

DIANZI

高职高专电子技术系列教材

电力电子技术实训教程

Dianli Dianzi Jishu Shixun Jiaocheng

陈 因 主 编

刘泉海 副主编



重庆大学出版社

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

电力电子技术实训教程

陈 因 主 编

刘泉海 副主编

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是为电力电子技术课程的实训实践教学环节而编写的。本书从电力电子技术应用的实际出发,强调工程概念,并特别注意了理论与实际相结合,注重实用性,内容较为丰富,涉及器件认识与使用、电路设计、设备调试与故障检测等方面。

本书大体由三部分组成。第一部分为电力电子装置常用器件:包括常用电力电子半导体器件,控制触发驱动电路以及常用配套元件,简明介绍各类器件的工作原理、性能、特点、结构、主要参数、图表和简单测试等;第二部分为电力电子技术实验和课程设计,包括:电力电子技术实验,电力电子电路的计算机仿真实验,电力电子技术课程设计以及电力电子装置用变压器和电抗器的设计计算;第三部分为电力电子装置的认识实习和调试:包括成套电力电子装置的认识实习,电力电子装置的调试与故障诊断,以及变流装置的定相调试技术。

本书简明扼要,深入浅出,便于自学,可作为高等工科院校电气工程类、自动控制类以及机电工程类相关专业和电子信息工程专业的实训教材,也可作为有关从事电力电子技术工作的工程技术人员的参考书。

陈因主编 刘泉海

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术实训教程/陈因主编. —重庆:重庆大学出版社,2007.10

(高职高专电子技术系列教材)

ISBN 978-7-5624-3840-3

I. 电… II. 陈… 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(2007)第 141009 号

电力电子技术实训教程

陈 因 主 编

刘泉海 副主编

责任编辑:周 立 钟嘉勇 版式设计:周 立

责任校对:夏 宇 责任印制:张 策

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:16.75 字数:418 千

2007 年 10 月第 1 版 2007 年 10 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-3840-3 定价:25.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

本书为高职高专电子技术系列教材之一,是根据教育部提出“以应用为目的”的高等工程技术应用型人才的培养目标的指导思想为编写原则,遵循主动适应社会发展的需要,突出应用性和实用性,加强实践能力和零适应期的原则。在保证本学科知识内容体系完整的前提下,既紧跟电力电子技术发展的脉搏,反映本学科的先进技术,又遵循高等工程技术应用型人才的培养模式,使教材内容更具有实用性,符合培养高等工程技术应用型人才的要求。本书的特点是:集器件特性与使用、实验与仿真、设计与实习、设备调试与故障检测、技能训练与应用能力培养为一体,体系新颖,内容可选择性强。本书力求概念清晰,结构严谨,深入浅出,内容新颖,理论联系实际。

电力电子技术是一门以电力为处理对象的实用性很强的技术,它能对电网的功率、电流、电压、频率和相位等基本参数进行精确控制和高效处理,是电力、电子和控制三大电气工程技术领域之间的交叉学科。随着科学技术的发展,电力电子技术又与现代控制理论、材料科学、电机工程、微电子技术等许多领域密切相关,目前电力电子技术已逐步发展成为一门多学科相互渗透的综合性技术学科。“十一五”计划中明确提出要建设节约型和创新型社会,电力电子技术最突出的特点就是节能,从1988年开始就被国家科委列为国家重点发展项目。目前,在一些先进国家约60%的电能都要经过电力电子技术的转换和处理,而美国政府更把它看做是一种战略技术领域,我国也已将电力电子技术列为国家重点发展的高新技术之一。另外,随着电力电子技术的飞速发展和应用领域不断扩展,电力电子技术已成为了信息产业和传统产业之间的重要桥梁,成为支持多项高新技术发展的基础技术。因此,电力电子技术及其相关产业的发展,必将为大幅度节约电能,降低材料消耗,提高生产效率,实现产品设备的小型化、轻量化、“绿色化”提供重要的技术手段,同时也为现代化生产和现代化生活带来深远的影响。随着电力电子技术在国民经济各个领域中的广泛应用,电力电子设备的数量急剧增加,生产一线迫切需要大量具有一定理论基础和实际操作技能的工程技术人员。因此,有真才实学的电力电子技术人才在社会上供不应求,如何才能成为有真才实学的电力电子技术人才?首先,应该学好电力电子技

术的基本理论,掌握电力电子电路的基本分析方法;其次,要熟悉常用电力电子器件的特性和主要电力电子电路的基本性能和特点;第三,还要理论联系实际,在实践中加强读图训练和产品设计,以及动手能力培养,提高分析问题和解决问题的能力。

