

中等职业学校电气安装维修理论与实践一体化教材

模拟电子

MONI DIANZI

郭贇 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



中等职业学校电气安装维修理论与实践一体化教材

模拟电子

郭贇 主编



机械工业出版社

本书根据中等职业学校电气控制与维修专业理论实践一体化课程教学大纲,参照国家职业标准编写。主要内容包括:常用半导体器件,电子制作技术基本知识,单相整流滤波电路,放大电路,运算放大器,正弦波振荡器,直流稳压电源,晶闸管电路。每一章后面都配有相应的技能训练和复习思考题供教学使用,充分体现理论与实践有机结合的教学模式;通过联系生产实际,突出操作技能,重视学生动手能力的培养。

另外,本书配有教学电子课件,包括教案、复习思考题答案、期中与期末模拟试题等,读者可以从机械工业出版社网站下载(网址为:<http://www.cmpbook.com>)。

本书既可作为中等职业学校电气控制与维修专业教材,也可作为成人高校或职业技术学院相关专业的教材,还可供有关专业技术人员参考和使用。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子/郭贇主编. —北京:机械工业出版社,

2007.8

中等职业学校电气安装维修理论与实践一体化教材

ISBN 978-7-111-22013-8

I. 模… II. 郭… III. 模拟电路-电子技术-专业学校-教材 IV. TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第115999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:朱华 责任编辑:王振国

版式设计:冉晓华 责任校对:吴美英

封面设计:马精明 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2007年9月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·10.5印张·248千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-22013-8

定价:17.00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) 88379083

封面防伪标均为盗版

中等职业学校电气安装维修理论与实践一体化 教材编审委员会

主任委员：王 建

副主任委员：赵承荻 李 伟

委 员：(排名不分先后)

陈惠群 施利春 郭瑞红 郭 贇 陈秀梅

吕书勇 陈应华 徐 彤 荆宏智 朱 华

张 凯 刘 勇 赵金周 张 明 李宏民

本书主编：郭 贇

副 主 编：郑 宏

参编人员：邵小英 葛守峰 张 韬

本书主审：王 建

本书参审：杜萌萌

序

进入21世纪,我国逐渐成为“世界制造中心”,制造业赖以生存与发展的生产技术主力军是技能型人才队伍。而制造业向消费市场提供的机床、装备机械、电气设备及各种含有电力拖动与电气控制的产品中,其电气系统都占有很大的分量和起着关键作用。要想完成装备中电气系统的研发、试制、安装、维修、操作及使用,就必须有大量的电工类专业技能人才参与。鉴于我国制造业及其他工业企业的人才结构状况,维修电工、机电一体化以及电子技术专业技能人才严重缺乏,尤其是经过培训并获得职业技能资格证书的高技能人才更为奇缺,这种格局已成为制约我国工业经济快速发展的瓶颈。因此,国务院先后召开了“全国职业教育工作会议”和“全国加快培养高技能人才座谈会”,明确提出在“十一五”期间培养技师和高级技师190万人,培养高级工800万人,使我国高技能人才总量达到2800万人的宏伟目标。

众所周知,高职院校、技师学院、中职学校是培养和造就中高级技能人才的主要阵地,而教材则是使这些学校向学生传授知识与技能的主要工具之一,也是人们接受终身教育和职场发展的学习工具,编写一套既能适应时代要求,又能有效地提高人才培养效果的好教材,就等于为推进技能人才培养提供了成才就业的金钥匙。

随着现代科学技术的不断发展,在电气技术方面电子元器件及变换技术的产生,电动机由直流发电机—电动机调速向各类交流调速方向快速发展;电气控制方面由接触器控制系统向可编程序控制器(PLC)系统发展;机床电气控制也由接触器控制系统向数控机床系统、计算机数控机床(CNC)快速转化。各类职业技术学院针对现代工业企业对技能人才具有极大需求的特点,大胆提出了“知识宽广够用,重在应用技能为本”的人才培养理念;又根据电气技术不断发展,人才培训理念创新和企业人才需求“特点”的时代要求,将原来的专业理论课与技能训练课分别开设的教学内容及教学模式,逐步调整为专业理论与技能训练一体化的教学内容和教学模式。因此,我们组织了长期工作在教学第一线的专家和有丰富的教学经验的教师编写了这套适合中、高级技能人才培养的电气安装与维修专业的理论与实践一体化教材。

