



电压比较器及三角波发生电路

赵 昆

长安大学 电工电子实验教学中心



AIM

目的

本节课主要目的

- 1.掌握运用集成运放产生信号波形的原理和方法
- 2.观察过零比较器、滞回比较器并计算相关参数
- 3.观察方波、三角波幅值和频率的受控因素



CONTENTS

内容

主要内容

- 01 同相过零比较器
- 02 同相滞回比较器
- 03 三角波发生器
- 04 实验内容及注意事项



01 PART ONE

同相过零比较器

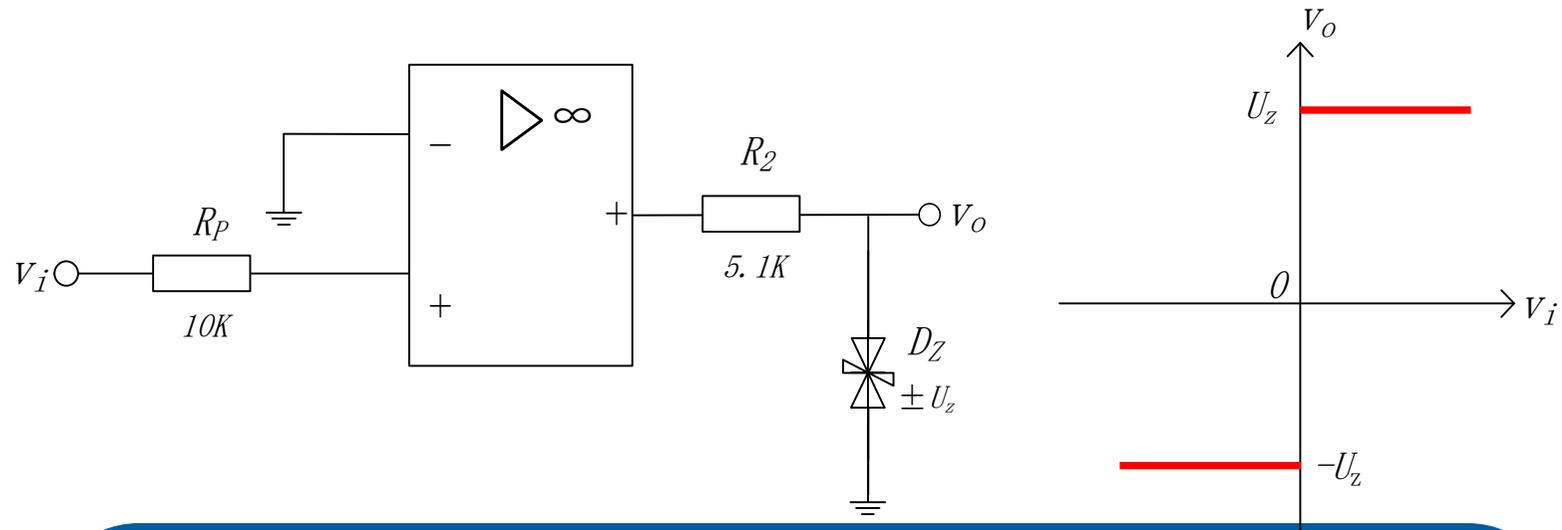
比较器简介

电子系统中经常遇到信号的比较，完成此功能的电路称为**比较器**。

电压比较器通过比较输入信号与参考电压的大小，来决定输出。
比较器输出信号只有两种状态：高电平或低电平。

输入信号与参考电压的相对大小发生变化时，输出电压产生跃变，由高电平变低电平，或由低电平变高电平。
可由此判断输入信号的大小和极性。

同相过零比较器



灵敏度高

