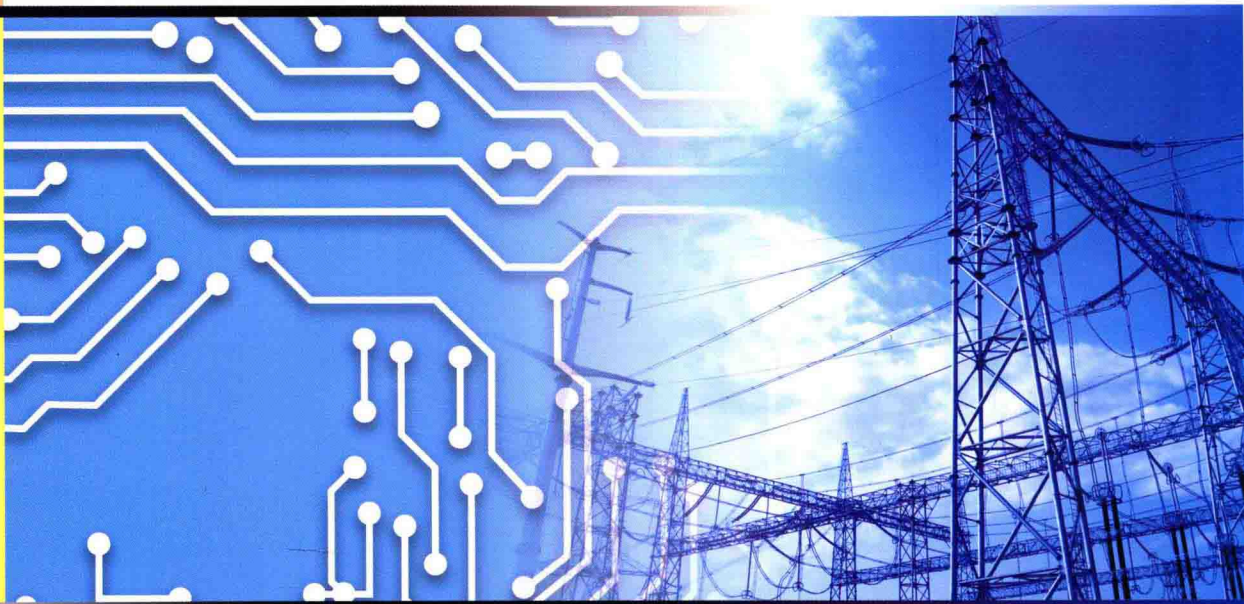


强与自动化专业“十三五”规划教材

电力电子技术

主编◎武兰江 赵迎春 李 黎



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhp.com.cn

电气工程与自动化专业“十三五”规划教材

电力电子技术

主 编 武兰江 赵迎春 李 黎
副主编 肖 朋 李彬彬 张南杰
主 审 曲 平 张景松



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhp.com.cn

内 容 简 介

本书是针对电气工程及其自动化专业基础课程教学需要,采用理论实践一体化教学法的形式进行编写,内容经过精选,既保持了学科的完整性,反映了该领域内的最新技术成果,又注重适应教学的需要。本书共8章,分别为单相可控整流电路、三相可控整流电路、有源逆变电路、交流调压电路、全控型电力电子器件的认识、直流斩波器、无源逆变电路和电力电子实验等知识。

本书既可作为应用型本科院校、职业院校电气工程与自动化专业的教材,也可供从事电力电子技术、运动控制(交流调速)技术、电力系统及其自动化等领域工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术 / 武兰江, 赵迎春, 李黎主编. -- 北京 : 北京希望电子出版社, 2017.7

ISBN 978-7-83002-474-1

I. ①电… II. ①武… ②赵… ③李… III. ①电力电子技术—高等教育—教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 135997 号

出版: 北京希望电子出版社
地址: 北京市海淀区中关村大街 22 号
 中科大厦 A 座 9 层
邮编: 100190
网址: www.bhp.com.cn
电话: 010-82626270
传真: 010-82702698
经销: 各地新华书店

封面: 赵俊红
编辑: 金美娜
校对: 李 冰
开本: 787mm×1092mm 1/16
印张: 17.5
字数: 387 千字
印刷: 三河市宇通印刷有限公司
版次: 2017 年 7 月 1 版 1 次印刷