本书共10章,分为3篇。第1篇为电力电子装置常用器件,包括3章,第1章为常用电力电子半导体器件,介绍常用不控、半控和全控电力电子器件的性能、参数及应用;第2章为常用控制触发驱动器件,介绍常用触发和驱动集成电路的参数及应用;第3章为电力电子配套元件,介绍电力电子装置中各种常用器件的性能、参数。第2篇为电力电子技术实验与课程设计,包括4章,第1章为电力电子技术实验,安排了半控器件和全控器件的电力电子电路实验;第2章为电力电子电路的计算机仿真实验,介绍了 Multisim 和 MATLAB 两种功能强大的仿真软件在电力电子技术仿真中的应用,对学生更好地掌握电力电子技术,提高设计和实践能力具有重要的作用,对提高教学效果起到事半功倍的作用;第3章为电力电子技术课程设计,介绍了课程设计的设计方法和设计实例;第4章为整流变压器、脉冲变压器和平波电抗器参数计算。第3篇为电力电子装置的认识实习与调试,包括3章,第1章为成套电力电子装置的认识实习,介绍了5种成套电力电子装置的电路、参数和性能;第2章为电力电子装置的调试与故障诊断,介绍电力电子装置的调试原则及方法,以及电力电子电路的故障诊断与处理原则;第3章为变流装置的定相技术,介绍定相技术的设计和调试方法。

本书由山西大学工程学院陈因担任主编,陕西工业职业技术学院刘泉海担任副主编,河南工业大学电气工程学院于心俊,长春工业大学王冬梅为参编。第3篇第3章、第2篇第4章4.3节由刘泉海编写,第2篇第3章3.4、3.5节、第2篇第4章4.1、4.2节、第3篇第1章1.1、1.2节、第2章2.3、2.4节由于心俊编写,第2篇第1章由刘泉海和于心俊共同编写,第2篇第2章2.2~2.5节、第3章3.1~3.3节、第3篇第2章2.1节由王冬梅编写,第1篇第1、2、3章、第2篇第2章2.1节、第3篇第1章1.3~1.5节、第2章2.2节由陈因编写,陈因负责全书的统稿。

在全书的编写过程中,参考了许多同行、专家的论著文献,另外还得到了河南工业大学王黎老师的大力支持和帮助,在此谨向他们和提供资料的有关单位致以衷心的感谢。由于作者的水平有限,错误和不妥之处在所难免,希望广大同行和读者批评指正。

作者

2007年3月

目录

第 1 篇 电力电子装置常用器件

第 1 章 常用电力电子半导体器件 2

1.1 不控型电力电子器件 2

1.1.1 普通功率二极管 2

1.1.2 快恢复二极管 4

1.1.3 肖特基功率二极管 5

1.2 半控型电力电子器件 6

1.2.1 普通晶闸管 6

1.2.2 快速晶闸管 9

1.2.3 双向晶闸管 10

1.2.4 逆导晶闸管 12

1.2.5 光控晶闸管 13

1.3 全控型电力电子器件 14

1.3.1 门极关断晶闸管(GTO) 14

1.3.2 电力晶体管(GTR) 17

1.3.3 功率场效应晶体管 19

1.3.4 绝缘栅双极晶体管 23

第 2 章 常用控制触发驱动器器件 26

2.1 晶闸管移相触发控制专用集成电路 26

2.1.1 KJ004(KC04)晶闸管移相触发器集成电路 26

2.1.2 KJ787 高性能晶闸管三相移相触发器集成电路 28

2.1.3 EXB841 IGBT 厚膜驱动器电路 30

2.1.4 HL402 具有自保护功能的 IGBT 厚膜驱动器集成电路 34

2.1.5 IR2110 两路输出 MOSFET 或 IGBT 驱动器集成电路 37

2.2 单相、三相 PWM 和 SPWM 控制专用集成电路 39

2.2.1 TL494 脉宽调制器集成电路 39

2.2.2 SG1525 PWM 控制器集成电路	41
2.2.3 HEF4752V 三相 PWM 及 SPWM 专用大规模集成电路	44

第3章 电力电子配套元件..... 48

3.1 变压器	48
3.1.1 整流变压器	48
3.1.2 脉冲变压器	50
3.2 电抗器	51
3.2.1 平波电抗器	51
3.2.2 进线电抗器	53
3.2.3 均衡电抗器	55
3.3 互感器	55
3.3.1 普通互感器	55
3.3.2 LEM 互感器	59
3.4 功率电容器	61
3.5 功率电阻器	65
3.6 散热器	71
3.7 过电压保护器件	75
3.7.1 TVS 瞬态电压抑制器	75
3.7.2 SIDACtor 双向瞬态过电压保护器	78
3.7.3 MMC 防雷管系列	81