易受干扰

同相过零比较器参考电压为0（反相端接地）。

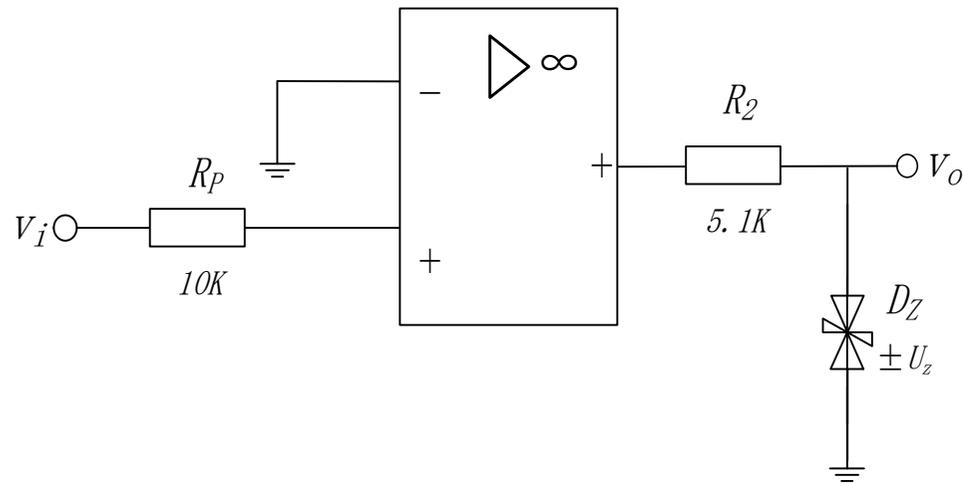
同相是指信号输入接运放的同相端。

门限电压：比较器跳变时对应的输入电压值。

同相过零比较器的门限电压为0。

在门限电压附近，输入电压的微小变化可使输出发生反复跳变。

因此过零比较器有灵敏度高、易受干扰的特点。



→1. 同相过零比较器实验操作内容

(1) 接入正弦信号，观察、记录输入输出波形

输入端 v_i 接 1k Hz、1 Vpp 的正弦波信号，观察、记录输入输出波形。

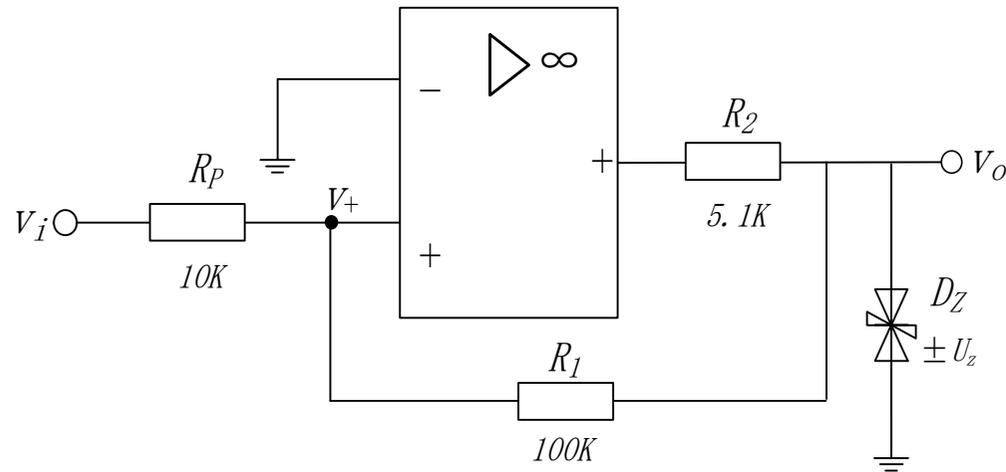
(2) 测量输出端限压电压 U_z 。



02 PART TWO

同相滞回比较器

同相滞回比较器——引入反馈

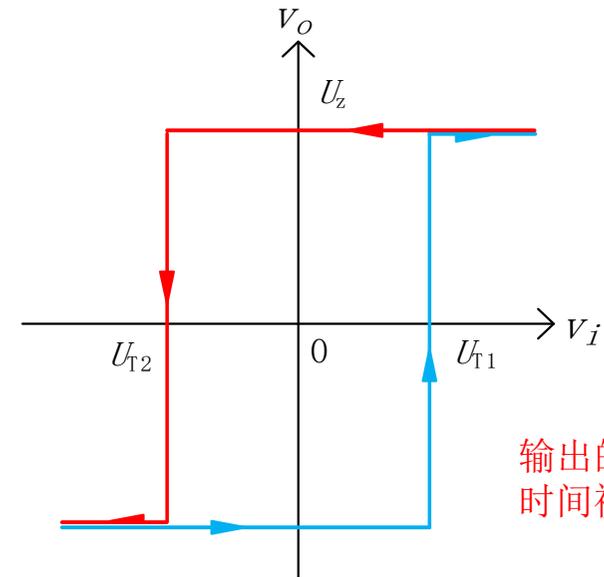
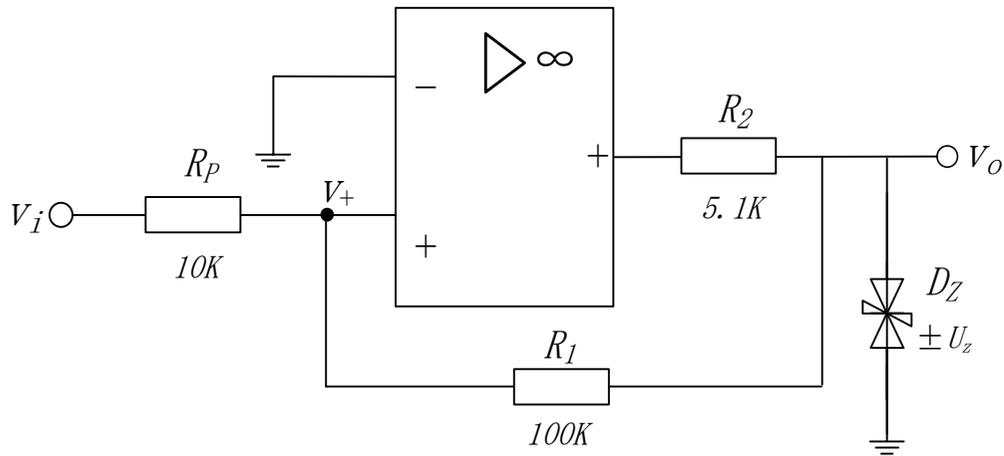


