

新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材



电子·教育

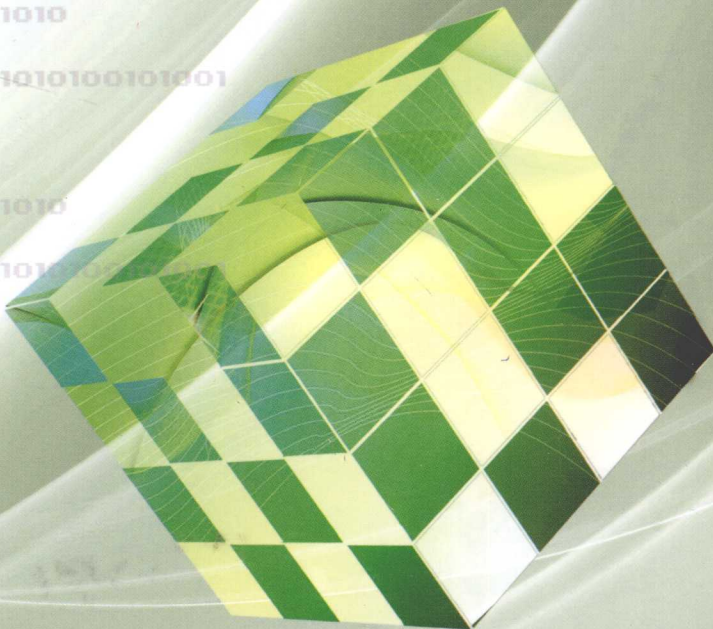
电气自动化技术专业

电力电子技术

(第2版)

张 涛 主 编

010101001
010101001010010101010010100101010
01010100101001010101
01010100101001010101001010010100101001
01010100101
010101001010010101010010100
010101001010010101010010100101010
01010100101001010101
01010100101001010101001010010100101001
01010100101
010101001010010101010010100
010101001
010101001010010101010010100101010
01010100101001010101
01010100101001010101001010010100101001
01010100101
010101001010010101010010100
010101001
010101001010010101010010100101010
01010100101001010101
01010100101001010101001010010101010101
01010100101
010101001010010101010010100
010101001
010101001010010101010010100101010
01010100101001010101
01010100101
010101001010010101010010100
010101001



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·电气自动化技术专业

电力电子技术

(第 2 版)

张 涛 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是阐述电力电子技术基础及应用的一本教材,全书分10章,由浅入深地介绍了电力电子技术中的常用电子器件(晶闸管、双向晶闸管、可关断晶闸管、大功率晶体管、功率场效应晶体管和绝缘栅双极型晶体管等)的工作原理、特征和应用技术;电力电子几种类型变换电路(可控整流电路、逆变电路、交流变换电路、直流变换电路等)的工作原理及应用实例,以及软开关技术的内容、相控技术和PWM控制技术在上述各种典型电路及电力电子装置中的应用。另外,书中还编排了适当的实训项目。

本书可供高等职业技术学院、高等专科学校、职工大学的电类专业选用,也可供从事电力电子技术的工程技术人员参考,或作为培训教材。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术 / 张涛主编. —2版. —北京:电子工业出版社,2009.9
新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材·电气自动化技术专业
ISBN 978-7-121-08295-5

I. 电… II. 张… 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020683号

策划编辑:陈晓明

责任编辑:陈晓明 特约编辑:焦桐顺

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:14.5 字数:371千字

印 次:2009年9月第1次印刷

印 数:3000册 定价:22.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

本书是根据高职高专电类专业的《电力电子技术教学基本要求》，并参照有关行业的职业技能鉴定规范及高级技术工人等级考核标准，在第1版的基础上修订的。

本教材在修订过程中，遵循注重基础、定性为主、理论联系实际、突出能力培养的原则，注意融合电力电子新器件及其应用技术，增加了第9章软开关技术和第10章电力电子技术实训。全书共10章：晶闸管，可控整流电路，有源逆变电路，晶闸管的触发电路，全控型器件，无源逆变电路，交流变换电路，直流变换电路，软开关技术和电力电子技术实训。每章后面都附有习题，以帮助学生巩固所学的知识。