这套教材在编写原则上,着重强调了理论与实训一体化的知识内容同步、训练同步的模式。教材内容以文字、数据、图、表格相结合的方式展示给学生,以此提高学生的学习兴趣 and 认知的亲和力。而且,还参照相关国家职业标准规定的知识层次,但在内容上又不完全拘泥于标准,以此照顾到初级、中级技能人才接受知识和技能培训的需要,为各类技能人才培养搭建一个阶梯型架构。同时,也为满足培训、考工和读者自学的需要提供教材的配套。最后,在教材编写过程中尽可能多地充实新知识、新技术、新工艺、新内容,力求增强技术知识的领先性和实用性,重在教会接受培训的人员掌握一些新知识与新技能。本套教材主要作为中等职业学校的教材,也可作为技师学院,高职学校选用参考。

在本套教材的编写过程中,得到了许多学校领导、专家、老师的指导及帮助,在此谨向

他们表示衷心的感谢。

由于我们的水平和编写时间有限,教材中难免存在错误和不足之处,诚请从事职业教育的专家、老师和广大读者批评指正。

中等职业学校电气安装维修理论与实践一体化
教材编审委员会

读者信息反馈表

感谢您购买《模拟电子》一书。为了更好地为您服务，有针对性地为您提供图书信息，方便您选购合适图书，我们希望了解您的需求和对我们教材的意见和建议，愿这小小的表格为我们架起一座沟通的桥梁。

姓 名		所在单位名称	
性 别		所从事工作（或专业）	
通信地址			邮 编
办公电话		移动电话	
E-mail			
<p>1. 您选择图书时主要考虑的因素（在相应项前画√）</p> <p>（ ）出版社 （ ）内容 （ ）价格 （ ）封面设计 （ ）其他</p> <p>2. 您选择我们图书的途径（在相应项前画√）</p> <p>（ ）书目 （ ）书店 （ ）网站 （ ）朋友推介 （ ）其他</p>			
<p>希望我们与您经常保持联系的方式：</p> <p style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> 电子邮件信息 <input type="checkbox"/> 定期邮寄书目 <input type="checkbox"/> 通过编辑联络 <input type="checkbox"/> 定期电话咨询 </p>			
您关注（或需要）哪些类图书和教材：			
您对我社图书出版有哪些意见和建议（可从内容、质量、设计、需求等方面谈）：			
您今后是否准备出版相应的教材、图书或专著（请写出出版的专业方向、准备出版的时间、出版社的选择等）：			

非常感谢您能抽出宝贵的时间完成这张调查表的填写并回寄给我们，您的意见和建议一经采纳，我们将有礼品回赠。我们愿以真诚的服务回报您对机械工业出版社技能教育分社的关心和支持。

请联系我们——

地 址 北京市西城区百万庄大街 22 号 机械工业出版社技能教育分社

邮 编 100037

社长电话 (010) 88379080 88379083 68329397 (带传真)