第2篇 电力电子技术实验与课程设计

第1章 电力电子技术实验..... 85

实验一 晶闸管的简易测试及导通关断条件实验.....	85
实验二 单结晶体管触发电路及单相半波可控整流电路实验.....	88
实验三 单结管触发电路及单相桥式半控整流电路实验.....	90
实验四 锯齿波同步触发电路实验.....	93
实验五 集成触发电路与单相桥式全控整流电路实验.....	95
实验六 三相半波可控整流电路的研究.....	97
实验七 采用集成触发器的三相桥式全控整流电路的研究.....	99
实验八 双向晶闸管单相交流调压电路实验	102
实验九 三相交流调压电路实验	104
实验十 直流斩波电路实验	106

871	实验十一 IGBT 直流斩波电路	108
871	实验十二 升、降压直流斩波电路实验	111
871	实验十三 半桥型开关稳压电源的性能研究	113
881	实验十四 电力晶体管(GTR)特性研究	116
781	实验十五 功率场效应晶体管(MOSFET)特性研究	118
981	实验十六 绝缘栅双极型晶体管(IGBT)特性研究	121
1481	实验十七 单相桥式有源逆变电路实验	123
581	第2章 电力电子电路的计算机仿真实验	125
181	2.1 Multisim 7 仿真实验	125
281	2.1.1 Multisim 7 窗口界面	126
181	2.1.2 电路的创建	131
181	2.1.3 仪器仪表的使用	133
981	2.1.4 应用举例	137
981	2.2 电力电子电路的 MATLAB 6.5 仿真	141
005	2.2.1 MATLAB 简介	141
505	2.2.2 启动和退出 MATLAB 6.5 软件	142
1481	2.2.3 MATLAB 6.5 主体界面	143
405	2.3 Simulink 工具箱	146
405	2.3.1 Simulink 工具箱简介	146
405	2.3.2 Simulink 的基本概念和常用工具	146
405	2.3.3 模型的建立与仿真	148
205	2.3.4 简单应用实例	156
805	2.4 电力系统(Power System)工具箱简介	159
805	2.4.1 启动电力系统元件库	159
905	2.4.2 退出电力系统元件库	160
815	2.4.3 电力系统元件库简介	160
915	2.5 电力电子电路的建模与仿真实例	164
915	2.5.1 晶闸管元件应用系统的建模与仿真实例	164
050	2.5.2 可关断晶闸管的仿真模型及仿真实例	165
555	2.5.3 绝缘栅双极型晶体管元件的仿真模型及应用实例	168
555	2.5.4 晶闸管交流调压器及其应用仿真	169
855	第3章 电力电子技术课程设计	171
455	3.1 课程设计的目的和要求	171
455	3.2 课程设计的过程及方式	171
255	3.2.1 课程设计过程	171
155	3.2.2 课程设计方式	172

801	3.3 课程设计的内容	173
141	3.3.1 设计方案的确定	173
811	3.3.2 晶闸管整流主电路的计算	179
116	3.3.3 电力电子器件选用原则	186
811	3.4 设计实例	187
151	3.5 电力电子技术课程设计题目	189
151	第4章 整流变压器、脉冲变压器、平波电抗器参数计算	
151		192
151	4.1 整流变压器参数计算	192
159	4.2 脉冲变压器参数计算	195
181	4.2.1 脉冲变压器波形参数	195
181	4.2.2 小功率脉冲变压器的计算	196
181	4.3 平波和均衡电抗器计算	199
141	4.3.1 平波和均衡电抗器在主回路中的作用及布置	199
141	4.3.2 平波电抗器和均衡电抗器的选择计算	200
141	4.3.3 电抗器的选用	202
141	第3篇 电力电子装置的认识实习与调试	
141	第1章 成套电力电子装置的认识实习	204
141	1.1 开关电源	204
141	1.1.1 开关电源的基本构成	204
141	1.1.2 IBM-PC 微机开关电源	205
141	1.2 UPS 不间断电源	208
141	1.2.1 UPS 不间断电源的基本结构	208
141	1.2.2 Santak M2000 型在线式 UPS 不间断电源	209
141	1.3 蓄电池充电装置	218
141	1.3.1 高频开关电源充电装置的特点	219
141	1.3.2 蓄电池充电类型及方式	219
141	1.3.3 JZ-Ⅲ型高频开关逆变整流充电机	220
141	1.4 电磁转差离合器调速装置	222
141	1.4.1 交流电动机调速基本原理	222
141	1.4.2 电磁转差调速电动机系统	222
141	1.4.3 JDI II A 型电动机调速控制器	223
141	1.5 无轨电车斩波调速装置	224
141	1.5.1 牵引负载用直流斩波调压调速系统的组成	224
141	1.5.2 无轨电车斩波牵引制动调速装置	225
141	第2章 电力电子装置的调试与故障处理	227
141	2.1 常用工具、仪器简介	227

