



新世纪高等职业教育机电类课程教材

# 电力电子技术



主 编 徐立娟 张 莹



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

新世纪高等职业教育机电类课程教材

---

# 电力电子技术

主 编 徐立娟 张 莹

高等教育出版社

## 内容提要

本书以六个电力电子技术应用最广泛的实际案例为课题,由浅入深地介绍了电力电子技术中的常用电力电子器件(晶闸管、双向晶闸管、可关断晶闸管、大功率晶体管、功率场效晶体管和绝缘门极晶体管)的工作原理及特性、由这些器件构成的可控整流电路、交流调压电路、逆变电路、直流斩波电路的工作原理以及变频器的原理、选择、功能预置和操作以及变频器的应用实例等内容。

本书可供高等职业技术学院、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、机电一体化专业选用,也可供工程技术人员参考,并可作为培训教材。

## 图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术/徐立娟主编. —北京:高等教育出版社, 2006.7

ISBN 7-04-019597-6

I. 电... II. 徐... III. 电力电子学—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第079660号

策划编辑 孙鸣雷 责任编辑 李宇峰 封面设计 吴昊 责任印制 蔡敏燕

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号		021-56964871
邮政编码	100011	免费咨询	800-810-0598
总 机	010-58581000	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
传 真	021-56965341		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
			<a href="http://www.hepsh.com">http://www.hepsh.com</a>
		网上订购	<a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司		<a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a>
排 版	南京理工出版信息技术有限公司	畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
印 刷	江苏如皋市印刷有限公司		
开 本	787×1092 1/16	版 次	2006年7月第1版
印 张	17.50	印 次	2006年7月第1次
字 数	419 000	定 价	23.80元

---

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

**版权所有 侵权必究**

物料号 19597-00



# 高教教师俱乐部会员信息表

(请用楷体认真填写)

姓 名		性 别		出生年月		身份证号码	
学 校				学 院			系 (所)
学校地址						邮 编	
职 务				职 称			办公电话
Email				手 机			宅 电
通信地址						邮 编	

- 您所教授的课程及学生层次：
- 您目前使用的教材(书名、作者、出版社)：
- 您希望俱乐部提供哪些服务？

\* 请附教师证或工作证复印件

复印件粘贴处

高等教育出版社上海分社  
 联系地址:上海市虹口区宝山路 848 号  
 电 话:021-65878318  
 联 系 人:教学服务部

邮编:200081  
 传真:021-65878318  
 Email:service@hepsh.com

检

# 出版说明

高等教育出版社组织编写的“新世纪高职高专教改项目成果教材”自出版以来,以其适应高等职业教育人才培养模式的基本特征,以应用为主旨、以就业为导向的教学内容体系等特点,受到了广大高等职业院校师生的一致好评。

为了进一步贯彻落实《中华人民共和国职业教育法》和《中华人民共和国劳动法》,适应全面建设小康社会对高素质劳动者和技能型人才的迫切要求,促进社会主义和谐社会建设,2005年10月28日,国务院发布了《国务院关于大力发展职业教育的决定》(以下简称《决定》),明确了今后一个时期职业教育改革与发展的指导思想、目标任务和政策措施。11月7日至8日,国务院召开了全国职业教育工作会议,深入学习贯彻党的十六届五中全会精神,全面落实科学发展观,动员和部署实施《决定》。会议强调,要把发展职业教育作为经济社会发展的重要基础和教育工作的战略重点;以服务社会主义现代化建设为宗旨,培养数以亿计的高素质劳动者和数以千万计的高技能专门人才;坚持以就业为导向,深化职业教育教学改革;依靠行业企业发展职业教育,推动职业院校与企业的密切结合;严格实行就业准入制度,完善职业资格证书制度。

