



## 第二节 半导体二极管

- PN结及其单向导电性
- 二极管的伏安特性
- 二极管的主要参数
- 稳压管



# 一、PN结及其单向导电性

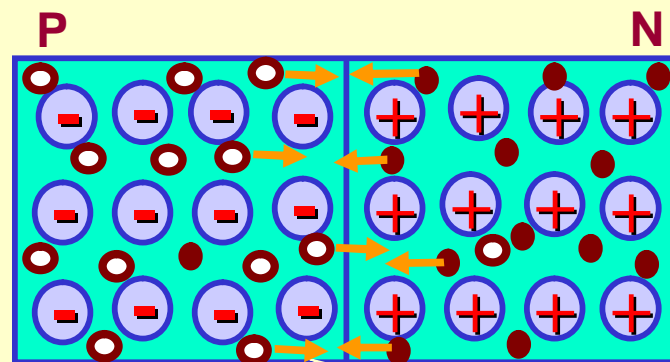
## 1. PN结中载流子的运动

又称耗尽层，即PN结。

漂移

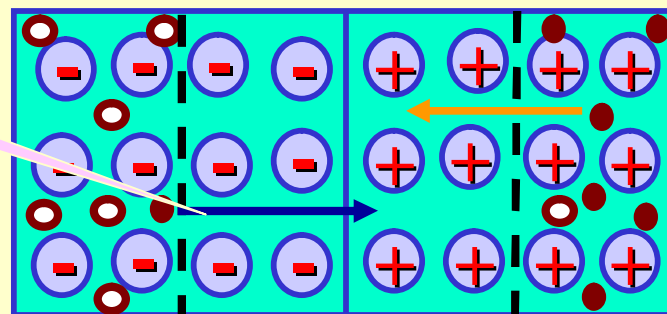
内电场又称阻挡层，阻止扩散运动，却有利于漂移运动。

最终扩散(diffusion)运动与漂移(drift)运动达到动态平衡，PN结中总电流为零。



空间电荷区

扩散



内电场

$U_D$

硅约为 (0.6~0.8) V  
锗约为 (0.2~0.3) V



## 2. PN结的单向导电性

☺ 加正向电压

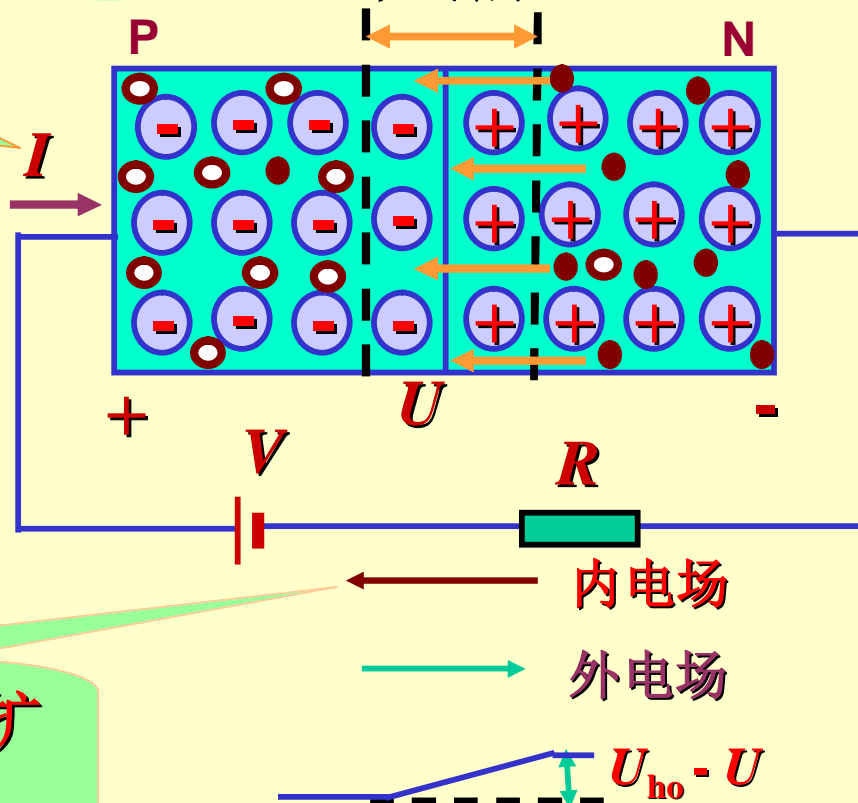
正向电流

称为正向接法或正向偏置  
(简称正偏, forward bias)

外电场削弱了内电场有利于扩散运动, 不利于漂移运动。

空间电荷区变窄

耗尽层



PN结处于正向导通(on)状态, 正向等效电阻较小。



## ☺ 加反向电压

称为反向接法或反向偏置  
(简称反偏)