2.1.1 万用表	227
2.1.2 数字转速表	229
2.1.3 示波器	230
2.1.4 数字式示波器	234
2.2 直流调速变流器的调试	238
2.2.1 晶闸管直流调速系统的调试	239
2.2.2 现场调试	241
2.3 变频器的调试	241
2.3.1 变频器的空载通电检验	242
2.3.2 变频器基本参数的调试	242
2.3.3 变频器带电机空载运行调试	244
2.3.4 系统联动调试	244
2.4 故障诊断和处理原则	244
2.4.1 电力电子电路故障诊断方法	244
2.4.2 电力电子电路故障检测的一般方法	246
第3章 变流装置的定相技术	250
3.1 同步定相的概念	250
3.2 确定同步变压器连线组别的方法	250
3.3 示波器定相的方法	252
3.3.1 确定主电源相序	252
3.3.2 校对同步信号与主电源之间的相位关系	253
3.3.3 测量触发电路输出脉冲波形	253
3.3.4 测量触发脉冲顺序及对称度	254
3.3.5 整定控制信号最小和最大时晶闸管移相控制角及移相范围	255
3.3.6 定相整机调试	255
参考文献	256

第 1 篇

第 1 章

常用电力电子半导体器件

1.1 不控型电力电子器件

不控型电力电子半导体器件主要包括:普通功率二极管、快恢复二极管和肖特基功率二极管。它们的共同特点是:都具有单向导电的特性,但其结构和功率特性有所不同。

1.1.1 普通功率二极管

(1) 结构特点

从内部结构上看,普通功率二极管是一个具有 P 型及 N 型两层半导体,一个 PN 结和阳极 A、阴极 K 的两层一结两端半导体器件,其电路符号如图 1.1.1(a)所示。

功率二极管的外部形状有螺栓型、平板型和模块型等多种,如图 1.1.1(b)、(c)、(d)所示。一般 200 A 以下的管芯采用螺栓型,200 A 以上则多用平板型。其冷却方式有自冷、风冷和水冷三种方式,这是由于二极管工作时管芯要通过强大的电流,而 PN 结又有一定的正向电阻,管芯要因损耗而发热。为了管芯的冷却,必须配备相应的散热器。

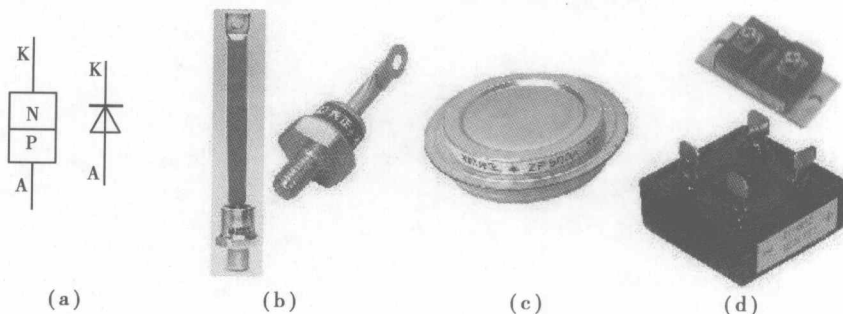


图 1.1.1 功率二极管的符号与外部结构

普通功率二极管多用于 1 kHz 以下的整流电路中,由于恢复特性慢,工作频率低,反向恢复时间一般为 25 μs 左右,在参数表中甚至不列出这一参数,但电流和电压定额却很高,电流定额 1 ~ 6 000 A,电压等级 50 ~ 6 000 V,多用作转换速度要求不高的整流器,如电力牵引、蓄

电池充电、电镀、电源、焊接和不间断电源等。

(2) 工作原理

功率二极管的工作原理和一般二极管一样,是基于PN结的单向导电性,即加上正向阳极电压时,PN结正向偏置,二极管导通,呈现较小的正向电阻;加上反向阳极电压时,PN结反向偏置,二极管阻断,呈现极大的反向电阻。