过零比较器虽然灵敏度高，但抗干扰能力差。

输入信号位于门限电压附近时，输出电压可能频繁跃变。

解决方法：在电路中引入正反馈（图中电阻 R_1 ），形成具有滞回特性的比较器，以提高比较器的抗干扰能力。

同相滞回比较器——上、下门限电压



输出的跳变
时间被推迟

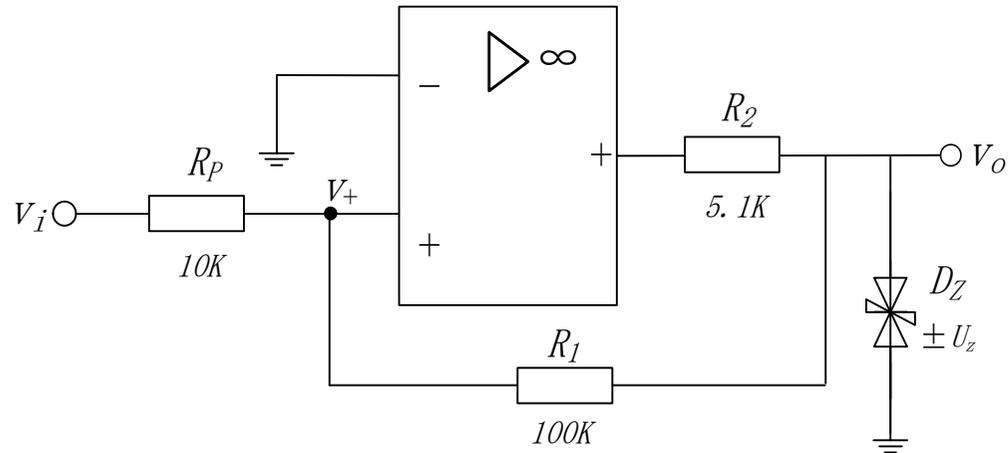
v_i 大于 U_{T1} 时 v_o 上翻至高电平

v_i 小于 U_{T2} 时 v_o 下翻至低电平

U_{T1} 、 U_{T2} : 上、下门限电压

上下门限电压使 v_o 的跳变被推迟，
其传输特性曲线在横向被“拉开”，
形成一个延迟窗口

同相滞回比较器——上、下门限电压的计算



根据虚断路原理：

$$\frac{v_+ - v_i}{R_p} = \frac{v_o - v_+}{R_1}$$

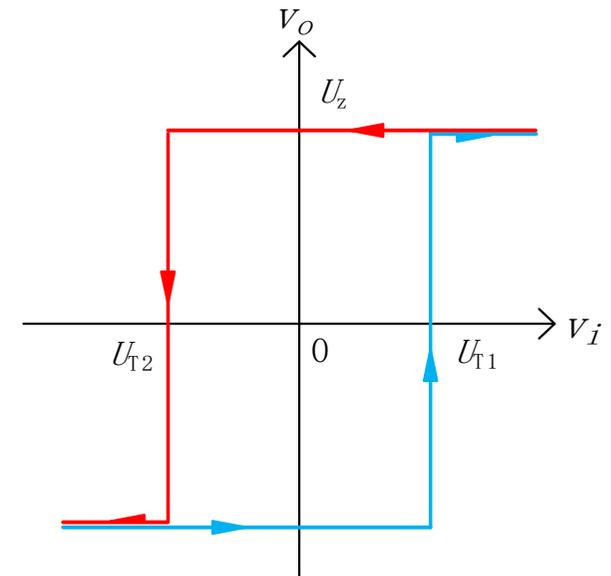
当同相和反相电压相等时，即 $v_+ = 0$ ，比较器发生翻转，此时

$$v_i = -\frac{R_p}{R_1} v_o$$

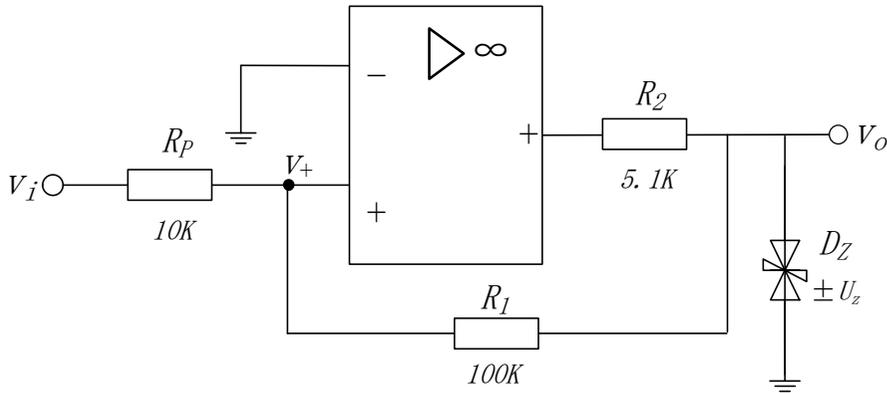
因输出有稳压管限幅，将 $v_o = \pm U_z$ 分别代入上式，得上、下门限

电压：

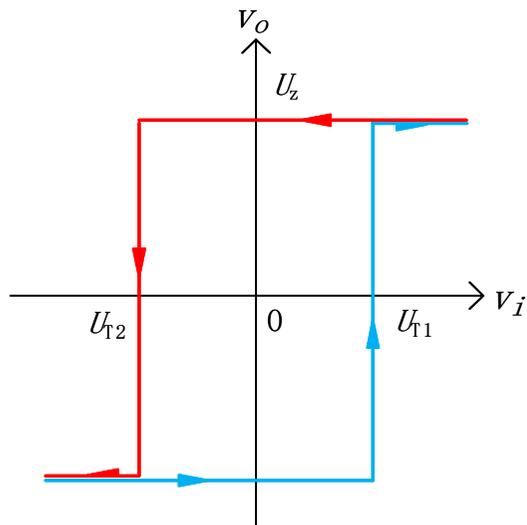
$$U_{T1} = \frac{R_p}{R_1} U_z \quad U_{T2} = -\frac{R_p}{R_1} U_z$$



