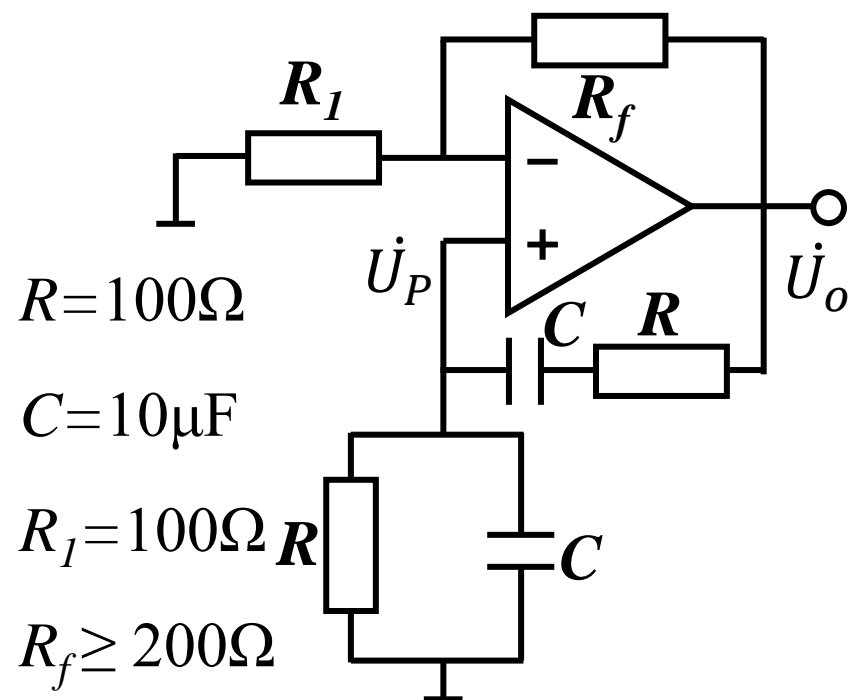
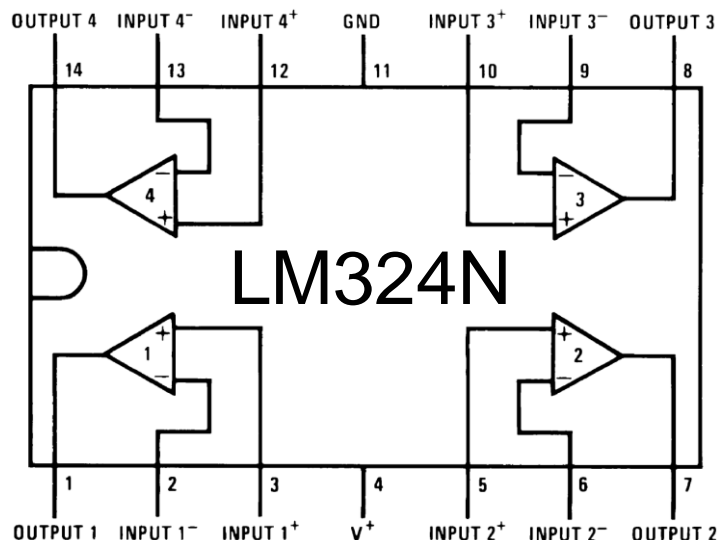