(3) 功率二极管的伏安特性

二极管阳极和阴极间电压 U_{AK} 与阳极电流 I_A 间的关系称为伏安特性,如图 1.1.2 所示。

第 I 象限为正向特性,表现为正向导通状态。当 $U_{AK} < 0.5\text{ V}$ 时,二极管只流过微小的正向电流。当 $U_{AK} > 0.5\text{ V}$ 时,正向电流急剧增加,此时 I_A 的大小完全由外电路决定,二极管只承担很小的管压降, $U_F = 0.4 \sim 1.2\text{ V}$ 。

第 III 象限为反向特性,表现为反向阻断状态。施加反向电压时,只有少数载流子引起的微小且数值几乎恒定的反向漏电流。但当反向电压增大至一定程度,则会造成反向击穿,反向电流开始急剧增加,此时必须对反向电压加以限制,否则二极管将因反向电压过大而击穿损坏。

(4) 主要参数

整流管的主要电参数有正向电流、正向压降、反向漏电流、反向电压,其中正向电流和反向电压是整流二极管的功能参数,而正向压降和反向漏电流则是整流管能正常、可靠工作的参数,是质量优劣的标志。

1) 额定正向平均电流(额定电流 I_F):指在规定 $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境温度和标准散热条件下,元件结温达额定且稳定时,允许长时间连续流过工频正弦半波电流的平均值。将此电流整流化到等于或小于规定的电流等级,则为该二极管的额定电流。

由此定额方法可知,正向电流是按发热条件定义的,故在应用中应按有效值相等的条件来选取二极管定额。对应额定电流的有效值定额为 $1.57I_F$ 。

2) 反向重复峰值电压(额定电压) U_{RRM} :指在管子反向所能施加的最高峰值电压,规定为反向不重复峰值电压 U_{RSM} 的 80%。使用时,通常按电路中二极管可能承受的最高峰值电压的 2 倍来选取二极管定额。

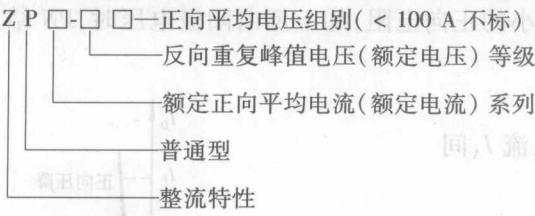
常用的国产普通功率二极管为 ZP 系列,其典型参数如表 1.1.1 所示。

表 1.1.1 ZP5~500 型硅整流二极管参数表

型 号	额定正向 平均电流 I_F/A	反向重复 峰值电压 U_{RRM}/V	反向不重 复平均电 流 I_{RS}/mA	正向平均 电压 U_F/V	额定结温 $/^{\circ}\text{C}$	额定结温 升/ $^{\circ}\text{C}$	正向峰值 浪涌电流 I_{PSM}/A	结构 型式	冷却 方式	散热器外 形尺寸/mm
ZP5	5	100~300	<1	从 0.4~	140	100	130	螺栓	风冷	45×25×25
ZP20	20	100~300	<2	1.2 分 A,	140	100	570			85×45×53
ZP50	50	100~300	<4	B,C,D,	140	100	1 260			70×70×90
ZP100	100	100~300	<6	E,F,G,	140	100	2 200			80×80×105
ZP200	200	100~300	<8	H,I 9 个	140	100	4 080			95×95×100
ZP500	500	100~300	<15	级别	140	100	9 420	平板	水冷	120×80×50

(5) 功率二极管的型号

根据一机部标准 JB 1144—75 规定,普通功率二极管型号命名方法如下所示:



(6) 器件的测试

普通二极管的伏安特性及参数可用晶体管特性图示仪进行测试,限于篇幅,不再赘述。用万用表对功率二极管进行简单测试的方法如图 1.1.3 所示,其正、反向阻值的差距反映了二极管的好坏,见表 1.1.2。

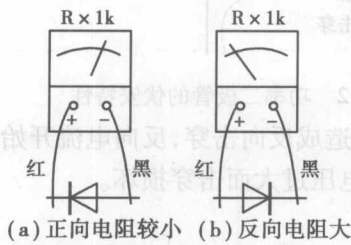


图 1.1.3 万用表测量二极管

表 1.1.2 二极管的好坏与正反向电阻

正 向	反 向	管子好坏
4 ~ 12 k 左右	∞	好
0	0	击穿、短路、损坏
∞	∞	断路损坏
正反向电阻比较接近		失效

1.1.2 快恢复二极管

(1) 结构特点及特性

快恢复二极管的结构与普通功率二极管类似,也是两层一结两端器件,只不过采用了掺金或铂工艺来控制少子寿命,其反向恢复很快,反向恢复时间通常小于 $5\text{ }\mu\text{s}$,多用于高频电力电子电路中。

