

全国高等职业教育机电类专业“十二五”规划教材

电力电子与运动 控制系统

DIANLI DIANZI YU YUNDONG KONGZHI XITONG

李月芳 陈 东 主编

蒋正炎 副主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

全国高等职业教育机电类专业“十二五”规划教材

电力电子与运动控制系统

李月芳 陈 柬 主 编
蒋正炎 副主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书包含电力电子技术(项目一、二、三、五)与运动控制技术(项目四、六、七)两部分内容。电力电子技术部分主要讲述了基本电力电子器件,分析了晶闸管可控整流电路、交流调压电路、直流斩波电路、逆变电路等的工作原理,并分别以“调光灯、变频器”等电气装置为载体,讲述了典型电力电子电路的调试与维护方法;运动控制技术部分主要分析了直流调速系统、基于 PLC 控制的变频调速系统与伺服控制系统的结构和工作原理,并分别以“龙门刨工作台直流调速系统、带式输送机控制系统”等机电控制系统为载体,讲述了上述了典型机电控制系统的调试与维护方法。

本书适合作为机电一体化技术等电气类专业的教材,也可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子与运动控制系统/李月芳,陈柬主编. —北京:
中国铁道出版社,2013. 12

全国高等职业教育机电类专业“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 113 - 16981 - 7

I. ①电… II. ①李… ②陈… III. ①电力电子学—高等职业教育—教材②自动控制系统—高等职业教育—教材
IV. ①TM1②TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 217574 号

书 名:电力电子与运动控制系统
作 者:李月芳 陈 柬 主编

策 划:祁 云
责任编辑:祁 云
编辑助理:绳 超
封面设计:付 巍
封面制作:白 雪
责任印制:李 佳

读者热线:400 - 668 - 0820
特邀编辑:王 冬

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.51eds.com>

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

版 次:2013 年 12 月第 1 版 2013 年 12 月第 1 次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:23 字数:555 千

印 数:1 ~ 3 000 册

书 号:ISBN 978 - 7 - 113 - 16981 - 7

定 价:43.80 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材图书营销部联系调换。电话:(010)63550836

打击盗版举报电话:(010)51873659

全国高等职业教育机电类专业“十二五”规划教材

编 审 委 员 会

主 任：狄建雄 南京工业职业技术学院

副主任：（按照姓氏笔画排序）

金文兵 浙江机电职业技术学院

姚庆文 常州轻工职业技术学院

秦益霖 常州信息职业技术学院

程 周 安徽职业技术学院

委 员：（按照姓氏笔画排序）

吉 智 徐州工业职业技术学院

成建生 淮安信息职业技术学院

许秀林 南通职业大学

张 平 扬州职业大学

张文明 常州纺织职业技术学院

陈海荣 金华职业技术学院

金彦平 常州工程职业技术学院

周 涛 江苏海事职业技术学院

赵旭升 南京化工职业技术学院

徐行健 三菱电机自动化（中国）有限公司

唐育正 无锡科技职业技术学院

陶国正 常州机电职业技术学院

曹 菁 江苏信息职业技术学院

随着科学技术的不断进步,自动化技术的发展速度正在不断加快,涉及领域也越来越广,在现代化建设中发挥了重要作用,改变着我国工业现代化的整体面貌,对社会的生产方式、人们的生活方式和思想观念也产生了重大的影响。在信息科学、计算机科学和新能源等推进下,不断向智能化、网络化、集成化的方向发展。

由全国工业和信息化职业教育教学指导委员会自动化技术类专业教学指导委员会、江苏省高职教育研究会自动化类专业协作委员会、中国铁道出版社共同发起成立了“全国高等职业教育机电类专业‘十二五’规划教材编审委员会”,组织出版适应新时期自动化技术类系列教材。本系列教材基于“加强基础,循序渐进,学以致用,力求创新,重在工程应用”的原则,通过对多年专业教学研究,对课程内容进行整合、交融和改革,以不同模块和教学项目进行组合,以典型工程应用项目为案例,重在培养学生工程实践能力,满足各类学校特色办学的需要。并力求做到:

1. 适用性

本系列教材结合自动化技术类专业教学标准,根据培养目标和专业定位,按技术基础课、专业核心课、综合实训课和教学实践等环节进行选材和组稿,注重课程之间的交叉与衔接,尽量减少教材内容上的重复。内容精练,易于学习,易于应用。

2. 工程性

本系列教材选取大量企业工程应用案例,通过项目和任务引入理论知识,边学边做,让学生掌握实际工作中所需要用到的各种能力。培养学生的工程维护及故障分析能力,目标明确,培养效果好。

3. 创新性

本系列教材强调与时俱进,力求反映课程改革成效,体现新技术、新发展、新应用、新成果,注重理论创新和实践创新,以满足产业转型升级

级对人才培养的要求。

4. 权威性

本系列教材的编委由长期从事高等职业教育工作并在教学第一线的知名教授和有多年工程实践经验的企业技术人员组成。本系列教材理论与实践相结合,紧密行业、企业新技术,内容贴合实际,实用性好。组稿过程严谨细致,为确保本系列教材的质量提供了有力保障。

本系列教材适合作为自动化技术类专业和相关专业教学用书,也可作为维修电工职业培训和鉴定用书。本系列教材的出版,先后得到全国数十所高职院校相关领导、国内知名企业技术人员和广大教师的支持和帮助,在此表示衷心感谢。

