

• 中等专业学校教学用书 •



晶闸管变流技术

冶金工业出版社

ZHONGDENG ZHUANYE
XUEXIAO JIAOXUE YONGSHU

中等专业学校教学用书
晶闸管变流技术

吉林电气化专科学校 刘天赐 主编

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街重工业部北京24号)

新华书店总店科技发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 15 字数 354 千字
1989年10月第一版 1989年10月第一次印刷

印数00,001~8,000册

ISBN 7-5024-0569-0

TP·26 (课) 定价2.70元

前 言

这部教材是依据1986年冶金、有色八所中等专业学校制订的四年制中专工企电气专业晶闸管交流技术课程教学大纲的要求编写的。为了更好地体现中专培养目标,适应学生接受特点,本书加强了知识的系统性与实用性,重视基本概念与分析方法的阐述;并且,着眼于晶闸管在直流可逆调速系统和交流变频调速系统中应用的有关知识,作为自动控制系统、交流变频调速系统等后续课程的知识准备。为了适应不同业务部门对教学的需要,本书还编入了部分选讲内容和附录。正文部分按88学时进行教学,要求学生在学完电机及拖动、模拟电子技术课程之后,学习本门课程。教学方法要注重循序渐进,理论联系实际,讲授与学生自学相结合。本教材也可供职工中专、技工学校、职业中学教学参考和中、初级工程技术人员实际工作参考。本书由吉林电气化专科学校刘天赐同志主编并执笔第四章、第六章;张士毓同志执笔第一章、第五章;昆明冶金专科学校胡兴琨同志执笔第二章、第三章;胡兴琨、张士毓两同志合作执笔第七章。由吉林电气化专科学校王会群同志主审。本书编写过程中,得到冶金自动化研究所、北京整流器厂等单位的热情支持,在此向他们表示深切的谢意。由于编者水平所限,错误之处在所难免,衷心欢迎广大读者批评指正。

编 者

一九八七年十二月

本书使用的部分略写符号

一、英文略写符号

- A*—analog 模拟量
D—digit 数字量
d—direct current 直流; delay 延迟
F—fuse 熔丝
G—electric generator 发电机
GTO—gate turn off thyristor 可关断晶闸管
GTR—giant transistor 大功率晶体管
in—input 输入
k—kingdom 边界
l—link 线路的
L—load 负载
M—electric motor 电动机
m—maximum 最大值、振幅值
min—minimum 最小值
N—normal rated value 额定值; net 网侧的
out—output 输出
p—peak 峰值
PWM—pulse width modulation 脉宽调制
s—steady state 稳态; short circuit 短路
SCR—silicon controlled rectifier 可控硅整流元件
T—transistor 晶体管; thyristor 晶闸管; transient state 静态
V(v)—valve 阀侧; valley 谷值

二、汉语拼音略写符号

- B*—bian ya qi 变压器
CF—chu fa 触发
K(k)—kong zhi 控制
P—ping heng 平衡
T—tong bu 同步
M—mai chong 脉冲
W—wen ya 稳压; (dian) wei(qi) 电位器

三、汉字脚标

- 环—环流
臂—桥臂

目 录

绪 论	1
第一章 晶闸管	3
第一节 可控整流的基本概念	3
第二节 晶闸管的结构、工作原理和特性	3
第三节 晶闸管的主要参数、型号和冷却方式	10
本章小结	16
思考题与练习题	17
第二章 单相可控整流电路	19
第一节 单相半波可控整流电路	19
第二节 单相桥式全控整流电路	29
第三节 单相桥式半控整流电路	34
本章小结	37
思考题与练习题	39
第三章 三相可控整流电路	41
第一节 三相半波可控整流电路	41
第二节 三相桥式全控整流电路	50
*第三节 三相桥式半控整流电路	59
第四节 整流电压的谐波分析	63
第五节 变压器漏抗对整流电路的影响	66
第六节 电动机由晶闸管供电时的机械特性	70
*第七节 带平衡电抗器的双反星形可控整流电路	79
本章小结	86
思考题与练习题	88
第四章 晶闸管有源逆变及可逆电路	90
第一节 有源逆变的工作原理	90
第二节 晶闸管-直流电动机可逆电路	97
第三节 无环流可逆电路	111
*第四节 相控交流装置的功率因数	114
本章小结	118
思考题与练习题	118
第五章 晶闸管的触发电路	120
第一节 对触发电路的要求	120
第二节 单结晶体管及其触发电路	122
第三节 晶体管触发电路垂直控制的概念和方法	132
第四节 同步电压信号为锯齿波的触发电路	134