定价: 39.80 元

前 言

电力电子技术是一门新兴的应用于电力领域的电子技术,就是使用电力电子器件(如晶闸管、GTO、IGBT等)对电能进行变换和控制的技术。电力电子技术所变换的“电力”功率可大到数百至上千兆瓦,也可以小到1瓦以下。与以信息处理为主的信息电子技术不同,电力电子技术主要用于电力变换。电力电子技术诞生至今近50年,特别是近年来更是取得了突飞猛进的发展,已经形成十分完整的科学体系和理论。随着工业的高度自动化,计算技术、电力技术以及自动控制技术将会成为三种最重要的技术。

本书是电气自动化、机电一体化、智能控制技术、机电设备维修等专业必修的一门专业课程教材。本书是针对电气工程与自动化专业基础课程教学需要,采用理实一体化教材与传统教材相结合的形式进行编写,内容经过精选,既保持了学科的完整性,反映了该领域内的最新技术成果,又注重适应教学的需要。

本书共分8章。第1章 单相可控整流电路,第2章 三相可控整流电路,第3章 有源逆变电路,第4章 交流调压电路,第5章 全控型电力电子器件的认识,第6章 直流斩波器,第7章 无源逆变电路,第8章 电力电子实验等知识。

本书由大连装备制造职业技术学院的武兰江、营口职业技术学院的赵迎春和大连装备制造职业技术学院的李黎任主编,由营口职业技术学院的肖朋、李彬彬和辽宁轻工职业学院的张南杰担任副主编,由曲平、张景松任主审。本书的相关资料和售后服务可扫本书封底的微信二维码或与QQ(2436472462)联系获得。

在编写本书过程中,参阅了部分兄弟院校的教材及相关文件,因篇幅有限未能一一列出,在此向被参阅图书的作者表示诚挚的谢意。由于编者水平有限,书中错漏之处难免,恳请使用本书的师生和读者提出宝贵意见。

编 者

2017年6月

第 1 章 单相可控整流电路	1
1.1 不可控器件——电力二极管	2
1.2 半控型器件——晶闸管	4
1.3 单相半波可控整流电路	17
1.4 单相全波可控整流电路	26
1.5 单相全控桥式可控整流电路	29
1.6 单相半控桥式可控整流电路	34
1.7 晶闸管触发电路	42
本章小结	51
习 题	52
第 2 章 三相可控整流电路	55
2.1 三相半波不可控整流电路	56
2.2 共阴极三相半波可控整流电路	58
2.3 共阳极三相半波可控整流电路	66
2.4 三相全控桥式整流电路	67
2.5 三相半控桥式整流电路	76
2.6 同步电压为锯齿波的晶闸管触发电路	80
2.7 集成化晶闸管移相触发电路	86
2.8 晶闸管的保护与串并联使用	90
本章小结	102
习 题	103
第 3 章 有源逆变电路	106
3.1 单相桥式有源逆变电路	107



3.2	三相有源逆变电路	116
3.3	有源逆变电路的应用	118
	本章小结	123
	习 题	123
第4章	交流调压电路	125
4.1	单相交流调压与调功器	126
4.2	三相交流调压电路	136
4.3	交流无触点开关	140
	本章小结	145
	习 题	146
第5章	全控型电力电子器件的认识	147
5.1	电力电子器件基本知识	148
5.2	门极可关断晶闸管	151
5.3	电力晶体管	156
5.4	功率场效应晶体管	169
5.5	绝缘栅双极晶体管	177
5.6	其他新型电力电子器件	183
	本章小结	186
	习 题	188
第6章	直流斩波器	189
6.1	直流斩波器的工作原理	190
6.2	直流斩波器基本电路	192
6.3	直流斩波器在电力传动中的应用	196
6.4	直流变换器的脉宽调制控制技术的应用	202
	本章小结	207
	习 题	208
第7章	无源逆变电路	209
7.1	无源逆变电路	210
7.2	PWM 控制的基本思想	218
	本章小结	224
	习 题	225



第 8 章 电力电子实验	226
实验一 单相半控桥式整流电路与单结晶体管触发电路的研究	227
实验二 晶闸管直流调速系统	230
实验三 IGBT 管的驱动、保护电路的测试及直流斩波电路、升降压电路的研究 ...	237
实验四 单相交流调压电路及集成锯齿波移相触发电路的研究	243
实验五 BJT 单相并联逆变电路	247
实验六 单相交流(过零触发)调功电路的研究	249
实验七 三相晶闸管全(半)控桥(零)式整流电路及三相集成触发电路的研究	253
实验八 三相交流调压电路	263
实验九 PWM 控制的开关型稳压电源的性能研究	266
实验十 给定积分电路的研究	269
参考文献	272

