



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

电力电子技术

(电气运行与控制专业)

主编 张友汉



高等教育出版社

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

电力电子技术

(电气运行与控制专业)

主 编 张友汉
责任主审 吴锡龙
审 稿 周南山 顾荣涛

高等教育出版社

内容简介

本书是中等职业技术学校国家规划教材,是根据2001年教育部颁发的《中等职业学校电气运行与控制专业教学指导方案》中主干课程《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中级技术工人等级考核标准编写的。

本书主要内容有:电力二极管和晶闸管、全控型电力电子器件、单相可控整流电路、三相晶闸管可控整流电路、直流变换电路、逆变电路、交流电力控制电路和交-交变频电路、脉冲宽度调制技术与软开关技术、电力电子装置及五个实验实训指导。本教材选材较新,资料丰富,与实际应用结合紧密;结构合理,章节明晰;重点明确突出,难点深入浅出、注意循序渐进;习题题量、难度适中。适于教学使用。

本书可作为中等职业学校电气运行与控制及相关专业的教学用书,还可以作为从事电力电子技术行业的工人和短期培训人员的教学和参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术/张友汉主编. —北京:高等教育出版社,2002.7

中等职业学校电气运行与控制专业教材

ISBN 7-04-010934-4

I.电... II.张... III.电力电子学-专业学校-教材 IV.TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第044974号

电力电子技术
张友汉 主编

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市东城区沙滩后街55号
邮政编码 100009
传 真 010-64014048

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 廊坊石油管道印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 10
字 数 230 000

版 次 2002年7月第1版
印 次 2002年7月第1次印刷
定 价 12.30元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神,落实《面向21世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划,根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》(教职成[2001]1号)的精神,我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写,从2001年秋季开学起,国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教学大纲(课程教学基本要求)编写,并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想,从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发,注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本,努力为教材选用提供比较和选择,满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材,并在使用过程中,注意总结经验,及时提出修改意见和建议,使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

责任编辑 韩颖
封面设计 王 睢
责任绘图 朱 静
版式设计 陆瑞红
责任校对 马桂兰
责任印制 孔 源

前 言

本书是中等职业学校国家规划教材,是根据教育部 2001 年颁发的《中等职业学校电气运行与控制专业教学指导方案》中主干课程《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中级技术工人等级考核标准编写的。

电力电子技术是近年来迅速发展起来的高新技术。与发达国家相比我国电力电子技术起步较晚,但发展迅速,显示了极大的市场潜力。电力电子技术的高速发展和操作岗位能力的高要求,培养一大批面向 21 世纪的具有良好职业道德、有专业知识和技能、能适应电力电子技术高速发展的高素质技术工人和中、初等专门人才已成为当务之急。

根据专业计划及电力电子技术教学大纲提出的培养目标,本教材在编写中把握紧密联系实际,注重加强应用,基础理论以“必须、够用”为度的原镇。删掉一些纯理论推导性内容;能用物理概念阐明的问题,尽量不用纯数学推导来阐述;简化处理某些较复杂的公式;删掉超出技术工人要求的计算。教材内容以实践性和应用性为主,同时注意课程必要的系统性和教学的循序渐进,力求教材结构严谨。

电力电子技术集微电子技术、计算机技术、变流技术及控制理论于一身,理论性、实践性都非常强,技术新是特点之一。本教材努力反映电力电子技术方面的新知识和新技术,介绍新产品、新工艺。删掉了一些陈旧的传统内容,为“四新”腾出时间和空间。注意启发和培养学生的创新意识和创新能力,以启迪学生的创新意识,增强学生的发展后劲。

本教材分为四部分,第一部分是电力电子器件,以晶闸管、IGBT、电力 MOSFET 三种器件为主要对象;第二部分是整流电路(A/D)、直流斩波电路(D/D)、逆变电路(D/A)、交流调压及交-交变频电路 A/A 的电力电子电路;第三部分是脉冲宽度调制控制及软开关技术;第四部分是实验实训指导。