E-mail jnfs@mail.machineinfo.gov.cn

目 录

序

第一章 常用半导体器件	1
第一节 半导体二极管	1
一、半导体的基本知识	1
二、PN 结及其单向导电性	2
三、半导体二极管	3
技能训练 1 二极管的识别和检测	5
第二节 晶体管	7
一、晶体管的结构、图形符号和型号	7
二、晶体管的电流放大作用	9
三、晶体管的工作特性	10
四、晶体管的主要参数	11
技能训练 2 晶体管的识别和检测	12
技能训练 3 晶体管的特性测试	15
本章小结	18
复习思考题	18
第二章 电子制作技术基本知识	20
第一节 焊接工具与焊接材料	20
一、焊接工具	20
二、焊接材料	21
第二节 电烙铁的使用	22
一、新电烙铁使用前的处理	22
二、电烙铁焊接过程中的注意事项	22
第三节 焊接工艺与操作	24
一、焊前处理	24
二、电子元器件的引线成形和插装	24
三、焊接工艺	25
四、印制电路板的焊接	26
五、拆焊方法	27
技能训练 4 焊接练习 (一)	27
技能训练 5 焊接练习 (二)	28
本章小结	29
复习思考题	30

第三章 单相整流滤波电路	31
第一节 单相整流电路	31
一、单相半波整流电路	31
二、单相桥式整流电路	32
第二节 滤波电路	34
一、电容滤波电路	34
二、电感滤波电路	37
三、复式滤波电路	37
技能训练6 单相桥式整流电容滤波电路的安装和测试	38
本章小结	43
复习思考题	44
第四章 放大电路	45
第一节 共射极基本放大电路	45
一、放大电路概述	45
二、共射极基本放大电路的组成和工作原理	46
三、共射极基本放大电路的分析	49
技能训练7 共射极基本放大电路的安装和测试	54
第二节 分压式偏置电路	58
一、电路的结构特点	59
二、静态工作点的估算	59
三、输入、输出电阻和电压放大倍数的估算	59
第三节 多级放大电路	60
一、级间耦合方式	61
二、多级放大电路的估算	62
第四节 负反馈放大电路	62
一、反馈的基本概念	62
二、反馈的判断	64
三、负反馈放大器的四种基本类型	65
四、负反馈对放大器性能的影响	65
技能训练8 负反馈放大器的安装和测试	66
第五节 射极输出器	70
一、电路的组成	70
二、电路的特点	71
三、电路的应用	71
技能训练9 射极输出器的安装和测试	71
第六节 功率放大电路	75
一、低频功率放大器的概念	75
二、互补对称功率放大器	75

三、集成功率放大器	77
技能训练 10 集成功率放大器的安装和测试	78
本章小结	81
复习思考题	82
第五章 运算放大器	84
第一节 集成运算放大器	84
一、集成运放的组成和符号	84
二、集成运放的封装和分类	85
三、集成运放的电压传输特性	85
四、集成运放的两种基本电路	86
第二节 集成运算放大器的应用电路	88
一、加法运算电路	88
二、减法运算电路	89
三、积分运算电路	90
四、微分运算电路	90
五、电压比较器	91
第三节 集成运放的使用常识	93
一、集成运放的正确使用	93
二、集成运放的保护电路	94
技能训练 11 集成运放线性应用电路的安装和测试	95
本章小结	99
复习思考题	100
第六章 正弦波振荡电路	102
第一节 正弦波振荡电路的基本原理	102
一、自激振荡电路的基本组成	102
二、自激振荡产生的条件	103
三、自激振荡的建立与稳幅	103
第二节 LC 正弦波振荡电路	104
一、LC 并联谐振电路的选频特性	104
二、变压器反馈式振荡电路	104
三、电感三点式振荡电路	105
四、电容三点式振荡电路	106
技能训练 12 LC 振荡电路的安装和测试	107
第三节 RC 正弦波振荡电路	110
一、RC 桥式振荡电路的组成	111
二、RC 串并网络的选频特性	111
三、振荡条件的判断及振荡频率	111
四、稳幅措施	112