为了贯彻落实《决定》和全国职业教育工作会议精神,也为了适应我国近几年高等职业教育快速发展的需要,促进教学内容、教学体系的更新,我社在2005年底启动了对“新世纪高职高专教改项目成果教材”的修订再版工作。新版系列教材坚持以“就业”为导向的原则,选取实际工作中存在的设备工具、操作方式,讲解在实际岗位工作时实际需要的知识和能力,适应高等职业教育培养学生的“就业能力”的需要;与国家技能鉴定等就业准入制度结合,注重从实际工作场合选取有代表性的实例,突出学生实际操作能力的培养。

新版系列教材出版后,我们还将不定期地举行相关课程的研讨与培训活动,并邀请一些相关行业的优秀企业共同探讨人才培养目标、人才培养模式以及专业设置、课程改革,为各院校提供一个加强校企合作、交流的互动平台。

“新世纪高等职业教育机电类课程教材”适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校机电类专业使用。

高等教育出版社

2006年6月

# 前 言

本教材是根据毕业生所从事职业的实际需要,合理确定学生应具备的能力结构与知识结构,将基础内容和专业内容整合在一起,形成以就业为导向的模块化结构编写的。全书以六个电力电子技术应用最广泛的实际案例(调光灯、直流调速装置、开关电源、电风扇无级调速器、中频加热电源和变频器)为课题,由浅入深地介绍了电力电子技术中的常用电力电子器件(晶闸管、双向晶闸管、可关断晶闸管、大功率晶体管、功率场效晶体管和绝缘门极晶体管)的工作原理及特性,由这些器件构成的可控整流电路、交流调压电路、逆变电路、直流斩波电路的工作原理以及变频器的原理、选择、功能预置和应用实例等内容。

本书特点:

1. 采用模块化结构,每个模块的内容既是独立的又都有其明确的教学目的,并针对各自教学目的的要求展开相关知识的介绍和实验实训的技能训练。使教材内容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和动手能力。

2. 在内容的呈现方式上,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。

3. 本教材面向工程现场,增加了电力电子装置的安装、调试、维护及故障处理内容。

4. 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。

在编写过程中努力贯彻国家关于职业资格证书与学历证书并重、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,突出基本概念,理论联系实际,以求实用。

本书既可作为高职高专电类专业教材或培训教材,也可供从事电力电子技术工作的工程技术人员参考。

本书由湖南铁道职业技术学院的徐立娟和张莹主编,其中绪论、课题一、课题三和课题四由徐立娟编写,课题二和课题五的选学内容由张莹编写,课题五由邓颀编写、课题六由严俊编写。湖南铁道职业技术学院赵承荻教授审阅了全书,并提出了许多宝贵意见。

在编写过程中,参阅了许多同行专家们的论著文献,在此一并真诚致谢。

限于编者的学识水平及实践经验,书中疏漏及错误在所难免,敬请使用本书的老师和读者批评指正。

编者

2006年4月

## 郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

**反盗版举报电话：**(010)58581897/58581896/58581879

**传 真：**(010)82086060

**E - mail:**dd@hep.com.cn

**通信地址：**北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

**邮 编：**100011

**购书请拨打电话：**(010)58581118

# 目 录

绪论	1
课题一 调光灯	5
【学习目标】	5
【课题描述】	5
【相关知识点】	6
一、晶闸管的工作原理	6
二、晶闸管特性与主要参数	9
三、单相半波可控整流电路	15
四、单结晶体管触发电路	23
【总结与提高】	29
实验实训一 晶闸管和单结晶体管的简单测试及晶闸管的导通、关断条件	30
实验实训二 单结晶体管触发电路及单相半波整流电路的研究	36
实验实训三 晶闸管调光电路安装、调试及故障分析处理	40
思考题与习题	42
课题二 直流调速装置	44
【学习目标】	44
【课题描述】	44
【相关知识点】	45
一、单相桥式整流电路	45
二、有源逆变电路	52
【扩展内容】	56
可关断晶闸管(GTO)	56
【选学内容】	58
直流调速实例——电力机车电路	58
实验实训一 可关断晶闸管测试及单相桥式半控整流电路的研究	60
实验实训二 单相桥式全控整流及有源逆变电路实验	67
思考题与习题	69
课题三 电风扇无级调速器	71
【学习目标】	71



