

自动化专业系列教材

电力电子技术基础

DIANLI DIANZI JISHU JICHU

麦崇滢 苏开才 编

华南理工大学出版社

自动化专业系列教材

电力电子技术基础

麦崇滢 苏开才 编

华南理工大学出版社

·广州·

内 容 简 介

本书主要包括电力电子器件及其变换电路。在器件方面介绍了从第一代到第三代器件的基本结构、工作原理、特性、参数和驱动与保护电路。在变换电路方面介绍了可控整流、有源逆变、无源逆变、变频、直流斩波与交流调压的电路组成形式、分析方法和设计计算,以及近年出现的 PWM 技术和软开关技术。

本书取材丰富,结构严谨,系统性强,较全面地反映了电力电子技术 50 年来各阶段的主要发展成果。这些内容是分析、设计和解决电力电子电路疑难问题不可或缺的基础知识。

本书可作为高等学校自动化、电气工程及其自动化、电子技术、机电一体化及相近专业本科、专科、职业技术学院、成人高等教育的“电力电子技术”相应课程的教材,亦可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术基础/麦崇滴,苏开才编. —广州:华南理工大学出版社, 2003.12

(自动化专业系列教材)

ISBN 7-5623-2012-8

I. 电… II. ①麦…②苏… III. 电力电子学-高等学校-教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 126660 号

总 发 行: 华南理工大学出版社 (广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

发行部电话: 020-87113487 87111048 (传真)

E-mail: scut202@scut.edu.cn

<http://www.scutpress.com>

责任编辑: 詹志青

印 刷 者: 广东省阳江市教育印务公司

开 本: 787×1092 1/16 印张: 13.5 字数: 337 千

版 次: 2003 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

印 数: 1~3 000 册

定 价: 22.00 元

版权所有 盗版必究

前 言

本书为华南理工大学“十五”规划教材，亦为该校自动化专业系列规划教材。出版系列教材的目的在于使整个专业的教材前后连贯、承上启下、互相呼应、避免重复、减少篇幅，形成一个完整体系，利于教学。目前已出版的系列教材有：'95 部委级重点教材《自动控制原理》、《电机学与拖动基础》，高校规划教材《运动控制系统》，以及《电气控制与可编程控制器》；此外，还有选修课教材多种。

本书是作者根据多年的科研成果和教学经验，遵循编写系列教材的规律，并在参考了大量国内外文献的基础上编写而成的。作者在编写中力求做到精选内容、注重基础、突出重点、加强分析，并引入本学科发展动态及最新科技成果。全书共 9 章，主要内容包括：电力电子器件，可控整流电路，有源逆变电路，电力电子器件的驱动和保护电路，直流斩波电路，交流调压电路，变频电路，脉冲宽度调制（PWM）技术，软开关技术。各章均选录有代表性的例题，章末附小结及习题，便于自学。

本书由华南理工大学麦崇滴和苏开才合作编写。其中绪论、第 2、3、5、6 章由麦崇滴执笔，第 1、4、8、9 章由苏开才执笔，第 7 章由麦崇滴、苏开才共同编写。华南理工大学毛宗源教授审阅了本书，并提出了很多宝贵的意见，在此表示衷心的感谢。在编写过程中，编者参阅了不少文献，在此无法一一列举，谨对所列主要参考文献的作者表示深切的谢意。最后，作者还要感谢华南理工大学工业电气自动化教研室的领导及教师们的大力支持。

本书可作为高等学校自动化、电气工程及其自动化、电子技术、机电一体化及相近专业本科、专科、职业技术学院、成人高等教育的“电力电子技术”课程的教材，亦可供有关工程技术人员参考。

