

高职高专“十二五”规划教材

DIANLI DIANZI JISHU JI YINGYONG

电力电子技术及应用

张诗淋 主编



化学工业出版社

高职高专“十二五”规划教材

电力电子技术及应用

	张诗淋		主 编
曹 江	杨 悦	鱼敏英	副主编
	高 宇		主 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本教材根据高等职业教育培养应用型人才的需要,结合本课程实践性强的特点,坚持以就业为导向,以职业岗位训练为主体,采用项目教学法,打破传统的学科体系教学模式,重视学生的实际应用能力,重点培养学生的实际技能。

本教材详细介绍了电力电子技术课程的八大项内容:电力二极管和晶闸管、可控整流器、有源逆变器、全控型电力电子器件、逆变电路、直流斩波器、交流调压器和变频器,每个项目中配有理论内容、项目对应的应用电路、实践技能训练、思考题与习题等。

本书可作为高职高专电气类专业及相近专业的教材,也可作为从事电力电子技术专业的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术及应用/张诗淋主编. —北京:化学工业出版社, 2013.6

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-17161-0

I. ①电… II. ①张… 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(2013)第 085789 号

责任编辑:王听讲 刘 哲

文字编辑:余纪军

责任校对:宋 夏

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 12¼ 字数 296 千字 2013 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:26.00 元

版权所有 违者必究

前 言

电力电子技术课程是高职高专电气类专业的一门主干专业课，该课程的工程实践性强，重在使学生掌握多学科的综合知识和基本技能，具备电力电子技术的设计、调试的综合应用能力，并提高学生分析、解决实际问题的能力，从而培养具有工程师素质的实用型人才。

本教材根据高等职业教育培养应用型人才的需要，结合本课程实践性强的特点，坚持以就业为导向，以职业岗位训练为主体，突出培养学生实际应用能力。本书在编写过程中始终贯彻“以应用为目的，以实用为主，理论够用为度”的教学原则，重点培养学生的实际技能。

本教材采用项目教学法，打破传统的学科体系教学模式，详细地介绍了电力电子技术课程的八大项内容：电力二极管和晶闸管、可控整流器、有源逆变器、全控型电力电子器件、逆变电路、直流斩波器、交流调压器和变频器。每个项目中配有学习目标、理论内容、相应的项目应用电路、实践技能训练、思考题与习题等。

本书可作为高职高专电气类专业及相近专业的教材，也可作为从事电力电子技术专业的工程技术人员参考用书。本教材建议课时分配如下表所示。

项 目	项 目 内 容	总学时	讲授学时	实践训练
一	电力二极管和晶闸管	8	6	2
二	可控整流器	16	10	6
三	有源逆变器	6	4	2
四	全控型电力电子器件	6	4	2
五	逆变电路	8	4	4
六	直流斩波器	6	4	2
七	交流调压器	6	4	2
八	变频器	4	4	2
合计		60	40	22

本书由沈阳职业技术学院张诗淋担任主编，沈阳职业技术学院曹江、杨悦和大庆职业学院鱼敏英担任副主编。全书共分八个项目，其中绪论、项目二和项目三由张诗淋编写，项目一由鱼敏英编写，项目四和项目五由杨悦编写，项目六和项目七由曹江编写，陕西能源职业技术学院罗剑编写了项目八和本书的实践技能训练内容。全书由张诗淋统稿，由沈阳职业技术学院高宇教授主审。