【课题描述】 .....	71
【相关知识点】 .....	71
一、双向晶闸管的工作原理 .....	71
二、单相交流调压电路 .....	76
【扩展内容】 .....	78
一、交流开关及其应用电路 .....	78
二、三相交流调压 .....	83
实验实训一 双向晶闸管的简易测试和单相交流调压电路研究 .....	85
实验实训二 电风扇无级调速器安装、调试及故障分析处理 .....	90
思考题与习题 .....	92
<b>课题四 开关电源</b> .....	93
【学习目标】 .....	93
【课题描述】 .....	93
【相关知识点】 .....	95
一、开关器件 .....	95
二、DC/DC 变换电路 .....	106
三、开关状态控制电路 .....	114
四、其他电路 .....	119
五、IBM PC/XT 系列主机开关电源介绍 .....	120
六、典型故障现象及检修方法 .....	121
【扩展内容】 .....	125
软开关技术 .....	125
实验实训一 大功率晶体管及功率场效晶体管的简单测试 .....	128
实验实训二 直流斩波电路研究 .....	135
实验实训三 半桥型开关电源的性能研究 .....	138
思考题与习题 .....	141
<b>课题五 中频感应加热电源</b> .....	143
【学习目标】 .....	143
【课题描述】 .....	143
【相关知识点】 .....	143
一、中频感应加热电源概述 .....	143
二、整流主电路 .....	148

三、平波电抗器的简易设计 .....	156
四、整流触发电路 .....	156
五、触发电路与主电路电压的同步 .....	161
六、整流电路的保护 .....	164
七、逆变主电路 .....	167
八、逆变触发电路 .....	169
九、逆变电路的起动与保护 .....	171
【选学内容】 .....	175
一、中频感应加热装置的调试 .....	175
二、中频感应加热装置的常见故障处理 .....	179
【扩展内容】 .....	185
一、三相有源逆变电路 .....	185
二、有源逆变电路的应用 .....	187
实验实训一 锯齿波同步移相触发电路实验 .....	194
实验实训二 锯齿波同步移相触发电路实训 .....	197
实验实训三 三相桥式全控整流电路及有源逆变电路实验 .....	200
实验实训四 单相并联逆变电路实验 .....	203
思考题与习题 .....	205
<b>课题六 变频器</b> .....	208
【学习目标】 .....	208
【课题描述】 .....	208
【相关知识点】 .....	209
一、变频器的基本原理 .....	209
二、绝缘门极晶体管(IGBT) .....	214
三、脉宽调制(PWM)型逆变电路 .....	221
四、变频器的应用 .....	227
实验实训一 三相正弦波脉宽调制(SPWM)变频原理实验 .....	256
实验实训二 变频器的面板操作及运行 .....	258
实验实训三 变频器的恒液位供水 .....	261
思考题与习题 .....	263
<b>参考文献</b> .....	265

# 结 论

## 一、什么是电力电子技术

电力电子技术是建立在电子学、电力学和控制学三个学科基础上的一门边缘学科,它横跨“电子”、“电力”和“控制”三个领域,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),是强电、弱电相结合的新学科领域。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科学。

## 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 8 000 V、6 000 A。

## 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,亦称为 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,亦称为 DC/AC 变换。其中,把直流电能变换为 50 Hz 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则称为无源逆变。

(3) 交流调压与周波变换 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(周波变换)。交流调压与变频亦称为 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,亦称为 DC/DC 变换。

(5) 无触电功率静态开关 接通或断开交直流电流通路,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成为变流技术。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,遍及从庞大的发电厂设备到小巧的家用电器等几乎所有电子电气工程领域。容量可达 1 GW 至几瓦不等,工作频率也可由几赫至 100 MHz。

##### 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,小至几百瓦的数控机床的伺服电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,以达到节能的目的。还有一些不调速的电动机为了避免起动时的电路冲击而采用了软起动装置,这种软起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、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。电力机车中的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。在未来的磁悬浮列车中,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像的。

直流输电在长距离、大容量输电时有很大的优势,其送电端的整流阀盒、受电端的逆变阀都采用晶闸管变流装置。近年新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。

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。在配电网系统,电力电子装置还可用于防止电网瞬时停电、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. 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,由于开关电源体积小、重量轻、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它十分贴近我们的生活。

#### 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1 kW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,值得引起我们的注意。

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,再到我们的衣食住行,到处都能感受到电力电子技术的存在和巨大魅力。

### 五、本教材的内容介绍和使用说明

本书内容分六个课题:

课题一为调光灯,主要讲述了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。

课题二为直流调速装置,主要讲述了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。

课题三为电风扇无级调速器,主要讲述了双向晶闸管的工作原理及特性、触发电路、交

## 结 论

流调压电路的工作原理。

课题四为开关电源,主要讲述了大功率晶体管、功率场效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。

课题五为中频感应加热电源,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。

课题六为变频器,主要讲述绝缘门极晶体管元件、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课题作为教学内容。如弱电类专业(如电子技术等)可选择课题一、课题三、课题四中的部分内容。强电专业(如电气铁道化技术专业)可选择课题一、课题二、课题三、课题六中的部分内容。强电专业(如工业电气自动化技术等)可选择课题一、课题二、课题三、课题四、课题五、课题六中的部分内容。

# 课题一 调光灯

## 【学习目标】

完成本课题的学习后,能够:

1. 用万用表测试晶闸管和单晶体管的好坏。
2. 掌握晶闸管工作原理。
3. 分析单相半波整流电路的工作原理。
4. 分析单晶体管触发电路的工作原理。
5. 熟悉触发电路与主电路电压同步的基本概念。

## 【课题描述】

调光灯在日常生活中的应用非常广泛,其种类也很多。图 1-1(a)所示为常见的调光灯。旋转调光旋钮便可以调节灯泡的亮度。图 1-1(b)所示为调光灯电路原理图。

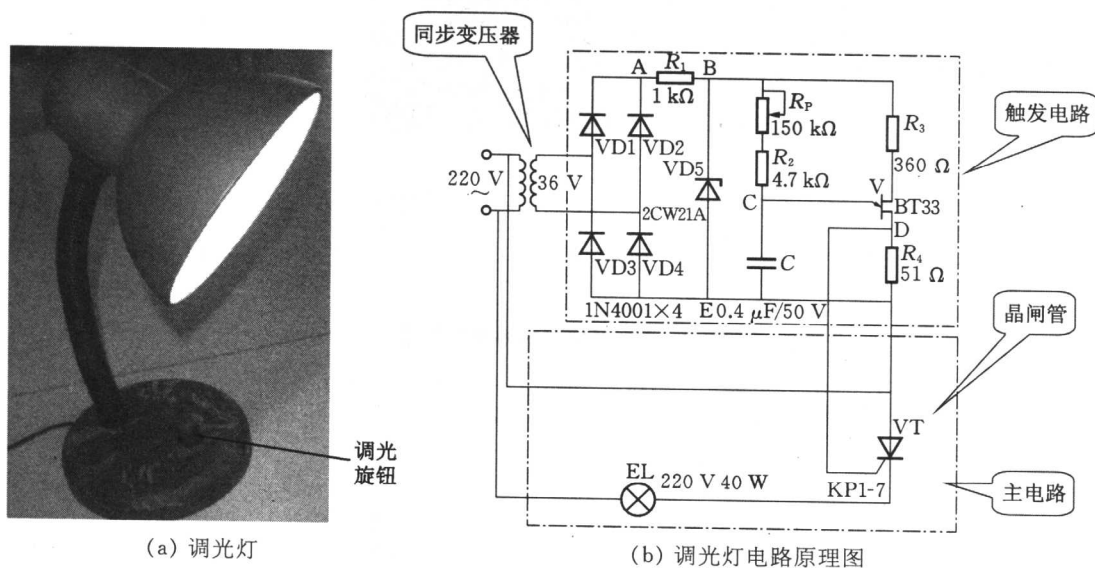


图 1-1 调光灯

如图 1-1(b)所示,调光灯电路由主电路和触发电路两部分构成,通过对主电路及触发电路的分析使学生能够理解电路的工作原理,进而掌握分析电路的方法。下面具体分析与该电路有关的知识:晶闸管、单相半波可控整流电路、单晶体管触发电路等内容。

## 【相关知识点】

### 一、晶闸管的工作原理

#### 1. 晶闸管的结构

晶闸管是一种大功率PNPN四层半导体元件,具有三个PN结,引出三个极,阳极A、阴极K、门极(G),其外形及符号如图1-2所示,各管脚名称(阳极A、阴极K、具有控制作用的门极G)标于图中。图1-2(b)所示为晶闸管的图形符号及文字符号。

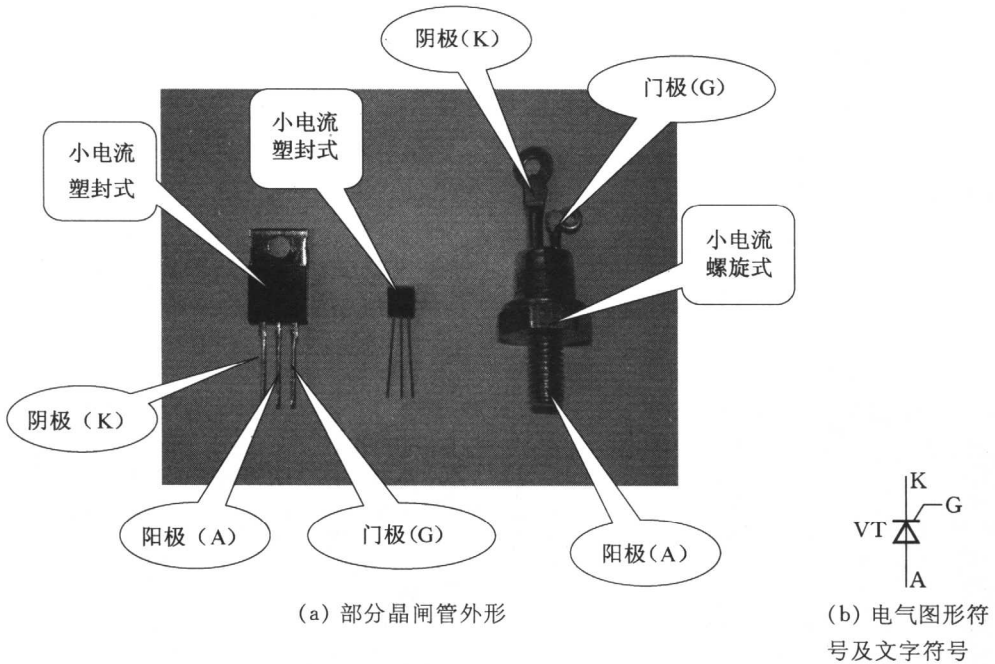


图 1-2 晶闸管的外形及符号

晶闸管的内部结构和等效电路如图1-3所示。

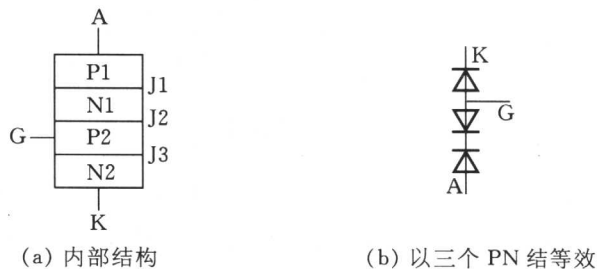


图 1-3 晶闸管的内部结构及等效电路



## 2. 晶闸管的工作原理

为了说明晶闸管的工作原理,先做一个实验,实验电路如图 1-4 所示。阳极电源  $E_a$  连接负载(灯泡)接到晶闸管的阳极 A 与阴极 K,组成晶闸管的主电路。流过晶闸管阳极的电流称阳极电流  $I_a$ ,晶闸管阳极和阴极两端电压,称阳极电压  $U_a$ 。门极电源  $E_g$  连接晶闸管的门极 G 与阴极 K,组成控制电路亦称触发电路。流过门极的电流称门极电流  $I_g$ ,门极与阴极之间的电压称门极电压  $U_g$ 。用灯泡来观察晶闸管的通断情况。该实验分九个步骤进行。

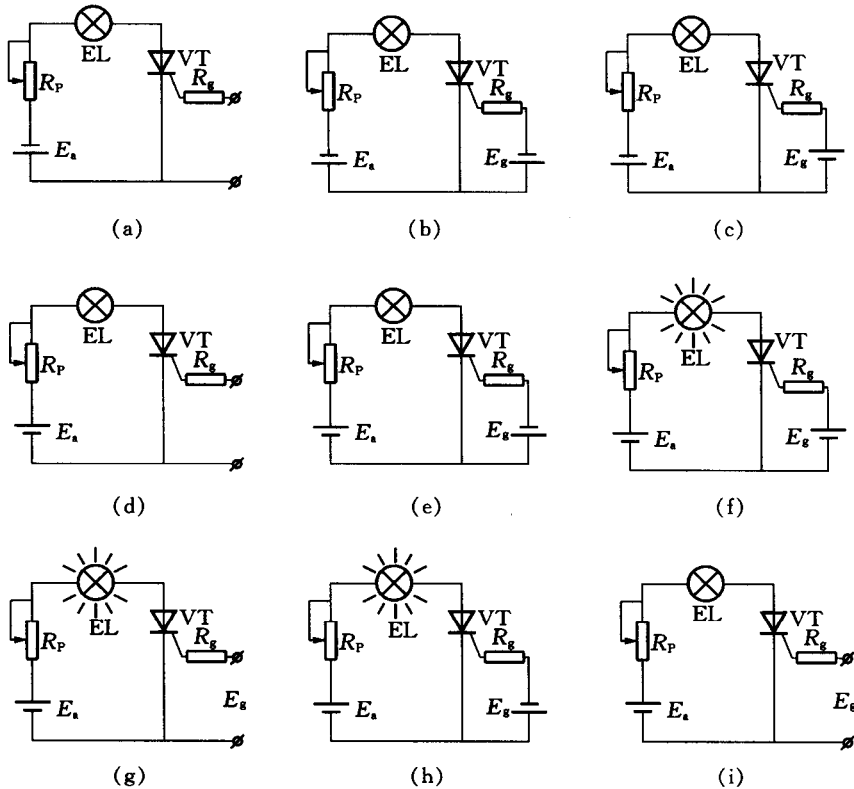


图 1-4 晶闸管导通关断条件实验电路

第一步:按图 1-4(a)接线,阳极和阴极之间加反向电压,门极和阴极之间不加电压,指示灯不亮,晶闸管不导通。

第二步:按图 1-4(b)接线,阳极和阴极之间加反向电压,门极和阴极之间加反向电压,指示灯不亮,晶闸管不导通。

第三步:按图 1-4(c)接线,阳极和阴极之间加反向电压,门极和阴极之间加正向电压,指示灯不亮,晶闸管不导通。

第四步:按图 1-4(d)接线,阳极和阴极之间加正向电压,门极和阴极之间不加电压,指示灯不亮,晶闸管不导通。

第五步:按图 1-4(e)接线,阳极和阴极之间加正向电压,门极和阴极之间加反向电压,