由于编者水平有限，书中错漏和不当之处在所难免，恳切希望广大读者批评指正。

编 者

2003 年 10 月

目 录

0 绪论	1
0.1 电力电子器件	1
0.2 电力电子电路及装置	2
0.2.1 电力电子电路的基本类型	2
0.2.2 电力电子电路的控制方式	2
0.3 电力电子技术的应用	3
1 电力电子器件	4
1.1 电力二极管	4
1.1.1 电力二极管的结构和工作原理	4
1.1.2 电力二极管的基本特性和主要参数	5
1.1.3 电力二极管的主要类型	7
1.1.4 二极管的型号表示	7
1.2 普通晶闸管	7
1.2.1 晶闸管的结构和工作原理	8
1.2.2 晶闸管的特性	9
1.2.3 晶闸管的主要参数	11
1.2.4 其他晶闸管	14
1.3 可关断晶闸管	15
1.3.1 GTO 的结构	16
1.3.2 GTO 的工作原理	16
1.3.3 GTO 的特性	17
1.3.4 GTO 的主要参数	18
1.4 电力晶体管	18
1.4.1 GTR 的结构和工作原理	19
1.4.2 GTR 的主要参数	20
1.4.3 GTR 的特性	20
1.4.4 GRT 的二次击穿和安全工作区	22
1.5 电力场效应晶体管	23
1.5.1 电力 MOSFET 的种类和结构	23
1.5.2 电力 MOSFET 的工作原理和特性	24
1.5.3 电力 MOSFET 的参数	26
1.5.4 使用电力 MOSFET 应注意的问题	26
1.6 绝缘栅晶体管	26
1.6.1 IGBT 的结构和工作原理	27

1.6.2 IGBT 的基本特性	27
1.6.3 IGBT 的参数	28
1.6.4 IGBT 擎住效应与安全工作区	28
1.7 其他新型电力电子器件	29
1.7.1 静电感应晶体管	29
1.7.2 静电感应晶闸管	30
1.7.3 MOS 控制晶闸管	30
1.7.4 功率集成电路	31
本章小结	32
习题及思考题	32
2 可控整流电路	34
2.1 单相半波可控整流电路	34
2.1.1 电阻负载	34
2.1.2 阻感负载	37
2.1.3 带续流二极管的阻感负载	38
2.2 单相桥式全控整流电路	39
2.2.1 电阻负载	39
2.2.2 阻感负载	40
2.3 单相桥式半控整流电路	43
2.3.1 电阻负载	43
2.3.2 阻感负载	44
2.4 三相半波可控整流电路	45
2.4.1 电阻负载	45
2.4.2 阻感负载	47
2.5 三相桥式全控整流电路	49
2.5.1 三相桥式全控整流电路的形成	49
2.5.2 电阻负载	50
2.5.3 阻感负载	53
2.6 三相桥式半控整流电路	54
2.6.1 电阻负载	54
2.6.2 阻感负载	55
2.7 反电动势负载可控整流电路分析	56
2.7.1 电阻、反电动势负载	56
2.7.2 阻感、反电动势负载	56
2.8 交流电源电路的电感效应	59
2.8.1 交流侧电感对可控整流电路换流的影响	59
2.8.2 换流重叠角的计算	61
2.9 晶闸管可控整流供电的直流电动机机械特性	62
2.9.1 电压平衡方程式	62
2.9.2 电流连续时直流电动机的机械特性	63

2.9.3 电流断续时直流电动机的机械特性	63
2.10 大功率可控整流电路	66
2.10.1 并联工作的可控整流电路	66
2.10.2 串联工作的可控整流电路	71
本章小结	72
习题及思考题	73
3 有源逆变电路	76
3.1 有源逆变的工作原理	76
3.1.1 变流器工作于整流状态,提升重物	76
3.1.2 变流器工作于逆变状态,下放重物	76
3.2 常用的有源逆变电路	78
3.2.1 三相半波有源逆变电路	78
3.2.2 三相桥式有源逆变电路	79
3.3 逆变失败的原因与最小逆变角的确定	82
3.3.1 逆变失败的原因	82
3.3.2 最小逆变角 $\beta_{\min}$ 的确定	84
3.4 变流器供电的直流可逆拖动系统电动机机械特性	84
3.4.1 变流器逆变工作时直流电动机机械特性	84
3.4.2 直流可逆电力拖动系统	86
3.5 变流电路的谐波和功率因数	87
3.5.1 整流输出电压的谐波分析	87
3.5.2 交流侧谐波分析	89
3.5.3 变流装置的功率因数	90
3.5.4 减小谐波的方法	91
本章小结	92
习题及思考题	92
4 电力电子器件的驱动和保护电路	94
4.1 晶闸管的触发电路	94
4.1.1 简单触发电路	94
4.1.2 同步信号为锯齿波的触发电路	96
4.1.3 正弦波同步触发电路	98
4.1.4 集成元件组成的触发电路	99
4.1.5 集成化触发电路	101
4.1.6 同步电压的选择	101
4.2 GTO 的驱动电路	103
4.2.1 门极触发脉冲的四度特性	103
4.2.2 门极触发方式	103
4.2.3 GTO 驱动电路实例	104
4.3 GTR 的驱动电路	106
4.3.1 理想的驱动信号	106

