

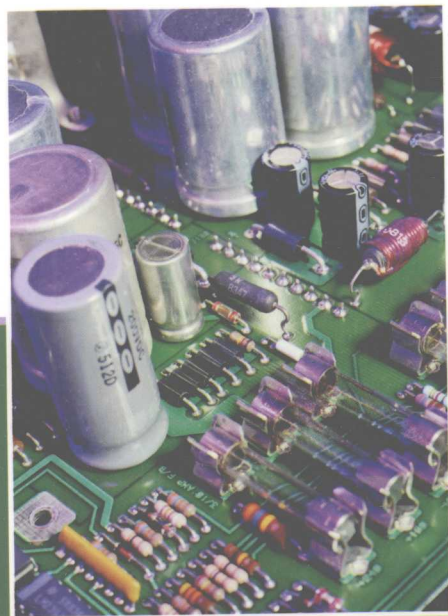


全国中等职业学校机械电子类专业规划教材



电子电路基础

吴麒铭 曹国平 巢文元 / 主编
 李笑屏 马才根 / 副主编
 姚 新 / 主审



科学出版社
www.sciencep.com

● 全国中等职业学校机械电子类专业规划教材

电子电路基础

吴麒铭	曹国平	巢文元	主 编
	李笑屏	马才根	副主编
	潘旭斌	莫玉华	参 编
	周 珠	姚 坚	
		姚 新	主 审

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

“电子电路基础”是电子技术类专业必须掌握的一门主要的基础课程。本书系统地介绍了模拟电子技术的基本概念、基本理论及其在实际中的应用,其内容主要包括:半导体二极管及其应用、半导体三极管及其放大电路、场效应管及其放大电路、负反馈放大电路、集成运算放大器、信号产生电路、功率放大电路、直流稳压电源及晶闸管应用电路,并附应用性实验 10 个,以保证理论联系实际,培养学生动手能力,符合培养“应用型、技能型、操作型”人才目标。

本书循序渐进、由浅入深,力求系统化、专业化,着重讲清概念,强化应用,加强基础,以培养学生的学习兴趣和应用能力为主线,突出中等职业教育及就业培训特色。

本书可作为中职、中技类计算机、电子技术、工业自动化、电子电工等专业“电子电路基础”或“模拟电子技术”课程的教材,也可供电子工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子电路基础/吴麒铭,曹国平,巢文元主编. —北京:科学出版社,2009
(全国中等职业学校机械电子类专业规划教材)
ISBN 978-7-03-024022-4

I. 电… II. ①吴…②曹…③巢… III. 电子电路—专业学校—教材
IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 019823 号

责任编辑:何舒民 杨 阳 / 责任校对:柏连海
责任印制:吕春珉 / 封面设计:北京美光制版有限公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 4 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009 年 4 月第一次印刷 印张:14 1/4

印数:1—3 000 字数:320 000

定价:20.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62137154(ST03)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303

前 言

本书根据中等职业技术教育的发展要求,参照人力资源与社会保障部,以及教育部颁发的中等职业技术学校电子类专业教学计划与教学大纲编写。

在编写中,充分考虑适用性、应用性、实践性要求,力求体现中等职业教育的特点,坚持以下几个原则:

1. 以能力为主,重视实践技能的培养。根据毕业生从业实际需求,合理确立应具备的能力知识结构,以满足培养技能型人才需求。

2. 在内容取舍上力求系统性、完整性、应用性,既适应电子技术飞速发展需求,又保持理论的系统完整;引入适当的新内容、新技术,既适合全日制在校生教学,又能满足中级技工层次的社会培训。

3. 所应用的图形图标采用最新标准,贯彻“易教易学”原则,使用图片、实物照片或表格形式生动地展示各知识点,每个章节突出了重点提要,既培养学生自主学习的能力,也便于教师对各章节的重点、难点作合理的课时安排。

