



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

YINGYONG DIANZI JISHU SHIXUN

应用电子技术实训

朱传琴 高安芹 主 编 ●
杨露露 赵笑笑 副主编 ●



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS





普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

YINGYONG DIANZI JISHU SHIXUN

应用电子技术实训

主 编 朱传琴 高安芹
副主编 杨露露 赵笑笑
编 写 王亚盛
主 审 方舒燕



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）。

全书共分七章，主要内容包括直流稳压电源的设计、音频功率放大器的设计、函数信号发生器的设计、密码锁的设计与调试、数字钟的设计与调试、数字电压表的设计与调试和电机测速系统的设计与制作及附录。每章均以教学情境为章节展开，以专业实践活动为核心，将所有相关联的知识点、技能点串接在一起。

本书主要作为高职高专院校电子信息类、电力技术类、自动化类、机电设备类专业及其他相关专业的教材，也可供从事电子工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

应用电子技术实训/朱传琴，高安芹主编. —北京：中国电力出版社，2010.12

普通高等教育“十二五”规划教材. 高职高专教育

ISBN 978-7-5123-1257-9

I. ①应… II. ①朱…②高… III. ①电子技术-高等学校：技术学校-教材 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 259223 号

中国电力出版社出版、发行

（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 1 月第一版 2011 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17 印张 409 千字

定价 28.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

高等职业教育是职业特色鲜明的一种高等教育类型,在教学过程中重视职业能力和职业素质的培养,并强调发挥学生的个性和创造潜能。“应用电子技术实训”课程是电气类专业的一门核心课程,是理论和实践并重的课程。编者遵循高职教育“以服务为宗旨,以培养学生能力为目标,以教师为主导,以学生为主体的教育思想”,结合应用电子技术及实训课程的课程标准,进行了知识与技能一体化的教学设计,编写了《应用电子技术实训》一书,该书具有以下特点:

(1) 创新性。教材以教学情境为章节展开,以专业实践活动为核心,将所有相关联的知识点、技能点串接在一起,包含了“电机测速系统的设计与制作”七个教学情境,每个情境分为设计目的、任务、必备知识和产品设计四部分。将电子技术专业知识和操作技能融入七个教学情境中,保证了讲授、示范、训练、指导同步进行,为该课程教、学、做一体化教学模式的开展提供了详细的指导,让学生在知识学习的同时获得技能,在学习中走向职业,在实践中融入社会,真正体现了教育部关于高职教学改革〔1221〕精神。

(2) 系统性。教材中设计的七个教学情境,由简单到复杂,对电子技术专业知识的讲解和技能训练由浅入深,循序渐进;对每一个教学情境,通过基本理论知识学习、电子仿真、实训等模块,逐步引导学生完成电路的综合设计、电路安装调试、电路性能测试和设计报告编写;每一个教学情境,包含了从元器件到单元电路直到系统设计的完整过程,内容丰富而全面。

(3) 灵活性。尽管本书是“应用电子技术及实训”课程体系的一部分,但它与传统的课程教材有很大的区别。每一教学情境自成体系,都尽可能保持其独立性和完整性,前后衔接自然,可集中教学,也可根据教学实际情况选取某些教学情境分散教学,以适应不同的教学对象。

本书由山东电力高等专科学校朱传琴老师和高安芹老师担任主编,负责全书的编写组织、统稿和定稿。全书共分七个教学情境,其中第一个教学情境及附录一、附录二、附录三由山东电力高等专科学校赵笑笑老师编写,第二、三个教学情境由山东电力高等专科学校高安芹老师编写,第四个教学情境由国家电网北京经济研究院杨露露同志编写,第五个学习情境由威海职业学院王亚盛老师编写,第六、七个教学情境由山东电力高等专科学校朱传琴老师编写。全书由郑州电力高等专科学校方舒燕教授主审,方舒燕教授在百忙中对书稿进行了非常认真的审查,并提出了许多宝贵意见和建议,在此我们表示衷心感谢。

由于编者水平有限,并且是在教学改革过程中编写,难免会有错误和不足之处,恳请读者批评、指正,并提出宝贵意见,以便修订时改进。

编者

2010年10月30日

目 录

前言

情境一 直流稳压电源的设计

1.1 设计目的及任务	1
1.1.1 设计目的	1
1.1.2 设计任务及要求	1
1.2 必备知识一：半导体的基本知识	2
1.2.1 半导体的基本知识	2
1.2.2 PN结的单向导电性	3
1.3 必备知识二：半导体二极管	5
1.3.1 半导体二极管的基本结构和分类	5
1.3.2 半导体二极管的伏安特性	6
1.3.3 半导体二极管的型号与主要参数	7
1.3.4 半导体二极管的测试	7
实训 1.1 晶体二极管的伏安特性测试和简单应用	8
1.3.5 特殊二极管	9
1.4 必备知识三：直流稳压电源的设计	12
1.4.1 整流电路	12
1.4.2 滤波电路	15
实训 1.2 整流滤波电路的测试	18
1.4.3 集成三端稳压器	18
实训 1.3 可调稳压电源测试	24
实训 1.4 常用电子仪器的使用	25
1.5 直流稳压电源电路的设计与调试	26
习题	28