*第五节 KCZ6集成化六脉冲触发组件.....	145
*第六节 数字式移相触发电路原理.....	153
本章小结.....	158
思考题与练习题.....	158
第六章 主电路计算与保护	160
第一节 交流变压器参数计算.....	160
第二节 晶闸管元件的选择及串并联应用.....	162
第三节 晶闸管的保护.....	170
第四节 电抗器电容量计算.....	182
第五节 计算举例.....	186
本章小结.....	192
思考题与练习题.....	192
附表6-1, 附表6-2.....	193
第七章 直流斩波器与变频电路基础	194
第一节 直流斩波器.....	194
第二节 变频器的概念和常用换流方式.....	198
第三节 并联谐振式逆变器的工作原理.....	201
第四节 电压型逆变器和电流型逆变器.....	205
第五节 交流-交流变频器.....	216
本章小结.....	220
思考题与练习题.....	221
附录一 特种晶闸管简介.....	222
附录二 脉冲输出级和脉冲变压器.....	225

绪 论

当今世界工业生产中,有约占百分之二十几的电能是以直流形式使用的,此外还有一些生产设备需要将工频交流转换成中频交流或者可调频率的交流才能运行。人们从事电能形式变换技术的探索,差不多可以追溯到上一世纪末出现了交流电的时候就已经开始了。约百年来,大体上经历了从间接方法到直接方法,从旋转方式到静止方式,从离子器件到固体器件这样一些演进,并且从属于电机学的研究范畴,发展成为电力电子学这门崭新的学科。间接变流法是以机械能作为转换的中间环节实现变流的方法,如电动变流机组、单枢变流机等。作为传统的变流方法,它在我国一直沿用到五十年代末期,终因这类设备笨重、成本高、效率低、电磁惯性和维护困难等弱点,为直接方法所取代。直接变流法是利用开关器件直接进行电能形式变换的。一九一一年,德国研制成功铁壳汞弧整流器;一九二七年,美国研制成功充气闸流管;到本世纪中叶,这种大功率离子变流技术已经在冶金、化工、电力牵引等部门得到广泛实际的应用。晶闸管变流技术是从五十年代后期美国贝尔研究所和通用电气公司联合研制成功世界上第一只电力晶闸管元件开始的。晶闸管摒弃了传统热离子导电的整流机制,而是采用了单晶硅平面工艺制造出具有四层以上PN结结构的固体可控电力整流元件。固体元件比起汞弧整流器来,相同功率条件下具有体积小、效率高、速度快、控制功率小、无毒害、运行可靠和几乎不需要维护等一系列突出优点。它的出现,迅速取代了汞弧整流器和变流机组,成为变流技术的首选方案。当代晶闸管的应用可以归纳为以下一些方面:1)可控整流:将幅值一定的交流变成电压可调的直流,用于直流电动机的无级调速和作为同步电动机的励磁、电解、电镀的直流电源;2)有源逆变:将直流电能回馈给交流电网,用于直流电动机的再生制动,异步电动机串级调速等;3)变频:将工频交流变为另一频率的交流或者频率、幅值可调的交流,用作中频加热电源或交流电动机的变频调速等;4)交流调压:将固定的交流电压变为可调的交流电压,用于交流电动机调压调速和进行炉温控制等;5)斩波:将固定的直流电压变成可调的直流电压,用于直流电动车辆的经济调速;6)作为交、直流无触点开关,能快速接通或断开大功率的交、直流电路,取代防爆开关、接触器和继电器。当前,晶闸管元件正在向大电流、高电压方向发展,同时功能更强、使用更方便的各种派生型晶闸管也相继问世,并得到实际的应用。与此同时,各种新型保护元件,系列化、集成化控制装置也不断推出。在变流技术开发方面,人们越来越重视改善相控调压的功率因数,消除谐波污染等问题的研究,且已经取得令人瞩目的进展。我国自五十年代末期制造成功国产晶闸管以来,

受到国民经济各部门的重视。当前在上海、北京、西安、天津、保定、沈阳、青岛、柳州等地都设有国家定点的晶闸管整流器生产厂家和科研机构，生产各种类型晶闸管元件与各种用途的整流、变频整机。目前，国内已能制造5kV、1kA的大功率硅可控元件，这标志着我国电力整流器生产水平已经步入世界先进行列。展望未来，随着电力电子学、微电子学、计算机科学与控制论等学科的交融，将为生产自动化技术开拓出无限广阔的发展天地。