4.3.2 驱动电路	106
4.4 MOSFET 和 IGBT 的驱动电路	108
4.5 电力电子器件的缓冲电路	110
4.5.1 缓冲电路的作用	110
4.5.2 典型的缓冲电路	111
4.6 电力电子器件及装置的保护	113
4.6.1 过电流保护电路	113
4.6.2 过电压保护电路	116
4.7 电力电子器件的串联和并联	116
4.7.1 晶闸管的串联	116
4.7.2 晶闸管的并联	117
4.7.3 GTR 的串联	118
4.7.4 GTR 的并联	119
本章小结	119
习题及思考题	119
5 直流斩波电路	120
5.1 基本直流斩波电路	120
5.1.1 直流降压斩波电路	120
5.1.2 直流升压斩波电路	122
5.1.3 直流升压斩波电路在电力拖动中的应用	123
5.1.4 直流升降压斩波电路	124
5.1.5 丘克斩波电路	125
5.2 直流可逆斩波电路和多相多重斩波电路	126
5.2.1 直流可逆斩波电路	126
5.2.2 多相多重斩波电路	128
5.3 直流斩波电路的控制方法	128
5.3.1 时间比控制法	128
5.3.2 瞬时值控制法	129
5.3.3 时间比与瞬时值混合控制法	130
5.4 晶闸管的换流技术	130
5.4.1 晶闸管的换流方法	131
5.4.2 晶闸管强迫换流的直流斩波电路	132
5.4.3 直流电力电子开关	133
本章小结	133
习题及思考题	134
6 交流调压电路	135
6.1 相控单相交流调压电路	135
6.1.1 电阻负载	135
6.1.2 阻感负载	137
6.2 相控三相交流调压电路	140

6.2.1 三相交流调压电路的基本形式	140
6.2.2 Y形三相交流调压电路	141
6.3 其他交流调压电路	143
6.3.1 交流斩波电路	143
6.3.2 交流调功电路	145
6.3.3 交流电力电子开关	146
本章小结	146
习题及思考题	147
7 变频电路	148
7.1 交直交电压型逆变电路	148
7.1.1 单相桥式电压型逆变电路	148
7.1.2 180°导电型三相桥式电压型逆变电路	152
7.1.3 120°导电型三相桥式电压型逆变电路	155
7.2 交直交电流型逆变电路	156
7.2.1 并联谐振式逆变电路	156
7.2.2 三相串联二极管式电流型逆变电路	161
7.2.3 门极可关断晶闸管电流型逆变电路	165
7.2.4 电压型逆变电路与电流型逆变电路的比较	165
7.3 逆变电路的调压方法与多重化	167
7.3.1 输出电压的调节	167
7.3.2 逆变电路的多重化	168
7.4 单相交交变频电路	172
7.4.1 工作原理	172
7.4.2 正弦型交交变频电路触发脉冲的控制方法	174
7.5 三相交交变频电路	177
7.5.1 正弦电压波三相交交变频电路	177
7.5.2 正弦电流波三相交交变频电路	178
7.5.3 矩形电流波三相交交变频电路	179
7.5.4 交交变频电路的优缺点	180
7.6 矩阵式变频电路	180
本章小结	183
习题及思考题	184
8 脉冲宽度调制(PWM)技术	186
8.1 PWM的基本工作原理	186
8.1.1 PWM波的理论基础	186
8.1.2 PWM波的产生	187
8.1.3 PWM波的调制方式	188
8.2 生成SPWM波形的采样规则	190
8.2.1 自然采样法	190
8.2.2 规则采样法	191

