

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！  
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！



## Part 18 电压比较器

原作者：b站up主—这个ximo不太冷

# 电压比较器

## ○ 电压比较器的特点

在第五章和第六章中，我们研究的是集成运放引入负反馈，工作在线性区的工作特性，此时集成运放可以实现信号的运算；而在**电压比较器**一节，我们利用的是**集成运放工作在非线性区**时的电压比较特性，即输出电压为高电平或低电平；**此时集成运放无反馈（开环）或只引入正反馈；**

通常用图像法来描述电压比较器的输出电压与输入电压之间的函数关系，称为**电压传输特性**（ $u_o = f(u_i)$ ）；输入电压为连续的模拟量，而输出电压为离散的数字量，不是高电平就是低电平；

## 电压比较器

### ○ 电压比较器传输特性的基本要素

- 输出电压高低电平  $U_{OH} / U_{OL}$ ：电压比较器输出的高低电平值；一般输出端加稳压管限幅，通过稳压管的稳压值来设定高低电平的大小；
- 阈值电压（转折电压）  $U_T$ ：使输出电压从低电平跃变到高电平或者高电平跃变到低电平时的输入电压；此时集成运放同相输入端的电位等于反相输入端的电位，即  $u_P = u_N$ ；
- 跃变方向：输出电压发生跃变时是从低电平跃变到高电平还是高电平跃变到低电平；这与输入信号在同相输入端侧输入还是反相输入端侧输入有关；

# 电压比较器

## ○ 电压比较器的分析方法

尽管电压比较器的集成运放工作在非线性区，不能再利用“虚短”特性，只具有“虚断”特性（因为输入电阻无穷大），但是在求解电压比较器的传输特性中的阈值电压  $U_T$  时，需要计算  $u_P = u_N$  时输入电压  $u_I$  的大小，因此此时仍然相当于在用“虚短”分析解决问题；

分析电压比较器的电压传输特性的步骤即基于其“三要素”：

- ① 高低电平 —— 取决于集成运放的最大输出值/稳压管稳压值；
- ② 阈值电压 —— 令  $u_P = u_N$ ，此时的  $u_I = U_T$ ；
- ③ 跃变方向 —— 取决于输入信号在同相输入侧还是反相输入侧；

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！  
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

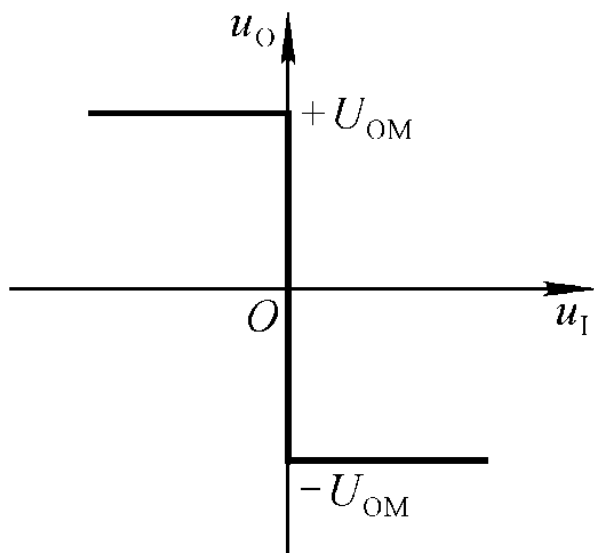
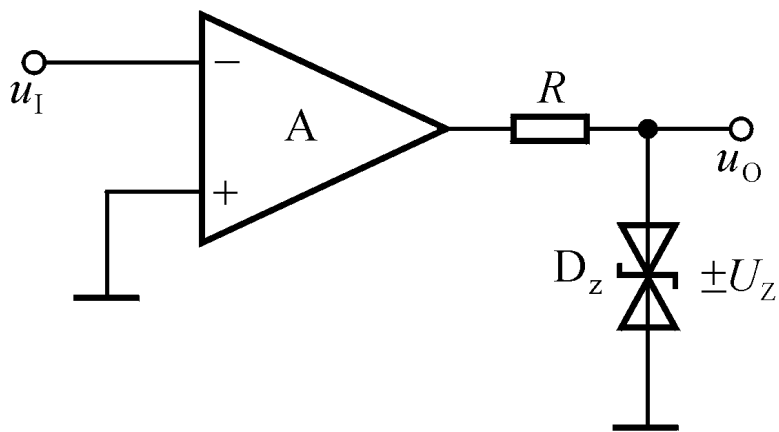
注意：

教材上给出的这个电路图只是过零比较器的一个例子，  
并不代表所有过零比较器都是此电路结构和传输特性！

重点是分析方法！

## 电压比较器

### 过零比较器



① 高低电平：  $\pm U_{OM} = \pm U_Z$ ；

② 阈值电压 —— 令  $u_P = u_N$ ：

$$u_I = u_N = u_P = 0 \Rightarrow U_T = 0$$

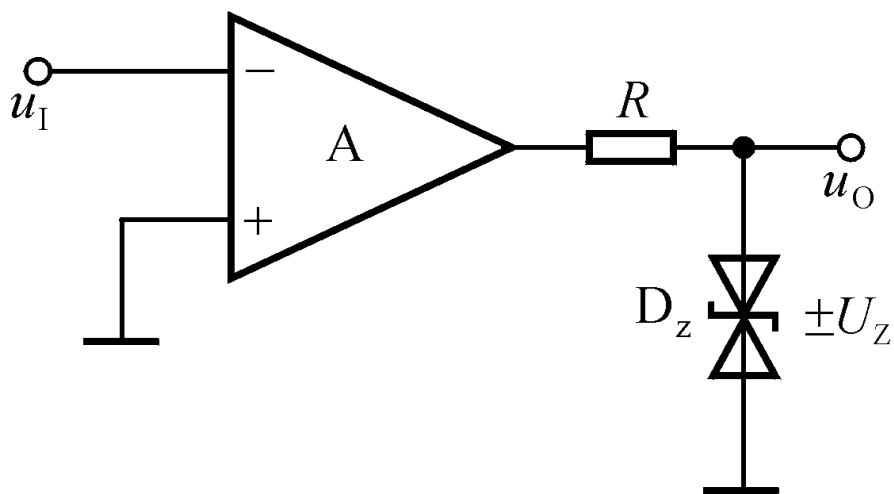
③ 跃变方向：

对于本例，由于输入在反相输入端侧，因此从高电平跃变到低电平，即  $u_I > 0$  为低电平， $u_I < 0$  为高电平；

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！  
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

