



机电类**新技师**培养规划教材

电力电子器件应用

DIANLI DIANZI QIJIAN YINGYONG

中国机械工业教育协会

组编

全国职业培训教学工作指导委员会

机电专业委员会

孙汉林 胡煜慧 主编

赠送电子教案



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

机电类新技师培养规划教材

电力电子器件应用

中国机械工业教育协会

全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会

组编

孙汉林 胡煜慧 主编



机械工业出版社

本教材是根据中国机械工业教育协会全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织制定的技师教学计划和教学大纲编写的。本教材的主要内容包括：电力电子器件，电力电子器件的驱动，整流电路，交流电力电子开关与交流调压电路，直流电压变换电路，逆变与变频电路。

本教材的教学计划和大纲是依据《国家职业标准》中对技师的要求制定的，内容立足岗位，以“必需、够用”为度，符合职业教育的特点和规律。本教材配有教学计划和大纲、电子教案、习题及其解答，可供高级技校、技师学院、高等职业院校等教育培训机构使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力电子器件应用/孙汉林, 胡煜慧主编. —北京: 机械工业出版社, 2008.7

机电类新技师培养规划教材

ISBN 978-7-111-24506-3

I. 电… II. ①孙…②胡… III. 电力系统—电子器件—技术培训—教材
IV. TN303

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 096004 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 王英杰 陈玉芝 责任编辑: 陈玉芝

版式设计: 霍永明 责任校对: 王 欣

封面设计: 王伟光 责任印制: 李 妍

北京富生印刷厂印刷

2008 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 9.75 印张 · 237 千字

0001—4000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-24506-3

定价: 18.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379761

封面无防伪标均为盗版

机电类新技师培养规划教材 编审委员会

主 任 郝广发 季连海

副 主 任 刘亚琴 徐 彤 周学奎 何阳春 林爱平 李长江 付志达

李晓庆 王 军 赵杰士 李 涛 刘大力 张跃英 董桂桥

委 员 于正明 王 德 王兆山 王英杰 冯小平 李全利 许炳鑫

张正明 杨君伟 何月秋 何秉戌 周冠生 孟广斌 郝晶卉

贾恒旦 徐卫东 凌爱林 奚 蒙 章振周 梁文侠 喻勋良

曾燕燕

策 划 组 王英杰 徐 彤 何月秋 荆宏智

本书主编 孙汉林 胡煜慧

本书参编 周月琴 侯 利

本书主审 王 莉

前言

随着全球知识经济的快速发展,我国工业化建设也呈现迅猛发展之势,因而技术工人十分缺乏。为了顺应形势的发展要求,我国出台了一系列大力发展职业教育的政策:劳动和社会保障部颁布了最新《国家职业标准》,继续实行职业准入制度,并将国家职业资格由三级(初、中、高)改为五级(初、中、高、技师、高级技师),对技术工人的工作内容、技能要求和相关知识进行了重新界定。教育部根据国务院“大力开展职业教育”的精神进行了职业教育的改革,高职院校、中职学校相应地改制、扩招,以培养更多的技术工人。

经过几年的努力,技术工人在数量上的矛盾在一定程度上得到缓解,但在结构比例上的矛盾突显出来。高级工、技师、高级技师等高技能人才在技术工人中的比重远远低于发达国家,而且他们年龄普遍偏大,文化程度偏低,学习高新技术比较困难。为打破这一局面,加快数量充足、结构合理、素质优良的技术技能型、复合技能型和知识技能型高技能人才的培养,劳动和社会保障部提出的“新技师培养带动计划”,即在完成“3年50万”新技师培养计划的基础上,力争“十一五”期间在全国培养技师和高级技师190万名,培养高级技工700万名,使我国从“世界制造业大国”逐步转变为“世界制造业强国”。为此,劳动和社会保障部决定:除在企业中培养和评聘技师外,要探索出一条在技师学院中培养技师的道路来。中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会经研究决定,制定机电行业的技师培养方案。

在上述原则的指导下,中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织30多所高级技校、技师学院和企业培训中心等单位,经过广泛的调研论证,决定首批选定五个工种(职业)——模具工、机修钳工、电气维修工、焊工、数控机床操作工作为在技师学院培养技师的试点。对学制、培养目标、教学原则、专业设置、教学计划、教学大纲、课程设置、学时安排、教材定位、编写方式等,参照《国家职业标准》中相关工种对技师和高级技师的要求,结合各校、各地区企业的实际,经过历时三年的充分论证,完成了教学计划和教学大纲的制定和审定工作,并明确了教材编写的思想。

使用本套“机电类新技师培养规划教材”在技师学院培养技师,招收的学员必须符合的条件是:已取得高级职业资格(国家职业资格三级)的高级技校的毕业生,或具有高级职业资格证书的本职业或相近职业的人员。本套教材的编写充分体现“教、学、做”合一的职教办学原则,其特点如下:

