

21世纪高等职业技术教育规划教材

电气工程类

电力电子技术

DIANLI DIANZI JISHU

主 编◎杨立林

副主编◎马国军



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

21 世纪高等职业技术教育规划教材——电气工程类

电力电子技术

主 编 杨立林

副主编 马国军

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书是 21 世纪高等职业技术教育规划教材。全书共分 8 章,主要内容有:电力电子器件、可控整流电路、有源逆变电路、触发电路、主电路的计算和保护、交流开关与交流调压电路、变频器与直流斩波电路、电力电子技术实训。每章后附有思考题与习题。全书针对高等职业技术教育的特点,精选内容,以定性分析配以定量计算,具有理论联系实际和突出实用的特点。

本书可作为高等职业技术学院、成人高校、民办高校电气自动化、机电一体化、电子信息类专业教学用书,也可作为相关专业工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术 / 杨立林主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2009.7

21 世纪高等职业技术教育规划教材: 电气工程类
ISBN 978-7-5643-0309-9

I. 电… II. 杨… III. 电力电子学—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 117736 号

21 世纪高等职业技术教育规划教材——电气工程类

电力电子技术

主编 杨立林

*

责任编辑 黄淑文

特邀编辑 谢美俊

封面设计 翼虎书装

西南交通大学出版社出版发行

(成都市二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蜀通印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 13

字数: 325 千字 印数: 1—3 000 册

2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-0309-9

定价: 23.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是 21 世纪高等职业技术教育规划教材,是根据高等职业技术学院电类专业主干课程的要求,并根据高等职业技术教育培养高技能型人才的特点编写的。

高等职业技术学院培养的是具有一定理论基础的高技能型人才。本书作为高等职业技术学院电气自动化、机电一体化等专业的专业基础课教材,编写时,根据专业的培养目标和基本要求,突出针对性和实用性,以应用为目的,以必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为教学重点。因此,本次编写,尽可能地降低了难度,精简、精选了内容,加强了理论教学与工程实际的有机联系,注重了基本概念、定性分析、基本计算方法和实际应用,删除了一些理论推导和证明,在叙述上力求深入浅出。

本书图文并茂,文字通顺易懂,为便于复习和自学,每章后均附有思考题与习题。根据教学要求,本书参考学时为 70 学时,大致分配如下:绪论,2 学时;电力电子器件,10 学时;可控整流电路,12 学时;有源逆变电路,10 学时;触发电路,10 学时;主电路的计算和保护,8 学时;交流开关与交流调压电路,8 学时;变频器与直流斩波电路,10 学时。有条件的学校,可单独安排一周实训。

本书由四川职业技术学院杨立林任主编,宁夏机电工程学校马国军任副主编。全书共分 8 章,其中,绪论和第 4 章由杨立林编写;第 1 章由重庆水利电力职业技术学院李锡正编写;第 2 章由四川职业技术学院赵国华编写;第 3 章由浙江电力职业技术学院斯艳编写;第 5 章由四川职业技术学院李海兵编写;第 6 章由重庆水利电力职业技术学院侯德明编写;第 7 章由宁夏机电工程学校马国军、任云明编写;第 8 章由四川职业技术学院张启编写。全书由杨立林统稿。

由于时间仓促和编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请专家、同行和广大读者批评指正。

编 者

2009 年 3 月

目 录

绪 论	1
第 1 章 电力电子器件	4
1.1 晶闸管的结构和工作原理	4
1.2 晶闸管的伏安特性与主要参数	7
1.3 晶闸管的简易测试和使用	14
1.4 常用自关断电力电子器件	15
思考题与习题	30
第 2 章 可控整流电路	32
2.1 单相半波可控整流电路	32
2.2 单相全控桥式整流电路	39
2.3 单相半控桥式整流电路	44
2.4 三相半波可控整流电路	48
2.5 三相全控桥式整流电路	54
2.6 三相半控桥式整流电路	61
思考题与习题	67
第 3 章 有源逆变电路	70
3.1 有源逆变的基本工作原理	70
3.2 三相有源逆变电路	74
3.3 逆变失败原因及最小逆变角的确定	77
3.4 绕线式异步电动机的低同步串级调速	79
3.5 变流装置的功率因数	83
思考题与习题	86
第 4 章 触发电路	87
4.1 对触发电路的要求	87
4.2 单结晶体管触发电路	88
4.3 同步电压为正弦波的触发电路	94
4.4 同步电压为锯齿波的触发电路	100
4.5 集成触发电路	105
4.6 触发电路与主电路的同步分析	108
思考题与习题	112