## 电压比较器

### ○ 过零比较器的特点



过零——同相输入端或反相输入端其中一个接地（零电平）；

另一个输入端无参考电压；

因此阈值电压为 0；

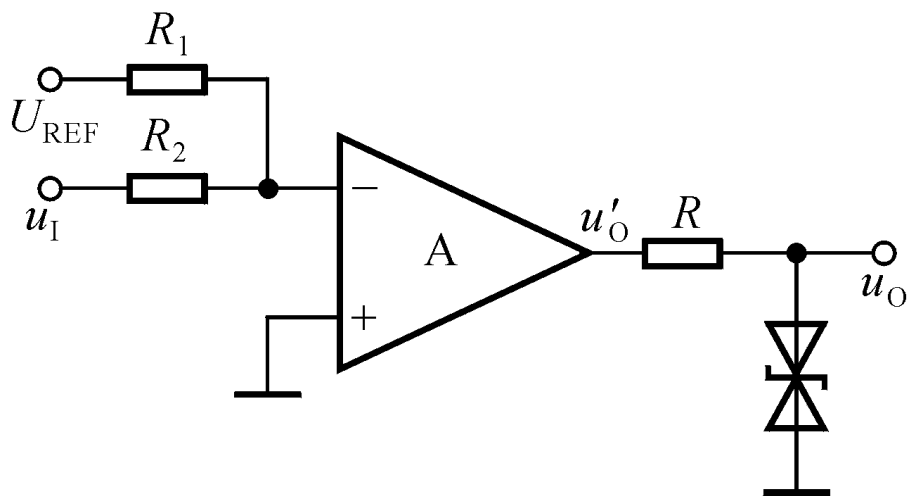
注意：

教材上给出的这个电路图只是单限比较器的一个例子，  
并不代表所有单限比较器都是此电路结构和传输特性！

重点是分析方法！

## 电压比较器

### 一般单限比较器



此电路的电压传输特性曲线自测，此处略

① 高低电平：  $\pm U_{OM} = \pm U_Z$ ；

② 阈值电压 —— 令  $u_P = u_N$ ：

$$\begin{cases} u_N = u_P = 0 \\ \text{对N点应用虚断与KCL：} \quad \frac{U_{REF} - u_N}{R_1} + \frac{U_T - u_N}{R_2} = 0 \end{cases}$$

(不需要记最后的表达式！)

③ 跃变方向：

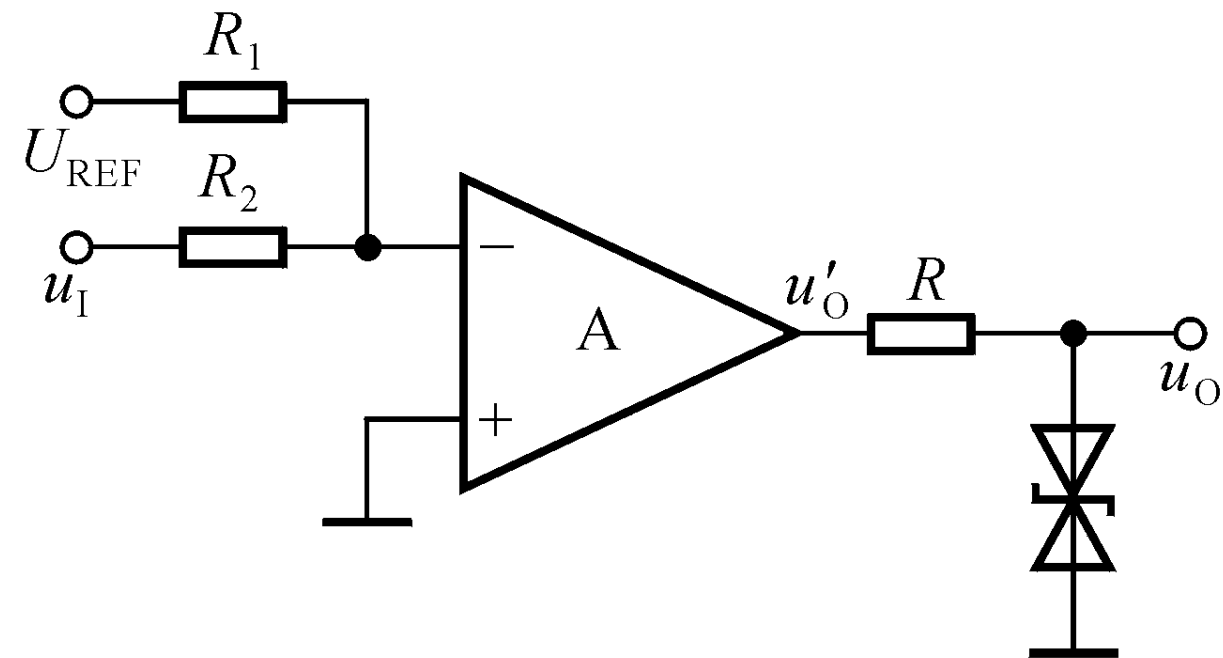
对于本例，由于输入在反相输入端侧，因此从高电平  
跃变到低电平；

原作者：b站up主—这个ximo不太冷

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！  
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

## 电压比较器

### 一般单限比较器小结



单限 —— 只有一个阈值电压，单向阶跃；

在过零比较器的基础上，存在参考电压；

因此阈值电压不再为0；

过零比较器是单限比较器的一个特例；

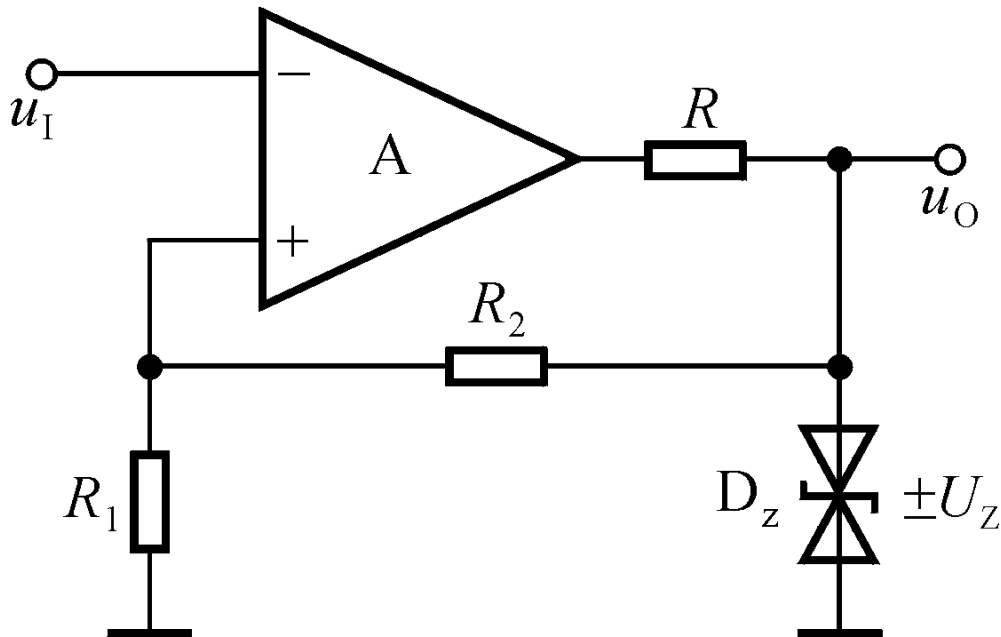


注意：

教材上给出的这个电路图只是滞回比较器的一个例子，  
并不代表所有滞回比较器都是符合此电路结构和传输特性！  
重点是分析方法！

## 电压比较器

### 滞回比较器



① 高低电平：  $\pm U_{OM} = \pm U_Z$ ；

② 阈值电压 —— 令  $u_P = u_N$ ：

$$\begin{cases} u_P = u_N = U_T \\ \text{对P点应用虚断与KCL：} \quad \frac{u_O - u_P}{R_2} = \frac{u_P - 0}{R_1} \end{cases}$$

因为  $u_O = \pm U_{OM}$ ，有两个值，因此对应两个阈值电压；

③ 跃变方向：

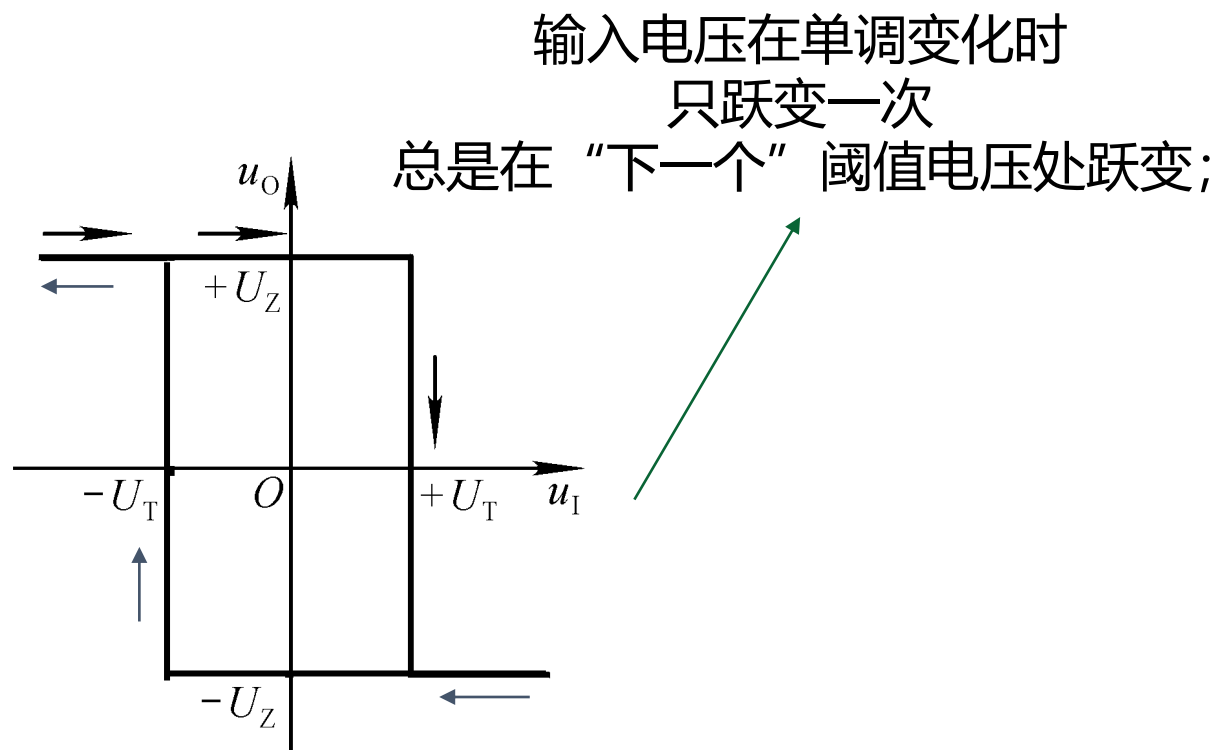
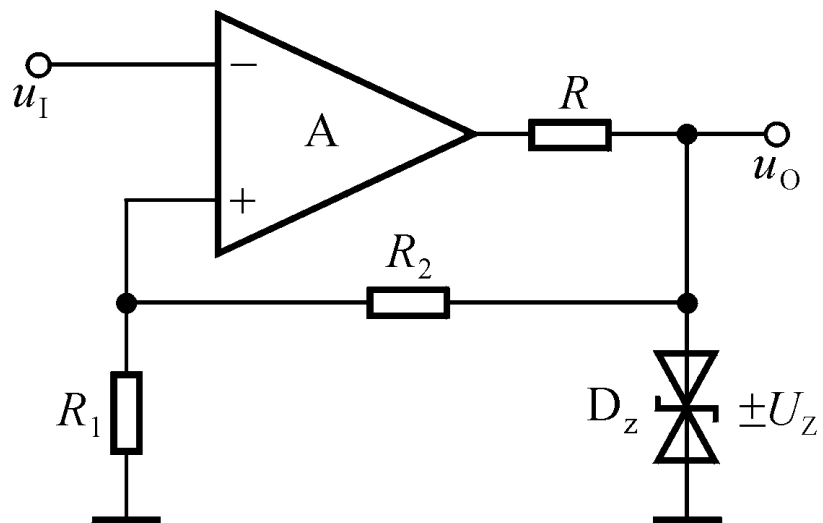
输入电压单一方向时变化只跃变一次；

跃变呈现“滞后特性” —— “在下一个阈值电压处跃变”；

原作者：b站up主——这个ximo不太冷

## 电压比较器

### 滞回比较器跃变的“滞后特性”



对于这个电路，求解出来的阈值电压为  $\pm U_T := \pm \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_Z$  （不用背）

输出电压从低电平跃变到高电平和从高电平跃变到低电平时的阈值电压不同：

当输入电压逐渐增大，大于  $+U_T$  时，其输出电压从高电平跃变到低电平；

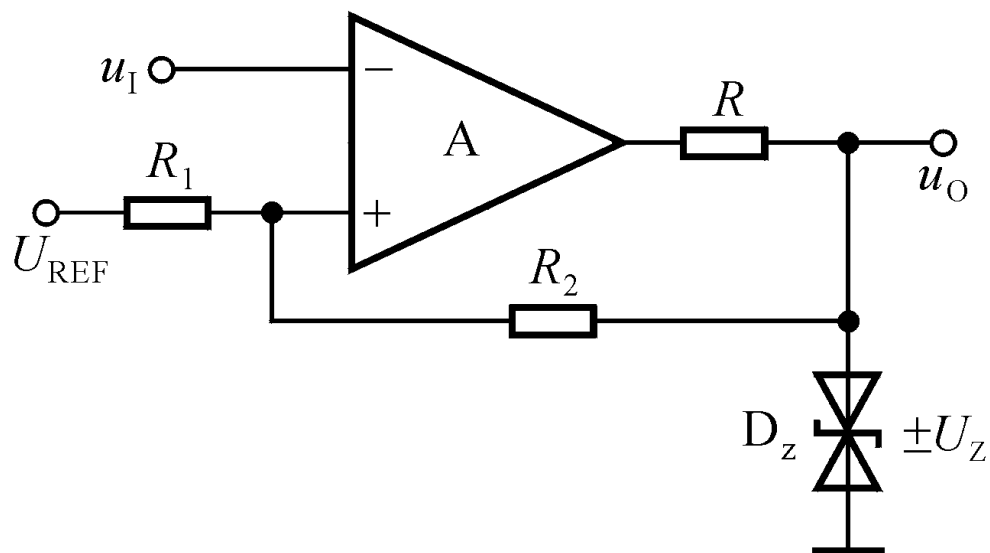
当输入电压逐渐减小，小于  $-U_T$  时，其输出电压从低电平跃变到高电平；

## 电压比较器

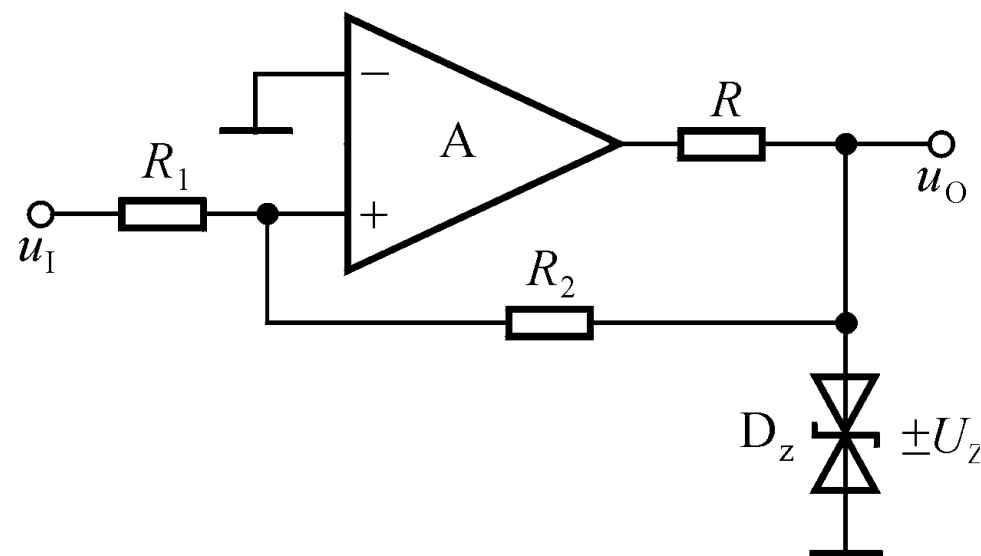
自测：

绘制下面两个电路的电压传输特性曲线

### 其他结构的滞回比较器示例



存在参考电压，  
因此两个阈值电压不再互为相反数，  
即两个阈值电压的中点偏移零点；

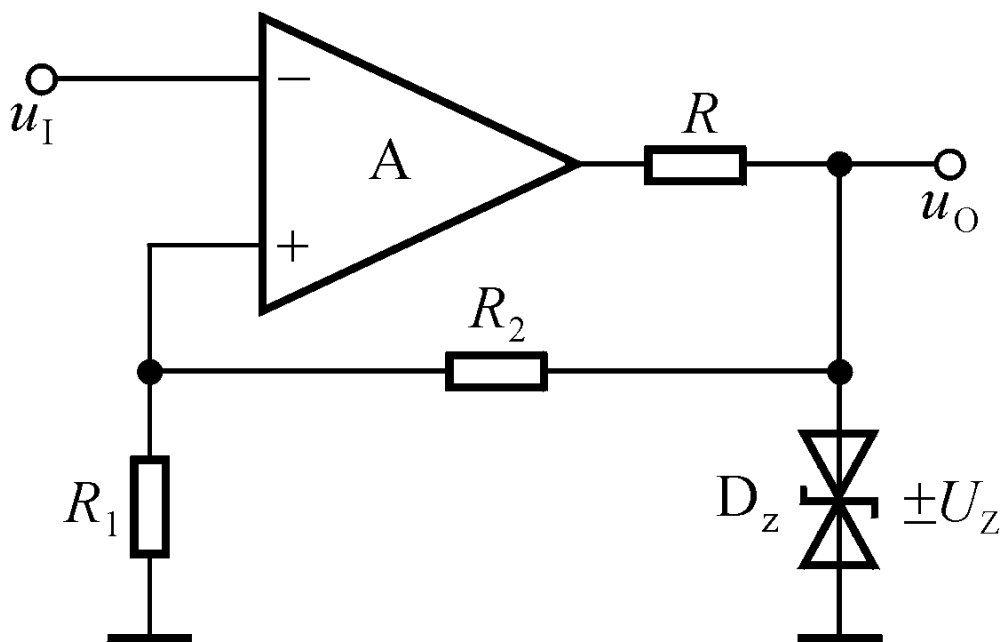


同相输入端侧输入，  
因此较小的阈值电压左侧为低电平，  
较大的阈值电压右侧为高电平；

原作者：b站up主—这个ximo不太冷

## 电压比较器

### 滞回比较器小结



**滞回** —— 存在两个阈值电压，输出电压从低电平跃变到高电平和从高电平跃变到低电平对应的阈值电压不同，输入电压单一方向时变化只跃变一次，电压传输特性曲线阶跃的位置具有“滞后特性”；

电路中引入**正反馈** —— 输出电压通过电压正反馈引回至同相输入端；  
(两个阈值电压的来源正是因为同相输入端的电位由于反馈被输出电位钳位，而输出有高低两种电平)

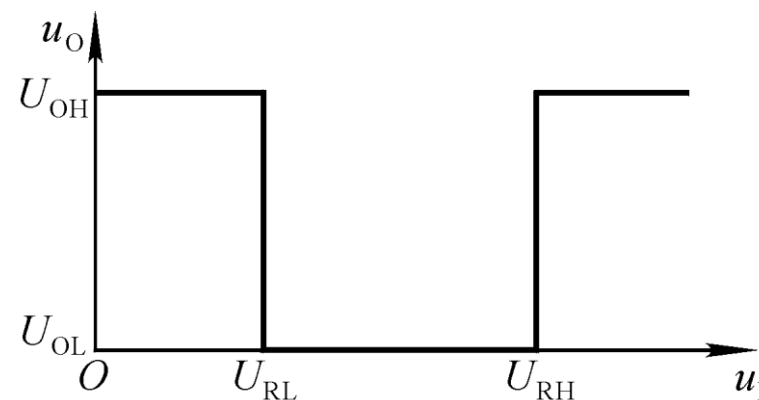
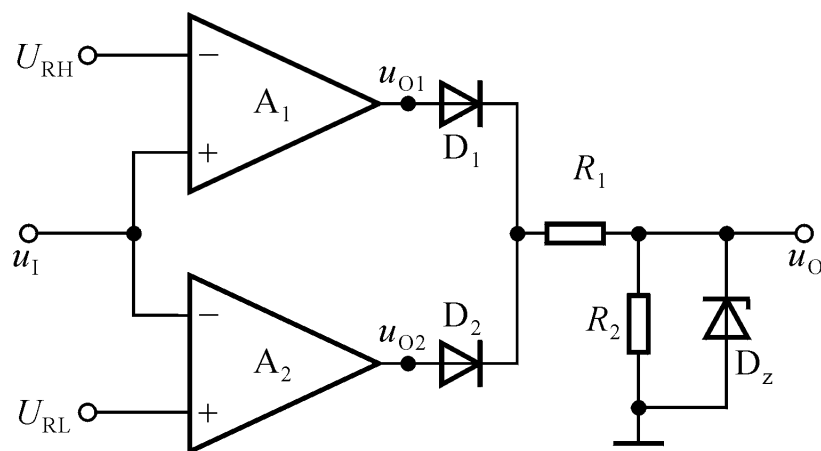
在没有参考电压时，滞回比较器的两个阈值电压是关于零点对称的，即电压传输特性曲线中心对称；  
反过来，若两个阈值电压的中点偏移零点，则说明此滞回比较器电路存在参考电压；

注意：

教材上给出的这个电路图只是窗口比较器的一个例子，  
并不代表所有窗口比较器都是符合此电路结构和传输特性！  
重点是分析方法！

## 电压比较器

### 窗口比较器



$u_I > U_{RH}$ ， $A_1$  输出高电平， $D_1$  导通，稳压管将输出钳位至  $U_Z$  ；

$u_I < U_{RL}$ ， $A_2$  输出高电平， $D_2$  导通，稳压管将输出钳位至  $U_Z$  ；

$U_{RL} < u_I < U_{RH}$ ， $A_1$ 、 $A_2$  均输出低电平， $D_1$ 、 $D_2$  均截止，输出为 0 ；

思考：窗口比较器和滞回比较器都有两个阈值电压，它们的区别在哪里？

注意：不需要去背教材上的公式！

## 电压比较器

### ○ 小结

- 单限比较器 —— 开环，只有一个阈值电压；  
当存在参考电压时阈值电压偏移零点（过零比较器是单限比较器的一个特例）；
- 滞回比较器 —— 正反馈，两个阈值电压，输入电压单调变化时输出电压仅发生一次跃变，跃变呈滞后特性；当存在参考电压时两个阈值电压的中点偏移零点；
- 窗口比较器 —— 开环，两个阈值电压，输入电压单调变化时输出电压发生两次跃变；