(1) 教材内容新,贴合岗位实际,满足职业鉴定要求。当今国际经济大格局的进程加快了各类型企业的先进加工技术、先进设备和新材料的使用,作为技师必须适应这种要求,教材中也相应增加了新知识、新技术、新工艺、新设备等方面的内容。另外,教材的内容以《国家职业标准》中对技师和高级技师的知识技能要求为基础,设置的实训项目或实例从岗位的实际需要出发,是生产实践中的综合性、典型性的技术问题,既最大限度地体现学以致用的目的,又满足学生毕业考工取得职业资格证书的需要。

(2) 针对每个工种(职业),均编写一本《相关工种技能训练》。随着全球化进程的加

快,我国的生产力发展水平和职业资格体系应与国际相适应,因此,技师应该是具有高超操作技能的复合型人才。例如,模具工技师不应仅是模具工方面的行家里手,还应懂得车、铣、数控、磨、刨、镗和线切割、电火花等加工,以适应现代制造业的发展趋势,故此《相关工种技能训练(模具工)》中,就包含上述内容。其他工种与此类似。

(3) 理论和技能有机结合。劳动和社会保障部颁布的“新技师培养带动计划”中明确指出“建立校企合作培养高技能人才”的制度,现在许多技师学院从企业中聘请具有丰富实践经验的工程技术人员作为技能课教师,各专题理论与实践融合在一起的编写方式,更适于这种教学制度。

(4) 单独编写了两本公共课教材——《实用数学》和《应用文写作》。新时代对技师的要求不仅是技术技能型人才,还应是知识技能型甚至是复合技能型的高技能人才,有一定的数学理论基础和写作能力是新技师必备的素质。《实用数学》运用微积分知识分析解决生产中的实际问题,少推理,重应用;《应用文写作》除介绍、普通事务文书、经济文书、法律文书、日常事务文书的写法外,还教授科技文书的写法,其中科技论文的写法对于技师论文的写作会有很大裨益。

(5) 本套教材配有电子教案。电子教案包括教学计划、教学大纲、每章的培训目标、内容简介、重点难点,教师上课的板书,本章小结、配套习题及答案等。

(6) 练习题是国家题库及各地鉴定考题的综合归纳和提升。

本教材《电力电子器件应用》主要包括三大方面的内容。一是电力电子器件的工作原理、特点和应用,主要介绍的是现代电力电子器件的有关知识;二是电力电子器件应用技术,分别介绍了 AC/DC、DC/DC、AC/AC、DC/AC 四大类基本变流电路;三是相关实验,这也是本教材的重点,实验内容与工程实际紧密相连。由于教学时数的限制,电力电子技术应用的另一部分内容——电力电子装置,本教材没有单独设章讲述。

《电力电子器件应用》是一门实用性很强的技术基础课,实验占据着非常大的分量,因此在学习的过程中,必须要注重实际应用,有条件的院校,从元器件的安装到调试最好让学生自己动手,自己解决实验中出现的问题,以促使学生加强对电力电子器件应用的感性认识,锻炼学生的动手能力。

本教材在使用前必须具备电工基础和电子技术基础的知识;并熟练掌握万用表、双踪示波器的使用。

本教材由孙汉林、胡煜慧任主编。绪论、第二章、第五章、第六章由胡煜慧编写,第一章由孙汉林编写,第三章由周月琴编写,第四章由侯利编写。全书插图由胡煜慧绘制。全书大纲及统稿由胡煜慧完成。本书由王莉任主审。

本套教材的编写得到了各技师学院、高级技工学校领导的高度重视和大力支持,编写人员都是职业教育教学一线的优秀教师,保障了这套教材的质量。在此,对为这套教材出版给予帮助和支持的所有学校、领导、老师表示衷心的感谢!

由于编写时间和编者水平所限,书中难免存在不足或错误,敬请广大读者不吝赐教!

目 录

前言

绪论

- 一、电力电子器件的概念和特征 1
- 二、电力电子器件的分类 2
- 三、电力电子器件的发展历程 2
- 四、电力电子器件的应用 4

第一章 电力电子器件

第一节 不可控器件——功率二极管

- 一、工作原理 6
- 二、功率二极管的伏安特性 7
- 三、功率二极管的主要参数和选用 7
- 四、功率二极管的主要类型 8

第二节 半控型器件——晶闸管

- 一、晶闸管的结构和工作原理 9
- 二、晶闸管的伏安特性 10
- 三、晶闸管的主要参数和选用 11
- 四、晶闸管的派生器件 15
- 五、晶闸管的命名和简单测试 16

实验 晶闸管的简易测试及导通关断条件

第三节 全控型器件

- 一、GTO 晶闸管 18
- 二、GTR 20
- 三、功率 MOSFET 23
- 四、IGBT 27
- 五、其他新型电力电子器件 31

实验一 GTR 和功率 MOSFET 的简易测试

实验二 全控型器件特性实验

第四节 电力电子器件的保护

- 一、过电流保护 39
- 二、过电压保护 41
- 三、缓冲电路 42
- 四、散热 43

复习思考题

第二章 电力电子器件的驱动

第一节 晶闸管触发电路

- 一、晶闸管触发电路概述 44
- 二、简易触发电路 45
- 三、单结晶体管触发电路 46
- 四、锯齿波同步移相触发电路 49
- 五、集成触发器 52

实验一 简易触发电路

实验二 单结晶体管触发电路

实验三 锯齿波同步移相触发电路

实验四 西门子 TCA785 触发电路

第二节 全控型器件的驱动电路

- 一、GTO 晶闸管门极驱动电路 61
- 二、GTR 基极驱动电路 62
- 三、功率 MOSFET 栅极驱动电路 65
- 四、IGBT 栅极驱动电路 65

实验一 GTO 晶闸管驱动与保护电路

实验二 功率 MOSFET 驱动电路

实验三 IGBT 驱动电路

复习思考题

第三章 整流电路

第一节 单相可控整流电路

- 一、单相半波可控整流电路 74
- 二、单相桥式全控整流电路 78
- 三、单相桥式半控整流电路 82

实验一 单相桥式半控整流电路

实验二 单相桥式全控整流电路

第二节 三相可控整流电路

- 一、三相半波可控整流电路 86
- 二、三相桥式全控整流电路 89

实验 三相桥式全控整流电路

第三节 整流器件的选择

- 一、整流器件额定电压的确定 94

二、晶闸管额定电流的确定	94	一、基本直流电压变换电路	116
复习思考题	95	二、复合直流电压变换电路	118
第四章 交流电力电子开关与		第三节 直流电压变换电路的	
交流调压电路	96	PWM 控制	119
第一节 交流电力电子开关电路	96	一、PWM 控制器集成芯片 SG3525	
一、晶闸管交流开关的基本形式	96	简介	119
二、固态开关	97	二、SG3525 的工作原理	121
第二节 单相交流调压电路及调功电路	98	第四节 直流电压变换电路的应用	123
一、单相交流调压电路的工作原理	98	一、直流电压变换电路在数控机床上	
二、几种交流调压的触发电路	101	的应用	123
三、交流调功电路	102	二、开关电源	125
实验一 单结晶体管触发的单相交流		实验 直流电压变换电路	128
调压电路	104	复习思考题	131
实验二 单相交流调功电路	106	第六章 逆变与变频电路	132
实验三 KC06 触发的单相交流调压		第一节 逆变与变频	132
电路	107	一、有源逆变	132
第三节 三相交流调压电路	109	二、逆变电路的基本工作原理	136
一、三相交流调压电路	109	三、电压型逆变电路	137
二、三相交流调压电路应用实例	111	四、电流型逆变电路	138
复习思考题	112	五、变频电路	139
第五章 直流电压变换电路	114	实验 IGBT 单相并联逆变电路	140
第一节 直流电压变换电路的基本工作		第二节 PWM 型变频电路	142
原理及分类	114	一、PWM 型变频电路概述	142
一、直流电压变换电路的基本		二、单相 PWM 型变频电路	143
工作原理	114	实验 单相交-直-交变频电路	144
二、直流电压变换电路的分类	115	复习思考题	145
第二节 直流电压变换电路	116	参考文献	146

绪 论

电力电子器件应用技术是集电子学、电力学和控制学为一体而又相对独立的一门学科，现今已成为高科技的一个分支，而且还是许多高科技的支撑。要掌握电力电子器件应用技术就必须熟悉电力电子器件的有关知识。

一、电力电子器件的概念和特征

在电气设备或电力系统中，直接承担电能变换或控制任务的电路称为主电路。在直接用于处理电能的主电路中，实现电能的变换和控制的电子器件称为电力电子器件。电力电子器件之所以和“电力”二字相连，是因为最初它主要应用于电气工程和电力系统，其作用是根据负荷的特殊要求，对市电、强电进行各种形式的变换（主要是频率的变换），使电气设备得到最佳的电能供给，使电力系统处于最佳的运行状态，从而使电气设备和电力系统实现高效、安全、经济的运行。电力电子器件发展到今天，不再只涉及“电力”的变换与应用，而且还涉及化学能电源（电池）、太阳能变换等领域。自 20 世纪 50 年代以来，电力半导体器件已取代了电真空器件。因此，目前的电力电子器件指的是电力半导体器件。与普通半导体器件一样，电力半导体器件所采用的主要材料仍然是硅。

与处理信息的电子器件相比，电力电子器件的一般特征为：

1. 处理电功率的能力大

电力电子元件处理电功率的能力，一般远大于处理信息的电子器件。电力电子器件能够承受高电压和大电流，所以，电压和电流是电力电子器件的两个最重要参数。

2. 工作在开关状态

电力电子器件处理的电功率较大，所以为了减少损耗，提高效率，电力电子器件在工作时处于开关状态。导通时阻抗很小，接近于短路，两端的压降接近于零，而电流由外电路决定；阻断时阻抗很大，接近于断路，电流几乎为零，而管子两端的电压由外电路决定。在模拟电子电路中，电器元件一般都工作在线性放大状态。虽然数字电路中电子器件也工作在开关状态，但其开关状态只用于表示不同的信息。所以，常将一个电力电子器件或外特性像一个开关的几个电力电子器件的组合称为电力电子开关。广义上讲，电力电子开关也指由电力电子器件组成的在电力系统中起开关作用的电气装置。

3. 需要由信息电子电路来控制

由于电力电子器件处理的电功率较大，因此不能直接用普通的电子电路信号来控制电力电子器件的导通或关断，而是需要一个中间环节对普通的电子电路信号进行放大处理，从而实现弱电对强电的控制，这就是所谓的电力电子器件的驱动电路。

4. 需要安装散热器

电力电子器件虽然工作在开关状态，但其在导通或阻断状态下，并不是处于理想的短路或开路。加在电力电子器件上的电压和流过它的电流较大，所以，导通时器件上有一定的通态压降，形成通态损耗；阻断时器件上有微小的断态漏电流流过，形成断态损耗。在器件开通或关断的转换过程中产生开通损耗和关断损耗，统称为开关损耗。对某些器件来讲，驱动

电路向其注入的功率也是造成器件发热的原因之一。通常电力电子器件的断态漏电流极小,因而通态损耗是器件功率损耗的主要因素;器件开关频率较高时,开关损耗会随之增大而可能成为器件功率损耗的主要因素。因此,为了使电力电子器件不至于因损耗导致器件温度过高而损坏,不仅器件在封装时要安装散热器,而且还要考虑器件在工作时散热器的安装问题。

二、电力电子器件的分类

1. 按器件被控程度分类

按照器件被控制信号所控制的程度,电力电子器件可分为以下三类:

(1) 不可控器件 这类器件一般为两端器件,一端是阳极,另一端是阴极。与信息电子电路中的二极管一样,具有单向导电性。其开关操作仅取决于其主电路中施加在阳、阴极间的电压和流过它的电流。正向电压使其导通,负向电压使其关断。流过它的电流是单方向的。不可控器件不能用控制信号来控制通断,因此也就不需要驱动电路。这类器件就是功率二极管(Power Diode),也称为电力二极管。

(2) 半控型器件 这类器件是三端器件,除阳极和阴极外,还增加了一个控制门极。半控型器件也具有单向导电性,但开通不仅需在其阳、阴极间施加正向电压,而且还必须在门极和阴极间施加正向控制电压。门极和阴极间的控制电压仅控制其开通而不能控制其关断,器件的关断是由其主电路中承受的电压和电流决定的。这类通过控制信号可以控制其导通而不能控制其关断的器件称为半控型器件。半控型器件是指晶闸管(Thyristor)及其大部分派生器件。

(3) 全控型器件 这类器件也是带有控制端的三端器件,其控制端不仅可控制其开通,还能控制其关断。这类通过控制信号既要控制其导通又要控制其关断的器件称为全控型器件,又称为自关断器件。这类器件很多,包括门极关断(GTO)晶闸管、功率晶体管(GTR)、电力场效应晶体管(电力MOSFET)、绝缘栅双极晶体管(IGBT)。目前常用的是电力MOSFET和IGBT。

2. 按控制信号的性质分类

按照控制信号的性质,电力电子器件可分为以下两类:

(1) 电流驱动型器件 驱动信号加在器件控制端和公共端之间,通过从控制端注入或者抽出电流来实现器件的导通或者关断控制,这类电力电子器件称为电流驱动型器件,或称为电流控制型器件。

(2) 电压驱动型器件 通过施加在控制端和公共端之间的电压信号实现器件的导通或者关断控制,这类电力电子器件称为电压驱动型器件,或称为电压控制型器件。电压驱动型器件实际上是通过加在控制端和公共端之间的电压在器件的两个主电路端子之间产生可控的电场来改变流过器件的电流大小和通断状态,所以又称为场控器件或场效应器件。

3. 按参与导电的情况分类

按照器件内部电子和空穴两种载流子参与导电的情况,电力电子器件可分为以下三类:由一种载流子参与导电的器件称为单极型器件;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;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。

三、电力电子器件的发展历程

电力电子器件的发展,可分为以下四个阶段:

第一阶段是以整流管、晶闸管为代表的发展阶段。这一阶段的电力电子器件在低频、大功率变流领域中的应用占有优势，取代了早先的汞弧整流器。1947年美国著名的贝尔实验室发明了晶体管，功率二极管开始应用于电力领域，1956年贝尔实验室又发明了晶闸管，1957年美国通用电气公司开发出世界上第一只晶闸管器件，开创了传统的电力电子器件应用技术阶段，实现了弱电对强电的控制，在工业界引起了一场技术革命。由于其优越的电气性能和控制性能，被广泛应用于电力工业、电化学工业、铁路和钢铁工业等领域。晶闸管及晶闸管变流技术确立了电力电子器件应用技术的概念和基础。之后，晶闸管的迅速发展使得中大功率的各种变流装置和电动机传动系统得到了快速发展。但关断这些器件的控制电路存在体积大、效率低、可靠性差、工作频率低以及电网侧和负载上谐波严重等缺点，高新技术的发展需要改进和研制全新一代的电力电子器件和相关电路。

第二阶段是20世纪70年代后期以GTO晶闸管、GTR和电力MOSFET等全控型器件为代表的发展阶段。这一阶段的电力电子器件开关速度高于晶闸管，它们的应用使得变流器的高频化得以实现。这些电力电子器件的优越性使得电力电子应用技术的面貌焕然一新，把电力电子器件应用技术又推进到了一个新的发展阶段。

第三阶段是20世纪80年代后期以IGBT复合型器件为代表的发展阶段。IGBT是电力MOSFET和GTR的复合。电力MOSFET的特点是驱动功率小、开关速度快；GTR的特点是通态压降小、载流能力大。IGBT的优越性能使之成为电力电子器件应用技术的主导器件。

第四阶段是以PIC、HVIC等功率集成电路为代表的发展阶段。高速、全控型、大电流、集成化和多功能的电力电子器件先后问世，开创了现代电力电子集成器件的新阶段。这一阶段，所使用的电力电子器件是将全控型电力电子器件与驱动电路、控制电路、传感电路、保护电路、逻辑电路等集成在一起的高度智能化的PIC，它实现了器件与电路、强电与弱电、功率流与信息流的集成，成为机和电之间的智能化接口、机电一体化的基础单元。PIC的发展使得电力电子器件应用技术与微电子技术的结合更加紧密，并将导致电力电子器件应用技术的第二次革命，进入全新的智能化时代，为实现变流器高频化、小型化、轻量化和节能、节材、提高效率与可靠性奠定了基础。

国内外电力电子器件的最新研制水平见表0-1。

表0-1 国内外电力电子器件的最新研制水平

器件名称	国外研制水平	国内研制水平
普通晶闸管 (SCH)	12kV/1kA, 8kV/6kA	6.5kV/3.5kA
快速晶闸管	2.5kV/1.6kA	2kV/1.5kA
光控晶闸管	6kV/6kA, 8kV/4kA	4.5kV/2kA
GTO 晶闸管	9kV/2.5kA, 6kV/6kA (400Hz)	4.5kV/2.5kA
GTR	模块: 1.8kV/1kA (2kHz)	模块: 1.2kV/400A
电力 MOSFET	60A/200V (2MHz), 500V/50A (100MHz)	1kV/35A
IGBT	单管: 4.5 kV/1kA 模块: 3.5 kV/1.2kA (50kHz)	单管: 1 kV/50A 模块: 1.2 kV/200A
集成门极换流晶闸管 (IGCT)	单管: 6 kV/1.6kA	
MOS 控制晶闸管 (MCT)	1 kV/100A ($T_d = 1\mu s$)	1 kV/75A
功率集成电路	IPM: 1.8kV/1.2kA	600V/75A

四、电力电子器件的应用

电力电子器件的应用是电力电子技术的一部分。电力电子器件的应用技术称为变流技术,它包括用电力电子器件构成各种电力电子电路和对这些电路进行控制的技术,以及由这些电路构成电力电子装置和电力电子系统的技术。

1. 变流技术的分类

(1) AC/DC 变换 把交流电压变换成固定或可调的直流电压,称为整流。传统的 AC/DC 变换是利用晶闸管器件和相控技术,依靠电网电压换相实现的。至今工业中应用的大多数仍是这类整流装置。相控晶闸管具有对称的阻断特性和较低的响应速度,这类整流装置的特点是控制简单、运行可靠、功率大。相控整流器存在的问题是,它所产生的低次谐波会对电网产生严重影响。

(2) DC/AC 变换 把直流电变换成频率固定或可调的交流电,称为逆变。这类变换装置通常称为逆变器。按电源性质可分为电压型逆变和电流型逆变;按控制方式可分为六拍(六阶梯)方波逆变、PWM 型逆变和谐振直流环节(软开关)逆变;按换相性质可分为靠电网换相的有源逆变和由自关断器件构成的无源逆变。逆变装置主要用于机车牵引、电动车辆和其他交流电动机调速、不间断电源(UPS)和感应加热等。

(3) AC/AC 变换 把一种形式的交流电变换成频率、电压可调或固定的交流电,只对电压、电流或对电路的通断进行控制而不改变频率称为电力控制,改变频率称为变频。

(4) DC/DC 变换 把固定的直流电压(或电流)变换成可调或恒定的直流电压(或电流),称为斩波。DC/DC 变换广泛应用于计算机电源、各类仪器仪表、直流电动机调速及金属焊接等。谐振型软开关技术是 DC/DC 变换的新发展方向,该技术可减小变换器体积、质量,提高可靠性,并有效解决开关损耗问题。

2. 电力电子器件的应用

近年来,由于电力电子器件的迅速发展使得变流技术得到了迅猛发展,经过变流技术处理的电能在整个国民经济的耗电量中所占比例越来越大,成为其他工业技术发展的重要基础。电力电子器件不仅应用于电力系统,而且也广泛应用于一般工业、交通运输、通信系统、计算机系统、新能源系统,还应用于照明、空调等家用电器中。可概括为以下几个领域:

(1) 电力系统 为了控制和改善供电质量,发电厂发出的交流电必须经过电力电子装置的处理后送到用户端,没有电力电子器件的应用,就没有电力系统的现代化。长距离、大容量直流输电是现代输电的发展趋势,其送电端的整流阀和受电端的整流阀采用的都是电力电子器件变流装置。

(2) 一般工业 由于电力电子器件应用技术的迅速发展,交流电动机的调速性能可以和直流电动机相媲美。工业电动机的控制中,交流调速、直流调速以及节能和软起动都是通过电力电子器件实现的。

(3) 交通运输 铁道的电气化、电力机车的控制、磁悬浮列车的使用都离不开电力电子器件;高级汽车中许多电机的控制,是靠变频和斩波实现的;电动汽车的电机的控制和蓄电池的充电都是靠电力电子装置实现的;飞机、船舶、电梯等都离不开电力电子装置。

(4) 电源 不间断电源、电解电源、电镀电源、开关电源、微机及仪器仪表电源、航空电源、通信电源、交流电子稳压电源、脉冲功率电源、动力牵引及传动控制(如电力机车、

电传动内燃机车、矿井提升机、轧钢机传动)用电源都是靠变流技术实现的。

(5) 新能源利用 电力电子器件装置还用于太阳能发电及风力发电装置与电力系统的联网以及太阳能发电及风力发电电能的改善。

(6) 家用电器 用于家用照明的节能灯体积小、发光效率高、节省能量多,这是通过电力电子器件把交流电转换成电力电子照明电源来实现的。此外,变频空调、电视机、音响、洗衣机、电冰箱、微波炉、个人计算机等都离不开电力电子器件的应用。

总之,电力电子器件的应用涉及航天、国防、工农业生产、交通、文教卫生、办公自动化及家用电器等各个领域。电力电子器件的应用与我们的国民经济和日常生活、工作息息相关。

第一章 电力电子器件

本章应知

1. 常见电力电子器件的特点以及适用场合。
2. 新型电力电子器件的概况。
3. 电力电子器件的保护。

本章应会

1. 电力电子器件的工作原理、特性、主要参数及使用中应注意的问题。
2. 实验电路的安装和调试。

第一节 不可控器件——功率二极管

功率二极管又称为电力二极管，也称为半导体整流器。由于它不能通过控制信号控制其导通或关断，只能由电源主回路控制其通断，故属于不可控电力电子器件。它常作为整流器件或续流器件，用于整流电路或电感性负载的续流。由于其结构简单、工作可靠，因而被广泛应用在不需要调压的整流场合，如交-直-交变频的整流、大功率直流电源等，特别是快速恢复二极管及肖特基二极管，仍在中、高频整流和逆变以及低压高频整流场合广泛使用。

一、工作原理

功率二极管的基本结构和工作原理与电子电路中的二极管一样，都是以半导体 PN 结为基础，由一个面积较大的 PN 结和两端引线封装组成的。从 PN 结的 P 型端引出的电极称为阳极 A，从 PN 结的 N 型端引出的电极称为阴极 K。功率二极管的外形、结构和电气图形符号如图 1-1 所示。从外形上看，功率二极管主要有螺栓型和平板型两种封装。

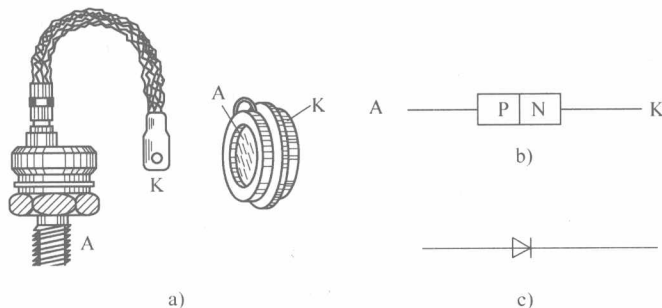


图 1-1 功率二极管的外形、结构和电气图形符号

a) 外形 b) 结构 c) 电气图形符号

当外加电压使功率二极管阳极 A 的电位高于阴极 K 的电位时，此时的电压称为正向电压，功率二极管处于正向偏置状态，PN 结导通，简称正偏。PN 结导通后，PN 结表现为低

阻态,可以流过较大的电流,功率二极管的这种状态称为正向导通状态。

当外加电压使功率二极管阳极 A 的电位低于阴极 K 的电位时,此时的电压称为反向电压,功率二极管处于反向偏置状态,PN 结截止,简称反偏。功率二极管反偏时,PN 结表现为高阻态,几乎没有电流流过,功率二极管的这种状态称为反向截止状态。

上述就是二极管的单向导电性,功率二极管就是利用这个性质工作的。

二、功率二极管的伏安特性

功率二极管两端所加的电压与通过它的电流之间的关系曲线,称为功率二极管的伏安特性曲线。经实验测得的功率二极管伏安特性曲线如图 1-2 所示。

当功率二极管承受的正向电压大于开启电压 (U_{ON}) 时,正向电流 (I_F) 才开始增加,功率二极管处于稳定导通状态,这就是功率二极管的正向特性。与正向电流相对应的功率二极管两端的电压 U_F 即为其正向压降。当功率二极管承受反向电压时,只有微小而数值恒定的反向漏电流,反向漏电流越小,功率二极管的质量越好;当反向电压超过某一值时,反向电流急剧增大,这一现象称为反向击穿。

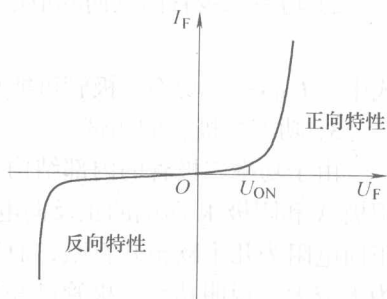


图 1-2 功率二极管的伏安特性曲线

三、功率二极管的主要参数和选用

1. 功率二极管的主要参数

器件参数是定量描述器件性能和安全工作范围的重要数据,是合理选择和正确使用器件的依据。参数一般可从产品手册中查到,也可以通过直接测量得到。

(1) 正向平均电流 $I_{F(AV)}$ 即指功率二极管长期运行时,在规定的管壳温度和散热条件下,其允许流过的最大工频半波电流的平均值,这也是功率二极管的标称额定电流。可以看出,正向平均电流是按照电流的热效应来定义的,因此在使用时应按照工作中实际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功率二极管的电流定额,并留有一定的裕量。如果功率二极管流过的电流最大有效值为 I ,则其正向平均电流 $I_{F(AV)}$ 为

$$I_{F(AV)} = \frac{I}{1.57} \quad (1-1)$$

(2) 正向压降 U_F 即指功率二极管在规定温度下,流过某一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功率二极管的最大瞬时正向压降。

(3) 反向重复峰值电压 U_{RRM} (额定电压) 即指对功率二极管所能重复施加的反向最高峰值电压。通常是其雪崩电压的 $2/3$ 。使用时,往往按照电路中功率二极管可能承受的反向峰值电压的两倍来选定此参数。

(4) 反向恢复时间 T_{rr} 即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。

(5) 浪涌电流 I_{FSM} 即指功率二极管所能承受的最大的连续一个或几个工频周期的过载电流。

2. 功率二极管的选用

1) 功率二极管的正向平均电流 $I_{F(AV)}$ 应满足

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

式中 $(1.5 \sim 2)$ ——安全裕量系数;

I_{DM} ——流过功率二极管的最大有效值电流, 选用时取相应标准系列值。

2) 功率二极管的反向峰值电压应满足

$$U_{RRM} = (2 \sim 3) U_{DM} \quad (1-3)$$

式中 U_{DM} ——功率二极管可能承受的最大反向电压, 选用时取相应标准系列值。

3. 功率二极管的测试

由于功率二极管的内部结构为 PN 结, 因此通过用万用表的 $R \times 100$ 挡或 $R \times 1k$ 挡测量阳极 A 和阴极 K 两端的正反向电阻, 就可以判断出功率二极管的好坏。一般功率二极管的正向电阻为几十欧至几百欧, 而反向电阻为几千欧甚至几十千欧; 若正反向电阻都为零或都为无穷大, 说明功率二极管已经损坏。注意: 严禁用兆欧表测试功率二极管。

4. 使用注意事项

使用功率二极管时, 必须保证规定的冷却条件, 若不能满足规定的冷却条件, 必须降低容量使用。若规定风冷的器件使用在自冷时, 只允许用到额定电流的 $1/3$ 左右。

四、功率二极管的主要类型

功率二极管常用于 A/D 转换器电路中作为整流器件或作为电路中的续流器件, 有时还可作为电压隔离、钳位或保护器件。根据实际需要, 可选择不同的功率二极管。功率二极管的主要类型有以下几种:

1. 普通二极管

普通二极管又称为整流二极管, 多用于开关频率不高 ($1kHz$ 以下) 的整流电路中, 其反向恢复时间较长, 一般在 $5\mu s$ 以上, 这在开关频率不高时并不重要, 在参数表中甚至不列出这一参数。但其正向电流定额和反向电压定额可以达到很高, 分别可达数千安和数千伏以上。

2. 快速恢复二极管

恢复时间很短, 特别是反向恢复时间很短 (一般在 $5\mu s$ 以下) 的二极管被称为快速恢复二极管, 简称为快速二极管。它可用于要求反向恢复时间很小的电路中, 如用于与可控开关配合的高频电路中。在制造工艺上多采用掺金措施; 结构上有的采用 PN 结型结构, 也有的采用改进的 PiN 结构, 采用外延型 PiN 结构的快速二极管, 其反向恢复时间更短 (可低于 $50ns$), 正向压降也很低 ($0.9V$ 左右), 但其反向耐压多在 $1200V$ 以下。不管是什么结构, 快速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 $100ns$ 以下, 甚至达到 $20 \sim 30ns$ 。

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。其优点是: 反向恢复时间很短 ($10 \sim 40ns$), 正向恢复过程中也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很小, 明显低于快速二极管。因此, 其开关损耗和正向导通损耗都比快速二极管小。其缺点在于: 当所承受的反向耐压提高时其正向压降也有较大幅度提高。它适用于要求输出电压 $200V$ 以下和要求较低正向管压降的变流器电路中。

第二节 半控型器件——晶闸管

晶闸管 (Thyristor) 是硅晶体闸流管的简称, 又称为可控硅整流器 (Silicon Controlled Rectifier, SCR)。晶闸管是一种能够通过控制信号控制其导通, 但不能控制其关断的半控型器件。由于其导通时刻可控, 可满足调压要求, 具有体积小、重量轻、工作迅速、维护简单、操作方便和寿命长等特点, 因而自问世以来在实际生产中获得了广泛的应用, 发展非常迅速。自 20 世纪 80 年代以来, 晶闸管的地位逐渐被各种性能更好的全控型器件所代替, 但由于其能够承受的电压和电流仍是目前电力电子器件中最高的, 而且工作可靠, 所以仍被广泛应用于相控整流、逆变、交流调压、直流变换等领域, 成为特大功率低频 (200Hz 以下) 装置中的主要器件。

一、晶闸管的结构和工作原理

1. 晶闸管的结构

晶闸管是一种大功率半导体器件, 其外形结构有塑封型、螺栓型、平板型等, 常用的是螺栓型和平板型。晶闸管的外形、结构和电气图形符号如图 1-3 所示。晶闸管有三个引出极, 即阳极 A、阴极 K 和门极 G。

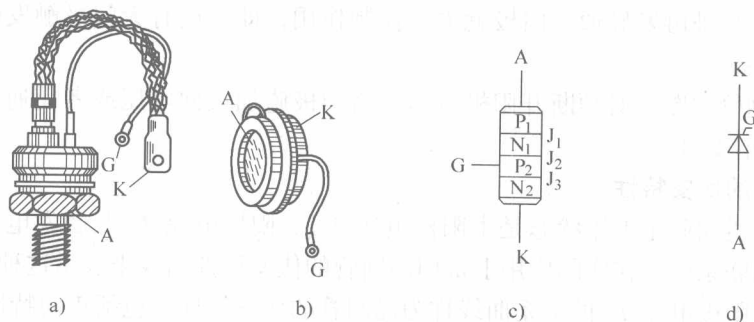


图 1-3 晶闸管的外形、结构和电气图形符号

a) 螺栓型 b) 平板型 c) 结构 d) 图形符号

螺栓型晶闸管的螺栓是阳极 A, 粗辫子线是阴极 K, 细辫子线是门极 G, 螺栓型晶闸管的阳极 (螺栓) 是紧拴在铝制散热器上的, 其特点是安装和更换方便, 但由于依靠阳极散热器自然冷却散热, 散热效果较差, 一般只适用于额定电流小于 200A 的晶闸管。

平板型晶闸管的两个平面分别是阳极 A 和阴极 K, 细辫子线是门极 G, 距离门极较近的一面是阴极 K, 距离门极较远的一面是阳极 A, 使用时两个互相绝缘的散热器把晶闸管紧紧地夹在一起, 依靠冷风冷却。其特点是散热效果好, 但更换麻烦, 一般适用于额定电流大于 200A 的晶闸管。

2. 晶闸管的工作原理

晶闸管的工作原理可通过将晶闸管的 PNPN 四层结构中的 N_1 和 P_2 层分成两部分, 则晶闸管可用一个 PNP ($P_1N_1P_2$) 管和一个 NPN ($N_1P_2N_2$) 管来等效分析, 如图 1-4 所示。

如果外电路向门极注入驱动电流 I_G ($I_{B2} = I_G$), VT2 中就产生了电流 I_{C2} ($I_{B1} = I_{C2} = \beta_2 I_G$), 这时 VT1 又把 I_{B1} 放大成 I_{C1} ($I_{C1} = \beta_1 I_{B1} = \beta_1 \beta_2 I_G$), I_{C1} 又流入 VT2 的基极, 进