



高等职业教育
机电类课程规划教材

电力电子技术

GAODENG ZHIYE JIAOYU
JIDIANLEI KECHENG GUIHUA JIAOCAI

新世纪高等职业教育教材编审委员会组编

主编 刘峰 孙艳萍 主审 张树江

大连理工大学出版社



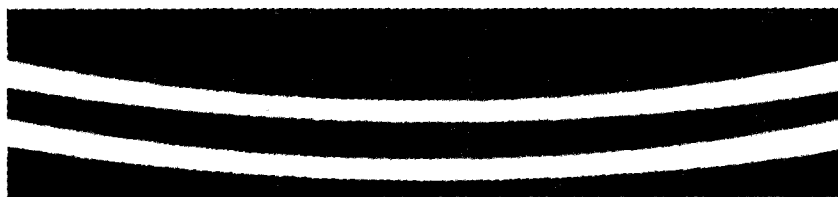
高等职业教育机电类课程规划教材

电力电子技术

新世纪高等职业教育教材编委会组编

主 审 张树江

主 编 刘 峰 孙艳萍 副主编 于 水



DIANLI DIANZI JISHU

大连理工大学出版社

DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

© 大连理工大学出版社 2006

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术 / 刘峰, 孙艳萍主编. —大连: 大连理工大学出版社,
2006.1

高等职业教育机电类课程规划教材

ISBN 7-5611-3068-6

I. 电… II. ①刘… ②孙… III. 电力电子学 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 135007 号

大连理工大学出版社出版

地址: 大连市软件园路 80 号 邮政编码: 116023

发行: 0411-84708842 邮购: 0411-84703636 传真: 0411-84701466

E-mail: dulp@dulp.cn URL: <http://www.dulp.cn>

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 185mm × 260mm 印张: 15 字数: 331 千字

印数: 1 - 5 000

2006 年 1 月第 1 版

2006 年 1 月第 1 次印刷

责任编辑: 赵晓艳 姜楠

责任校对: 朴磊

封面设计: 波朗

定 价: 22.00 元

新世纪高等职业教育教材编委会教材建设 指导委员会

主任委员:

曹勇安 黑龙江东亚学团董事长 齐齐哈尔职业学院院长 教授

副主任委员(以姓氏笔画为序):

马必学	武汉职业技术学院院长	教授
王大任	辽阳职业技术学院院长	教授
冯伟国	上海商业职业技术学院副院长	教授 博士
刘兰明	邯郸职业技术学院副院长	教授 博士
刘长声	天津对外经济贸易职业学院副院长	副教授
李竹林	河北建材职业技术学院院长	教授
李长禄	黑龙江工商职业技术学院副院长	副研究员
陈 礼	广东顺德职业技术学院副院长	教授
金长义	广西工业职业技术学院院长	副教授
赵居礼	陕西工业职业技术学院副院长	副教授
徐晓平	盘锦职业技术学院院长	教授
高树德	吉林交通职业技术学院副院长	教授
戴裕威	天津轻工业职业技术学院副院长	副研究员 博士

秘书长:

杨建才 沈阳师范大学职业技术学院院长

副秘书长(以姓氏笔画为序):

张和平 江汉大学高等职业技术学院院长
张化疆 黑龙江生态工程职业学院副院长
周 强 齐齐哈尔大学应用技术学院院长

秘书组成员(以姓氏笔画为序):

卜 军 上海商业职业技术学院
王澄宇 大庆职业学院
粟景妆 广西国际商务职业技术学院
鲁 捷 沈阳师范大学职业技术学院
谢振江 黑龙江省司法警官职业学院

会员单位:(略)

我们已经进入了一个新的充满机遇与挑战的时代,我们已经跨入了 21 世纪的门槛。

20 世纪与 21 世纪之交的中国,高等教育体制正经历着一场缓慢而深刻的革命,我们正在对传统的普通高等教育的培养目标与社会发展的现实需要不相适应的现状作历史性的反思与变革的尝试。

