



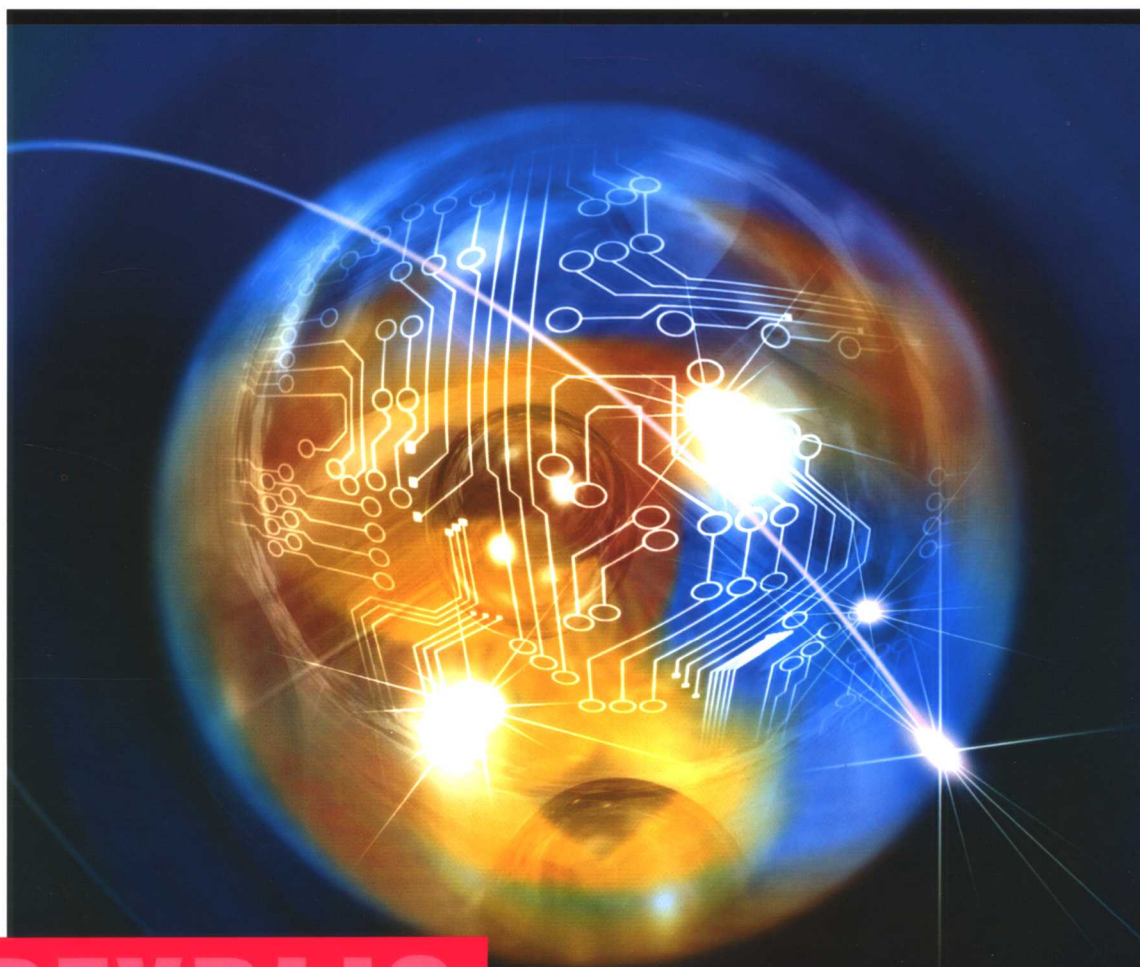
全国高职高专一体化教学(电气专业)通用教材

QUANGUO GAOZHIGAOZHUAN YITIHUAJIAOXUE DIANQIZHUANYE TONGYONGJIAOCAI

# 电力电子与变流技术

**DIANLIDIANZI YU BIANLIU JISHU**

主编 高学民



**DLDZYBLJS**



山东科学技术出版社  
[www.lkj.com.cn](http://www.lkj.com.cn)



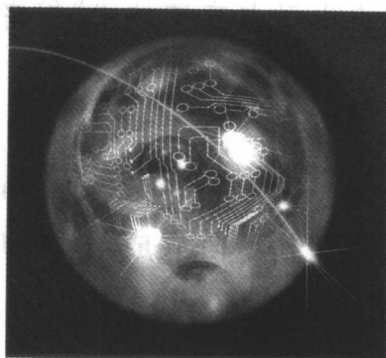
全国高职高专一体化教学(电气专业)通用教材

QUANGUO GAOZHIGAOZHUAN YITIHUAJIAOXUE DIANQIZHUANYE TONGYONGJIAOCAI

# 电力电子与变流技术

DIANLIDIANZI YU BIANLIU JISHU

主编 高学民



山东科学技术出版社

### 图书在版编目(CIP)数据

电力电子与变流技术/高学民主编. —济南: 山东科学技术出版社, 2005.9

高职高专一体化教育通用教材

ISBN 7-5331-4155-5

I. 电... II. 高... III. ①电力电子学—高等学校: 技术学校—教材②变流器—高等学校: 技术学校—教材

IV. ①TM1②TM46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 094916 号

全国高职高专一体化教学(电气专业)通用教材

### 电力电子与变流技术

主编 高学民

---

**出版者: 山东科学技术出版社**

地址: 济南市玉函路 16 号

邮编: 250002 电话: (0531)82098088

网址: [www.lkj.com.cn](http://www.lkj.com.cn)