目前有 PN 和 PIN 型两种结构的快恢复二极管,在同等容量下,PIN 型结构具有开通压降低,反向快速恢复性能好的优点,但不足之处是具有硬恢复特性;而 PN 型结构则具有软的恢复特性。实际使用时可根据应用条件而进行选择。

(2) 主要参数

- 1) 反向阻断电压 U_{RRM} :是快恢复二极管在最大允许反向漏电流下的反向峰值耐压。使用中, U_{RRM} 应为所承受峰值电压的 2 ~ 3 倍。
- 2) 正向工作电流 I_{F} :是在最大功耗下允许的长期工作电流。
- 3) 反向恢复时间 t_{rr} :指从正向导通状态到承受反向电压而关断,其流过电流由零变负,再由反向最大值变为零这整个时间。
- 4) 最大反向恢复电流 I_{RM} :指恢复过程中流过的反向电流最大值。

国产 ZK 系列硅快速整流管的主要参数如表 1.1.3 所示。

表 1.1.3 ZK5 ~ 500 型硅快速整流二极管参数表

型 号	额定正向 平均电流 I_F/A	反向重复 峰值电压 U_{RRM}/V	反向重复 平均电流 I_{RR}/A	正向平均 电压 U_F/V	反向恢复 时间 $t_{rr}/\mu s$	额定结温 $T_{jm}/^{\circ}C$	正向峰值 浪涌电流 I_{FS}/A	结构 型式	冷却 方式	散热器尺寸 /mm
ZK5	5	100 ~ 1 200	<1	<0.65	<2(适于	100	180	螺栓	风冷	45 × 25 × 25
ZK50	50		<4	<0.7	频率	100	1 260	螺栓	风冷	70 × 70 × 90
ZK100	100		<6	<0.7	20 kHz)	100	2 200	螺栓	风冷	80 × 80 × 105
ZK200	200		<8	<0.75	<5(适于	100	4 080	螺栓	风冷	95 × 95 × 100
ZK300	300		<10	<0.75	频率	100	5 650	平板	风冷	140 × 100 × 55
ZK500	500		<15	<0.75	10 kHz)	100	9 420	平板	水冷	120 × 80 × 50

美国 MOTOROLA 公司生产的电流为 50 A 的快恢复二极管系列和超快恢复二极管的参数如表 1.1.4 所示。

表 1.1.4 快恢复二极管、超快恢复二极管和肖特基二极管参数表

类 型	型 号	额定正向 平均电流 I_F/A	反向重 复峰值 电压 U_{RRM}/V	不重复 峰值浪 涌电流 I_{FSM}/A	正向重 复峰值 电流 I_{FRM}/A	反向电流 $I_R/\mu A$	正向平均 电压 U_F/V	反向恢 复时间 t_{rr}/ns	工作结温 $T_j/^{\circ}C$	热阻 $R_{Qjc}/$ ($^{\circ}C \cdot W^{-1}$)
快恢复 功率二 极管	MR870	50	50	400		25 ~ 50	1.1 ~ 1.4	<400	-65 ~ 160	0.8
	MR871	50	100	400		25 ~ 50	1.1 ~ 1.4	<400	-65 ~ 160	0.8
	MR872	50	200	400		25 ~ 50	1.1 ~ 1.4	<400	-65 ~ 160	0.8
超快恢 复二极 管	MUR10010CT	50	100	400	100	25	1.1	<50	-65 ~ 175	1.0
	MUR10015CT	50	150	400	100	25	1.1	<50	-65 ~ 175	1.0
	MUR10020CT	50	200	400	100	25	1.1	<50	-65 ~ 175	1.0
肖特基 二极管	MBR30045CT	150	45	2 500	300	0.8	0.78		-65 ~ 175	0.4
反向重复峰值电流 $I_{RRM} = 2 A$ 电压变化率 $du/dt = 1\,000 V/\mu s$										