8.3 调制信号为梯形波的 PWM 波	191
8.4 PWM 逆变电路的多重化	192
本章小结	194
习题及思考题	194
9 软开关技术	195
9.1 软开关电路的类型	195
9.2 准谐振开关电路	195
9.2.1 零电压开关准谐振电路	196
9.2.2 零电流开关准谐振电路	197
9.3 零开关 PWM 电路	198
9.3.1 ZVS-PWM 电路	198
9.3.2 ZCS-PWM 电路	199
9.4 零转换 PWM 电路	200
9.4.1 ZVT-PWM 电路	200
9.4.2 ZCT-PWM 电路	201
9.5 软开关三相逆变器	202
本章小结	205
习题及思考题	205
参考文献	206

① 绪论

电力电子技术主要是研究各种电力电子器件,以及由这些器件构成的电路或装置,对电能进行变换和控制的技术。它包括对电压、电流、频率、波形和相数等的变换。电能变换技术一直为电工界的重要研究课题。早期应用旋转变流器、汞弧整流器等实现电能的变换与控制,但技术含量低、经济性差,应用范围不广。1957年晶闸管问世后,由于其优越的电气性能和控制性能,旋即取代了前者,并且其应用领域也迅速扩大,从而奠定了电力电子技术的基础。新一代的电力电子器件不断涌现,它们和计算机技术相结合,使得装置和器件不断向大容量、高可靠性、减小体积、节约电能和智能化方向发展。可见,器件、电路及应用是电力电子技术的主要研究内容。

0.1 电力电子器件

电力电子器件是电力电子技术不断创新的基础,电力电子器件工作于开关状态,据其开关特性可分为如下几类。

1. 不控型器件

不控型器件为无控制端子的二端器件,即整流二极管。它具有不可控单向导电开关特性。目前容量已达 6000 A、3000 V 以上。

2. 半控型器件

半控型器件为有控制端子的三端器件,它具有可控开通、无自关断能力、单向导电的开关特性,如晶闸管及其大部分派生器件。各类器件的最高容量为:普通晶闸管,12 000 V/1000 A,4000 V/4000 A;光控晶闸管,8000 V/3000 A;快速晶闸管,1200 V/1500 A,2500 V/400 A;逆导晶闸管,2500 V/1000 A;双向晶闸管 1200 V/300 A。

3. 全控型器件

全控型器件亦为有控制端子的三端器件,它具有可控开通、可控关断的单向导电开关特性。此类器件的最高容量分别为:电力晶体管(GTR),1200 V/800 A,1400 V/300 A;可关断晶闸管(GTO),6000 V/6000 A,8000 V/1000 A;电力场效应晶体管(POWER MOSFET),1200 V/160 A;静电感应晶闸管(SITH),4500 V/2500 A;静电感应晶体管(SIT),1200 V/10 A。

4. 复合型器件及功率集成电路

由场效应晶体管和电力晶体管集成的复合型器件为绝缘栅晶体管(IGBT),它具有上述两种器件的优点,其特点是快速、开关损耗小、耐压高、电流密度大,现在已有 3300 V/1200 A 的器件。由场效应晶体管及可关断晶闸管集成的器件为 MOS 控制晶闸管(MCT),具有高压、大电流、通态压降低、开通快和 di/dt 、 du/dt 耐量极高等优点,现在已有 5000 V/2000 A

的器件。

功率集成电路是动力与信息合一的电路,它有单片功率集成电路(MPIC)及混合功率集成电路(HPIC)。1200 V/800 A 的 HPIC 已达实用化阶段。有些 HPIC 可直接驱动小型电动机,具有起、停、正反转和保护功能。

0.2 电力电子电路及装置

0.2.1 电力电子电路的基本类型

采用电力电子电路可以实现多种电能的变换,主要有以下几种基本类型。

1. 整流电路

整流电路用于将交流电能变换为直流电能。输出整流电压完全取决于交流电压的称为不可控整流电路,输出直流电压可调的称为可控整流电路。

2. 逆变电路

逆变电路用于将直流电能变换为交流电能。交流侧为固定电压、频率的交流电源时,称为有源逆变;交流侧为无源负载时,称为无源逆变。

3. 斩波电路

斩波电路用于将直流电压变换为可调的或稳定的直流电压,输出电压低于电源电压的称为降压斩波;输出电压高于电源电压的称为升压斩波。

4. 交流调压电路

交流调压电路用于将交流电源电压变换为可调的或稳定的交流电压,在不同控制方式下,还有交流斩波电路和交流调功电路。

5. 变频电路(周波变换电路)