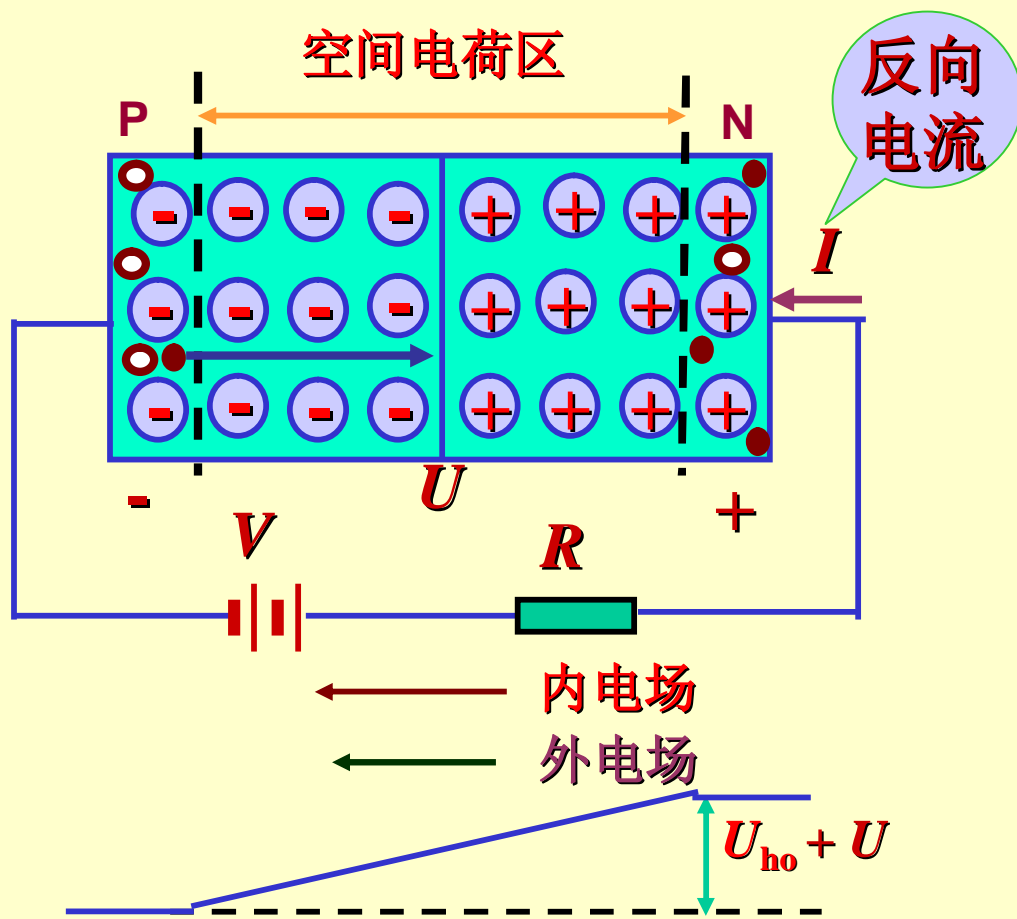
外电场增强了内电场有利于漂  
移运动，不利于扩散运动。

一定温度下， $V$  超过某  
一值后  $I$  饱和，称为反  
向饱和电流  $I_S$ 。

$I_S$  对温度十分敏感。

反向电流非常小，PN结处于截止(cut-off)状态。

结论：PN结具有单向导电性：正向导通，反向截止。



动画



## 二、二极管的伏安特性

阳极从P区引出，阴极从N区引出。

### 1. 二极管的类型

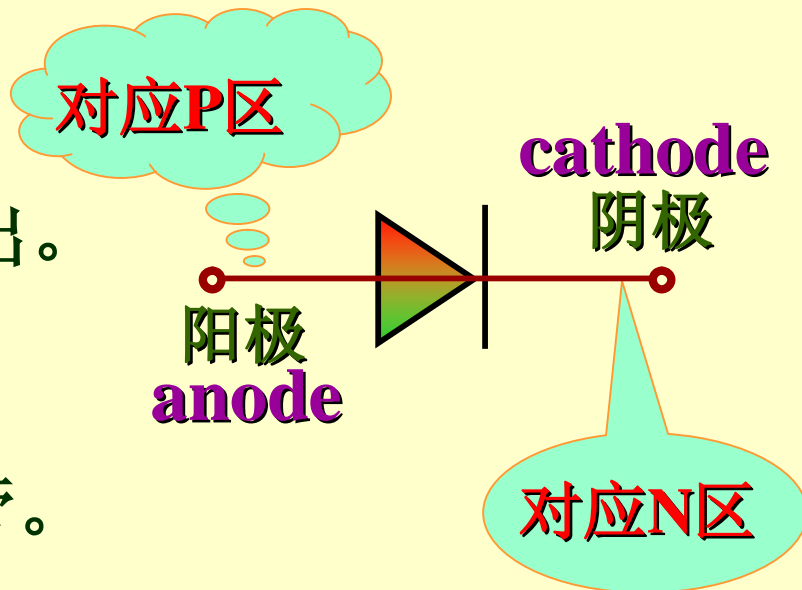
从材料分：硅二极管和锗二极管。

从管子的结构分：

点接触型二极管，工作电流小，可在高频下工作，适用于检波和小功率的整流电路。

面接触型二极管，工作电流大，只能在较低频率下工作，可用于整流。

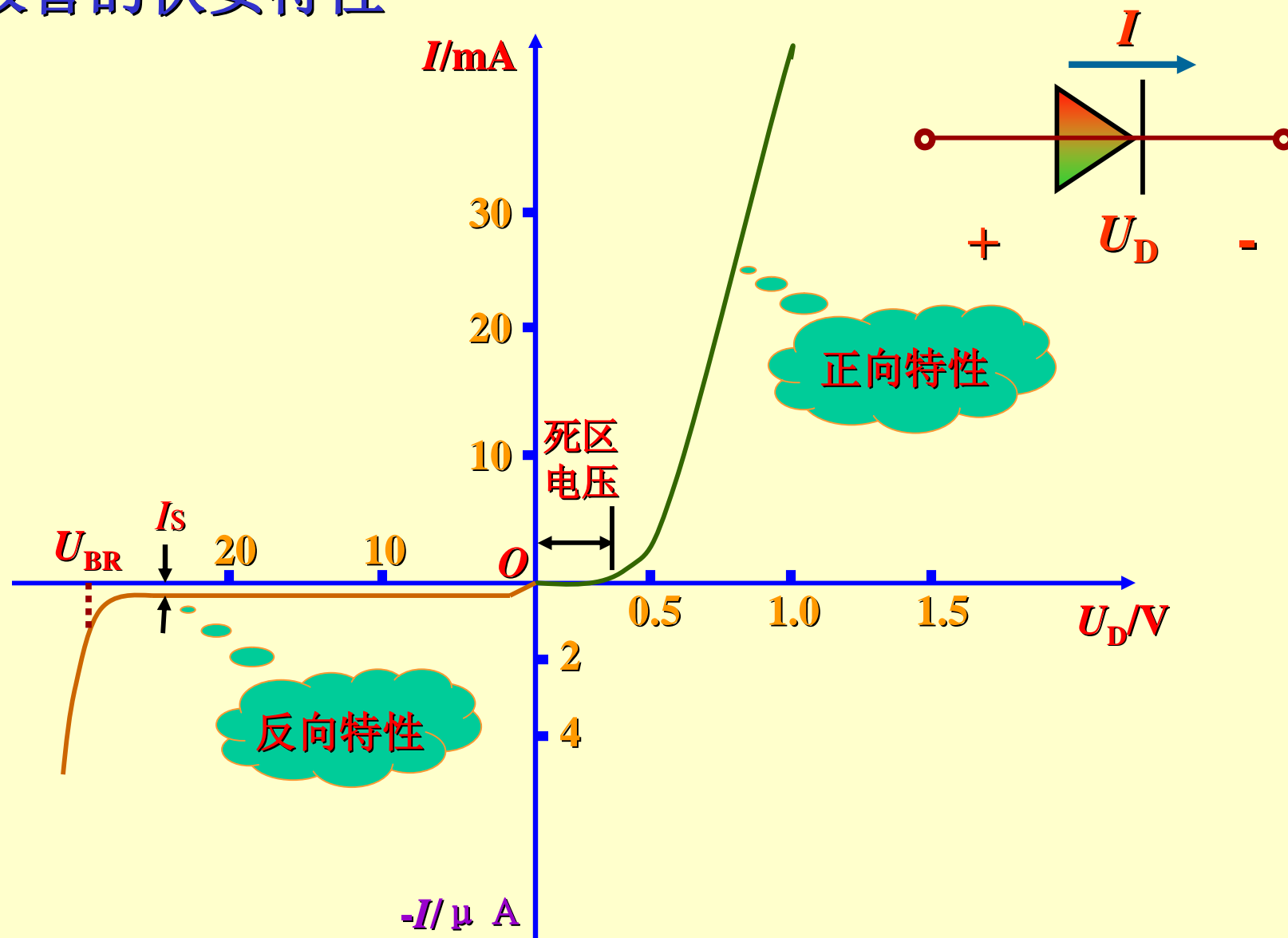
开关型二极管，在数字电路中作为开关管。



二极管的符号