同相滞回比较器：按照定义，测量上下门限电压



U_{T1} 、 U_{T2} : 上、下门限电压。



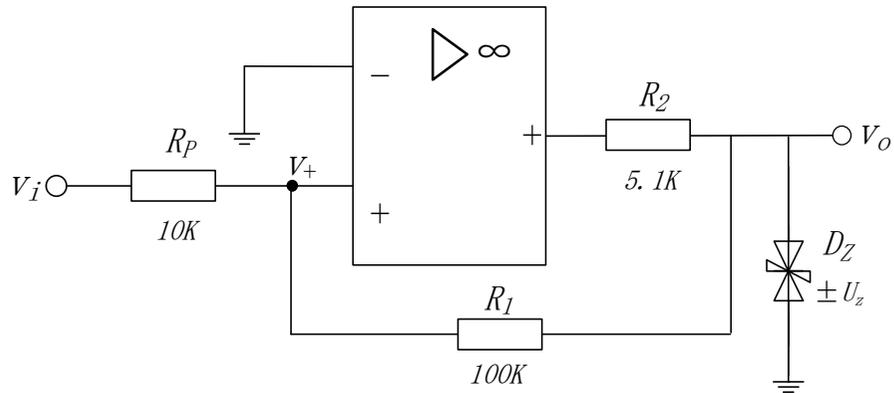
→2. 同相滞回比较器实验操作内容

2.1 按照门限电压的**定义**，测量同相滞回比较器的上下门限电压
将万用表打到20v直流电压档。 v_i 接可调恒流电压源。

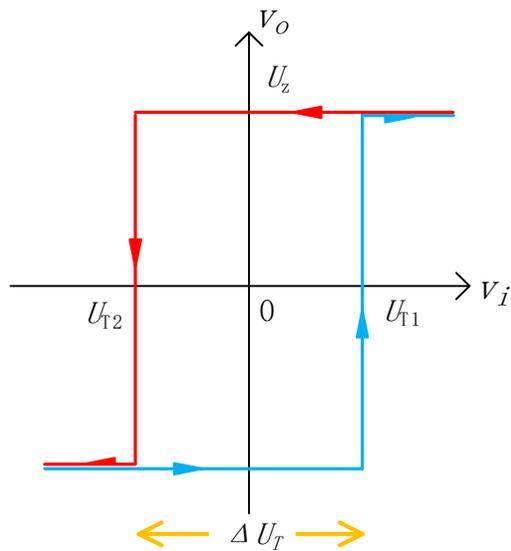
(1)从最小值开始，逐渐增大 v_i ，当 v_i 增到某临界值时， v_o 发生向上翻转，用万用表测出此时 v_i 的值，就是上门限电压 U_{T1} 。

(2)从最大值开始，逐渐减小 v_i ，当 v_i 减到某临界值时， v_o 发生向下翻转，用万用表测出此时 v_i 的值，就是下门限电压 U_{T2} 。

同相滞回比较器——回差电压



$$U_{T1} = \frac{R_p}{R_1} U_Z \quad U_{T2} = -\frac{R_p}{R_1} U_Z$$

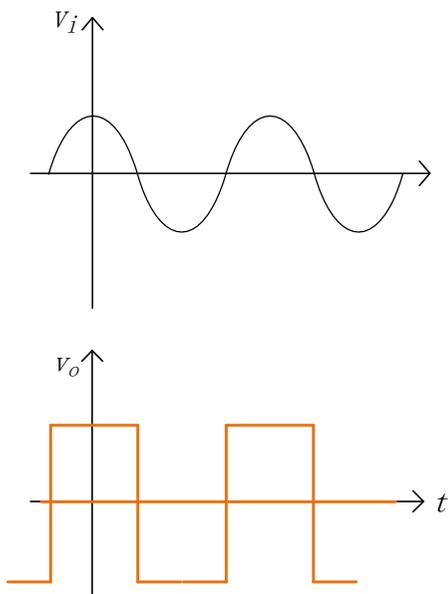
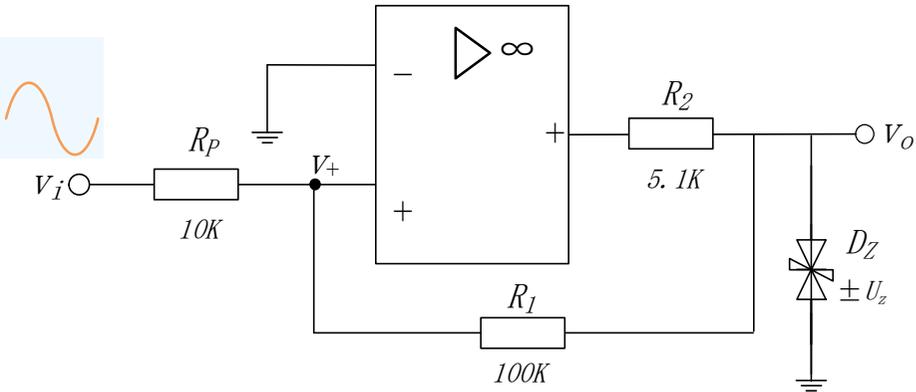


在上下门限电压基础上，定义回差电压： $\Delta U_T = U_{T1} - U_{T2}$

回差电压就是特性曲线的窗口宽度。

当输入电压的变化范围超过回差电压时，比较器的输出才会发生翻转，否则不翻转。所以输入电压即使存在干扰或者噪声，只要其不大于回差电压，都不会影响输出。所以回差电压反映了电路的抗干扰能力。

同相滞回比较器：直接测量回差电压



→2. 同相滞回比较器实验操作内容

2.2 回差电压直接测量方法

“当输入电压的变化范围超过回差电压时，比较器的输出才会发生翻转，否则不翻转。”这是直接测量回差电压的原理。

方法是在输入端 v_i 接正弦信号(频率1k Hz、峰峰值100mV)。从100mV 开始逐渐增大 v_i ，当 v_i 的峰峰值大于等于 ΔU_T 时，输出端 v_o 突然翻转产生方波。小于 ΔU_T 则不产生方波。