电子邮件: [sdkj@sdpress.com.cn](mailto:sdkj@sdpress.com.cn)

**发行者: 山东科学技术出版社**

地址: 济南市玉函路 16 号

邮编: 250002 电话: (0531)82098071

**印刷者: 山东新华印刷厂**

地址: 济南市胜利大街 56 号

邮编: 250001 电话: (0531)82079112

---

开本: 787mm × 1092mm 1/16

印张: 11.5

版次: 2005 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

---

ISBN 7-5331-4155-5

TN·73

定价: 19.50 元

## BIANXIESHUOMING

近年来,我国职业教育蓬勃发展。国家教育部多次在全国教育系统会议上强调:“高职教育必须以就业为导向”。这就要求高职教育要培养适合市场需要的应用型技术人才,即高职教育培养的学生应具备扎实的理论水平和熟练的操作技能。

理论与实践相结合的“一体化教学”模式是高职教育在教学改革中探讨出的新方式。目前“双师型”教师在职业院校的比重不断增加,而教材的一体化建设却远远没有做到。目前,各职业院校中使用的教材大多还是理论与实践分开的,编写一套适合高职教育的一体化教学模式的规范教材成为当前一项紧迫的课题。

为了贯彻“一体化教学”在高职教育中实施的指导思想,山东科学技术出版社在充分调研的基础上,组织省内外 10 多家职业院校共同研讨,决定编写一套适合一体化教学特色的教材,并聘请了有丰富经验的专家和工程师负责,组织在职业教育一线教学的“双师型”教师参加编写工作。

这套教材的主要特色有以下几个方面:

1. 吸收和借鉴各地职业院校教学改革的成功经验,保证理论与实践的紧密结合。在每章节中都穿插典型实例,章节后有典型、实用的实训项目及必要的训练要求,从而真正体现了“一体化教学”模式的特点。

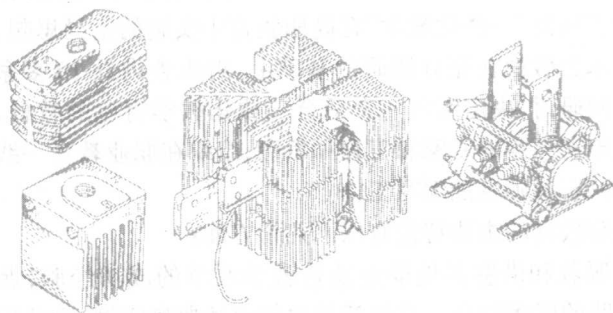
2. 在一些重要课程中编写了课题设计及工程实践内容,力求贴近工业现场,体现了技能训练向工业现场的自然过渡。

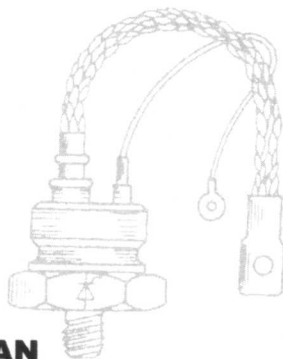
3. 教材编写时力求简练实用,贯彻国家关于职业资格证书制度与就业制度相衔接的有关精神,实训项目的选取参考了该专业相关国家职业技能鉴定(高级)标准。

4. 本套教材层次清楚,内容详实,易学易教,方便自学,在内容选取上体现了知识的代表性和技术的前瞻性。

本套教材可作为高职高专相关专业的“一体化教学”的通用教材,也可结合国家教育部两年制高职教育的试点推行使用,还可在各类职业院校、相关职业培训学校中使用;另外也可作为工程技术人员学习的参考读物。希望读者提出宝贵意见,使本套教材得到不断的充实与完善,为职业教育一体化教学的改革发挥助推作用。

山东科学技术出版社





QIANYAN

本书为 21 世纪高职教育规划教材,是根据高职高专电气自动化技术专业人才培养规格和最新出版的维修电工国家职业标准,组织“双师型”教师编写的。在内容选取上,体现了先进性和实践性。以培养综合型应用人才为目标,在注重基础理论教育的同时,突出实践性教学环节。力图做到深入浅出,便于教学,突出高职高专职业教育的特点。

电力电子与变流技术是一门高新技术,近年来发展十分迅速。它是介于电气工程三大领域(电力、电子和控制)之间的边缘学科。可关断电力电子器件和它实现的斩波器与脉宽调制逆变器日新月异。本书体现了该领域最新技术的发展现状,可作为高职高专机电一体化专业和电类专业教材,也可以供技工学校师生和技术人员学习参考和自学之用。