情境二 音频功率放大器的设计

2.1 设计目的	32
2.2 设计任务及要求	32
2.3 必备知识一：晶体三极管特性、参数及应用	33
实训 2.1 三极管的识别与测试	37
2.4 必备知识二：基本放大电路的组成与分析	39
实训 2.2 共发射极放大电路的仿真与测试	47
2.5 必备知识三：多级放大电路	49

2.5.1 阻容耦合放大电路·····	49
2.5.2 直接耦合放大电路·····	50
2.6 必备知识四：集成运算放大器及其在信号运算方面的应用·····	53
2.6.1 集成运算放大器简介·····	53
2.6.2 反馈与负反馈·····	56
2.6.3 集成运算放大器在信号运算方面的应用·····	59
实训 2.3 集成运算放大器的线性应用 ·····	64
2.7 必备知识五：集成功率放大电路·····	66
2.8 音频放大器设计·····	68
习题 ·····	71

情境三 函数信号发生器的设计

3.1 设计目的·····	74
3.2 设计任务及要求·····	74
3.3 必备知识一：运放在信号处理方面的应用·····	74
实训 3.1 电压比较器电路的测试 ·····	81
3.4 必备知识二：集成运放在波形产生方面的应用·····	82
实训 3.2 RC 正弦波振荡电路的测试 ·····	85
实训 3.3 矩形波发生器 ·····	89
3.5 必备知识三：集成函数发生器 ICL8038 简介 ·····	90
3.6 函数信号发生器的设计、安装与调试·····	91
习题 ·····	92

情境四 密码锁的设计与调试

4.1 设计目的及任务·····	94
4.1.1 设计目的·····	94
4.1.2 设计任务及要求·····	94
4.2 必备知识一：数字电路的基础·····	94
4.2.1 数制与二—十进制编码·····	94
4.2.2 逻辑函数·····	96
4.2.3 逻辑函数的几种表示形式及其相互转换 ·····	100
4.2.4 逻辑函数代数化简法及逻辑表达式形式转换 ·····	103
4.2.5 逻辑函数的卡诺图化简法 ·····	105
4.3 必备知识二：基本逻辑门电路及组合逻辑电路 ·····	114
4.3.1 概述 ·····	114
4.3.2 晶体二极管、三极管的开关特性 ·····	115
4.3.3 集成逻辑门电路 ·····	116
4.3.4 TTL 集成与非门 ·····	117
实训 4.1 TTL 集成与非门的测试 ·····	122

4.3.5 CMOS 集成门电路	123
4.3.6 使用集成门电路注意事项	130
4.4 必备知识三: 组合逻辑电路	131
4.4.1 组合逻辑电路的分析	132
4.4.2 组合逻辑电路的设计	133
4.4.3 常用中规模集成组合逻辑电路及应用	136
实训 4.2 译码、显示电路的测试	144
4.5 密码锁设计方案	144
习题	146

情境五 数字钟的设计与调试

5.1 设计目的及任务	150
5.1.1 设计目的	150
5.1.2 设计任务及要求	150
5.2 必备知识一: 集成触发器	151
5.2.1 JK 触发器	151
实训 5.1 集成 JK 触发器 74LS112 的功能测试及仿真	154
5.2.2 D 触发器	155
实训 5.2 D 触发器功能测试及仿真	157
5.3 必备知识二: 寄存器和移位寄存器	158
实训 5.3 集成寄存器 74LS194 功能测试	161
5.4 必备知识三: 计数器	161
5.4.1 计数器的特点和分类	161
5.4.2 二进制计数器	162
实训 5.4 二进制加法计数器功能测试	166
5.4.3 十进制计数器	167
实训 5.5 集成十进制可逆计数器功能测试	168
5.4.4 可编程集成计数器——CC4029	171
5.4.5 N 进制计数器	171
5.5 拓展知识: 石英晶体振荡器	176
5.5.1 石英晶体	176
5.5.2 石英晶体振荡器	176
5.5.3 集成计数/分频/振荡器	176
5.5.4 多频率输出振荡器	177
5.6 数字钟设计与调试	178
习题	180

情境六 数字电压表的设计与调试

6.1 设计目的及任务	182
-------------------	-----

6.2 必备知识一：模拟量与数字量的转换	182
6.2.1 概述	182
6.2.2 数/模转换器	183
实训 6.1 数/模转换器功能测试	187
6.2.3 模/数转换电路	188
实训 6.2 集成模/数转换器 ADC0809 的测试	191
6.3 数字电压表设计方案	198
习题	203

情境七 电机测速系统的设计与制作

7.1 设计目的及任务	205
7.2 必备知识一：光电传感器	205
7.2.1 透光型光电传感器 ST150	206
实训 7.1 透光型传感器的测试	207
7.3 必备知识二：集成 555 定时器	207
7.3.1 555 定时器的结构	208
7.3.2 555 定时器的功能	208
实训 7.2 555 定时器的功能测试	209
7.4 必备知识三：单稳态触发器	210
7.4.1 由 555 定时器构成的单稳态触发器	210
7.4.2 单稳态触发器的应用——定时	211
7.4.3 单稳态触发器仿真	212
实训 7.3 单稳态触发器的测试	213
7.5 必备知识四：施密特触发器	213
7.5.1 电路组成	213
7.5.2 施密特触发器的电压传输特性	214
7.5.3 施密特触发器的应用——整形	214
7.6 拓展知识：多谐振荡器	214
7.6.1 电路组成及工作原理	214
7.6.2 振荡频率的计算	215
7.6.3 多谐振荡器仿真	216
7.7 电机测速系统的设计	217
习题	219
附录 1 数字电子仪器仪表的使用	222
附录 2 模拟电子仪器仪表的使用	231
附录 3 Multisim 10.0 电路仿真与设计	239
附录 4 常用中规模集成电路引脚图	256
参考文献	261

情境一 直流稳压电源的设计

直流稳压电源作为直流能量的提供者，在各种电子设备中，有着极其重要的地位。它的性能直接影响到电子产品的精度、稳定性和可靠性。随着电子技术的日益发展，电源技术也得到了很大的发展，它从过去一个不太复杂的电子线路发展成今天具有较强功能的模块。中小功率（一般指中小电流）的直流稳压电源仍以三端稳压器来实现，因而电路较简单；大功率（一般指大电流）的直流稳压电源以三端稳压器为基础并采用扩流技术来实现。在这里，所要介绍的是一种以三端稳压器为核心组成的直流稳压电源的设计与制作，它能保证在电网电压波动或负载发生变化时，输出稳定的电压。

图 1-1 所示为小功率直流稳压电源的组成框图。

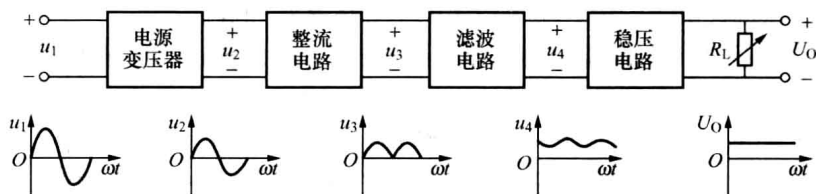


图 1-1 小功率直流稳压电源的组成框图

1.1 设计目的及任务

1.1.1 设计目的

通过直流稳压电源的设计、安装和调试，要求达到以下要求：

- (1) 掌握二极管的特性及应用；
- (2) 掌握单相桥式整流电路的工作原理；
- (3) 掌握滤波电路的工作原理及外特性；
- (4) 掌握三端稳压器的使用方法；
- (5) 熟悉单相桥式整流滤波电路和稳压电路中各个器件的选择方法，合理选择变压器、整流二极管、滤波电容及集成稳压器来设计直流稳压电源；
- (6) 掌握直流稳压电源电路的组成原理，调试方法及主要技术指标的测试方法；
- (7) 掌握常用仪器仪表的使用方法；
- (8) 会用 Multisim 软件对电路进行仿真。

1.1.2 设计任务及要求

- (1) 根据技术指标要求及实验室条件设计一个输出正 5V 电压、300mA 以上电流的直流稳压电源电路。

(2) 根据项目对电路的参数要求合理选择变压器、整流二极管、滤波电容、稳压器等元器件。

(3) 制作电路并调测稳压电源参数。

(4) 完成项目报告的撰写。

1.2 必备知识一：半导体的基本知识

1.2.1 半导体的基本知识

1. 半导体的特性

在自然界中，存在着许多不同的物质，有的物质很容易传导电流，称为导体，金属一般都是导体。有的物质几乎不传导电流，称为绝缘体，如橡胶、陶瓷和塑料等。此外还有一类物质，它的导电能力介于导体和绝缘体之间，称其为半导体，如硅、锗、砷化镓、一些硫化物和氧化物等。在近代电子学中，用得最多的半导体是锗和硅。

电子元器件所用的半导体都要提纯为单晶体结构，所以有时把半导体叫做晶体。纯净的半导体叫做本征半导体，在这种晶体结构中，原子与原子之间形成了所谓的共价键结构。在绝对零度（即 $T=0\text{K}$ ）时，电子被共价键束缚得很紧，不能自由移动，因此几乎不能导电。

当电子受到一定能量的外界激发（如受热或光照），由于电子动能增强，就能挣脱共价键的束缚成为自由电子，同时，在这些自由电子原来的位置上便留下一个空位，这个空位叫做空穴。因原子是电中性的，因此，失去电子的原子带正电，称为正离子。由于正负电荷的相互吸引，空穴附近的电子便会填补这个失掉电子的空穴，又产生新的空穴或正离子，同样又会有相邻的电子来递补，如此进行下去，形成所谓的空穴运动。由外界激发而产生的自由电子和空穴总是成对出现的。自由电子和空穴分别带负电和正电，它们都称为载流子。半导体材料在外加电压作用下所形成的电流是由自由电子和空穴两种载流子的运动形成的。这是半导体导电与导体导电机理的本质区别。