在编写过程中，参阅了许多专家们的文献资料，在此一并致谢。由于编者水平所限，书中如有疏漏及不妥之处，敬请使用本书的师生和读者批评指正。

编 者
2013 年 4 月

目 录

绪论	1
一、什么是电力电子技术	1
二、电力电子技术的发展	1
三、电力电子技术的主要功能	1
四、电力电子技术的应用	1
项目一 电力二极管和晶闸管	3
课题一 电力二极管	3
一、电力二极管结构	3
二、电力二极管的工作原理	3
三、电力二极管的主要参数	4
四、电力二极管的主要类型	4
五、电力二极管的使用注意事项	5
课题二 晶闸管	6
一、晶闸管的结构	6
二、晶闸管的工作原理	7
三、晶闸管的阳极伏安特性	9
四、晶闸管的门极伏安特性	9
五、晶闸管的主要参数	10
六、晶闸管模块	13
七、晶闸管的型号	14
八、晶闸管的简单测试方法	14
九、晶闸管的使用	15
课题三 晶闸管的派生器件	16
一、双向晶闸管	16
二、快速晶闸管	18
三、逆导晶闸管	18
四、光控晶闸管	18
课题四 晶闸管的驱动电路	18
课题五 晶闸管的保护	19
一、过电压保护	19
二、过电流保护	22
课题六 晶闸管的容量扩展	23
一、晶闸管的串联	23
二、晶闸管的并联	24
三、晶闸管装置串并联	25
实践技能训练	25

实训 晶闸管和双向晶闸管的简单测试及晶闸管的导通、关断条件	25
思考题与习题	27
项目二 可控整流器	30
课题一 单相可控整流电路	31
一、单相半波可控整流电路	31
二、单相全控桥式可控整流电路	37
三、单相半控桥式可控整流电路	42
课题二 三相可控整流电路	46
一、三相半波可控整流电路	46
二、三相全控桥式可控整流电路	51
三、三相半控桥式可控整流电路	54
课题三 变压器漏抗对整流电路的影响	57
一、换相期间的输出电压 u_d	58
二、换相压降 ΔU_r	58
三、考虑变压器漏抗等因素后的整流输出电压平均值 U_d	59
课题四 晶闸管的触发电路	59
一、触发电路概况	59
二、单结晶体管触发电路	60
三、同步电压为锯齿波的晶闸管触发电路	65
四、集成触发电路	68
五、数字触发电路	70
六、触发脉冲与主电路电压的同步与防止误触发的措施	75
课题五 应用电路	76
一、家用调光灯	76
二、晶闸管延时继电器	77
实践技能训练	78
实训一 单结晶体管的简单测试、单结晶体管触发电路和单相半波可控整流电路的 调试	78
实训二 锯齿波同步触发电路的调试	80
实训三 集成触发电路的调试	82
实训四 单相全控桥式可控整流电路的调试	83
实训五 三相半波可控整流电路的调试	84
实训六 三相全控桥式可控整流电路的调试	86
思考题与习题	87
项目三 有源逆变器	89
课题一 有源逆变的工作原理	89
一、晶闸管装置与直流电机间的能量传递	89
二、有源逆变的工作原理	90
三、有源逆变的条件	91
课题二 三相有源逆变电路	91
一、三相半波有源逆变电路	92

二、三相全控桥式有源逆变电路	93
课题三 逆变失败及最小逆变角的确定	94
一、逆变失败的原因	94
二、最小逆变角的确定及限制	95
课题四 应用电路	96
一、绕线转子异步电动机的串级调速	96
二、直流高压输电	98
实践技能训练	98
实训 三相全控桥式有源逆变电路的调试	98
思考题与习题	100
项目四 全控型电力电子器件	101
课题一 可关断晶闸管 (GTO)	101
一、GTO 的结构与工作原理	102
二、GTO 的主要特性	103
三、GTO 的主要参数	105
课题二 电力晶体管 (GTR)	105
一、GTR 的结构与工作原理	105
二、GTR 的主要特性	107
三、GTR 的主要参数	107
四、GTR 的二次击穿与安全工作区	108
课题三 电力场效应晶体管 (Power MOSFET)	109
一、Power MOSFET 的结构与工作原理	109
二、Power MOSFET 的主要特性	111
三、Power MOSFET 的主要参数	112
课题四 绝缘栅双极型晶体管 (IGBT)	112
一、IGBT 的结构与工作原理	113
二、IGBT 的主要特性	113
三、IGBT 的主要参数	115
课题五 全控型电力电子器件的驱动电路	115
一、电流驱动型器件的驱动电路	116
二、电压驱动型器件的驱动电路	118
实践技能训练	121
实训 全控型电力电子器件的基本认识	121
思考题与习题	122
项目五 无源逆变电路	123
课题一 逆变电路的基本工作原理	123
一、逆变电路的基本分类方式	123
二、逆变电路的基本原理	124
三、换流方式	124
课题二 电压型逆变电路	126
一、单相电压型逆变电路	127