20 世纪最后的几年里,高等职业教育的迅速崛起,是影响高等教育体制变革的一件大事。在短短的几年时间里,普通中专教育、普通高专教育全面转轨,以高等职业教育为主导的各种形式的培养应用型人才的教育发展到与普通高等教育等量齐观的地步,其来势之迅猛,迫人深思。

无论是正在缓慢变革着的普通高等教育,还是迅速推进着的培养应用型人才的高等职业教育,都向我们提出了一个同样的严肃问题:中国的高等教育为谁服务,是为教育发展自身,还是为包括教育在内的大千社会?答案肯定而且惟一,那就是教育也置身其中的现实社会。

由此又引出高等教育的目的问题。既然教育必须服务于社会,它就必须按照不同领域的社会需要来完成自己的教育过程。换言之,教育资源必须按照社会划分的各个专业(行业)领域(岗位群)的需要实施配置,这就是我们长期以来明乎其理而疏于力行的学以致用问题,这就是我们长期以来未能给予足够关注的教育目的问题。

如所周知,整个社会由其发展所需要的不同部门构成,包括公共管理部门如国家机构、基础建设部门如教育研究机构和各种实业部门如工业部门、商业部门,等等。每一个部门又可作更为具体的划分,直至同它所需要的各种专门人才相对应。教育如果不能按照实际需要完成各种专门人才培养的目标,就不能很好地完成社会分工所赋予它的使命,而教育作为社会分工的一种独立存在就应受到质疑(在市场经济条件下尤其如此)。可以断言,按照社会的各种不同需要培养各种直接有用人才,是教育体制变革的终极目的。



新世纪

随着教育体制变革的进一步深入,高等院校的设置是否会同社会对人才类型的不同需要一一对应,我们姑且不论。但高等教育走应用型人才培养的道路和走理论型(也是一种特殊应用)人才培养的道路,学生们根据自己的偏好各取所需,始终是一个理性运行的社会状态下高等教育正常发展的途径。

高等职业教育的崛起,既是高等教育体制变革的结果,也是高等教育体制变革的一个阶段性表征。它的进一步发展,必将极大地推进中国教育体制变革的进程。作为一种应用型人才培养的教育,高等职业教育从专科层次起步,进而高职本科教育、高职硕士教育、高职博士教育……当应用型人才培养的渠道贯通之时,也许就是我们迎接中国教育体制变革的成功之日。从这一意义上说,高等职业教育的崛起,正是在为必然会取得最后成功的教育体制变革奠基。

高职教育还刚刚开始自己发展道路的探索过程,它要全面达到应用型人才培养的正常理性发展状态,直至可以和现存的(同时也正处在变革分化过程中的)理论型人才培养的教育并驾齐驱,还需假以时日;还需要政府教育主管部门的大力推进,需要人才需求市场的进一步完善发育,尤其需要高职教学单位及其直接相关部门肯于做长期的坚忍不拔的努力。新世纪高等职业教育教材编审委员会就是全国 100 余所高职院校和出版单位组成的旨在以推动高职教材建设来推进高等职业教育这一变革过程的联盟共同体。

在宏观层面上,这个联盟始终会以推动高职教材的特色建设为己任,始终会从高职教学单位实际教学需要出发,以其对高职教育发展的前瞻性的总体把握,以其纵览全国高职教材市场需求的广阔视野,以其创新的理念与创新的组织形式,通过不断深化的教材建设过程,总结高职教学成果,探索高职教材建设规律。

在微观层面上,我们将充分依托众多高职院校联盟的互补优势和丰裕的人才资源优势,从每一个专业领域、每一种教材入手,突破传统的片面追求理论体系严整性的意识限制,努力凸现高职教育职业能力培养的本质特征,在不断构建特色教材建设体系的过程中,逐步形成自己的品牌优势。

新世纪高等职业教育教材编审委员会在推进高职教材建设事业的过程中,始终得到了各级教育主管部门以及各相关院校相关部门的热忱支持和积极参与,对此我们谨致深深谢意;也希望一切关注、参与高职教育发展的同道朋友,在共同推动高职教育发展、进而推动高等教育体制变革的进程中,和我们携手并肩,共同担负起这一具有开拓性挑战意义的历史重任。

新世纪高等职业教育教材编审委员会

2001 年 8 月 18 日

《电力电子技术》是新世纪高等职业教育教材编委会组编的机电类课程规划教材之一。

本教材在编写的过程中,始终遵循高等职业教育具有其特定的培养目标和培养模式,所需的教材应具有其自身的特色的原则,注重实用性、技能性的培养,力求简明实用,使学生易于理解和掌握。本教材具有以下特点:

1. 内容较新,介绍了一些新型电力电子器件的工作原理及应用以及集成触发电路的工作原理及应用。

2. 原理简单,减少定量的复杂推导,理论以够用为度。

3. 注重实用性,从应用的角度考虑,本教材介绍了开关电源、有源功率因数校正装置、UPS 不间断电源、变频调速装置等几种典型的电力电子装置。

4. 增加实训内容,每章安排了相应的实训内容,最后一章提供了详细的综合实训内容。在编排上尽可能做到深入浅出、层次分明,叙述上力求通俗易懂,便于学生自学。

本书可作为高职高专院校的电气技术、电气自动化等相关专业的教材,也可供其他院校有关专业师生及工程技术人员参考。

本教材共 9 章,可分为三大部分。第 1 章介绍了常用电力电子器件(如 SR、SCR、GTO、IGBT、SIT、SITH 等)的工作原理、特性、参数、驱动电路及保护方法;第 2 章至第 7 章详细地介绍了包括晶闸管可控整流、有源逆变、变频电路、直流变换、交流调压等基本电力电子电路的工作原理、计算方法和应用范围;第 8 章结合高职教育特色,从应用的角度介绍了开关电源、有源功率因数校正装置、UPS 不间断电源、变频调速装置等几种典型的电力电子装置的组成、工作原



6 / 电力电子技术 □

理和实际应用。第9章提供了详细的综合实训内容及课程设计。

本教材由黑龙江工商职业技术学院刘峰、辽宁石化职业技术学院孙艳萍任主编,辽宁石油化工大学职业技术学院于水任副主编。辽宁石化职业技术学院郑子仙、黑龙江工商职业技术学院黄雨鑫、孙璇也参加了部分章节的编写。具体编写分工如下:刘峰编写5、7、8、9章;孙艳萍编写第1、2章及附录;于水编写第4、6章;郑子仙编写第3章。全书由刘峰老师组稿和定稿。辽宁石油化工大学职业技术学院张树江老师、大连理工大学徐占国老师审阅了全书,并提出了很多宝贵的意见和建议,在此致以诚挚的谢意。

尽管我们在《电力电子技术》教材建设的特色方面做出了许多努力,但是书中的错误和不足是难免的,恳请各教学单位和读者在使用本教材的过程中给予关注,并将意见和建议及时反馈给我们,以便下次修订时改进。

所有意见、建议请寄往:gzjckfb@163.com

联系电话:0411-84707492 0411-84706104

编 者

2006年1月



绪论	1
第1章 电力电子器件	4
1.1 普通晶闸管	4
1.2 全控型电力电子器件	9
1.3 晶闸管的派生器件	33
1.4 功率二极管	36
实训1 晶闸管的简易测试及导通关断条件实验	37
习题与思考题	39
第2章 晶闸管可控整流电路	40
2.1 单相半波可控整流电路	40
2.2 单相全波和单相全控桥式可控整流电路	49
2.3 三相半波可控整流电路	53
2.4 三相全控桥式整流电路	61
2.5 变压器漏电抗对整流电路的影响	64
实训2 单相半波可控整流电路的研究	67
实训3 单相全控桥式整流电路的研究	69
实训4 三相全控桥式整流电路的研究	73
实训5 三相半控桥式整流电路的研究	77
习题与思考题	79
第3章 晶闸管的触发电路及保护电路	82
3.1 对触发电路的要求	82
3.2 单结晶体管触发电路	83
3.3 同步电压为锯齿波的晶闸管触发电路	87
3.4 集成触发电路	90
3.5 触发脉冲与主电路电压的同步及防止误触发的措施	94
3.6 晶闸管的过电压保护	96
3.7 晶闸管的过电流保护与电压、电流上升率的限制	99
实训6 锯齿波同步触发电路的研究	101
实训7 用KC04触发的三相全控桥式整流电路的研究	103
习题与思考题	107
第4章 有源逆变电路	108
4.1 有源逆变的工作原理	108
4.2 三相有源逆变电路	111
4.3 逆变失败及最小逆变角的确定	115

4.4 有源逆变电路的应用	118
实训 8 三相桥式有源逆变电路的研究	124
习题与思考题	128
第 5 章 变频电路	130
5.1 变频电路的作用、基本原理和换流方式	130
5.2 谐振式变频电路	133
5.3 三相变频电路	136
5.4 脉宽调制变频电路	140
习题与思考题	147
第 6 章 直流变换电路	148
6.1 直流电压变换电路的工作原理及其分类	148
6.2 单象限直流电压变换电路	149
6.3 全桥式直流变换器电路	158
实训 9 IGBT 斩波电路的研究	164
习题与思考题	167
第 7 章 交流调压电路	168
7.1 单相交流调压电路	168
7.2 三相交流调压电路	172
7.3 交流过零调功电路	175
实训 10 三相交流调压电路的研究	178
习题与思考题	180
第 8 章 典型电力电子装置介绍	181
8.1 开关电源	181
8.2 有源功率因数校正装置	190
8.3 UPS 不间断电源	193
8.4 变频调速装置	200
习题与思考题	203
第 9 章 综合实训	204
9.1 整流变压器设计	204
9.2 平波电抗器设计	209
9.3 脉冲变压器设计	212
9.4 课程设计	218
附 录	226
参考文献	229

结 论

电力电子技术是电子学、电力学和控制理论相结合的边缘学科,随着电力电子技术的不断发展,它已成为一个涉及领域广阔的学科。自 1958 年第一个工业用普通晶闸管诞生以来,这一技术获得迅速发展,新型电力电子器件不断涌现,使电子技术进入了强电领域。目前更是充分地利用现代控制技术和微电子技术,使电力半导体器件向高频、高效、小型和智能化方面发展,电力电子技术日趋成熟,逐渐形成一个完整的体系。

电力电子技术主要包括两个方面,即电力半导体器件制造技术和电力半导体变流技术。前者是电力电子技术的基础,后者是电力电子技术的核心。二者相辅相成、相互依存又相互促进,推动了电力电子技术的飞速发展,使其在科技进步和经济建设中发挥着越来越重要的作用。

1. 电力电子技术的发展概况

(1) 电力半导体器件

半导体变流技术的发展立足于电力半导体器件的发展,而电力半导体器件是以美国 1956 生产的硅整流管(SR)和 1958 生产的晶闸管(SCR)为起始点逐渐发展起来的。具体可分为以下四个阶段:

第一阶段是以整流管、晶闸管为代表的发展阶段,这一阶段的半导体器件在低频、大功率变流领域中的应用占有优势,很快便完全取代了汞弧整流器。

第二阶段是以 GTO、GTR 等全控型器件为代表的发展阶段,这一阶段的半导体器件虽仍采用电流型控制模式,但其应用使得变流器的高频化得以实现。

第三阶段是以功率 MOSFET、IGBT 等电压型全控器件为代表的发展阶段,此时半导体器件可直接用 IC(集成控制器)进行驱动,高频特性更好,可以说器件制造技术已进入了和微电子技术相结合的初级阶段。

第四阶段是以 SPIC、HVIC 等功率集成电路为代表的发展阶段,目前正处在发展初期。这一阶段中,电力电子技术与微电子技术更紧密地结合在一起,所使用的半导体器件是将全控型电力电子器件与驱动电路、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,它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、机电一体化的基础单元。预计 PIC(功率集成电路)的应用将使电力电子技术实现第二次革命,进入全新的智能化时代。

(2) 电力半导体变流技术

变流技术的发展大致经历了以下三个阶段。

第一阶段是电子管、离子管(闸流管、汞弧整流器、高压汞弧阀)的发展与应用阶段,此时的变流技术属于整流变换,只是变流技术的一小部分。

第二阶段是硅整流管、晶闸管的发展与应用阶段,主要指晶闸管的应用阶段。随着器件制造水平的不断提高,变流装置保护措施的不断完善,使得硅整流管、晶闸管在变流装置中的应用技术日趋成熟。这一时期,随着整流管特别是晶闸管制造水平的不断提高,半导体变流技术所涉及的应用领域不断扩展。

第三阶段是全控型电力半导体器件的发展与应用阶段,是半导体电力变流器向高频化发展的阶段,也是变流装置的控制方式由移相控制(PhaseShiftControl)向时间比率控制(TimeRatioControl--TRC)发展的阶段。

第三阶段的发展是随着全控型器件的发展而逐渐展开的。时至今日,晶闸管应用领域的绝大部分已经或即将被功率集成器件所取代,只是在大功率、特大功率的电化、电冶电源与电力系统有关的高压直流输电(HVDC)、静止式动态无功功率补偿装置(SVC)、串联可控电容补偿装置(SCC)等应用领域,晶闸管暂时还不能被取代。

2. 电力电子技术的应用

电力电子技术发展到今天,其应用范围大致可分为六个方面。

- (1) 整流:实现 AC/DC 的变换。
- (2) 逆变:实现 DC/AC 的变换。
- (3) 变频:实现 AC/DC/AC(AC/AC)的变换。
- (4) 交流调压:把不变的交流电压变换成电压有效值可调的交流电压。
- (5) 斩波:实现 DC/DC(AC/DC/DC)的变换。
- (6) 静止式固态断路器:实现无触点的开关、断路器的功能。

3. 本课程的任务与要求

电力电子技术课程是高职电气自动化专业的一门主干专业课程。它的任务是:讲授晶闸管(SCR)等电力电子器件的工作原理、特性参数及应用技术的基本理论知识,并通过实践环节,培养学生具有安装、调试和维修电力电子器件组成的各种设备的能力,使学生掌握电力电子技术的基本知识和基本技能,为学习其他专业知识和职业技能打好基础,增强以后对职业变化的适应能力。

学生通过理论学习与实践训练,应达到以下要求:

- (1) 掌握电力电子技术中的基本概念和基本分析方法。
- (2) 掌握常用电力电子器件的特性、主要参数、选用方法及应用范围。
- (3) 理解基本电路的原理、结构和用途。
- (4) 能独立完成教学基本要求中规定的实验与实训项目。

(5)能正确使用常用电子仪器仪表观察实验现象。记录有关数据,并能通过分析比较得出正确结论。

(6)能阅读和分析常见的电力电子电路原理图及电力电子设备的电路方框图。

(7)具有借助工具书和设备铭牌、产品说明书、产品目录(手册)等资料,查阅电子元器件及产品的有关数据、功能和使用方法的能力。

(8)能正确选用电力电子器件并组成常用电路。

(9)能初步判断和分析由电力电子器件为主所构成的设备的一般故障,并能处理此类设备的简单故障。

电力电子技术所涉及的知识面广、内容多,在学习中应注意复习电工基础、电子技术、电机与电气控制等课程的内容。在讲授和学习中要着重于物理概念及分析问题的方法,重视实验和读图等应用能力的培养。

第 1 章

电力电子器件

普通晶闸管能够通过信号控制其导通,但不能控制其关断,所以称之为半控型器件。功率二极管有时又称电力二极管,由于不能通过信号控制其导通和关断,因此又可称之为不可控器件。功率二极管和晶闸管还有许多派生器件,如快速恢复二极管、肖特基二极管、双向晶闸管、快速晶闸管、逆导晶闸管和光控晶闸管等。

通过控制信号既可以控制其导通,又可以控制其关断的电力电子器件被称为全控型器件。这类器件的品种很多,目前常用的有门极可关断晶闸管(GTO)、大功率晶体管(GTR)、功率场效应晶体管(Power MOSFET)、绝缘栅双极型晶体管(IGBT)、静电感应晶体管(SIT)及静电感应晶闸管(SITH)等。

根据器件内部载流子参与导电的种类不同,全控型器件又可分为单极型、双极型和复合型三类。器件内部只有一种载流子参与导电的称为单极型,如 Power MOSFET 和 SIT 等;器件内有电子和空穴两种载流子导电的称为双极型器件,如 GTR、GTO 和 SITH 等;由双极型器件与单极型器件复合而成的新器件称为复合型器件,如 IGBT 等。

1.1 普通晶闸管

晶闸管是一种既具有开关作用又具有整流作用的大功率半导体器件。由于它具有体积小、重量轻、效率高、动作迅速、维护简单、操作方便和寿命长等特点,因而在生产实际中获得了广泛的应用。

1.1.1 晶闸管的结构

晶闸管是一种大功率半导体变流器件,它具有三个 PN 结的四层结构,其外形、结构和图形符号如图 1-1 所示。由最外的 P_1 层和 N_2 层引出两个电极,分别为阳极 A 和阴极 K,由中间 P_2 层引出的电极是门极 G(也称控制极)。三个 PN 结称为 J_1 、 J_2 、 J_3 。

常用的晶闸管有螺栓式和平板式两种外形,如图 1-1(a)所示。晶闸管在工作过程中会因损耗而发热,因此必须安装散热器。螺栓式晶闸管是靠阳极(螺栓)拧紧在铝制散热器上,可自然冷却;平板式晶闸管由两个相互绝缘的散热器夹紧晶闸管,靠冷风冷却。额定电流大于 200 A 的晶闸管都采用平板式外形结构。此外,晶闸管的冷却方式还有水冷、油冷等。

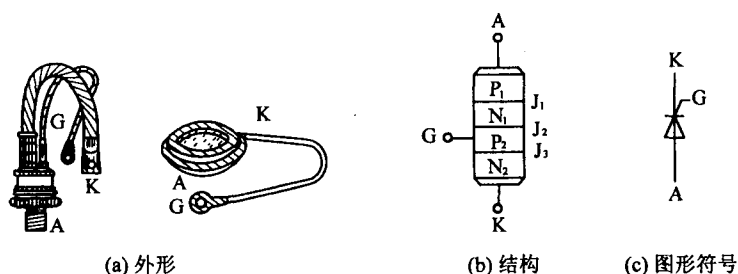


图 1-1 晶闸管的外形、结构和图形符号

1.1.2 晶闸管的工作原理

我们通过如图 1-2 所示的电路来说明晶闸管的工作原理。在该电路中,由电源 E_a 、白炽灯、晶闸管的阳极和阴极组成晶闸管的主电路;由电源 E_g 、开关 S、晶闸管的门极和阴极组成控制电路,也称为触发电路。

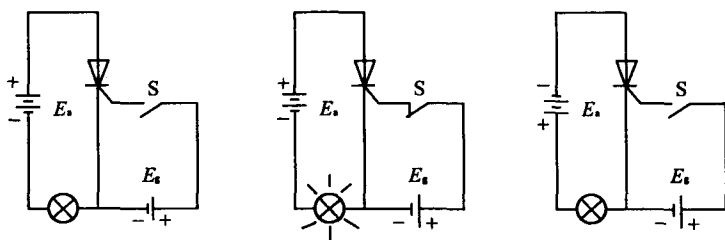


图 1-2 晶闸管导通实验电路图

当晶闸管的阳极 A 接电源 E_a 的正端,阴极 K 经白炽灯接电源的负端时,晶闸管承受正向电压。当控制电路中的开关 S 断开时,白炽灯不亮,说明晶闸管不导通。

当晶闸管的阳极和阴极承受正向电压,控制电路中开关 S 闭合,使控制极也加正向电压(控制极相对阴极)时,白炽灯亮,说明晶闸管导通。

当晶闸管导通时,将控制极上的电压去掉(即将开关 S 断开),白炽灯依然亮,说明一旦晶闸管导通,控制极就失去了控制作用。

当晶闸管的阳极和阴极间加反向电压时,不管控制极加不加电压,灯都不亮,晶闸管截止。如果控制极加反向电压,无论晶闸管主电路加正向电压还是反向电压,晶闸管都不导通。

通过上述实验可知,晶闸管导通必须同时具备两个条件:

- (1)晶闸管主电路加正向电压。
- (2)晶闸管控制电路加合适的正向电压。

为了进一步说明晶闸管的工作原理,可把晶闸管看成是由一个 PNP 型和一个 NPN 型晶体管连接而成的,连接形式如图 1-3 所示。阳极 A 相当于 PNP 型晶体管 V_1 的发射极,阴极 K 相当于 NPN 型晶体管 V_2 的发射极。

当晶闸管阳极承受正向电压,控制极也加正向电压时,晶体管 V_2 处于正向偏置, E_c 产生的控制极电流 I_G 就是 V_2 的基极电流 I_B , V_2 的集电极电流 $I_C = \beta_2 I_G$ 。而 I_C 又是晶

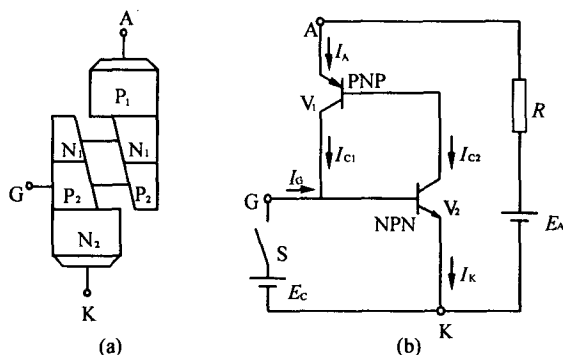


图 1-3 晶闸管工作原理等效电路

极管 V_1 的基极电流, V_1 的集电极电流 $I_{C1} = \beta_1 I_{B1} = \beta_1 \beta_2 I_{C2}$ (β_1 和 β_2 分别是 V_1 和 V_2 的电流放大系数)。电流 I_{C1} 又流入 V_2 的基极, 再一次放大。这样循环下去, 形成了强烈的正反馈, 使两个晶体管很快达到饱和导通, 这就是晶闸管的导通过程。导通后, 晶闸管上的压降很小, 电源电压几乎全部加在负载上, 晶闸管中流过的电流即负载电流。

在晶闸管导通之后,它的导通状态完全依靠管子本身的正反馈作用来维持,即使控制极电流消失,晶闸管仍将处于导通状态。因此,控制极的作用仅是触发晶闸管使其导通,导通之后,控制极就失去了控制作用。要想关断晶闸管,最根本的方法就是必须将阳极电流减小到使之不能维持正反馈的程度,也就是将晶闸管的阳极电流减小到小于维持电流。可采用的方法有:将阳极电源断开;改变晶闸管的阳极电压的方向,即在阳极和阴极间加反向电压。

1.1.3 晶闸管的伏安特性

晶闸管阳极与阴极间的电压 U_A 和阳极电流 I_A 的关系称为晶闸管伏安特性,正确使用晶闸管必须要了解其伏安特性。如图 1-4 所示为晶闸管伏安特性曲线,包括正向特性(第一象限)和反向特性(第三象限)两部分。

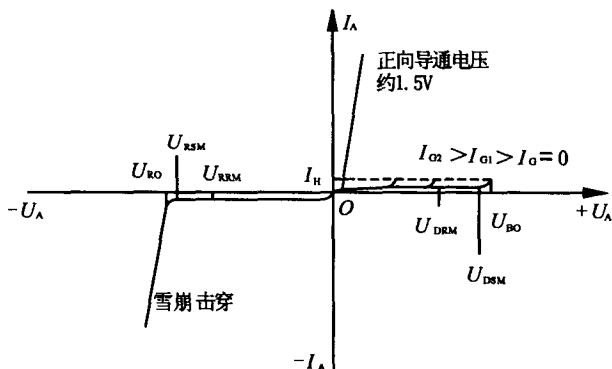


图 1-4 晶闸管伏安特性曲线

晶闸管的正向特性又有阻断状态和导通状态之分。在正向阻断状态时,晶闸管的伏安特性是一组随门极电流 I_G 的增加而不同的曲线簇。当 $I_G = 0$ 时,逐渐增大阳极电压 U_A ,只有很小的正向漏电流,晶闸管正向阻断;随着阳极电压的增加,当达到正向转折电

压 U_{BO} 时,漏电流突然剧增,晶闸管由正向阻断状态突变为正向导通状态。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“硬开通”。多次“硬开通”会使晶闸管损坏,因此通常不允许这样做。

随着门极电流 I_G 的增大,晶闸管的正向转折电压 U_{BO} 迅速下降,当 I_G 足够大时,晶闸管的正向转折电压很小,可以看成与一般二极管一样,只要加上正向阳极电压,管子就导通了。晶闸管正向导通的伏安特性与二极管的正向特性相似,即当流过较大的阳极电流时,晶闸管的压降很小。

晶闸管正向导通后,要使晶闸管恢复阻断,只有逐步减小阳极电流 I_A ,使 I_A 下降到小于维持电流 I_H (维持晶闸管导通的最小电流),则晶闸管又由正向导通状态变为正向阻断状态。图 1-4 中各物理量的含义如下:

U_{DRM} 、 U_{RRM} ——正、反向断态重复峰值电压;

U_{DSM} 、 U_{RSM} ——正、反向断态不重复峰值电压;

U_{BO} ——正向转折电压;

U_{RO} ——反向击穿电压。

晶闸管的反向特性与一般二极管的反向特性相似。在正常情况下,当承受反向阳极电压时,晶闸管总是处于阻断状态,只有很小的反向漏电流流过。当反向电压增加到一定值时,反向漏电流增加较快,再继续增大反向阳极电压会导致晶闸管反向击穿,造成晶闸管永久性损坏,这时对应的电压为反向击穿电压 U_{RO} 。

1.1.4 晶闸管的主要参数

1. 正向断态重复峰值电压 U_{DRM}

在控制极断路和晶闸管正向阻断的条件下,可重复加在晶闸管两端的正向峰值电压称为正向断态重复峰值电压 U_{DRM} 。一般规定此电压为正向转折电压 U_{BO} 的 80%。

2. 反向重复峰值电压 U_{RRM}

在控制极断路时,可以重复加在晶闸管两端的反向峰值电压称为反向重复峰值电压 U_{RRM} 。此电压取反向击穿电压 U_{RO} 的 80%。

3. 通态平均电流 $I_{V(AV)}$

在环境温度小于 40°C 和标准散热及全导通的条件下,晶闸管可以连续导通的最大工频正弦半波电流平均值称为通态平均电流 $I_{V(AV)}$ 或正向平均电流,通常所说晶闸管是多少安就是指这个电流。如果正弦半波电流的最大值为 I_M ,则

$$I_{V(AV)} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi I_M \sin \omega t d(\omega t) = \frac{I_M}{\pi} \quad (1-1)$$

额定电流有效值为

$$I_V = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi I_M^2 (\sin \omega t)^2 d(\omega t)} = \frac{I_M}{2} \quad (1-2)$$

然而在实际使用中,流过晶闸管的电流波形形状、波形导通角并不是一定的,各种含有直流分量的电流波形都有一个电流平均值(一个周期内波形面积的平均值),也就有一个电流有效值(均方根值)。现定义某电流波形的有效值与平均值之比为这个电流的波形