第一章 晶 闸 管

晶闸管是硅晶体闸流管的简称^①，又名可控硅（SCR）。它是一种大功率固体可控整流元件，具有闸流管的特点。就是说，通过它的门极（其作用相当于闸流管的栅极）施以毫安级的控制电流触发后，它才能像整流二极管那样单向地导通电流。晶闸管是组成晶闸管变流装置的基本元件。当代晶闸管有普通型和特殊型两大类。特殊型包括快速型、可关断型、双向型和逆导型等许多不同类型。现阶段大量应用着的是普通型。我们以后提到的晶闸管，若非特殊指明，均属普通型，其他类型则在附录中介绍。

在这一章里，将着重介绍晶闸管的结构、工作原理以及它的基本特性，为我们在使用晶闸管元件时能有所依据，并为正确理解各种晶闸管变流电路作必要的知识准备。

第一节 可控整流的基本概念

在电子技术课程中，已学过二极管整流电路。它输出的直流电压是不可调的。在现代工业生产中，往往需要可调的直流电压，如直流电动机的调速，发电机和同步电动机的励磁调节等。为使整流器的输出电压可调，一种办法是改变整流器输入端交流电压的幅值，如图1-1（a）所示。由于机械惯性的原因，这种办法不能实现快速调节，且需要较大的控制功率，因此不为实际所采用。另一种办法是通过相控整流：将整流器输出的电压波形按时间削去一部分，如图（b）所示，从而达到改变输出电压平均值的目的。晶闸管的可控特性是实现相控整流的基础。晶闸管相控整流可得较高的快速性，具有以小功率控制大功率输出的宝贵特点，便于实现自动调节。实际生产中，绝大多数情况就是采用这种相控整流方式作为直流调压电源的，而且晶闸管作为基本元件，还能用于绪论中提到的多种电能形式的转换电路中。

第二节 晶闸管的结构、工作原理和特性

一、晶闸管的结构

1. 晶闸管的外型

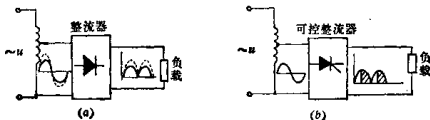


图 1-1 调压整流电路示意图

(a) 交流调压整流；(b) 相控调压整流

① 晶闸管是一种包括三个或更多的结，能从断态转入通态，或由通态转入断态的双稳态半导体器件。“晶闸管”一词是这类器件的统称术语，在不引起误解时，也可用来表示晶闸管族系的任何一种器件。如表示以往称之为可控硅的反向阻断三极晶闸管。

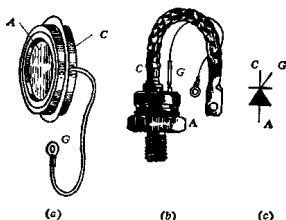


图 1-2 螺栓式与平板式晶闸管外型
(a) 平板式；(b) 螺栓式；(c) 图形符号

晶闸管是功率半导体器件，工作时由于内阻损耗而产生热量，故晶闸管本身总要带有散热器。依散热器安装形式的不同，从结构上可分为螺栓式和平板式两种，如图1-2所示。不论哪一种结构，都有三个引出端子（三个极的引线），其中有两个主端子：阳极端子A——正向电流由外部电路流入元件的端子；阴极端子C——元件向外部电路流出正向电流的端子；门极（也叫控制极）G——流进或流出控制电流。

(1) 螺栓式 螺栓式结构是指管壳为螺栓形的外部结构。如装有散热器，是指器件与散热器以螺钉对螺孔相接触的方式配合组装，如图(b)所示。有螺栓的一端是阳极，螺栓拧装在铝制散热器上。另一端有两根电极，粗引线为阴极，细引线为门极。在使用时，这种结构拧装和更换元件都很方便。

(2) 平板式 平板式结构外形如圆盘形平板。如带散热器，是指器件与散热器以双面式平面对平面相接触的方式配合组装，如图(a)所示。圆盘两面一为阳极，一为阴极，分别用符号A、C标记；中间金属环是门极，记以G。金属环靠近阴极一面，离阳极较远；也有与两个极面等距离的，但环的引线却焊在靠近阴极一侧以示区别。

平板型元件是用两个互相绝缘的散热器的两面将它紧紧夹住的，故散热面积大，散热效果好，可提高元件的电流容量，宜于制造较大功率的元件。目前200A以上的晶闸管都制成平板型。