## 2. 二极管的伏安特性



动画

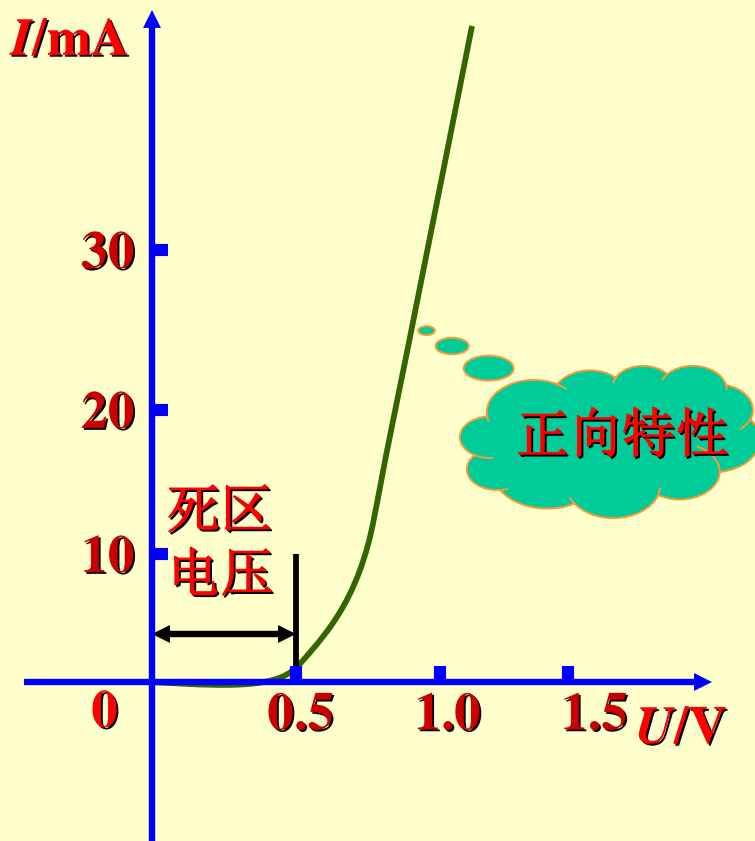


### ♥ 正向特性

死区电压：  
硅二极管为**0.5 V**左右  
锗二极管为**0.1 V**左右

当正向电压超过死区电压后，  
二极管导通，  
电流与电压关系近似指数关系。

导通压降：  
硅二极管为**0.7 V**左右  
锗二极管为**0.2 V**左右



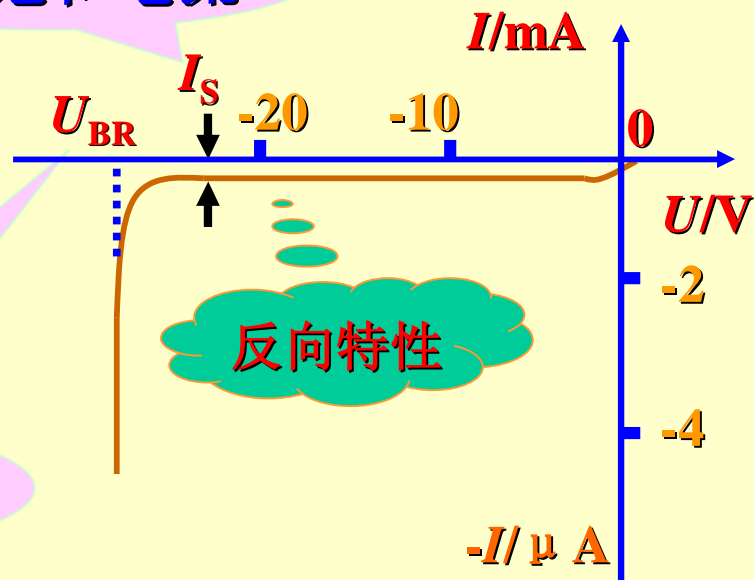
二极管正向特性曲线



## ♥ 反向特性

反偏时，反向电流值很小，  
反向电阻很大，  
反向电压超过 $U_{BR}$ 则被击穿。

### 反向饱和电流



### 反向击穿电压

结论：二极管具有单向导电性，正向导通，反向截止。

二极管方程：
$$I = I_S (e^{\frac{U}{U_T}} - 1)$$

式中： $I_S$ 为反向饱和电流

$U_T$  是温度电压当量，

常温下 $U_T$ 近似为26mV。