第1章 单相可控整流电路



教学目标

- (1) 了解电力二极管结构、伏安特性等；
- (2) 了解晶闸管的内部结构，了解晶闸管的两种等效电路形式；
- (3) 掌握使晶闸管可靠导通、截止所需要的条件；
- (4) 掌握晶闸管的伏安特性及主要参数，掌握额定电压、额定电流的选用原则；
- (5) 掌握单相可控整流主电路的分类、结构及整流工作过程；
- (6) 掌握单相可控整流主电路各主要点波形分析及参量计算；
- (7) 了解单结晶体管结构及负阻特性，掌握使其可靠导通、截止所需要的条件。



能力目标

- (1) 能识别晶闸管的外部结构；
- (2) 会计算晶闸管的电压定额及电流定额，确定晶闸管的型号；
- (3) 能用万用表判别晶闸管的极性及好坏；
- (4) 能够根据实际要求，选择晶闸管可控整流主电路和触发电路；
- (5) 能正确使用示波器观察主电路和触发电路各主要点波形。



1.1 不可控器件——电力二极管

1.1.1 电力二极管的结构

电力二极管是以半导体 PN 结为基础的,实际上是由一个面积较大的 PN 结、两端引线以及封装组成的,如图 1-1 所示。从外形上看,可以有螺栓型、平板型等多种封装。

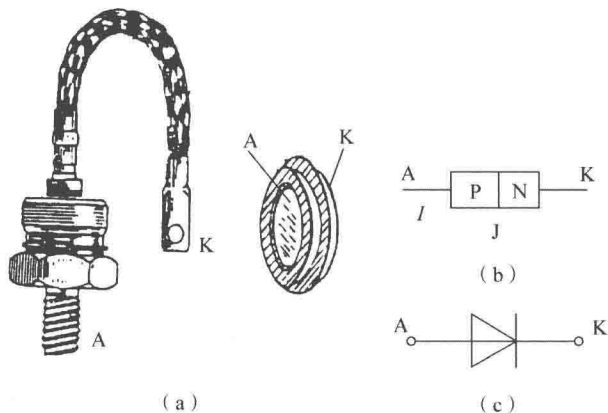


图 1-1 电力二极管的外形、结构和电气图形符号

(a) 外形 (b) 基本结构 (c) 电气图形符号

1.1.2 电力二极管的工作原理: PN 结的单向导电性

当 PN 结外加正向电压(正向偏置)时,在外电路上则形成自 P 区流入而从 N 区流出的电流,称为正向电流 I_F ,这就是 PN 结的正向导通状态。当 PN 结外加反向电压(反向偏置)时,反向偏置的 PN 结表现为高阻态,几乎没有电流流过,称为反向截止状态。

PN 结具有一定的反向耐压能力,但当施加的反向电压过大,反向电流将会急剧增大,破坏 PN 结反向偏置为截止的工作状态,这就叫反向击穿。按照机理不同有雪崩击穿和齐纳击穿两种形式。反向击穿发生时,采取了措施将反向电流限制在一定范围内,PN 结仍可恢复原来的状态。否则 PN 结因过热而烧毁,这就是热击穿。

1.1.3 电力二极管的基本特性

静态特性主要是指其伏安特性。正向电压大到一定值(门槛电压 U_{TO}),正向电流



才开始明显增加,处于稳定导通状态。与 I_F 对应的电力二极管两端的电压即为其正向电压降 U_F 。承受反向电压时,只有少子引起的微小而数值恒定的反向漏电流。电力二极管的伏安特性如图 1-2 所示。

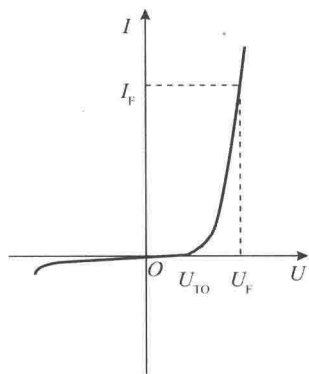


图 1-2 电力二极管的伏安特性

动态特性是反映通态和断态之间转换过程的开关特性。

1.1.4 电力二极管的主要参数

1. 正向平均电流 $I_{F(AV)}$

正向平均电流 $I_{F(AV)}$ 是指电力二极管长期运行时,在指定的管壳温度(简称壳温,用 T_C 表示)和散热条件下,其允许流过的最大工频正弦半波电流的平均值。 $I_{F(AV)}$ 是按照电流的发热效应来定义的,使用时应按有效值相等的原则来选取电流定额,并应留有一定的裕量。