第 5 章 主电路的计算与保护	114
5.1 晶闸管的串联与并联使用	114
5.2 整流变压器额定参数的计算	118
5.3 平波电抗器电感量的计算	123
5.4 晶闸管的过电压保护	125
5.5 晶闸管的过电流保护及电压电流上升率的限制	135
思考题与习题	140
第 6 章 交流开关与交流调压电路	142
6.1 双向晶闸管	142
6.2 晶闸管交流开关	145
6.3 单相交流调压	150
6.4 三相交流调压	156
6.5 软开关技术简介	160
思考题和习题	163
第 7 章 变频器与直流斩波电路	165
7.1 变频器的基本概念	165
7.2 负载谐振式逆变器	167
7.3 电压型逆变器	171
7.4 电流型逆变器	175
7.5 逆变器的 SPWM 控制技术	177
7.6 直流斩波电路	181
思考题和习题	186
第 8 章 电力电子技术实训	187
8.1 单结管触发电路及单相半波可控整流电路的研究	187
8.2 集成触发电路及单相半控桥式整流电路的研究	189
8.3 三相半波可控整流电路的研究	192
8.4 三相半控桥式整流电路的研究	195
8.5 三相全控桥式整流电路的研究	196
8.6 单相桥式有源逆变电路的研究	198
8.7 单相交流调压电路的研究	200
参考文献	202

绪 论

电力电子技术是综合了电力技术、电子技术和控制技术的一门新兴交叉学科，它将电子技术和控制技术引入传统的电力技术领域，利用电力电子器件组成各种电力变换电路，以实现电能的变换和控制。

电力电子技术包括电力电子器件、电力电子电路和电力电子装置及其控制系统。它的主要研究任务是电力电子器件的应用、电力电子电路的电能量变换原理（包括电压、电流和频率的变换）、控制技术以及电力电子装置的开发与应用。

一、电力电子技术的发展

1956 年美国贝尔电话公司实验室制成了晶闸管的雏形，1957 年美国通用电气公司（GE）制出了晶闸管的商品元件，1958 年美国通用电气公司首先研制成功第一个工业用的普通晶闸管，它标志着电力电子技术的诞生，并进入了以电力电子器件为主的变流技术时代。

由于以晶闸管为主的电力电子器件具有体积小、重量轻、反应快、能量消耗小、可靠性高和容易维护等优点，尤其是它能节能，使得它自问世以来，便得到了飞速的发展，其电流、电压定额不断提高，功率容量也提高了近 3 000 倍，现在许多国家已能生产 8 kV/4 kA 的晶闸管，这也使得以晶闸管为主要器件的电力电子技术很快在电化学工业、铁道电气机车、钢铁工业（感应加热）和电力工业（直流输电、无功补偿）中获得了广泛的应用。

当然，普通晶闸管存在着无法控制关断的缺点，这也给电力电子技术领域带来了使用不方便、电路复杂和工作频率低等欠缺。从 20 世纪 70 年代开始，在其后的 30 多年时间里，随着半导体制造技术和电力电子技术的发展，世界各国相继研制成功了电力晶体管（GTR）、可关断晶闸管（GTO）、电力场效应晶体管（MOSFET）以及绝缘栅双极型晶体管（IGBT）等具有自关断、高电压、大电流和频率高的全控型电力电子器件，推进了电力电子技术进一步向前发展。

现在，电力电子器件已由以晶闸管（SCR）、电力晶体管（GTR）、可关断晶闸管（GTO）、电力场效应晶体管（MOSFET）、绝缘栅双极型晶体管（IGBT）为代表的分立器件时期发展到将驱动电路、控制电路、传感电路、保护电路、逻辑电路等集成在一起的高度智能化的功率集成电路（PIC）和智能功率模块（IPM）时期。电力电子器件实现了器件与电路的集成，强电与弱电、功率流与信息流的集成，成为机和电之间的智能化接口，它是机电一体化的基础单元。在器件的控制模式上，电力电子器件已经从电流型控制模式发展到电压型控制模式，这不仅大大降低了门极的控制功率，而且大大提高了器件导通与关断的转换速度，使器件的工作频率不断提高。电力电子器件还将向着更大电流、更高电压、更高频率、更容易控制和更低功耗方向发展。

我国自 1960 年试制成功硅整流管和 1962 年试制成功晶闸管以来，以晶闸管为主体的电力电子技术也有了很大的发展，目前已有许多专业厂家大规模生产各种类型的晶闸管，单管电流可达 2000 A，电压可达 4000 V 以上。派生型晶闸管如快速、双向、可关断和逆导晶闸管等也有了较快的发展，对电力晶体管 (GTR)、电力场效应晶体管 (MOSFET) 等也都在积极开发生产。电力电子技术已普及到我国国民经济的各个领域，不仅有许多定点生产厂，而且还有专门的研究机构。许多专业化的电力电子装置正朝着标准化、系列化、可靠性更高的方向发展。