(3) 器件测试

各项指标参数需用专用仪器测试,限于篇幅,不再赘述。用万用表进行简单测试同普通二极管。

1.1.3 肖特基功率二极管

肖特基二极管也属于快恢复二极管,这种二极管是利用金属层沉积在 N 型硅的薄外延层上,在金属和半导体之间形成接触势垒(肖特基势垒)而获得单向导电作用的,接触势垒类似于 PN 结。肖特基二极管的整流作用仅取决于多数载流子,没有多余的少数载流子复合问题,因而恢复时间仅是势垒电容的充放电时间,故其反向恢复时间远小于相同定额的结型二极管,而且与反向 di/dt 无关。

肖特基二极管正向压降比结型二极管小,典型值为 0.55 V,但其漏电流比结型二极管高。它的电流定额为 1 ~ 300 A,电压定额最高为 100 V。反向耐压不能做得太高的原因完全是由于结构所致。

美国 MOTOROLA 公司生产的 MBR30045CT 肖特基二极管如表 1.1.4 所示。

1.2 半控型电力电子器件

半控型电力电子半导体器件主要包括:普通晶闸管及其主要派生器件,有双向晶闸管、逆导晶闸管、快速晶闸管和光控晶闸管。它们的共同特点是:都具有可控导通和不可控关断的特性,但由于结构不同,各种晶闸管的性能也有所不同。

1.2.1 普通晶闸管

(1) 结构

普通晶闸管是一种具有四层,三结,三极(阳极 A,阴极 K,门极 G)的,由单个硅片做成的半导体器件,其内部结构示意图和电路符号如图 1.1.4(a)、(b)所示。

普通晶闸管的外部形状有平板型、螺栓型、模块型、塑封型和集成封装五种形式,一般 200 A 以下的采用螺栓型结构,200 A 以上的则多采用平板型结构,塑封和集成封装多用于几十安培以内小容量晶闸管。图 1.1.4(c)、(d)、(e)、(f)、(g)为其中的五种封装形式。其冷却方式也有自冷、风冷和水冷三种形式。

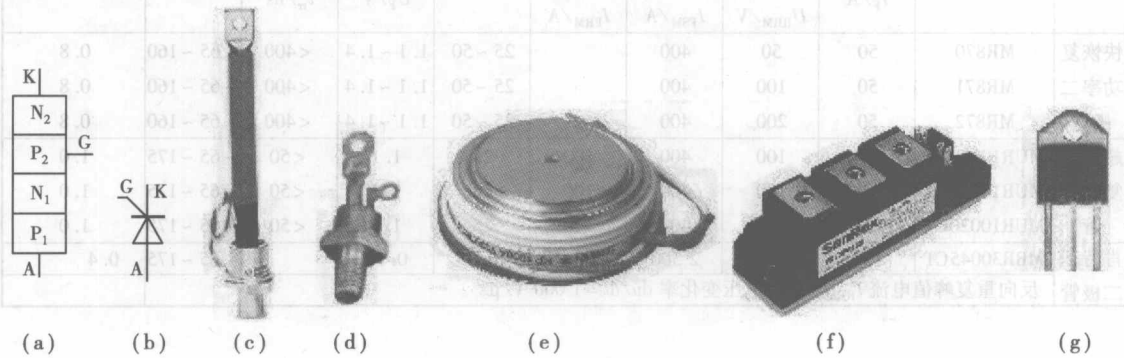


图 1.1.4 普通晶闸管的结构、符号及外形

(2) 晶闸管的导通与关断条件

晶闸管具有可控单向导电的特性。

晶闸管的导通条件:必须同时满足 $U_{AK} > 0$ 和 $U_{GK} > 0$ (只起触发作用)。

晶闸管的关断条件: $U_{AK} = 0$ 或 $U_{AK} < 0$, 或降低阳极电流到 $I_A < I_H$, 这三个条件只需满足其中一条即可使晶闸管关断。

晶闸管的工作特点:具有可控的单向导电特性,但门极只起触发导通的作用。

(3) 晶闸管的基本特性和主要参数

晶闸管相当于一个可以控制的单向导电开关,它的外特性常用的有:阳极伏安特性和门极伏安特性。

晶闸管的阳极伏安特性是指晶闸管阳极与阴极间电压 U_{AK} 与阳极电流 I_A 之间的关系曲线,如图 1.1.5(a)所示。其第 I 象限为正向特性区,又可分为正向阻断高阻区、负阻区和正向导通低阻区。在 $I_G = 0$ 条件下,靠增大 $U_{AK} = U_{B0}$ 使晶闸管“硬导通”是不可控的,多次硬导通将会损坏晶闸管。实际使用时,是用 I_G 来触发晶闸管导通的, I_G 越大,相应的转折电压越低。