例 1-1 需要某二极管实际承担的某波形电流有效值为 400A,求二极管的 $I_{F(AV)}$ 。

$$I_{F(AV)} = 2 \times \frac{400}{1.57} = 500$$

2. 正向压降 U_F

正向压降 U_F 是指电力二极管在指定温度下,流过某一指定的稳态正向电流时对应的正向压降。

3. 反向重复峰值电压 U_{RRM}

反向重复峰值电压 U_{RRM} 是指对电力二极管所能重复施加的反向最高峰值电压。使用时,应当留有两倍的裕量。

1.1.5 电力二极管的类型

1. 普通二极管

普通二极管又称整流二极管,多用于开关频率不高的整流电路中,其反向恢复时



间较长，一般在 $5\mu\text{s}$ 以上。正向电流定额和反向电压定额可以达到很高，分别可达数千安和数千伏。

2. 快恢复二极管

快恢复二极管（简称 FRD）是一种具有开关特性好、反向恢复时间短等特点的半导体二极管，主要应用于开关电源、PWM 脉宽调制器、变频器等电子电路中，作为高频整流二极管、续流二极管或阻尼二极管使用。快恢复二极管的内部结构与普通 PN 结二极管不同，它属于 PIN 结型二极管，即在 P 型硅材料与 N 型硅材料中间增加了基区 I，构成 PIN 硅片。因基区很薄，反向恢复电荷很小，所以，快恢复二极管的反向恢复时间较短，正向压降较低，反向击穿电压（耐压值）较高。

3. 肖特基二极管

肖特基二极管（SBD）是肖特基势垒二极管（Schottky barrier diode，缩写成 SBD）的简称，是以其发明人肖特基博士（Schottky）命名的半导体器件。肖特基二极管是低功耗、大电流、超高速半导体器件，它不是利用 P 型半导体与 N 型半导体接触形成 PN 结原理制作的，而是利用金属与半导体接触形成的金属—半导体结原理制作的。因此，SBD 也称为金属—半导体（接触）二极管或表面势垒二极管，它是一种热载流子二极管。

1.2 半控型器件——晶闸管

1.2.1 晶闸管的结构

1. 晶闸管外部结构分类

晶闸管是三端半导体器件，具有三个电极，其实物图形及电气符号如图 1-3 所示。晶闸管从外形上分类，主要有塑封式、螺旋式、平板式。由于晶闸管是大功率器件，工作时会产生大量的热量，因此，必须安装散热器。

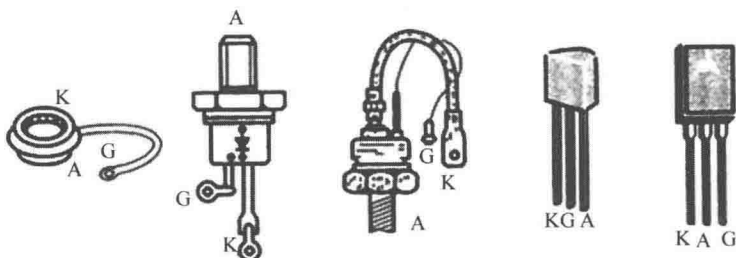


图 1-3 晶闸管的实物图



2. 晶闸管外部结构特点

(1) 塑封式晶闸管

塑封式晶闸管由于散热条件有限,功率都比较小,额定电流通常在 20A 以下。

(2) 螺旋式晶闸管

螺旋式晶闸管的实物照片如图 1-4 所示,散热器如图 1-5 所示,晶闸管紧固在铝制散热器上。这种管子的优点是由于阳极带有螺纹,很容易与散热器连接,器件维修更换也非常方便,但散热效果一般,功率不是很大,额定电流通常在 200A 以下。

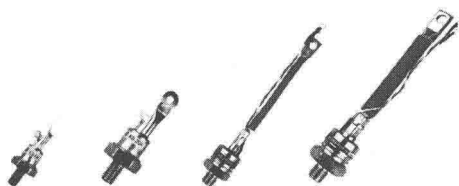


图 1-4 螺旋式晶闸管

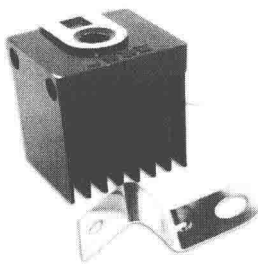


图 1-5 螺旋式晶闸管的散热器

(3) 平板式晶闸管

平板式晶闸管的实物照片如图 1-6 所示,散热器如图 1-7 所示。晶闸管由两个彼此绝缘的散热器紧夹在中间,散热方式可以是风冷或水冷。这种管子的优点是由于管子整体被散热器包裹,所以,散热效果非常好,功率大。额定电流 200A 以上的晶闸管外形都采用平板式结构,但平板式晶闸管的散热器拆装非常麻烦,器件维修更换不方便。

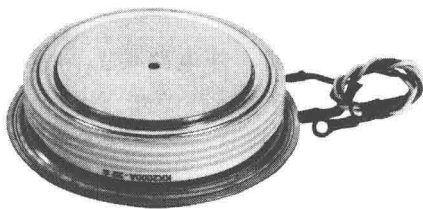


图 1-6 平板式晶闸管

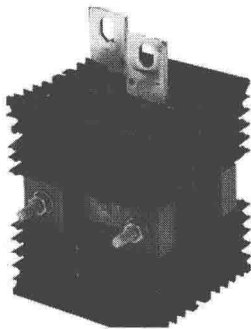


图 1-7 平板式晶闸管的散热器

3. 晶闸管的内部结构

普通晶闸管引出阳极 A、阴极 K 和门极(控制端) G 三个联接端。普通晶闸管内部是由 $P_1-N_1-P_2-N_2$ 四层半导体构成,形成 3 个 PN 结 (J_1 、 J_2 、 J_3)。等效成 3 个二极管串联,或等效成两个晶体管连接,如图 1-7 所示。分析原理时,可以把它看做是由三个 PN 结的反向串联,也可以把它看做是由一个 PNP 管和一个 NPN 管的复合,其



等效电路图解如图 1-8 (a) 所示, 电路符号如图 1-8 (b) 所示。

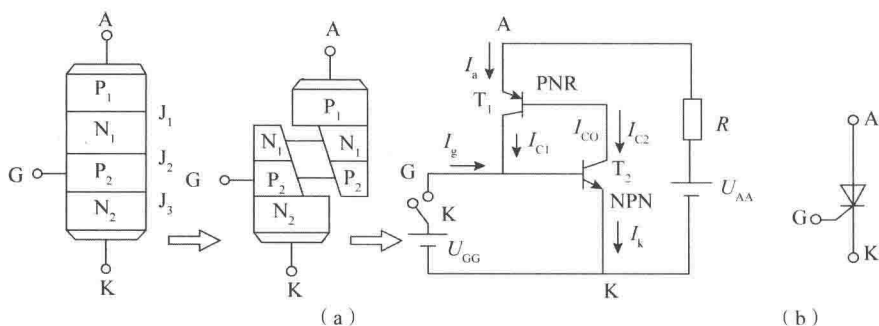


图 1-8 晶闸管等效电路图解和电气符号

(a) 等效图 (b) 电气符号

1.2.2 晶闸管的工作原理

在晶闸管的阳极与阴极之间加反向电压时, 有两个 PN 结处于反向偏置; 在阳极与阴极之间加正向电压时, 中间的那个 PN 结处于反向偏置。所以, 晶闸管都不会到导通 (称为阻断)。

A—接电源正极, K—接电源负极

(1) G 不加电压 ($U_{GG}=0$), 这时晶闸管相当由三个 PN 结串接, 其中一只反接, 因而不导通。

(2) G 加上适当电压 ($U_{GG}>0$), 则产生正反馈。

三极管 T_1 、 T_2 导通的偏置条件得到了满足, 又有足够的门极电流 I_g , 即 T_2 管有基极电流 I_{b2} ($=I_g$) 输入, 所以, 三极管 T_1 、 T_2 导通, 形成强烈的正反馈, 即:

$$I_g \uparrow \rightarrow I_{b2} \uparrow \rightarrow I_{c2} (= \beta_2 I_{b2}) \uparrow = I_{b1} \uparrow \rightarrow I_{c1} (= \beta_1 I_{b1}) \uparrow \rightarrow I_{b2} \uparrow$$

瞬时使 T_1 、 T_2 两三极管饱和导通, 即晶闸管导通。

晶闸管导通后, 不管 U_{GG} 存在与否, 晶闸管仍将导通。外电路使晶闸管的阳极电流 I_A 小于某一数值时, 就不能维持正反馈过程, 晶闸管就会自行关断。

A—接电源负极 K—接电源正极

这时电路 J_1 和 T_2 均承受反向电压, 无论控制极是否加正向触发电压, 晶闸管均不导通, 呈关断状态。

综上所述, 在晶闸管的 A—K 之间加正向电压, 还需在 G—K 之间加适当的触发电压, 晶闸管就能导通。

1.2.3 晶闸管导通与关断的条件

为了弄清楚晶闸管是怎样工作的, 可按图 1-9 电路作实验。

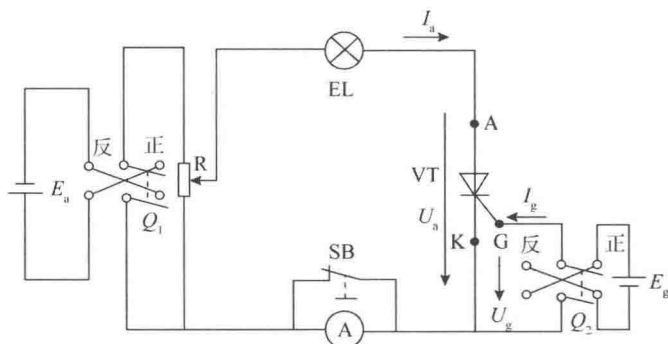


图 1-9 晶闸管导通、关断实验电路

晶闸管主电路：晶闸管的阳极 A 经负载（白炽灯）、变阻器 R、双向刀开关 Q_1 接至电源 E_a 的正极，元件的阴极 K 经毫安表、双向刀开关 Q_1 接至电源 E_a 的负极，组成晶闸管的主电路，流过晶闸管阳极的电流为 I_a 。晶闸管阳极与阴极之间的电压 U_a 称为阳极电压，如果阳极电压相对阴极为正，则阳极电压称为正向阳极电压，反之则称为反向阳极电压。

晶闸管触发电路：晶闸管的门极 G 经双向刀开关 Q_2 接至电源 E_g ，元件的阴极 K 经 Q_2 与 E_g 另一端相连，组成晶闸管触发电路。流过晶闸管门极的电流为 I_g （也称触发电流），晶闸管门极与阴极之间的电压称为门极电压 U_g 。

实验方法如下：

(1) 当 Q_1 拨向反向， Q_2 无论拨向何位置（断开、拨为正向或反向），灯不亮。晶闸管没有导通，此时晶闸管处在反向阻断状态。

原因：①晶闸管内部的 J_1 结和 J_3 结起反向阻断作用，所以晶闸管不导通。②晶闸管等效电路中，三极管 T_1 、 T_2 导通的偏置条件没有满足，所以 T_1 、 T_2 处于截止状态，晶闸管也就截止。

(2) 当 Q_1 拨向正向， Q_2 断开或拨为反向，灯不亮。晶闸管没有导通，此时晶闸管处在正向阻断状态。

原因：①晶闸管内部的 J_2 结起反向阻断作用，所以，晶闸管不导通。②虽然三极管 T_1 、 T_2 导通的偏置条件得到了满足，但由于 T_2 管没有基极电流 I_{b2} 输入，也就是没有触发电流 I_g ，所以， T_1 、 T_2 处于截止状态，晶闸管截止。

(3) 当 Q_1 拨向正向， Q_2 拨向正向，灯亮。晶闸管已经导通，此时晶闸管处在正向导通状态。

(4) 晶闸管导通后，断开门极双向刀开关 Q_2 ，灯仍然亮。晶闸管继续导通，此时晶闸管仍然处在正向导通状态。晶闸管一旦导通后维持阳极电压不变，门极对管子就不再具有控制作用，这种现象称为“门极失效”。因此，在晶闸管的门极所施加的触发信号往往是以脉冲的形式出现。

由于正反馈的形成，所以，三极管 T_1 、 T_2 深度饱和导通，使得 I_{c1} 增大，完全替代



了门极电流 I_g 的作用。

晶闸管的导通条件：在阳极与阴极之间施加正向阳极电压 U_a ，同时在门极与阴极之间施加正向门极电压 U_g 。

要想使晶闸管重新恢复阻断状态，将怎样做呢？请继续下面的实验：

(5) 在灯亮的情况下，逐渐调节变阻器 R ，增大 R 阻值，使流过负载（白炽灯）的电流逐渐减小。按下停止按钮 SB ，注意观察毫安表的指针，当阳极电流降低到某数值时，毫安表的指针突然归零。晶闸管已关断。从毫安表所观察到的最小阳极电流称为晶闸管的维持电流 I_H 。维持电流数值很小，通常为几十～几百毫安。

增大 R 阻值的过程，也就是增大 R 压降的过程，使得晶闸管得到的压降越小，三极管 T_1 、 T_2 导通的偏置条件得不到满足， T_1 、 T_2 又恢复到截止状态，晶闸管截止。

晶闸管的关断条件：流过晶闸管的阳极电流小于维持电流 I_H 。

若要使已导通的晶闸管恢复阻断，设法使晶闸管的阳极电流减小到小于维持电流 I_H ，使其内部正反馈无法维持，晶闸管才会恢复阻断，这种关断方式称为自然关断。在实际工程中，还可以给晶闸管施加反向阳极电压，使其关断，这种关断方式称为强迫关断。

1.2.4 普通晶闸管的测量

用万用表欧姆挡分别测试晶闸管三个管脚之间的阻值，具体步骤和方法如下：

步骤一 测量门极与阴极之间的电阻

测量过程：必须用万用表的低阻值欧姆挡测量，测量挡位一般选 $R \times 1\Omega$ 挡或 $R \times 10\Omega$ 挡，将黑表笔与门极相接、红表笔与阴极相接，测量门极与阴极之间的正向电阻 r_{GK} ；再将两表笔调换，测量门极与阴极之间的反向电阻 r_{KG} 。

测量结果：正常情况下，一个好晶闸管的 r_{GK} 和 r_{KG} 通常都很小，但 r_{GK} 应小于或接近于 r_{KG} ， r_{GK} 和 r_{KG} 的阻值一般在几十欧姆～几百欧姆范围内。

步骤二 测量阳极与阴极之间的电阻

测量过程：用万用表的高阻值欧姆挡测量，一般选 $R \times 1k\Omega$ 挡或 $R \times 10k\Omega$ 挡，将黑表笔与阳极相接、红表笔与阴极相接，测量阳极与阴极之间的正向电阻 r_{AK} ；再将两表笔调换，测量阴极与阳极之间的反向电阻 r_{KA} 。

测量结果：正常情况下，一个好晶闸管的 R_{AK} 和 R_{KA} 通常都很大， r_{AK} 和 r_{KA} 的阻值一般在几十千欧～几百千欧范围内。



知识拓展

1. 如何判别晶闸管管脚极性，怎样快速判定晶闸管的好坏？

由单向晶闸管的等效电路可知，门极与阴极之间为一个 PN 结，而门极与阳极之间有两个相向而连的 PN 结，据此可首先判别出阳极。用指针式万用表 $R \times 1\Omega$ 挡测量三管脚间的阻值，与其余两脚均不通（正反阻值达几百千欧以上）的为阳极；



再测量剩余两管脚间阻值，阻值较小（约为几十或几百 Ω ）时，黑表笔所接的管脚为门极，另一管脚为阴极；假如三管脚两两之间均不通或阻值很小，说明该管子已坏。

将万用表的黑表笔接晶闸管的阳极，红表笔接晶闸管的阴极，此时表针应偏转很小，用镊子快速短接一下阳极与门极，表针偏转角度明显变大且能一直保持，说明管子正常，可以使用。

2. 用万用表的不同挡位分别测量同一晶闸管的管脚间电阻时，发现每次测得的值都不相同，而且差别还可能很大，原因是什么？

这是因为晶闸管像二极管一样，正向导通时其特性曲线具有非线性，如果用万用表的不同挡位去分别测量晶闸管，其实就是通过红黑两只表笔给晶闸管阳极与阴极之间施加了不同的阳极电压，这些电压点对应的特性曲线斜率（电阻值）不同，所以每次测得的值肯定都不一样，甚至差别很大。因此，在测量晶闸管管脚间电阻时，应以同一挡位测量为准。

3. 在测量晶闸管时，为什么万用表要选 $R \times 1\Omega$ 挡或 $R \times 10\Omega$ 挡，而不能直接用 $R \times 10k\Omega$ 挡？

从内部结构来看，晶闸管的门极对阴极相当于一个正偏的 PN 结，如果直接用 $R \times 10k\Omega$ 挡测量门极对阴极的极间电阻，很容易造成这个 PN 结被万用表内部高压电池的高电压反向击穿，使器件损坏。因此，在管脚不明确时，禁止用万用表的高阻值欧姆挡测量晶闸管的管脚极性，即使管脚明确，也不允许用高阻值欧姆挡测量晶闸管的门极对阴极的极间电阻。

1.2.4 普通晶闸管的特性

1. 晶闸管的阳极伏安特性

晶闸管的阳极伏安特性是指阳极与阴极之间电压和阳极电流的关系，如图 1-10 所示。

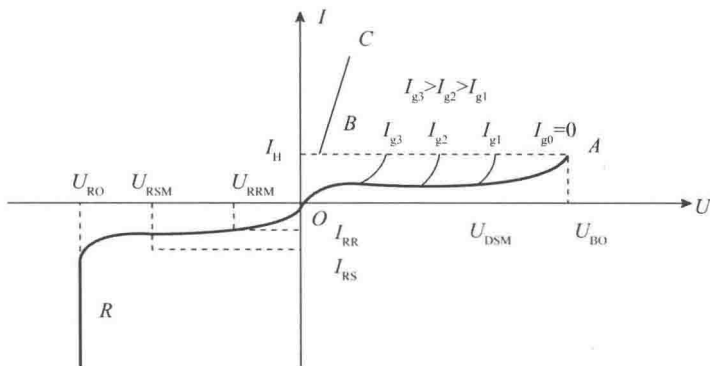


图 1-10 晶闸管阳极伏安特性曲线



(1) 反向特性

当门极 G 开路, 阳极加上反向电压时, 如图 1-11 所示, J_2 结正偏, 但 J_1 、 J_3 结反偏, 此时只能流过很小的反向漏电流; 随着反向电压的增大, 反向漏电流也逐渐缓慢增大, 当电压增大到 U_{RSM} 点时, 特性曲线开始较快速增大, U_{RSM} 点称为反向阻断不重复峰值电压, 其值的 80% 称为反向阻断重复峰值电压, 用 U_{DRM} 表示; 当电压进一步提高到 J_1 结的雪崩击穿电压后, 同时 J_3 结也被击穿, 电流迅速增加, 如图 1-10 所示的特性曲线 OR 段开始弯曲, 弯曲处的电压 U_{RO} 称为“反向转折电压”。此后, 晶闸管会发生永久性反向击穿。

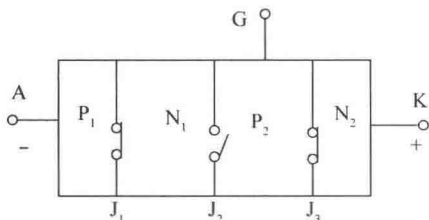


图 1-11 阳极加反向电压

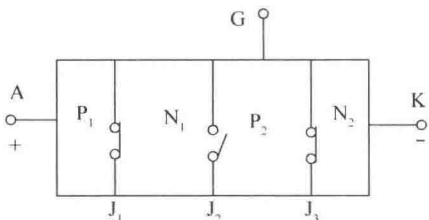


图 1-12 阳极加正向电压

(2) 正向特性

当门极 G 开路, 阳极加上正向电压时, 如图 1-12 所示, J_1 、 J_3 结正偏, 但 J_2 结反偏, 这与普通 PN 结的反向特性相似, 也只能流过很小的正向漏电流, 晶闸管呈正向阻断状态; 随着正向电压的增大, 正向漏电流也逐渐缓慢增大, 当电压增大到 U_{DSM} 点时, 特性曲线开始较快速增大, U_{DSM} 点称为正向阻断不重复峰值电压, 其值的 80% 称为正向阻断重复峰值电压, 用 U_{DRM} 表示; 当电压进一步增加, 正向漏电流迅速增加, 如图 1-10 所示的特性曲线 OA 段开始弯曲, 弯曲处的电压 U_{BO} 称为“正向转折电压”。由于电压升高到 J_2 结的雪崩击穿电压后, J_2 结发生雪崩倍增效应, 在结区产生大量的电子和空穴, 电子进入 N_1 区, 空穴进入 P_2 区, 进入 N_1 区的电子与由 P_1 区通过 J_1 结注入 N_1 区的空穴复合; 同样, 进入 P_2 区的空穴与由 N_2 区通过 J_3 结注入 P_2 区的电子复合, 雪崩击穿后, 进入 N_1 区的电子与进入 P_2 区的空穴各自不能全部复合掉。这样, 在 N_1 区就有电子积累, 在 P_2 区就有空穴积累, 结果使 P_2 区的电位升高, N_1 区的电位下降, J_2 结变成正偏, 只要电流稍有增加, 电压便迅速下降, 出现所谓的负阻特性, 如图 1-10 中的虚线 AB 段。这时, J_1 、 J_2 、 J_3 三个结处于正偏, 晶闸管便进入正向导电状态——通态。此时, 它的特性与普通 PN 结正向特性相似, 如图 1-10 中的 BC 段。

(3) 触发导通

在门极 G 加入正向电压时, 如图 1-13 所示, 因 J_3 结正偏, P_2 区的空穴进入 N_2 区, N_2 区的电子进入 P_2 区, 形成触发电流 I_{GT} 。在晶闸管内部正反馈作用的基础上加上 I_{GT} 的作用, 使晶闸管提前导通, 导致图 1-10 中的伏安特性 OA 段左移。 I_{GT} 越大, 特性左移越快。