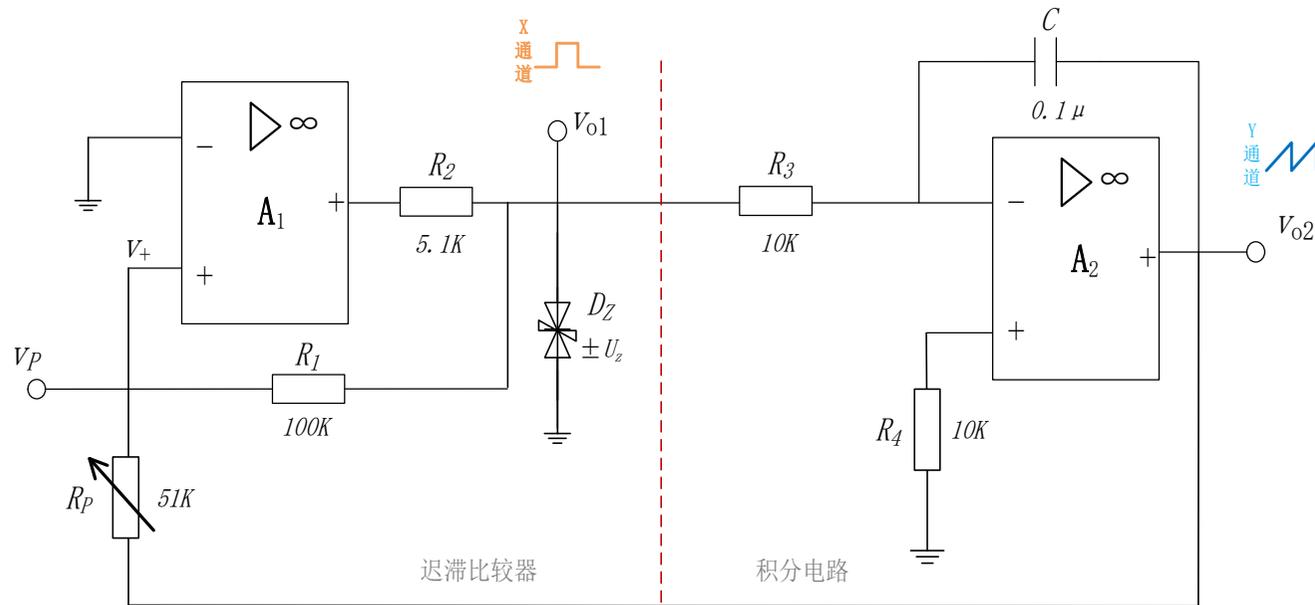
记录输出跳变为方波时 v_i 的峰峰值，即为 ΔU_T 。



03 PART THREE

三角波发生器

三角波发生电路



三角波发生电路，由同相滞回比较器与积分延时电路首尾连接而成。积分电路用作恒流充放电电路，形成线性三角波。

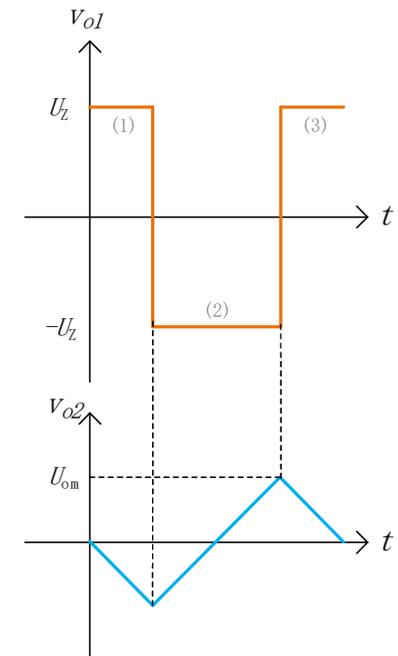
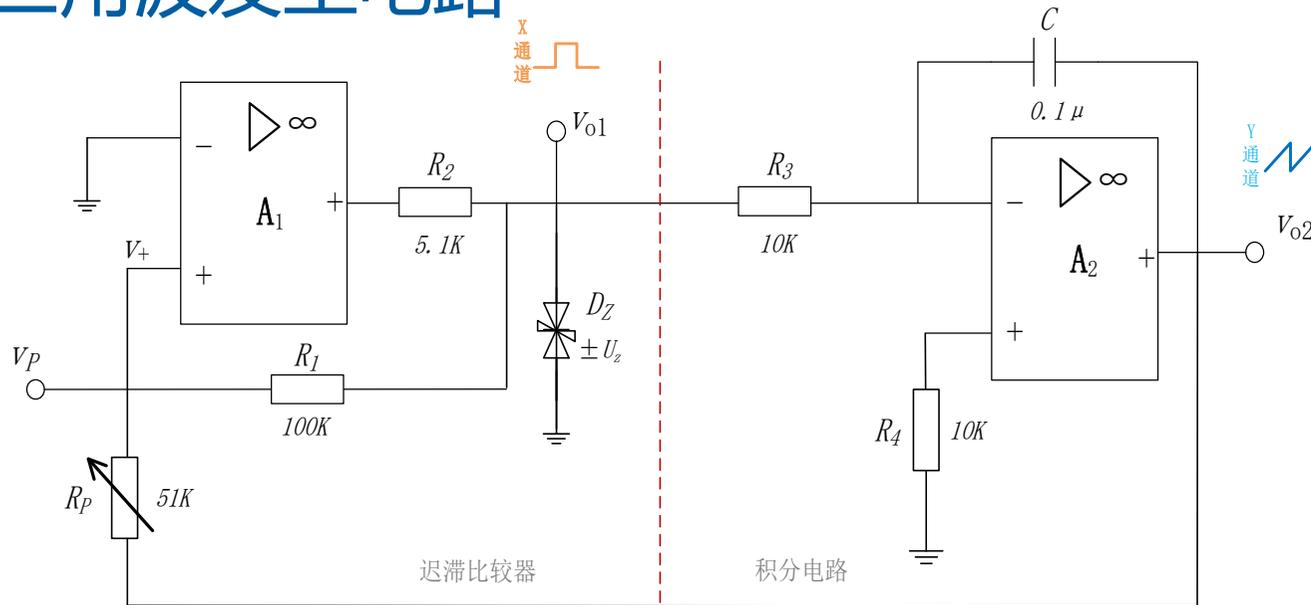
输入端 v_p 为 v_{o1} 、 v_{o2} 波形的线性叠加：

$$v_p = \frac{R_p}{R_1 + R_p} v_{o1} + \frac{R_1}{R_1 + R_p} v_{o2}$$

当 v_p 大于 0 时， A_1 输出高电平， $v_{o1} = +U_Z$

当 v_p 小于 0 时， A_1 输出低电平， $v_{o1} = -U_Z$

三角波发生电路



三个阶段

第 1) 阶段: v_{o1} 在 $+U_z$ 位置, 积分电路充电, v_{o2} 线性减小, 导致 v_p 也减小, 直到 $v_p < 0$, 比较器下翻。推出:

$$v_{o2} = -\frac{R_p}{R_1} U_z$$

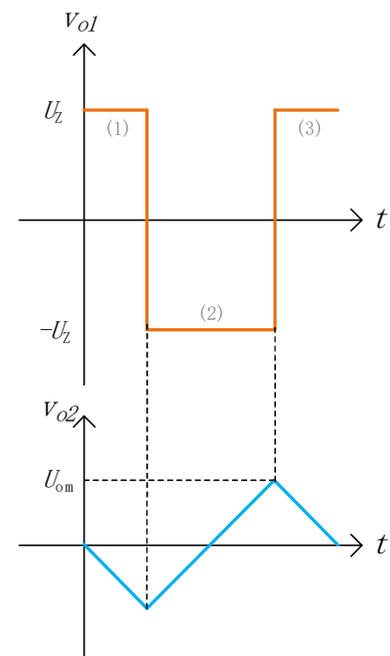
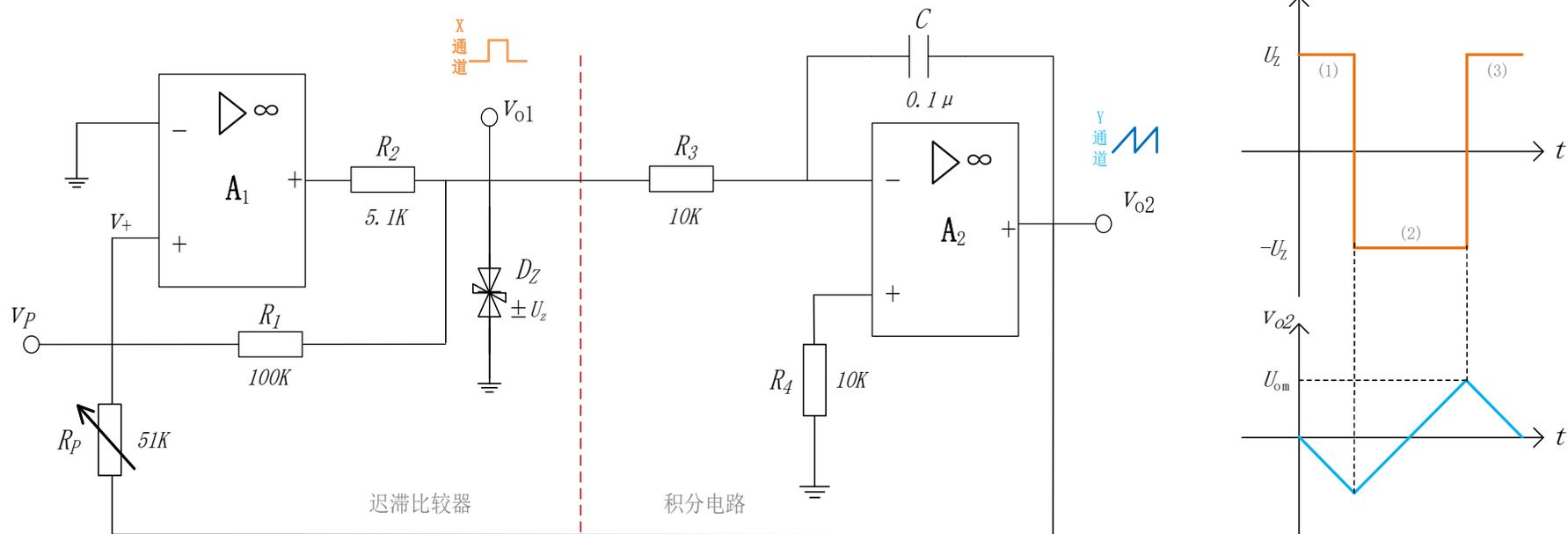
第 2) 阶段: v_{o1} 在 $-U_z$ 位置, 积分电路放电, v_{o2} 线性增大, 导致 v_p 也增大。直到 $v_p > 0$, 比较器上翻, 推出:

$$v_{o2} = \frac{R_p}{R_1} U_z$$

比较器上翻后积分电路又开始充电, 积分器的输出 v_{o2} 又开始线性减小, 进入第(3)阶段。

$$v_p = \frac{R_p}{R_1 + R_p} v_{o1} + \frac{R_1}{R_1 + R_p} v_{o2}$$

三角波发生电路



$$U_{om} = \frac{R_p}{R_1} U_Z$$

则三角波在 $\pm U_{om}$ 之间震荡, U_{om} 是三角波的幅值

电路振荡频率计算值为

$$f = \frac{R_1}{4R_p R_3 C}$$

→三角波发生器实验操作内容

1. 示波器 x通道、y 通道分别监测 v_{o1} 、 v_{o2} 。调整滑阻 R_p 直至看到方波、三角波。记录三角波的幅值 U_{om} 、频率 f , 并与计算值相比较。
2. 记录 v_{o1} 、 v_{o2} 的波形图。
3. 改变 R_p 和 C 。观察并总结三角波的幅值、频率变化与 R_p 和 C 的关系。

实验内容：基本内容



1. 同相过零比较器

- * 检查确保有效的双向稳压二极管Dz
- * 输入端 v_i 接频率1k Hz、峰峰值1v的正弦波信号，观察、记录输入输出波形。
- * 测量限伏电压 U_z 。

2. 同相滞回比较器

2.1 测量滞回比较器的上下门限电压 $U_{T1测}$ 、 $U_{T2测}$ ，将其与理论计算值 U_{T1} 、 U_{T2} 相比较。

2.2 直接测量回差电压：输入端接频率1k Hz、峰峰值1v的正弦信号，记录输入输出波形。按本课件介绍的回差电压直接测量法测定 $\Delta U_{T测}$ ，并与理论值（ $\Delta U_T = U_{T1} - U_{T2}$ ）相比较。

3. 三角波发生器

- * 按图连接三角波发生器电路。分别示波器用 x、y 通道监测 v_{o1} 和 v_{o2} ，调整滑动变阻器 R_p 直至看到方波、三角波。记录三角波的幅值、频率，与计算值相比较
- * 画出 v_{o1} 、 v_{o2} 的曲线图。
- * 改变滑动变阻器 R_p 和 C。观察、总结三角波的幅值、频率的变化与 R_p 、C 的关系。

实验内容：思考题



给出三角波发生器中 v_p 的大致波形。

实验内容：注意事项



1. 集成运放须正确连接偏置电源：+12V、-12V，一旦接反将烧毁芯片。
2. 运放处于开环状态时，输入端加入一个微小信号，运放即进入饱和区（饱和电压略低于偏置电源电压）。所以运放的输入端即便没有接入信号，输出也很容易进入饱和。
3. 可用比例运算法确定集成运算放大器是否正常。
4. 三角波发生电路是自振荡电路，无需外接信号输入。
5. 三角波发生器连线过程中，先连虚线左半部分的滞回比较器。做完滞回比较器实验后，再连接右半部分的积分电路。

运算放大器LM324管脚示意图