变频电路(周波变换电路)用于将一定频率和电压的交流电能变换为频率、电压可调的交流电能,又称为直接变频或交交变频。如果将整流电路与无源逆变电路组合,亦可构成变频电路,此为交直交变频电路,它将恒压恒频的交流整流为直流,再逆变为频率、电压可调的交流电,又称为间接变频。当然,这种组合也可构成频率、电压恒定的中频电源。

0.2.2 电力电子电路的控制方式

1. 相位控制

在相位控制方式下,控制信号的变化体现为触发脉冲的移相。用于可控整流、有源逆变、交流调压及直接变频。

2. 频率控制

频率控制方式信号的变化体现为控制脉冲频率的变化。用于由直流电源供电的无源逆变电路。

3. 斩波控制

斩波控制方式信号的变化体现为电力电子器件导通比的变化。用于斩波电路和采用脉宽调制的变流电路。

电力电子电路的控制涉及微电子技术、数字控制、检测反馈等信息处理与信号控制。

由上述可知,电力电子技术是介于电气工程、微电子技术、控制理论三大主要领域之间的交叉学科。

0.3 电力电子技术的应用

电力电子技术在国防、航天、信息产业、机械、钢铁、冶金、电力、交通、轻工、化工、医疗机械、家电等国民经济各个领域应用十分广泛。下面仅从电力电子技术在国民经济中所起的作用作简要介绍。

1. 优化电能使用

通过电力电子技术对电能的处理,使电能的使用达到合理、高效和节约,实现电能使用的最佳化。例如,在节电方面,针对风机水泵、电力牵引、轧机冶炼、轻工造纸、工业窑炉、感应加热、电焊、化工、电解等 14 个方面的调查,潜在节电总量相当于 1990 年全国发电量的 16%。所以,推广应用电力电子技术是节能的一项战略措施,一般节能效果可达 10% ~ 40%,国家已将许多电力电子装置列入节能的推广应用项目。

2. 改造传统产业和发展机电一体化等新兴产业

首先,据发达国家估计,在 21 世纪,将有 95% 的电能须经电力电子装置处理后再使用。即工业和民用的各种机电设备中,有 95% 与电力电子产业有关。其次,对电力系统来说,直流输电在长距离、大容量输电时有很大优势,其送电端的整流阀和受电端的逆变阀都采用晶闸管变流装置,即发电站输出的电能先经电力电子装置处理后再送到用户,目前在世界上应用越来越广泛。此外,电力系统的无功补偿、谐波抑制及近年发展起来的柔性交流输电无一不依赖电力电子装置得以实现。

特别是,电力电子技术是弱电控制强电的桥梁,是机电设备与计算机之间的重要接口,它为传统产业和新兴产业采用微电子技术创造了条件,成为发挥计算机作用的保证和基础。电力电子技术使机电一体化产品技术含量高,成为具有高附加值的产品。

3. 减小机电设备体积,提高响应速度

电力电子技术高频化和变频技术的发展,使机电设备突破工频传统,向高频化方向发展,它能实现最佳工作效率,使设备体积减小为几分之一、几十分之一,响应速度达到高速化,并能适应任何基准信号,实现无噪声且具有全新的功能和用途。例如,各种电子装置不同电压等级的直流电源、大型计算机的工作电源、微型计算机内部电源,甚至航天员、宇航员工作和生活所需的各种电源,采用全控型器件的高频开关电源后,体积小,重量轻,效率高。

4. 电力电子智能化

电力电子智能化可将信息处理与功率处理合一,使微电子技术与电力电子技术一体化,其发展可能引起电子技术的一场重大革命。

1 电力电子器件

电力电子技术发展的快慢,很大程度上取决于电力电子器件的发展水平。从第一个晶闸管诞生开始,经过 40 多年的发展,从半控型的晶闸管到全控型的各种器件,可谓为一大家族。一般分为整流二极管、晶闸管、电力晶体管和功率集成器件四大类。