本书共分七章,首先介绍了晶闸管,在此基础上讨论晶闸管整流电路及逆变电路的基本内容,分析了斩波器与变频器的工作原理及其使用。

本书由烟台市技术学院高学民主编,其中第一章由高学民编写,第二章由王玲编写,第三章由蒋兆德编写,第四章由吕品编写,第五章由刘晓东编写,第六章由王世桥、陈立成编写,第七章由蒋家响、衣绍丽编写。由济南大学王炳实教授担任主审。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者



|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| <b>第一章 晶闸管</b> .....            | 1  |
| 第一节 晶闸管的结构和工作原理 .....           | 1  |
| 第二节 晶闸管的特性、参数和型号 .....          | 5  |
| 第三节 其他晶闸管 .....                 | 11 |
| 习题 .....                        | 15 |
| <b>第二章 晶闸管可控整流电路和触发电路</b> ..... | 16 |
| 第一节 晶闸管单相可控整流电路 .....           | 16 |
| 第二节 晶闸管三相可控整流电路 .....           | 21 |
| 第三节 负载类型对晶闸管整流的影响 .....         | 29 |
| 实训 晶闸管的触发电路 .....               | 37 |
| 习题 .....                        | 48 |
| <b>第三章 晶闸管的使用</b> .....         | 50 |
| 第一节 晶闸管的保护 .....                | 50 |
| 第二节 晶闸管容量的扩展 .....              | 57 |
| 实训 晶闸管的选用和检测 .....              | 60 |
| 习题 .....                        | 63 |
| <b>第四章 有源逆变电路</b> .....         | 64 |
| 第一节 有源逆变电路基本知识 .....            | 64 |
| 第二节 三相半波逆变电路 .....              | 69 |
| 第三节 三相桥式逆变电路 .....              | 71 |
| 第四节 逆变失败与逆变角的限制 .....           | 73 |
| 第五节 逆变工作状态时的直流电动机机械特性 .....     | 75 |
| 实训 有源逆变电路应用 .....               | 79 |
| 习题 .....                        | 84 |



|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>第五章 无源逆变电路</b> .....      | 85  |
| 第一节 换相方式 .....               | 86  |
| 第二节 电流型和电压型逆变电路 .....        | 89  |
| 第三节 电容换相电流型逆变电路 .....        | 95  |
| 第四节 电容换相电压型逆变电路 .....        | 99  |
| 第五节 负载换相式逆变电路 .....          | 106 |
| 第六节 逆变电路的多重化 .....           | 111 |
| 习题 .....                     | 115 |
| <b>第六章 交流调压电路与斩波电路</b> ..... | 117 |
| 第一节 单相交流调压电路 .....           | 117 |
| 第二节 三相交流调压电路 .....           | 121 |
| 第三节 斩波电路 .....               | 126 |
| 习题 .....                     | 134 |
| <b>第七章 变频器</b> .....         | 135 |
| 第一节 变频器的分类 .....             | 135 |
| 第二节 交—直—交变频器 .....           | 137 |
| 第三节 交—交变频器 .....             | 145 |
| 第四节 通用变频器的接线 .....           | 151 |
| 第五节 变频调速的主电路 .....           | 164 |
| 实训 变频器的安装调试和维修保养 .....       | 168 |
| 习题 .....                     | 172 |
| <b>参考文献</b> .....            | 173 |



# 第一章 晶闸管

晶闸管全称硅晶体闸流管,旧称为可控硅,是一种大功率的变流电子器件,主要用于大功率的交流电能和直流电能的相互转换:将交流电转换成直流电,并使输出电压可调,即可控整流;将直流电转换成交流电,即逆变。晶闸管自 20 世纪 50 年代问世以来已经发展成了一个大的家族,除了普通晶闸管外,它的主要成员有双向晶闸管、光控晶闸管、逆导晶闸管、可关断晶闸管、快速晶闸管等等。其中普通晶闸管的应用最广泛,如不作特别说明,我们所说的晶闸管就是指普通晶闸管。

本章主要内容有:

- (1) 普通晶闸管的基本结构、类型、电压电流特性、工作原理、主要参数及型号的编制规则。
- (2) 晶闸管导通和关断的条件。
- (3) 晶闸管的衍生产品如双向晶闸管、可关断晶闸管、光控晶闸管、快速晶闸管、逆导晶闸管等的结构和工作特性。

## 第一节 晶闸管的结构和工作原理

### 一、晶闸管的结构、符号和类型

#### 1. 结构

无论是什么类型的晶闸管,管芯都是由四层半导体材料(P、N、P、N)交替组成,它共有三个 PN 结( $J_1$ 、 $J_2$ 、 $J_3$ ),对外有三个电极,由外层的 P 层和 N 层分别引出阳极 A 和阴极 K,由中间的 P 层引出门极 G,门极又叫控制极,如图 1-1 所示。晶闸管的文字符号是 V,图形符号见图 1-1(c)。

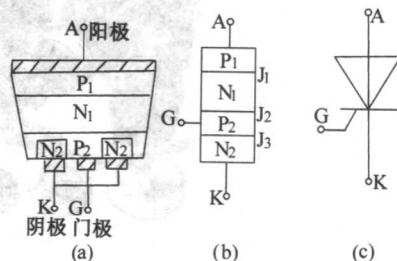


图 1-1 晶闸管的内部结构

## 2. 类型

常用的晶闸管有螺栓式和平板式,另外还有小电流塑封式,其外形见图 1-2。

对于螺栓式晶闸管,带有螺栓的一端是阳极 A,使用时紧贴在散热器上,便于散热,较粗的引线是晶闸管的阴极 K,较细的引线是晶闸管的门极 G。

对于平板式晶闸管,中间金属环连接出来的引线为门极,离门极较远的端面是阳极,较近的端面是阴极。使用时由两个彼此绝缘的散热芯片把其紧夹在中间,散热效果很好,适用于电流大的场合。