本书既可作为高职高专电类专业教材或培训教材，也可供相关专业工程技术人员参考，建议教学课时分配如下表所示。

序 号	内 容	总学时	讲课	实验实训	机动
1	绪论	2	2		
2	第1章 晶闸管	10	10		
3	第2章 可控整流电路	16	12	4	
4	第3章 有源逆变电路	10	8	2	
5	第4章 晶闸管的触发电路	10	6	4	
6	第5章 全控型器件	8	8		
7	第6章 无源逆变电路	10	6	4	
8	第7章 交流变换电路	6	4	2	
9	第8章 直流变换电路	6	4	2	
10	第9章 软开关技术	4	2	2	
11	第10章 电力电子技术实训				
总 计		88	62	20	6

本书带“*”号的内容可作为选学的内容。

本书由常州轻工职业技术学院张涛副教授担任主编，参加编写的还有常州轻工职业技术学院李月芳、章丽红、俞亚珍。全书由张涛统稿，由天津职业大学李雅轩教授主审。

本书在编写体系和内容取舍方面作了一些尝试。由于编者水平有限，错漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者
2009年4月

参加“新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材”
编写的院校名单（排名不分先后）

桂林工学院南宁分院

江西信息应用职业技术学院

江西蓝天职业技术学院

吉林电子信息职业技术学院

保定职业技术学院

安徽职业技术学院

杭州中策职业学校

黄石高等专科学校

天津职业技术师范学院

福建工程学院

湖北汽车工业学院

广州铁路职业技术学院

台州职业技术学院

重庆工业高等专科学校

济宁职业技术学院

四川工商职业技术学院

吉林交通职业技术学院

连云港职业技术学院

天津滨海职业技术学院

杭州职业技术学院

重庆职业技术学院

重庆工业职业技术学院

广州大学科技贸易技术学院

湖北孝感职业技术学院

江西工业工程职业技术学院

四川工程职业技术学院

广东轻工职业技术学院

西安理工大学

辽宁大学高职学院

天津职业大学

天津大学机械电子学院

九江职业技术学院

包头职业技术学院

北京轻工职业技术学院

黄冈职业技术学院

郑州工业高等专科学校

泉州黎明职业大学

浙江财经学院信息学院

南京理工大学高等职业技术学院

南京金陵科技学院

无锡职业技术学院

西安科技学院

西安电子科技大学

河北化工医药职业技术学院

石家庄信息工程职业学院
三峡大学职业技术学院
桂林电子工业学院高职学院
桂林工学院
南京化工职业技术学院
湛江海洋大学海滨学院
江西工业职业技术学院
江西渝州科技职业学院
柳州职业技术学院
邢台职业技术学院
漯河职业技术学院
太原电力高等专科学校
苏州经贸职业技术学院
金华职业技术学院
河南职业技术师范学院
新乡师范高等专科学校
绵阳职业技术学院
成都电子机械高等专科学校
河北师范大学职业技术学院
常州轻工职业技术学院
常州机电职业技术学院
无锡商业职业技术学院
河北工业职业技术学院
天津中德职业技术学院
安徽电子信息职业技术学院
合肥通用职业技术学院
安徽职业技术学院

浙江工商职业技术学院
河南机电高等专科学校
深圳信息职业技术学院
河北工业职业技术学院
湖南信息职业技术学院
江西交通职业技术学院
沈阳电力高等专科学校
温州职业技术学院
温州大学
广东肇庆学院
湖南铁道职业技术学院
宁波高等专科学校
南京工业职业技术学院
浙江水利水电专科学校
成都航空职业技术学院
吉林工业职业技术学院
上海新侨职业技术学院
天津渤海职业技术学院
驻马店师范专科学校
郑州华信职业技术学院
浙江交通职业技术学院
江门职业技术学院
广西工业职业技术学院
广州市今明科技公司
无锡工艺职业技术学院
江阴职业技术学院
南通航运职业技术学院