另外，当环境温度变化时，半导体中自由电子和空穴的数量会发生变化，因此导电性能也发生变化，半导体导电能力具有热敏性；当受到外界光照时，半导体中自由电子和空穴的数量会增加，导电性能增强，具有光敏性；纯净半导体中的自由电子和空穴是成对出现的，在常温下其数量有限，导电能力不强，若在纯净半导体中掺入某些微量杂质，其导电能力将大大增强。

2. 杂质半导体

本征半导体中的载流子数量很少，导电能力很弱，其载流子——自由电子和空穴是在热或光照作用下（称为热激发或本征激发）成对地产生的。在本征半导体硅或锗中掺入微量五价元素，如磷或砷（称为杂质）等，可使自由电子的浓度大大增加，自由电子成为多数载流子（简称多子），空穴成为少数载流子（简称少子）。这种以电子导电为主的半导体称为 N 型半导体。

在本征半导体硅或锗中掺入微量三价元素，如硼或铟等，则空穴的浓度大大增加，空穴成为多数载流子，而电子为少数载流子。这种以空穴导电为主的半导体称为 P 型半导体。

无论是 N 型半导体还是 P 型半导体，虽然它们各自有一种载流子占多数，但是整个半

导体仍然呈电中性。图 1-2 所示为 N 型半导体和 P 型半导体中载流子和杂质离子的示意图，图中带正电荷的离子（正离子）和带负电荷的离子（负离子）不能移动，不能参与导电。

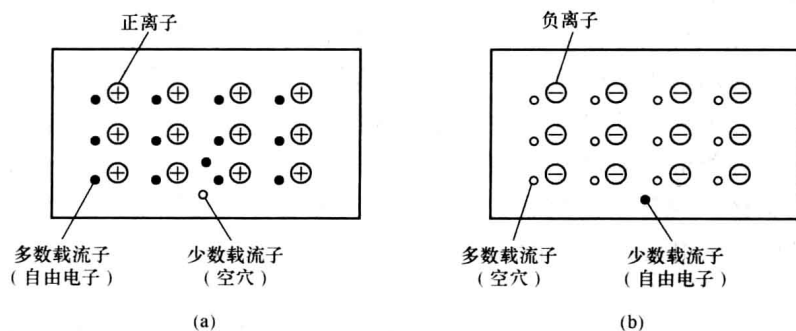


图 1-2 N 型半导体和 P 型半导体

(a) N 型半导体；(b) P 型半导体

1.2.2 PN 结的单向导电性

1. PN 结的形成

用扩散工艺在一块完整半导体中，一部分形成 P 型半导体，另一部分形成 N 型半导体。在两种杂质型半导体交界处两侧，P 区的空穴（多子）浓度远大于 N 区的空穴（少子）浓度，因此，P 区的空穴必然向 N 区运动，并与 N 区中的电子复合而消失；同样，N 区的电子必然向 P 区运动，并与 P 区中的空穴复合而消失。这种由于浓度差而引起的载流子运动称为扩散运动，如图 1-3 (a) 所示。

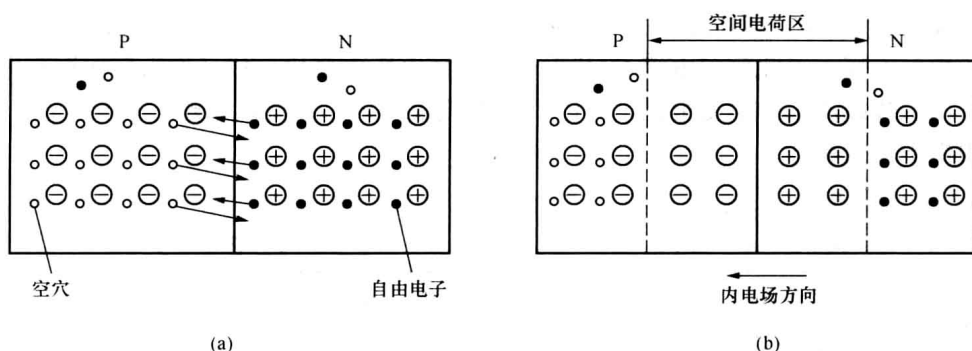


图 1-3 PN 结的形成

(a) 载流子的扩散运动；(b) PN 结和它的内电场

载流子扩散运动的结果，使交界面 N 区一侧失去电子而留下正离子，P 区一侧失去空穴而留下负离子。这些不能移动的带电离子称为空间电荷，相应地这个区域称为空间电荷区，并建立起一个电场，其方向由 N 区指向 P 区，如图 1-3 (b) 所示。为区别由外加电压建立的电场，故把这个电场称为内电场。空间电荷使交界面两侧的电中性被破坏了，但是，空间电荷区以外的 P 区和 N 区仍呈电中性。

随着载流子扩散运动的进行,空间电荷区加宽,内电场加强,它将阻碍多子的扩散。但是,内电场又推动P区的少子(电子)向N区运动、N区的少子(空穴)向P区运动,这种在电场作用下的载流子运动称为漂移运动,其结果使空间电荷区变窄,内电场削弱,这又将导致多子扩散运动的加强。

由以上分析可见,载流子在P区和N区的交界面发生着扩散和漂移两种运动。开始时,扩散强于漂移,尔后随着内电场的逐步加强,又迫使扩散减弱,漂移增强。最后,扩散运动和漂移运动达到动态平衡,即P区的空穴向N区扩散的数量与N区的空穴向P区漂移的数量相等,自由电子亦类似,因而形成了宽度稳定的空间电荷区,这就是PN结,其厚度为数微米。对空间电荷区来说其中多数载流子扩散到对方复合而耗尽了,故又称为耗尽区。另外,由于PN结内电场阻止多子的继续扩散,故又称之为阻挡层,另外又可称势垒区。

2. PN结的单向导电性

以上讨论了PN结无外加电压时的情况,这时载流子的扩散与漂移处于动态平衡,流过PN结的电流为零。实际工作中的PN结总是外加一定的电压。当外加电压的极性不同时,PN结的导电性能迥然不同,即呈现单向导电性。

(1) PN结正向偏置。通常将加在PN结上的电压称为偏置电压。若PN结外加正向电压(P区接电源的正极,N区接负极,或P区电位高于N区电位),称为正向偏置,简称正偏,如图1-4(a)所示。这时外加电压在PN结上形成外电场,其方向与内电场方向相反,削弱了内电场作用,动态平衡被破坏,于是多子的扩散运动增强,形成较大的扩散电流,其方向由P区流向N区,称为正向电流 I_F 。在一定范围内,外加电压越大,正向电流 I_F 越大,PN结呈低阻导通状态,相当于开关闭合。为了限制过大的 I_F ,回路中串入了限流电阻 R 。

(2) PN结反向偏置。若PN结加反向电压(P区接电源负极,N区接正极,或P区电位低于N区电位),称为反向偏置,简称反偏,如图1-4(b)所示。这时外电场的方向与内电场的方向相同,加强了内电场作用,少子漂移占优势。此时流过PN结的电流,主要由少子的漂移运动形成的,其方向由N区流向P区,称为反向电流 I_R 。当温度不变时,少数载流子的浓度不变,因此反向电流 I_R 几乎不随外加电压而变化,故又称为反向饱和电流 I_S 。在常温下,少数载流子的浓度很低,所以反向电流很小,一般可以忽略,PN结呈高阻截止状态,相当于开关断开。

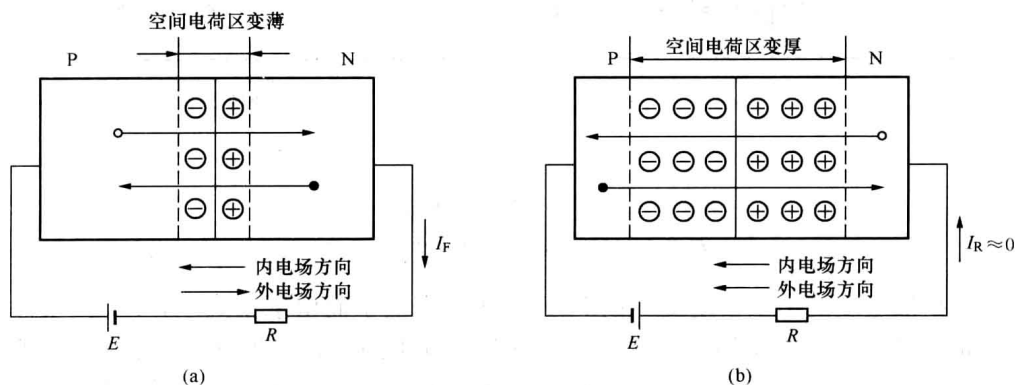


图 1-4 PN 结的单向导电性

(a) PN 结正向偏置; (b) PN 结反向偏置

由上可知：PN 结正偏时呈导通状态，正向电阻很小；PN 结反偏时呈截止状态，反向电阻很大，这就是 PN 结的单向导电性。需要指出的是，当反向电压超过一定数值后，反向电流将急剧增加，发生反向击穿现象，单向导电性被破坏。

3. PN 结的结电容

PN 结内的电荷量随外加电压的变化而变化，表明 PN 结具有电容的效应。按产生的原因不同，这种效应包括势垒电容 C_B 和扩散电容 C_D 两部分。

势垒电容 C_B 是由空间电荷区的变化引起的。空间电荷区中缺少载流子，只有不能移动的正、负离子，它们都具有一定的电量。这种结构与平板电容器很相似。当外加电压使空间电荷区变宽时，空间电荷量增加，相当于电容充电；当外加电压使空间电荷区变窄时，空间电荷量减少，相当于电容放电，这样，PN 结中的电荷随外加电压变化而改变时，就显示了电容效应，这个电容称为势垒电容 C_B 。

扩散电容 C_D 是由多子在扩散过程中的积累引起的。当 PN 结外加正向电压时，多数载流子的扩散运动加强，P 区内的空穴大量地向 N 区扩散，在扩散过程中，不断地与 N 区的电子复合，因此，注入 N 区的空穴，在 PN 结的边缘处浓度大，离 PN 结远的地方浓度小，也就是说，在靠近 PN 结 N 区的一段范围内积累了按一定浓度分布的空穴。同理，在靠近 PN 结的 P 区的一段范围内积累了按一定浓度分布的电子。当外加正向电压增大时，扩散运动增强，则 PN 结两侧积累的空穴、电子增多；反之，PN 结两侧积累的空穴、电子减少。可见，在扩散过程中，PN 结两侧电荷积累随外加电压变化而改变，也显示了一种电容效应，其对应的电容称为扩散电容 C_D 。