书中难免存在不足之处,欢迎广大师生和企业技术人员提出宝贵的意见和建议。

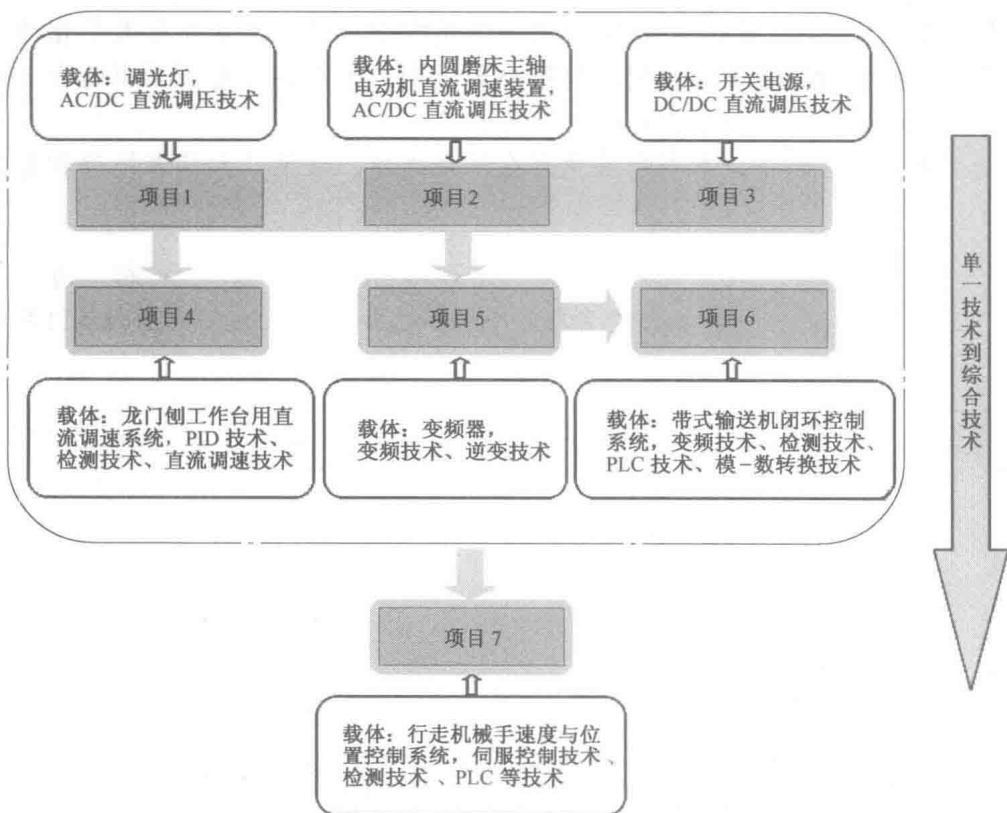
全国高等职业教育机电类专业“十二五”规划教材编审委员会

狄建雄

2013年8月

本书是围绕电气类专业“机电设备电气系统的调试与维护”岗位职业能力而开发的项目式教材，重点突出调速系统（或电气装置）的调试与维护能力的培养。

在整体结构上，本书以覆盖典型技术的机电设备控制系统（或电气装置）为载体，共设计了7个项目，项目按照由单一技术到综合技术应用为逻辑顺序展开（见下图）。项目1、项目2、项目3分别以调光灯、内圆磨床主轴电动机直流调速装置、开关电源为载体，体现直流调压技术；项目4以龙门刨工作台用直流调速系统为载体，体现PID技术、检测技术、直流调速技术等综合应用；项目5以变频器为载体，体现变频技术、逆变技术；项目6以带式输送机闭环控制系统为载体，体现了变频技术、检测技术、PLC技术、模-数转换技术等综合应用；项目7以行走机械手速度与位置控制系统为载体，体现了伺服控制技术、检测技术、PLC技术的综合应用。



前言

FOREWORD

在内部结构上,本书各项目内部采用“项目导向,任务驱动”的结构,每个项目都由真实可操作的工作任务驱动,体现以实践知识为重点,以理论知识为背景,注重学生实践能力和应用能力的培养,体现理论知识够用的原则;项目拓展知识,为学生个人发展提供需求。

在教学内容上,本书以岗位工作任务为依据,同时兼顾国家职业资格标准(高级维修电工),主要包括内圆磨床主轴电动机直流调速装置、龙门刨工作台用直流调速系统、带式输送机闭环控制系统、行走机械手的速度与位置控制系统的调试与维护等任务,任务突出典型性和实用性。

本书是由常州轻工职业技术学院、南京化工职业技术学院、常州三禾工自动化科技有限公司、中国亚龙科技有限公司共同开发的项目化教材,由常州轻工职业技术学院李月芳和南京化工职业技术学院陈柬任主编,常州轻工职业技术学院蒋正炎任副主编。李月芳编写了前言、项目4、项目5,并负责全书的组织、提纲编写和统稿工作;陈柬编写了项目1~项目3;蒋正炎编写了项目6、项目7。在编写本书的过程中,得到了常州三禾工自动化科技有限公司、中国亚龙科技有限公司、浙江天煌科技有限公司的大力支持,在此表示衷心的感谢!

限于编者水平,本书中难免存在不足之处,敬请广大读者批评和指正。

编者

2013年11月

项目1 调光灯的装调与维修	1
任务1 认识晶闸管、双向晶闸管和单晶体管	2
子任务1 认识晶闸管	2
子任务2 认识双向晶闸管	5
子任务3 认识单晶体管	6
任务2 单晶体管触发电路及单相半波电路的调试	17
子任务1 单晶体管触发电路的调试	17
子任务2 单相半波可控整流电路的调试	18
任务3 单相交流调压电路的调试	27
子任务1 KC05触发电路的调试	27
子任务2 单相交流调压电路调试	28
任务4 调光灯的安装与调试	31
项目拓展知识	33
小结	37
练一练	37
项目2 内圆磨床主轴电动机直流调速装置的调试与维修	40
任务1 锯齿波触发电路及单相桥式全控整流电路的调试	41
子任务1 锯齿波触发电路的调试	41
子任务2 单相桥式全控整流电路的调试	43
任务2 集成触发电路及单相桥式半控整流电路的调试	50
子任务1 集成触发电路的调试	51
子任务2 单相桥式半控整流电路的调试	52
任务3 三相集成触发电路及三相半波整流电路的调试	58
子任务1 三相集成触发电路的调试	59
子任务2 三相半波整流电路的调试	60
任务4 三相桥式全控整流电路的调试	67
项目拓展知识	74
小结	79
练一练	79
项目3 台式计算机开关电源的调试与维护	83
任务1 GTR、电力MOSFET、IGBT的认识与特性测试	86
子任务1 GTR、电力MOSFET、IGBT的认识	86
子任务2 GTR、电力MOSFET、IGBT特性测试	89
任务2 直流斩波(DC/DC变换)电路的调试	98
子任务1 控制与驱动电路的调试	98
子任务2 直流斩波电路的测试	99

目录 CONTENTS

任务3 半桥型开关稳压电源电路的调试	107
子任务1 控制与驱动电路的调试	108
子任务2 半桥型开关直流稳压电源的调试	109
任务4 台式计算机开关电源的调试与维护	117
项目拓展知识	121
小结	129
练一练	129
项目4 龙门刨床工作台用直流调速系统的分析与调试	132
任务1 认识直流调速系统	135
子任务1 认识开环直流调速系统	135
子任务2 认识转速负反馈直流调速系统	136
任务2 分析转速负反馈直流调速系统的稳定性能	144
子任务1 建立转速负反馈直流调速系统的动态数学模型	144
子任务2 判断转速负反馈直流调速系统的稳定性	148
任务3 转速负反馈直流调速系统的连接与静特性测试	167
子任务1 测试直流电动机开环外特性	168
子任务2 速度调节器调零及其限幅值调节	169
子任务3 整定测速发电机变换环节的转速反馈系数	170
子任务4 转速负反馈直流调速系统的连接与调试	171
任务4 模拟龙门刨床工作台用直流调速系统的连接与调试	190
子任务1 认识龙门刨床工作台用直流调速系统	190
子任务2 模拟龙门刨床工作台用直流调速系统的单元调试	191
子任务3 模拟龙门刨床工作台用直流调速系统的连接与调试	193
项目拓展知识	200
小结	205
练一练	205
项目5 变频器的认识与操作	209
任务1 认识变频器	211
子任务1 认识交 直 交变频器的内部结构	211
子任务2 单相并联逆变电路的调试	214
任务2 三相SPWM变频调速系统的调试	226
任务3 三菱FRD700变频器的参数设置及运行	232
子任务1 认识三菱FRD700变频器的结构	233
子任务2 三菱FRD720S0 4KCHT变频器的面板基本操作	234
子任务3 采用变频器操作面板实施电动机启停和正反转控制	235

子任务4 采用外部开关实施电动机的启停和正反转控制·····	235
项目拓展知识·····	244
小结·····	252
练一练·····	252
项目6 带式输送机闭环控制系统的调试与维护·····	254
任务1 采用PLC的变频器简单控制·····	255
子任务1 带式输送机的安装·····	255
子任务2 PLC与变频器的安装·····	257
子任务3 带式输送机的启停和正反转控制·····	259
子任务4 带式输送机的多级调速控制·····	261
任务2 采用PLC的变频器无级调速控制·····	270
子任务1 变频器的模拟量端口连接·····	270
子任务2 PLC实现模拟量调速编程·····	273
任务3 带式输送机闭环控制系统的调试与维护·····	278
子任务1 带式输送机的物料分拣·····	278
子任务2 带式输送机的转速反馈控制·····	284
子任务3 PLC与变频器的通信控制·····	287
项目拓展知识·····	295
小结·····	303
练一练·····	303
项目7 行走机械手的速度与位置控制系统的调试与维护·····	306
任务1 步进电动机控制系统的连接与调试·····	307
子任务1 认识与使用步进电动机·····	307
子任务2 认识与使用步进驱动器·····	310
子任务3 PLC控制步进驱动器及电动机·····	314
任务2 交流伺服电动机控制系统的连接与调试·····	321
子任务1 认识伺服电动机·····	321
子任务2 认识和使用伺服驱动器·····	325
子任务3 三菱PLC控制伺服驱动器及电动机·····	330
任务3 行走机械手的速度与位置控制系统的调试与维护·····	335
子任务1 回原点控制·····	335
子任务2 相对定位控制·····	337
子任务3 绝对定位控制·····	341
项目拓展知识·····	343
小结·····	353
练一练·····	353

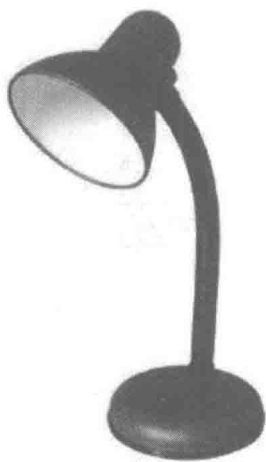
项目1 调光灯的装调与维修

学习目标

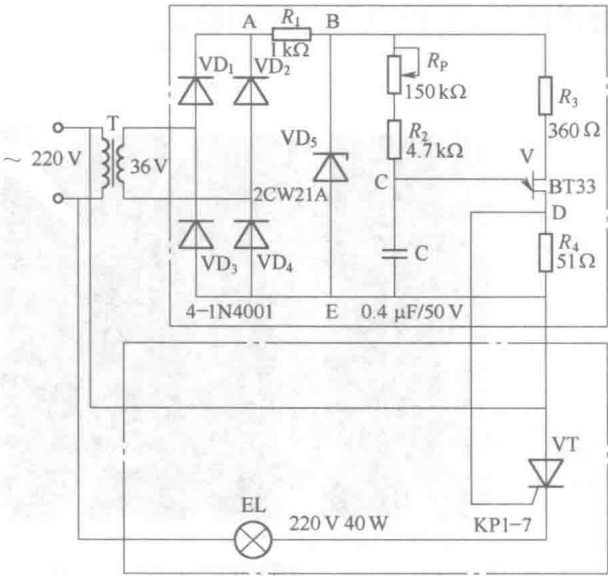
1. 能分析晶闸管导通和关断的原理,能认识晶闸管主要类型、参数、功能。
2. 能用万用表测试晶闸管、双向晶闸管和单晶体管的好坏。
3. 能正确调试单相半波可控整流电路。
4. 能正确调试单晶体管触发电路。
5. 能对调光灯电路进行焊接、调试和排除故障。

项目描述

某调光灯实物图如图 1-1(a) 所示,旋动调光旋钮便可以调节灯泡的亮度。调光灯电路原理图如图 1-1(b) 所示,分析调光灯的工作原理;检查元器件的好坏,并根据原理图正确安装元器件;调试安装好的电子线路,使其能正常工作。



(a) 调光灯实物图



(b) 调光灯电路原理图

图 1-1 调光灯实物图及电路原理图

任务1 认识晶闸管、双向晶闸管和单结晶体管

任务目标

1. 能分析晶闸管导通和关断的原理,能认识晶闸管主要类型、参数、功能。
2. 能用万用表测试晶闸管、双向晶闸管和单结晶体管的好坏。

 晶闸管、双向晶闸管和单结晶体管是什么器件? 我没有见过呀!

 它们都是属于电力电子器件,各自有不同的用途,外形、符号也有所区别。

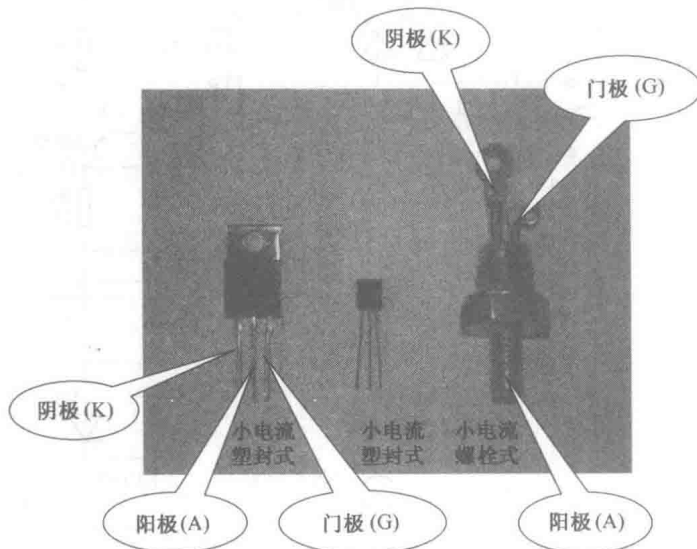
实验室都有实物。我们先认识晶闸管吧!

任务实施

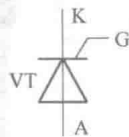
子任务1 认识晶闸管

1. 判别晶闸管的型号及电极

晶闸管是一种大功率半导体器件。晶闸管从外形上分类主要有塑封型、螺栓型、平板型。具有三个极:阳极 A、阴极 K、门极(即栅极,又称控制极) G,各引脚名称如图 1-2(a) 所示。晶闸管的图形符号及文字符号图 1-2(b) 所示。



(a) 各引脚名称



(b) 图形符号及文字符号

图 1-2 晶闸管的引脚名称及符号

晶闸管的内部结构和等效电路如图 1-3 所示,它是 PNP 四层半导体器件,具有三个 PN 结。

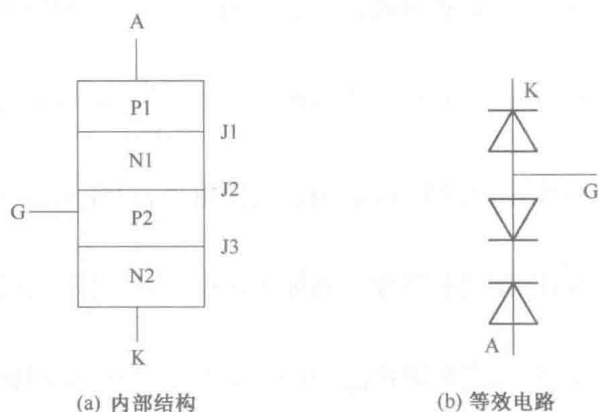


图 1-3 晶闸管的内部结构和等效电路

晶闸管若从外观上判断,三个电极形状各不相同,无需做任何测量就可以识别。小功率晶闸管的门极比阴极细,大功率晶闸管的门极则用金属编制套引出,像一根辫子。有的在阴极上另引出一根较细的引线,以便和触发电路连接,这种晶闸管有四个电极,也无须测量就能识别。

2. 判别晶闸管的好坏

在实际的使用过程中,很多时候需要对晶闸管的好坏进行简单的判断,通常采用万用表法进行判别。

①万用表挡位置于 $R \times 100$ 挡,将红表笔接在晶闸管的阳极,黑表笔接在晶闸管的阴极,观察指针摆动情况。

②将黑表笔接晶闸管的阳极,红表笔接晶闸管的阴极,观察指针摆动情况。

实测结果:正反向电阻值(以下简称阻值)均很大。(接近 ∞)

原因:晶闸管是四层三端半导体器件,在阳极和阴极之间有三个 PN 结,无论如何加电压,总有一个 PN 结处于反向阻断状态,因此正反向阻值均很大。

③将红表笔接晶闸管的阴极,黑表笔接晶闸管的门极,观察指针摆动情况。

④将黑表笔接晶闸管的阴极,红表笔接晶闸管的门极,观察指针摆动情况。

理论结果:当黑表笔接控制极,红表笔接阴极时,阻值很小;当红表笔接控制极,黑表笔接阴极时,阻值较大。

实测结果:两次测量的阻值均不大

原因:在晶闸管内部控制极与阴极之间反并联了一个二极管,对加到控制极与阴极之间的反向电压进行限幅,防止晶闸管控制极与阴极之间的 PN 结反向击穿。

3. 晶闸管的导通与关断条件的测试

晶闸管导通与关断条件实验电路如图 1-4 所示。阳极电源 E_a 连接负载(白炽灯)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为阳极电流 I_a ,晶闸管阳极和阴极两端电压称为阳极电压 U_a 。门极电源 E_g 连接晶闸管的门极 G 与阴极 K,组成控

制电路又称触发电路。流过门极的电流称为门极电流 I_g ，门极与阴极之间的电压称为门极电压 U_g 。用指示灯来观察晶闸管的通断情况。该实验分九步进行。

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,指示灯不亮,晶闸管不导通。

第六步:按图 1-4(f)接线,阳极和阴极之间加正向电压,门极和阴极之间也加正向电压,指示灯亮,晶闸管导通。

第七步:按图 1-4(g)接线,去掉触发电压,指示灯亮,晶闸管仍导通。

第八步:按图 1-4(h)接线,门极和阴极之间加反向电压,指示灯亮,晶闸管仍导通。

第九步:按图 1-4(i)接线,去掉触发电压,将电位器阻值加大,晶闸管阳极电流减小,当电流减小到一定值时,指示灯熄灭,晶闸管关断。

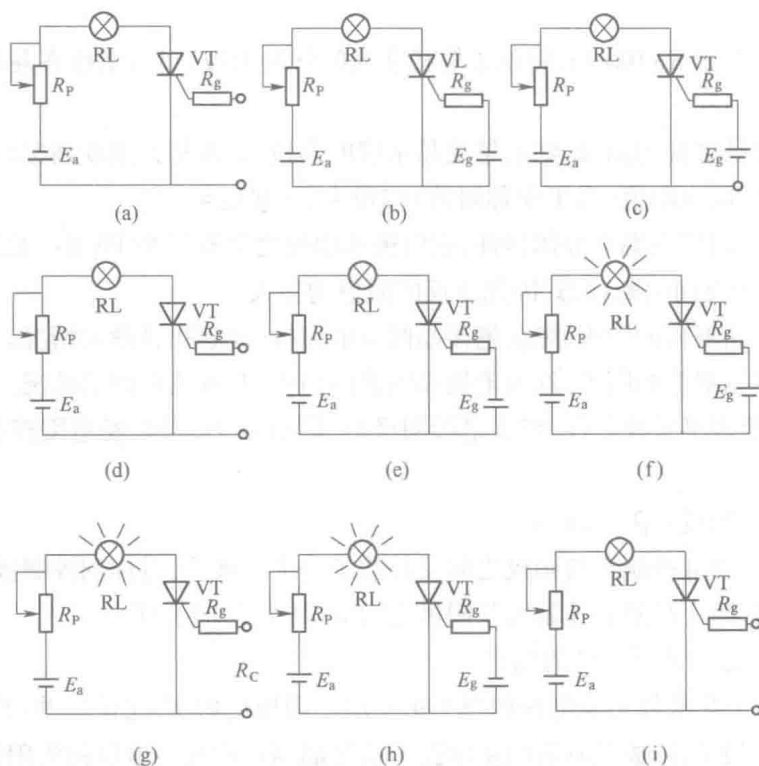


图 1-4 晶闸管导通与关断条件实验电路

晶闸管导通和关断实验现象与结论列于表 1-1。

表 1-1 晶闸管导通和关断实验现象与结论

实验 顺序		实验前灯 的情况	实验时晶闸管条件		实验后灯 的情况	结 论
			阳极电压 U_a	门极电压 U_g		
导 通 实 验	1	暗	反向	反向	暗	晶闸管在反向阳极电压作用下,不论门极为何电压,它都处于关断状态
	2	暗	反向	零	暗	
	3	暗	反向	正向	暗	
	4	暗	正向	反向	暗	晶闸管同时在正向阳极电压与正向门极电压作用下,才能导通
	5	暗	正向	零	暗	
	6	暗	正向	正向	亮	
关 断 实 验	1	亮	正向	正向	亮	已导通的晶闸管在正向阳极作用下,门极失去控制作用
	2	亮	正向	零	亮	
	3	亮	正向	反向	亮	
	4	亮	正向(逐渐减小到接近于零)	任意	暗	晶闸管在导通状态时,当阳极电压减小到接近于零时,晶闸管关断

实验表明：

- ①当晶闸管承受反向阳极电压时,无论门极是否有正向触发电压或者承受反向电压,晶闸管不导通,只有很小的反向漏电流流过晶闸管,这种状态称反向阻断状态,说明晶闸管像整流二极管一样,具有单向导电性。
- ②当晶闸管承受正向阳极电压时,门极加上反向电压或者不加电压,晶闸管不导通,这种状态称正向阻断状态。这是二极管所不具备的。
- ③当晶闸管承受正向阳极电压时,门极加上正向触发电压,晶闸管导通,这种状态称为正向导通状态。这就是晶闸管闸流特性,即可控特性。
- ④晶闸管一旦导通后维持阳极电压不变,将触发电压撤除依然处于导通状态,即门极对晶闸管不再具有控制作用。

结论：

- ①晶闸管导通条件:阳极加正向电压,门极加适当正向电压。
- ②晶闸管关断条件:流过晶闸管的电流小于维持电流。

子任务 2 认识双向晶闸管

双向晶闸管的外形与普通晶闸管类似,有塑封型、螺栓型、平板型。但其内部是一种 NPNPN 五层结构的三端器件。有两个主电极 T1、T2,一个门极 G,其外形如图 1-5 所示。

1. 判别双向晶闸管的极性

- ①用万用表 $R \times 1 \Omega$ 挡,用红、黑两表笔分别测任意两引脚间正反向电阻,结果其中两组读数为无穷大。若一组为数十欧姆,该组红、黑表所接的两引脚为第一主极 T1 和控制极 G,另一空引脚即为第二主极 T2。
- ②确定 T1、G 极后,再仔细测量 T1、G 极间正、反向电阻,读数相对较小的那次测量的黑表

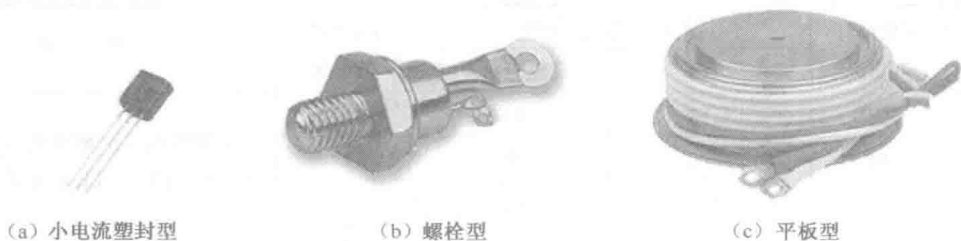


图 1-5 双向晶闸管的外形

笔所接的引脚为第一阳极 T1,红表笔所接引脚为控制极 G。

③将黑表笔接已确定的第二阳极 T2,红表笔接第一阳极 T1,此时万用表指针不应发生偏转,阻值为无穷大。再用短接线将 T2、G 极瞬间短接,给 G 极加上正向触发电压,T2、T1 间阻值约 $10\ \Omega$ 。随后断开 T2、G 间短接线,万用表读数应保持 $10\ \Omega$ 左右。

④互换红、黑表笔接线,红表笔接第二阳极 T2,黑表笔接第一阳极 T1。同样万用表指针应不发生偏转,阻值为无穷大。用短接线将 T2、G 极间再次瞬间短接,给 G 极加上负的触发电压,T1、T2 间的阻值也是 $10\ \Omega$ 左右。随后断开 T2、G 极间短接线,万用表读数应不变,保持在 $10\ \Omega$ 左右。符合以上规律,说明被测双向晶闸管未损坏,且三个引脚极性判断正确。

2. 判别双向晶闸管的好坏

①用万用表 $R \times 1k$ 挡,黑表笔接 T1,红表笔接 T2,表针应不动或微动,调换两表笔,表针仍不动或微动为正常。

②将万用表量程换到 $R \times 1$ 挡,黑表笔接 T1,红表笔接 T2,将触发极与 T2 短接一下后离开,万用表应保持几到几十欧的读数;调换两表笔,再次将触发极与 T2 短接一下后离开,万用表指针情况同上。经过①、②两项测量,情况与所述相符,表示元器件是好的,若情况与②结果不符,可采用③所示方法测量。

③对功率较大或功率较小但质量较差的双向晶闸管,应将万用表接 1~2 节干电池,黑表笔接电源负极,然后再按②所述方法测量判断。

子任务 3 认识单结晶体管

国产单晶体管的型号主要有 BT31、BT33、BT35(BT 表示特征半导体),其实物图、引脚如图 1-6 所示。

1. 判别单晶体管的极性

①判断单晶体管发射极 e 的方法是:把万用表置于 $R \times 100$ 挡或 $R \times 1k$ 挡,用黑表笔接假设的发射极,红表笔接另外两极,当出现两次低电阻时,黑表笔接的就是单晶体管的发射极。

②单晶体管基极 b1 和 b2 的判断方法是:把万用表置于 $R \times 100$ 挡或 $R \times 1k$ 挡,用黑表笔接发射极,红表笔分别接另外两极,两次测量中,电阻大的一次,红表笔接的就是 b1 极。

应当说明的是,上述判别 b1、b2 的方法,不一定对所有的单晶体管都适用,有个别单晶体管的 e-b1 间的正向电阻值较小。不过准确地判断哪极是 b1,哪极是 b2,在实际使用中并不特别重要。即使 b1、b2 用颠倒了,也不会使晶体管损坏,只影响输出脉冲的幅度(单结晶体