技能训练 13 RC 振荡电路的安装和测试	112
第四节 石英晶体振荡电路	115
一、石英晶片的压电效应	115
二、石英晶体谐振器	115
三、石英晶体振荡电路	116
本章小结	117
复习思考题	118
第七章 直流稳压电源	120
第一节 稳压电路	120
一、稳压二极管的工作特性和主要参数	120
二、简单稳压电路	122
三、晶体管串联稳压电路	122
技能训练 14 串联稳压电路的安装和测试	124
第二节 集成稳压器	127
一、三端集成稳压器的分类和型号	127
二、三端集成稳压器的应用	129
技能训练 15 集成直流稳压电源的安装和测试	131
本章小结	134
复习思考题	135
第八章 晶闸管电路	136
第一节 晶闸管	136
一、晶闸管的结构和符号	136
二、晶闸管的工作特性	136
三、晶闸管的主要参数	138
四、晶闸管的型号	138
第二节 晶闸管单相可控整流电路	139
一、单相半波可控整流电路	139
二、单相半控桥式整流电路	141
技能训练 16 晶闸管直流调光电路的安装和测试	143
第三节 单结晶体管电路	147
一、单结晶体管	147
二、单结晶体管振荡电路	148
三、单结晶体管触发电路	149
技能训练 17 单结晶体管触发电路的安装和测试	151
本章小结	153
复习思考题	154
参考文献	155

第一章 常用半导体器件

学习目标

半导体器件是构成各种电子电路和电子设备最基本的单元，要学习电子技术，了解电子电路和电子设备的工作原理，应该先从了解半导体元器件开始。

本章的学习目标是：

1. 了解半导体的基本知识。
2. 掌握PN结的单向导电性。
3. 理解二极管、晶体管的工作原理、特性及主要参数。
4. 掌握常用二极管、晶体管的检测方法。

半导体材料制成的半导体器件，是20世纪中叶发展起来的新型电子器件。由于它具有体积小、重量轻、工作可靠、使用寿命长、耗电少等优点，因而在电子技术中得到了广泛的应用。

本章将主要介绍与半导体器件有关的基础知识及二极管、晶体管的结构、工作原理和特性。

第一节 半导体二极管

一、半导体的基本知识

1. 什么是半导体

物质按导电能力强弱不同可分为导体、绝缘体和半导体三大类。半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间。目前制造半导体元器件用的最多的是硅和锗两种材料。

2. 半导体的导电特性

半导体具有不同于导体和绝缘体的导电特性。

(1) 热敏特性 当温度变化时，半导体的导电性能会随着温度的升高而增强，这种特性称为热敏特性。利用半导体的热敏特性可以制成各种热敏器件，如热敏电阻器。

(2) 光敏特性 当半导体受到光照射后，导电能力会随光照的增强而增强，这种特性称为光敏特性。利用光敏特性可制成各种光电元件或器件，如光敏电阻、光敏二极管、光电探测器等。

(3) 掺杂特性 当往纯净的半导体中掺入微量的某种杂质元素后, 半导体的导电能力会增强很多, 这种特性称为掺杂特性。二极管、晶体管是利用掺入杂质的半导体制成的。

3. 杂质半导体

纯净的半导体称为本征半导体, 它的导电能力是很弱的, 但利用半导体的掺杂特性可制成 N 型和 P 型两种杂质半导体。

(1) N 型半导体 又称为电子型半导体, 往本征半导体中掺入微量的 5 价元素, 如磷 (原子最外层有 5 个电子的物质) 后, 半导体会产生大量的带负电荷的电子 (因为半导体原子核最外层只有 4 个电子, 掺入 5 价元素后半导体中的电子数增多)。

(2) P 型半导体 又称为空穴型半导体, 往本征半导体中掺入微量的 3 价元素, 例如硼后, 半导体中电子偏少, 有大量的空穴 (可以看作正电荷) 产生。

二、PN 结及其单向导电性

1. PN 结

把 P 型半导体和 N 型半导体用特殊的工艺使其结合在一起, 就会在交界处形成一个特殊薄层, 该薄层称为“PN 结”, 如图 1-1 所示。PN 结是制造半导体二极管、半导体晶体管、场效应晶体管等各种半导体器件的基础。