# 步骤2：波形发生器



## 从正弦波到方波

搭建RC桥式正弦波振荡电路和  
滞回比较器，测量得到正弦波和  
方波（检查2个输出信号）

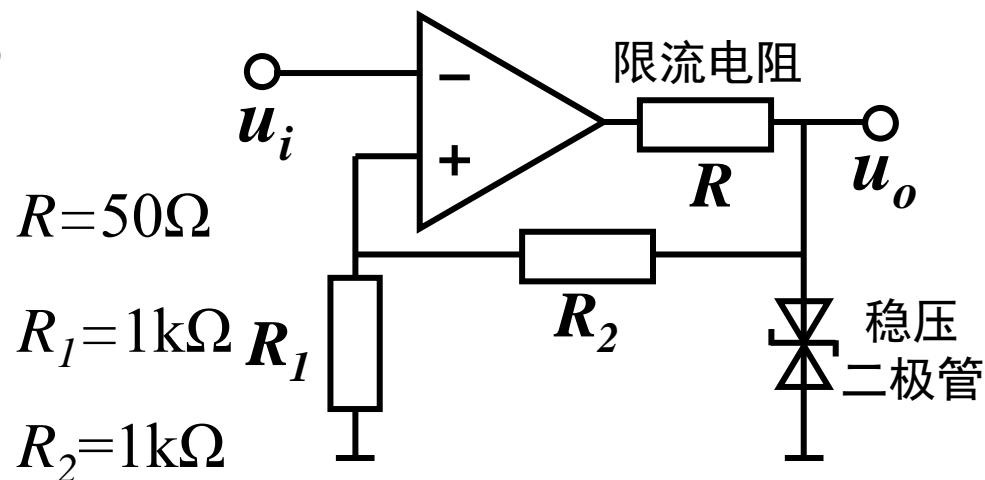
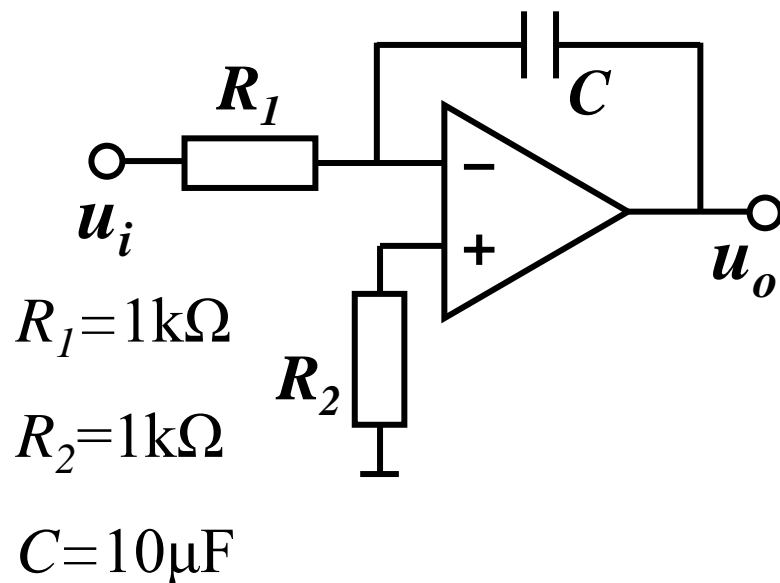
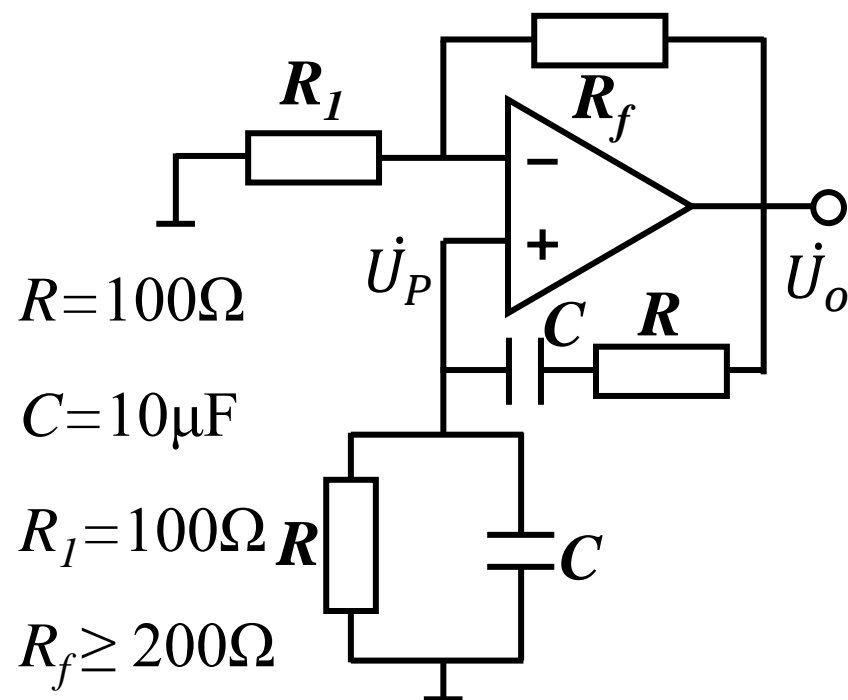