目 录

绪论	(1)
第 1 章 晶闸管	(3)
1.1 晶闸管的结构和工作原理	(3)
1.1.1 晶闸管的结构	(3)
1.1.2 晶闸管的工作原理	(4)
1.2 晶闸管的特性	(6)
1.2.1 晶闸管的阳极伏安特性	(6)
1.2.2 晶闸管的门极伏安特性	(7)
1.3 晶闸管的主要参数	(7)
1.3.1 晶闸管的电压参数	(7)
1.3.2 晶闸管的电流参数	(8)
1.3.3 晶闸管的动态参数	(11)
1.3.4 器件的型号	(11)
1.4 晶闸管的测试与使用	(12)
1.4.1 测试晶闸管的简易方法	(12)
1.4.2 晶闸管的正确使用	(13)
1.5 双向晶闸管	(13)
1.5.1 双向晶闸管的基本结构和伏安特性	(14)
1.5.2 双向晶闸管的主要参数	(14)
1.6 光控晶闸管	(15)
1.7 晶闸管的驱动电路	(16)
*1.8 晶闸管的过电压保护	(16)
1.8.1 晶闸管的关断过电压及其保护	(16)
1.8.2 晶闸管交流侧过电压及其保护	(17)
1.8.3 晶闸管直流侧过电压及其保护	(20)
*1.9 晶闸管的过电流保护与电压、电流上升率的限制	(20)
1.9.1 晶闸管的过电流保护	(20)
1.9.2 电压与电流上升率的限制	(21)
*1.10 晶闸管的串联和并联	(22)
1.10.1 晶闸管的串联	(22)
1.10.2 晶闸管的并联	(23)
本章小结	(24)
习题 1	(25)

第 2 章 可控整流电路	(27)
2.1 单相半波可控整流电路	(27)
2.1.1 电阻性负载	(27)
2.1.2 电感性负载及续流二极管	(31)
2.1.3 反电动势负载	(35)
2.2 单相全波和单相全控桥式可控整流电路	(37)
2.2.1 单相全波可控整流电路	(37)
2.2.2 单相全控桥式整流电路	(40)
2.3 单相半控桥式整流电路	(41)
2.3.1 电阻性负载	(42)
2.3.2 电感性负载	(42)
2.3.3 反电动势负载	(45)
2.4 三相半波可控整流电路	(47)
2.4.1 三相半波不可控整流电路	(47)
2.4.2 三相半波可控整流电路	(47)
2.4.3 共阳极三相半波可控整流电路	(54)
2.4.4 共用变压器的共阴极、共阳极三相半波可控整流电路	(54)
2.5 三相全控桥可控整流电路	(55)
2.5.1 工作原理	(56)
2.5.2 对触发脉冲的要求	(57)
2.5.3 对大电感负载的分析	(57)
2.6 三相桥式半控整流电路	(59)
2.6.1 电阻性负载	(59)
2.6.2 电感性负载	(61)
*2.7 大功率可控整流电路	(62)
2.7.1 带平衡电抗器的双反星形可控整流电路	(62)
2.7.2 多重化整流电路	(64)
2.8 可控整流电路的应用实例	(65)
本章小结	(67)
习题 2	(67)
第 3 章 有源逆变电路	(70)
3.1 有源逆变的工作原理	(70)
3.1.1 电网与直流电机间的能量转换	(70)
3.1.2 有源逆变的工作原理	(71)
3.2 三相有源逆变电路	(73)
3.2.1 三相半波有源逆变电路	(73)
3.2.2 三相桥式有源逆变电路	(75)
3.3 逆变失败及最小逆变角的确定	(76)
3.3.1 逆变失败的原因	(76)