本教材选材较新,资料丰富,与实际应用结合紧密;结构合理,章节明晰;重点明确突出,难点深入浅出,注意循序渐进;习题题量、难度适中;教学时可在 60~76 学时的范围内灵活安排,选学内容以“*”标志,可根据学时和需要选用。

为方便教学,特编入本书教学安排的建议(70 学时方案),本方案仅供教师教学时参考。

本书第一、三章由杨凡编写,第二、四、八、九章由张友汉编写,第五、六、七章及实验实训 4、5 由张学成编写,实验实训 1、2、3 由罗云高、王钢编写,王伟祥、陈东参加了部分编写工作。张友汉任主编。

本书由北京理工大学刘蕴陶教授主审,刘教授在审阅中提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心地感谢。

由于作者水平有限,编写时间又较仓促,书中错误与疏漏之处,诚望使用本教材的教师同仁与同学们批评指正。

本书教学安排的建议(70 学时方案)

序 号	课 程 内 容	学 时 数			
		合计	讲授	实验与实训	机动
一	绪论 电力二极管和晶闸管	6	2+4		
二	全控型电力电子器件	6	6		
三	单相可控整流电路	8	6	2	
四	三相晶闸管可控整流电路	10	6	4	
五	直流变换电路	6	4	2	
六	逆变电路	10	8	2	
七	交流电力控制电路和交-交变频电路	10	8	2	
八	脉冲宽度调制控制技术与软开关技术	6	6		
九	电力电子装置	6	6		
十	实验与实训			12	
	机 动	4			4
	总 计	70	54	12	4

编 者

2002年1月

目 录

绪论	1	第一节 直流斩波电路的工作原理	62
第一章 电力二极管和晶闸管	4	第二节 复合斩波电路	67
第一节 概述	4	本章小结	70
第二节 电力二极管	5	思考题与习题	71
第三节 半控型器件——晶闸管	7	第六章 逆变电路	72
第四节 特殊晶闸管	11	第一节 有源逆变电路	72
本章小结	12	第二节 有源逆变电路应用举例	78
思考题与习题	12	第三节 无源逆变电路	81
第二章 全控型电力电子器件	15	本章小结	89
第一节 门极可关断晶闸管	15	思考题与习题	90
第二节 电力晶体管	16	第七章 交流电力控制电路和交-交 变频电路	91
第三节 电力场效晶体管	17	第一节 交流开关	91
第四节 绝缘栅双极晶体管(IGBT)	21	第二节 单相交流调压电路	94
第五节 其他新型电力电子器件	23	第三节 三相交流调压电路	97
第六节 电力电子器件的应用系统组成	25	第四节 交流斩波调压电路	100
本章小结	26	第五节 交-交变频电路	102
思考题与习题	28	本章小结	106
第三章 单相可控整流电路	29	思考题与习题	107
第一节 单相半波可控整流电路	29	第八章 脉冲宽度调制技术与软开关 技术	108
第二节 单相桥式全控整流电路	32	第一节 脉冲宽度调制的基本原理	108
第三节 单相桥式半控整流电路	36	第二节 PWM 逆变电路的控制方法	110
第四节 电容滤波的单相不可控整流电路	37	第三节 SPWM 波形形成电路及专用集成 芯片	113
第五节 单结晶体管触发电路	39	第四节 软开关技术	118
本章小结	43	本章小结	122
思考题与习题	43	思考题与习题	123
第四章 三相晶闸管可控整流电路	45	第九章 电力电子装置	124
第一节 三相半波可控整流电路	45	第一节 高频开关式稳压电源	124
第二节 三相桥式全控整流电路	48	第二节 高发光效能的节能型荧光灯	126
第三节 电容滤波的三相不可控整流电路	53	第三节 逆变弧焊电源	127
第四节 相控电路的驱动控制	54	第四节 不间断电源(UPS)	128
第五节 晶闸管的串并联及选用保护	57	第五节 变频调速装置	132
本章小结	60		
思考题与习题	60		
第五章 直流变换电路	62		

第十章 实验和实训	137	实验三 三相桥式全控有源逆变电路	143
实验一 单相半控桥式整流	137	实验四 单相交流调压电路	145
实验二 三相桥式全控整流电路与锯齿波 同步触发电路	139	实验五 IGBT 斩波电路	147
		参考文献	150

绪 论

一、什么是电力电子技术

电力电子技术是一门利用电力电子器件对电能进行控制和转换的技术,是一门新兴的高新技术学科。美国电气和电子工程师协会(IEEE)电力电子学会对电力电子技术概念的阐述是“有效地使用电力半导体器件、应用电路和设计理论以及分析开发工具,实现对电能的高效能变换和控制的一门技术,它包括电压、电流、频率和波形等方面的变换和控制”。总之,电力电子技术承担着在实现电能的各种变换过程中如何高效、低污染甚至无污染地利用电能的任务,即对“强电”功率信号进行各种处理。

电力电子技术的内容包括三个方面:电力电子器件、变流电路和控制电路。它交叉涵盖电力、电子、控制三大电气工程技术领域,所以说是一门多学科相互渗透、综合的高新应用技术学科。人们常说电力电子技术这项高新技术是其他多项高新技术的发展基础,这是因为电能是由电压、电流、频率、波形和相位等若干基本参数表征的,当代许多高新技术对电能有着基本参数上多种特别的要求,因此对电能参数的控制与转换就成为必须;电力电子技术能够实现对基本参数精确的控制与高效能的处理。今后,随着科学技术的发展,电力电子技术与其他多项高新技术领域如:现代控制理论、材料科学、微电子技术、计算机技术以及电机工程之间相互依存、相互促进的关系将更加密切。

二、电力电子技术的发展进程

电力电子技术始于 1956 年普通晶闸管的问世,由于其功率处理能力的突破,很快形成了以晶闸管为核心的电力电子技术。在此后近 40 年的发展进程中,电力电子技术明显地分为两个阶段。

1980 年前的一段时间是以普通晶闸管为核心(包括衍生出若干派生器件),功率越来越大,性能日臻完善,技术趋于成熟。其主要特点是晶闸管等器件通过门极控制信号只能控制其开通,而不能控制其关断,称这类器件为半控型的;在控制技术上采用移相控制技术;结构形式上基本是分立元件。这一时期,在中大功率范围内的各种静止变流器和电动机的传动系统一直使用这些电路,如直流传动、电化学用电源、机车牵引等方面。尽管在电压、电流两方面,晶闸管系列器件仍有着一定的发展余地,但因其控制电路复杂、庞大,工作频率低因而速度慢,以及效率不高等缺点阻碍了它们的继续发展。习惯称这一阶段的电力电子技术为传统电力电子技术。

20 世纪 80 年代中期以来,各种高速、全控型器件先后问世,如可关断晶闸管(GTO)、电力晶体管(GTR)、功率场效应晶体管(功率 MOSFET)、绝缘栅双极晶体管(IGBT)、静电感应晶体管(SIT)、静电感应晶闸管(SITH)、MOS 晶闸管(MCT)等。变流装置中的普通晶闸管逐渐被这些新型器件取代,新的结构紧凑的变流电路随之出现,过去难以实现的控制方式也得以实现。全面推进了电能转换的四种方式,即整流(AC-DC)、斩波(DC-DC)、逆变(DC-AC)以及交-交变

频(AC-AC)。这一切使电力电子技术具有了全新的面貌,被称为现代电力电子技术。现代电力电子技术的主要特点是:半控型的普通晶闸管由各类全控型的电力电子器件(常称为自关断器件)取代,全控型器件都是由许多单元胞器件并联而成的集成化器件;器件的工作速度大大提高,由400 Hz提高到数百千赫,甚至可达10 MHz以上,能够实现高频化;控制技术是采用脉宽调制(PWM)技术。相应设备体积大大减小、控制灵活、反应迅速、效率高、节省能源,可靠性也大大提高。

近年来随着集成工艺的提高和突破,器件进一步向集成化、多功能化发展。电力电子器件的功能扩大,品种增多,不但具有开关功能,还增加了保护、检测、驱动等功能,有的器件还具有放大、调制、振荡及逻辑运算的功能,使用范围拓宽,线路结构简化。功率集成电路又分为高压集成电路(HVIC)和智能功率集成电路(SPIC),这种器件实现了功率器件与电路的总体集成,使强电与弱电达到了完美的结合,完成了信息与动力的统一,推动电力电子技术进入智能化的时代。

三、电力电子技术的应用与未来

电力电子技术是其他多项高新技术的发展基础,国外成功与失败的经验都证明了这一点。由美国五个大学联合申请的“国家电力电子研究中心”最近得到美国科学界的认可而获得批准,未来10年内投资总额为1亿多美元。这是美国加强电力电子产业发展的一个重大举措。作为世界微电子技术发展最先进的国家,它采取这个举措具有深远的意义。

电力电子技术的应用领域相当广泛,遍及庞大的发电厂设备到小巧的家用电器等几乎所有电气工程领域,容量可达1 GW至几瓦不等,工作频率也可由几赫至100 MHz。从应用类型来看,可分为两大类:旋转的电动机传动装置、静止的各类电源和开关。

目前,国际上已迅速实现了数兆瓦功率等级以下的电能变换装置,从使用电流注入型器件(普通晶闸管、GTR、GTO晶闸管)向使用场控器件(IGBT和VDMOS等)为主的生产转轨,例如,由IGBT构成主电路的产品有1 MV·A的UPS、7.5 MW的高压电机变频调速装置、1 MV·A的有源滤波器、1 MW/50 kHz感应加热电源以及各种用途的高频电源和高频化电源。

利用场控器件和高频化技术来处理电能变换有下列许多优点,如:高效节能可进一步扩大,环境噪声可以大大降低,电磁干扰及谐波污染问题可以得到有效控制,可以制造低耗材、高功率密度、轻量化和超小型的电源产品并容易满足高性能与高可靠的要求等。

上述这些优点在21世纪的电力电子产品、装置和系统中都将得到体现,这也是电力电子产业发展的方向,而且具有“绿色的含义”,称为“绿色电力电子产业”。所谓“绿色”主要指尽可能高效率利用电能、最大限度地减少对电网谐波的污染、大大有利于环境保护和人类健康(特别是减少“温室效应”气体排放和水质污染)、最有效地减少环境噪声污染。理论和实践都证明只有利用现代电力电子技术的成就,才有可能达到上述目标。

电力电子技术的发展是以电力电子器件为核心的。电力电子器件在下述几个方面将会有所变革和发展。已商品化的全控型器件将朝着大功率、易驱动和高频率这三个方向继续发展;随着新器件(如MCT、SIT等)的成熟和实用化,IGBT电压、电流容量将进一步提高,GTO快速性能的改进等,普通晶闸管和电力晶体管的应用范围将被迫缩小,最终这两种器件将被迫淘汰;功率集成电路由于集电力半导体器件,驱动电路、传感器和诊断、保护、控制电路之大成,可能使电力电子技术跃入一个新的时代。

相控技术和 PWM 技术分别适用于半控型器件和全控型器件构成的各种变流电路,这些电路将会逐步改进和提高,特别是软性 PWM 开关电路正在进一步发展,但预计在电路形式和控制方式上可能近期不会有重大突破。随着微电子技术、计算机技术的发展,用数字控制替代模拟控制,用计算机仿真进行电路参数的确定,将使变流电路的效率和性能进一步提高。软件 PWM 开关电路的发展将进一步减小变流电路的功耗。

总起来看,变流电路在减小体积和重量、提高效率、增加快速性以及增高电压、扩大电流、提高频率等方面均会有较大的进展。伴随着器件与变流电路的进步,电力电子技术的应用领域也将会有新的突破,电力电子技术将渗透到航天、国防、工农业生产、交通、文教卫生、办公室自动化乃至家庭的任何角落。

四、掌握电力电子技术的必要性

电力电子技术是当代迅速发展起来的高新技术。由于电力电子技术的应用使得电能得以更合理、高效的利用,并能为许多高新技术行业和工艺提供各种满足特别需要的电源,同时又对保护环境有利,在国民经济的发展和科学研究的各个领域发挥越来越显著的作用。基于此,电力电子技术将得到迅速发展和广泛应用。

电力电子技术迅速而广泛应用,在国民经济发展和科学研究的各个领域发挥越来越显著的作用。目前,发达国家 70% 左右的电能是经过电力电子技术再处理的。较之于发达国家我国电力电子技术起步较晚,有极大的市场潜力。电力电子技术特别是近年来新型电力电子器件的发展、进步及相关设备的不断问世,必将给我国电力这一传统产业带来一场革命。电力电子技术更加广泛的应用指日可待,不需很长时间供用电系统运行、维护工作的核心和电气控制设备的大部分,将采用电力电子设备。电力电子技术突飞猛进的发展和岗位操作能力要求的增强,培养一大批面向 21 世纪的具有良好职业道德、有一定专业知识和技能、能适应电力电子技术高速发展的高素质技术工人和中、初级专门人才已成为当务之急。

根据专业计划及电力电子技术教学基本要求提出的培养目标,电力电子技术作为一门重要的专业课程。学好本课程,掌握电力电子技术的基本理论、基本知识和基本技能是十分必要的。是高素质的技术工人和中、初级专门人才所必备的。

第一章 电力二极管和晶闸管

电力电子器件是电力技术的核心,是电力电子电路的基础。因而掌握各种常用电力电子器件的特性和正确使用方法是我们学好电力电子技术的基础。本章先对电力电子器件的概念、分类和特性等问题作简要概述,然后讨论电力二极管和晶闸管的工作原理、基本特性、主要参数以及选择和使用中应注意的一些问题。众所周知,电力二极管和晶闸管是成就了传统电力电子技术的电力电子器件。

第一节 概 述

一、电力电子器件的概念和特征

电力电子器件是指那些直接承担电能的变换或控制任务的电子器件。电力电子器件目前主要是指电力半导体器件。与普通半导体器件一样,所采用的主要材料仍然是硅。

电力电子器件具有如下特征:

- (1) 电力电子器件最重要的参数是其承受电压和电流的能力,其处理电功率的能力小至毫瓦级,大至兆瓦级。工作时一般都需要安装散热器。
- (2) 电力电子器件一般都工作在开关状态。
- (3) 电力电子器件的工作一般要由驱动电路提供强驱动信号来驱动。

二、电力电子器件的分类

按照电力电子器件能够被控制电路信号所控制的程度,可以将电力电子器件分为以下三种:

1. 不可控器件

不能用控制信号来控制其通断的电力电子器件,其导通和关断完全是由其在主电路中承受的电压和电流来决定。

2. 半控型器件

通过控制信号可以控制其导通而不能控制其关断的电力电子器件,器件的关断由主电路中承受的电压和电流来决定。这类器件主要是指晶闸管及其大部分派生器件。

3. 全控型器件

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,又称为自关断器件。这类器件品种很多,目前最常用的是绝缘栅双极晶体管(IGBT)和电力场效晶体管(简称为电力MOSFET),门极可关断晶闸管(GTO)在处理兆瓦级特大功率电能的场合应用也较多。

按照驱动信号的性质,又可以将电力电子器件(电力二极管除外)分为电流驱动型和电压驱动型两类:

- (1) 电流驱动型电力电子器件是指通过从控制端注入或者抽出电流来实现导通或者关断的

控制,称为电流驱动型(或者电流控制型)电力电子器件。

(2) 电压驱动型电力电子器件是指仅通过在控制端施加一定的电压信号就可实现导通或者关断控制,称为电压驱动型(或者电压控制型)电力电子器件,也称为场控器件。

此外,电力电子器件还可以按照器件内部电子和空穴两种载流子参与导电的情况分为单极型、双极型和复合型三类。

- ① 由一种载流子参与导电的器件称为单极型器件。
- ② 由电子和空穴两种载流子参与导电的器件称为双极型器件。
- ③ 由单极型器件和双极型器件集成混合而成的器件称为复合型器件,也称混合型器件。

第二节 电力二极管

电力二极管是一种不可控器件,自 20 世纪 50 年代初期就获得应用,当时也被称为半导体整流器。虽然是不可控器件,但其结构和原理简单,工作可靠,所以,直到现在电力二极管仍然大量应用于许多电气设备中,特别是快速恢复二极管和肖特基二极管,仍分别在中、高频整流和逆变以及低压高频整流场合,具有不可替代的地位。

一、电力二极管的外形结构和电气图形符号

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。电力二极管实际上是由一个面积庞大的 PN 结、两端引线以及封装材料组成的,图 1-1 示出了电力二极管的外形结构和电气图形符号。从外形上看,电力二极管主要有螺栓型和平板型两种封装。

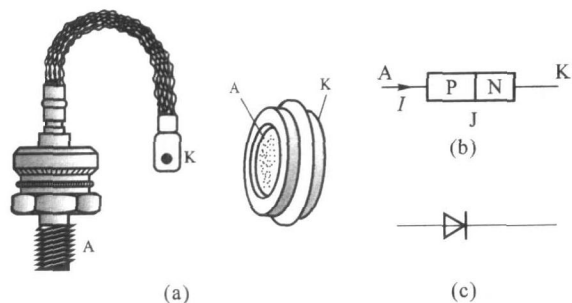


图 1-1 电力二极管的外形、结构和电气图形符号

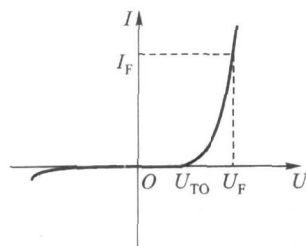


图 1-2 电力二极管的电压电流关系

二、电力二极管的基本特性

1. 静态特性

电力二极管的静态特性主要是指其电压电流关系,如图 1-2 所示。当电力二极管承受的正向电压大到一定值(门槛电压 U_{T0}),正向电流才开始明显增加,处于稳定导通状态。与正向电流 I_F 对应的电力二极管两端的电压 U_F 即为其正向电压降。当电力二极管承受反向电压时,只

有由少子引起的微小而数值恒定的反向漏电流。

2. 开关特性

因为结电容的存在,电力二极管在零偏置(外加电压为零)、正向偏置和反向偏置这三种状态之间转换的时候,必然经历一个瞬态过程。在这个瞬态过程中,PN结的一些区域需要一定时间来调整其带电状态,因而其电压-电流特性不能用前面的电压电流关系来描述,而是随时间变化的,这就是电力二极管的动态特性,并且往往专指反映通态和断态之间转换过程的开关特性。这个概念虽然由电力二极管引出,但可以推广至其他各种电力电子器件。

图1-3(a)给出了电力二极管由正向偏置转换为反向偏置时,其转换过程的波形。当原处于正向导通状态的电力二极管的外加电压突然从正向变为反向时,该电力二极管并不能立即关断,而是须经过一段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。这是因为正向导通时在PN结两侧储存的大量少子需要被清除掉以达到反向偏置稳态的缘故。

图1-3(b)给出了电力二极管由零偏置转换为正向偏置时,其转换过程的波形。可以看出,在这一动态过程中,电力二极管的正向压降也会先出现一个过冲 U_{FP} ,经过一段时间才趋于接近稳态压降的某个值(如2V)。这一动态过程时间称为正向恢复时间 t_{fr} 。

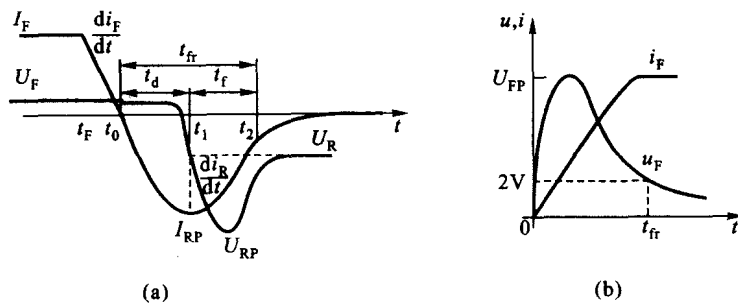


图1-3 电力二极管的转换过程波形

(a) 正向偏置转换为反向偏置 (b) 零偏置转换为正向偏置

3. 电力二极管的主要参数

(1) 正向平均电流 $I_{F(AV)}$

指电力二极管长期运行时,在指定的管壳温度(简称壳温,用 T_C 表示)和散热条件下,其允许流过的最大工频正弦半波电流的平均值。在此电流下,因管子的正向压降引起的损耗造成的结温升高不会超过所允许的最高工作结温,见主要参数(4)。这也是标称其额定电流的参数。

在选用电力二极管时,对这一参数还有以下三点应加以考虑:其一,正向平均电流是按照电流的发热效应来定义的,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电流定额,若有效值以 I_{VDN} 表示,则 $I_{VDN} = 1.57 I_{F(AV)}$, 并应留有一定的裕量。其二,当用在频率较高的场合时,电力二极管的发热原因除了正向电流造成的通态损耗外,其开关损耗也往往不能忽略。其三,当采用反向漏电流较大的电力二极管时,其断态损耗造成的发热效应也不小。

(2) 正向压降 U_p

指电力二极管在指定温度下,流过某一指定的稳态正向电流时对应的正向压降。有时候,其参数表中也给出在指定温度下流过某一瞬态正向大电流时电力二极管的最大瞬时正向压降。

(3) 反向重复峰值电压 U_{PRN}

指对电力二极管所能重复施加的反向最高峰值电压,往往按照电路中电力二极管可能承受的反向最高峰值电压的两倍来选定此项参数。

(4) 最高工作结温 T_{JM}

结温是指管芯 PN 结的平均温度,用 T_J 表示。最高工作结温是指在 PN 结不致损坏的前提下所能承受的最高平均温度,用 T_{JM} 表示。 T_{JM} 通常在 $120\text{ }^\circ\text{C} \sim 175\text{ }^\circ\text{C}$ 范围之内。

(5) 浪涌电流 I_{FSM}

指电力二极管所能承受的最大的连续一个或几个工频周期的过电流。

4. 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。在应用时,应根据不同场合的不同要求,选择不同类型的电力二极管。

(1) 普通二极管

普通二极管又称整流二极管,多用于那些开关频率不高的整流电路中。其正向电流额定值和反向电压额定值却可以达到很高,分别可达数千安和数千伏以上。

(2) 快恢复二极管

恢复过程很短的二极管被称为快恢复二极管,简称快速二极管。不论是由导通状态转换为截止状态,或由截止状态转换为导通状态,这个过程称为恢复,恢复过程很短,或者说在两种状态之间实现转换的速度非常快。快恢复二极管从性能上可分为快速恢复和超快速恢复两个等级。前者反向恢复时间为数百纳秒或更长,后者则在 $100\text{ }\mu\text{s}$ 以下,甚至达到 $20 \sim 30\text{ }\mu\text{s}$ 。

(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称为肖特基势垒二极管,简称为肖特基二极管。肖特基二极管在信息电子电路中早就得到了应用,但直到 20 世纪 80 年代以来,由于工艺的发展才得以在电力电子电路中广泛应用。肖特基二极管反向恢复时间很短($10 \sim 40\text{ }\mu\text{s}$),其开关损耗和正向导通损耗小,效率高;多用于 200 V 以下的低压场合,而且必须更严格地限制其工作温度。

第三节 半控型器件——晶闸管

晶闸管又称为可控硅整流器(SCR),以前简称为可控硅。在电力二极管开始得到应用后不久,1956 年美国贝尔实验室发明了晶闸管,由于其开通时刻可以控制,而且各方面性能均明显胜过以前的汞弧整流器,因而立即受到普遍欢迎,带动了整流电路的飞速发展,从此开辟了电力电子技术迅速发展和广泛应用的崭新时代。20 世纪 80 年代以来,各种性能更好的全控型器件相继出现,由于晶闸管能承受的电压和电流容量仍然是目前电力电子器件中最高的,而且工作可靠,因此在大容量的应用场合仍然具有比较重要的地位。

晶闸管还包括其许多类型的派生器件。本节将主要介绍普通晶闸管的工作原理、基本特性

和主要参数,然后对其各种派生器件也作一简要介绍。

一、晶闸管的结构与工作原理

从外形上来看,晶闸管主要有螺栓型和平板型两种封装结构,均引出阳极 A、阴极 K 和门极 (控制端)G 三个连接端。对于螺栓型封装,通常螺栓是其阳极,做成螺栓状是为了能与散热器紧密连接且安装方便。另一侧较粗的端子为阴极,细的为门极。平板型封装的晶闸管可由两个散热器将其夹在中间,其两个平面分别是阳极和阴极,引出的细长端子为门极。图 1-4 所示为晶闸管的外形结构和电气图形符号。

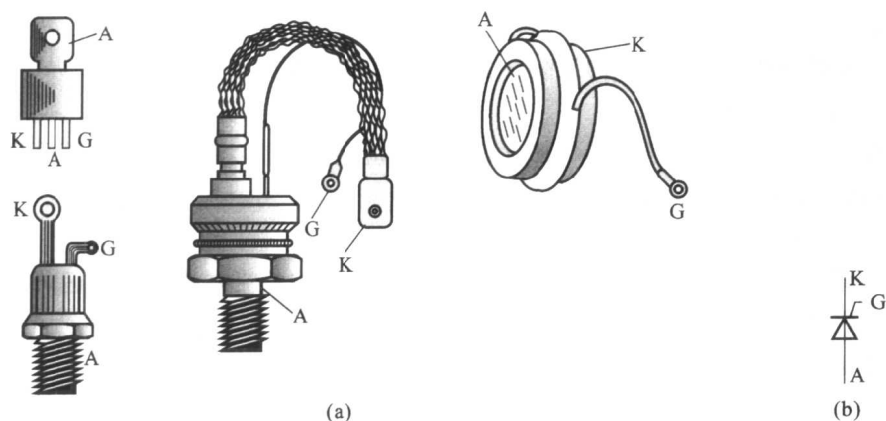


图 1-4 晶闸管的外形结构和电气图形符号

(a) 外形结构 (b) 电气图形符号

晶闸管内部是 PNP 四层半导体结构,分别命名为 P_1 、 N_1 、 P_2 、 N_2 四个区。如图 1-5(a) 所示。 P_1 区引出阳极 A, N_2 区引出阴极 K, P_2 区引出门极 G。四个区形成 J_1 、 J_2 、 J_3 三个 PN 结。如果正向电压(阳极高于阴极)加到器件上,则 J_2 处于反向偏置状态,器件 A、K 两端之间处于阻断状态,只能流过很小的漏电流。如果反向电压加到器件上,则 J_1 和 J_3 反偏,该器件也处于阻断状态,仅有极小的反向漏电流通过。晶闸管导通的工作原理可以用双晶体管模型来解释,如图 1-5(b) 所示。

晶闸管可视为由 $P_1N_1P_2$ 和 $N_1P_2N_2$ 构成的两个晶体管 VT1、VT2 组合而成,如图 1-5(b) 所示。如果外电路向门极注入驱动电流 I_G ,则 I_G 流入晶体管 VT2 的基极,即产生集电极电流 I_{C2} ,它构成晶体管 VT1 的基极电流,放大成集电极电流 I_{C1} ,又进一步增大 VT2 的基极电流,如此形成强烈的正反馈,最后 VT1 和 VT2 进入完全饱和状态,即晶闸管导通。此时如果撤掉外电路注入门极的电流 I_G ,晶闸管由于内部已形成了强烈的正反馈会仍然维持导通状态。如图 1-5(c) 所示。若要使晶闸管关断,必须去掉阳极所加的正向电压,或者给阳极施加反压,或者设法使流过晶闸管的电流降低到接近于零的某一数值以下,晶闸管才能关断。

向晶闸管门极注入驱动电流 I_G 的过程称为触发,产生注入门极的触发电流 I_G 的电路称为门极触发电路。由于通过其门极只能控制晶闸管开通,不能控制其关断,因此晶闸管被称为半控型器件。