若 $|U| \gg U_T$   
则 $I \approx -I_S$

若 $U \gg U_T$   
则 $I \approx I_S e^{\frac{U}{U_T}}$

上页

下页

首页





### 三、二极管的主要参数

#### ♥ 最大整流电流 $I_F$

指二极管长期运行时，

允许通过管子的最大正向平均电流。

$I_F$ 的数值是由二极管允许的温升所限定。

#### ♥ 最高反向工作电压 $U_R$

工作时加在二极管两端的反向电压不得超过此值，

否则二极管可能被击穿。

为了留有余地，通常将击穿电压 $U_{BR}$ 的一半定为 $U_R$ 。



### ♥ 反向电流 $I_R$

室温条件下，在二极管两端加上规定的反向电压时，流过管子的反向电流。

通常希望 $I_R$ 值愈小愈好。 $I_R$ 受温度的影响很大。

### ♥ 最高工作频率 $f_M$

$f_M$ 值主要决定于PN结结电容的大小。

结电容愈大，则二极管允许的最高工作频率愈低。



二极管除了具有单向导电性以外，  
还具有一定的电容效应。

### ♥ 势垒电容 $C_b$

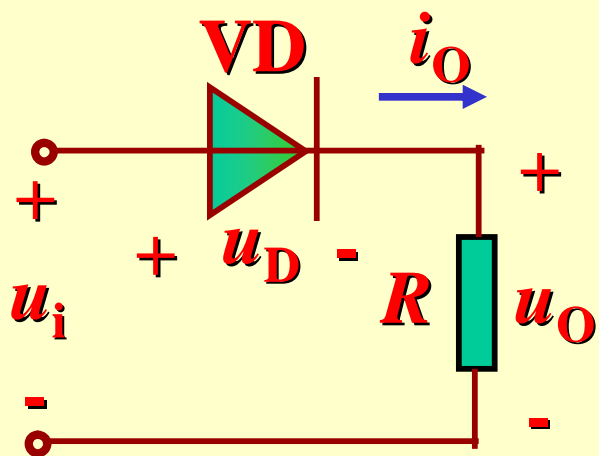
由PN结的空间电荷区形成，又称结电容，  
反向偏置时起主要作用。

### ♥ 扩散电容 $C_d$

由多数载流子在扩散过程中的积累引起，  
正向偏置时起主要作用。



[例1.2.1] 已知  $u_i = U_m \sin \omega t$ ，画出  $u_O$  和  $u_D$  的波形

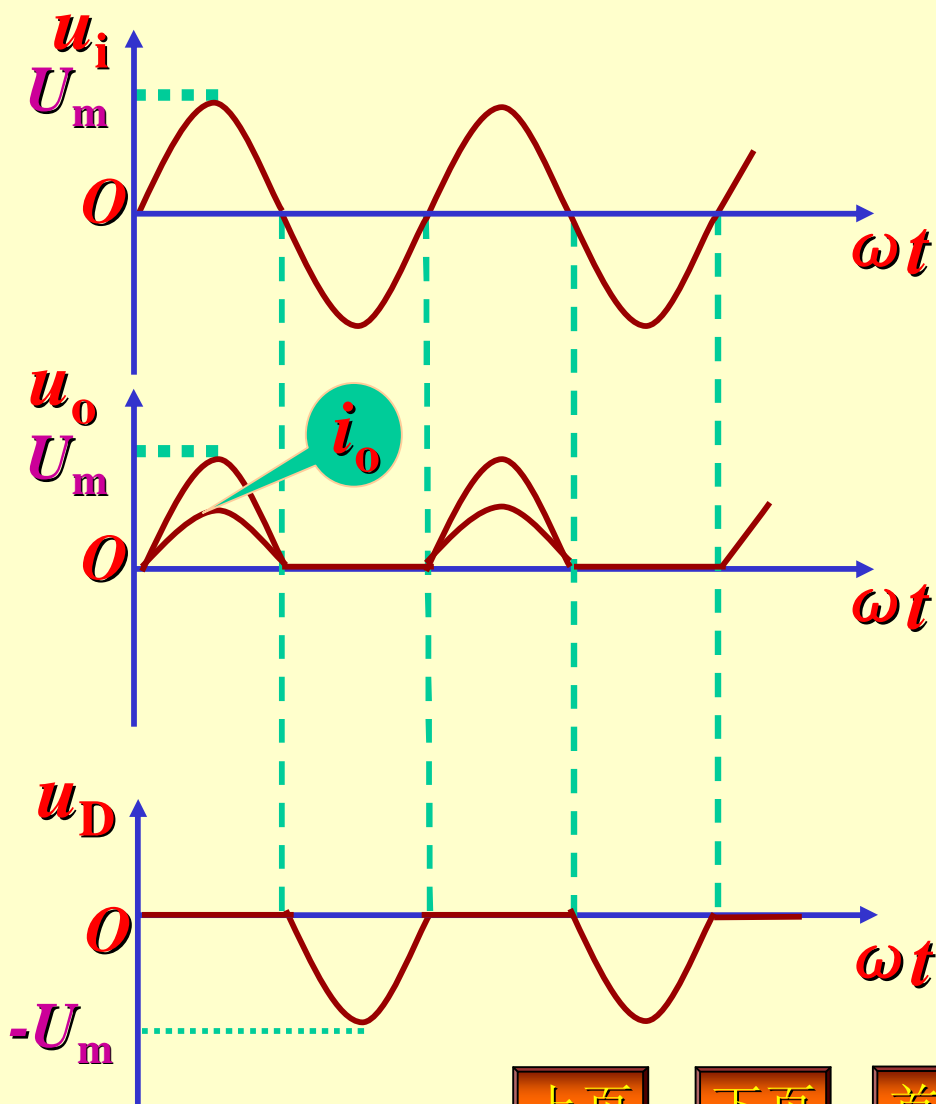


$u_i > 0$  时二极管导通,

$$u_O = u_i \quad u_D = 0$$

$u_i < 0$  时二极管截止,

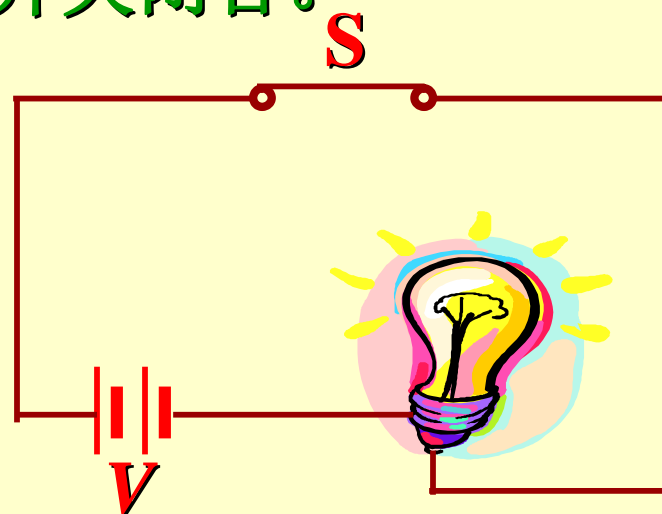
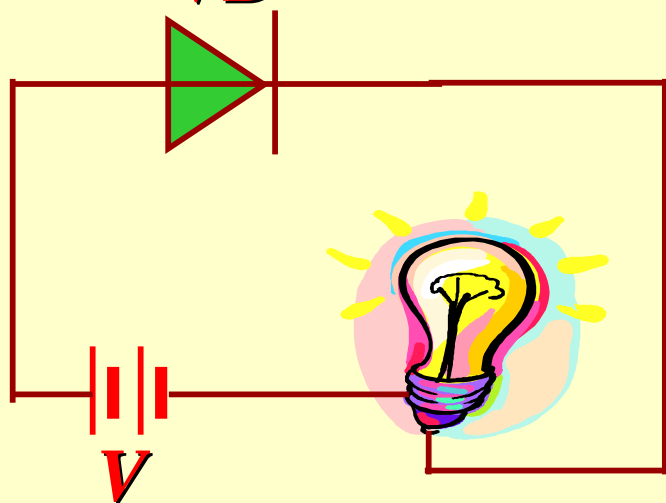
$$u_D = u_i \quad u_O = 0$$



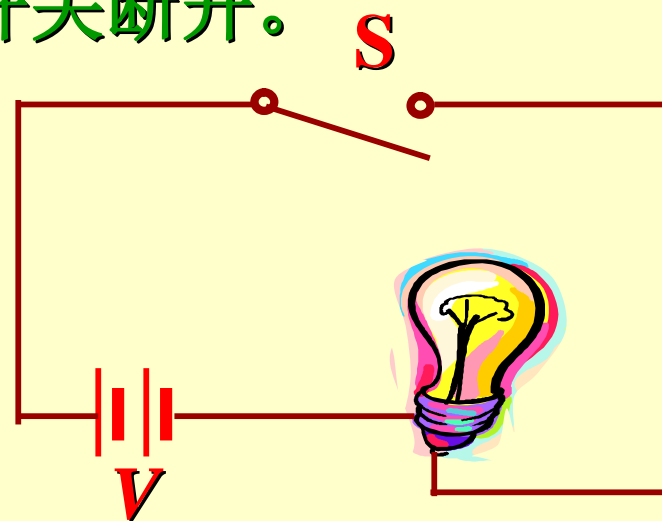
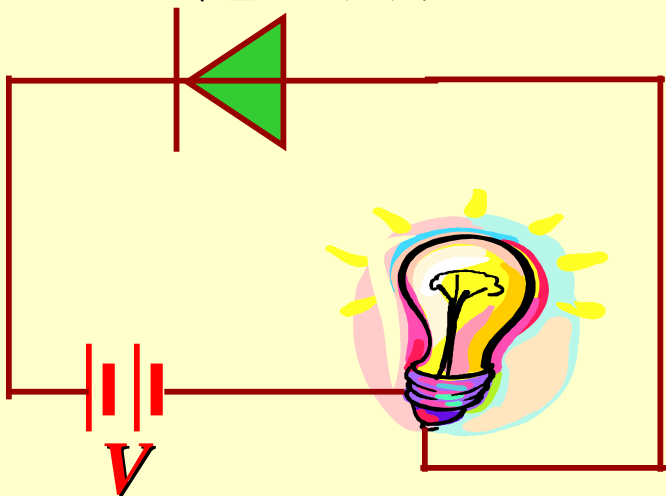


## [例1.2.2] 二极管可用作开关

**VD** 正向偏置，相当于开关闭合。



**VD** 反向偏置，相当于开关断开。

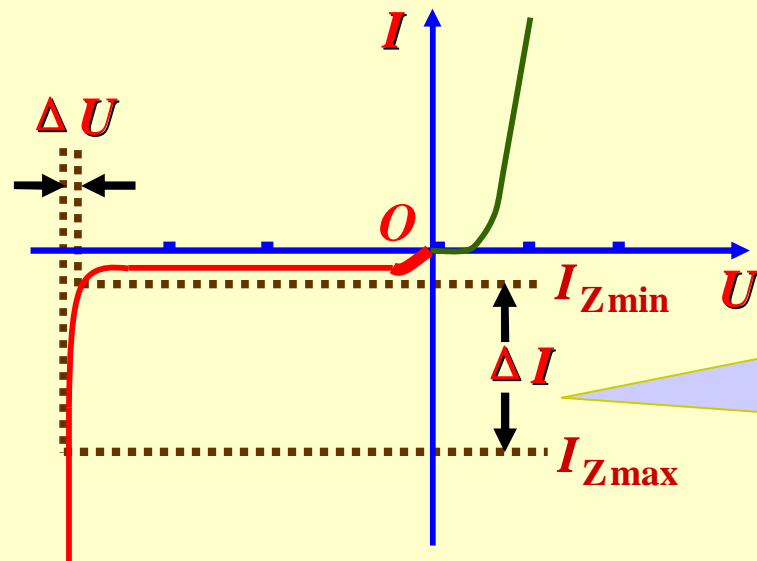


## 四、稳压管

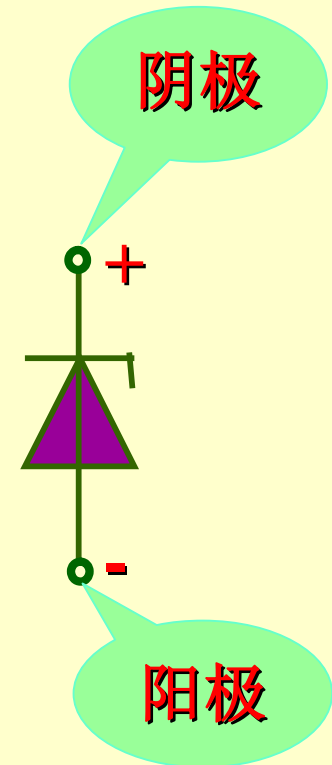
稳压管是一种面接触型二极管，与二极管不同之处：

- 1.采用特殊工艺，击穿状态不致损坏；
- 2.击穿是可逆的。

符号及特性曲线如下图所示：



$\frac{\Delta U}{\Delta I}$  值很小  
有稳压特性



稳压管的伏安特性和符号



## 主要参数:

1. 稳定电压 $U_Z$ : 稳压管工作在反向击穿区时的工作电压。
2. 稳定电流 $I_Z$ : 稳压管正常工作时的参考电流。
3. 动态内阻 $r_Z$ : 稳压管两端电压和电流的变化量之比。

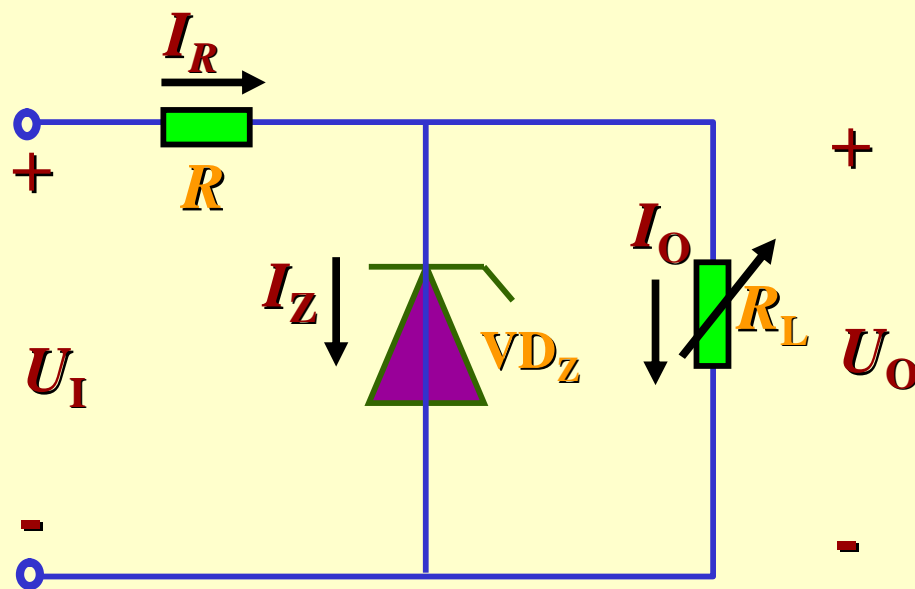
$$r_Z = \Delta U / \Delta I$$

4. 电压的温度系数  $\alpha_U$ : 稳压管电流不变时, 环境温度对稳定电压的影响。
5. 额定功耗 $P_Z$ : 电流流过稳压管时消耗的功率。



## 使用稳压管组成稳压电路时的注意事项：

1. 稳压管必须工作在反向击穿区。
2. 稳压管应与负载 $R_L$ 并联。
3. 必须限制流过稳压管的电流 $I_Z$ 。



稳压管电路



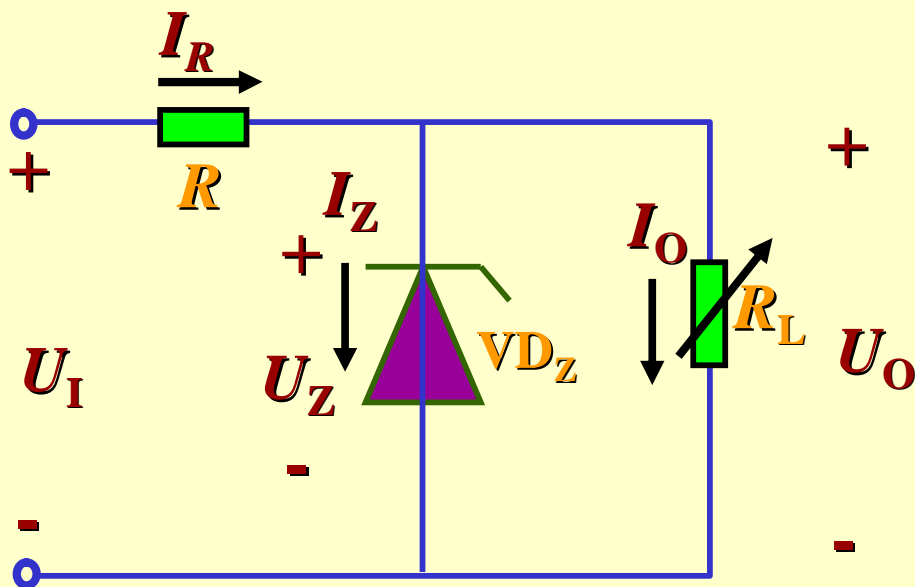


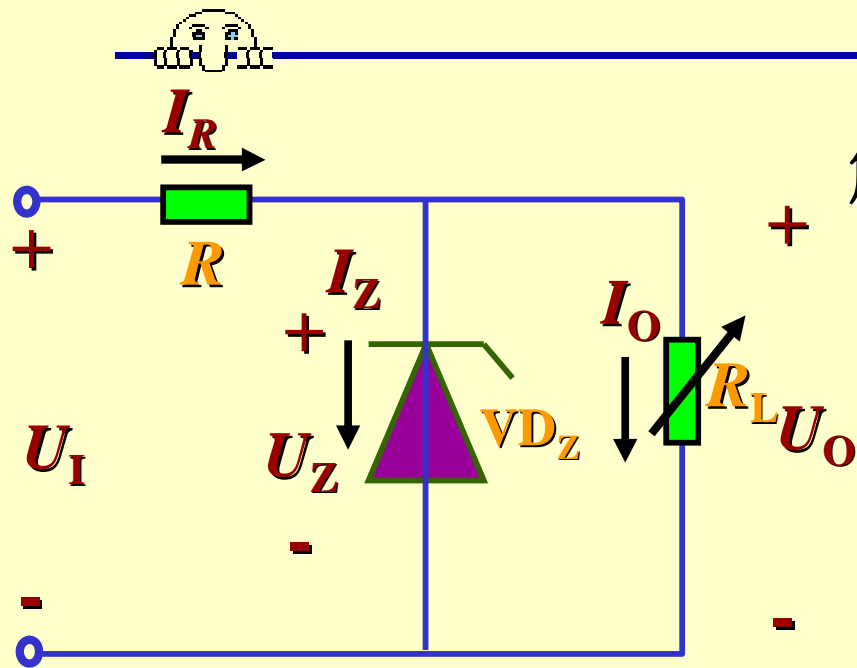
[例1.2.3] 电路如图所示, 已知  $U_{I\max} = 15V$ ,  $U_{I\min} = 10V$

$I_{Z\max} = 50mA$ ,  $I_{Z\min} = 5mA$ ,  $R_{L\max} = 1k\Omega$ ,  $R_{L\min} = 600\Omega$

$U_Z = 6V$ , 对应  $\Delta U_Z = 0.3V$ 。

求  $r_Z$ , 选择限流电阻  $R_O$





解:  $\Delta I_Z = I_{Z\max} - I_{Z\min} = 45 \text{ mA}$

$$r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z} = 6.7 \Omega$$

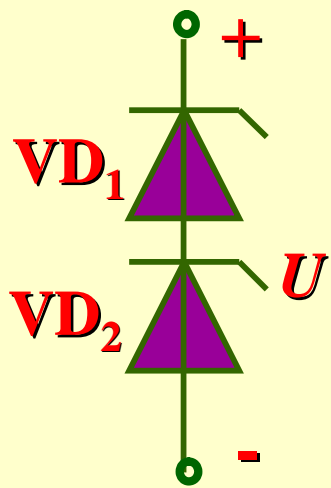