二、电力电子技术的应用

按工作原理，可将电力电子技术的应用分为以下几个方面：

1. 可控整流

可控整流是把有效值不变的交流电压变换成平均值可调的直流电压。例如，由可控整流电源供电的直流电动机的调压调速广泛应用于冶金、矿山、机床、造纸、纺织和印染等行业，电镀、电解电源也可采用可控整流电源供电。

2. 有源逆变

有源逆变是把直流电变换成与交流电网同频率的交流电，并将其回馈给交流电网。例如，绕线式异步电动机的串级调速，不仅可实现无级调速，而且还可节约大量电能，特别适用于泵类和风机负载，一些钢厂的不可逆轧机上也采用它。又如，目前世界许多国家正在迅速发展的高压直流输电工程，即将三相高压交流电先变换成高压直流电，再进行远距离或海底输电，输送到目的地后，再利用晶闸管有源逆变电路变换成与当地电网同频率的交流电。高压直流输电比高压交流输电损耗更小，效率更高。

3. 交流调压

交流调压是把有效值不变的交流电压变换成有效值可调的交流电压。它广泛应用于电炉温度控制、灯光调节、异步电动机的软启动和调压调速等场合。

4. 无源逆变（变频器）

无源逆变是将电网的工频交流电变换成频率和幅值均可调的交流电供给负载，即先将电网的工频交流电变换成直流电，再变换成频率和幅值均可调的交流电。例如，晶闸管中频电源、不停电电源 (UPS)、笼型异步电动机的晶闸管变频调速和变频空调等。

5. 直流斩波

直流斩波是将固定的直流电压变换成可调的直流电压。它广泛应用于无轨电车、地铁列车、蓄电池供电的机动车辆的无级变速电动汽车的控制，不仅加速平稳、响应快速，而且还节约电能。

6. 无触点大功率静态开关

晶闸管作为无触点大功率静态开关,代替接触器、继电器用于操作频繁的场所。例如,有的生产机械要求电动机正反转控制的动作频率有时高达每小时 1500~3000 次,若用接触器,工作一个星期就可能损坏。而采用晶闸管作为无触点大功率静态开关,由于它具有无声、无火花、电磁干扰小以及使用寿命长等优点,得到越来越广泛的应用。尤其在易燃、易爆的场所,采用晶闸管作为无触点大功率静态开关就更为适合。

三、本课程的性质、任务与学习方法

电力电子技术是高等职业技术学院电气自动化、机电一体化等相关专业基础性质很强的主干必修课程之一。本课程的目的和任务是使学生熟悉各种电力电子器件,尤其是晶闸管的特性和使用方法;使学生掌握各种电力电子电路的结构、工作原理及控制方法;通过实践训练,培养学生对电力电子装置的调试和维修的初步能力,对一般可控整流电路的设计计算能力。学完本课程应达到以下要求:

① 掌握晶闸管的基本工作原理、特性、主要参数和使用方法,了解电力晶体管(GTR)、可关断晶闸管(GTO)、电力场效应晶体管(MOSFET)以及绝缘栅双极型晶体管(IGBT)等的结构和基本工作原理。

② 掌握常用的可控整流电路和有源逆变电路的基本工作原理、波形分析方法、主要参数计算和元器件的选择。

③ 掌握常用的触发电路的工作原理,能根据不同要求合理选择触发电路;对一般可控整流电路能正确接线,正确掌握触发电路与主电路的同步分析方法。

④ 熟悉无源逆变(变频)、交流调压、直流斩波等电路的基本工作原理。

⑤ 能根据产品说明书正确使用一般的电力电子装置,并具有调试和故障分析的初步能力。

⑥ 了解电力电子技术的应用范围和发展方向。

本课程内容丰富,涉及高等数学、电路分析、电子技术、电机与拖动等多门课程的相关知识,因此,学习本课程要注意相关知识的复习和综合运用,要着重物理概念与电路基本分析方法的学习,注重理论与实践的结合,尽量做到器件、电路与应用的三者结合。在学习方法上,要特别注意电路的波形与相位分析,抓住电力电子器件在电路中导通与关断的变化过程,从波形分析中进一步掌握电路的工作原理,同时要重视实践、识图等应用能力的培养。

第1章

电力电子器件

摘 要 本章介绍了普通晶闸管的结构和工作原理；介绍了普通晶闸管的阳极伏安特性与主要参数、门极伏安特性和主要参数；介绍了晶闸管的型号含义、简易测试与使用方法；介绍了 GTR、GTO、电力 MOSFET 和 IGBT 的结构、工作原理以及它们的驱动与缓冲电路，为正确选择、使用这些器件以及后续章节的学习奠定基础。