通常情况下，势垒电容 C_B 和扩散电容 C_D 都是非线性电容，且数值都较小，一般为几个皮法至几十个皮法，对低频影响不大，但工作频率很高时，就必须考虑结电容的作用。

1.3 必备知识二：半导体二极管

1.3.1 半导体二极管的基本结构和分类

在一个 PN 结的两端，各引一根电极引线，并用外壳封装起来，就构成了半导体二极管（或称晶体二极管，简称二极管）；由 P 区引出的电极称为阳极（正极），由 N 区引出的电极称为阴极（负极）。常用的几种二极管的外形如图 1-5 (b) 所示，二极管的电路符号和文字符号如图 1-5 (a) 所示。

二极管的种类很多，按制造材料分类，常用的有硅二极管和锗二极管；按用途分类，常用的有整流二极管、稳压二极管、开关二极管和普通二极管等；按结构、工艺分类，常见的有点接触型、面接触型等。

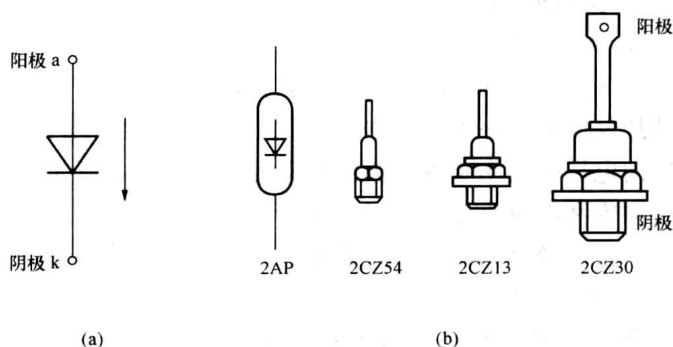


图 1-5 半导体二极管

(a) 电路符号和文字符号；(b) 几种常用二极管的外形图

1.3.2 半导体二极管的伏安特性

半导体二极管两端的电压 U_D 和流过二极管的电流 I_D 之间的关系可用一条曲线来描述, 称为二极管的伏安特性曲线。

图 1-6 所示为实测的硅和锗二极管的伏安特性曲线。下面对特性曲线分三部分来说明。

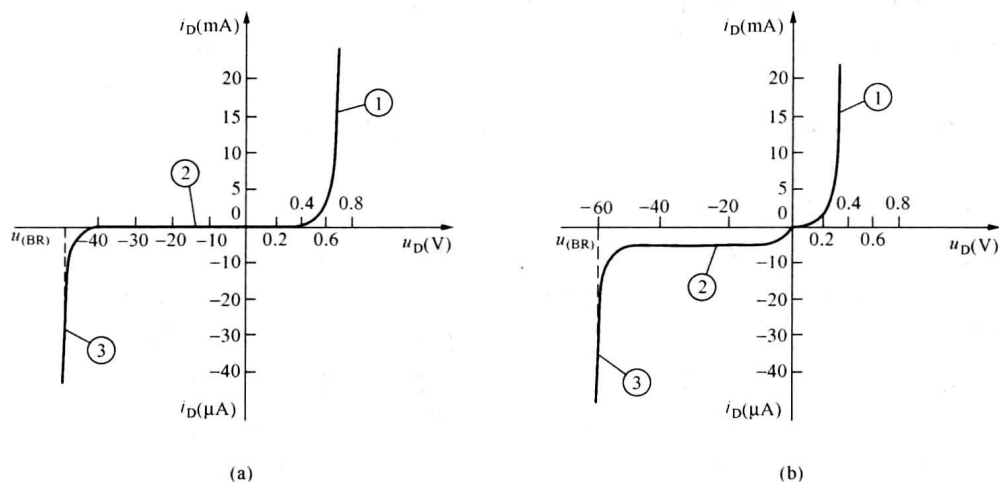


图 1-6 半导体二极管的伏安特性曲线

(a) 硅二极管的特性曲线; (b) 锗二极管的特性曲线

1. 正向特性

图 1-6 中, 曲线①段为正向特性, 它是二极管外加正向电压时, 二极管两端电压 u_D 和通过二极管电流 i_D 的关系曲线。当正向电压比较小时, 外电场还不足以克服内电场对多数载流子扩散运动的阻力, 正向电流几乎为零, 这个区域称为“死区”。当正向电压超过某一数值后, 二极管导通, 正向电流随外加电压增加而迅速增大, 该电压值称为死区电压 (又称门槛电压或阈值电压)。在室温下, 硅管的死区电压约为 0.5V, 锗管的死区电压约为 0.1V。在正常使用的电流范围内, 二极管的正向压降 U_F 很小, 在外部电路限流作用下, 该电压变化很小, 硅管约为 0.6~0.8V (通常取 0.7V), 锗管约为 0.2~0.3V (通常取 0.2V)。

2. 反向特性

图 1-6 中, 曲线②段为反向特性, 它是二极管外加反向电压时的电压电流关系曲线。在外加反向电压小于反向击穿电压 $U_{(BR)}$ 时, 由少数载流子形成的反向饱和电流很小, 而且与反向电压的大小基本无关。在室温下, 硅管的反向饱和电流比锗管的小得多, 小功率硅管的反向饱和电流小于 $0.1\mu A$, 锗管为几十微安。

由正向及反向特性可直观地看出: ①二极管是非线性器件; ②二极管具有单向导电性。

3. 反向击穿特性

图 1-6 中, 曲线③段为反向击穿特性。当反向电压增大到某一数值时, 反向电流急剧增大, 这种现象叫做二极管的反向击穿 (电击穿), $U_{(BR)}$ 称为反向击穿电压。一般点接触型二极管的 $U_{(BR)}$ 为数十伏, 面接触型为数百伏, 最高可达几千伏。

在电击穿时, 尽管反向电流很大, 但只要反向电流限制在不烧毁 PN 结的范围内, 当反向电压下降到小于 U_{BR} 时, 二极管还可以继续使用。但是, 如果长期工作在击穿状态时, 将会因电流过大而发生热击穿, 从而烧毁 PN 结, 使管子造成永久性的损坏。

1.3.3 半导体二极管的型号与主要参数

1. 二极管的型号

国产半导体器件型号见表 1-1, 表中还详述了各部分的符号及其意义。

表 1-1 半导体器件型号的基本意义

第一部分	第二部分		第三部分		第四部分
用阿拉伯数字 2 表示 器件的电极数目	用汉语拼音字母表示器 件的材料和类型		用汉语拼音字母 表示器件的功能类别		用阿拉伯数字 表示序号
示例 2 C K 18 序号 开关管 N 型, 硅材料 二极管	符号	意义	符号	意义	
	A	N 型, 锗材料	P	小信号管	
	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	K	开关管	
			C	变容管	
			S	隧道管	
			U	光电管	

2. 二极管的主要参数

二极管的特性除了用伏安特性曲线表示外,还可用一组参数来描述,它是合理选用和正确使用二极管的依据。二极管的主要参数如下。

(1) 最大整流电流 I_{FM} ：它是二极管长期运行允许通过的最大正向平均电流，由 PN 结的面积和散热条件所决定，使用时不能超过此值，否则可能烧坏管子。

(2) 最高反向工作电压 U_{DRM} : 它是指允许加在二极管上的反向电压的最大值 (峰值)。为安全起见, 最高反向工作电压约为击穿电压的一半。

(3) 最大反向电流 I_{RM} ：它是在室温下，二极管两端加上最高反向电压时的反向电流，其值越小，管子的单向导电性能及稳定性越好。它随温度升高而增加，在高温运行时要特别注意。

(4) 最高工作频率 f_M : 二极管工作在高频时, 由于 PN 结电容的容抗减小, 使得管子的单向导电性能变差, 甚至可能失去单向导电性, 为此规定一个最高工作频率。它主要取决于 PN 结电容的大小, 结电容愈大, 则 f_M 愈低。

此外，二极管还有正向压降、结电容及最高结温等参数，不再一一说明。

1.3.4 半导体二极管的测试

万用表是直流电压表、电流表、欧姆表及交流电压表的组合。其中,欧姆表挡是用来测量电阻值的,指针式万用表欧姆挡等效电路如图 1-7 所示。

指针式万用表的黑表笔接内部电源的正

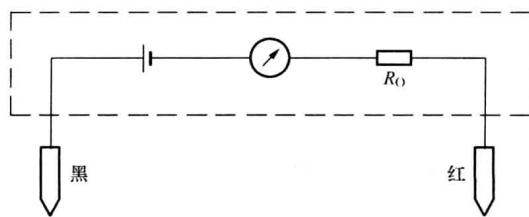


图 1-7 指针式万用表电阻挡的等效电路

极；红表笔接内部电源的负极（注意，数字式万用表正好相反）。我们知道：PN 结具有单向导电性，正向导通时电阻很小，而反向截止时电阻很大；若用指针式万用表的欧姆挡测量 PN 结正向导通与反向截止时的电阻大小，便可知 PN 结的好坏。因此，通过测量二极管正反向电阻，可判断二极管的好坏。

1. 极性识别方法

常用二极管的外壳上均印有型号和标记。标记箭头所指的方向为阴极；有的二极管只有一个色点，有色的一端为阴极；有的带定位标志，判别时，观察者面对管底，由定位标志起，按顺时针方向，引出线依次为正极和负极。二极管极性识别示意图如图 1-8 所示。

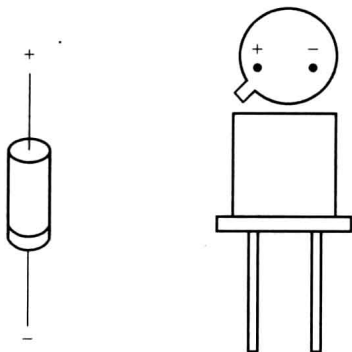


图 1-8 二极管极性识别示意图

2. 检测方法

(1) 单向导电性的检测。用万用表欧姆挡的 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ ，测量二极管的正反向电阻，有以下四种情况：

- 1) 测得的反向电阻（约几百千欧以上）和正向电阻（约几千欧以下）之比值在 100 以上，表明二极管性能良好；
- 2) 反、正向电阻之比为几倍至几十倍，表明二极管单向导电性差，不宜使用；

3) 正、反向电阻为无限大，表明二极管断路；

4) 正、反向电阻为零，表明二极管短路。

(2) 二极管极性判断。当二极管外壳标志不清楚时，可以用万用表（ $R \times 100\Omega$ 或 $\times 1k\Omega$ 挡）判断。将指针万用表的两支表笔分别接触二极管的两个电极，若测出的电阻约为几十、几百欧或几千欧，则黑表笔所接触的电极二极管的正极，红表笔所接触的电极是二极管的负极；若测出来的电阻约为几十千欧至几百千欧，则黑表笔所接触的电极是二极管的负极，红表笔所接触的电极是二极管的正极。



实训 1.1 晶体二极管的伏安特性测试和简单应用

实验内容和步骤

(1) 用万用表测试二极管 1N4148 和 1N4004 的正反向电阻，数据记录在表 1-2 中。

表 1-2 用万用表测试二极管 1N4148 和 1N4004 的正反向电阻

仪器	挡位	正向电阻 1N4148	反向电阻 1N4148	正向电阻 1N4004	反向电阻 1N4004
万用表	$R \times 100$				
	$R \times 1k$				

(2) 测试二极管的伏安特性曲线。

1) 正向特性。按图 1-9 (a) 连接电路，电源电压设为 5V；调节电位器，电压表读数见表 1-3，读出对应的毫安表数值并记录在表 1-3 中。

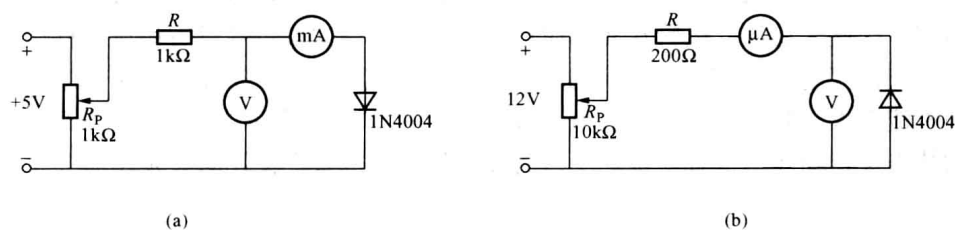


图 1-9 半导体二极管的伏安特性测试

(a) 正向特性测试; (b) 反向特性测试

表 1-3

二极管的正向特性

U (V)	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.2
I (mA)								

2) 反向特性。按图 1-9 (b) 连接电路, 电源电压设为 12V, 调节电位器, 电压表读数见表 1-4, 读出对应的微安表数值并记录在表 1-4 中。

表 1-4

二极管的反向特性

U (V)	3	6	9	12
I (μ A)				

3) 根据以上表格的数据作出被测二极管的伏安特性曲线图; 写出该二极管的死区电压、正向压降、反向饱和电流。

1.3.5 特殊二极管

除了上面介绍的普通二极管外, 还有若干种具有特殊用途的特殊二极管, 现分别介绍如下。

1. 稳压二极管

稳压二极管是一种用特殊工艺制造的面接触型硅二极管, 在电路中能起稳定电压的作用, 故称为稳压管。它的外形和内部结构与普通二极管相似, 也有两个电极 (阳极和阴极), 但其结面积比普通二极管大, 其击穿电压比较低, 允许工作在反向击穿区。

(1) 稳压二极管的伏安特性和符号。

稳压二极管的伏安特性曲线如图 1-10 (b) 所示。从特性曲线来

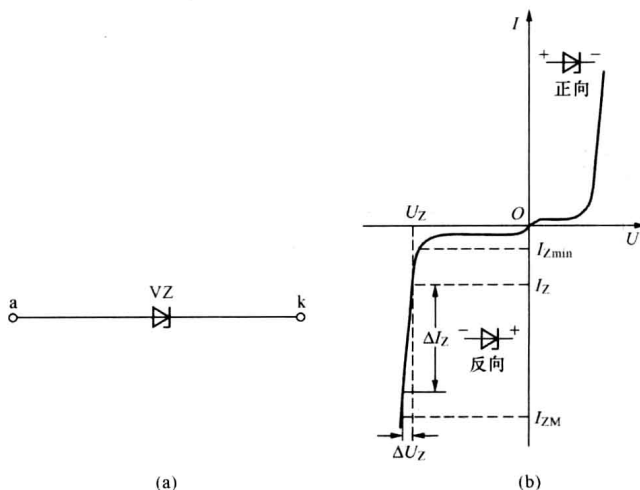


图 1-10 稳压二极管

(a) 电路符号和文字符号; (b) 伏安特性曲线