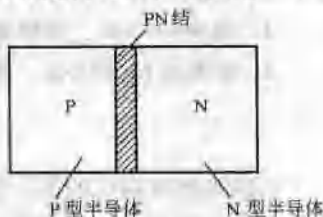


图 1-1 PN 结示意图

2. PN 结的单向导电性

PN 结具有单向导电性, 这可以通过下面的实验来验证, 实验电路如图 1-2 所示。其中 PN 结用一只具有一个 PN 结的二极管来代替, HL 为指示灯泡, R 为限流电阻, E 为直流电源, S 为开关。

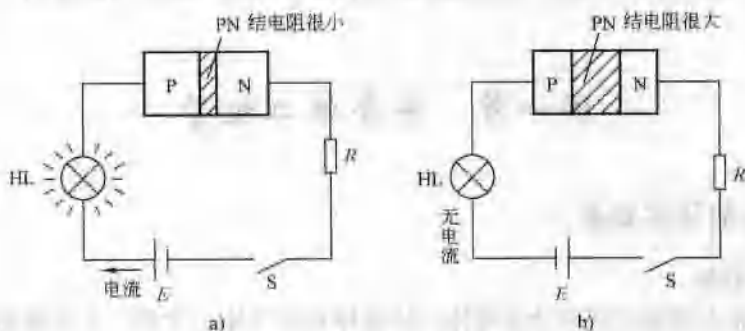


图 1-2 PN 结单向导电性实验电路

a) PN 结加正向电压 b) PN 结加反向电压

(1) PN 结加正向电压——导通 实验电路图 1-2a 所示。当电源正极接 P 区, 负极接 N 区, 此时的外加电压称为“正向电压”或称“正向偏置”, 简称“正偏”。开关 S 闭合后指示灯泡 HL 亮, 说明此时 PN 结电阻很小, 像导体一样很容易导电, 这种现象称为“正向导通”。

(2) PN 结加反向电压——截止 当把电源的正负极相互对调后如图 1-2b 所示。这时电源负极接 P 区, 正极接 N 区, 此时的外加电压称为“反向电压”或称“反向偏置”, 简称“反偏”。开关 S 闭合后指示灯泡 HL 不亮, 说明此时 PN 结电阻很大, 像绝缘体一样不能导

电, 这种现象称为“反向截止”。

由以上实验可知: PN 结加正向电压导通, 加反向电压截止, 这是 PN 结的重要特性, 即单向导电性。

三、半导体二极管

1. 二极管的结构、图形符号和型号

(1) 结构和图形符号 半导体二极管又叫晶体二极管, 简称二极管。二极管实质上是一个 PN 结, 从 P 区和 N 区各引出一个电极, 然后再封装在管壳内, 就制成了一只半导体二极管, 如图 1-3a 所示。从 P 区引出的电极为二极管的正极, 又叫阳极; 从 N 区引出的电极为二极管的负极, 又叫阴极。二极管的图形符号如图 1-3b 所示, 文字符号用 VD 表示。图形符号中箭头的方向表示二极管正向导通时电流的方向, 正常工作时电流由正极流向负极。