3.3.2 最小逆变角的确定及限制	(79)
*3.4 有源逆变电路的应用	(79)
3.4.1 用接触器控制直流电动机正、反转的电路	(80)
3.4.2 采用两组晶闸管反向并联的可逆电路	(81)
3.4.3 绕线转子异步电动机的串级调速	(84)
本章小结	(87)
习题 3	(88)
第 4 章 晶闸管的触发电路	(90)
4.1 对触发电路的要求	(90)
4.2 单结晶体管触发电路	(91)
4.2.1 单结晶体管	(91)
4.2.2 单结晶体管弛张振荡电路	(93)
4.2.3 单结晶体管的同步和移相触发器	(94)
4.3 同步电压为锯齿波的晶闸管触发电路	(95)
4.3.1 触发脉冲的形成与放大	(96)
4.3.2 锯齿波的形成及脉冲移相	(96)
4.3.3 锯齿波同步电压的形成	(97)
4.3.4 双窄脉冲形成环节	(97)
4.3.5 强触发电路	(97)
4.4 集成化晶闸管移相触发电路	(99)
4.4.1 KC04 移相触发电路	(99)
4.4.2 KC42 脉冲列调制形成器	(99)
4.4.3 KC41 六路双脉冲形成器	(101)
4.4.4 由集成元件组成三相触发电路	(102)
4.5 触发脉冲与主电路电压的同步与防止误触发的措施	(103)
4.5.1 触发电路同步电源电压的选择	(103)
4.5.2 防止误触发的措施	(104)
本章小结	(104)
习题 4	(105)
第 5 章 全控型器件	(106)
5.1 功率晶体管 (GTR)	(106)
5.1.1 功率晶体管的结构与工作原理	(106)
5.1.2 功率晶体管的主要参数	(109)
5.1.3 功率晶体管的驱动电路	(110)
5.2 可关断晶闸管 (GTO)	(111)
5.2.1 可关断晶闸管的结构及工作原理	(111)
5.2.2 可关断晶闸管的驱动电路	(112)
5.3 功率场效应晶体管 (功率 MOS FET)	(112)
5.3.1 功率场效应晶体管的结构与工作原理	(113)

5.3.2	功率 MOS FET 特性	(114)
5.3.3	功率 MOS FET 的主要参数	(114)
5.3.4	功率 MOS FET 的驱动电路	(116)
5.4	绝缘栅双极晶体管 (IGBT)	(116)
5.4.1	绝缘栅双极晶体管的结构与工作原理	(116)
5.4.2	绝缘栅双极晶体管的特性	(117)
5.4.3	IGBT 的驱动电路	(121)
5.5	全控型器件的保护与串、并联使用	(121)
5.5.1	全控型器件的保护	(121)
5.5.2	全控型器件的串联和并联	(123)
*5.6	其他新型电力电子器件	(124)
	本章小结	(127)
	习题 5	(127)
第 6 章	无源逆变电路	(129)
6.1	变频的基本概念	(129)
6.1.1	变频的作用	(129)
6.1.2	变频器的分类	(129)
6.1.3	变频器中逆变电路的基本工作原理与换流方式	(130)
6.2	负载谐振式逆变器	(131)
6.2.1	并联谐振逆变器	(131)
6.2.2	串联谐振逆变器	(134)
6.3	三相逆变器	(135)
6.3.1	电压型三相逆变器	(135)
6.4	脉宽调制 (PWM) 型逆变电路	(140)
6.4.1	脉宽调制 (PWM) 型逆变电路的基本原理	(141)
6.4.2	脉宽调制 (PWM) 型逆变电路的调制、控制方式	(145)
*6.5	无源逆变电路的应用	(147)
6.5.1	变频调速装置	(147)
6.5.2	变速恒频发电技术	(149)
	本章小结	(152)
	习题 6	(152)
第 7 章	交流变换电路	(154)
7.1	晶闸管交流开关	(154)
7.1.1	简单交流开关的基本形式	(154)
7.1.2	晶闸管交流开关应用举例	(155)
7.2	由过零触发开关电路组成的单相交流调功器	(159)
7.3	交流调压电路	(161)
7.3.1	单相交流调压电路	(161)
7.3.2	晶闸管交流稳压电路	(165)

7.3.3 三相交流调压电路	(166)
*7.4 交-交变频电路	(168)
7.4.1 单相输出交-交变频电路	(168)
7.4.2 三相输出交-交变频电路	(169)
7.4.3 交-交变频电路的特点	(170)
本章小结	(171)
习题 7	(171)
第 8 章 直流变换电路	(173)
8.1 降压式斩波电路	(173)
8.1.1 基本斩波器的工作原理	(173)
8.1.2 电流连续工作方式	(174)
8.1.3 电流不连续工作方式	(175)
8.2 升压式斩波电路	(177)
8.2.1 电流连续工作方式	(177)
8.2.2 电流不连续工作方式	(178)
8.3 升降压式斩波电路	(179)
8.3.1 电流连续工作方式	(180)
8.3.2 电流断续工作方式	(181)
8.3.3 输出电压的纹波	(181)
8.4 带隔离变压器的直流变换器	(182)
8.4.1 反激式变换器	(182)
8.4.2 正激式变换器	(183)
8.4.3 半桥式变换器	(184)
8.4.4 全桥式变换器	(185)
*8.5 直流变换器的脉宽调制 (PWM) 控制技术及应用	(185)
8.5.1 直流 PWM 控制的基本原理及控制电路	(186)
8.5.2 直流 PWM 控制技术的应用	(187)
本章小结	(190)
习题 8	(190)
第 9 章 软开关技术	(193)
9.1 软开关的基本概念	(193)
9.1.1 开关过程器件损耗及硬、软开关方式	(193)
9.1.2 零电压开关与零电流开关	(194)
9.1.3 软开关电路类型	(194)
9.2 典型的软开关电路	(196)
9.2.1 零电压开关准谐振电路 (ZVSQRC)	(196)
9.2.2 零电流开关准谐振电路 (ZCSQRC)	(197)
9.2.3 谐振直流环	(198)
9.2.4 全桥零电压开关 PWM 电路	(199)

9.2.5 零电压转换 PWM 电路	(201)
本章小结	(202)
习题 9	(203)
第 10 章 电力电子技术实训	(204)
10.1 单结晶体管触发电路及单相半波整流电路的研究	(204)
10.2 晶闸管调光电路安装、调试及故障分析处理	(206)
10.3 直流调速控制电路的触发回路安装、调试及故障分析处理	(208)
10.4 锯齿波同步移相触发电路实训	(210)
10.5 三相桥式全控整流电路及有源逆变电路实训	(211)
10.6 电风扇无级调速器安装、调试及故障分析处理	(214)
10.7 升、降压与复合斩波电路实训	(216)
参考文献	(220)

绪 论

电力电子技术是电力、电子和控制相结合的边缘学科，自 1958 年第一个工业用普通晶闸管诞生以来，电力电子技术有了很大的发展，由各种电力电子器件组成的功率变换装置，应用于从航空航天到家用电器的各个领域。

电力电子技术主要是电力半导体器件及其应用技术，随着电子技术的不断发展，新型电力半导体器件不断涌现。目前，普通晶闸管已有 1kA/12kV，3kA/4kV 产品；可关断晶闸管 GTO 已有 1kA/9kV，4.5kA/4.5kV 的产品；功率晶体管 GTR 已有 400A/1.2kV(单管)，800A/2kV 和 100A/1800v(模块)产品；功率 MOSFET 已有 38A/1000V 产品；静电感应晶闸管 SITH 已有 2.5kA/4.5kV 产品；绝缘栅双极晶体管 IGBT 已有 400A/1.2kV 产品；MOS 控制晶闸管 MCT 已有 100A/1kV 产品。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、小型及智能化方面发展。例如，IGBT 模块正在向智能模块方向发展，模块内主要设置的功能有连接功率器件和控制电路的接口电路、过热与过流保护电路，上下支路的信号分配电路以及电路用电源等，IGBT 在电机控制、中频(50kHz 以上)开关电源及要求快速低损耗的应用领域逐步取代了 MOS FET 和 GTR。功率集成电路 PIC 实现了集成电路功率化，功率器件集成化，使功率和信息相统一，成为机电一体化的接口电路，已进入实用化阶段。电力电子设备发展的特点是：

(1) 微机和现代控制理论的应用，使电力电子设备走出了过去仅进行将交、直流变换用作一般工业直流电源的初级阶段，开拓了高科技领域的应用。

(2) 完善的电路理论及新的设计方法，使产品性能更先进，更符合生产实际的需要。

(3) 微电子技术与电力电子技术开始相互渗透结合，使电力电子设备效率提高，速度更快，使用更方便。

(4) 电路拓扑技术和结构标准化加快了新产品的开发步伐。

变流电路是以电力半导体器件为核心，通过不同电路的拓扑和控制方法来实现对电能的转换和控制。它的基本功能是使交流(AC)和直流(DC)电能互相转换。它有以下几种类型：

(1) 可控整流器 AC/DC。把交流电压变换成为固定或可调的直流电压，如应用于直流电动机的调压调速、电解与电镀设备等。

(2) 有源逆变器 DC/AC。把直流电压变换成为频率固定或可调的交流电压，如应用于直流输电、牵引机车制动时的电能回馈等。

(3) 变频器 AC/AC。把频率固定或变化的交流电变换成频率可调或固定的交流电，应用于变频电源、不间断电源 UPS、变频调速等设备。交流调压器把交流电压变为大小可调或固定的交流电压，应用于灯光控制、温度控制等。

(4) 直流斩波器 DC/DC。把固定或变化的直流电压变换为可调或固定的直流电压，应用于电气机车、城市电车牵引等。

(5) 无触点功率静态开关。接通或切断交流、直流电流通路, 取代接触器、继电器。

总之, 由于电力半导体器件制造技术的发展, 主电路结构和控制技术的开发, 以及设备应用技术的开发, 使电力电子技术在大功率整流、直流传动、交流传动、直流输电、功率变换、晶闸管电源、电力电子开关等方面的应用日益扩大。

电力电子技术课程是高职院校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)、绝缘栅双极型晶体管 (IGBT) 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, 重视实验实训和读图等应用能力的培养。

第1章 晶 闸 管

内容提要：晶闸管是晶体闸流管的简称，按照 IEC（国际电工委员会）的定义，晶闸管是指具有三个以上的 PN 结，主电压-电流特性至少在一个象限内具有导通、阻断两个稳定状态，且可在这两个稳定状态之间进行转换的半导体器件。显然，这是指一个由多种器件组成的家族，而广泛使用的普通晶闸管则是这个家族中的一员，俗称可控硅整流器（SCR，Silicon Controlled Rectifier），简称可控硅，其规范术语是反向阻断三端晶闸管。本章着重介绍普通晶闸管（SCR）、双向晶闸管（TRIAC）、光控晶闸管（LTT）等元件的结构、工作原理、特性和使用方法，在此基础上介绍晶闸管的驱动、过电压和过电流的保护及晶闸管的串、并联运用。

1.1 晶闸管的结构和工作原理

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，应用于可控整流、变频、逆变及无触点开关等多种电路。对它只需提供一个弱电触发信号，就能控制强电输出。所以说，它是半导体器件从弱电领域进入强电领域的桥梁。

