

# 第一章、常用电力半导体器件

- 功率二极管
- 晶闸管
- 双极型功率晶体管（GTR）
- 功率场效应晶体管（功率MOSFET）
- 绝缘门极双极型晶体管（IGBT）

# 第一节 功率二极管

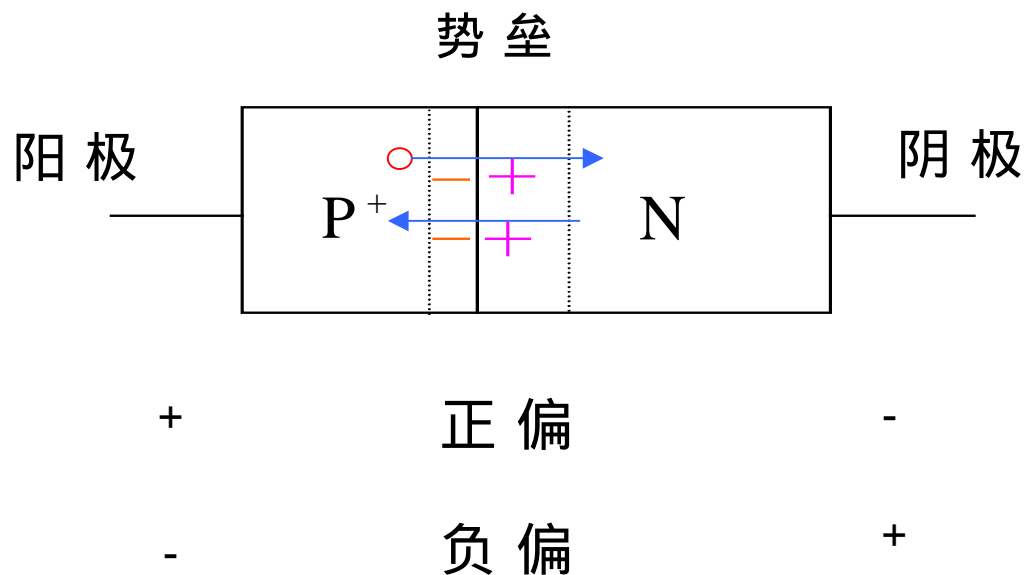
## 一、根据器件的基本结构分类

- (1) PN结功率二极管
- (2) 肖特基 ( Schottky ) 功率二极管

## 二、PN结功率二极管

### 1. 结构

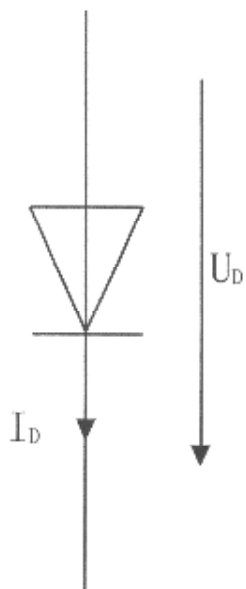
- 具有P - N或P - i - N结构，通过扩散工艺制作。
- 利用PN结势垒制成的二极管



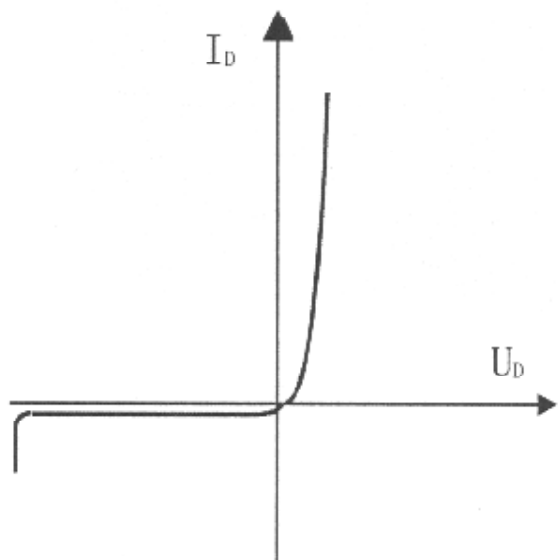
## 2. 静态特性

- 具有单向导电性
- 正偏时：降低势垒，二极管导通，通态压降1伏左右。
- 反偏时：
  - 在达到击穿电压前，仅有很小的反向漏电流流过。
  - 在达到击穿电压后，反向电流急剧增加。

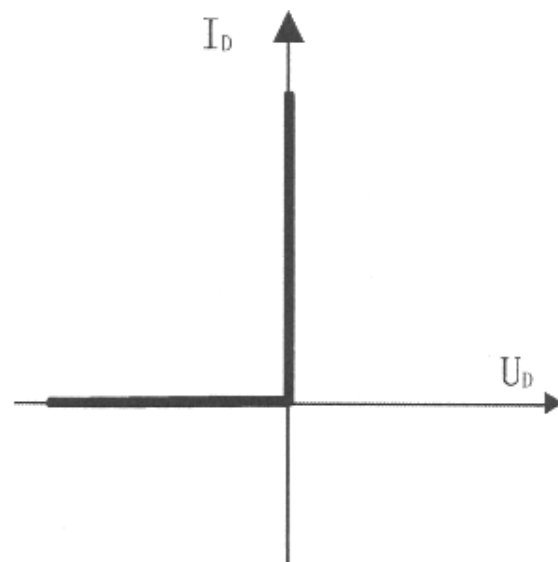
# 静态伏安特性



(A) 二极管的线路符号



(B) 稳态伏安特性



(C) 理想稳态伏安特性

图 1-1: 二极管的线路符号及其稳态伏安特性

### 3. 动态特性（自学）

### 4. 应用

- 使交流功率整流为直流功率
- 回馈
- 续流

# 三、肖特基功率二极管

## 1. 结构

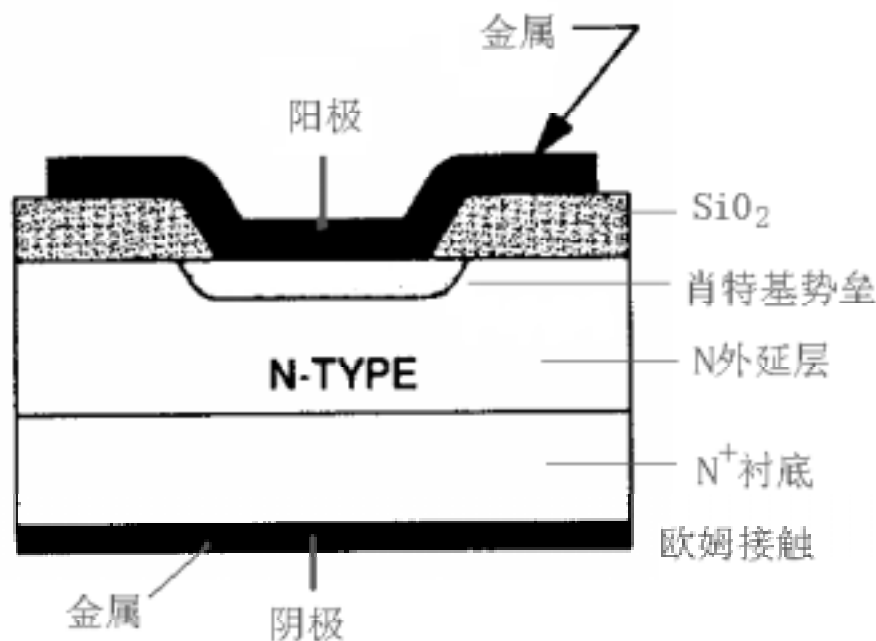
- 利用金属与半导体之间的势垒制成的二极管

## 2. 特性

- 低导通电压(0.3V)，短开关时间
- 反向漏电流大，阻断电压低

## 3. 应用

- 适合于高频低压应用



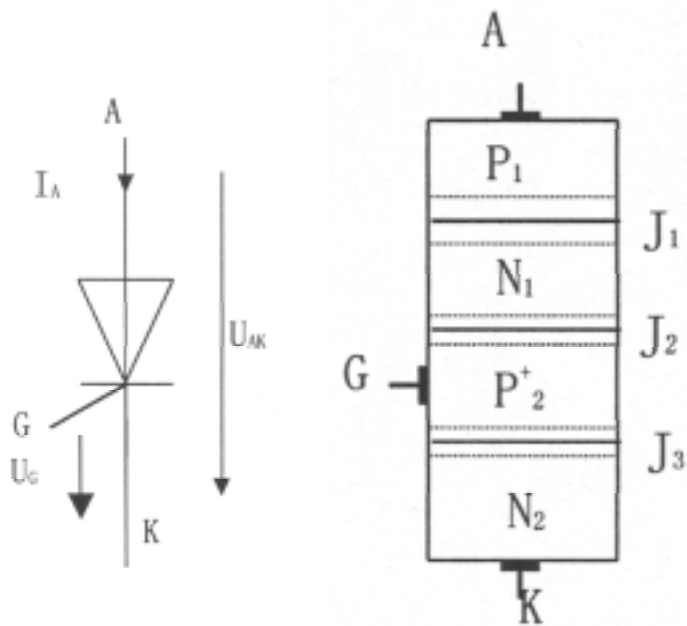
肖特基功率二极管结构图

## 第二节 晶闸管

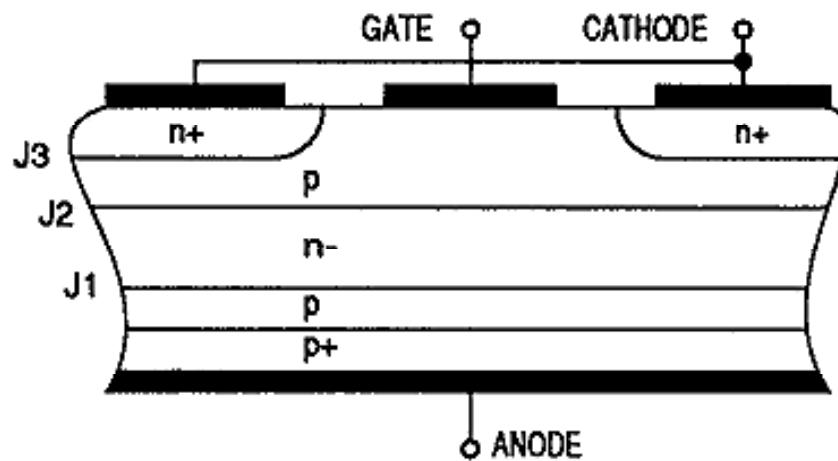
- 晶闸管是晶体闸流管的简称，是具有PNPN四层结构的各种开关器件的总称。
- 普通晶闸管，也称可控硅整流管（SCR）
- 派生器件：快速晶闸管、逆导晶闸管、门极可关断晶闸管、双向晶闸管、光控晶闸管等。



- 晶闸管具有一个三端PNPN结构，由扩散工艺制作。



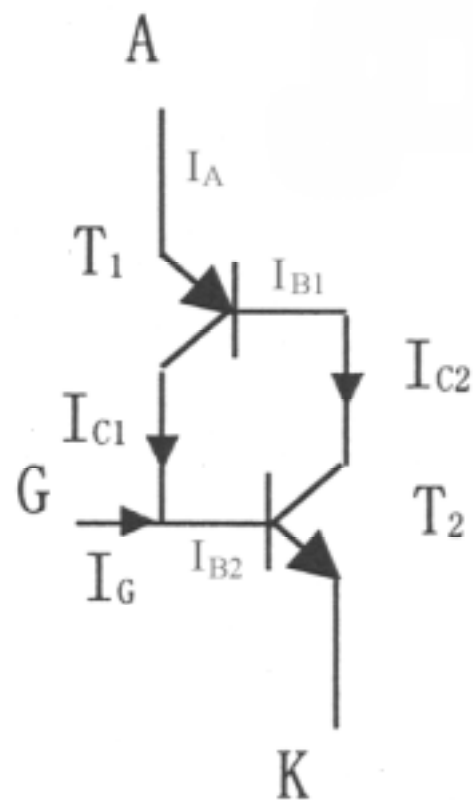
线路符号



结构图

# 一、双晶管理论

- 一个晶闸管可以用正反馈下的PNP和NPN晶体管表示。
- $I_G \rightarrow I_{C2} (I_{B1}) \rightarrow I_{C1} \rightarrow I_{B2} = I_G + I_{C1} \rightarrow I_{C2} \rightarrow I_{C1} \rightarrow$  正反馈  $\rightarrow T1、T2$  饱和  $\rightarrow$  晶闸管导通
- 晶闸管导通后，即使去掉门极电流，仍能维持导通。
- 普通晶闸管即使加负的门极电流也不能使其关断。



(c) 晶闸管的等效电路

## 二、静态伏安特性

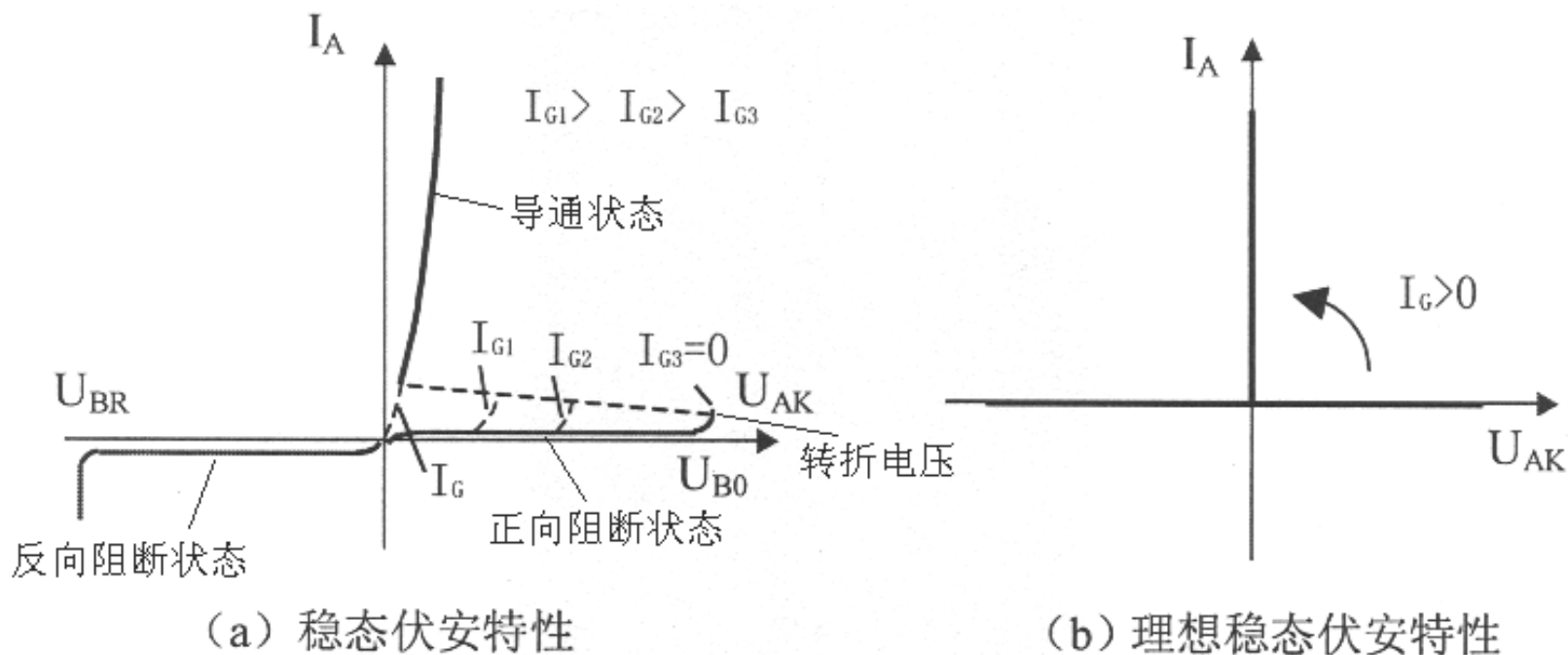
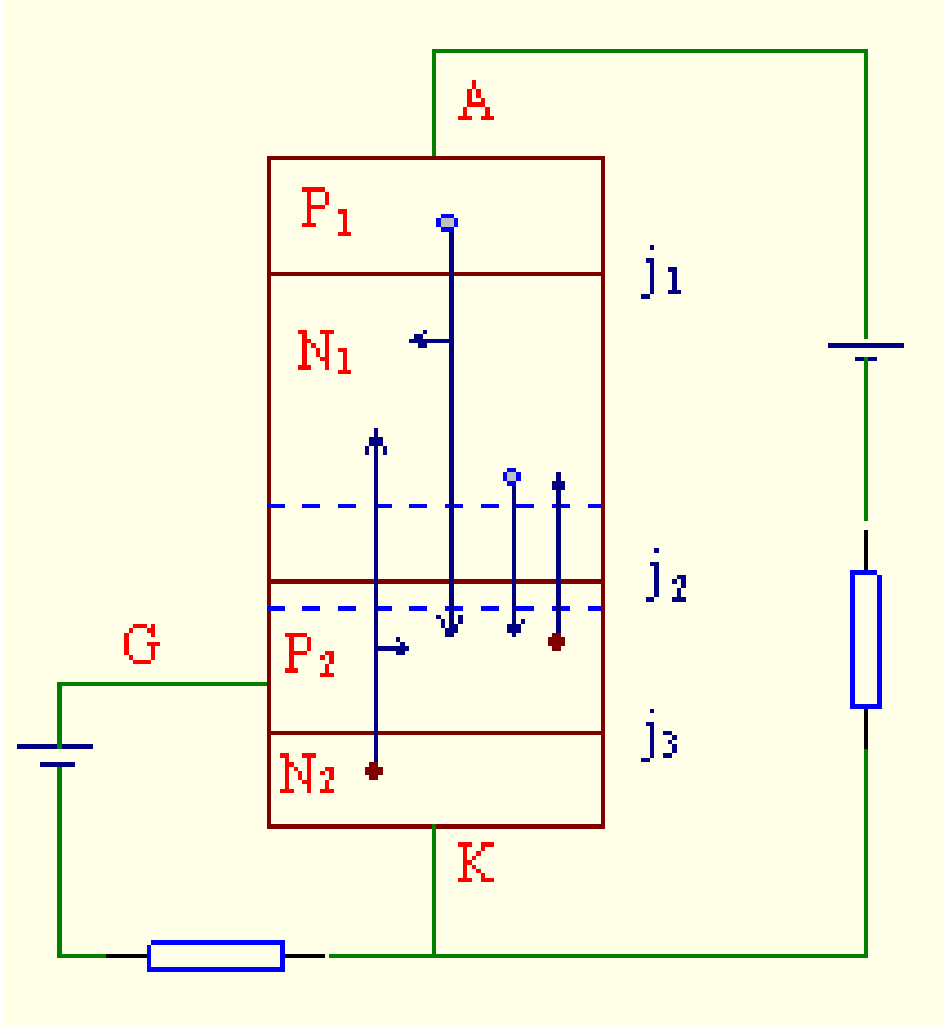


图 1-6: 晶闸管的稳态伏安特性

# 晶闸管门极触发机理



# 1. 正向阻断状态

- $U_{AK} > 0$ ，门极电流 = 0时： $j_2$ 结反偏，不导通
- $U_{AK}$ 达到转折电压时： $j_2$ 结击穿，导通
- 门极电流 $\uparrow$   $\rightarrow$  正向转折电压 $\downarrow$   $\rightarrow$  在 $I_G$ 处，器件相当于一个二极管导通特性

## 2. 反向阻断状态

- $U_{AK} < 0$ 时： $j_1$ 、 $j_3$ 结反向偏置，主要由 $j_1$ 承受反压，器件不导通
- $U_{AK} >$ 反向击穿电压时：晶闸管反向击穿

### 3. 触发导通

- 如果晶闸管阳极电压 $U_{AK}$ 为正值，且注入足够的门极电流，从而使器件进入饱和导通，称为晶闸管的触发导通。
- 触发导通条件： $U_{AK} > 0$ ， $U_{GK} > 0$ ，并有足够的触发功率。
- 一旦器件导通，门极电流就不再具有控制作用。因此，门极触发电流可用脉冲电流，无需用直流。

## 4. 关断

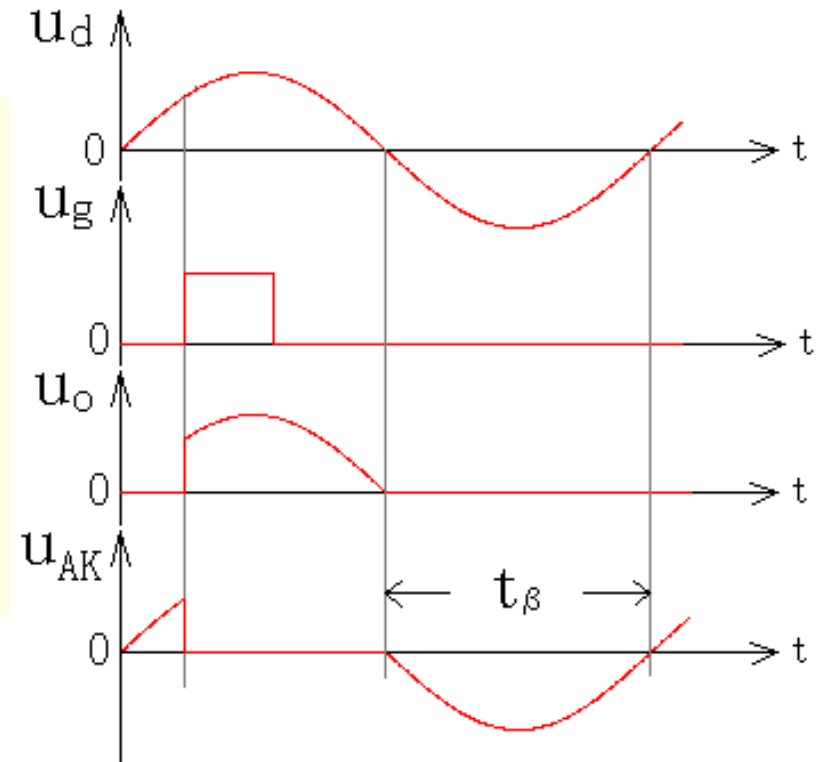
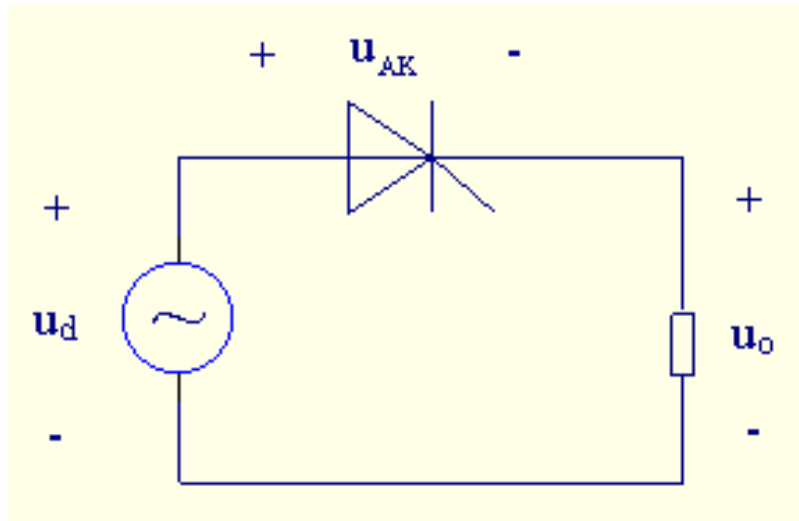
- 自然关断：在导通期间，如果要求器件返回到正向阻断状态，必须令门极电流为零，且将阳极电流降低到一个称为维持电流的临界极限值以下，并保持一段时间。
- 强迫关断：通过加一反向电压 $U_{AK} < 0$ ，并保持一段时间使其关断。
- 在实际电路中是采用阳极电压反向、减小阳极电压、增大回路阻抗等方式，使阳极电流小于维持电流，使晶闸管关断。



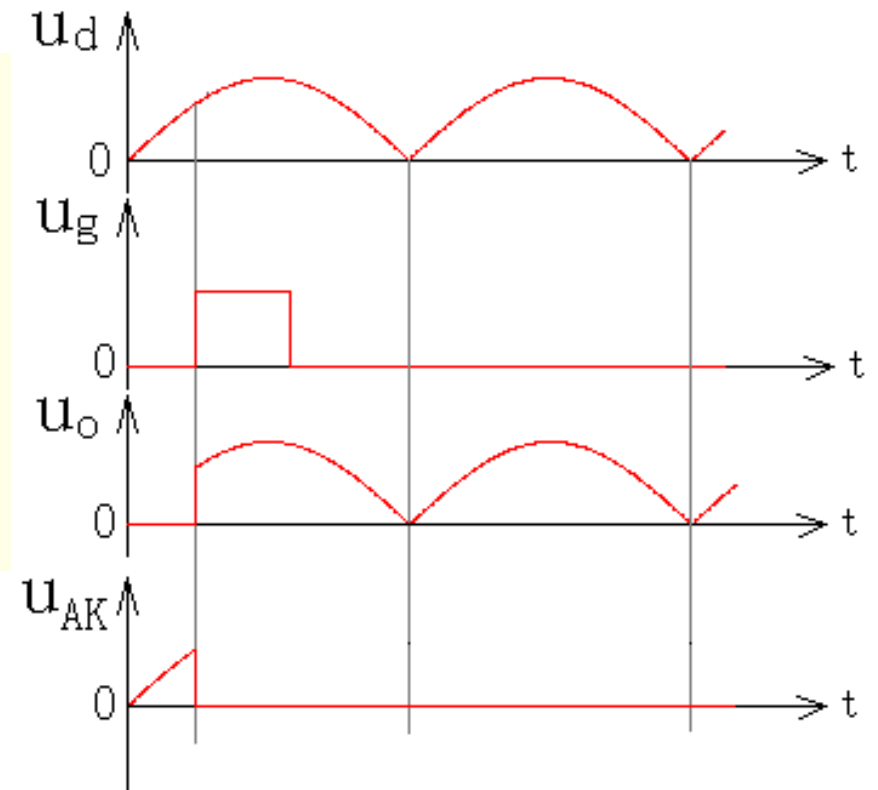
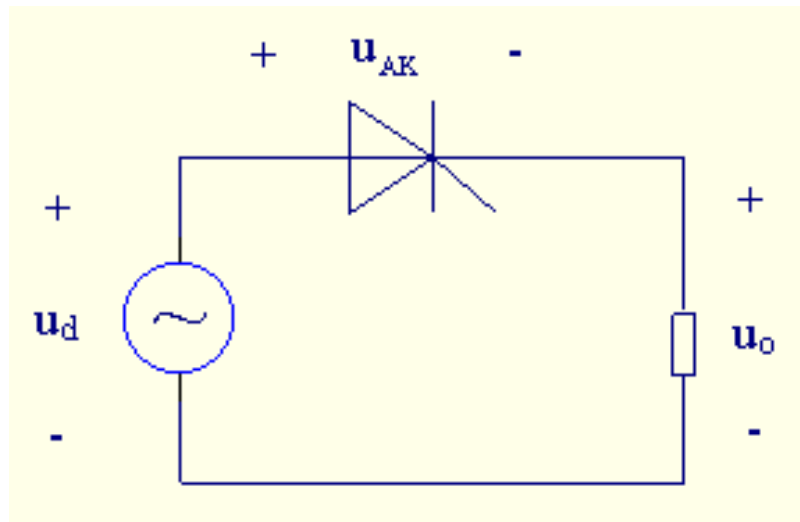
- 维持电流 $I_H$ ：是指晶闸管稳定导通以后，逐渐减小通过器件的阳极电流 $I_A$ ，仍能维持住导通状态不变的最小阳极电流。
- 当 $I_A < I_H$ 时，晶闸管就维持不住导通，而进入阻断状态。
- 维持电流一般很小，几十mA，接近于零。

- 关断时间 $t_q$ ：恢复晶闸管电压阻断能力所需的最小电路换流反压时间。
- 电路换流反压时间 $t_\beta$ ：正向电流过零点与重新施加电压的起点之间的时间间隔。
- 关断条件： $U_{AK} < 0$  (或 $I_A < I_H$ )，并保持一段时间 $t_\beta > t_q$ 。
- 由于在触发导通时积累的非平衡载流子需要恢复时间，使其可靠关断，因此需要在 $t_\beta > t_q$ 之后再施加正向电压而不会导通。

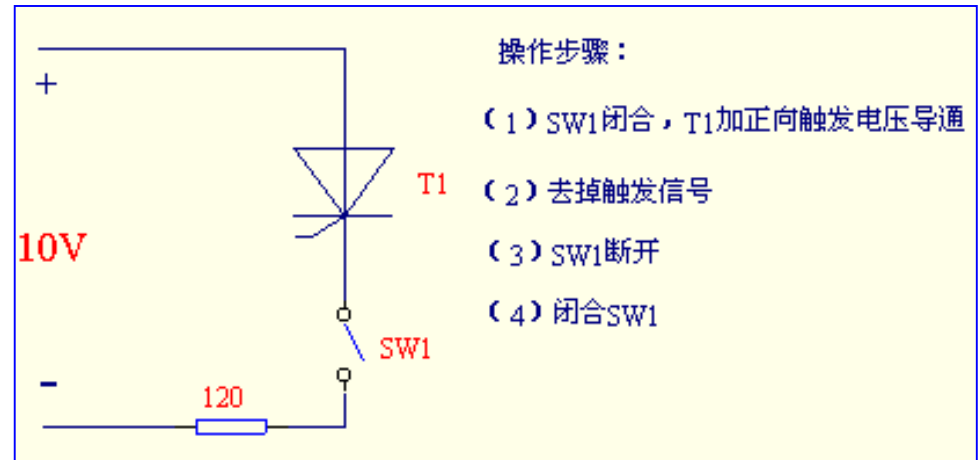
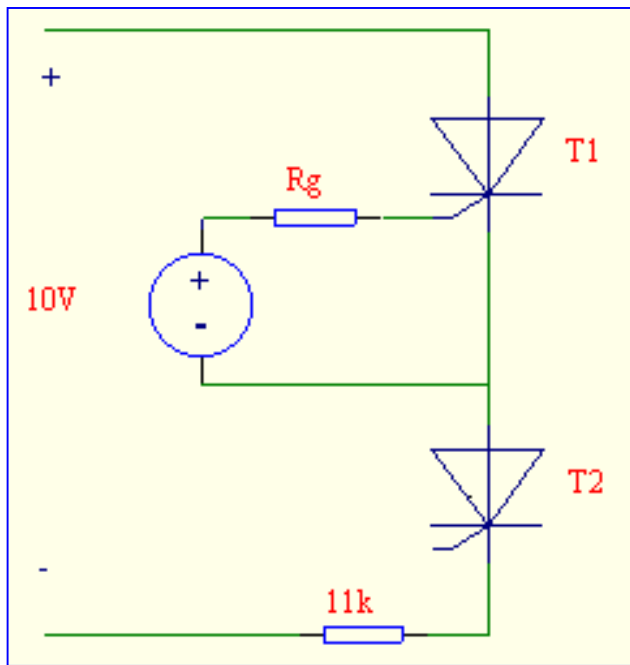
# 开通条件与关断条件举例1.1



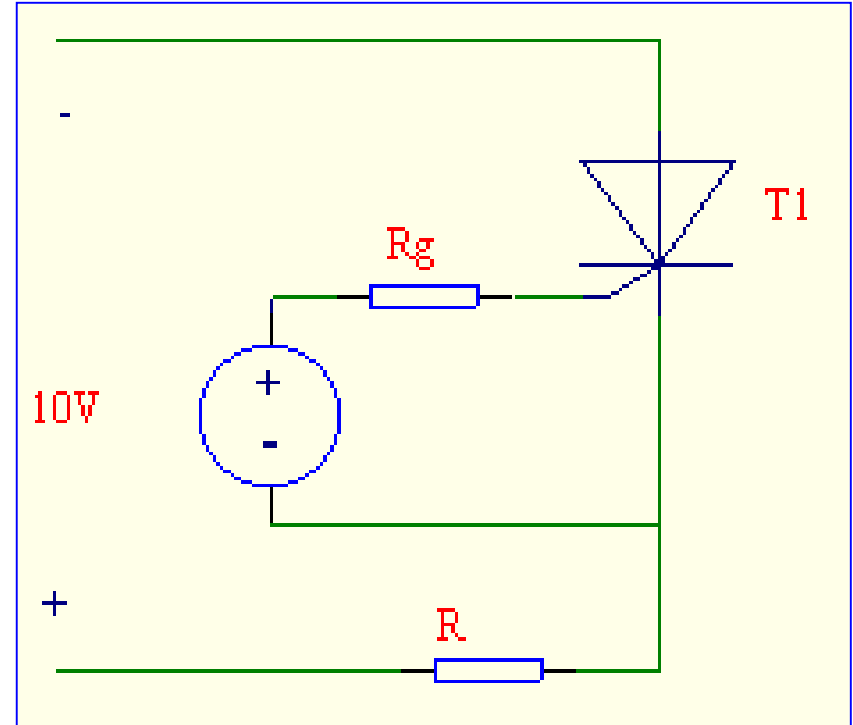
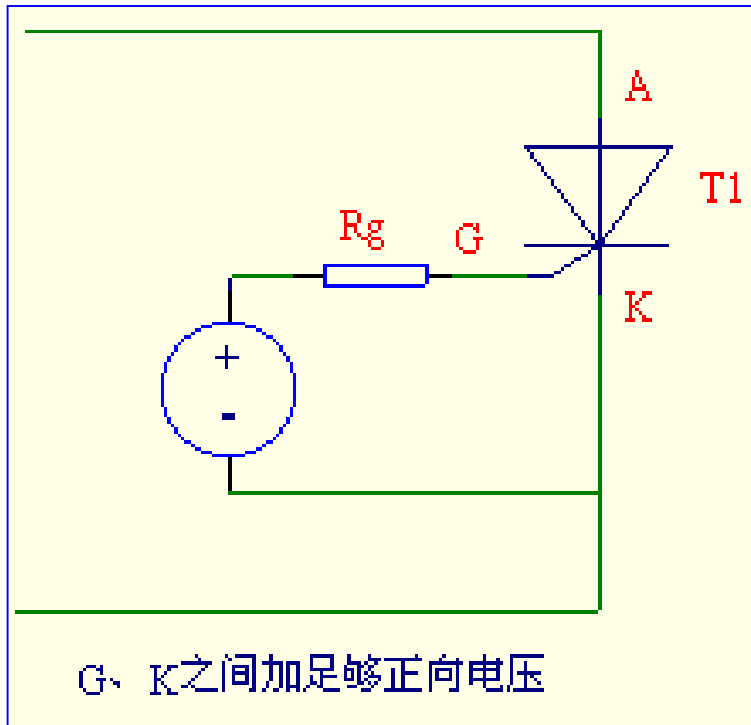
# 开通条件与关断条件举例1.2



# 开通条件与关断条件举例2.1



# 开通条件与关断条件举例2.2



- 5. 硬开通、 $du/dt$ 误导通 （自学）
- 三、开关特性（自学）