导通后的晶闸管压降很小,约为1 V左右。其第Ⅲ象限为反向特性区,又可分为反向阻断高阻区和击穿区,与二极管反向特性相似。

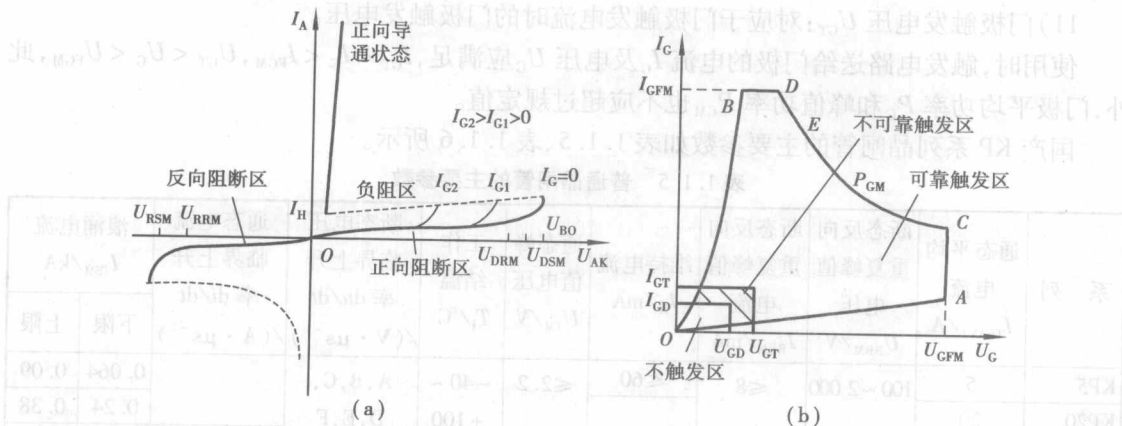


图 1.1.5 晶闸管的阳极伏安特性与门极伏安特性

由晶闸管的阳极伏安特性可知,由于正向阻断和反向阻断时晶闸管的电阻不是无穷大,因此断态时有漏电流;正向导通时的电阻不是零,故通态时有管压降。晶闸管在实际使用时,应使电压不超过其转折电压 U_{BO} ,电流不超过允许值。

晶闸管的门极伏安特性是指门极电压与电流的关系,如图 1.1.5(b) 所示,是一个由高阻特性曲线,低阻特性曲线, I_{GFM} , U_{GFM} 和 P_{GM} 围成的区域。在这个区域中分为不能触发区、不可靠触发区和可靠触发区三个区域。实际使用时,必须使触发电流和触发电压落在可靠触发区内,触发电压的范围为几伏到几十伏,触发电流的范围为几毫安到几百毫安。

晶闸管的主要参数有:

- 1) 断态重复峰值电压 U_{DRM} : 指门极开路,器件额定结温时,允许 50 次/秒,每次持续时间 $< 10\text{ ms}$,重复加在器件上的正向峰值电压。规定为断态不重复峰值电压 U_{DSM} 的 80%。
- 2) 反向重复峰值电压 U_{RRM} : 指门极断路,器件额定结温时,允许重复加在器件上的反向峰值电压。规定为反向不重复电压的 80%。
- 3) 额定电压: 通常将 U_{DRM} 和 U_{RRM} 中较小的那个数值取整后作为晶闸管的额定电压。实际应用中,额定电压应为正常工作峰值电压的 2~3 倍作为安全裕量。
- 4) 通态峰值电压 U_{TM} : 指晶闸管通以 π 倍(或规定倍数)的额定通态平均电流时的瞬态峰值电压。
- 5) 通态平均电流 $I_{T(AV)}$: 在环境温度为 $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和规定冷却条件下,器件在导通角大于 170° 的电阻性负载电路中,在额定结温时所允许通过的工频正弦半波电流的平均值。选用时, $I_{T(AV)}$ 应为其正常电流平均值的 1.5~2 倍作为安全裕量。
- 6) 维持电流 I_H : 在室温和门极开路时,能使晶闸管维持通态所必需的最小阳极电流。
- 7) 擎住电流 I_L : 是晶闸管刚从断态转入通态并移除触发信号后,能维持通态所必需的最小阳极电流。
- 8) 断态重复峰值电流 I_{DRM} 和反向重复峰值电流 I_{RRM} : 在额定结温和门极开路时,对应于断态重复峰值电压和反向重复峰值电压下的峰值电流。
- 9) 浪涌电流 I_{TSM} : 在规定条件下,工频正弦半周期内所允许的最大过载峰值电流。