1.1.1 晶闸管的结构

晶闸管是具有三个 PN 结的四层三端器件，器件外部有三个电极：阳极 A、阴极 K 和门极 G，其外形如图 1.1（a）、（b）、（c）、（d）所示，分别为小电流塑封式、小电流螺旋式、大电流螺旋式和大电流平板式。晶闸管的电气符号如图 1.1（e）所示。

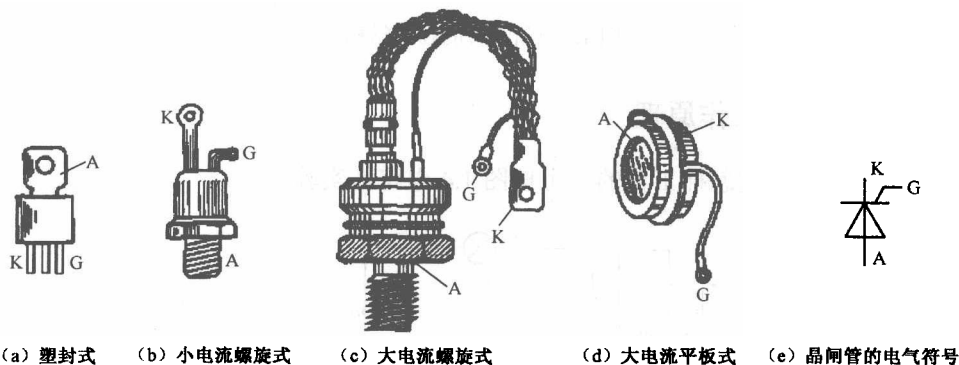


图 1.1 晶闸管的外形及符号

晶闸管是大功率器件，工作时产生大量的热量，因此必须安装散热器。螺旋式晶闸管紧栓在铝制散热器上，采用自然散热冷却方式，如图 1.2（a）所示。平板式晶闸管由两个彼此绝缘的散热器紧夹在中间，散热方式可以采风冷或水冷，以获得较好的散热效果，如

图 1.2 (b)、(c) 所示。

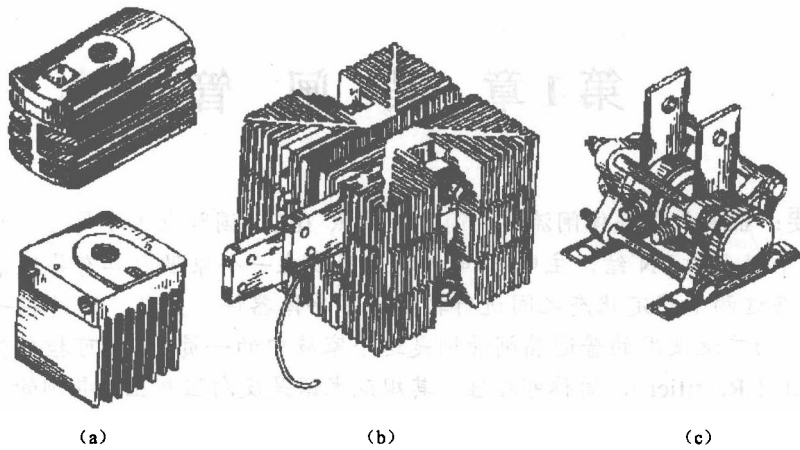


图 1.2 晶闸管的散热器

晶闸管的结构如图 1.3 所示，其内部由四层半导体 (P_1 , N_1 , P_2 , N_2)，三个 PN 结 J_1 , J_2 , J_3 组成。

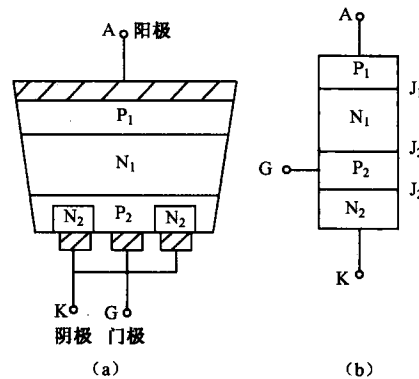


图 1.3 晶闸管的内部结构

1.1.2 晶闸管的工作原理

为了弄清楚晶闸管是怎样工作的，可按图 1.4 电路作实验。

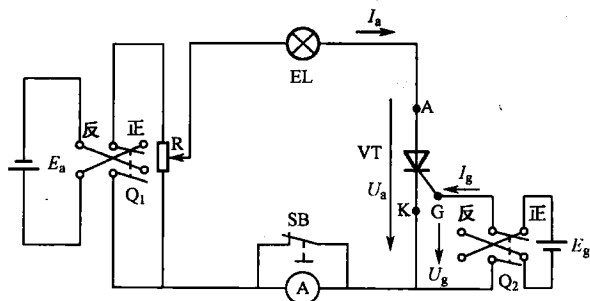


图 1.4 晶闸管导通关断实验电路图

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，组成晶闸管主电路。流过晶闸管阳极的电流为 I_a 。晶闸管阳极、阴极两端电压 U_a 称为阳极电压。

晶闸管门极 G 经双向刀开关 Q_2 接至门极电源 E_g ，元件的阴极 K 经 Q_2 与 E_g 另一端连接，组成晶闸管的触发电路。流过门极的电流为 I_g （也称触发电流），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）灯都不会亮，说明晶闸管没有导通，此时晶闸管处在反向阻断状态。

(2) 当 Q_1 拨向正向， Q_2 断开或拨为反向，灯还是不亮，说明晶闸管仍没有导通，此时晶闸管处在正向阻断状态。

(3) 当 Q_1 拨向正向， Q_2 拨向正向，灯就亮了，说明晶闸管已导通，此时的晶闸管处在正向导通状态。

(4) 晶闸管导通后，断开门极刀开关 Q_2 ，灯仍然亮着，说明晶闸管一旦导通后维持阳极电压不变，门极对管子不再具有控制作用。

由此得出晶闸管导通的条件：在阳极与阴极之间加正向电压 U_a ，同时在门极与阴极之间加正向电压 U_g （此时有一触发电流 I_g 流入门极）。

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：在灯亮的情况下，逐渐调节变阻器 R，使流过负载（灯泡）的电流逐渐减少，这时应按下停止按钮 SB，注意观察毫安表的指针，当阳极电流降到某数值，毫安表的指针突然回到零，说明晶闸管已关断。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 。

由此得出晶闸管关断的条件：流过晶闸管的电流小于维持电流 I_H 。

如何理解晶闸管的导通与关断条件呢？

可从图 1.5 (a) 所示晶闸管内部的四层结构 (P_1 、 N_1 、 P_2 、 N_2) 来分析，采用扩散工艺形成三个 PN 结 $J_1(P_1N_1)$ 、 $J_2(N_1P_2)$ 、 $J_3(P_2N_2)$ ，并分别从 P_1 、 P_2 、 N_2 引出阳极 A、门极 G、阴极 K 三个电极。若在晶闸管的阳极、阴极之间加反向电压时，由于 J_1 和 J_3 的 PN 结呈反向阻断状态，所以几乎没有电流流通。相反，即使在阳极、阴极之间加正向电压，而门极不加电压时，由于中间的 PN 结 J_2 呈反向阻断状态，所以晶闸管也不会导通。只有当阳极、阴极之间加上正向电压，同时门极、阴极之间也施加正向电压，如图 1.5 (b) 所示，此时，晶闸管等效成两个互补三极管，当门极有足够的电流流入时，就形成强烈的正反馈，即：

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

瞬时使两晶体管饱和导通即晶闸管导通。

若要使已导通的晶闸管恢复阻断，只有设法使晶闸管的阳极电流减少到小于维持电流 I_H ，使其内部正反馈无法维持，晶闸管才会恢复阻断，常用的方法是在晶闸管两端加反向电压。