本书共分 8 章,安排 120 课时,附有 10 个实验课题,每章后附有一定数量习题。

本书由吴麒铭、曹国平、巢文元担任主编,李笑屏、马才根担任副主编,潘旭斌、莫玉华、周珠、姚坚参加编写,姚新担任主审。

由于作者水平有限,不足之处在所难免,恳请广大读者指正。

目 录

前言

第 1 章 常用半导体器件	1
1.1 晶体二极管	2
1.1.1 PN 结	2
1.1.2 晶体二极管的结构和特性	3
1.1.3 二极管的主要参数	5
1.1.4 二极管的命名及分类	5
1.1.5 二极管的简易测试	6
1.1.6 常用二极管	7
1.2 晶体三极管	10
1.2.1 三极管的结构、分类和符号	10
1.2.2 晶体三极管的分类及命名	11
1.2.3 三极管的工作电压和基本连接方式	11
1.2.4 三极管内电流的分配和放大作用	12
1.2.5 三极管的输入和输出特性	14
1.2.6 三极管的主要参数	15
1.2.7 三极管的简易测试	15
1.3 场效应管	16
1.3.1 结型场效应管	17
1.3.2 绝缘栅场效应管	19
1.3.3 场效应管的主要参数	22
1.3.4 各种场效应管的特性比较	23
1.3.5 场效应管的特点	24
1.3.6 场效应管的检测	24
1.3.7 场效应管使用注意事项	25
小结	25
习题	26



第 2 章 放大器基础	28
2.1 共发射极基本放大器	29
2.1.1 放大器的基本概念	29
2.1.2 三种放大器形式	29
2.1.3 放大器的组成	29
2.1.4 电路中电压和电流符号写法的规定	30
2.1.5 工作原理	30
2.2 放大器的分析方法	32
2.2.1 估算法	32
2.2.2 图解法	36
2.3 静态工作点的稳定	39
2.3.1 温度对静态工作点的影响	39
2.3.2 静态工作点与波形失真关系的图解	39
2.3.3 电路参数对静态工作点的影响	39
2.3.4 放大器的偏置电路	40
2.4 放大电路的三种基本接法	42
2.4.1 共集电极放大器	42
2.4.2 共基放大器	44
2.4.3 三种基本放大电路的比较	45
2.4.4 改进型放大器	46
2.4.5 共源、共漏和共栅放大器	48
2.5 多级放大电路	49
2.5.1 多级放大电路的耦合方式	49
2.5.2 阻容耦合多级放大器	51
2.6 差分放大器和集成运算放大器	54
2.6.1 差分放大器	54
2.6.2 集成运算放大器	57
小结	59
习题	60
第 3 章 放大器中的负反馈	63
3.1 反馈的概念和判断	64
3.1.1 反馈的概念	64
3.1.2 反馈放大器的一般表达式	65
3.1.3 反馈的分类和判断	65
3.2 四种负反馈放大器性能的分析	68



3.2.1	电压串联负反馈	68
3.2.2	电压并联负反馈	69
3.2.3	电流串联负反馈	70
3.2.4	电流并联负反馈	70
3.3	负反馈对放大器性能的影响	71
3.3.1	减小放大倍数	71
3.3.2	提高放大倍数的稳定性	71
3.3.3	展宽频带	72
3.3.4	减小非线性失真及抑制干扰	72
3.3.5	负反馈对输入、输出电阻的影响	73
3.4	深度负反馈	74
3.4.1	深度负反馈的实质	74
3.4.2	深度负反馈放大器放大倍数的估算	75
	小结	75
	习题	76
第4章 集成运算放大器的应用		78
4.1	集成运算放大器的主要参数和工作特点	79
4.1.1	集成运算放大器的基本知识	79
4.1.2	集成运放的主要参数和特点	82
4.1.3	集成运放的产品分类简介	86
4.2	信号运算电路	87
4.2.1	比例运算器	88
4.2.2	加法运算电路	91
4.2.3	减法运算电路	92
4.2.4	积分运算和微分运算电路介绍	95
4.3	电压比较器与方波发生器	97
4.3.1	单门限电压比较器	97
4.3.2	双门限电压比较器	98
4.3.3	方波发生器	100
4.4	使用集成运放应注意的问题	101
4.4.1	零点调整	101
4.4.2	消除寄生振荡	101
4.4.3	保护电路	102
4.5	集成运放应用举例	103
	应用举例:LM324组成的电平指示器	103
	小结	104



习题	104
第 5 章 调谐放大器的正弦波振荡器	108
5.1 调谐放大器	109
5.1.1 调谐放大器的工作原理	109
5.1.2 两种基本的调谐放大电路	110
5.2 正弦波振荡器	112
5.2.1 LC 回路中的自由振荡	112
5.2.2 自激振荡的条件	113
5.2.3 自激振荡的建立过程	114
5.3 LC 振荡器	116
5.3.1 变压器耦合式 LC 振荡器	116
5.3.2 三点式 LC 振荡电路	118
5.4 石英晶体振荡器	121
5.4.1 石英晶体的基本特征及其等效电路	121
5.4.2 石英晶体振荡电路	123
5.5 RC 正弦波振荡器	124
RC 桥式振荡器	124
小结	129
习题	130
第 6 章 低频功率放大器	132
6.1 低频功率放大器的基本要求及分类	133
6.1.1 低频功率放大器及基本要求	133
6.1.2 低频功率放大器的分类	133
6.2 变压器耦合功率放大器	134
6.2.1 电路组成及工作原理	134
6.2.2 输出功率及效率	136
6.3 互补对称功率放大器	138
6.3.1 输入变压器倒相式推挽 OTL 功放电路	138
6.3.2 互补对称式推挽 OTL 功放电路	139
6.3.3 OCL 功放电路简析	142
6.3.4 OCL 实例电路	143
6.3.5 BTL 功放电路	144
6.4 集成功率放大器	145
6.4.1 LM386 集成功率放大器的应用电路	145
6.4.2 TDA2030 集成功率放大器的应用电路	147



小结	148
习题	148
第7章 直流稳压电源	150
7.1 整流电路	151
7.1.1 单相半波整流电路	151
7.1.2 单相桥式整流电路	153
7.2 滤波电路	154
7.2.1 电容滤波电路	155
7.2.2 电感滤波电路	156
7.3 串联型稳压电路	157
7.3.1 稳压电源的技术指标	157
7.3.2 串联反馈式稳压电路的工作原理	158
7.4 三端集成稳压器	159
7.4.1 输出电压固定的三端集成稳压器	159
7.4.2 输出电压可调的三端集成稳压器	161
7.5 串联开关稳压电路	162
小结	164
习题	164
第8章 晶闸管及其应用	166
8.1 晶闸管的结构及特性	167
8.1.1 晶闸管外形与符号	167
8.1.2 晶闸管的工作原理	169
8.1.3 晶闸管的伏安特性	169
8.1.4 晶闸管的主要参数	170
8.1.5 国产晶闸管的型号	171
8.2 晶闸管可控整流电路	171
8.2.1 单相半波可控整流电路	171
8.2.2 单相半控桥式整流电路	174
8.3 晶闸管的触发电路	176
8.3.1 单晶体管的结构与工作原理	176
8.3.2 单晶体管振荡器	177
8.3.3 单晶体管同步触发电路	178
8.4 逆变、变频与交流调压	179
8.4.1 逆变器	179
8.4.2 变频器	179



8.4.3 交流调压器	179
8.5 晶闸管的保护	180
8.5.1 晶闸管的过电流保护	180
8.5.2 晶闸管的过电压保护	181
8.6 晶闸管的应用实例	182
8.6.1 调光台灯电路及其工作原理	182
8.6.2 漏电保护电路	183
小结	184
习题	184
实验	185
实验一 用晶体管特性图示仪测量晶体管特性曲线	186
实验二 共射极单管放大电路	191
实验三 射极跟随器	195
实验四 负反馈放大电路	198
实验五 差分放大器	200
实验六 OTL 功率放大器	202
实验七 场效应管放大电路	205
实验八 RC 桥式振荡器	208
实验九 三角波产生电路	210
实验十 直流稳压电源	212
附录 常用符号说明	215
参考文献	218

第

1

章

常用半导体器件

【重点内容】

1. PN 结及其单向导电特性
2. 半导体二极管的伏安特性
3. 晶体三极管的放大原理、输入特性曲线、输出特性曲线
4. 结型场效应管和绝缘栅型场效应管的工作原理、输出特性及主要参数





1.1 晶体二极管

1.1.1 PN 结

因为半导体二极管是由半导体材料构成的,所以,我们在学习半导体二极管的工作原理前有必要了解半导体及其特性。

物质按导电能力的强弱可分为导体、半导体和绝缘体三大类。半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间,它具有独特的掺杂性、热敏性和光敏性。硅(Si)和锗(Ge)是常用的半导体材料。

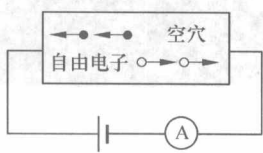


图 1.1 半导体的两种载流子

半导体理论证实,在半导体中存在两种导电的带电物体:一种是带负电的自由电子,另一种是带正电的空穴,它们在外电场的作用下都有定向移动的效应,都能运载电荷形成电流,通常称为载流子,如图 1.1 所示。

完全纯净的、没有任何杂质的而且结构完整的半导体晶体称为本征半导体。常温下,本征半导体内的电子和空穴数都很少,所以其导电性能很差。当温度升高或光照增强时,载流子数量增加,本征半导体的导电性能也随之增强。在本征半导体中加入不同的杂质,能产生两种类型杂质半导体,它们是 N 型半导体与 P 型半导体。

1. N 型半导体

在纯净的半导体硅(或锗)中掺入微量 5 价元素(如磷)后,就可成为 N 型半导体。由于 5 价的磷原子同相邻的 4 个硅(或锗)原子组成共价键时,有 1 个多余的价电子不能构成共价键,这个价电子就变成了自由电子。在这种半导体中,自由电子数远大于空穴数,导电以电子为主,故此类半导体也称为电子型半导体。

2. P 型半导体

在硅(或锗)的晶体内掺入微量 3 价元素,如硼(或镓)等。硼原子有 3 个价电子,它与周围硅原子组成共价键时,因缺少 1 个电子,在晶体中便产生 1 个空穴。这个空穴具有导电性能,故此半导体也称为空穴型半导体。

杂质半导体增强了半导体的导电能力,然而,单一的 N 型或 P 型半导体只能起电阻作用。但是如果将这两种半导体以某种方式结合在一起,就可以使半导体的导电性能受到控制,这样才能制成各种具有不同特性的半导体器件。

采用特殊的制作工艺,将 P 型半导体和 N 型半导体紧密地结合在一起,在两种半导体的交界处就会产生一个特殊的接触面,称为 PN 结,如图 1.2 所示。PN 结是大多数半导体器件的基本结构,如半导体二极管、三极管分别由 1 个、2 个 PN 结所构成。

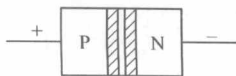


图 1.2 PN 结



1.1.2 晶体二极管的结构和特性

1. 二极管的结构及其在电路中的符号

在形成PN结的P型半导体和N型半导体上,分别引出两根金属线,并用管壳封装,就制成二极管,其中从P区引出的线当正极,从N极引出的线为负极。二极管的结构外形及在电路中的文字符号如图1.3所示,在图1.3(b)所示电路符号中,箭头指向为正向导通电流方向。

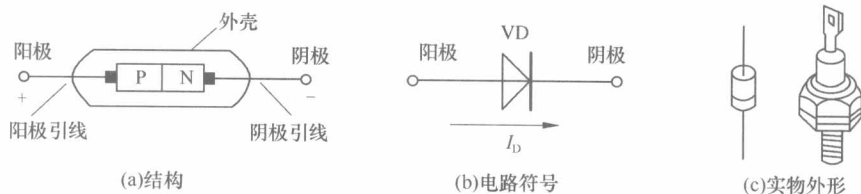


图1.3 二极管结构、符号及外形

2. 二极管单向导电性

二极管的单向导电性可通过图1.4的实验来说明。

按图1.4(a)所示连接实验电路,开关闭合后指示灯亮,说明此时二极管的电阻很小,很容易导电。若将原二极管正负极对调后接入电路,如图1.4(b)所示,开关闭合后指示灯不亮,说明此时二极管的电阻很大,几乎不导电。

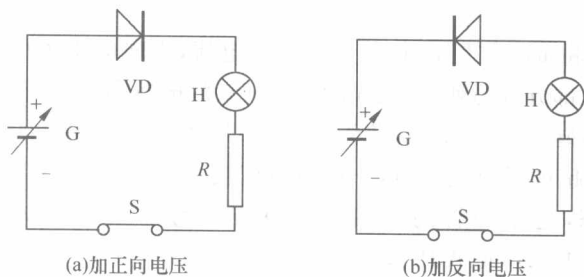


图1.4 二极管导电性能实验

由实验可得出如下结论:

(1) 加正向电压时二极管导通

当二极管正极电位高于负极电位,此时的外加电压称为正向电压,二极管处于正向偏置,简称正偏。二极管正偏时,内部呈现较小的电阻,可以有较大的电流通过,二极管的这种状态称为正向导通状态。

(2) 加反向电压时二极管截止

当二极管正极电位低于负极电位,此时的外加电压称为反向电压,二极管处于反向偏置,简称反偏。二极管反偏时,内部呈现很大的电阻,几乎没有电流通过,二极管的这种状态称为反向截止状态。



二极管在加正向电压时导通,加反向电压时截止,这就是二极管的单向导电性。

3. 二极管的伏安特性曲线

半导体二极管的核心是PN结,它的特性是PN结的单向导电性。常利用伏安特性曲线来形象地描述二极管的单向导电性。所谓伏安特性,是指二极管两端电压和流过二极管电流关系。若以电压为横坐标,电流为纵坐标,用作图法把电压、电流的对应值用平滑曲线连接起来,就构成二极管的伏安特性曲线。如图1.5所示,下面对二极管的伏安特性曲线加以说明。

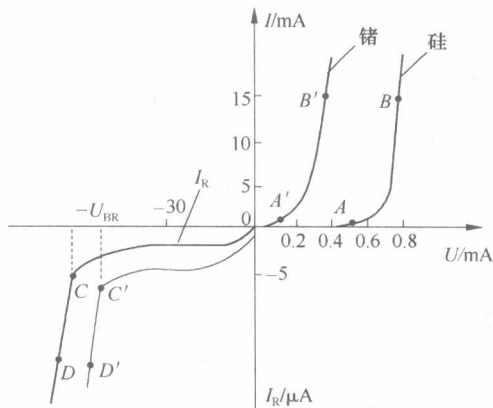


图 1.5 二极管的伏安特性曲线

(1) 正向特性

当二极管两端加正向电压时,就产生正向电流,正向电压较小时,正向电流极小(几乎为零),这一部分称为死区,相应的 $A(A')$ 点的电压命名为死区电压或门槛电压(也称阈值电压),硅管约为 0.5V ,锗管约为 0.1V ,如图 1.5 中 $0A$ (或 $0A'$) 段所示。

当正向电压超过门槛电压时,正向电流就会急剧地增大,二极管呈很小电阻处于正向导通状态,这是硅管的正向导通电压约为 $0.6\sim 0.7\text{V}$,锗管约为 $0.2\sim 0.3\text{V}$,如图 1.5 中 AB (或 $A'B'$) 段所示。

二极管正向导通时,要特别注意它的正向电流不能超过最大值,否则将烧坏PN结。

(2) 反向特性

当二极管两端加上反向电压时,在开始很大范围内,二极管相当于非常大的电阻,反向电流很小,且不随反向电压而变化,此时的电流称之为反向饱和电流 I_R (硅管比锗管小),如图 1.5 中 $0C$ (或 $0C'$) 段所示。

(3) 反向击穿特性

二极管反向电压加到一定数值时,反向电流急剧增大,这种现象称为反向击穿。此时对应的电压称为反向击穿电压,用 U_{BR} 表示,如图 1.5 中 CD (或 $C'D'$) 段所示。

(4) 温度对特性的影响

由于二极管的核心是一个PN结,它的导电性能与温度有关系,温度高时二极



管正向特性曲线向左移动,正向压降减小;反向特性向下移动,反向电流增大。

1.1.3 二极管的主要参数

为定量描述二极管的性能,常采用以下主要参数。

1. 最大整流电流 I_{FM}

是指二极管长期工作时,允许通过的最大平均电流。使用正向平均电流不能超过此值,否则二极管会击穿。

2. 最大反向工作电压 U_{RM}

二极管正常工作时,所承受的最高反向电压(峰值),通常手册上给出的最大反向工作电压是击穿电压的一半。

3. 反向饱和电流 I_R

在规定的反向电压和室温下所测的反向电流值。其值越小,说明管子的单向导电性能越好。

4. 二极管的直流电阻 R

加在二极管两端的直流电压与流过二极管的直流电流的比值。二极管的正向电阻较小,约为几欧到几千欧;反向电阻很大,一般可达零点几兆欧以上。

5. 最高工作频率 f_M

二极管正常工作时上限频率,它的大小和PN结的结电容有关,超过此值,二极管单向导电特性变差。二极管结电容越大,则最高工作频率越低。

1.1.4 二极管的命名及分类

1. 半导体二极管的命名方法

二极管的种类繁多,国内外都采用各自的命名方法加以区别,我国国产半导体器件命名采用GB249—89标准。

半导体的型号由五部分组成,如图1.6所示。其型号组成部分的符号及其意义见表1.1。

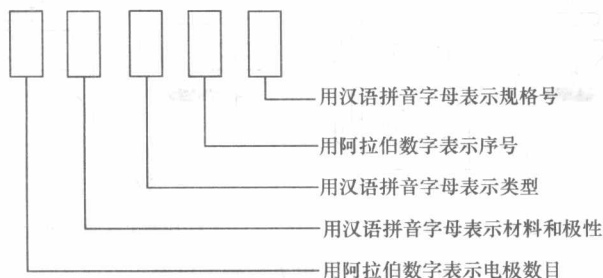


图 1.6 半导体器件型号组成



表 1.1 二极管的型号

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	第五部分
用阿拉伯数字表示器件的电极数目		用汉语拼音字母表示器件的材料和极性		用汉语拼音字母表示器件的类型		用阿拉伯数字表示器件的序号	用汉语拼音字母表示规格号
符号	意义	符号	意义	符号	意义		
2	二极管	A	N型锗材料	P	小信号管	反映二极管承受反向击穿电压的高低,如A, B, C, D, ..., 其中A承受的反向击穿的电压最低, B稍高	
		B	P型锗材料	Z	整流管		
		C	N型硅材料	W	电压调整管和电压基位管		
		D	P型硅材料	K	开关管		
		E	化合物材料	L	整流堆		
				C	参量管		
				BT	半导体特殊器件		

2. 二极管的分类

- 1) 按材料分:有硅二极管、锗二极管和砷化镓二极管等。
- 2) 按结构分:根据PN结面积大小,有点接触型、面接触型二极管。
- 3) 按用途分:有整流、稳压、开关、光电、变容、阻尼等二极管。
- 4) 按封装分:有塑封及金属封等二极管。
- 5) 按功率分:有大功率、中功率及小功率等二极管。

1.1.5 二极管的简易测试

使用二极管时,可以用一只普通万用表测试二极管的好坏或判断正、负极性。测量时将万用表拨到“ Ω ”档,一般用 $R \times 100\Omega$ 或 $R \times 1k\Omega$ 这两档($R \times 1\Omega$ 档电流较大, $R \times 10k\Omega$ 档电压较高,都容易使被测管损坏)。

如图 1.7 (a)所示,将红、黑表笔分别接二极管的两端,若测得电阻很小,约在几百欧到几千欧时,再将二极管两个电极对调位置,如图 1.7 (b)所示。若测得电阻较大,大于几百千欧,则表明二极管是正常的。所测电阻小的那一次为正向电阻值,此时,与黑表笔相接触的是二极管的正极,与红表笔相接触的是负极。

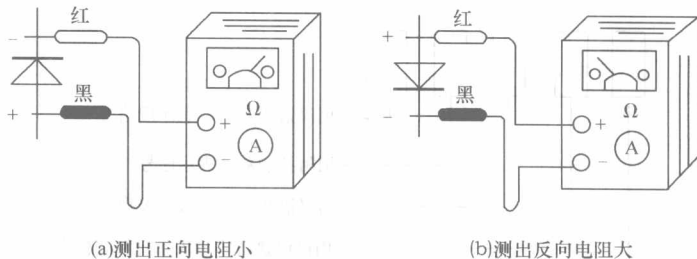


图 1.7 用万用表检测二极管

如果上述两次测得的阻值都很小,表明管子内部已经短路,若两次测得的阻值



都很大,则管子内部已经断路。出现短路或断路时,管子已损坏。

1.1.6 常用二极管

1. 整流二极管

一种利用二极管单向导电性能把交流电变换成直流电的二极管,它是面结合型的功率器件,因结电容大,故工作频率低,其电路符号如图 1.8 所示。通常, I_{FM} 在 1 A 以上的二极管采用金属壳封装,以利于散热; I_{FM} 在 1A 以下的采用全塑料封装由于近代工艺技术不断提高,国外出现了不少较大功率的管子,也采用塑封形式。



图 1.8 整流二极管

2. 稳压二极管

由硅材料制成的面结合型晶体二极管,它是利用 PN 结反向击穿时的电压基本上不随电流的变化而变化的特点,来达到稳压的目的,因为它能在电路中起稳压作用,故称为稳压二极管(简称稳压管),电路符号如图 1.9(a)所示。

稳压二极管根据其封装形式、电流容量、内部结构的不同可以分为多种类型。稳压二极管根据其封装形式可分为金属外壳封装稳压二极管、玻璃封装(简称玻封)稳压二极管和塑料封装(简称塑封)稳压二极管。塑封稳压二极管又分为有引线型和表面封装两种类型,如图 1.9(b)所示。

稳压管的伏安特性曲线如图 1.9(c)所示,它既具有普通二极管的单向导电特性,又可工作于反向击穿状态。在反向电压较低时,稳压二极管截止;当反向电压达到一定数值时,反向电流突然增大,稳压二极管进入击穿区,此时即使反向电流在很大范围内变化时,稳压二极管两端的反向电压也能保持基本不变。但若反向电流增大到一定数值后,稳压二极管则会被彻底击穿而损坏。

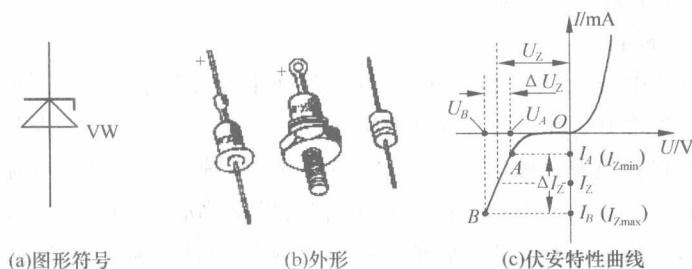


图 1.9 稳压二极管

稳压二极管的主要参数有稳定电压 U_Z 、最大工作电流 I_{Zmax} 、最大耗散功率 P_{Zmax} 、动态电阻 R_Z 和稳定电流 I_Z 等。一般选用 U_Z 要与所需稳定电压相同或相近,流过稳压管电流应大于 I_Z 且小于 I_{Zmax} 。

3. 发光二极管

发光二极管与普通二极管一样,也是由 PN 结构成,同样具有单向导电性,但