二极管是电子电路中经常使用的器件, 图 1-4 是几种常见国产二极管的外形。

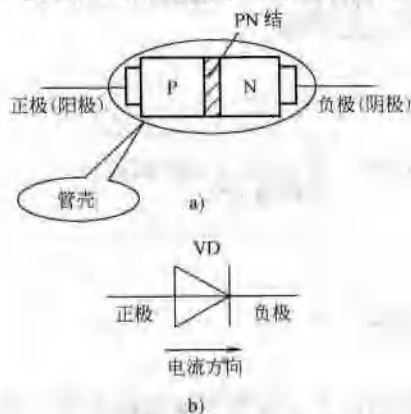


图 1-3 二极管的结构和图形符号

a) 结构 b) 图形符号

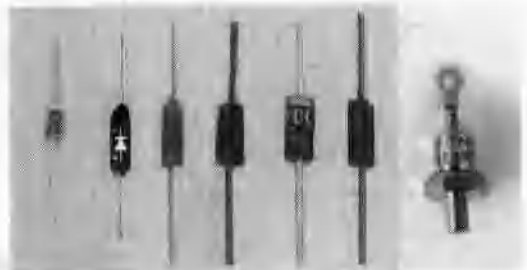


图 1-4 几种常见二极管的外形

(2) 分类 按所用材料不同, 二极管可分为硅二极管和锗二极管。按用途不同, 二极管有普通二极管、整流二极管、稳压二极管、开关二极管、发光二极管、光敏二极管、变容二极管等。

(3) 型号 按国家标准的规定, 二极管的型号命名由五部分构成, 其具体含义见表 1-1。

表 1-1 二极管型号的含义

第一部分(数字)		第二部分(拼音)		第三部分(拼音)		第四部分(数字)	第五部分(拼音)
电极数		材料和极性		类型		序号	规格号 (表示反向峰值电压的档次)
符号	意义	符号	意义	符号	意义		
2	二极管	A	N 型锗材料	P	普通管		
		B	P 型锗材料	W	稳压管		
		C	N 型硅材料	Z	整流管		
		D	P 型硅材料	U	光敏管		
				K	开关管		
				C	参量管		
				L	整流堆		
				S	隧道管		

例如：2AP7 表示 N 型锗普通二极管；2DZ56C 表示 P 型硅整流二极管，规格号为 C。

2. 二极管的工作特性

加在二极管两端的电压与通过二极管电流之间的关系称为二极管的伏安特性，如图 1-5 所示。位于第一象限的曲线表示二极管的正向特性，位于第三象限的曲线表示二极管的反向特性。

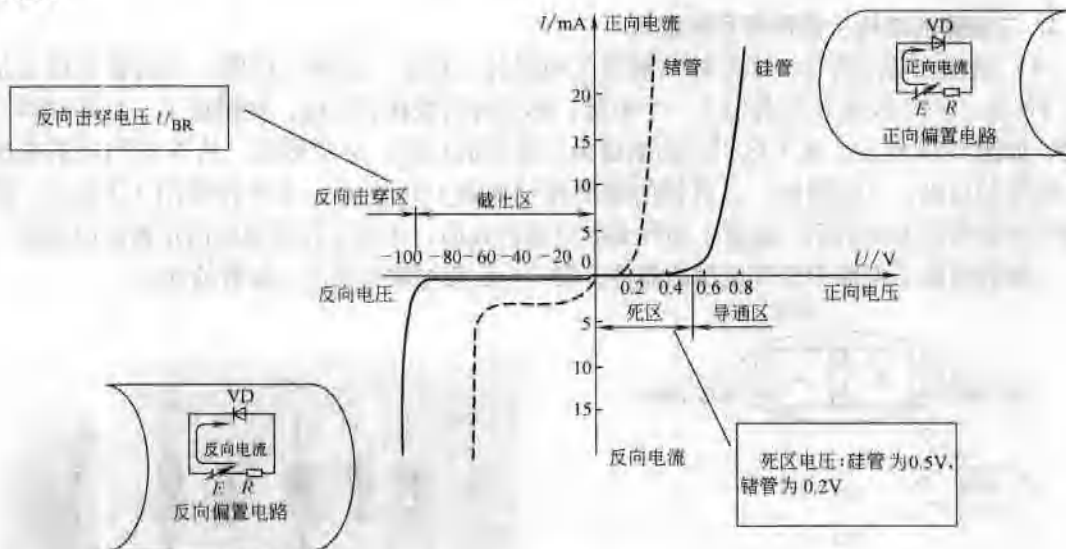


图 1-5 二极管的伏安特性

(1) 正向特性 所谓正向特性是指二极管加正向电压（二极管正极接高电位，负极接低电位）时的特性。

当正向电压小于某一数值（该电压称为“死区电压”，硅管为 0.5V，锗管为 0.2V）时，通过二极管的电流很小，几乎为零。当正向电压超过死区电压时，电流随电压的升高而明显的增加，此时二极管进入导通状态。二极管导通后二极管两端的电压几乎不随电流的大小而变化，此时二极管两端的电压称为导通管压降，用 U_T 表示，硅管为 0.7V，锗管为 0.3V。