在电力电子电路中能实现电能变换的开关电子器件称为电力电子器件 (power electronic device)。从广义上讲，电力电子器件可分为电真空器件和半导体器件两类，本书涉及的器件都是指半导体电力电子器件。

晶闸管原称可控硅，是硅晶体闸流管的简称。它是自 20 世纪 70 年代发展起来的一种较理想的大功率变流新器件，它的出现使大功率变流技术进入了一个新时代，所以电力电子技术又称为晶闸管变流技术。晶闸管 (Thyristed) 包括：普通晶闸管 (SCR)、快速晶闸管 (FST)、双向晶闸管 (TRIAC)、逆导晶闸管 (RCT)、可关断晶闸管 (GTO) 和光控晶闸管等。由于普通晶闸管面世早，应用极为广泛，因此在无特别说明的情况下，本书所说的晶闸管都为普通晶闸管。

晶闸管的特点是可以利用弱信号控制强信号。从控制的观点看，它的功率放大倍数很大，用几十到一二百毫安电流，两到三伏的电压可以控制几十安、千余伏的工作电流电压，换句话说，它的功率放大倍数可以达到数十万倍。由于元件的功率增益可以做得很大，所以在许多晶体管放大器功率达不到的场合，它可以发挥作用。从电能的变化与调节方面看，它可以实现交流-直流、直流-交流、交流-交流、直流-直流以及变频等各种电能的变换和大小的控制。

晶闸管是半导体型功率器件，对超过极限参数运用很敏感，实际运用时应该注意留有较大电压、电流余量，并应尽量解决好器件的散热问题。

1.1 晶闸管的结构和工作原理

1.1.1 晶闸管的结构

1. 外形结构

晶闸管的外形结构可分为小电流塑封式、小电流螺旋式、大电流螺旋式和大电流平板式。

分别如图 1.1.1 (a)、(b)、(c)、(d) 所示。

晶闸管有三个电极，它们分别是阳极 A、阴极 K 和门极（或称控制极）G，其图形符号如图 1.1.1 (e) 所示。

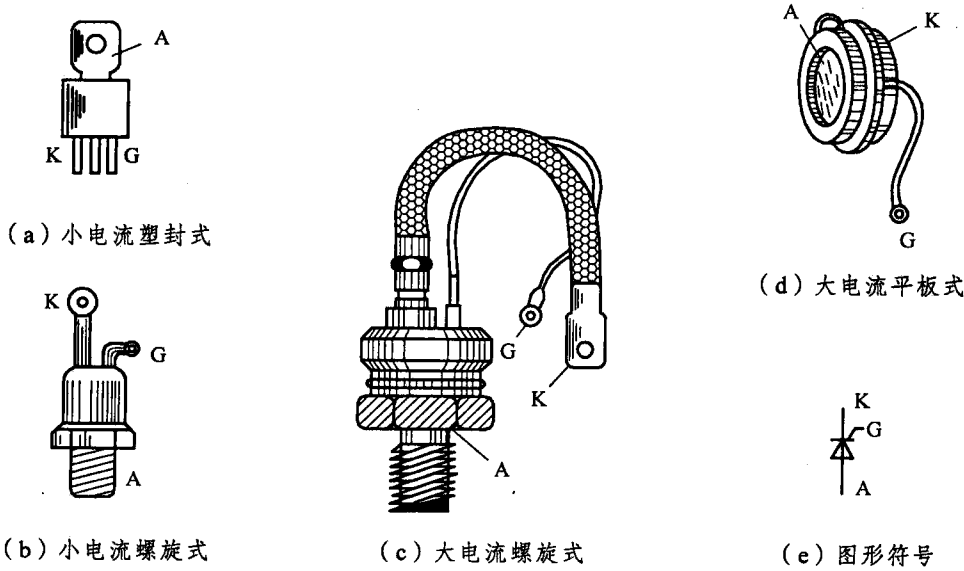


图 1.1.1 晶闸管的外形结构及符号

晶闸管是大功率器件，工作时会产生大量的热量，如不很好的解决散热问题会因器件过热而烧毁，因此必须安装散热器。螺旋式晶闸管的阳极是紧拴在铝制散热器上的，其安装、更换管子方便，但仅靠阳极散热器散热效果较差，如图 1.1.2 (a) 所示；而平板式是由两个彼此绝缘的相同形状散热器把管子的阳极和阴极紧紧夹住，此方式由于阳极、阴极均装有散热器，散热效果好，但安装、更换管子较困难。如图 1.1.2 (b)、(c) 所示。两者的比较如表 1.1.1 所示。

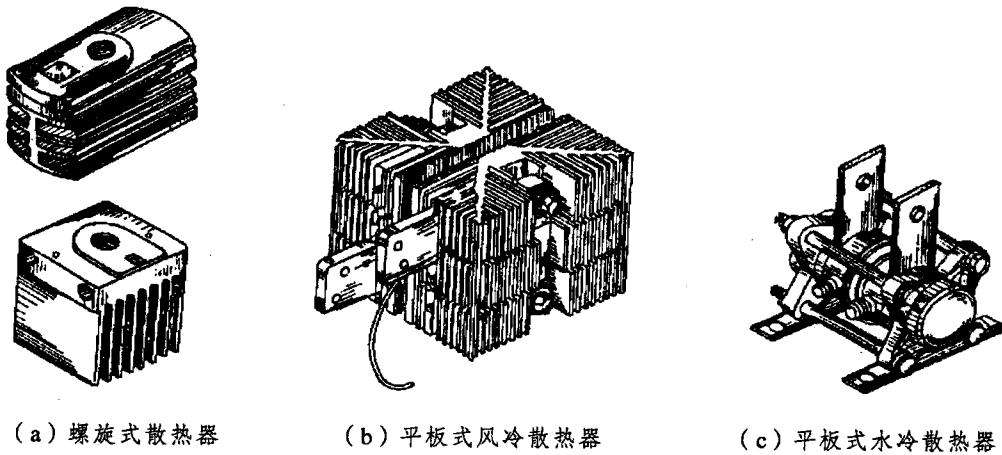


图 1.1.2 晶闸管的散热器

表 1.1.1 螺旋式与平板式晶闸管散热方式比较

比 较 \ 形 式	螺旋式	平 板 式	
		风 冷	水 冷
阳 极	带散热器	阳、阴极都装有相同的风冷散热器	阳、阴极都装有相同的水冷散热器
阴 极	不带散热器		
门 极	细小硬导线或软线引出	用细小软导线引出，并且比较靠近阴极	
优 缺 点	易安装和更换，但散热差	散热好，但安装、交换麻烦，还须安装冷却装置	
适合场合	一般用于 100 A 及以下	一般用于 200 A 及以上	

2. 内部结构

晶闸管的内部结构如图 1.1.3 (a) 所示。它由四层半导体 (P_1 、 N_1 、 P_2 、 N_2) 构成，其间形成三个 PN 结 J_1 (P_1N_1)、 J_2 (N_1P_2)、 J_3 (P_2N_2)，引出三个电极，分别为阳极 A、阴极 K 和门极 G。

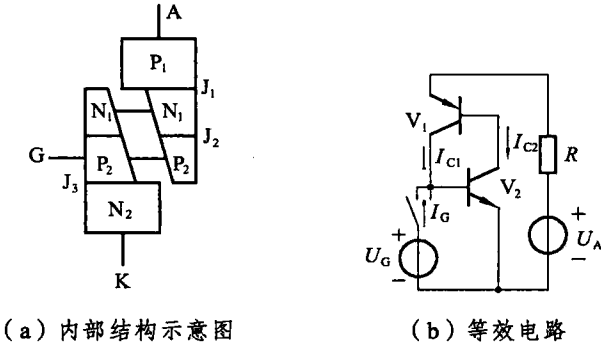


图 1.1.3 晶闸管的内部结构和等效电路

1.1.2 晶闸管的工作原理

PNPN 四层结构的晶闸管，可以用一个 PNP 型 ($P_1N_1P_2$) 三极管 V_1 和一个 NPN 型 ($N_1P_2N_2$) 三极管 V_2 的互补作用来等效，如图 1.1.3 (b) 所示。

1. 导 通

晶闸管阳极施加正向电压时，若给门极 G 也加正向电压 U_G ，门极电流 I_G 经三极管 V_2 放大后成为集电极电流 I_{C2} ， I_{C2} 又是三极管 V_1 的基极电流，放大后的集电极电流 I_{C1} 进一步使 I_G 增大且又作为 V_2 的基极电流流入。重复上述正反馈过程，两个三极管 V_1 、 V_2 都快速进入饱和状态，使晶闸管阳极 A 与阴极 K 之间导通。晶闸管导通后，若撤除 U_G ， V_1 、 V_2 内部电流仍维持原来的方向，只要阳极电流满足一定的条件，晶闸管就一直维持导通。

控制极的作用只是使晶闸管触发导通，而导通后，控制极就失去了控制作用，所以控制极 G 又称为门极。

2. 阻 断

当晶闸管 A、K 间承受正向电压，而门极电流 $I_G=0$ 时，上述 V_1 和 V_2 之间的正反馈不能建立起来，晶闸管 A、K 间只有很小的正向漏电流，它处于正向阻断状态。

晶闸管导通后，当阳极电流 I_A 减少到小于某一数值 I_H 时，晶闸管就不能维持正反馈过程而变为关断，此时晶闸管恢复正向阻断状态， I_H 称为维持电流（约十几毫安）。

如果在阳极和阴极之间加反向电压时，无论有无门极电压 U_G ，晶闸管都不能导通，称为反向阻断。

综上所述，晶闸管的触发导通条件为：① 在阳极和阴极间加正向电压；② 在门极和阴极间加正向触发电压。晶闸管维持导通的条件为：阳极电流大于或等于维持电流。晶闸管的关断条件为：阳极电流减小到小于维持电流。

晶闸管像二极管一样，具有单向导电特性，工作电流只能从阳极流向阴极。但它与二极管又有不同，当门极没有加上正向电压时，即使阳极已加上正向电压，晶闸管仍处于正向阻断状态，这是二极管不具有的特性，在门极电压的触发下，晶闸管立即导通。这种门极电压对晶闸管正向导通所起的控制作用称为闸流特性，也称为晶闸管的可控单向导电性。门极电压只能控制晶闸管的导通，不能控制它的关断，从这个意义上讲，晶闸管是半控型电力器件。

1.2 晶 闸 管 的 伏 安 特 性 与 主 要 参 数

1.2.1 阳极伏安特性与主要参数

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间的电压 U_A 和阳极电流 I_A 的关系，如图 1.2.1 所示，包括正向伏安特性和反向伏安特性两部分。

1) 正向伏安特性

当 $u_A > 0$ 时对应的曲线称正向伏安特性，如图 1.2.1 的第 I 象限所示。晶闸管的正向特性可分为正向阻断状态和导通状态两个部分。在正向阻断状态，晶闸管的伏安特性是一组随门极电流 I_G 的不同而不同的曲线簇。当 $I_G=0$ 晶闸管正向电压未达到正向转折电压 U_{B0} 时，元件处于正向阻断状态，只有很小的正向漏电流流过晶闸管，当 u_A 增大到 U_{B0} 时，漏电流突然剧增，伏安特性从高阻区（阻断状态）经负阻区（虚线）到达低阻区（导通状态）。这种在 $I_G=0$ 时，依靠增大阳极电压而强迫晶闸管导通的方式称为“硬导通”，它是不可控的，而且多次“硬导通”会损坏晶闸管，因此一般不允许这样工作。

随着门极电流 I_G 的增大，晶闸管的正向转折电压 U_{B0} 迅速降低，当 I_G 足够大时，晶闸管的正向转折电压很小，加上正向阳极电压，管子就能导通。导通状态的晶闸管正向伏安特性与二极管的正向特性相似，即使流过较大的阳极电流而本身压降也很小，一般仅 1 V 左右。

2) 反向伏安特性

当 $u_A < 0$ 时，对应的曲线称为反向伏安特性，如图 1.2.1 的第 III 象限所示。晶闸管的反向

伏安特性与二极管相似，此时，晶闸管状态与门极上是否加触发电压无关。在正常情况下，当晶闸管承受反向阳极电压时，它处于反向阻断状态，只有很小的反向漏电流流过。当反向阳极电压增大到反向击穿电压 U_{R0} 时，反向漏电流突然剧增，使晶闸管反向击穿，造成永久性损坏。

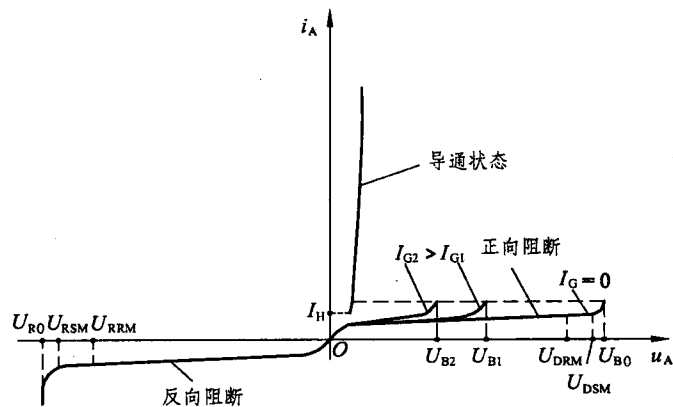


图 1.2.1 晶闸管的伏安特性

2. 晶闸管的阳极主要参数

为了正确使用晶闸管，除需要定性地了解晶闸管的伏安特性外，还要定量地掌握晶闸管的主要参数（见表 1.2.1）。

表 1.2.1 晶闸管的阳极主要参数

通态平均电流 $I_T(AV)$ /A	断态正反向 重复峰值电压 U_{DRM} 、 U_{RRM} /V	断态正反向 重复峰值电流 I_{DRM} 、 I_{RRM} /mA	维持 电流 I_H /mA	工作 结温 T_j /°C	断态电压 临界上升率 du/dt /(V/μs)	断态电流 临界上升率 di/dt /(A/μs)	浪涌电流 I_{Tsm} /kA	
1	50~1 600	≤3	≤10				L 级 0.12	H 级 0.20
3	100~2 000	≤8	≤30	-40~ +100	25~800	25~50	0.036	0.056
5			≤60				0.064	0.09
10		≤10	≤100				0.12	0.19
20							0.24	0.38
30	100~2 400	≤20	≤150				50~1000	0.36
50					0.64			0.94
100	100~3 000	≤40	≤200		-40~ +125		100~1000	25~100
200			≤50	≤300		50~200		2.5
300								50~300
400			5.0	7.5				
500			6.3	9.4				
600			7.6	11				
800		50~500	10	15				
1 000			13	18				

1) 额定电压 U_{TN}

① 断态正向重复峰值电压 U_{DRM} 。

门极断开 ($I_G=0$), 元件处在额定结温时, 正向阳极电压为正向阻断不重复峰值电压 U_{DSM} (此电压不可连续施加) 的 90% 所对应的电压称为断态正向重复峰值电压 U_{DRM} (此电压可重复施加, 其重复频率为 50 Hz, 每次持续时间不大于 10 ms)。

② 断态反向重复峰值电压 U_{RRM} 。

元件承受反向电压时, 阳极电压为反向不重复峰值电压 U_{RSM} 的 90% 所对应的电压称为断态反向重复峰值电压 U_{RRM} 。

③ 额定电压 U_{TN} 。

晶闸管铭牌标注的额定电压通常取 U_{DRM} 与 U_{RRM} 中的较小值, 然后取相应于标准电压等级表 1.2.2 中偏小的电压值。

表 1.2.2 晶闸管的断态正反向重复峰值电压标准等级

级别	断态正反向 重复峰值电压/V	级别	断态正反向 重复峰值电压/V	级别	断态正反向 重复峰值电压/V
1	100	8	800	20	2 000
2	200	9	900	22	2 200
3	300	10	1 000	24	2 400
4	400	12	1 200	26	2 600
5	500	14	1 400	28	2 800
6	600	16	1 600	30	3 000
7	700	18	1 800		

由于晶闸管的额定电压是瞬时值, 工作时, 若外加电压超过反向击穿电压, 就会使元件击穿而造成永久性损坏, 若外加电压超过正向转折电压, 元件就会“硬导通”, 多次“硬导通”也会损坏元件。同时环境温度升高或散热不良均可能造成晶闸管正反向转折电压的下降, 特别是使用过程中会出现各种过电压情况。因此, 选用时, 额定电压要留有一定安全余量, 一般取额定电压为正常工作时晶闸管所承受峰值电压 2~3 倍, 即:

$$U_{TN} = (2 \sim 3) U_{TM} \quad (1.2.1)$$

U_{TN} 取表 1.2.2 相应的电压标准等级。

2) 额定电流 $I_{T(AV)}$ (晶闸管的额定通态平均电流)

在环境温度为 40 °C 和规定的冷却条件下, 晶闸管在电阻性负载且导通角不小于 170° 的单相工频正弦半波电路中, 当结温稳定且不超过额定结温时所允许的最大通态平均电流, 称为额定通态平均电流, 用 $I_{T(AV)}$ 表示。将此电流按表 1.2.1 所示的晶闸管标准电流系列取相应的电流等级, 称为晶闸管的额定电流。

在图 1.2.2 中, 正弦半波电流的峰值为 I_m , 根据额定电流的定义, 则额定电流 (平均电流) 为:

$$I_{T(AV)} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} I_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{I_m}{\pi} \quad (1.2.2)$$

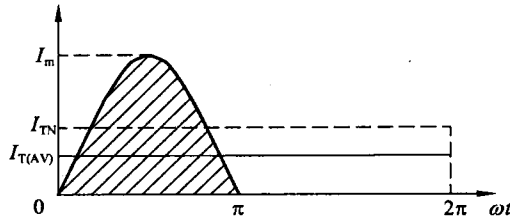


图 1.2.2 晶闸管的通态平均电流 $I_{T(AV)}$

额定电流有效值为:

$$I_{TN} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} (I_m \sin \omega t)^2 d(\omega t)} = \frac{I_m}{2} \quad (1.2.3)$$

任何含有直流分量的电流波形, 其有效值与平均值之比称为这个电流的波形系数, 用 K_f 表示:

$$K_f = \frac{\text{电流有效值}}{\text{电流平均值}} \quad (1.2.4)$$

根据上式可求出正弦半波电流的波形系数:

$$K_f = \frac{I_{TN}}{I_{T(AV)}} = \frac{\pi}{2} = 1.57 \quad (1.2.5)$$

这说明额定电流 $I_{T(AV)} = 100 \text{ A}$ 的晶闸管, 其额定有效值为 $I_{TN} = K_f I_{T(AV)} = 157 \text{ A}$ 。

晶闸管允许流过的电流大小主要取决于晶闸管的结温, 在规定的结温和冷却条件下, 结温的高低仅与发热有关, 造成晶闸管发热的主要因素是流过晶闸管的电流有效值和晶闸管导通后的内阻, 一般认为内阻不变, 则发热取决于电流有效值。因此实际应用中, 应按照所选的晶闸管额定电流有效值 I_{TN} 大于晶闸管在电路中可能流过的最大电流有效值 I_{Tmax} 这一原则, 来选用晶闸管的额定电流 $I_{T(AV)}$ 。同时考虑到晶闸管的过载能力比一般的电机、电器产品小得多, 因此, 选用时考虑 1.5~2 的安全系数, 即:

$$I_{TN} = 1.57 I_{T(AV)} = (1.5 \sim 2) I_{Tmax}$$

所以
$$I_{T(AV)} = (1.5 \sim 2) \frac{I_{Tmax}}{1.57} \quad (1.2.6)$$

取表 1.2.2 相应标准系列值。

3) 通态平均电压 $U_{T(AV)}$

在规定环境温度和标准散热条件下, 晶闸管流过正弦半波额定电流时, 阳极与阴极间电压降的平均值, 称为通态平均电压 $U_{T(AV)}$, 又称为管压降, 其标准值分组列于表 1.2.3 中。在

实际应用中,从减小损耗和元件发热考虑,应选择 $U_{T(AV)}$ 小的晶闸管。

表 1.2.3 晶闸管通态平均电压组别

组别	通态平均电压 / V	组别	通态平均电压 / V
A	$U_{T(AV)} \leq 0.4$	F	$0.8 < U_{T(AV)} \leq 0.9$
B	$0.4 < U_{T(AV)} \leq 0.5$	G	$0.9 < U_{T(AV)} \leq 1.0$
C	$0.5 < U_{T(AV)} \leq 0.6$	H	$1.0 < U_{T(AV)} \leq 1.1$
D	$0.6 < U_{T(AV)} \leq 0.7$	I	$1.1 < U_{T(AV)} \leq 1.2$
E	$0.7 < U_{T(AV)} \leq 0.8$		

4) 其他参数

① 维持电流 I_H 。

在室温下门极断开时,元件从较大的通态电流降至刚好能保持导通的最小阳极电流称为维持电流 I_H 。维持电流与元件容量、结温等因素有关,同一型号的元件其维持电流也不相同。通常在晶闸管的铭牌上标明了常温下 I_H 的实测值。

② 掣住电流 I_L 。

给晶闸管门极加上触发电压,当元件刚从阻断状态转为导通状态就撤除触发电压,此时元件能维持导通所需要的最小阳极电流称为掣住电流 I_L 。

对同一晶闸管来说,通常掣住电流 I_L 约为维持电流 I_H 的 2~4 倍。

③ 断态电压临界上升率 du/dt 。

晶闸管在正向阳极电压下,能阻断是靠 J_2 结,而 J_2 结在阻断状态下相当于一个电容,若突然加一正向阳极电压,便会有一充电电流流过结电容,当该电流流经 J_3 结时,产生了相当于触发电流的作用。阳极电压上升率越高,充电电流就越大,有可能使元件误导通,因此对晶闸管必须规定允许的最大断态电压上升率。在规定条件下,不会导致晶闸管直接从断态转为通态的最大阳极电压上升率,称为断态电压临界上升率 du/dt 。不同系列元件的断态电压临界上升率见表 1.2.4。

表 1.2.4 断态电压临界上升率级别

级别	A	B	C	D	E	F	G
du/dt (V/ μ s)	25	50	100	200	500	800	1 000

④ 通态电流临界上升率 di/dt 。

当门极流入触发电流时,先在门极 J_2 结附近的小区域内导通,随着时间的推移,导通区才逐渐扩大到 J_2 结的全部区域。如果阳极电流上升率过大,则会造成 J_2 结因电流密度过大而烧毁,使晶闸管损坏,因此对晶闸管必须规定允许的最大通态电流上升率。在规定条件下,晶闸管在门极开通时能承受而不致损坏的最大通态电流上升率称为通态电流临界上升率 di/dt 。

目前我国生产的晶闸管的型号有两种表示方法,即 KP 系列和 3CT 系列,它们的型号含义分别为: