



全国电力高职高专“十二五”规划教材
工科专业基础课系列教材

中国电力教育协会审定

电力电子技术

全国电力职业教育教材编审委员会 组编
任万强 袁 燕 主编

项目驱动式



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



全国电力高职高专“十二五”规划教材
工科专业基础课系列教材

中国电力教育协会审定

电力电子技术

全国电力职业教育教材编审委员会 组 编
任万强 袁 燕 主 编
张海云 皮微微 张 钢 副主编
李云松 郭雷岗 编 写
李建兴 主 审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本教材为全国电力高职高专“十二五”规划教材。

本教材以6个电力电子技术应用最广泛的项目案例为载体,由浅入深地介绍了电力电子技术中常用电力电子器件(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、绝缘门极晶体管)的工作原理及特性,电力电子电路(单相和三相可控整流电路、交流调压电路、逆变电路、直流斩波电路)的工作原理,触发电路(单结晶体管触发电路、锯齿波触发电路、集成触发器及数字触发器)及自关断器件的驱动与保护电路等内容。

本教材可作为高等职业技术学院、高等专科学校、职工大学的电气工程类专业、应用电子类专业、机电一体化专业教材,也可供工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术/任万强,袁燕主编;全国电力职业教育教材编审委员会组编. —北京:中国电力出版社,2014.8

全国电力高职高专“十二五”规划教材. 工科专业基础课系列教材

ISBN 978-7-5123-6108-9

I. ①电… II. ①任… ②袁… ③全… III. ①电力电子技术-高等职业教育-教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 158252 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014年8月第一版 2014年8月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 13印张 310千字
定价 26.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

全国电力职业教育教学教材编审委员会

主 任 薛 静

副 主 任 张辟鸿 赵建国 刘广峰 马晓民 杨金桃 王玉清
文海荣 王宏伟 朱 飙 何新洲 李启煌 王宏伟(女)
陶 明 杜中庆 杨建华 周一平

秘 书 长 鞠宇平 潘劲松

副秘书长 李建强 谭绍琼 武 群 黄定明 樊新军

委 员 (按姓氏笔画顺序排序)

丁 力	马敬卫	方舒燕	毛文学	王火平	王玉彬	王亚娟
王 宇	王俊伟	兰向春	冯 涛	任 剑	刘家玲	刘晓春
汤晓青	阮予明	齐 强	余建华	佟 鹏	吴金龙	吴斌兵
宋云希	张小兰	张进平	张惠忠	李建兴	李高明	李道霖
李勤道	陈延枫	屈卫东	罗红星	罗建华	郑亚光	郑晓峰
胡起宙	胡 斌	饶金华	倪志良	郭连英	盛国林	章志刚
黄红荔	黄益华	黄蔚雯	龚在礼	曾旭华	董传敏	解建宝
廖 虎	潘汪杰	操高城	戴启昌			

参 编 院 校

山东电力高等专科学校

山西电力职业技术学院

四川电力职业技术学院

三峡电力职业学院

武汉电力职业技术学院

江西电力职业技术学院

重庆电力高等专科学校

西安电力高等专科学校

保定电力职业技术学院

哈尔滨电力职业技术学院

安徽电气工程职业技术学院

福建电力职业技术学院

郑州电力高等专科学校

长沙电力职业技术学院

电力工程专家组

组 长 解建宝

副组长 李启煌 陶 明 王宏伟 杨金桃 周一平

成 员 (按姓氏笔画排序)

王玉彬 王 宇 王俊伟 刘晓春 余建华 吴斌兵

张惠忠 李建兴 李道霖 陈延枫 罗建华 胡 斌

章志刚 黄红荔 黄益华 谭绍琼

出版说明

为深入贯彻《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020）》精神，落实鼓励企业参与职业教育的要求，总结、推广电力类高职高专院校人才培养模式的创新成果，进一步深化“工学结合”的专业建设，推进“行动导向”教学模式改革，不断提高人才培养质量，满足电力发展对高素质技能型人才的需求，促进电力发展方式的转变，在中国电力企业联合会和国家电网公司的倡导下，由中国电力教育协会和中国电力出版社组织全国 14 所电力高职高专院校，通过统筹规划、分类指导、专题研讨、合作开发的方式，经过两年时间的艰苦工作，编写完成全国电力高职高专“十二五”规划教材。

本套教材分为电力工程、动力工程、实习实训、公共基础课、工科专业基础课、学生素质教育六大系列。其中，电力工程和工科专业基础课系列教材 40 余种，主要针对发电厂及电力系统、供用电技术、继电保护及自动化、输配电线路施工与维护等专业，涵盖了电力系统建设、运行、检修、营销以及智能电网等方面内容。教材采用行动导向方式编写，以电力职业教育工学结合和理实一体化教学模式为基础，既体现了高等职业教育的教学规律，又融入电力行业特色，是难得的行动导向式精品教材。

本套教材的设计思路及特点主要体现在以下几方面：

（1）按照“行动导向、任务驱动、理实一体、突出特色”的原则，以岗位分析为基础，以课程标准为依据，充分体现高等职业教育教学规律，在内容设计上突出能力培养为核心的教学理念，引入国家标准、行业标准和职业规范，科学合理设计任务或项目。

（2）在内容编排上充分考虑学生认知规律，充分体现“理实一体”的特征，有利于调动学生学习积极性。是实现“教、学、做”一体化教学的适应性教材。

（3）在编写方式上主要采用任务驱动、行动导向等方式，包括学习情境描述、教学目标、学习任务描述、任务准备、相关知识等环节，目标任务明确，有利于提高学生学习的专业针对性和实用性。

（4）在编写人员组成上，融合了各电力高职高专院校骨干教师和企业技术人员，充分体现院校合作优势互补，校企合作共同育人的特征，为打造中国电力职业教育精品教材奠定了基础。

本套教材的出版是贯彻落实国家人才队伍建设总体战略，实现高端技能型人才培养的重要举措，是加快高职高专教育教学改革、全面提高高等职业教育教学质量的具体实践，必将对课程教学模式的改革与创新起到积极的推动作用。

本套教材的编写是一项创新性、探索性的工作，由于编者的时间和经验有限，书中难免有疏漏和不当之处，恳切希望专家、学者和广大读者不吝赐教。

前言

本教材根据从事电力电子技术岗位(群)工作任务所需知识与技能,以真实设备为载体,采用模块化结构,基于任务驱动、理论与实际相结合的教学理念编写而成。全书以6个电力电子技术应用最广泛的项目案例为载体,设计了包括电力电子技术中的常用电力电子器件、电力电子电路、触发电路和自关断器件驱动保护等完整知识体系的11个教学任务。教材内容符合学生的认知规律,易于激发学生的学习兴趣。其特点表现在:

(1) 采用项目化结构,每个项目的内容既是独立的又有其明确的教学目标,并针对各任务教学目标的要求展开相关知识的介绍和任务实施,使教材内容的组织方式更加符合学生的认知规律,易于激发学生的学习兴趣,同时有利于学生掌握与生产技术有关的必要的基本技能,提高学生的动手能力。在内容的承载方式上,增加了直观的图形、波形,力求图文并茂,从而提高了教材的可读性。

(2) 面向工程现场,增加了电力电子装置的安装、调试、维护及故障处理等内容。

(3) 根据科学技术发展,合理更新教材内容,尽可能多地在教材中充实新知识、新技术、新设备和新材料等方面的内容,力求使教材具有较鲜明的时代特征。

(4) 在编写过程中贯彻国家关于职业资格证书与学生证书并重、职业资格证书制度与国家就业制度相衔接的政策精神,参考了有关行业的职业技能鉴定规范及中、高级维修电工等级考核标准,内容上注重基本知识和基本技能,理论分析以定性为主,突出概念,理论联系实际以求实用。

(5) 以现有教学设备和实验仪器为依托,在不增加大投资的前提下,实现教、学、做一体化教学。

本书由郑州电力高等专科学校任万强、武汉电力职业技术学院的袁燕任主编,并负责全书的总体设计;由安徽电气工程职业技术学院的张海云和郑州电力高等专科学校皮微微、张钢任副主编;郑州电力高等专科学校郭雷岗、李云松也参加了编写工作。本书绪论及项目一由任万强编写,项目二由袁燕编写,项目三由张海云编写,项目四由张钢编写,项目五由皮微微编写,项目六由郭雷岗(任务十)、李云松(任务十一)编写。同时李云松、郭雷岗还试做了本教材的11个任务,为全书提供了第一手信息。

根据编写组对高等职业教育理念的理解,在编写模式和内容安排上做了一些初步的尝试和探索,限于学识及水平的限制,书中不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

本教材参考学时为48~64学时,建议采用理论实践一体化教学,各项目的参考学时分配如下:

序号	项目	任 务	学时
1	绪论	—	2
2	项目一 单相可控整流与调光电路	任务一 认识晶闸管和单结晶体管 (4 学时) 任务二 晶闸管调光电路 (6 学时)	10~12
3	项目二 三相可控整流电路与大功率直流电源	任务三 触发电路 (6 学时) 任务四 三相可控整流电路 (6 学时)	12~16
4	项目三 直流斩波与开关电源	任务五 认识大功率晶体管和功率场效应晶体管 (2 学时) 任务六 开关电源 (6 学时)	8~10
5	项目四 交流调压与无级调速器	任务七 电风扇无级调速器 (4 学时)	4~6
6	项目五 谐振变频与感应加热电源	任务八 认识绝缘栅双极型晶体管 (2 学时) 任务九 中频感应加热电源 (4 学时)	8~10
7	项目六 脉冲宽度调制与变频器	任务十 认识变频器 (4 学时) 任务十一 变频器逆变电路 (4 学时)	8~12

编 者
2014 年 7 月

目 录

出版说明

前言

绪论	1
项目一 单相可控整流与调光电路	4
任务一 认识晶闸管和单结晶体管	5
任务二 晶闸管调光灯电路	18
项目总结	37
复习思考	37
项目二 三相可控整流电路与大功率直流电源	38
任务三 触发电路	39
任务四 三相可控整流电路	50
项目总结	77
复习思考	77
项目三 直流斩波与开关电源	80
任务五 认识大功率晶体管和功率场效应晶体管	81
任务六 开关电源	94
项目总结	110
复习思考	110
项目四 交流调压与无级调速器	112
任务七 电风扇无级调速器	113
项目总结	130
复习思考	131
项目五 谐振变频与感应加热电源	132
任务八 认识绝缘栅双极型晶体管	133
任务九 中频感应加热电源	141
项目总结	160
复习思考	161

项目六 脉冲宽度调制与变频器	162
任务十 认识变频器	163
任务十一 变频器逆变电路	174
项目总结	189
复习思考	189
附录 复习思考答案	190
参考文献	195

绪 论

一、什么是电力电子技术

电力电子技术是建立在电子学、电工学和控制学三各学科基础上的一门边缘学科。它横跨电子、电力和控制 3 个领域,主要研究各种电力电子器件,以及由电力电子器件所构成的各种电路或变流装置,以完成对电能的变换和控制。它运用弱电(电子技术)控制强电(电力技术),是强弱电相结合的新学科。电力电子技术是目前最活跃、发展最快的一门学科,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,已逐步发展成为一门多学科互相渗透的综合性技术学科。

二、电力电子技术的发展

电力电子技术的发展是以电力电子器件为核心发展起来的。

从 1957 年第一只晶闸管诞生至 20 世纪 80 年代为传统电力电子技术阶段。此期间主要器件是以晶闸管为核心的半控型器件,由最初的普通晶闸管逐渐派生出快速晶闸管、双向晶闸管等许多品种,形成一个晶闸管大家族。器件的功率越来越大,性能越来越好,电压、电流、 di/dt 、 du/dt 等各项技术参数均有很大提高。目前,单只晶闸管的容量已达 8000V、6000A。

三、电力电子技术的主要功能

电力电子技术的功能是以电力电子器件为核心,通过对不同电路的控制来实现对电能的转换和控制。其基本功能如下:

(1) 可控整流。把交流电变换为固定或可调的直流电,也称为 AC/DC 变换。

(2) 逆变。把直流电变换为频率固定或频率可调的交流电,也称为 DC/AC 变换。其中,把直流电能变换为 50Hz 的交流电反送交流电网称为有源逆变,把直流电能变换为频率固定或频率可调的交流电供给用电器的则称为无源逆变。

(3) 交流调压与频率变换。把交流电压变换为大小固定或可调的交流电压称为交流调压。把固定或变化频率的交流电变换为频率可调的交流电称为变频(频率变换)。交流调压与变频也称为 AC/AC 变换。

(4) 直流斩波。把固定的直流电变换为固定或可调的直流电,也称为 DC/DC 变换。

(5) 无触电功率静态开关。接通或断开交直流电流电路,用于取代接触器、继电器。

上述变换功能通称为变流,故电力电子技术通常也称为变流技术。实际应用中,可将上述各种功能进行组合。

四、电力电子技术的应用

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,涉及容量可达几瓦至 1GW 不等,工作频率也可由几赫至 100MHz。

1. 一般工业

工业中大量应用各种交直流电动机。直流电动机有良好的调速性能。为其供电的可控整流电源或直流斩波电源都是电力电子装置。近年来,由于电力电子变频技术的迅速发展,使得交流电动机的调速性能可与直流电动机相媲美,交流调速技术大量应用并占据主导地位。大至数千千瓦的各种轧钢机,下到几百瓦的数控机床的伺服电动机,都广泛采用电力电子交直流调速技术。一些对调速性能要求不高的大型送风机等,近年来也采用了变频装置,以达到节能的目的。还有一些不调速的电动机为了避免启动时的电路冲击而采用了软启动装置,这种软启动装置也是电力电子装置。

电化学工业大量使用直流电源,电解铝、电解食盐水等都需要大容量整流电源,电镀也需要整流电源。

电力电子技术还大量用于冶金工业中的高频或中频感应加热电源、淬火电源等场合。

2. 交通运输

电气化铁道中广泛采用电力电子技术。电力机车中,直流机车中采用整流装置,交流机车采用变频装置。直流斩波器也广泛用于铁道车辆。在磁悬浮列车中,电力电子技术更是一项关键技术,除牵引电动机传动外,车辆中的各种辅助电源也都离不开电力电子技术。

电动汽车的电动机靠电力电子装置进行电力变换和驱动控制,其蓄电池的充电也离不开电力电子装置。一台高级汽车中需要许多控制电动机,它们也要靠变频器和斩波器驱动并控制。

飞机、船舶需要很多不同要求的电源,因此航空和航海都离不开电力电子技术。

如果把电梯也算做交通运输工具,那么它也需要电力电子技术。以前的电梯大都采用直流调速系统,而近年来交流调速已成为主流。

3. 电力系统

电力电子技术在电力系统有着非常广泛的应用。据估计,发达国家在用户最终使用的电能中,有 60% 以上的电能至少经过一次以上的电力电子变流装置的处理。电力系统在通向现代化的进程中,电力电子技术是关键技术之一。可以毫不夸张地说,如果离开电力电子技术,电力系统的现代化是不可想象的。

直流输电在长距离、大容量输电时有很大的优势,其送电端的整流、受电端的逆变都采用晶闸管变流装置。近年发展起来的柔性交流输电也是依靠电力电子装置才得以实现的。

无功补偿和谐波抑制对电力系统有重要的意义。晶闸管控制电抗器 (TCR)、晶闸管投切电容器 (TSC) 都是重要的无功补偿装置。近年来出现的静止无功发生器 (SVG)、有源电力滤波器 (APF) 等新型电力电子装置具有更为优越的无功功率和谐波补偿的性能。在配电网,电力电子装置还可用于防止配电网瞬时停电、瞬时电压跌落、闪变等,以进行电能质量控制,改善供电质量。

在变电站中,给操作系统提供可靠的交直流操作电源,给蓄电池充电等都需要电力电子装置。

4. 电子装置用电源

各种电子装置一般都需要不同电压等级的直流电源供电。通信设备中的程控交换机所用的直流电源采用全控型器件的高频开关电源。大型计算机所需的工作电源、微型计算机内部的电源也都采用高频开关电源。在各种电子装置中,以前大量采用线性稳压电源供电,由于电子装置用开关电源体积小、质量轻、效率高,现在已逐步取代了线性电源。因为各种信息技术装置都需要电力电子装置提供电源,所以可以说信息电子技术离不开电力电子技术。

5. 家用电器

种类繁多的家用电器,小至一台调光灯具、高频荧光灯具,大至通风取暖设备、微波炉以及众多电动机驱动设备都离不开电力电子技术。

电力电子技术广泛用于家用电器使得电力电子技术与人们的生活变得十分贴近。

6. 其他

不间断电源(UPS)在现代社会中的作用越来越重要,用量也越来越大。目前,UPS在电力电子产品中已占有相当大的份额。

以前电力电子技术的应用偏重于中、大功率,现在,在1kW以下,甚至几十瓦以下的功率范围内,电力电子技术的应用也越来越广,其地位也越来越重要,这已成为一个重要的发展趋势,值得引起人们的注意。

总之,电力电子技术的应用范围十分广泛,从人类对宇宙和大自然的探索,到国民经济的各个领域,再到人们的衣食住行,到处都能感受到电力电子技术的存在。

五、本教材的内容介绍和使用说明

本书内容分六个项目:

项目一为单相可控整流与调光电路,主要讲述晶闸管元件的工作原理、特性及由其组成的单相半波可控整流电路工作原理、单结晶体管触发电路工作原理。

项目二为三相可控整流电路与大功率直流电源,主要讲述可关断晶闸管的工作原理及驱动电路、单相桥式整流电路、单相有源逆变电路。

项目三为直流斩波与开关电源,主要讲述电力晶体管、电力场效应晶体管的工作原理及驱动电路、DC/DC变换电路和工作原理、保护电路以及开关电源典型故障分析。

项目四为交流调压与无级调速器,主要讲述双向晶闸管的工作原理及特性、触发电路、交流调压电路的工作原理。

项目五为谐振变频与感应加热电源,主要讲述三相半波和三相桥式可控整流电路、单相并联谐振逆变电路、锯齿波触发电路和集成触发器、触发电路与主电路电压的同步以及中频感应加热装置的安装、调试,简单的故障维修方法。

项目六为脉冲宽度调制与变频器,主要讲述绝缘栅双极型晶体管元件,PWM调制型逆变电路,变频器的组成、工作原理,变频器的应用。

不同院校可根据不同专业、就业方向和课时来选择其中一个或几个项目作为教学内容。如弱电类专业(如电子技术等)可选择项目一、三、四中的部分内容,强电专业(如电气化铁道技术等)可选择项目一、二、三、六中的部分内容,强电专业(如工业电气自动化技术等)可选择项目一、二、三、四、五、六中的部分内容。

项目一

单相可控整流与调光电路

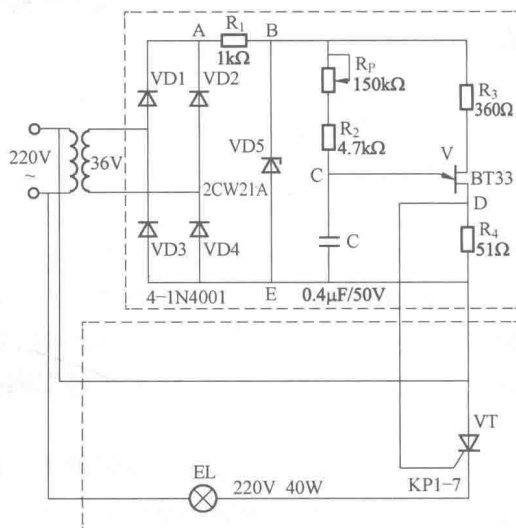
调光灯在日常生活中的应用非常广泛,其种类也很多,旋动调光旋钮可以方便地调节灯泡的亮度,如图1-1所示。

调光灯[如图1-1(a)所示]是通过改变加在灯泡两端电压的大小来实现调光的。常用的调光方法有可变电阻调光法、调压器调光法、脉冲占空比调光法、晶闸管相控调光法等,目前使用最为广泛的调光方法是晶闸管相控调光法[如图1-1(b)所示]。该调光法是通过控制晶闸管的导通角,改变输出电压的大小,从而实现调光的。晶闸管相控调光电路也是中级维修电工职业资格考核内容。

该项目分解成认识晶闸管和单结晶体管及晶闸管调光电路两个任务。



(a)



(b)

图1-1 调光灯

(a) 外形; (b) 调光晶闸管相控电路

【学习目标】

- (1) 认识普通晶闸管、可关断晶闸管和单结晶体管器件。
- (2) 学会选用和检测普通晶闸管、双向晶闸管和单结晶体管的方法。
- (3) 能分析普通晶闸管、双向晶闸管和单结晶体管的工作原理。
- (4) 能分析单相半波整流电路和单结晶体管触发电路的工作原理。

- (5) 了解触发电路与主电路电压同步的基本概念。
- (6) 学会调光灯电路的安装与调试技能。
- (7) 在小组合作实施项目过程中培养与人合作的精神。

【教学导航】

教	知识重点	(1) 单相可控整流电路的工作原理 (2) 选择主电路晶闸管的方法 (3) 单结晶体管触发电路的工作原理
	知识难点	选择主电路晶闸管的方法
	推荐教学方式	由工作任务入手, 通过对单结晶体管触发电路、单相半波整流电路实验, 让学生从外到内、从直观到抽象逐渐理解电力电子技术元件、电路及控制
	建议学时	12 学时
学	推荐学习方法	任务驱动、理论与实践相结合
	必须掌握的理论知识	(1) 单相桥式全控整流电路的工作原理, 数值计算 (2) 单相桥式半控整流电路的工作原理, 数值计算 (3) 单结晶体管触发电路的工作原理, 电路元件选择
	必须掌握的技能	(1) 万用表测试晶闸管和单结晶体管的好坏 (2) 学会选择主电路晶闸管的方法

任务一 认识晶闸管和单结晶体管

【任务目标】

1. 观察普通晶闸管和单结晶体管的外形, 认识这两种器件的外形结构、端子及型号。
2. 通过测试会判别器件的端子、判断器件的好坏, 并能通过原理说明原因。
3. 通过选择器件, 掌握器件的基本参数, 初步具备成本核算意识。

【任务描述】

调光灯是一种最简单的电力电子装置。在学习该电路前, 先认识调光灯电路中常用的器件, 主要有普通晶闸管、单结晶体管、二极管、电阻、电容等。本任务主要认识普通晶闸管、双向晶闸管、单结晶体管器件, 为分析调光灯电路和其他电力电子电路打下基础。

【相关知识】

一、认识功率二极管

功率二极管又称为电力二极管, 属于不可控器件, 由电源主回路控制其通、断状态。由于其结构和工作原理简单, 工作可靠, 因而在将交流电转换为直流电, 且不需要调压的场合获得广泛应用, 如交一直一交变频的整流、大功率的直流电源等。

1. 功率二极管的工作原理

功率二极管是以 PN 结为基础的, 实际上是由一个面积较大的 PN 结和两端引线封装组成的。功率二极管的结构和图形符号如图 1-2 所示。

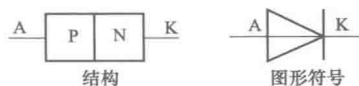


图 1-2 功率二极管的结构和图形符号

功率二极管主要有螺栓型和平板型两种,如图 1-3 所示。

功率二极管和电子电路中的二极管工作原理一样,即若二极管处于正向电压作用下,则 PN 结导通,正向管压降很小;反之,若二极管处于反向电压作用下,则 PN 结截止,仅有极小的可忽略的漏电流流过二极管。由实验,可得功率二极管的伏安特性曲线,如图 1-4 所示。

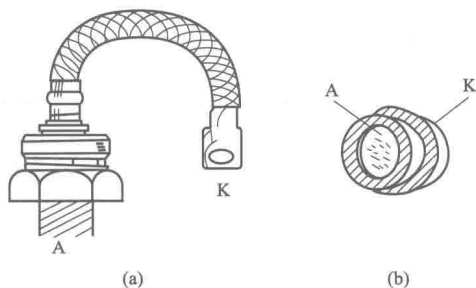


图 1-3 功率二极管的外形

(a) 螺栓型; (b) 平板型

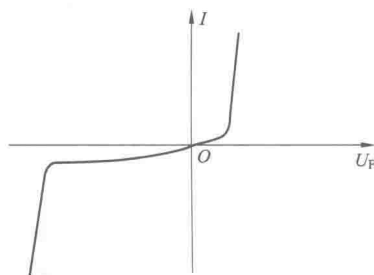


图 1-4 功率二极管的伏安特性曲线

2. 功率二极管的主要参数

(1) 正向平均电流 $I_{F(av)}$ 。功率二极管的正向平均电流 $I_{F(av)}$ 是指在规定的管壳温度和散热条件下允许通过的最大工频半波电流的平均值,元件标称的额定电流就是这个电流。实际应用中,如功率二极管所流过的最大有效电流为 I ,则其正向平均电流一般选择为

$$I_{F(av)} \geq (1.5 \sim 2) \frac{I}{1.57} \quad (1-1)$$

式中 1.5~2——安全系数;

1.57——波形系数。

(2) 正向压降 U_F 。正向压降 U_F 是指在规定温度下,流过某一稳定正向电流时所对应的正向压降。

(3) 反向重复峰值电压 U_{RRM} 。反向重复峰值电压是功率二极管能重复施加的反向最高电压,通常是其雪崩击穿电压 U_B 的 2/3。一般在选用功率二极管时,以其在电路中可能承受的反向峰值电压的 2 倍来选择反向重复峰值电压。

(4) 反向恢复时间 t_{rr} 。反向恢复时间是指功率二极管从所施加的反向偏置电流降至零起到恢复反向阻断能力为止的时间。

3. 功率二极管的主要类型

(1) 整流二极管。整流二极管多用于开关频率不高的场合,一般开关频率在 1kHz 以下。整流二极管的特点是电流额定值和电压额定值可以达到很高,一般为几千安和几千伏,但反向恢复时间较长。

(2) 快速恢复二极管。快速恢复二极管的特点是恢复时间短,尤其是反向恢复时间短,一般在 $5\mu s$ 以内,可用于要求很小反向恢复时间的电路中,如用于与可控开关配合的高频电路中。

(3) 肖特基二极管。肖特基二极管是以金属和半导体接触形成的势垒为基础的二极管,其反向恢复时间更短,一般为 10~40ns。肖特基二极管在正向恢复过程中不会有明显的电

压过冲,在反向耐压较低的情况下正向压降也很小,明显低于快速恢复二极管,因此,其开关损耗和正向导通损耗都很小。肖特基二极管的不足是,当所承受的反向耐压提高时,其正向电压有较大幅度提高。它适用于较低输出电压和要求较低正向管压降的换流器电路中。

二、认识晶闸管

由于功率二极管是不可控器件,因而使用功率二极管整流电路时有很大的局限性。当输入的交流电压一定时,其输出的直流电压也是一个固定值,不能调节。而在实际使用中,有很多情况要求直流电压能够调节,即具有可控性。晶闸管正是为满足这一要求应运而生的。晶闸管是一种半控型电力电子器件,即其导通可控,关断由流过晶闸管的电流小于其维持电流 I_H 时自动关断。

1. 晶闸管的结构及类型

晶闸管是一种大功率半导体变流器件,具有 3 个 PN 结,共分 4 层结构。其外形、结构和图形符号如图 1-5 所示。由最外的 P1 层和 N2 层引出两个电极,分别为阳极 A 和阴极 K,由中间 P2 层引出的电极是门极 G (也称控制极)。

常用的晶闸管有螺栓式和平板式两种,如图 1-5 (a) 所示。晶闸管在工作过程中会因损耗而发热,因此一般安装散热器。螺栓型晶闸管靠阳极(螺栓)拧紧在铝制散热器上,可自然冷却;平板型晶闸管由两个相互绝缘的散热器夹紧,靠冷风冷却。此外,晶闸管的冷却方式还有水冷、油冷等。额定电流大于 200A 的晶闸管都采用平板型结构。

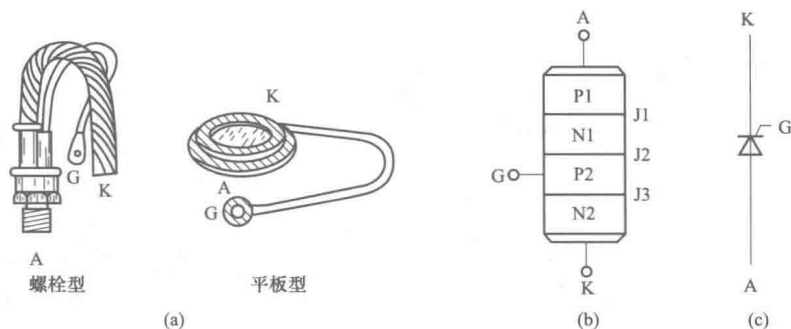


图 1-5 晶闸管的外形、结构和图形符号

(a) 外形; (b) 结构; (c) 图形符号

2. 晶闸管的工作原理

现通过如图 1-6 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主电路(能源消耗的主要通路);由电源 E_g 、开关 S、晶闸管的门极和阴极组成控制电路(能源消耗的次要通路,但对主电路的工作起控制作用),

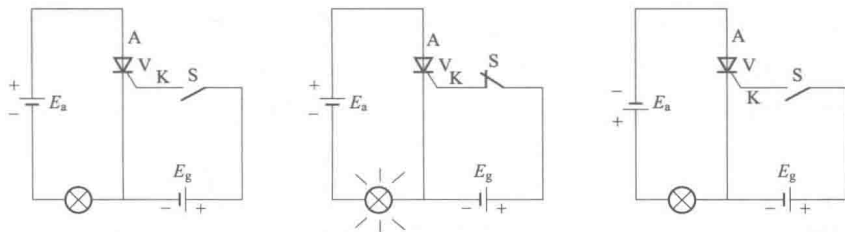


图 1-6 晶闸管导通试验电路图