# 步骤3：波形发生器（选做）



## ■ 从方波到三角波（选做）

搭建RC桥式正弦波振荡电路、  
滞回比较器和积分电路，测量  
得到正弦波、方波和三角波



# 课后思考



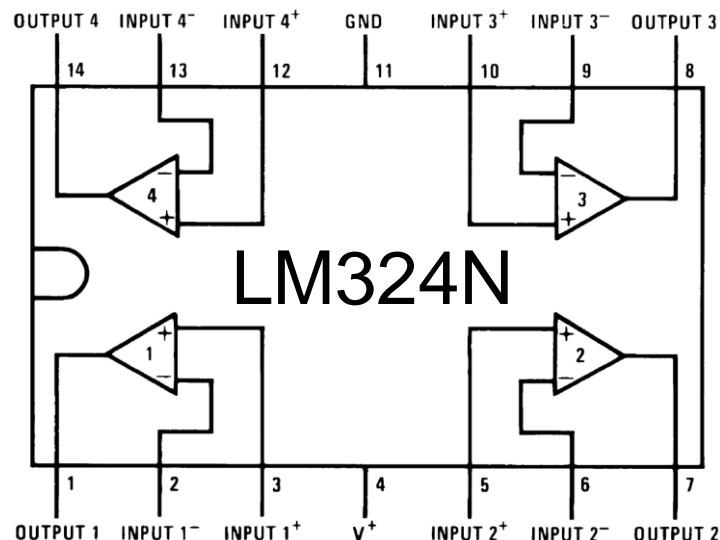
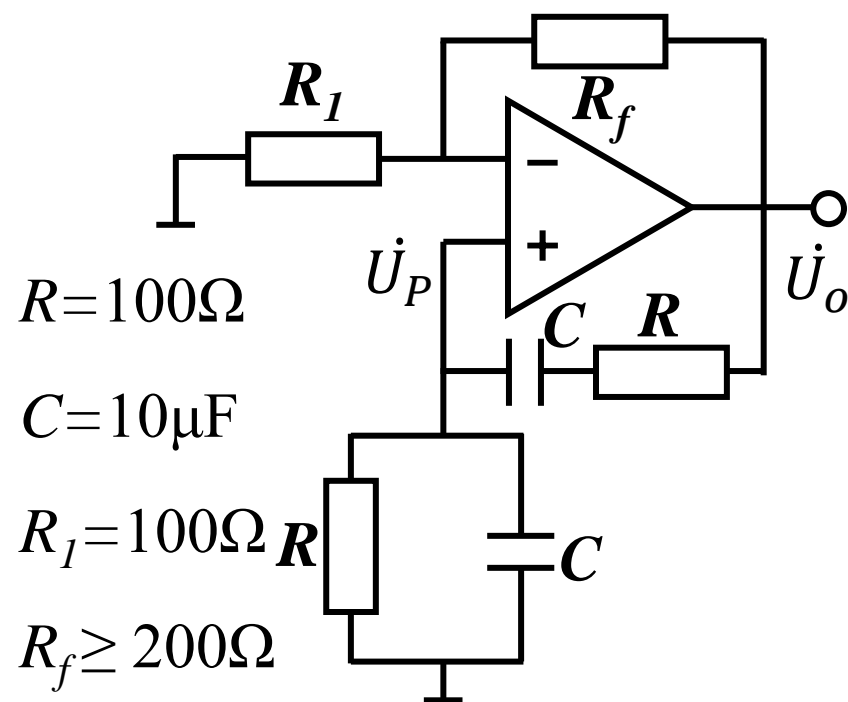
## ■ 课后思考

1. 回顾前几节课学到的内容，通过电压比较器得到方波后，如何得到三角波？
2. 设计一个简单的报警器，当输入电压超过3V时将LED灯点亮进行报警。
3. 如何选择限流电阻的阻值？
4. 给出波形发生器中3个电路的输入输出电压公式并计算输入输出电压的具体数值，与实验结果对比。

# 步骤1：RC桥式正弦波振荡电路

## ■ 测试正弦波振荡电路

搭建RC桥式正弦波振荡电路，  
测量得到正弦波

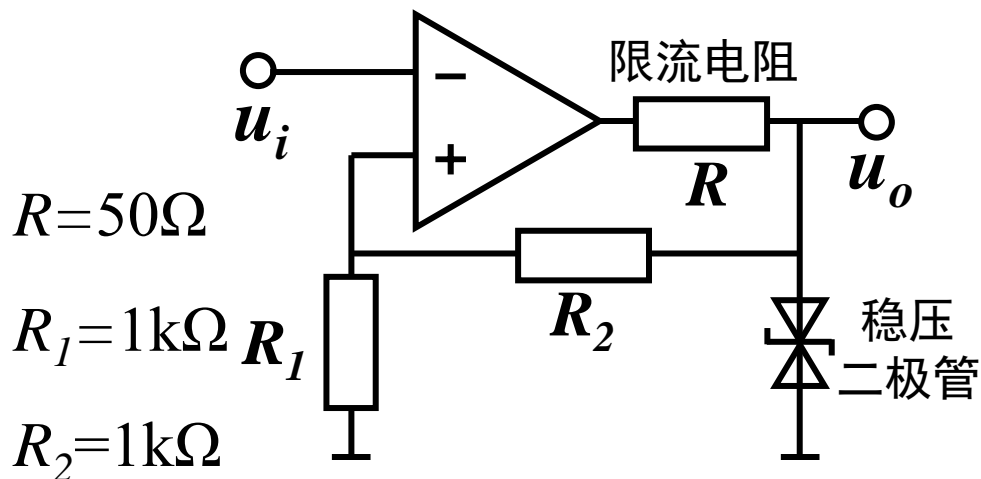
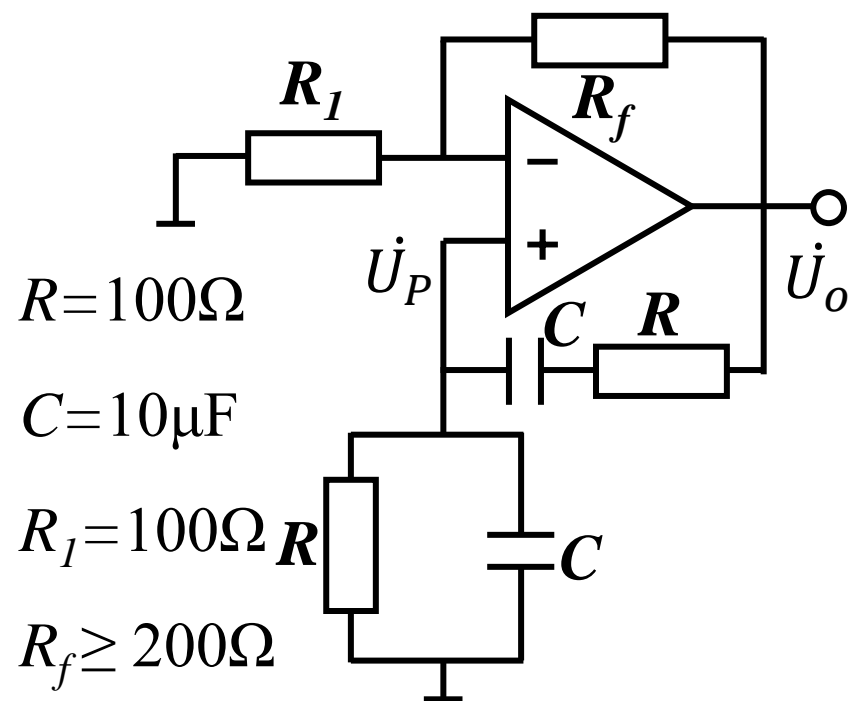
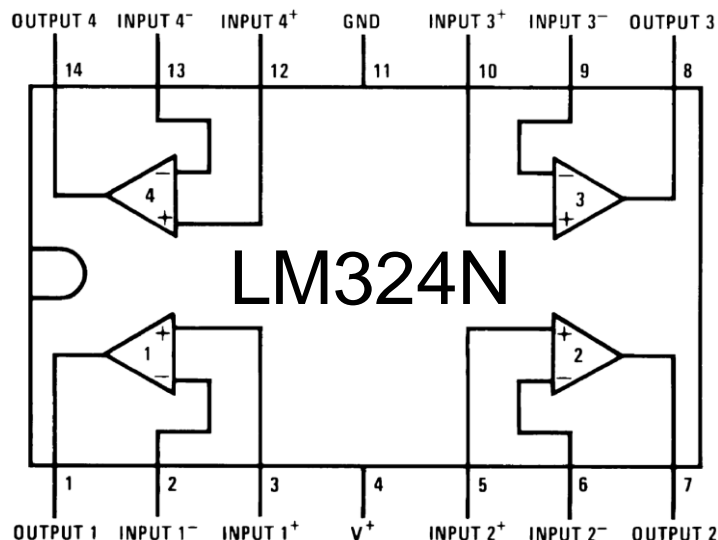


# 步骤2：波形发生器



## 从正弦波到方波

搭建RC桥式正弦波振荡电路和  
滞回比较器，测量得到正弦波和  
方波（检查2个输出信号）

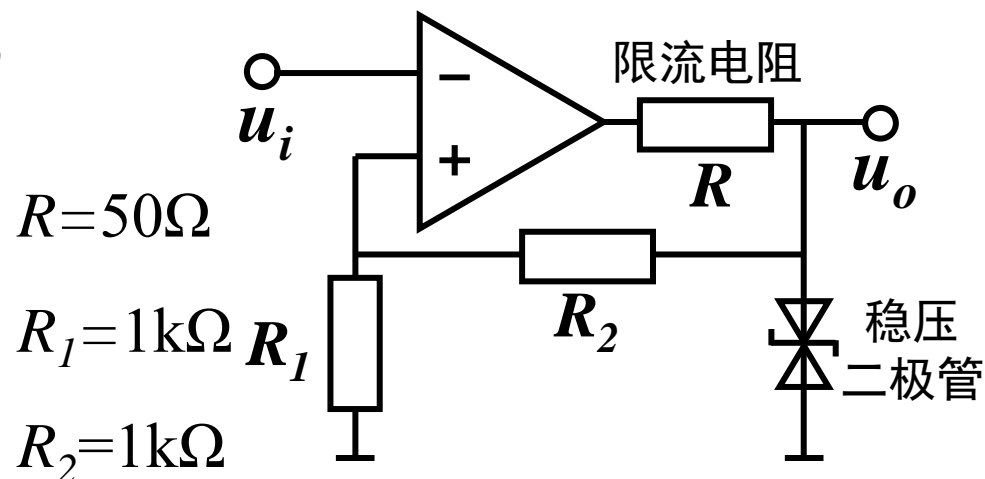
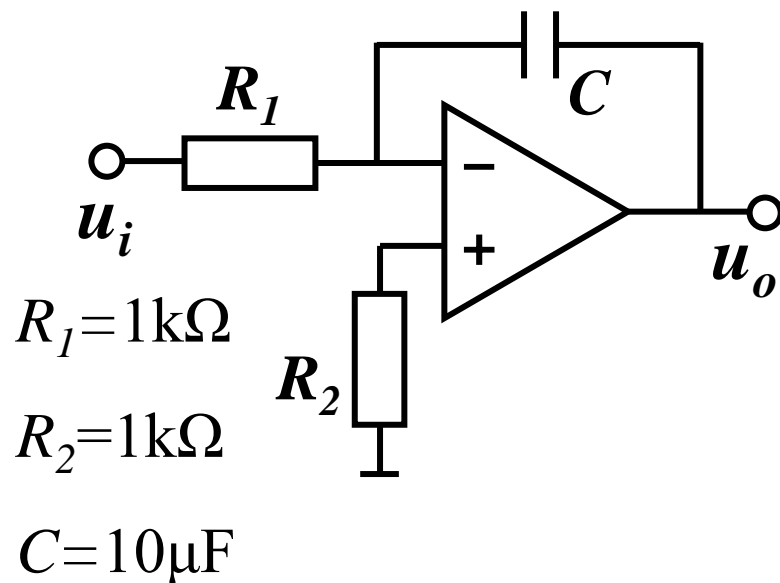
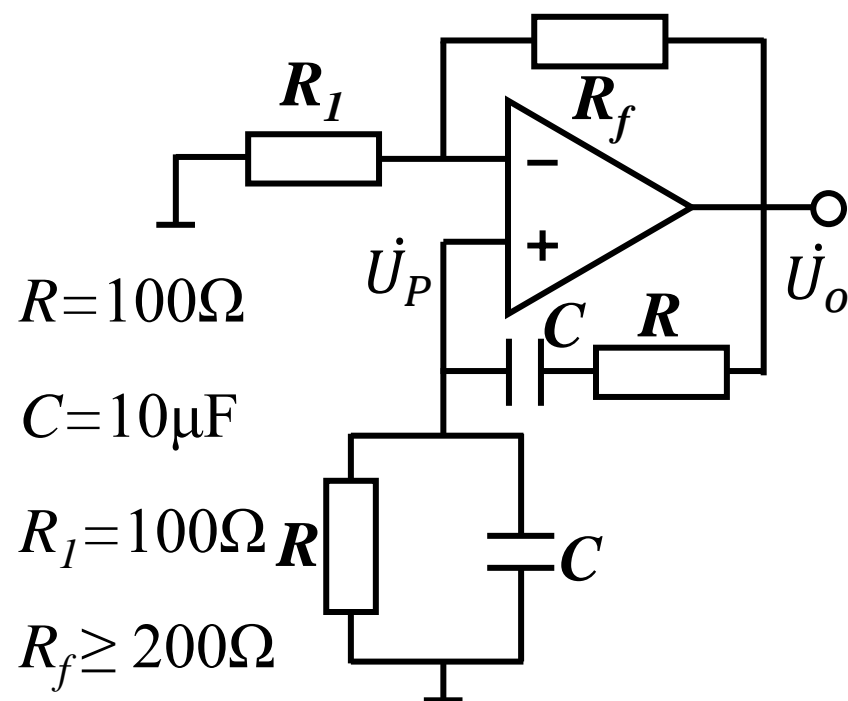


# 步骤3：波形发生器（选做）



## ■ 从方波到三角波（选做）

搭建RC桥式正弦波振荡电路、  
滞回比较器和积分电路，测量  
得到正弦波、方波和三角波



谢谢！