各种电力电子器件的容量及开关频率范围如图 1-1 所示。

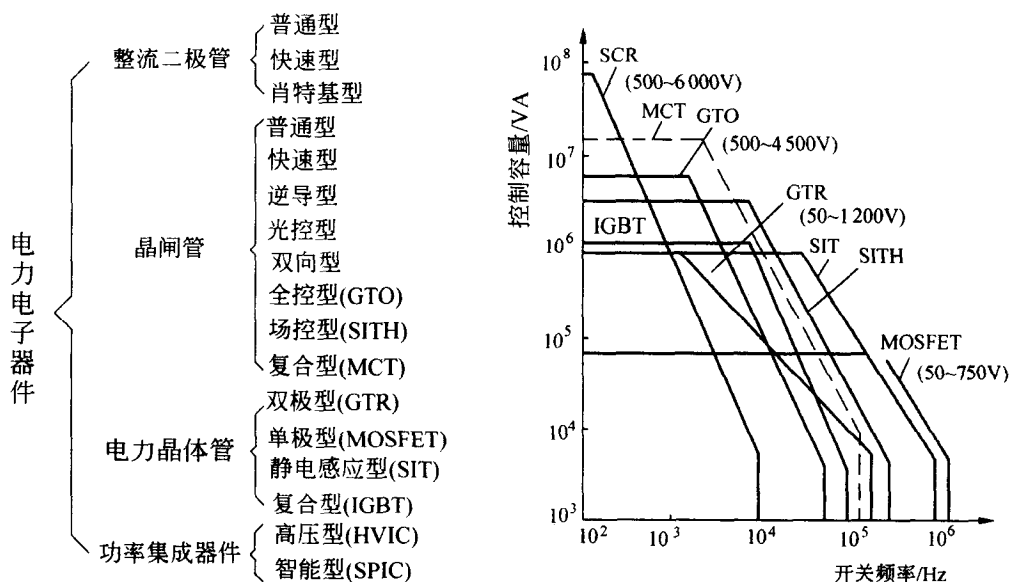


图 1-1 各种电力半导体器件的适用范围

1.1 电力二极管

电力二极管(Power Diode)自 20 世纪 50 年代初期就开始应用,当时也被称为半导体整流器(Semiconductor Rectifier, SR)。虽然是不可控制器件,但其结构和原理简单、工作可靠,直到现在仍然大量应用于电气设备中。尤其是快速恢复二极管和肖特基二极管,应用于中、高频整流和逆变等装置中,且有不可替代的地位。

1.1.1 电力二极管的结构和工作原理

电力二极管的基本结构和工作原理与信息电子电路中的二极管是一样的,都是以半导体 PN 结为基础的单向导电器件。实际上,电力二极管是由面积较大的 PN 结和两端引线以及封装组成,图 1-2 示出电力二极管的外形、结构和电气图形符号,A 为阳极,K 为阴极。

从外形看,电力二极管主要有螺栓型和平板型两种封装。

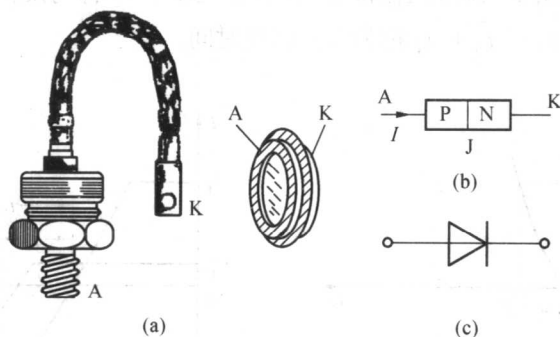


图 1-2 电力二极管的外形、结构和电气图形符号

(a)外形;(b)结构;(c)电气图形符号

N 型半导体和 P 型半导体结合后构成 PN 结。当 PN 结外加正向电压(正向偏置),即电压正极接 P 区、负极接 N 区时,使两区内部载流子的扩散运动增强,而在外电路上则形成自 P 区流入而从 N 区流出的电流,称之为正向电流。