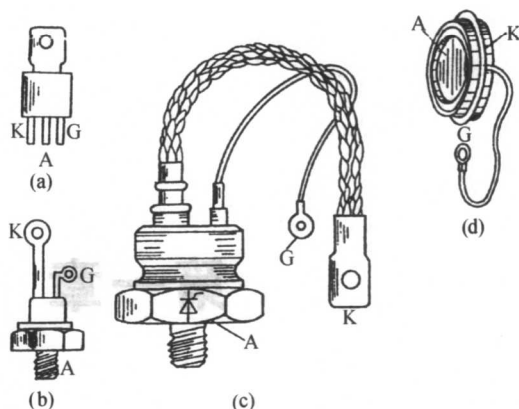


图 1-2 晶闸管的外形

图 1-3 为晶闸管的散热器外形,其中图(a)适用于螺栓式晶闸管,图(b)、(c)适用于

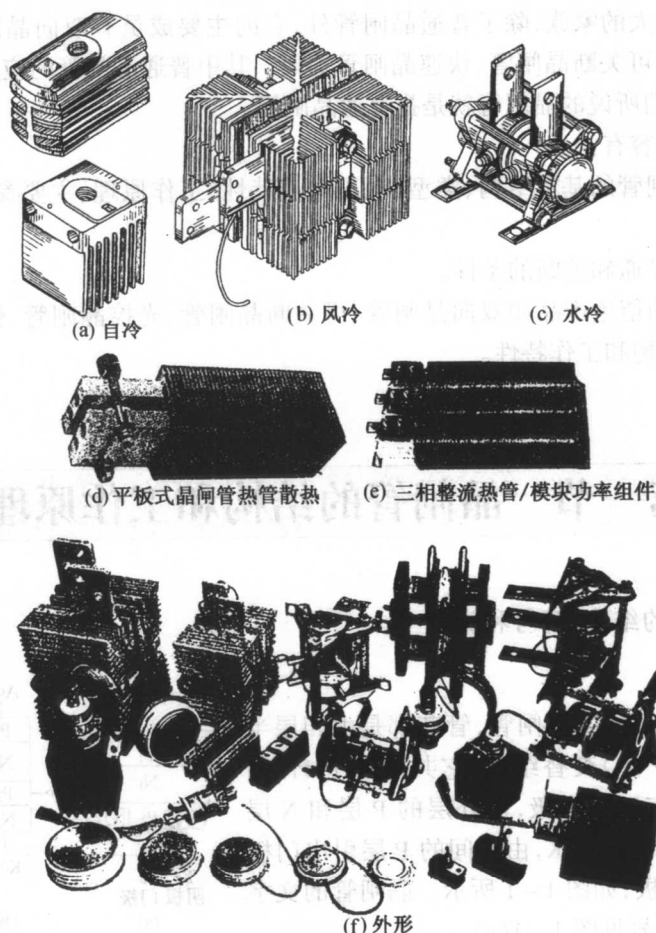


图 1-3 晶闸管的散热器及外形



平板式晶闸管。

## 二、晶闸管的工作原理

由晶闸管的内部结构来分析,可以把它等效看成是由一个 PNP 管(V1)和一个 NPN 管(V2)所组成,其等效图解如图 1-4 所示,V1 管的基极和 V2 管的集电极相连,所以有  $I_{B1} = I_{C2}$ ;V2 管的基极和 V1 管的集电极相连,所以有  $I_{B2} = I_{C1}$ 。

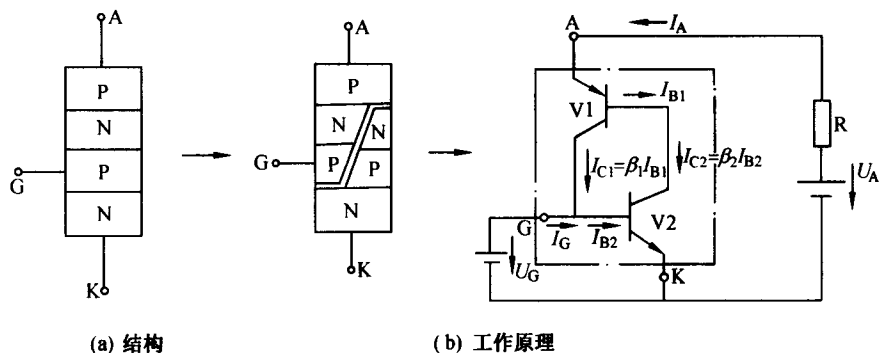


图 1-4 晶闸管工作原理

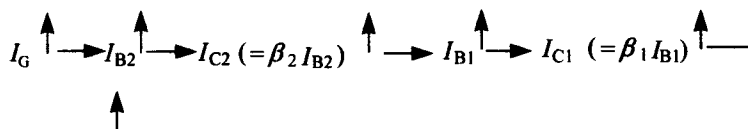
下面,我们分几种不同的情况分析:

1. 晶闸管反偏 当给晶闸管的阳极和阴极之间加反向电压(阳极接低电位,阴极接高电位)时,V1、V2的发射结均反偏,两管处于截止状态,晶闸管关断,无阳极电流通过,即  $I_A = 0$ ,称为反向阻断。

2. 晶闸管正偏有两种情况

(1) 门极不加电压或加反压 当阳极和阴极之间加正向电压(阳极接高电位,阴极接低电位)、门极不加电压或加反压时,虽然 V2 管的集电极上有正的电压,但 V2 管的基极无电流注入,V2 管不导通,晶闸管处于关断状态,  $I_A = 0$ ,称为正向阻断。

(2) 门极加正向电压 当阳极加正向电压同时门极和阴极之间也加正向电压(门极接高电位,阴极接低电位)时,门极电压的加入相当于给 V2 管的发射结加上一个正偏电压,形成较大的基极电流  $I_{B2}$ ,V2 管处于放大状态,由电路结构可以看出,V2 管的集电极电流  $I_{C2} = \beta_2 I_{B2} = I_{B1}$  ( $\beta_2$  为 V2 管的电流放大系数),经 V1 管的放大,V1 管的集电极电流  $I_{C1} = \beta_1 I_{B1} = \beta_1 \beta_2 I_{B2}$  ( $\beta_1$  为 V1 管的电流放大系数),此电流又回到 V2 管的基极,进一步得到放大,如此循环下去形成强烈的正反馈,两管电流剧增,迅速处于饱和导通状态,晶闸管导通。我们把反馈过程描述如下:



我们把晶闸管通入足够大的门极电流使其导通的过程叫触发,这个门极电流称为

触发电流,用  $I_G$  表示。门极电压称为触发电压,用  $u_G$  表示。由于晶闸管处于正向偏置时必须加门极触发电压才能导通,因此晶闸管具有正向导通的可控性,相当于一个可以控制接通的导电开关。

### 3. 晶闸管的关断

晶闸管导通后,由于正反馈的作用,即使门极触发电压降为零或负值,也不能使管子关断,即门极在晶闸管导通后就失去控制作用,我们把这种门极可触发导通但无法使其关断的器件叫半控器件。

若想使导通的管子关断,只有降低管子的阳极电压,从而减小阳极电流,当阳极电流减小到一定值(一般为几十毫安)时,内部正反馈已无法维持,阳极电流  $I_A$  会突然降为零,晶闸管关断。我们把晶闸管导通时能维持晶闸管导通的最小阳极电流叫维持电流,用  $I_H$  来表示。

由以上分析可得出以下结论:

(1)晶闸管承受反向阳极电压时,不管门极加不加电压及承受何种电压,晶闸管都处于关断状态。即晶闸管具有反向阻断能力。

(2)晶闸管承受正向阳极电压而门极不加触发电压时,晶闸管仍处于阻断状态,即晶闸管具有正向阻断能力。正向阻断特性是一般二极管所不具备的。

(3)晶闸管导通的条件是:阳极加正向电压的同时门极加足够大的触发电压。

需要注意的是,如果门极触发电压不够大,则不会产生足够大的触发电流,也就不会使管子触发导通。

(4)晶闸管在导通情况下,只要有一定的正向阳极电压,不论门极电压如何,晶闸管总保持导通,即晶闸管导通后,门极失去控制作用。

(5)晶闸管在导通情况下,要使晶闸管关断只有设法使管子的阳极电流减小到维持电流  $I_H$  以下,可通过减小阳极电压使其接近零来实现。为保证晶闸管迅速可靠地关断,通常在管子的阳极电压降为零后再给阳极加一段时间的反向电压。

使晶闸管触发导通的方法很多,归纳为以下几种方法:

(1)门极加触发电压 这是一种最通用最有效的方法,可在精确限定的瞬间触发晶闸管。

(2)阳极加较大电压 当阳极电压足够大时,中间 PN 结在强电压作用下,漏电流会急剧增大形成雪崩效应,又通过正反馈放大漏电流,最终使晶闸管导通。但这种方法很容易导致晶闸管损坏,且不易控制,因此很少采用。

(3)阳极电压上升率  $du/dt$  作用 如果阳极电压上升很快即  $du/dt$  很大,就会在中间结电容中产生位移电流  $i = Cdu/dt$ ,使发射极电流增大,最终使晶闸管导通。过大的  $du/dt$  会使晶闸管损坏,且要采用保护措施限制  $du/dt$ 。

(4)温度作用 在较高的温度作用下,晶闸管中漏电流增大,可引起晶闸管导通。

(5)光触发 当光照射在硅片上,会在硅片中产生自由电子空穴对,在电场作用下,产生的电流可触发晶闸管导通。用光触发的晶闸管是专门设计的光控晶闸管,常用在高压直流输电中,使用时把器件用串并联方法连接起来,从而保证了控制电路和主电路的良好绝缘。

## 第二节 晶闸管的特性、参数和型号

### 一、晶闸管的电压电流特性

晶闸管阳极与阴极之间的电压  $U_A$  和阳极电流  $I_A$  的关系,叫晶闸管的电压电流特性。晶闸管的电压电流特性与晶闸管的门极电流有关,它们的关系可通过晶闸管的电压电流关系曲线来描绘。

图 1-5 为晶闸管的电压电流特性曲线,横坐标表示阳极电压  $U_A$ ,纵坐标表示阳极电流  $I_A$ 。位于第 I 象限的是晶闸管的正向特性,位于第 III 象限的是晶闸管的反向特性。

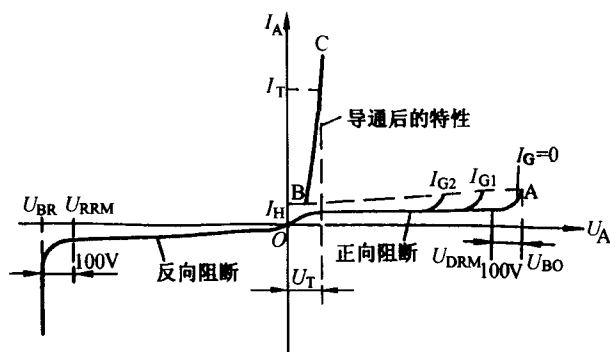


图 1-5 晶闸管电压电流特性曲线

#### 1. 正向特性

正向特性分两种情况：

(1) 门极电流  $I_G = 0$  门极电流  $I_G = 0$  的情况下,给晶闸管的阳极和阴极之间加正向电压  $U_A$ ,管内 PN 结 J2 反偏,当  $U_A$  较小时,管子处于正向阻断状态,只有很小的正向漏电流流过,晶闸管的阳极和阴极之间表现出很大的内电阻。

随着正向电压的增大,漏电流逐渐增大,当正向电压增大到超过临界极限  $U_{B0}$  时,电流突然急剧增大,管子由阻断状态转为导通,曲线由高阻区经虚线负阻区跳变到低阻区,我们把能使晶闸管导通的正向电压  $U_{B0}$  叫做正向转折电压,这样的导通叫“硬开通”,多次“硬开通”容易造成晶闸管的损坏,正常情况下是不允许的。

导通后的晶闸管有比较大的电流通过,而本身的管压降却不大,一般为 1 伏左右。

(2) 门极电流  $I_G > 0$  当给晶闸管的门极和阴极之间加正向触发电压  $u_{G1}$  时,触发电流  $I_{G1} > 0$ ,晶闸管仍有一定的正向阻断能力,但此时使晶闸管由截止变为导通所需的正向转折电压减小,当门极触发电流  $I_{G2}$  大于  $I_{G1}$  时,转折电压更小,当触发电流  $I_G$  足够大时,晶闸管正向转折电压降至极小,此时晶闸管像整流二极管一样,只要很小的阳极电压就能使晶闸管导通,我们把这样的导通称为触发导通。也就是说,在晶闸管的阳极加上一定的正向电压的同时,再在门极上加上一足够大的触发电流,晶闸管就能被触发导通,这就是晶闸管的可控导通性,也就是说,可以用较小的门极电流(毫安级)控制有较大的阳极电流(几十到几百安)的晶闸管导通。

已导通的晶闸管随着阳极电压的减小,阳极电流也减小,当阳极电流减小到维持电



流  $I_H$  以下时,管子立即由导通转为阻断。

## 2. 反向特性

与二极管的反向特性相似,当给晶闸管加反向阳极电压时,管内两个 PN 结  $J_1$ 、 $J_3$  反偏,只有很小的反向漏电流,晶闸管处于阻断状态。当反向电压增大到足够大时,反向电流急剧增大,晶闸管被反向击穿,此时的电压称为反向转折电压或反向击穿电压  $U_{BR}$ 。晶闸管一旦击穿便永远无法恢复。

由以上分析可见,晶闸管具有可控单向导电性,阻断时漏电流很小,导通时管压降很小(1V),是一种理想的无触点功率开关元件。

## 二、晶闸管的参数

为了正确使用晶闸管,除了需要定性地了解晶闸管的伏安特性以外,还必须定量地了解晶闸管的主要参数,下面介绍普通晶闸管的一些主要参数。

### 1. 晶闸管的电压定额

(1)正向断态重复峰值电压  $U_{DRM}$  是指在额定结温下,门极断路和晶闸管正常阻断的情况下,允许重复加在晶闸管上的最大正向峰值电压。一般取值比正向转折电压  $U_{BO}$  低 100V。这里的断态是指晶闸管的正向阻断状态,通态是指正向导通状态,它们是晶闸管正向工作时的两种状态。

晶闸管整流电路工作时,在开关接通和切断等过渡过程中,加到晶闸管上的正反向电压常常会瞬时超过晶闸管正常工作范围,这种过电压称为操作过电压。尽管采取了相应的保护措施,但也只能限制过电压,不能完全消除过电压,这就要求晶闸管必须能够重复地承受一定限度的操作过电压,这就是所谓的“重复”的含义。这里说的“一定限度”是指晶闸管重复承受操作过电压是有限制的,即:重复率规定为 50 次/s,过电压的持续时间不得长于 10ms。

如果过电压的值超过操作过电压,但还没有造成晶闸管正向转折或反向击穿,这种过电压是不允许重复发生的,这就是“不重复”峰值电压,比如遭受雷击或短路等偶发事件引起的过电压,就属于不允许重复的过电压。

通常,断态不重复峰值电压应低于正向转折电压,反向不重复峰值电压应低于反向击穿电压,还应留有一定余量。

(2)反向重复峰值电压  $U_{RRM}$  指在额定结温下,门极断路,允许重复加在晶闸管上的反向峰值电压,一般取值比反向击穿电压  $U_{BR}$  低 100V。通常情况下,  $U_{DRM}$  和  $U_{RRM}$  数值大致相等,常统称正反向重复峰值电压。

(3)通态平均电压  $U_{T(AV)}$  晶闸管正向通过正弦半波额定平均电流、结温稳定时的阳极和阴极间电压的平均值,称为通态平均电压,也可称为导通时的管压降,这个电压应越小越好,以减小元件发热和功率损耗。

### 2. 晶闸管的电流定额

(1)通态平均电流  $I_{T(AV)}$  也称为额定电流,是指在环境温度不超过 40℃ 和规定的散热条件下,带电阻性负载的单相工频正弦半波电路中,管子全导通(或导通角不小于



170°), 结温(三个 PN 结的温度)不超过允许值时所允许流过的最大平均电流。按照标准, 取其整数作为该器件的额定电流。

通常按照下式来选择:

$$I_{T(AV)} = (1.5 \sim 2) \frac{I_{TM}}{1.57}$$

其中,  $I_{TM}$  为允许的最大电流有效值。

注意: 当晶闸管的导通角减小时, 允许的平均电流必须适当降低。由于晶闸管的过载能力比一般的电磁器件小, 因此, 选用晶闸管的通态平均电流时, 应为其实际正常平均值的 1.5 ~ 2.0 倍。

另外, 由于决定晶闸管额定电流大小的是管芯 PN 结的温度即结温, 而结温又是由发热和冷却两方面决定的, 因此说明晶闸管的额定电流应附带条件, 如散热条件等。

(2) 维持电流  $I_H$  指在规定的环境温度和门极断路的情况下, 维持晶闸管继续导通时需要的最小阳极电流。它是由通态到断态的临界电流, 要使导通的晶闸管关断, 必须使管子的正向电流小于  $I_H$ ,  $I_H$  的大小与结温有关, 结温越高,  $I_H$  越小。

(3) 擎住电流  $I_L$  指晶闸管刚从断态转为通态就立即去掉触发信号后能维持通态所需的最小阳极电流。对同一晶闸管, 通常  $I_L$  为  $I_H$  的 2 ~ 4 倍。

(4) 浪涌电流  $I_{TSM}$  指在电路异常情况下(如故障)引起的, 并使结温超过额定结温的晶闸管能承受的短时最大正向过载电流, 用峰值表示, 一般为  $6\pi I_{T(AV)}$ , 用来设计保护电路。注意: 浪涌电流是不能重复的, 另外在晶闸管的寿命期内忍受浪涌的次数是有一定的限制的, 一般为 20 次。

### 3. 晶闸管的门极定额

(1) 门极触发电流  $I_{GT}$  指在室温下, 阳极电压为直流 6V 时, 使晶闸管由断态转入通态所必需的最小门极电流。

(2) 门极触发电压  $U_{GT}$  指产生门极触发电流所需的最小门极触发电压, 一般为 1 ~ 5V。

由于晶闸管门极伏安特性的分散性很大, 为触发可靠, 选用晶闸管时, 应使晶闸管的门极电压和电流适当大于晶闸管出厂合格证上所列数值, 但不能超过门极电流和电压的峰值  $I_{FGM}$  和  $U_{FGM}$ , 见表 1-5。

### 4. 额定结温 $T_{jm}$

指器件正常工作时管内 PN 结所允许的最高温度。

### 5. 晶闸管的动态参数

晶闸管是一种开关器件, 在导通和关断两个状态之间转换并不是瞬时完成的。由于它导通和关断的时间很短, 所以当开关频率低时(如 50Hz 工频), 晶闸管的开通和关断时间可以忽略, 即假定晶闸管是瞬时开通和关断的, 动态损耗可忽略不计。但当开关频率较高时, 因工作周期缩短, 晶闸管的开通和关断时间就不能忽略, 动态损耗所占的比例相对较大, 而且成为晶闸管发热的主要原因。晶闸管的动态参数主要有:

(1) 开通时间  $t_{gt}$  晶闸管由截止到开通的过程中, 由于晶闸管内部的正反馈过程是

需要时间的,阳极电流不可能瞬时增长到稳态值。我们把从门极触发电流加入开始到阳极电流上升到稳态值的 90% 的这段时间叫晶闸管的开通时间。

开通时间与门极触发脉冲前沿的陡度及幅值的大小、器件的结温、开通前的电压、开通后的电流和负载的电路的时间常数 ( $L/R$ ) 等有关。普通晶闸管的开通时间为  $6\mu\text{s}$  左右,快速晶闸管可达  $1\mu\text{s}$ 。

为了缩短晶闸管的开通时间,常采用触发脉冲前沿陡、幅度大的窄脉冲来触发,我们称之为强触发。

(2) 关断时间  $t_q$  晶闸管由开通到截止时,由于晶闸管电路中总带有电感性元件,阳极电流在衰减过程中总有过渡时间。

原来导通的晶闸管,在额定结温下,从给晶闸管加反向电压到晶闸管完全恢复正向阻断能力的这段时间叫晶闸管的关断时间  $t_q$ 。它与晶闸管的结温、关断前的阳极电流及所加反压的大小有关。普通晶闸管的关断时间为几十到几百微秒,快速晶闸管的关断时间可短至  $1\mu\text{s}$ 。

(3) 断态电压临界上升率  $du/dt$  是指在额定结温和门极开路的情况下,不导致从断态到通态转换的最大阳极电压上升率。使用中的实际电压上升率必须低于此临界值。

如果  $du/dt$  过大,使充电电流足够大,就会使晶闸管误导通,因此应采取措施,使其不超过规定的临界值,见表 1-1 和表 1-3。

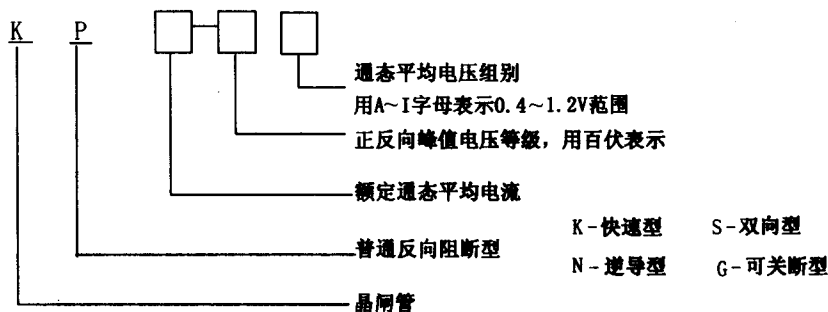
(4) 通态电流临界上升率  $di/dt$  是指在规定的条件下,晶闸管能承受而无有害影响的最大通态电流上升率。其允许值见表 1-1 和表 1-4。

如果阳极电流上升过快,则晶闸管开通的一瞬间,会有很大的电流集中在门极附近的小区域中,从而造成晶闸管局部过热而损坏,所以,要采取保护措施限制其值在允许范围之内。

需要注意的是:由于半导体器件制造过程的分散性,即使是同一批产品性能差别也可能很大。因此晶闸管出厂时必须逐一测试其参数,并且在选择晶闸管的参数时应留有一定的裕量。

### 三、晶闸管的型号

根据原机械工业部颁发的标准 JB1144-75 规定, KP 系列普通晶闸管的型号及含义如下:







例如:KP100-12G的晶闸管表示额定电流为100A,额定电压为1200V,正向导通平均压降组别为G(1V)的普通反向阻断型晶闸管。再如:KP10-20表示额定通态平均电流为10A,正反向重复峰值电压为2000V的普通反向阻断型晶闸管。

KP型晶闸管的主要特性参数见表1-1、表1-3、表1-4和表1-5。KP型晶闸管的通态平均电压组别见表1-2。

表1-1 部分KP型晶闸管元件主要参数

| 通态平均电流<br>$I_{T(AV)}$<br>(A) | 断态重复峰值电压、反向重复峰值电压 $U_{DRM}$ 、 $U_{RRM}$ (V) | 断态重复峰值电流、反向重复峰值电流 $I_{DRM}$ 、 $I_{RRM}$ (mA) | 维持电流<br>$I_H$ (mA) | 通态峰值电压 $U_T$<br>(V) | 工作结温<br>$T_{IM}(^{\circ}C)$ | 断态电压临界上升率 $du/dt$<br>(V/ $\mu s$ ) | 通态电流临界上升率 $di/dt$<br>(A/ $\mu s$ ) | 浪涌电流<br>$I_{TSM}$ (kA) |       |
|------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------|-------|
|                              |                                             |                                              |                    |                     |                             |                                    |                                    | L(下限)                  | H(上限) |
| 1                            | 50 ~ 1600                                   | $\leq 3$                                     | $\leq 10$          | $\leq 2.0$          | - 40 ~<br>+ 100             | A、B、C、<br>D、E、F                    | -                                  | 0.013                  | 0.019 |
| 3                            | 100 ~ 2000                                  | $\leq 8$                                     | $\leq 30$          | $\leq 2.2$          |                             |                                    |                                    | 0.038                  | 0.056 |
| 5                            |                                             |                                              | $\leq 60$          |                     |                             |                                    |                                    | 0.064                  | 0.09  |
| 10                           |                                             | $\leq 10$                                    | $\leq 100$         |                     |                             |                                    |                                    | 0.13                   | 0.19  |
| 20                           |                                             |                                              |                    |                     |                             |                                    |                                    | 0.24                   | 0.38  |
| 30                           | 100 ~ 2400                                  | $\leq 20$                                    | $\leq 150$         | $\leq 2.4$          | B、C、D、<br>E、F、G             | A、B                                | 0.3                                | 0.56                   |       |
| 50                           |                                             |                                              | $\leq 200$         |                     |                             |                                    | 0.64                               | 0.94                   |       |
| 100                          | 100 ~ 3000                                  | $\leq 40$                                    | $\leq 200$         | - 40 ~<br>+ 125     |                             | A、B、C                              | 1.3                                | 1.9                    |       |
| 200                          |                                             |                                              |                    |                     |                             |                                    | B、C、D、E                            | 2.5                    | 3.8   |
| 300                          |                                             | B、C、D、<br>E、F                                | 3.8                |                     |                             | 5.6                                |                                    |                        |       |
| 400                          |                                             |                                              | 5.0                |                     |                             | 7.5                                |                                    |                        |       |
| 500                          |                                             |                                              | 6.4                |                     |                             | 9.4                                |                                    |                        |       |
| 600                          |                                             | $\leq 80$                                    | $\leq 500$         | $\leq 2.6$          |                             | C、D、E、<br>F、G                      | B、C、D、<br>E、F                      | 7.6                    | 11    |
| 800                          |                                             |                                              |                    |                     |                             |                                    |                                    | 10                     | 15    |
| 1000                         |                                             | $\leq 120$                                   |                    |                     |                             |                                    |                                    | 13                     | 19    |