二、三相电压型逆变电路	128
课题三 电流型逆变电路	130
一、单相电流型逆变电路	130
二、三相电流型逆变电路	132
课题四 脉宽调制 (PWM) 逆变电路	133
一、PWM 控制的基本原理	133
二、PWM 变频电路的调制控制方式	137
三、SPWM 波形的生成	139
课题五 应用电路——电磁炉	139
实践技能训练	140
实训 单相正弦波脉宽调制 (SPWM) 逆变电路调试	140
思考题与习题	143
项目六 直流斩波器	144
课题一 直流斩波器的工作原理	144
课题二 直流斩波器的基本电路	145
一、降压式斩波变换电路	145
二、升压式斩波变换电路	148
三、升降压式斩波变换电路	151
课题三 应用电路——不间断电源	154
实践技能训练	157
实训 直流斩波电路的调试	157
思考题与习题	158
项目七 交流调压器	160
课题一 单相交流调压电路	160
一、电阻性负载	160
二、电感性负载	161
课题二 三相交流调压电路	163
一、星形连接带中线的三相交流调压电路	163
二、晶闸管与负载连接成内三角形的三相交流调压电路	164
三、用三对反并联晶闸管连接成三相三线制交流调压电路	164
课题三 晶闸管交流开关	167
一、交流开关的常见形式	167
二、晶闸管交流开关应用举例	168
三、固体开关	169
课题四 由过零触发开关电路组成的单相交流调功器	170
一、交流调功器的基本原理	170
二、交流调功器应用举例	171
课题五 应用电路	172
一、电风扇无级调速器	172
二、电热炉的温度自动控制	172
实践技能训练	173

实训 单相交流调压电路的调试	173
思考题与习题	175
项目八 变频器	176
课题一 变频器的概述	176
课题二 变频器的基本结构	177
课题三 变频器的主电路结构	178
课题四 应用电路——变频技术在洗衣机中的应用	183
思考题与习题	184
参考文献	185

绪 论

一、什么是电力电子技术

电力电子技术是电子学、电力学和控制学三个学科相结合的一门边缘学科，主要研究各种电力电子器件，由电力电子器件所构成的各种电路（变流装置），以及电路对电能的变换和控制技术。因此电力电子技术是利用电力电子器件对电能进行控制和转换的技术。它运用弱电（电子技术）控制强电（电力技术），是强电和弱电相结合的学科。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，已经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

电力电子器件的发展推动了电力电子技术的发展。电力电子技术的诞生以 1957 年美国通用公司研制出的第一只晶闸管为标志，至 20 世纪 80 年代为传统电力电子技术阶段。此阶段是电力电子器件以晶闸管为核心的半控型器件。20 世纪 80 年代末和 90 年代初期发展起来的以功率 MOSFET 和 IGBT 为代表的集高频、高压和大电流于一体的功率半导体复合器件，表明传统的电力电子技术已经进入现代电力电子时代。

三、电力电子技术的主要功能

电力电子技术是利用电力电子器件对电能进行控制和转换的技术，它的基本功能是使交流和直流电能互相转换。主要有以下功能。

(1) 整流 (AC/DC)。把交流电变换成固定或可调的直流电。由电力二极管可组成不可控整流电路；由晶闸管或其他全控型器件可组成可控整流电路。

(2) 逆变 (DC/AC)。把直流电变换成频率固定或频率可调的交流电。

(3) 直流斩波 (DC/DC)。把固定的直流电变换成固定或可调的直流电。

(4) 交流变换电路 (AC/AC)。可分为交流调压电路和变频电路。交流调压是在维持电能频率不变的情况下改变输出电压幅值。变频电路是把频率固定或变化的交流电变换成频率可调的交流电称为变频。