还须指出，散热器对元件的接触压力及其分布是否均匀对负能力有很大关系。出厂时，元件与散热器已经组装好。使用时，用户不应无故拆卸已装好的散热器。

2. 元件的内部结构

螺栓式和平板式晶闸管的内部结构分别示于图1-3和图1-4，可分为管芯、电极引线、管壳和散热器几部分。管壳是起密封作用的，可以防止潮气和有害气体侵入而影响管子的性能。螺栓式元件的管壳与管心之间用钎焊或内压接方法连接；平板式的管壳和管心之间用散热器外加压力压接。

两种管型的封装结构各示于图(a)；管心结构示于图(b)中。

晶闸管的要害部位是它的管心——由P型和N型半导体交替结合的四层硅片，呈扁平圆盘形。

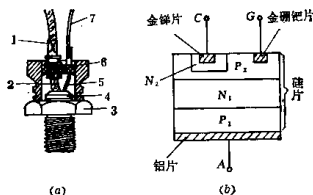


图 1-3 螺栓式元件的内部结构

(a) 封装结构

1—阴极；2—阴极内引线；3—阳极铜底座；4—管心；5—门极内引线；6—玻璃绝缘；7—门极

(b) 管心结构

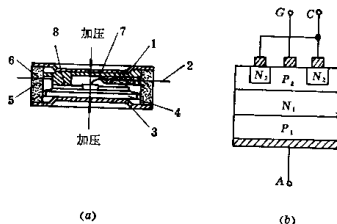


图 1-4 平板式元件内部结构

(a) 封装结构

1—上金属件（阴极）；2—门极金属件（钎焊）；3—下金属件（阳极）；4—管心；5—下陶瓷片；6—上陶瓷片

(b) 管心结构

在 N 型硅基片的两面扩散铍（或硼、铝等 P 型杂质）以形成 PNP 层，然后在其中一面的局部地方置入含有 N 型杂质如金、铂之类合金片生成 $PNPN$ 结构，由此 N 层引出阴极；在同一 P 层面的另一小区域放置铝或金-铂-钨之类合金片作门极。在其反面（另一 P 层面）的整个面积上放置铝之类的 P 型金属片作阳极的欧姆接触。这里所说的欧姆接触是指那些电压-电流特性遵从欧姆定律的非整流性的电和机械接触。

从管心形式看，平板式较螺栓式的优点在于门极位于管心的中央，而且管心采用压接封装，使阴极引线的接触面积大，这些都有利于得到好的电流扩展条件，能承受较大的电流上升率。近年来，对大功率的平板型元件采用扩散工艺制作管心的三个 PN 结，大大提高了电极的接触压力，改善了电流的分配情况，并减少了接触损耗与热阻。同时，平板型元件是两面散热的，故电流容量较螺栓型有大幅度提高。

晶闸管的四层三端极也可表示如图1-5。用万用表可识别三个端极并初步判定管子的好坏。它的阳极和阴极间、阳极和门极间的正反向电阻都应在数百千欧以上。门极和阴极间PN结具有不太理想的二极管特性，正向电阻约数十到一百欧，反向电阻不超过数百欧。

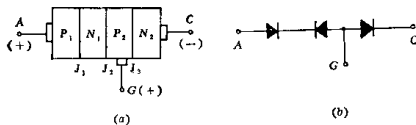


图 1-5 晶闸管的四层三端极表示

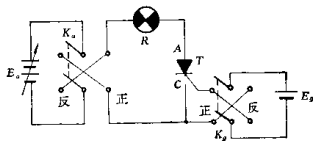


图 1-6 晶闸管的通、断实验电路

测量时不能用万用表的高阻档，以免表内高压电池击穿门极的PN结。

二、晶闸管的工作原理

1. 导通与关断条件

如上所述，晶闸管是具有PNPN四层结构、三个PN结的半导体器件，它的工作原理和特性与普通的二极管显然是不相同的。我们先通过一个实验探求它导通和关断的规律，然后再来讨论它的工作机理。实验装置如图1-6所示。

晶闸管T同负载灯泡串联，经双投开关 K_1 接于可调电源 E_1 上。门极G与阴极C也经双投开关 K_2 接到门极电源 E_2 上。 E_1 最大可用6V， E_2 用3V。开关有正、反、断三个位置。 K_1 的投向使管子的A极为正、C极为负时，称为投入正向电压； K_2 的投向使G极为正、C极为负时，称投入正向门极电压。反之，则称开关投向反向电压。实验程序可按表1-1进行。

实验说明，晶闸管导电有以下特点：

- 1) 晶闸管也和二极管一样，具有单向导电即整流的特性。
- 2) 晶闸管的导通是可以通过门极加以控制的，即在正向阳极电压下，当加入正向门极电压时就导通。但是管子一旦导通，后门极的控制不能使其关断，即门极失去了控制能力（指普通型管）。

通过实验，我们得出晶闸管导通的条件：

- 1) 阳极和阴极间必须施加正向电压 E_1 。（称正向阳极电压）。
- 2) 门极和阴极间必须施加具有一定功率的正向电压 E_2 。

上述导通条件是必须同时具备的。晶闸管的关断只要具备下列条件之一就可以实现：

- 1) 阳极和阴极间施加反向电压或将正向电压降到零。

表 1-1

顺 序	操作前 灯的状态	T 的所加电压		操作后 灯的状态	说 明 的 问 题
		阳极电压 U_{AC}	门极电压 U_g		
导通实验	暗	反向	反向 断开 正向	暗	对晶闸管施加反向阳极电压时, 无论门极电压极性如何, 管子都处于阻断状态
	暗	正向	反向 断开	暗	对管子施加正向阳极电压, 仅在门极也施加正向电压时, 管子才会开通
			正向	亮	
关断实验	亮	正向	正向 断开 反向	亮	管子一旦导通, 只要仍受一定的阳极电压, 无论门极电压如何, 管子仍然导通, 门极失去了控制作用
	亮 将 E_a 逐渐减小 为零	正向	任何方向	暗	管子在导通情况下, 当主电压 (或电流) 减小接近于零时, 管子关断

2) 加大外电路电阻使阳极电流减小到某最小电流以下。这个最小电流称为维持电流 I_H 。

须指出, 上面的实验中, 元件是在门极控制下导通的。这称为正常开通。如果阳极电压 U_{AC} 加得很高或升得太快, 也会在无门极控制下开通。这种情况称为硬开通和误导通。硬开通和误导通都不是元件的正常工作方式。

2. 晶闸管的工作原理

为什么晶闸管会有上面提到的可控整流特性和导通后便失去关断控制能力的特性呢? 我们已经知道, 晶闸管的管芯是 $PNPN$ 四层、三个 PN 结的结构 (如图 1-5)。今将 N_1 区和 P_2 区分成两部分, 便形成如图 1-7 的结构。三个 PN 结可以看成是由 $P_1N_1P_2$ 和 $N_1P_2N_2$ 两个三极管 T_1 和 T_2 组成的复合作用管。可以看出, 每个管的集电极电流同时又是另一管

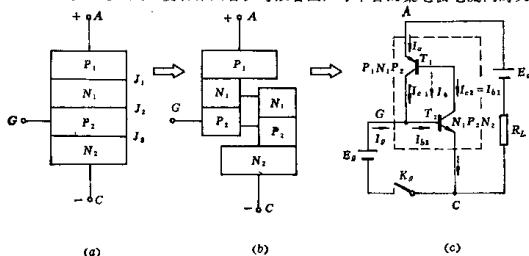


图 1-7 用复合晶体管说明晶闸管的工作原理

的基极电流。当 A 、 C 间加上正向电压后, PN 结 J_1 和 J_3 都处于正偏置, 是正向结; 结 J_2 处于反偏, 是反向结。正如图 1-7(c) 所示的等值电路那样, 由于反向 PN 结的阻流作

用,管子只流过微小的漏电流 I_0 。当合上开关 K_s ,加上正向门极电压时, T_2 管由于基极电位高于射极电位,因而流过基极电流 I_{b2} 。电流经 T_2 管放大 β_2 倍(β 为共射极电流放大倍数),在集电极上流过电流 I_{c2} 。 I_{c2} 则作为 T_1 管的基极电流 I_{b1} ,又经 T_1 管放大 β_1 倍,使得 T_1 的集电极电流 I_{c1} 。此 I_{c1} 又将流入 T_2 的基极...

这样一次次被放大后的循环可表述为

$$I_0 \rightarrow I_{b2} \xrightarrow{\beta_2} I_{c2} (= I_{b1}) \xrightarrow{\beta_1} I_{c1} (= \beta_1 I_{b1} = \beta_1 \beta_2 I_{b2}) \rightarrow \dots$$

这是一个强烈的正反馈过程,可在几微秒的极短时间内使两个三极管出现饱和导通,也就是晶闸管开通:管子端极 A 、 C 间压降很小(约 $\geq 1V$)。此时阳极电流由外电路电压 E_s 和所接负载来决定。

从两管的正反馈放大作用来看,管子一旦导通了,便有 $I_{c1} \gg I_{b2}$ 。两管各以自己的集电极电流为另一管提供基极电流以维持导通,即使取消了门极电压也不能使其关断。这时的门极已失去了控制作用。要想使管子关断,就应象实验中那样,将阳极电压减小或加大电阻,使阳极电流降到维持电流以下。

通过上面的分析可以得出结论:晶闸管的工作机理是依靠 $PNPN$ 的再生正反馈过程,以实现双稳态——开通和关断作用的无触点开关的。

三、晶闸管的特性

晶闸管是通过正反馈作用来实行开通与关断的双稳态半导体器件。但是,这两个稳态的转化是要受阳极电压、阳极电流、门极电流和管芯温度等外部条件制约的。晶闸管的特性就是反映这些外部条件使管子的两个稳态相互转化的规律。这些特性将为我们提供管子的某些主要参数,这些参数对我们选择和使用管子是十分重要的。本章只介绍晶闸管的主要特性即阳极伏安特性,它的门极伏安特性留待第五章介绍。

阳极伏安特性是指将门极断开($I_g = 0$),在阳极和阴极间施加正向和反向直流电压时,元件的阳极电压 U_a 和阳极电流 I_a 之间的关系。阳极伏安特性如图1-8所示。第I象限的 U_a 和 I_a 都是正值,表示管子在正向工作区;第III象限 U_a 和 I_a 都是负值,表示管子处在

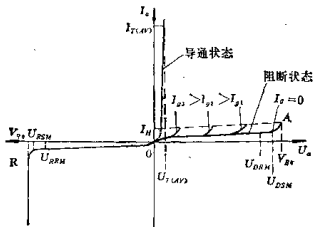


图 1-8 晶闸管的阳极伏安特性

U_{DSM} —断态不重复峰值电压; U_{DRM} —断态重复峰值电压; U_{RSM} —反向不重复峰值电压; U_{RRM} —反向重复峰值电压

反向阻断区。

1. 正向阻断特性和通态特性

参考图1-6的实验电路,在门极断开时,将正向外施电压 E_a 由零逐渐增加,则管子两端电压 $U_a = E_a$ 也逐渐增加,阳极电流 I_a 几乎不变,数值只有几或几十毫安,称为正向漏电流。这时的管子呈正向阻断状态。待 E_a 升到某一更高数值 V_{DSM} 时, I_a 上升加快。当 E_a 高到 V_{BS} 时, I_a 突然增大,其数值约为 $I_a = E_a / R$, R 是外电路负载电阻。与此同时 U_a 突然降得很小,只有1V左右,管子由阻断变为通态了。管子开通后的特性,与二极管正向特性相似。

管子正向伏安特性的形成,可用PN结原理来解释:我们已知当 $I_g = 0$,管子施加正向阳极电压时, J_1 、 J_3 是正向结, J_2 是反向结,故 J_2 对多数载流子的扩散运动是高阻挡层,如图1-9所示。在 E_a 作用下, N_2 发射区有电子能越过 J_2 结进入 P_2 区,其中一部分电子与 P_2 区的空穴复合,另一部分在 J_2 附近作为 P_2 区的少数载流子聚集着。同样, P_1 发射区也有空穴能经 J_1 注入 N_1 区,除部分复合外,其余也在 J_2 附近作为 N_1 区的少数载流子聚集着。在 J_2 的反偏电场作用下,这些少数载流子有的穿过 J_2 漂移到对方形成微弱的正向漏电流,只是比单独的PN结反向漏电流大些。当 $U_a = E_a$ 升到相当大时, J_2 的内电场已相当高,少数载流子漂移形成的漏电流显著增加。当 U_a 达到 V_{BS} 数值时, J_2 的内电场很大,以致造成了电击穿,产生雪崩倍增效应,结区产生了大量的电子空穴对。在外电场作用下,电子进入 N_1 区与来自 P_1 区注入 N_1 区的空穴复合;同样,结区的空穴进入 P_2 区,与来自 N_2 区注入 P_2 区的电子复合。复合不掉的便在 N_1 区有电子积累,在 P_2 区有空穴积累。这种积累导致 J_2 结原有的内电场消失并使 P_2 区的电位比 N_1 区的电位还高,于是 J_2 也变成正向结了。反向结内电场的消失使电流突然猛增,而管子承担的电压却在急剧减小,表现出负阻特性(伏安特性中的虚线),于是管子便由正向阻断转为正向开通。开通过程是由对应 V_{BS} 电压的A点经过负阻区特性到达开通特性的工作点,故A点称为阻断与开通的转折点。但是,上述不用门极控制而依靠加大阳极电压使管子开通的情况,称为硬开通。多次的硬开通将使管子的转折电压降低,元件损坏。所以,元件可能承受的最大正向电压 E_a 必须小于 V_{DSM} 。

当在门极和阴极间加上正向电压 U_g 时,在 U_g 作用下,将有更多的电子自 N_2 区经过 J_3 结涌向 P_2 区,加入 P_2 区少数载流子行列。其中一部分与 P_2 区空穴复合,形成门极电流;一部分通过 J_2 漂移到 N_1 区积累下来,于是填补了 J_1 的空间电荷区,使 J_1 内电场减小,其结果使 P_1 区有更多的空穴通过 J_1 进入 N_1 区扩散。进入 N_1 区的空穴,一部分与 N_2 区来的电子复合形成阳极电流,其余部分也在 J_2 电场作用下越过 J_2 到达 P_2 区积累下来,其结果又填充了 J_3 的空间电荷区,并降低了 J_3 的内电场。这时又有更多的电子从 N_2 发射出来…。这正是前节中提到的正反馈过程。在 N_1 区积累电子和在 P_2 区积累空穴的结果,同时也填充了 J_2 的空间电荷区,并大大削弱了 J_2 的电场。故管子导通后其正向压降很小。该特性还表明,所加门极电流越大,其正向漏电流也越大,出现正反馈所需的阳极电压越小,即转折电压越小。若 I_g 足够大,只需加上 U_a 便能导通。例如,某元件当

$I_g = 5\text{mA}$ 时,其正向转折电压 $U_{BS} = 200\text{V}$;

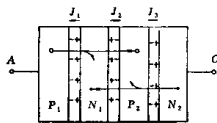


图 1-9 在正向阻断状态下两发射区载流子的运动情况

$I_g = 15\text{mA}$ 时, 其 $V_{R0} = 5\text{V}$;

$I_g = 30\text{mA}$ 时, 其 $V_{R0} = 2\text{V}$ 。

我们正是利用这个规律, 给门极施加足够大的触发功率, 使管子能在任何正向阳极电压下开通。这种开通称为正常开通。

当管子开通成为不可控之后, 欲使管子关断, 应使阳极电流 I_a 降到维持电流以下, 其工作点才能从通态特性转到阻断特性上。为了使管子迅速可靠地关断, 通常是在阳—阴极之间加一段时间的反向电压。

2. 反向阳极伏安特性

当门极断开, 对元件施加反向阳极电压时, J_2 结为正向结, J_1 、 J_3 为两个串联的反偏PN结, 故处于高阻状态, 管子流过极小的反向漏电流。当反向电压超过弯曲点电压 V_R 时, J_3 结发生穿通现象, 反向漏电流开始急剧增加, 致使元件发生热击穿而损坏。我们将

上述过程称为从反向阻断转化为事故导通, 这是不允许发生的。

通过阳极伏安特性, 可以进一步总结管子从阻断转化为导通的条件: 1) 阳极电压必须高于阴极电压; 2) 门极必须加正向电压并有足够大的触发功率; 3) 阳极电流需大于维持电流。

从通态转化为阻断状态的条件是: 阳极电流降到维持电流以下。

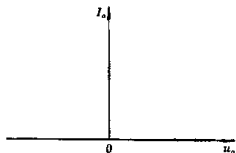


图 1-10 晶闸管的理想伏安特性

从伏安特性看, 晶闸管的正、反向阻断状态的漏电流很小, 阻断特性接近横轴。正向导通时, 管子的正向压降很小而允许的通态电流大, 特性接近纵轴。可以说, 晶闸管是一种特性很接近理想伏安特性的无触点功率开关 (图1-10示出了理想的伏安特性)。

第三节 晶闸管的主要参数、型号和冷却方式

晶闸管的伏安特性给我们提供了元件在外部条件下使两个稳态相互转化的一般规律, 它只是给出了使用晶闸管的最基本条件。要想合理地选择和使用管子, 还需掌握它的几个方面的量值概念。这些量值就是晶闸管的参数。下面介绍的主要参数的术语含义, 均以1982年颁布的国家标准GB2900·32—82有关部分的规定为依据, 将其中一部分参数列入表1-2和表1-3中。

一、主要参数

(1) 断态不重复峰值电压 U_{DSM} ——断态电压中不允许重复施加的瞬态电压最大瞬时值。这个电压是指门极断开时正向伏安特性急剧弯曲处所决定的断态峰值电压。元件承受的正向电压瞬时值如果超过它几次即告损坏。因此, 这个电压是不可重复施加, 且持续时间不大于10ms的断态最大脉冲电压。

(2) 反向不重复峰值电压 U_{RSM} ——反向阻断状态下晶闸管两端出现的任何不重复最大瞬时值的瞬态反向电压。此值是指当门极断开、额定结温时, 反向伏安特性的急剧弯曲处所决定的反向峰值电压。外施于元件的反向电压一旦超过 U_{RSM} , 元件便发生破坏性击穿。因此, 它也是不可以连续施加, 持续时间不大于10ms的反向最大脉冲电压。

(3) 断态重复峰值电压 U_{DRM} ——晶闸管两端允许重复出现的断态电压峰值。 U_{DRM} 值

规定为不重复峰值电压 U_{DSM} 的80%。它是门极断路, 额定结温时, 重复率为每秒50次, 每次持续时间不大于10ms的断态最大脉冲电压。

(4) 反向重复峰值电压 U_{RRM} ——反向阻断状态下的晶闸管两端出现的重复最大瞬时间的反向电压。此值规定为反向不重复峰值电压 U_{RSM} 的80%。它是门极断开、额定结温时, 重复率为每秒50次, 每次持续时间不大于10ms的反向最大脉冲电压。

表1-4中列出了重复峰值电压的等级。

(5) 额定电压 U_N ——通常取断态重复峰压 U_{DRM} 和反向重复峰压 U_{RRM} 二者之中的较小者(二者可能不同), 再下靠相近的电压等级, 该等级电压便是元件的额定电压。如元件的 U_N 为1000V, 是指可对该元件重复施加不超过1000V的正、反向峰值电压而不会造成元件的误导通, 但外加电压峰值一旦超过其不重复峰值电压时, 便会造成元件的永久性损坏。额定电压值是选用管子的重要指标之一, 它标注在管子的型号标志之中。如何在实际线路里选择管子的电压定额, 将在第六章作详细介绍。

(6) 晶闸管的额定电流——额定通态平均电流 $I_{T(AV)}$, 晶闸管允许的电流决定于管芯的允许温度(允许结温)。管芯的结温随元件工作时的损耗而上升, 但是适当的环境温度和冷却条件又可将结温限制在一个稳定值上。正如我们对电机采用的不同散热方式一样, 对晶闸管要采用不同的冷却方式。如果标准的环境温度和某种冷却方式已规定好, 欲使元件的结温稳定在允许值上, 就必须限制元件的工作电流了。正是在这个意义上, 厂家通过实验确定了晶闸管的电流额定值, 即额定通态平均电流 $I_{T(AV)}$ 值。

$I_{T(AV)}$ 是在环境温度为40℃和规定的冷却条件下, 稳定结温不超过额定结温时, 测得的通过元件最大单相工频正弦半波电流平均值, 再按照标准中规定的系列值向下取整数得到的电流值。 $I_{T(AV)}$ 值标注在管子型号的标志之中。图1-11示出了一个通态平均电流 $I_{T(AV)} = 100A$ 的电流波形图。

$I_{T(AV)}$ 值是确定晶闸管电流容量的一项主要指标。我们知道, 管芯的温升是管子通过电流时产生热效应引起的, 而热效应是由等效电流(即电流有效值或称均方根值)来表征

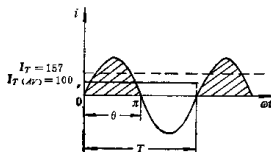


图 1-11 额定通态平均电流为100A的元件电流波形图

的, 因此选择晶闸管电流容量时, 先要根据 $I_{T(AV)}$ 的定义条件(如图1-11)计算出电流有效值, 再同电路实际工作电流有效值比较确定。

实际上, $I_{T(AV)}$ 与电流幅值的关系为

$$\begin{aligned} I_{T(AV)} &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} I_m \sin \omega t d\omega t \\ &= \frac{I_m}{2\pi} (-\cos \omega t) \Big|_0^{\pi} = \frac{I_m}{\pi} \end{aligned}$$