$$I_Z = I_R - I_O = \frac{U_I - U_Z}{R} - \frac{U_Z}{R_L}$$

$$I_{Z\max} > \frac{U_{I\max} - U_Z}{R} - \frac{U_Z}{R_{L\max}} \Rightarrow R > \frac{15 - 6}{50 + \frac{6}{1}} \text{ k}\Omega = 161 \Omega$$

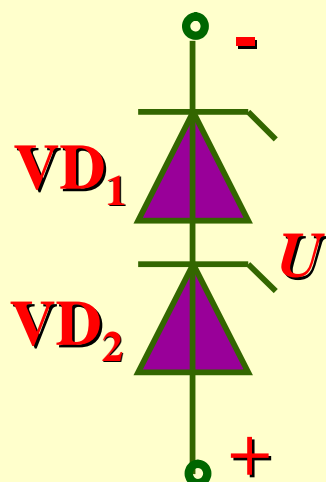
$$I_{Z\min} < \frac{U_{I\min} - U_Z}{R} - \frac{U_Z}{R_{L\min}} \Rightarrow R < \frac{10 - 6}{5 + \frac{6}{0.6}} \text{ k}\Omega = 267 \Omega$$



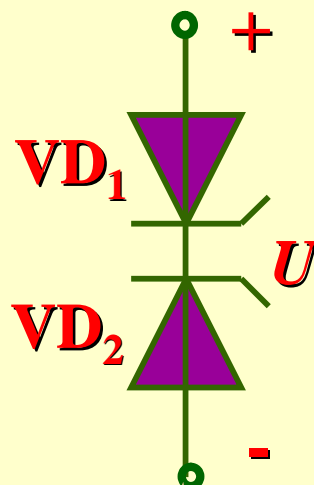
[例1.2.4] 有两个稳压管  $VD_1$  和  $VD_2$ ，它们的稳压值为  $U_{Z1} = 6\text{ V}$ ， $U_{Z2} = 8\text{ V}$ ，正向导通压降均为  $U_D = 0.6\text{ V}$ ，将它们串联可得到几种稳压值？



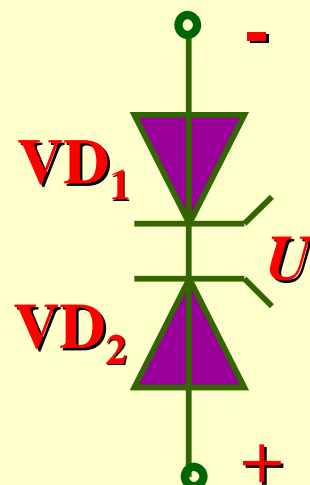
$$U = U_{Z1} + U_{Z2} \\ = 14\text{ V}$$



$$U = U_D + U_D \\ = 1.2\text{ V}$$



$$U = U_D + U_{Z2} \\ = 8.6\text{ V}$$



$$U = U_{Z1} + U_D \\ = 6.6\text{ V}$$