上述功能统称为变流，因此电力电子技术也称为变流技术。变流技术是将电网的交流电，所谓“粗电”，通过电力电子电路进行处理变换，精炼到使电能能在稳定、波形、频率、数值、抗干扰性能等方面符合各种用电设备需要的“精电”过程。

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，从庞大的发电厂设备到小巧的家用电器等几乎所有的电气工程领域。容量可达 1W 到 1GW 不等，工作频率也可由 1Hz 到 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，小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鼓风机等近年来也采用了变频装置,已达到节能的目的。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、电解食盐水等需要大容量整流电源。电镀装置也需要整流电源。

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等场合。

(2) 交通运输。电气化铁路中广泛采用电力电子技术。电力机车中的直流机车采用整流装置,交流机车采用变频装置。直流斩波器也广泛应用于铁道车辆。在未来的磁悬浮列车中,电力电子技术也是一项关键技术。除牵引电动机车传动外,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。

如果把电梯也算交通工具,那么它也需要电力电子技术。以前的电梯大多采用直流调速系统,而近年来交流调速已经成为主流。

(3) 电力系统。电力电子技术在电力系统中应用也非常广泛。据统计,发达国家在用户最终使用的电能中,有60%以上电能至少经过一次以上的电力电子变流装置的处理。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、受电端的逆变阀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。

在变电所中,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) 家用电器。种类繁多的家用电器,小至一台调光灯,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。电力电子技术广泛应用在家用电器使得它和我们的生活十分贴近。

(5) 其他。不间断电源(UPS)在现代社会中的作用越来越重要,用量越来越大。

以前电力电子技术的应用偏重于中、大功率。现在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。

项目一 电力二极管和晶闸管

【学习目标】

- 认识电力二极管的外部结构，了解电力二极管的内部结构。
- 认识晶闸管的外部结构，了解晶闸管与散热器的连接方式，了解晶闸管的内部结构。
- 掌握晶闸管导通、截止的条件，伏安特性，主要参数，额定电压、额定电流的选用原则，晶闸管型号的命名方法。
- 会用万用表判断晶闸管的极性及好坏。
- 了解晶闸管的派生系列元件。
- 掌握双向晶闸管的结构、特性、触发方式及主要参数。
- 了解晶闸管的保护及扩容方法，能识别晶闸管的保护元件，能正确选择保护元件及接法。

课题一 电力二极管

电力二极管也称功率二极管，由于不能通过信号控制其导通和关断，属于不可控电力电子器件。它不同于普通的二极管，能承受高电压、大电流。它是 20 世纪最早获得广泛应用的电力电子器件，其结构和原理简单，工作可靠，直到现在电力二极管仍然大量应用于许多电气设备当中。

一、电力二极管结构

电力二极管是以 PN 结为基础的，实际上就是由一个结面积较大的 PN 结和两端引线以及封装组成的。电力二极管的结构和图形符号如图 1-1 所示。电力二极管引出的两个极，分别是阳极 A 和阴极 K。它的外形有螺栓型和平板型两种封装，如图 1-2 所示。因管子工作时要通过大电流，而 PN 结有一定的正向电阻，因此管子会因损耗而发热，必须安装散热器。一般 200A 以下的电力二极管采用螺栓型，200A 以上的则采用平板型。

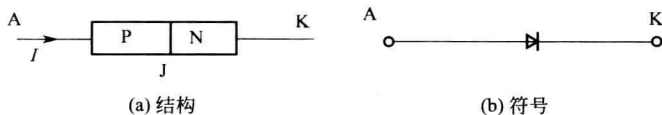


图 1-1 电力二极管的结构和图形符号

二、电力二极管的工作原理

电力二极管和普通二极管工作原理一样，具有单向导电性。即当给它施加正向电压时，PN 结导通，正向管压降很小，维持在 1V 左右；当给它施加反向电压时，PN 结截止，只有极小的可忽略的漏电流流过二极管。

经实验测量可得电力二极管的伏安特性曲线，如图 1-3 所示。当外加电压大于二极管的

门槛电压 U_{TO} 时, 正向电流开始迅速增加, 二极管即开始导通。正向导通时其管压降仅为 1V 左右, 且不随电流的大小而变化。当电力二极管承受反向电压时, 只有很小的反向漏电流 I_{RR} 流过, 器件处于反向截止状态。但当反向电压增大到 U_B 时, PN 结内产生雪崩击穿, 反向电流急剧增大, 这将导致二极管发生击穿损坏。

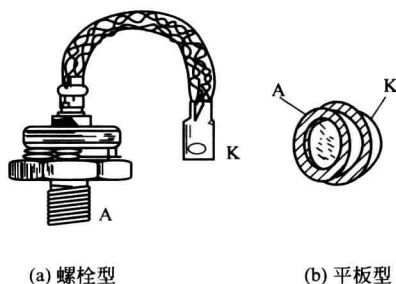


图 1-2 电力二极管的外形

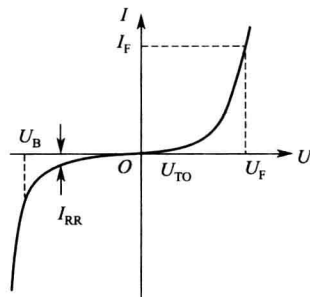


图 1-3 电力二极管的伏安特性曲线

三、电力二极管的主要参数

1. 正向平均电流 (额定电流) $I_{F(AV)}$

它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正弦半波电流的平均值。元件标称的额定电流就是这个电流。

实际应用中, 功率二极管所流过的最大有效电流为 I_M , 则其额定电流一般选择为

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

式中的系数 1.5~2 是安全余量。

2. 正向通态压降 U_F

它是指在规定的温度下, 流过某一稳定正向电流时所对应的正向压降, 简称管压降。

3. 反向重复峰值电压 U_{RRM}

它是指器件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。一般在选用电力二极管时, 以其在电路中可能承受的最大反向电压瞬时值 U_{DM} 的 2~3 倍来选择电力二极管的定额。

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

式中的系数 2~3 是安全余量。

4. 反向恢复时间 t_{rr}

它是指电力二极管从正向电流降至零起到恢复反向阻断能力为止的时间。

5. 最高允许结温 T_{JM}

在 PN 结不损坏的前提下所能承受的最高温度。通常在 125~175℃。

在选择管子时这些参数都要谨慎考虑, 部分型号电力二极管的参数如表 1-1 所示。

四、电力二极管的主要类型

电力二极管的应用范围很广, 种类也很多, 常见的主要有以下几种类型。

表 1-1 部分型号电力二极管的主要参数

型 号	额定电流/A $I_{F(AV)}$	额定电压/V U_{RRM}	正向压降/V U_F	反向恢复时间 t_{rr}
ZK3~2000	3~2000	100~4000	0.4~1	$<10\mu s$
10DF4	1	400	1.2	$<100ns$
31DF2	3	200	0.98	$<35ns$
30BF80	3	800	1.7	$<100ns$
50WF40F	5.5	400	1.1	$<40ns$
10CTF30	10	300	1.25	$<45ns$
25JPF40	25	400	1.25	$<60ns$
MR876 快恢复二极管	50	600	1.4	$<400ns$
MUR10020CT 超快恢复二极管	50	200	1.1	$<50ns$
MBR30045CT 肖特基二极管	150	45	0.78	≈ 0

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 以下的整流电路中。整流二极管的特点是电流定额和电压定额可以达到很高，一般为数千安和数千伏，但反向恢复时间较长，在 $5\mu s$ 以上。

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。工艺上多采用了掺金措施，结构上有的采用 PN 结型结构，也有的采用对此加以改进的 PiN 结构。特别是采用外延型 PiN 结构的所谓的快恢复外延二极管，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 400V 以下。不管是什么结构，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级别。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 20~30ns。主要用于逆变、斩波电路中。

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比快速恢复二极管还要小，效率高。肖特基二极管的不足是，当所承受的反向耐压提高时，其正向电压也会高得不能满足要求，因此多用于 200V 以下的低压场合；反向漏电流较大且对温度敏感，因此反向稳态损耗不能忽略，而且必须更加严格地限制其工作温度。

五、电力二极管的使用注意事项

(1) 必须保证规定的冷却条件，如强迫风冷或水冷。如果不能满足规定的冷却条件，必须降低容量使用。如规定风冷元件使用时在自冷，只允许用到额定电流的 1/3 左右。

(2) 平板型元件的散热器一般不应自行拆装。

(3) 严禁用兆欧表检查元件的绝缘情况。如需检查整机的耐压时，应将元件短接。

课题二 晶 闸 管

晶闸管（Thyristor）是晶体闸流管的简称，又称可控硅（SCR）。它是一种大功率半导体器件，即有开关作用又具有整流作用。在性能上，它不仅具有单向导电性，而且还具有可控性，属于半控型器件。晶闸管可以承受的电压、电流在电力电子器件中为最高。

一、晶闸管的结构

1. 外部结构

晶闸管的外形如图 1-4 所示，主要分为塑封式、螺栓式和平板式。由于晶闸管是大功率器件，工作时会产生大量的热量，因此必须安装散热器。

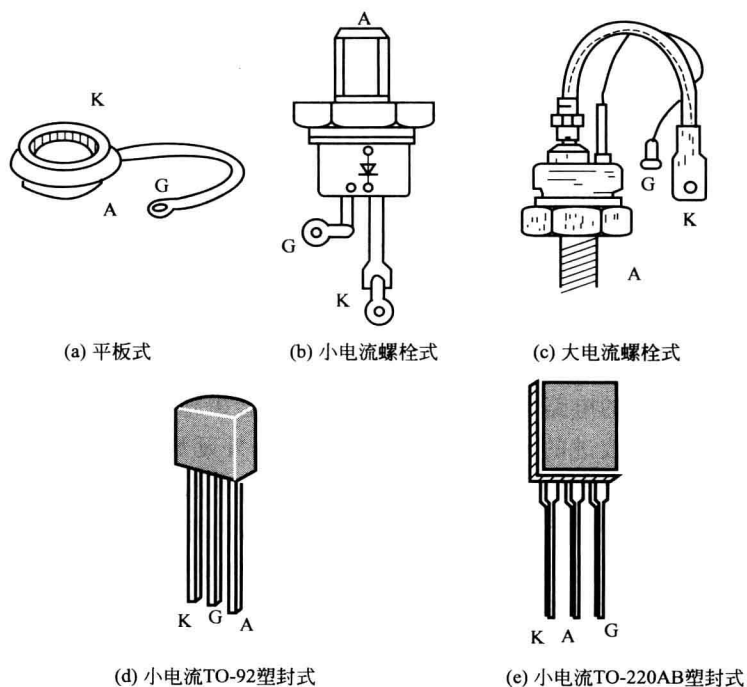


图 1-4 晶闸管的外形

(1) 平板式晶闸管。如图 1-4(a) 所示，平板式晶闸管中间金属环是门极 G，用一根导线引出，靠近门极的平面是阴极 K，另一面则为阳极 A。

如图 1-6 所示，平板式晶闸管由两个相互绝缘的散热器夹紧在中间，靠风冷或水冷。这种晶闸管由于其整体被散热器包裹，所以散热效果非常好，功率大，额定电流 200A 以上的晶闸管外形采用平板式结构，但平板式晶闸管的散热器拆装非常麻烦，器件维修更换不方便。

(2) 螺栓式晶闸管。如图 1-4(b) 所示，小电流螺栓式晶闸管的螺栓为阳极 A，门极 G 比阴极 K 细。如图 1-4(c) 所示，大功率螺栓式晶闸管来说，螺栓是晶闸管的阳极 A（它与散热器紧密连接），门极和阴极则用金属编制套引出，像一根辫子，粗辫子线是阴极 K，细辫子线是门极 G。

如图 1-5 所示, 螺栓式晶闸管是靠阳极(螺栓)拧紧在铝制散热器上, 可自然冷却, 这种晶闸管很容易与散热器连接, 器件维修更换也非常方便, 但散热效果一般, 功率不是很大, 额定电流通常在 200A 以下。

(3) 塑封式晶闸管。如图 1-4(e) 所示, 小电流 TO-220AB 型塑封式晶闸管面对印字面、引脚朝下, 则从左向右的排列顺序依次为阴极 K、阳极 A 和门极 G。如图 1-4(d) 所示, 小电流 TO-92 型塑封式晶闸管面对印字面、引脚朝下, 则从左向右的排列顺序依次为阴极 K、门极 G 和阳极 A。

塑封式晶闸管由于散热条件有限, 功率比较小, 额定电流通常在 20A 以下。

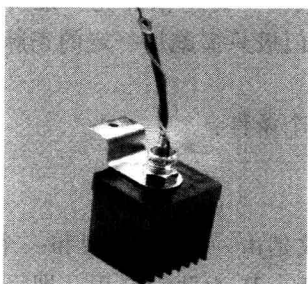


图 1-5 螺栓式晶闸管的散热器

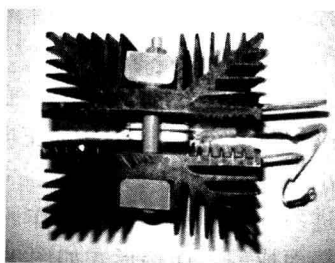


图 1-6 平板式晶闸管的散热器

2. 内部结构

晶闸管的内部结构和图形符号如图 1-7 所示, 由 4 层半导体 P_1 、 N_1 、 P_2 、 N_2 构成, 形成 J_1 、 J_2 、 J_3 三个 PN 结。由 P_1 层半导体引出阳极 A, 由 N_2 层半导体引出阴极 K, 由 P_2 层半导体引出门极(控制极) G。

二、晶闸管的工作原理

我们通过图 1-8 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 、灯泡、晶闸管的阳极和阴极组成晶闸管主电路; 由电源 E_G 、开关 S、晶闸管的门极和阴极组成控制电路, 也称触发电路。

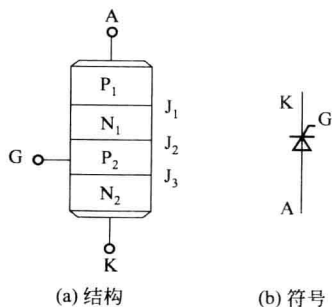


图 1-7 晶闸管的结构和图形符号

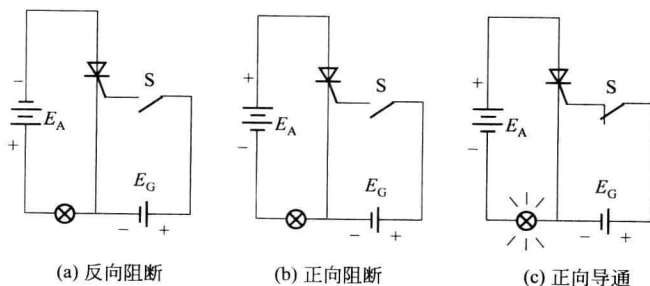


图 1-8 晶闸管的工作原理实验电路

1. 晶闸管的反向阻断

如图 1-8(a) 所示, 将晶闸管的阴极 K 接电源 E_A 的正极, 阳极 A 接电源 E_A 的负极, 使晶闸管承受反向电压, 这时不管开关 S 闭合与否, 灯泡都不亮, 说明晶闸管加反向电压时,

不导通。

2. 晶闸管的正向阻断

如图 1-8(b) 所示, 当晶闸管的阳极 A 接电源 E_A 的正极, 阴极 K 经灯泡接电源的负极时, 使晶闸管承受正向电压。当控制电路中的开关 S 断开时, 灯泡不亮, 说明晶闸管不导通。

3. 晶闸管的正向导通

如图 1-8(c) 所示, 当晶闸管的阳极和阴极承受正向电压, 控制电路中开关 S 闭合, 使控制极也加正向电压时, 灯泡亮, 说明晶闸管导通。

当晶闸管导通时, 将开关 S 断开 (即门极上的电压去掉), 灯泡依然亮, 说明一旦晶闸管导通, 控制极就失去了控制作用。因此在实际应用中, 门极只需施加一定的正脉冲电压便可触发晶闸管导通。

通过上述实验可知, 晶闸管导通必须同时具备以下两个条件:

- ① 晶闸管阳极和阴极之间加正向电压;
- ② 晶闸管门极和阴极之间加正向电压。

为了进一步说明晶闸管的工作原理, 可把晶闸管看成是由一个 PNP 型和一个 NPN 型三极管连接而成的, 连接形式如图 1-9 (a) 所示。其中 N_1 、 P_2 为两管共用, 即一个三极管的基极与另一个三极管的集电极相连。阳极 A 相当于 PNP 型管 VT_1 的发射极, 阴极 K 相当于 NPN 型管 VT_2 的发射极。见图 1-9(b) 所示。

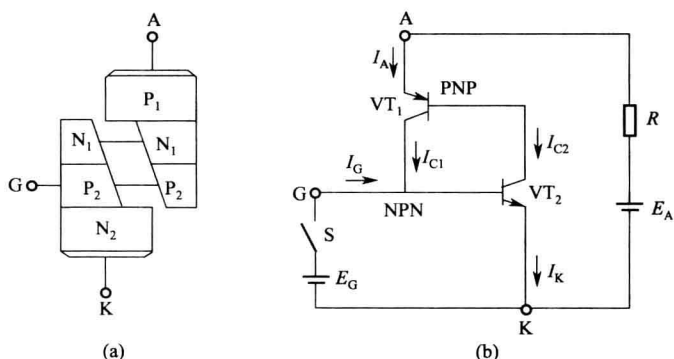


图 1-9 晶闸管的工作原理等效电路

当晶闸管阳极承受正向电压, 控制极也加正向电压时, 晶体管 VT_2 处于正向偏置, E_G 产生的控制极电流 I_G 就是 VT_2 的基极电流 I_{B2} , VT_2 的集电极电流 $I_{C2} = \beta_2 I_G$ 。而 I_{C2} 又是晶体管 VT_1 的基极电流, VT_1 的集电极电流 $I_{C1} = \beta_1 I_{C2} = \beta_1 \beta_2 I_G$ (β_1 和 β_2 分别是 VT_1 和 VT_2 的电流放大系数)。电流 I_{C1} 又流入 VT_2 的基极, 再一次放大。这样循环下去, 形成了强烈的正反馈, 使两个晶体管很快达到饱和导通, 这就是晶闸管的导通过程。导通后, 晶闸管上的压降很小, 大约 1V 左右, 电源电压几乎全部加在负载上, 所以, 晶闸管中流过的电流即负载电流, 电流的大小取决于外电路参数。

在晶闸管导通之后, 它的导通状态完全依靠管子本身的正反馈作用来维持, 即使门极电流消失, 晶闸管仍将处于导通状态。因此, 门极的作用仅是触发晶闸管使其导通, 导通之后, 门极就失去了控制作用。

4. 晶闸管导通后的关断