当 PN 结加反向电压(反向偏置)时,两区内部形成漂移增强,而外电路则形成自 N 区流入而从 P 区流出的电流,称之为反向电流,一般很小。因此,反向偏置的 PN 结呈现高阻态,几乎没有电流流过,被称为反向截止状态。

这就是 PN 结的单向导电性,二极管的基本工作原理就在于 PN 结的单向导电这个主要特征。

PN 结具有承受一定的反向电压的能力,但当施加的反向电压超过其承受能力,反向电流将会急剧增大,破坏 PN 结反向偏置的截止状态,称为反向击穿。反向击穿按照机理不同有雪崩击穿和齐纳击穿。反向击穿发生时,只要外电路中采取措施,将反向电流限制在一定范围内,则当反向电压降低后 PN 结仍可恢复原来的状态。如果反向电流未被限制住,因反向电流过大使 PN 结功耗增大,导致 PN 结温度升高,直至过热而烧毁,这就是热击穿。

1.1.2 电力二极管的基本特性和主要参数

1.1.2.1 基本特性

电力二极管的基本特性包括静态特性和动态特性。静态特性主要是指其伏安特性,如图 1-3a 所示,当电力二极管承受的正向电压增大到一定值(U_{D0}),正向电流才开始明显增加,进入稳定导通状态,与正向电流 I_F 对应的电力二极管两端电压 U_F 是正向压降。当电力二极管承受反向电压时只有微小的反向漏电流,但反向电压太高,超过承受能力,会发生反向击穿,使二极管损坏。

电力二极管流过的电流 I_F 与两端的电压 U_F 的函数关系,即 $I_F = f(U_F)$,称为电力二极管的伏安特性,对应的曲线称为伏安特性曲线,亦称伏安特性。

动态特性一般指反映电力二极管通态和断态之间转换过程的开关特性,图 1-3b 所示为电力二极管由正向偏置转换为反向偏置时的动态过程的波形。当原处于正向导通状态的二极管的外加电压突然从正向变为反向时,二极管并不能立即关断,而是经过短暂的时间才

能重新获得反向阻断能力,进入截止状态。在关断之前有较大的反向电流出现,并伴随有明显的反向电压过冲,如图 1-3b 的 I_{RP} 和 U_{RP} ,图 1-3b 中 t_d 称为反向电流延迟时间, t_f 称为反向电流下降时间, $t_{rr} = t_d + t_f$ 称为反向恢复时间。

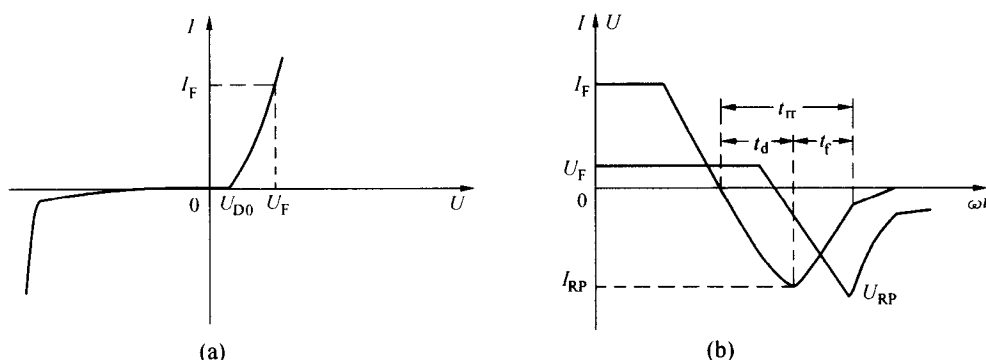


图 1-3 电力二极管静态和动态特性

(a) 伏安特性; (b) 关断过程波形

1.1.2.2 主要参数

1. 正向平均电流 $I_{F(AV)}$

正向平均电流 $I_{F(AV)}$ 是指电力二极管在规定的管壳温度 (T_C) 和散热条件下长期工作, 允许流过的最大工频正弦半波电流的平均值。在此电流下, 管的结温升高不会超过所允许的最高工作结温 (T_{jM}), 这就是标称的额定电流的参数。由于结温升高与流过电流的有效值有关, 因此在使用时应按照工作中实际波形的电流与正向平均电流所造成的发热效应相等 (即有效值相等) 的原则来选取电力二极管的额定电流, 并应留有一定裕量。对于正弦半波正向平均电流 $I_{F(AV)}$ 对应的有效值 $I = 1.57 I_{F(AV)}$ 。例如, 当一只二极管的额定电流为 100A 时, 允许通过的有效值电流为 157A。电力二极管若在开关频率较高的电路中使用, 除通态损耗使管发热外, 开关损耗造成的发热也不小, 在选择电力二极管的电流定额值时, 更应考虑有足够的裕量。

2. 正向管压降 U_F

正向管压降 U_F 指电力二极管在规定的温度和正向电流下工作对应的正向管压降。使用时, 尽量选 U_F 低的管, 可减少损耗。

3. 反向重复峰值电压 U_{RRM}

反向重复峰值电压 U_{RRM} 是电力二极管能够承受的重复施加的反向最高峰值电压。使用时, 通常按电路中电力二极管承受的实际工作电压的两倍来选此项参数。

4. 最高工作结温 T_{jM}

结温是管心 PN 结的平均温度 (T_j)。最高工作结温 (T_{jM}) 是指 PN 结能稳定工作所能承受的最高温度。由于半导体材料不同, T_{jM} 通常在 125~175℃ 范围内。

5. 浪涌电流 I_{FSM}

浪涌电流 I_{FSM} 是电力二极管所能承受的一个或几个工频周期流过最大过的电流。 I_{FSM} 可达正常工作电流的 6 倍以上。

1.1.3 电力二极管的主要类型

电力二极管在许多电力电子电路中都有着广泛的应用,可以在电路中作为整流元件,也可以组成电感元件的电感释放电路,即续流元件,还可以在各种变流电路中起隔离、钳位或元件的保护作用。由于半导体物理结构和制造工艺的差别,可以制造出多种类型的电力二极管。各种电力二极管的特性不完全相同,如正向压降、反向耐压、反向漏电流、反向恢复特性等各有差异。应用时,应根据不同场合的不同要求,选择不同类型的电力二极管。下面介绍几种常用的电力二极管。

1. 普通二极管

普通二极管(General Purpose Diode)又称整流二极管,其开关频率不高(1 kHz 以下),反向恢复时间较长($5\mu\text{s}$ 以上)。这在开关频率要求不高的整流电路不是重要参数,其特点是正向电流额定值和承受反向电压额定值可达到很高(数千安和数千伏以上),多应用于开关速度不高的整流或逆变电路中。

2. 快速恢复二极管

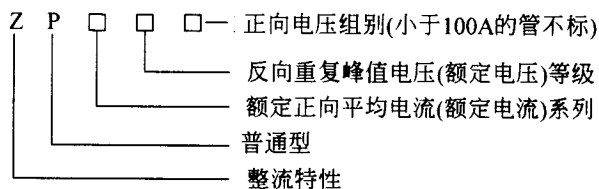
快速恢复二极管(Fast Recovery Diode, FRD)关断时反向恢复过程很短(一般在 $5\mu\text{s}$ 以下),正向压降也很低(0.9 V 左右)。快速恢复二极管可以分为快速和超快速恢复两个等级,后者反向恢复时间在 100 ns 以下。快速恢复二极管承受电流和电压的最高值不及普通电力二极管,一般应用于转换速度要求高的变流装置,如斩波器、逆变器等。

3. 肖特基二极管

以金属和半导体接触形成的势垒为基础的二极管,习惯上称为肖特基势垒二极管(Schottky Barrier Diode, SBD),简称为肖特基二极管。肖特基二极管的优点在于:反向恢复时间很短(10~40 ns);反向电压低时其正向压降很低(0.4~0.6 V)。肖特基二极管的缺点在于:当所承受的反向电压提高时其正向压降也会增高,甚至不能满足要求;反向电流较大,且对温度敏感。它主要用于低电压、低功耗、高频、低电流的开关电源、仪表等设备中。

1.1.4 二极管的型号表示

二极管的型号表示如下:



快速恢复二极管以 ZK 表示。

1.2 普通晶闸管

晶闸管(Thyristor),也称为硅可控整流器(Silicon Controlled Rectifier, SCR),简称为可控