绘制电压传输特性曲线：

- 阈值电压的求解：令  $u_P = u_N$ ，此时的  $u_I = U_T$ ；结合“虚断”特性与电路基本方程；
- 输出高低电平的大小：取决于稳压管的稳压值；
- 跃变方向：取决于输入信号在同相输入端侧还是反相输入端侧；

# 电压比较器

## 习题类型

计算 —— 根据给定的电压比较器电路绘制电压传输特性曲线；

设计 —— 根据给定的电压传输特性曲线设计电压比较器电路；

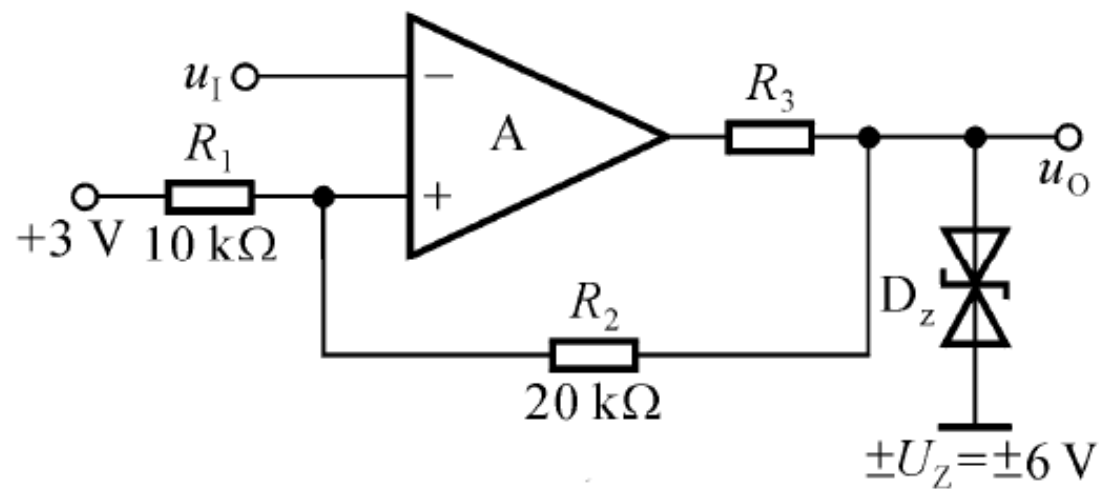
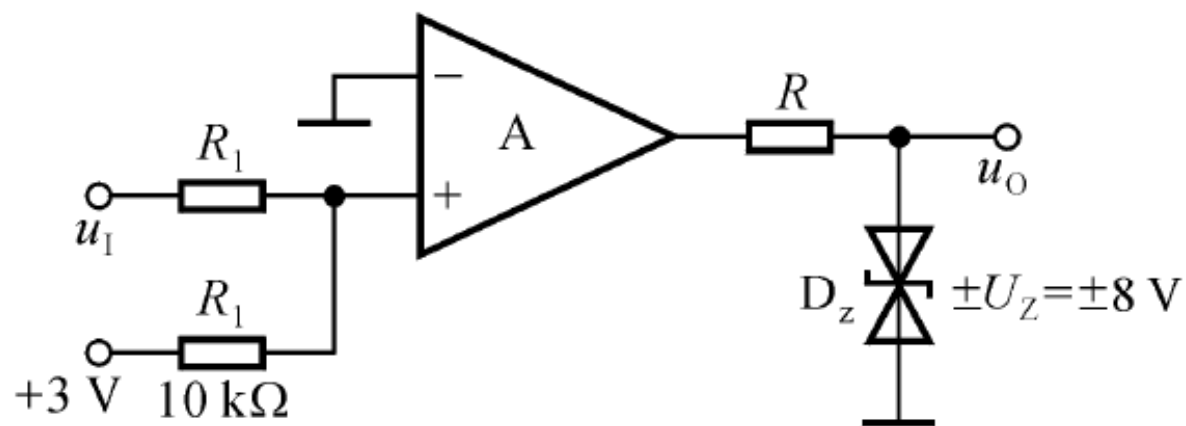
对电压比较器这部分内容的学习要求是：

不要去背教材上电压比较器有关的公式，也不要只记住教材上电压比较器的电路图，需要掌握的是电压比较器的分析方法，以及不同种类电压比较器的电路结构特点和电压传输特性曲线的特点；

## 电压比较器

### 例 1

判断电压比较器的类型并分析其输入—输出特性；

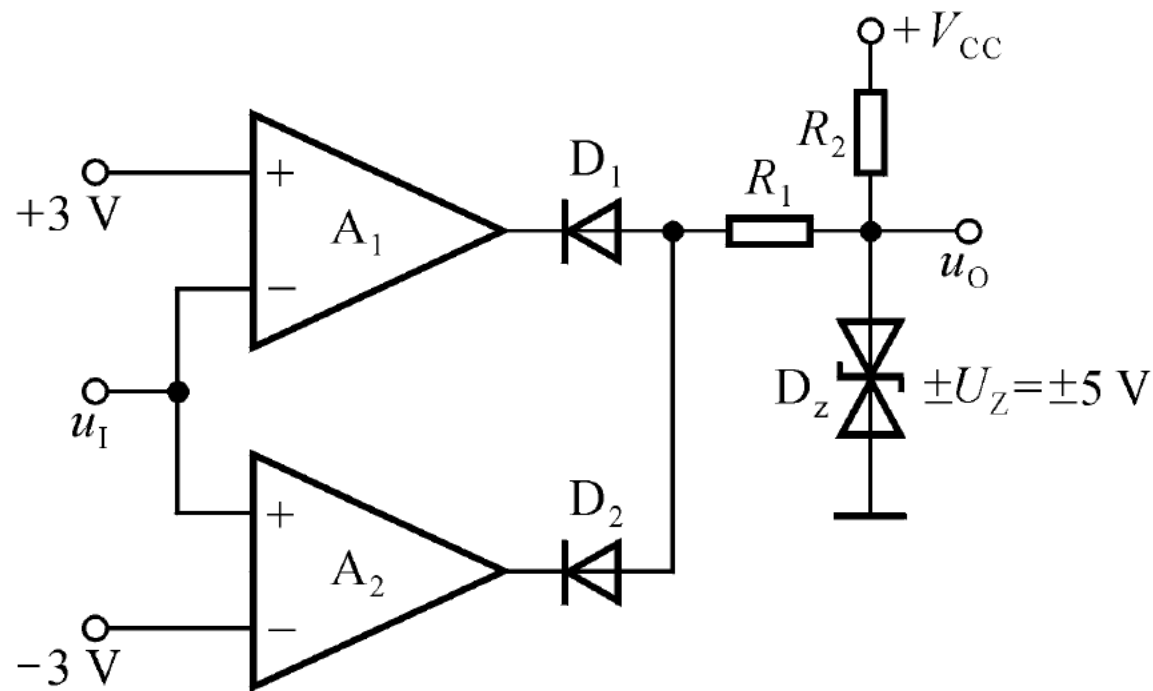
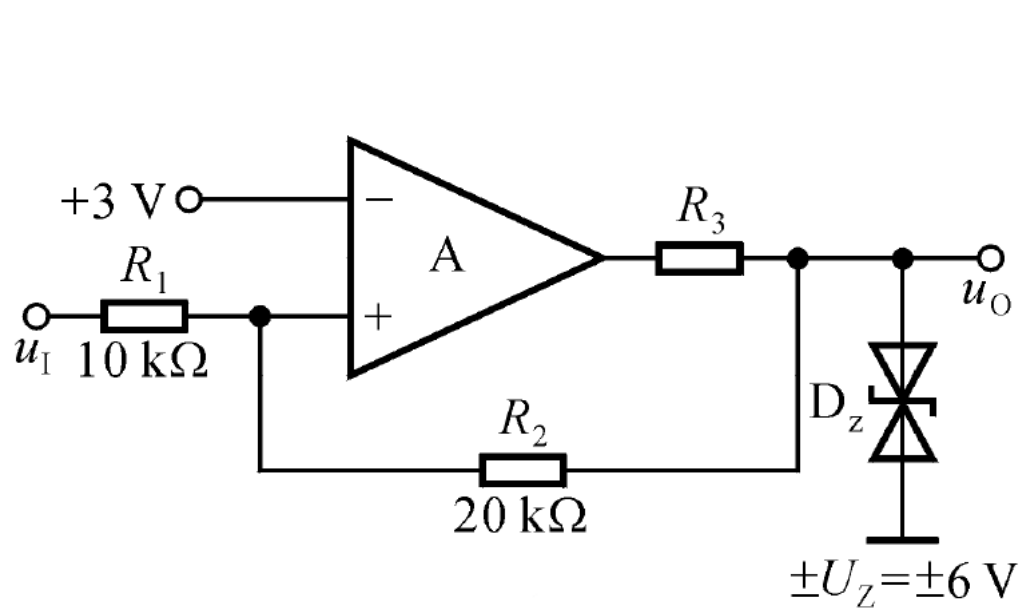




## 电压比较器

### 例 1

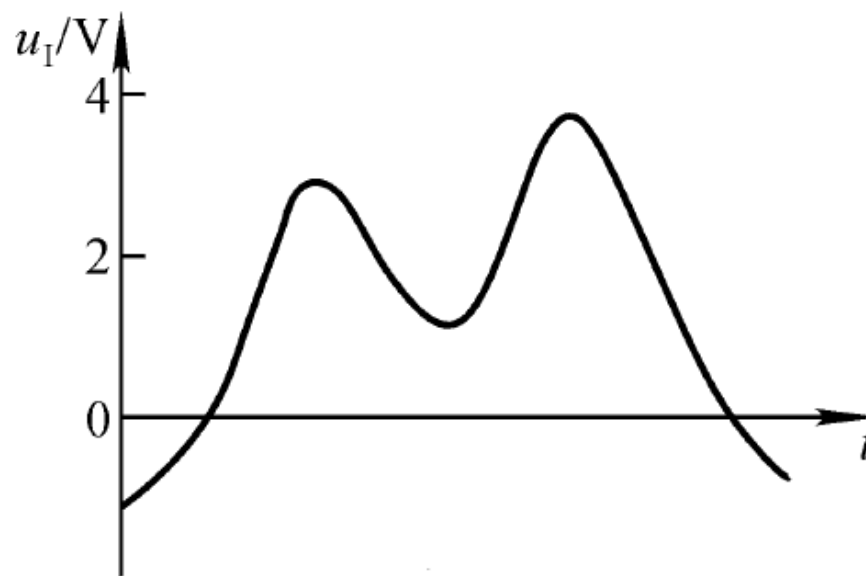
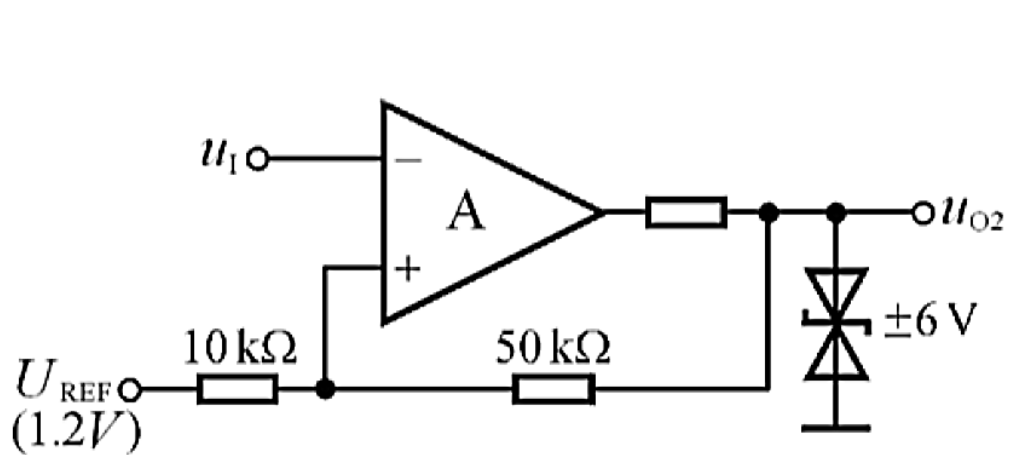
判断电压比较器的类型并分析其输入—输出特性；



## 电压比较器

### 例 2

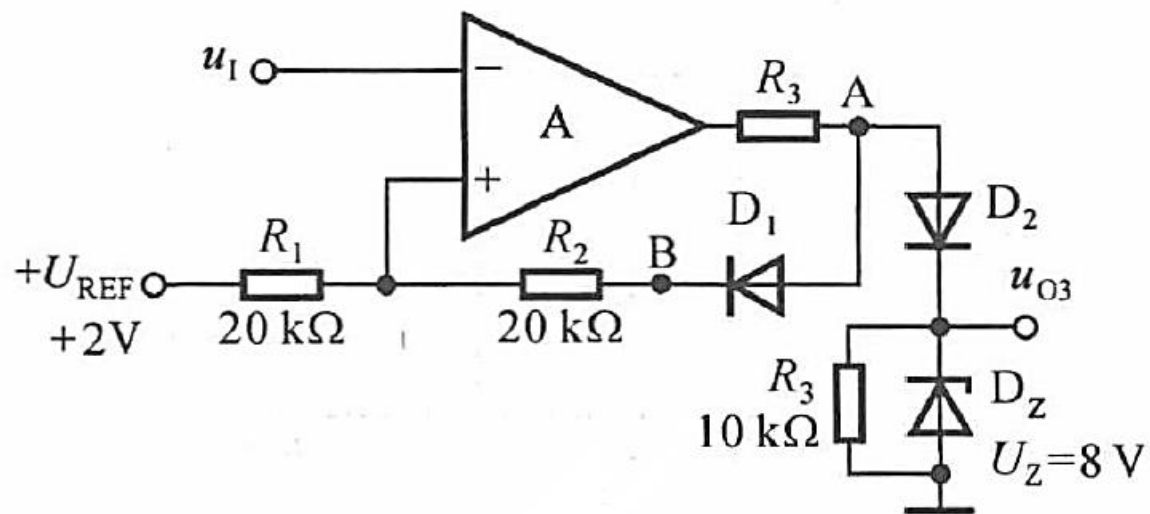
已知输入电压波形如右图所示，绘制图示电压比较器电路的输出电压波形；



## 电压比较器

### 例 3

电压比较器电路如图所示，分析其输入—输出特性；

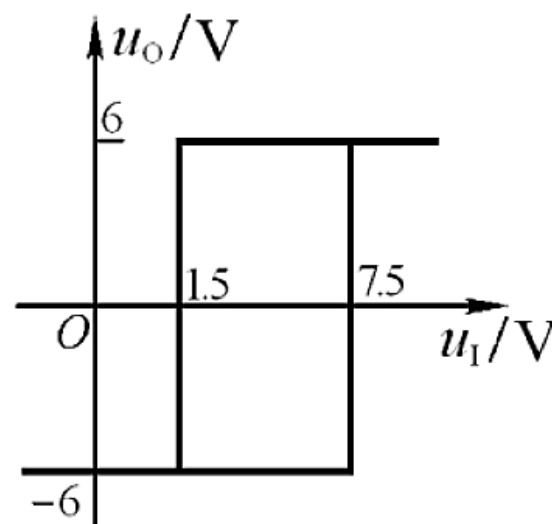
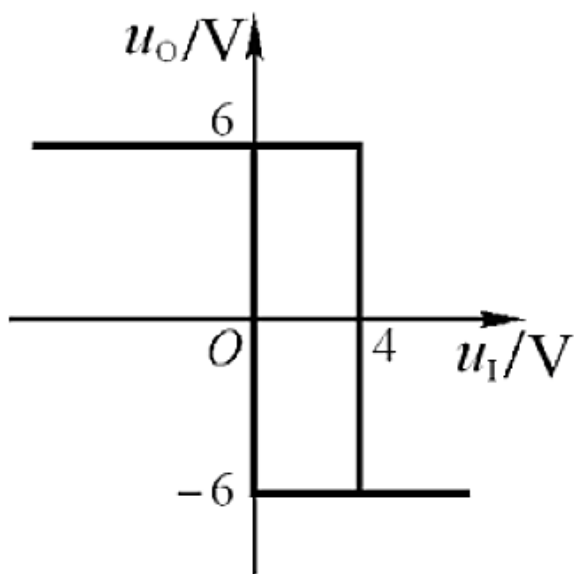


请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！  
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

## 电压比较器

### 例 4

已知电压传输特性曲线如下，设计对应的电压比较器电路；



请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！  
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

## 其他含有集成运放的信号处理及波形变换电路

### 分析思路：

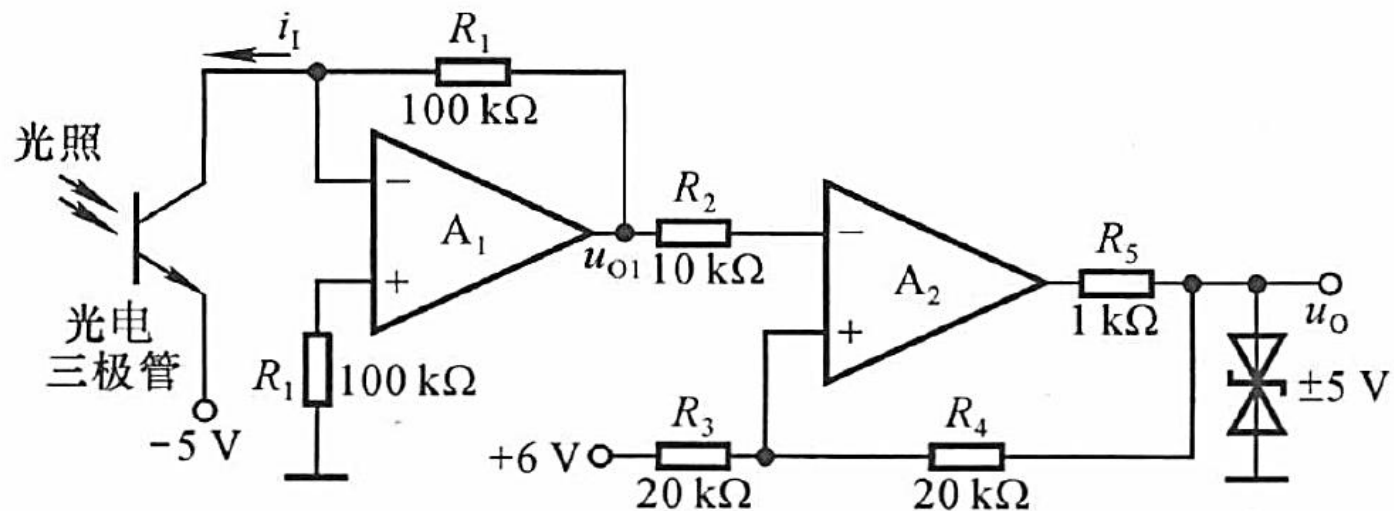
在解决含有集成运放的电路的计算分析题时，首先需要判断的就是集成运放是引入了负反馈工作在线性区，实现放大和信号运算；还是开环或引入正反馈工作在非线性区，实现电压比较功能；即使给定的电路是含有集成运放但并不是我们教材上学习的基本电路，只要掌握了运算电路的分析方法和电压比较器的分析方法，就可以按照相同的分析过程来解决问题；

## 其他含有集成运放的信号处理及波形变换电路

### 例 5

如图所示为光电转换电路，将连续变化的光电信号转化为离散信号，输入电流与光照强度正相关；

- (1) 集成运放 $A_1$ 构成什么电路？集成运放 $A_2$ 构成什么电路？
- (2) 求解输出电压与输入电流的传输特性；

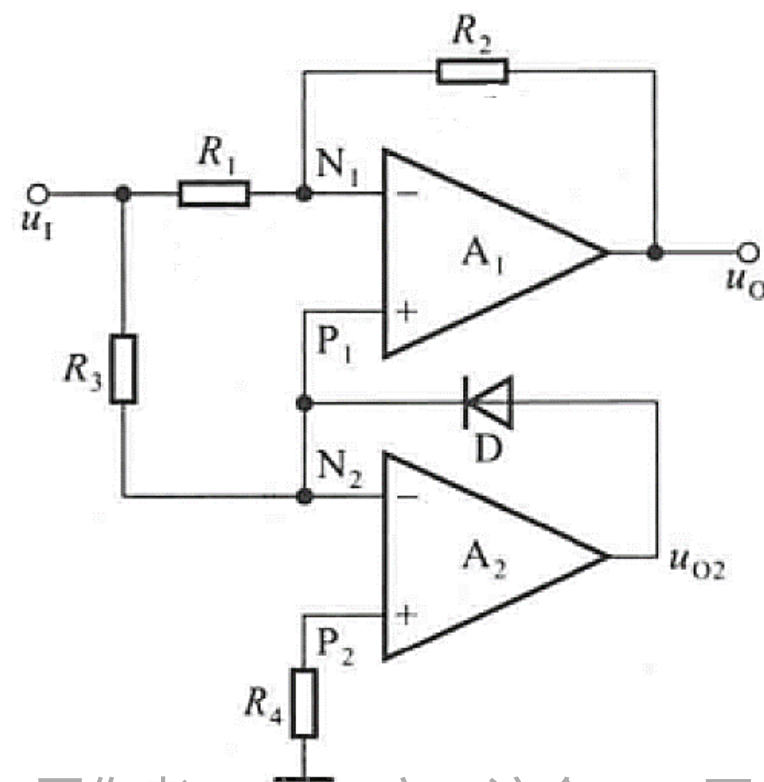


请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！  
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

## 其他含有集成运放的信号处理及波形变换电路

### 例 6

分析如图所示电路输入电压和输出电压的函数关系；图中二极管均为理想二极管，集成运放为理想运放；



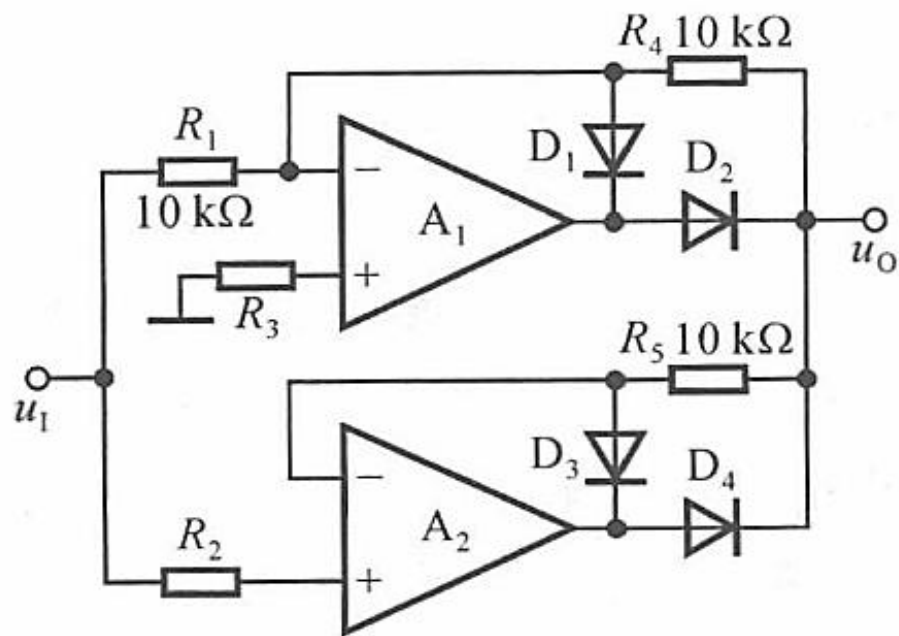
原作者：b站up主—这个ximo不太冷

请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！  
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

## 其他含有集成运放的信号处理及波形变换电路

### 例 7

分析如图所示电路输入电压和输出电压的函数关系；图中二极管均为理想二极管，集成运放为理想运放；



原作者：b站up主—这个ximo不太冷



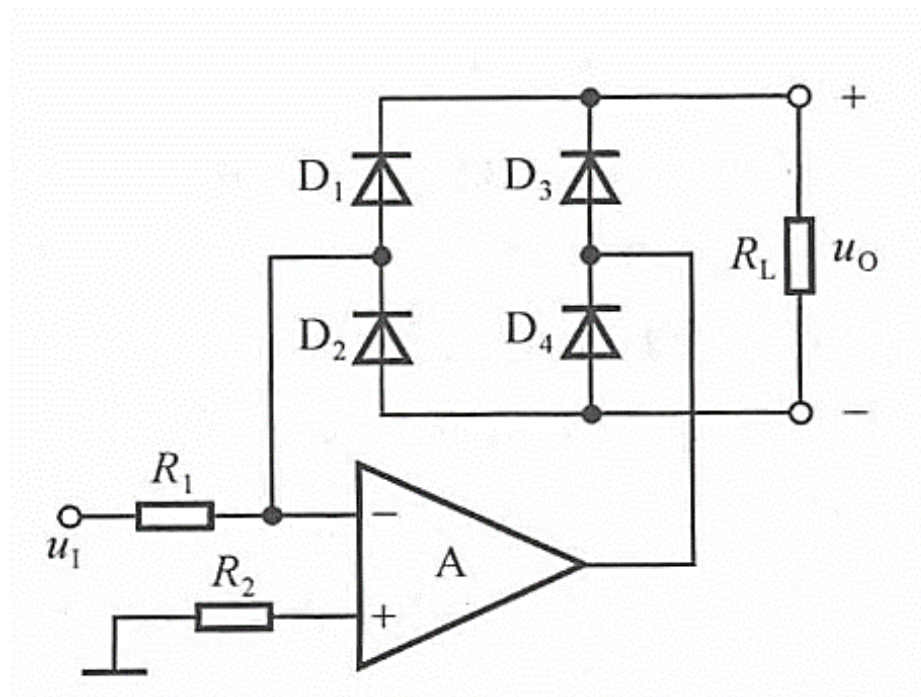
请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！  
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

## 其他含有集成运放的信号处理及波形变换电路



### 例 8

分析如图所示电路输入电压和输出电压的函数关系；图中二极管均为理想二极管，集成运放为理想运放；



原作者：b站up主—这个ximo不太冷

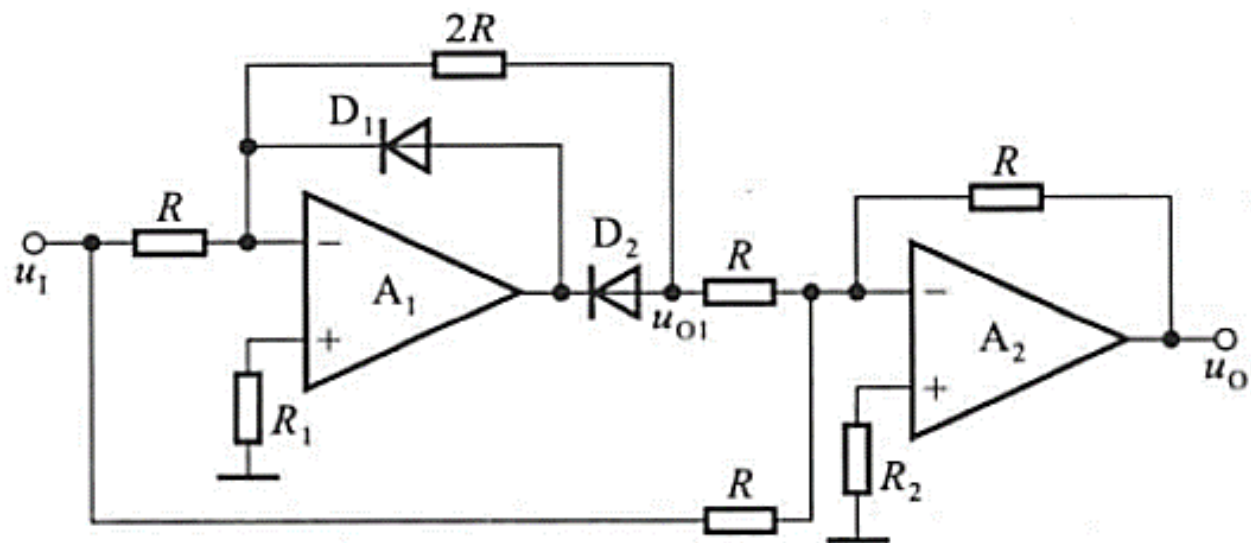
请同学们不要将课件上传至网上的各个公共平台，谢谢！  
课件中存在的错误可以在b站私信反馈给我，不胜感激！

## 其他含有集成运放的信号处理及波形变换电路



### 例 9

分析如图所示电路输入电压和输出电压的函数关系；图中二极管均为理想二极管，集成运放为理想运放；



原作者：b站up主—这个ximo不太冷

## 其他含有集成运放的信号处理及波形变换电路

### 例 10

电路如图所示，图中二极管均为理想二极管，集成运放为理想运放；求解输入电压和输出电压的运算关系，分析电路的功能；