注意：二极管加正向电压时并不一定能导通，必须是正向电压达到并超过死区电压时，二极管才能导通。

(2) 反向特性 所谓反向特性是指二极管加反向电压（二极管正极接低电位，负极接高电位）时的特性。

当反向电压小于某值（此电压称为反向击穿电压 U_{BR} ）时反向电流很小，并且几乎不随反向电压而变化，该反向电流叫“反向饱和电流”，简称“反向电流”，用 I_R 表示。通常硅管的反向电流在几十微安以下，锗管的反向电流可达几百微安。在应用时反向电流越小，二极管的质量越好。

当反向电压增加到反向击穿电压 U_{BR} 时，反向电流急剧增大，这种现象称为“反向击穿”。反向击穿破坏了二极管的单向导电性，如果没有限流措施，二极管可能因电流过大而

损坏。

注意：二极管加反向电压时不能导通，但反向电压达到反向击穿电压（很高的反向电压）时，二极管会反向击穿。

在使用二极管时，电路中应该串联适当的限流电阻，避免因电流过大而损坏二极管。

3. 二极管的主要参数

(1) 最大整流电流 I_{FM} 二极管长期连续工作时，允许通过二极管的最大整流电流的平均值。正常工作时通过二极管的电流应该小于此值，否则，二极管可能会因过热而损坏。

(2) 最大反向工作电压 U_{RM} 允许加在二极管两端反向电压的最大值（一般情况下 $U_{RM} = U_{BR}1/2$ ），正常工作时二极管两端所加反向电压的最大值应小于此值，否则，二极管将会反向击穿损坏。

技能训练 1 二极管的识别和检测

一、训练目的

- 1) 了解二极管的符号和型号命名方法。
- 2) 掌握二极管的工作特性。
- 3) 掌握用万用表检测二极管质量好坏的方法。

二、训练器材

训练所需器材见表 1-2。

表 1-2 训练所需器材

序号	名称	规格	数量
1	万用表	MF47 型	1 只
2	普通二极管	2AP、2CP	25 只
3	整流二极管	2CZ	25 只
4	稳压二极管	2DW	25 只
5	开关二极管	2DK、2CK	25 只

三、训练内容及步骤

- 1) 识别二极管外壳上符号的意义。
- 2) 根据二极管的型号，识别其极性、材料、类型和用途。将二极管直观识别的结果填入表 1-3 中。

表 1-3 二极管识别记录

序号	型号	极性	材料	类别	用途

3) 用万用表测试二极管。用万用表的电阻挡, 通过测试二极管正、反向电阻, 判断二极管的管脚极性及质量好坏。测量小功率二极管时一般用 $R \times 1k$ 挡或 $R \times 100$ 挡进行测试, 不允许用 $R \times 1$ 挡和 $R \times 10k$ 挡进行测试, 否则可能使被测二极管损坏。

思考: 为什么不能用 $R \times 1$ 挡和 $R \times 10k$ 挡进行测试?

拨好挡后, 将两表笔短接调零, 调零方法如图 1-6 所示。



图 1-6 万用表的调零

注意: 万用表的黑表笔接表内电池的正极, 红表笔接表内电池的负极 (不可与表面上 “+”、“-” 接线端混淆)。

将黑、红两支表笔接在二极管的两端, 再将黑、红两表笔对调, 分别测试二极管的电阻, 如图 1-7、图 1-8 所示。



图 1-7 测量二极管的正向电阻



图 1-8 测量二极管的反向电阻

根据测量的结果可进行如下判断:

1) 好坏的判断: