

中国电子教育学会中专教育委员会  
全国中专电子类教材协会

推荐教材



- 中等专业学校教材
- 中等职业技术教育教材

# 电子技术基础

## (第2版)

● 白淑珍 主编    ● 肖鹏旭 主审



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

第2版



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会  
推荐教材

# 电子技术基础

## (第2版)

——模拟电子技术基础与数字电子技术基础——

★ 清华大学出版社

http://www.tup.com.cn

中等专业学校教材  
中等职业技术教育教材

# 电子技术基础

## (第2版)

白淑珍 主编 肖鹏旭 主审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

## 内 容 简 介

本书在 2000 年同名教材基础上重新编写。全书共分两部分。第 1 部分为模拟电子技术基础,主要内容有:常用半导体器件、晶体管放大电路、集成运算放大器及其应用、直流稳压电源。第 2 部分为数字电子技术基础,主要内容有:数制与逻辑代数、逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、半导体存储器、555 定时器、D/A 与 A/D 转换器。全书参考学时 130~140 学时。

本书力求体现计算机专业对电子技术理论知识的要求,密切结合集成电路等半导体器件在计算机硬件技术中的应用,突出电子技术的基本概念和分析方法,注意对学生分析问题、解决问题能力的培养,适当介绍与计算机硬件新技术相关的知识。全书内容深入浅出,理论联系实际,实用性强,章后有小结、习题及实验。本书可作为中专、技校、职高等计算机类专业的教材,也可供有关技术人员自学和参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,翻版必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础/白淑珍主编. —2 版. —北京:电子工业出版社,2004.3

中等专业学校教材·中等职业技术教育教材

ISBN 7-5053-9375-8

I. 电… II. 白… III. 电子技术—专业—学校—教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 005131 号

责任编辑:刘文杰

印 刷:北京天宇星印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1 092 1/16 印张:16 字数:425 千字

印 次:2004 年 3 月第 1 次印刷

印 数:10 100 册 定价: 20.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

# 前 言



本书在 2000 年同名教材基础上重新编写,可作为中等专业学校和中等职业学校计算机类专业的教材。本书教学时数约为 130 学时。

计算机的应用给人类社会的各个领域带来了巨大的变化。计算机是由硬件和软件有机组合而成的,“电子技术基础”是计算机硬件的基础,因此所编教材在内容的处理上尽量体现计算机硬件的需要。

在近年来教学实践的基础上,按照中等专业教育的培养目标,我们对本课程进行了大幅度的改革,从课程内容的选取、教法、学法、实验内容的选定到课堂教学方式,摸索了一套新的模式。现在希望把这些经验具体体现在这套教材中。

(1) 在内容的选材上,力求少而精,做到主次分明,详略得当。为拓宽知识面,增加了带 \* 号的内容(可作为选学内容)。模拟电子技术部分,始终体现一种保证基础,推陈出新,加强集成的指导思想。本教材一方面把运算放大器作为直接耦合放大器来加以理解,另一方面又把它列为一个器件,介绍它的整体模型和使用方法。数字电子技术部分以介绍逻辑电路的逻辑功能和分析方法为主,侧重介绍中、小规模数字电路的应用。在内容的安排上也做了些变动,如半导体存储器及 A/D、D/A 转换器等内容各单列一章,因为在后续课中用得较多。

(2) 理论与实践并重,知识与技能并重。电子技术是一门操作性较强的课程。为此,本教材始终贯穿着理论与实践相结合的指导思想,每章后面均附实验,使课堂教学(讲授、讨论、分析、练习)与课外教学(测试、复习、笔记、小结、完成作业、读参考书)互相补充配合,从而达到注重学生能力培养的目的。这里所说的能力包括本专业的岗位操作能力和自学能力。本教材力求体现教法与学法。在内容的编排上力求做到既便于教师讲授,又便于培养学生独立思考问题的能力。

(3) 大力加强习题的覆盖面和针对性。本教材在选材时,既注重引发学生兴趣、启发学生思考,又注重体现专业特色。

参加本书编写的有:白淑珍(前言,第 1,2,8,9 章)、王新新(第 3,4,6 章)、张杰、张伟(第 7,10,12 章)、钟绍实、张杰(第 5,11 章)。本书由白淑珍任主编,并统编全稿;肖鹏旭任主审。参加审阅的还有李述香、朱连庆、洪志刚,他们为本书提出了许多宝贵意见。在本书内容的选取及编写大纲的修订过程中,巩志强、秦颖老师给予了很大帮助。在编写过程中,郑三、朱连庆、巩志强老师给予了大力支持和指导。在本书的录入过程中,张伟老师在技术上给予了很大帮助。本书由王兴宝、张伟、李述香老师绘制电子图稿,参加校对的有王茹香、宋志宏、于杰、陈召梅老师。王玉兰老师对此书的重新编写做了大量工作。在此谨向以上各位同志表示诚挚的谢意。

由于水平有限,加之时间仓促,书中错误和不妥之处在所难免,恳切希望广大读者批评指正。

编 者

2003.10



# 目 录

|                                       |      |
|---------------------------------------|------|
| 第 1 章 常用半导体器件 .....                   | (1)  |
| 1.1 晶体二极管 .....                       | (1)  |
| 1.1.1 PN 结 .....                      | (1)  |
| 1.1.2 二极管 .....                       | (3)  |
| 1.2 二极管限幅电路 .....                     | (6)  |
| 1.2.1 并联限幅电路 .....                    | (7)  |
| 1.2.2 串联限幅电路 .....                    | (7)  |
| 1.2.3 双向限幅电路 .....                    | (7)  |
| 1.3 晶体三极管 .....                       | (8)  |
| 1.3.1 晶体三极管的结构及分类 .....               | (8)  |
| 1.3.2 晶体三极管的放大作用 .....                | (8)  |
| 1.3.3 晶体三极管的特性曲线 .....                | (10) |
| 1.3.4 晶体三极管的主要参数 .....                | (12) |
| 1.4 场效应晶体管 .....                      | (13) |
| 1.4.1 结型场效应管 .....                    | (13) |
| 1.4.2 MOS 场效应管 .....                  | (15) |
| 1.4.3 场效应管使用注意事项 .....                | (17) |
| 1.4.4 场效应管和晶体三极管比较 .....              | (18) |
| 1.5 晶体二极管、三极管的识别与简单测试 .....           | (18) |
| 1.5.1 晶体管的识别 .....                    | (18) |
| 1.5.2 晶体管的测试 .....                    | (18) |
| 1.5.3 器件手册的应用 .....                   | (20) |
| 本章小结 .....                            | (21) |
| 习题 1 .....                            | (22) |
| 实验 1 二极管、三极管的识别与简单测试 .....            | (24) |
| 实验 2 数据的读取与处理 .....                   | (26) |
| 第 2 章 晶体管放大电路 .....                   | (28) |
| 2.1 共发射极基本放大电路 .....                  | (28) |
| 2.1.1 基本放大电路的组成 .....                 | (28) |
| 2.1.2 基本放大电路的交、直流通路及静态分析 .....        | (29) |
| 2.1.3 静态工作点的稳定 .....                  | (29) |
| 2.1.4 基本放大电路的动态分析 .....               | (30) |
| 2.2 共集电极放大电路 .....                    | (35) |
| 2.2.1 电路组成与分析 .....                   | (35) |
| 2.2.2 射极输出器的应用 .....                  | (37) |
| 2.2.3 3 种晶体管基本放大电路的比较 .....           | (37) |
| 2.3 多级放大电路 .....                      | (38) |
| 2.3.1 耦合方式 .....                      | (38) |
| 2.3.2 多级放大器的分析 .....                  | (39) |
| 2.4 功率放大电路简介 .....                    | (40) |
| 2.4.1 低频功放中的特殊问题 .....                | (40) |
| 2.4.2 功率放大器的分类 .....                  | (41) |
| 2.4.3 双电源供电的乙类互补对称电路(简称 OCL 电路) ..... | (41) |

|              |                            |      |
|--------------|----------------------------|------|
| 2.4.4        | 单电源供电的甲乙类互补对称电路(简称 OTL 电路) | (43) |
| 2.4.5        | 集成功放电路的应用举例                | (44) |
| 本章小结         |                            | (45) |
| 习题 2         |                            | (47) |
| 实验 3         | 单管共发射极放大电路静态调试与分析          | (48) |
| 实验 4         | 两级阻容耦合放大电路电压放大倍数与幅频特性的测试   | (49) |
| <b>第 3 章</b> | <b>集成运算放大器及其应用</b>         | (51) |
| 3.1          | 集成电路概述                     | (51) |
| 3.1.1        | 集成电路的概念                    | (51) |
| 3.1.2        | 集成电路的特点                    | (51) |
| 3.1.3        | 集成电路的分类                    | (52) |
| 3.2          | 集成电路的基本单元电路                | (52) |
| 3.2.1        | 电流源电路                      | (52) |
| 3.2.2        | 差动放大电路                     | (54) |
| 3.3          | 典型集成电路介绍                   | (59) |
| 3.3.1        | 集成运算放大器的电路组成               | (59) |
| 3.3.2        | 集成运算放大器典型电路举例              | (59) |
| 3.3.3        | 集成运算放大器的主要参数               | (61) |
| 3.3.4        | 集成运算放大器的分类、选用及简单测试         | (62) |
| 3.3.5        | 集成运算放大器的保护措施               | (63) |
| 3.4          | 负反馈放大器                     | (64) |
| 3.4.1        | 反馈的基本概念                    | (65) |
| 3.4.2        | 负反馈的类型及判断                  | (66) |
| 3.4.3        | 负反馈对放大器性能的影响               | (68) |
| 3.5          | 运算放大器基本应用电路分析              | (69) |
| 3.5.1        | 运算放大器的 3 种基本输入方式           | (69) |
| 3.5.2        | 信号运算电路                     | (72) |
| 3.6          | 集成芯片的封装及识别                 | (73) |
| 3.6.1        | 集成芯片的封装                    | (73) |
| 3.6.2        | 集成电路的识别                    | (74) |
| 本章小结         |                            | (76) |
| 习题 3         |                            | (76) |
| 实验 5         | 差动放大器性能测试                  | (78) |
| 实验 6         | 集成运算放大器运算电路功能测试            | (80) |
| <b>第 4 章</b> | <b>直流稳压电源</b>              | (82) |
| 4.1          | 晶体管串联型稳压电源                 | (82) |
| 4.1.1        | 整流电路                       | (82) |
| 4.1.2        | 滤波电路                       | (84) |
| 4.1.3        | 晶体管串联型稳压电路                 | (85) |
| 4.2          | 集成稳压电源                     | (87) |
| 4.2.1        | 固定式三端集成稳压器                 | (88) |
| 4.2.2        | 可调式三端集成稳压器                 | (89) |
| 4.3          | 开关电源                       | (90) |
| 4.3.1        | 开关电源的基本结构及工作原理             | (90) |
| 4.3.2        | 开关电源应用电路分析                 | (93) |
| 本章小结         |                            | (94) |
| 习题 4         |                            | (94) |

|                                       |       |
|---------------------------------------|-------|
| 实验 7 集成稳压电源应用 .....                   | (95)  |
| <b>第 5 章 数制与逻辑代数</b> .....            | (97)  |
| 5.1 数制与码制 .....                       | (97)  |
| 5.1.1 数制 .....                        | (97)  |
| 5.1.2 码制 .....                        | (98)  |
| 5.2 逻辑代数的基本运算 .....                   | (98)  |
| 5.2.1 “与”逻辑关系 .....                   | (98)  |
| 5.2.2 “或”逻辑关系 .....                   | (99)  |
| 5.2.3 “非”逻辑关系 .....                   | (100) |
| 5.2.4 三种基本逻辑符号 .....                  | (100) |
| 5.3 逻辑代数的表示方法 .....                   | (100) |
| 5.4 逻辑代数的基本公式、定律和规则 .....             | (103) |
| 5.5 逻辑代数的化简 .....                     | (104) |
| 5.5.1 公式法 .....                       | (105) |
| 5.5.2 图形法 .....                       | (105) |
| 5.5.3 具有约束条件的逻辑函数的化简 .....            | (108) |
| 本章小结 .....                            | (108) |
| 习题 5 .....                            | (108) |
| <b>第 6 章 逻辑门电路</b> .....              | (110) |
| 6.1 分立元件门电路 .....                     | (110) |
| 6.1.1 与门 .....                        | (110) |
| 6.1.2 或门 .....                        | (111) |
| 6.1.3 非门 .....                        | (112) |
| 6.1.4 组合逻辑门 .....                     | (112) |
| 6.2 集成 TTL 门电路 .....                  | (113) |
| 6.2.1 三极管的开关特性 .....                  | (113) |
| 6.2.2 集成 TTL 与非 .....                 | (115) |
| 6.2.3 集成 TTL 与非门的其他类型 .....           | (119) |
| 6.2.4 TTL 门电路的使用规则 .....              | (123) |
| 6.3 集成 MOS 门电路 .....                  | (124) |
| 6.3.1 CMOS 门电路 .....                  | (124) |
| 6.3.2 CMOS 门电路的使用规则 .....             | (127) |
| 6.3.3 TTL 与 CMOS 门电路之间的接口技术 .....     | (128) |
| 本章小结 .....                            | (128) |
| 习题 6 .....                            | (128) |
| 实验 8 TTL 与 CMOS 集成门电路参数测试 .....       | (131) |
| 实验 9 TTL 与 CMOS 集成门电路的逻辑变换与接口技术 ..... | (134) |
| <b>第 7 章 组合逻辑电路</b> .....             | (136) |
| 7.1 组合逻辑电路的基础知识 .....                 | (136) |
| 7.1.1 组合逻辑电路的基本特点 .....               | (136) |
| 7.1.2 组合逻辑电路的分析 .....                 | (136) |
| 7.1.3 组合逻辑电路的设计 .....                 | (138) |
| 7.2 常见的组合逻辑电路 .....                   | (139) |
| 7.2.1 编码器 .....                       | (139) |
| 7.2.2 译码器 .....                       | (142) |
| 7.2.3 数据选择器及分配器 .....                 | (148) |
| 7.2.4 数值比较器 .....                     | (151) |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 7.3 组合逻辑电路的竞争冒险            | (154) |
| 7.3.1 竞争与冒险                | (154) |
| 7.3.2 冒险的判断方法及消除方法         | (155) |
| 本章小结                       | (156) |
| 习题 7                       | (157) |
| 实验 10 译码器                  | (159) |
| 实验 11 组合逻辑电路的测试            | (160) |
| <b>第 8 章 集成触发器</b>         | (163) |
| 8.1 基本 RS 触发器              | (163) |
| 8.2 钟控触发器                  | (165) |
| 8.2.1 钟控 RS 触发器            | (165) |
| 8.2.2 钟控 D 触发器             | (167) |
| 8.3 主从触发器                  | (168) |
| 8.3.1 主从 RS 触发器            | (168) |
| 8.3.2 主从 JK 触发器            | (169) |
| 8.3.3 主从 T 触发器与主从 T' 触发器   | (171) |
| 8.4 边沿触发器                  | (171) |
| 8.5 集成触发器简介                | (173) |
| 本章小结                       | (174) |
| 习题 8                       | (174) |
| 实验 12 集成触发器逻辑功能测试          | (176) |
| <b>第 9 章 时序逻辑电路</b>        | (179) |
| 9.1 概述                     | (179) |
| 9.1.1 时序逻辑电路的功能特点、组成及分类    | (179) |
| 9.1.2 分析方法                 | (179) |
| 9.2 计数器                    | (180) |
| 9.2.1 计数器的特点和分类            | (180) |
| 9.2.2 同步计数器                | (180) |
| 9.2.3 异步计数器                | (184) |
| 9.2.4 异步计数器与同步计数器的比较       | (187) |
| 9.2.5 集成计数器构成 N 进制计数器的方法   | (188) |
| 9.2.6 计数器的应用               | (188) |
| 9.3 寄存器                    | (189) |
| 9.3.1 概述                   | (189) |
| 9.3.2 数码寄存器                | (190) |
| 9.3.3 移位寄存器                | (190) |
| 9.3.4 寄存器的应用               | (192) |
| 本章小结                       | (194) |
| 习题 9                       | (195) |
| 实验 13 分频器、移位寄存器、计数器的时序电路测试 | (196) |
| <b>第 10 章 半导体存储器</b>       | (199) |
| 10.1 随机存取存储器(RAM)          | (199) |
| 10.1.1 RAM 的基本结构           | (199) |
| 10.1.2 地址译码方式              | (200) |
| 10.1.3 RAM 基本存储单元          | (202) |
| 10.1.4 RAM 的使用             | (202) |
| 10.2 只读存储器(ROM)            | (205) |

|                                        |       |
|----------------------------------------|-------|
| 10.2.1 ROM 的结构及常见类型 .....              | (205) |
| 10.2.2 用 ROM 实现组合逻辑函数 .....            | (208) |
| 本章小结 .....                             | (210) |
| 习题 10 .....                            | (210) |
| 实验 14 用 EPROM 实现组合逻辑设计 .....           | (211) |
| <b>第 11 章 555 定时器</b> .....            | (213) |
| 11.1 CC7555 定时器的功能特点 .....             | (213) |
| 11.1.1 特点 .....                        | (213) |
| 11.1.2 电路结构及电路功能 .....                 | (213) |
| 11.2 555 定时器的应用 .....                  | (214) |
| 11.2.1 单稳态触发器 .....                    | (215) |
| 11.2.2 多谐振荡器 .....                     | (215) |
| 11.2.3 施密特触发器 .....                    | (217) |
| 本章小结 .....                             | (218) |
| 习题 11 .....                            | (218) |
| 实验 15 555 电路的应用 .....                  | (218) |
| <b>第 12 章 D/A 与 A/D 转换器</b> .....      | (221) |
| 12.1 D/A 转换器 .....                     | (221) |
| 12.1.1 D/A 转换器原理 .....                 | (221) |
| 12.1.2 倒 T 型电阻网络 D/A 转换器 .....         | (222) |
| 12.1.3 D/A 转换器的主要性能指标 .....            | (224) |
| 12.1.4 集成 D/A 转换器 .....                | (225) |
| 12.2 A/D 转换器 .....                     | (229) |
| 12.2.1 A/D 转换器原理 .....                 | (229) |
| 12.2.2 A/D 转换器 .....                   | (231) |
| 12.2.3 A/D 转换器的主要参数 .....              | (234) |
| 12.2.4 集成 A/D 转换器 .....                | (236) |
| 本章小结 .....                             | (240) |
| 习题 12 .....                            | (240) |
| 实验 16 AD7524 及其应用 .....                | (241) |
| <b>附录 A 国产半导体器件型号命名法</b> .....         | (242) |
| <b>附录 B TTL 门电路与 CMOS 门电路的使用</b> ..... | (243) |
| <b>参考文献</b> .....                      | (245) |

# 第1章 常用半导体器件



## 1.1 晶体二极管

### 1.1.1 PN结

#### 1. 半导体的特性

物质按导电能力的强弱可分为三大类：一是导体，其导电能力特别强，如金属、电解液等；二是绝缘体，其导电能力非常弱，几乎可以看成不导电，如橡胶、陶瓷等；三是半导体，其导电能力介于导体和绝缘体之间，如硅、锗等。半导体之所以得到广泛的应用，是因为它具有以下特性。

(1) 掺杂性：在纯净的半导体中加入微量的杂质（其他元素），它的导电能力将会大大增强，利用这一特性可以制造出各种有用的半导体器件。

(2) 热敏性：温度愈高，导电能力愈强。利用这一特性，半导体可用做热敏元件。

(3) 光敏性：半导体对光很敏感，光照愈强，导电能力愈强，利用这一特性，半导体可用做光敏元件。

#### 2. 本征半导体

纯净的半导体，称为本征半导体。常用的半导体材料有硅和锗，它们都是四价元素。由于本征半导体具有稳定的共价键结构，所以在绝对零度且无外部激发能量时，本征半导体是不能导电的。但当温度升高到一定值时，有些价电子便挣脱原子核的束缚而变为自由电子。同时在原来共价键中便留下一个空位，叫“空穴”，且电子和空穴成对出现。这一过程叫热激发，也称为本征激发。空穴的运动与自由电子的运动方向相反，而自由电子是带负电荷的，所以空穴实质上是带正电荷的，故可以认为空穴的运动是正电荷的运动。空穴和自由电子一样，也是一种载流子（能运载电荷的带电粒子）。因此半导体中有两种载流子，一种是带负电荷的自由电子，一种是带正电荷的空穴。而导体中只有自由电子一种载流子参与导电。

此外，电子和空穴在无规则热运动的过程中也会相遇，从而使电子填补空穴，使电子和空穴成对消失，这一过程叫载流子的“复合”。在一定温度下，单位时间内因激发产生的载流子数和因复合消失的载流子数处于动态平衡状态，因此在一定温度下本征半导体内空穴和自由电子浓度将保持一定，且自由电子数等于空穴数。如果温度升高载流子浓度将增大，半导体的导电能力也随之增强。由于本征半导体中，电子空穴对数目很少，导电能力过低，没有使用价值。为了提高导电能力，需要在本征半导体中掺入杂质，但是在本征半导体中掺入杂质的目的，不单纯是为了提高导电能力，更主要的是想通过控制掺入杂质的多少达到控制半导体导电能力强弱的目的，据掺入杂质的不同可分为N型半导体和P型半导体，所以杂质半导体是制造各种半导体器件的基础。

#### 3. N型半导体和P型半导体

(1) N型半导体。按一定的工艺，在本征半导体硅（或锗，在这里以硅为例）中掺入微量的

五价元素磷(或砷等),就形成N型半导体。由于磷原子最外层的五个价电子中有四个与相邻硅原子组成共价键,多余一个价电子受磷原子核的束缚力很小,很容易成为自由电子,而磷原子本身因失去电子成为杂质正离子。

N型半导体的特点:自由电子是多数载流子(多子),空穴是少数载流子(少子)。杂质离子带正电。

(2) P型半导体。在本征硅中掺入三价元素硼(或镓、铟等),就形成P型半导体。硼有三个价电子,每个硼原子与相邻的四个硅原子组成共价键时,因缺少一个电子而产生一个空位(不是空穴,因为硼原子仍呈中性)。在室温或其他能量激发下,与硼原子相邻的硅原子共价键上的电子就可能填补这些空位,从而在电子原来所处的位置上形成带正电的空穴,硼原子本身则因获得电子而成为杂质负离子。

P型半导体的特点:自由电子是少数载流子(少子),空穴是多数载流子(多子)。杂质离子带负电。

值得注意的是,多子数目是由杂质浓度决定,而少子是由温度决定。杂质离子不能移动,不参与导电。P型、N型半导体均呈电中性。

#### 4. PN结的形成

PN结是由P型半导体和N型半导体通过一定方式结合而成的。这里的结合并不是简单地将两种半导体接触在一起,而是利用掺杂工艺,使同一半导体(如本征硅)一侧形成P型半导体,而另一侧形成N型半导体,那么在P型和N型半导体的交界处就形成一个特殊的带电薄层——PN结。

PN结的形成是载流子在半导体内的扩散运动和漂移运动达到动态平衡的结果。

\* (1) 扩散运动及内电场。由于浓度差形成多数载流子穿过PN结界面的运动称为扩散运动。扩散运动形成的电流叫扩散电流  $I_d$  (diffusion current)。P区的多子空穴向N区扩散,N区的多子电子向P区扩散。扩散电流  $I_d$  的方向是由P区指向N区。当多子通过两种半导体的交界面后,在交界面附近的区域里,P区的空穴与N区的电子复合。在P区一侧由于失去空穴,留下了不能移动的负离子,N区一侧由于失去电子,留下了不能移动的正离子。PN结的形成示意图如图1.1所示。这些不能移动的正负离子所在的区域叫“空间电荷区”。从而形成了由N区指向P区的“内电场”。载流子浓度差愈大,则空间电荷区愈宽,内电场也就愈强。

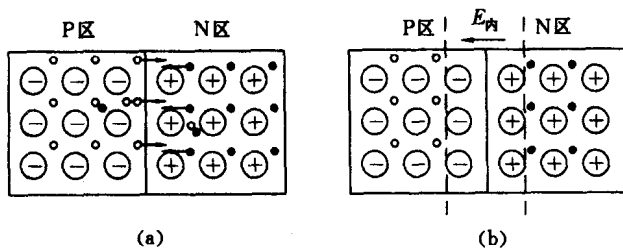


图 1.1 PN结的形成示意图

\* (2) 漂移运动和动态平衡。因为内电场的方向是由N区指向P区,所以内电场的形成将阻止多子的继续扩散(故PN结又称阻挡层),却有利于各区域少子向对方区域运动,少子在内电场作用下形成的定向运动称为漂移运动。少子做漂移运动形成的电流  $I_d$  (drift current) 称为漂移电流,其方向和内电场方向一致,与扩散电流  $I_d$  的方向相反,其大小与温度有关,温度升高  $I_d$  将增大。由于少子是热激发产生的,所以一般情况下,  $I_d$  是很小的。



在PN结的形成过程中,开始时扩散运动占优势,PN结(空间电荷区)逐渐加宽,内电场愈来愈强,扩散运动急剧减弱,而漂移运动愈来愈强。当扩散电流与漂移电流相等时,PN结不再加宽而达到了平衡,这种平衡称为动态平衡。达到动态平衡后,空间电荷区的宽度不再增加,此时PN结处于相对稳定的状态。若无外加电压或其他激发因素作用时,此时流过PN结的电流为零。

### 5. PN结的单向导电性

在PN结两端外加电压,称为给PN结以偏置。当P区电位高于N区电位时称为正向偏置(forward bias);反之,当N区电位高于P区电位时称为反向偏置(reverse bias)。PN结最重要的特征就是单向导电性(Unilateral conductivity)。

(1) PN结正向偏置。给PN结加正向偏置电压 $U$ ,如图1.2(a)所示。这时,外加电场与内电场方向相反,削弱了内电场,空间电荷区变窄,正向电流 $I_F$ 较大,PN结在正向偏置时呈现较小电阻,PN结变为导通状态。正向偏置电压稍有增加,PN结的正向电流 $I_F$ 将急剧增加,为了防止大的正向电流把PN结烧毁,实际电路中都要串接限流电阻 $R$ 。

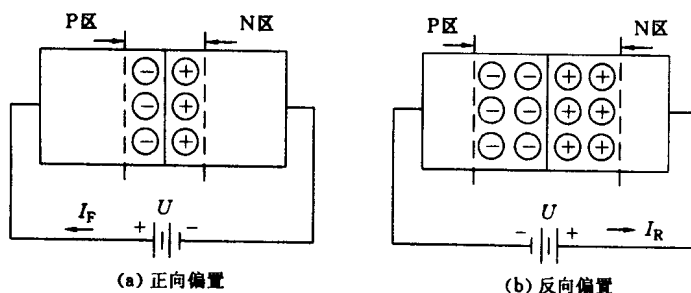


图 1.2 PN结的偏置

(2) PN结反向偏置。给PN结加反向偏置电压 $U$ ,如图1.2(b)所示。这时,外加电场与内电场的方向相同,因而加强了内电场,空间电荷区变宽,其结果是在PN结内形成微小的反向电流 $I_R$ 。常温下锗管的 $I_R$ 为微安数量级,而硅管的 $I_R$ 比锗管的还要小。这说明在反向偏置作用下,PN结的电阻很大(几百千欧姆以上),PN结处于截止状态。

反向电流究其实质是少子的漂移电流。因为一定温度下少子的浓度有限且不变,所以当反偏电压大到一定数值后,反向电流将不再随反偏电压的增大而增大。此时的反向电流称为反向饱和电流。由于温度升高,少子浓度增加,所以反向电流也将增大,在使用半导体器件时,必须考虑环境温度的影响。

## 1.1.2 二极管

### 1. 二极管的符号

半导体二极管是由一个PN结加上接触电极、引出线和管壳构成的。其表示符号如图1.3所示。其中A为P区的引出线端,称为P极或正极,K为N区的引出线端,称为N极或负极。

### 2. 二极管的结构

按内部结构不同,半导体二极管可分为点接触型和面接触型两种。

(1) 点接触型二极管的内部结构如图1.4(a)所示。

特点:PN结面积小,不能通过很大的正向电流(几毫安到几十毫安);结电容小,适于高频(几百兆赫)工作。



用途:适于做高频检波和脉冲数字电路的开关元件,也可用于做小电流的整流元件。

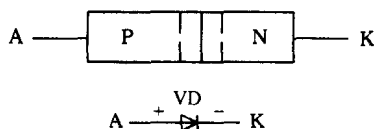


图 1.3 二极管的符号

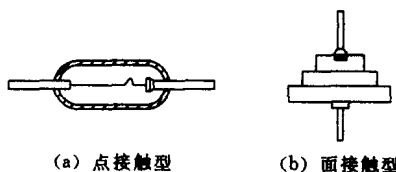


图 1.4 二极管的内部结构

(2) 面接触型二极管的内部结构如图 1.4(b)所示。

特点:PN 结的面积较大,允许通过的正向电流较大(几百毫安到几安);结电容大,只能用于较低频率。

用途:适用于做整流元件。

### 3. 二极管的伏安特性

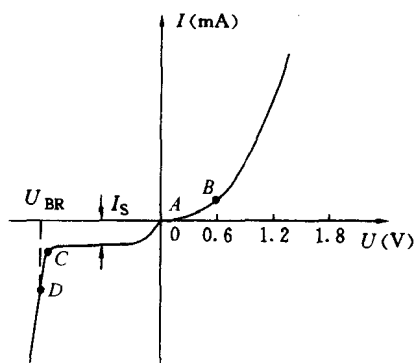


图 1.5 二极管的伏安特性曲线

半导体二极管的伏安特性是指二极管两端外加电压  $U$  和流过二极管的电流  $I$  之间的关系。在这里仅以硅管为例说明二极管的伏安特性,其特性曲线如图 1.5 所示。

(1) 正向特性。二极管两端不加电压时,其电流为 0,故特性曲线从坐标原点开始。当外加正向电压时,二极管内有正向电流通过。正向电压较小时,外电场不足以克服内电场,故多数载流子的扩散运动仍受较大阻碍,二极管的正向电流很小,此时称二极管工作于死区,如图 1.5 中的 AB 段(硅管的死区电压约为 0.5V,锗管的死区电压约为 0.2V)。正向电压

值超过死区电压值后,内电场被大大削弱,随电压  $U$  的增加正向电流增大得很快,二极管正向电阻变得很小(二极管正向电阻是一个非线性电阻,其阻值随电压  $U$  的改变而改变)。硅管的正向导通电压为 0.7V 左右,锗管为 0.3V 左右。

(2) 反向特性。当外加反向电压时,外电场和内电场方向相同,阻碍扩散运动进行,有利于漂移运动。二极管中由少子形成反向电流。反向电压增大时,反向电流随着稍有增加,很快达到饱和后其数值基本保持不变。反向饱和电流的数值很小,硅管比锗管反向饱和电流更小。

在图 1.5 中,当由 C 点继续增大反向电压时,反向电流在 D 点处迅速增大,这种现象称为反向击穿。击穿分两种,一是电击穿,电击穿过程一般是可逆的;二是热击穿,热击穿产生后是不可逆的,并能损坏管子。发生电击穿时的电压  $U_{BR}$  称为反向击穿电压,各类二极管的反向击穿电压大小不同,通常为几十到几百伏,最高可达 300V 以上。

### 4. 二极管的主要参数

每种半导体器件都有一系列表示其性能特点的参数,并汇集成器件手册,供使用者查找选择。

(1) 最大整流电流  $I_F$ 。它指二极管长期运行时允许流过的最大正向平均电流,其大小由 PN 结的面积和散热条件决定。

(2) 最大反向工作电压  $U_R$ 。它指在二极管运行时允许承受的最大反向电压。为了避免



二极管反向击穿,通常将二极管击穿电压  $U_{BR}$  的一半定为  $U_R$ 。

(3) 反向电流  $I_R$ 。它指在室温和最大反向电压(或其他测试条件)下的反向电流。其值愈小,二极管的单向导电性愈好。环境温度对  $I_R$  的影响较大,使用时应充分注意。

(4) 直流电阻  $R_D$ 。直流电阻  $R_D$  是指加在二极管上的直流电压  $U_D$  与流过管子的电流  $I_D$  之比,即

$$R_D = U_D / I_D$$

二极管  $R_D$  的大小是随工作点而变化的。半导体二极管的正向直流电阻通常为几欧姆到几千欧姆。当二极管加反向电压时,由于反向电流极小,所以半导体二极管的反向直流电阻很大,一般可达几百千欧姆,甚至更大。我们用万用表测得的二极管电阻就是它的直流电阻。

(5) 动态(交流)电阻  $r_d$ 。动态电阻  $r_d$  是指在工作点附近,二极管上的电压变化量  $\Delta U$  和对应的电流变化量  $\Delta I$  之比,即  $r_d = \Delta U / \Delta I$

二极管的交流电阻  $r_d$  也可以从二极管的伏安特性曲线上求得。方法是通过工作点作伏安特性的切线,其斜率的倒数即为该点的交流电阻。所以  $r_d$  的大小也与工作点的选择有关,半导体二极管的正向交流电阻很小,一般约为几欧姆到几十欧姆,反向交流电阻在几千欧姆以上。

## 5. 稳压二极管

(1) 稳压特性。硅稳压二极管的伏安特性曲线和电路符号如图 1.6 所示。

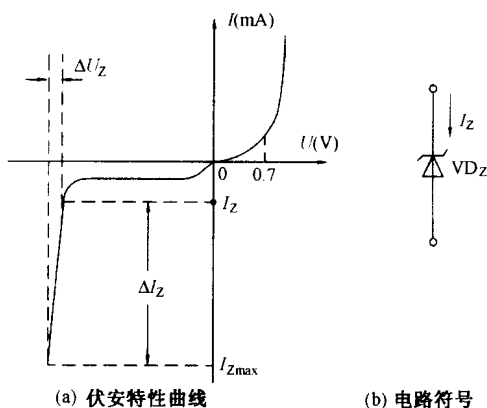


图 1.6 稳压二极管的伏安特性曲线和电路符号

硅稳压二极管的反向击穿特性曲线很陡直,击穿转折点比较明显。由于击穿时,硅稳压管的动态电阻值很小,尽管流过管中的电流在很大范围内变化,而管子两端的电压值却变化很小,基本上稳定在反向击穿电压值附近。正是由于它在击穿工作状态时能起稳压作用,所以称这种击穿特性为稳压特性,稳压管的稳压值用符号  $U_Z$  表示。

(2) 稳压管的主要参数:

① 稳定电压  $U_Z$ 。它指稳压管的反向击穿电压。由于制造上的原因,对同一型号、同一批量生产的稳压管,  $U_Z$  值并不完全一样,有一定的离散性,还与温度和工作电流有关,所以  $U_Z$  不是一个固定值。例如: 2CW<sub>13</sub> 的  $U_Z$ , 其稳压范围为 5~6.5V。

② 稳定电流  $I_Z$ 。它指稳压管正常工作时的最小电流值。小于该电流时,稳压管的稳压效果不佳,内阻较大。

③ 耗散功率  $P_M$ 。它指稳压管所允许的最大功耗。超过此功耗时,稳压管将因热击穿而损坏。

(3) 稳压管与普通二极管的比较。稳压管与普通二极管相比,有以下两个特点:

- ① 稳压管只有工作在反向击穿条件下才能呈现稳压特性。
- ② 稳压管在正向偏压条件下与普通二极管性能一样。

#### 6. 选用二极管的一般原则

二极管有点接触型和面接触型两种类型,使用的材料有硅和锗。它们各具有一定的特点,应根据实际要求选定。选择二极管的一般原则是:若要求导通后的正向电压和平均电流都较小,而信号频率较高,则应选用点接触型锗管;若要求平均电流大,反向电流小,而反向电压高且热稳定性较好时,应选用面接触型硅管为宜。要求正向导通电压低的选锗管,要求反向电流小的选硅管。要求反向击穿电压高的选硅管。根据实际电路的技术要求,估计二极管应具有的参数,并考虑适当的余量,查手册确定管子的型号。

【例 1-1】如图 1.7 所示,图中  $VD_1, VD_2, VD_3$  均为理想二极管,试求图中所示  $U_o$  等于多少?

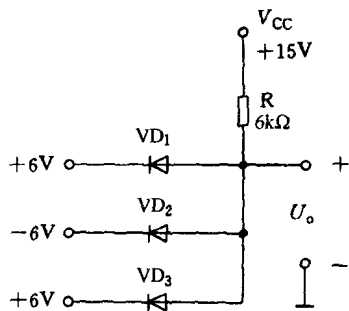


图 1.7 【例 1-1】图

解:第 1 步是用理想伏安特性近似分析,  $VD_1, VD_2, VD_3$  三只二极管对于公共参考点(接地点)而言,  $VD_2$  的阴极电位最低,所以  $VD_2$  导通。  $VD_1$  与  $VD_3$  均因  $VD_2$  导通后,它们的阳极电位比阴极电位低而截止。第 2 步求出  $U_o = -6V$ 。

【例 1-2】在某电子线路中一旦二极管损坏,在更换二极管时应怎样考虑?

解:本题要求怎样正确使用二极管,应从型号、参数等方面考虑。

假如二极管一旦损坏,应该用相同型号的二极管来替换。如果找不到相同型号管子时,可以用其他二极管来代

替,但代替时必须注意以下几点:

- (1) 换上的二极管,其  $U_R$  与  $U_F$  应大于或等于换下的二极管。
- (2) 如果换下来的二极管是硅管,最好不要用锗管代替。
- (3) 如果换下来二极管是高频管,决不能用低频管替代。

通过上面二极管特性参数的分析介绍,归纳出二极管使用时的几点要点:

- (1) 根据二极管使用技术要求查阅器件手册和产品样本,确定所用二极管型号。
- (2) 要求正向导通电压低的选锗管,要求反向电流  $I_R$  小的选硅管。
- (3) 要求反向击穿电压高的选硅管。

## 1.2 二极管限幅电路

“限幅”是指限制电路的输出幅值。输入信号的波形经限幅电路后,只有其中一部分传到输出端,其余部分则被限制而消失了。在模拟电子电路中,常用限幅电路来减小和限制某些信号的幅值,以适应电路的不同要求或作为保护措施。在脉冲电路中,常用限幅电路来处理信号波形。

限幅电路是用具有非线性特性的器件来实现的,二极管可用来组成简单的限幅电路。二极管组成的限幅电路分为串联限幅、并联限幅和双向限幅电路。



### 1.2.1 并联限幅电路

在图 1.8(a)所示电路中,二极管 VD 与输出端并联,所以叫做并联限幅电路。

当输入的正弦信号  $u_i$  处于正半周且数值大于二极管 VD 的导通电压  $U_{on}$  时,二极管导通,此时输出电压  $u_o = U_{on}$ 。当  $u_i$  小于  $U_{on}$  或  $u_i$  处于负半周时,二极管处于死区或因反偏而截止,此时  $u_o = u_i$ ,波形如图 1.8(b)所示。并联限幅电路限制了信号的正半周。

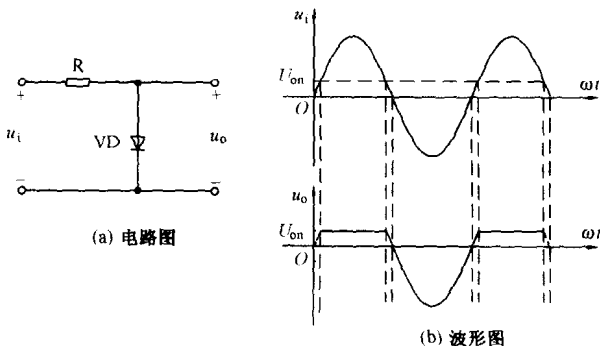


图 1.8 并联限幅电路

### 1.2.2 串联限幅电路

在图 1.9(a)所示的电路中,二极管 VD 与输出端串联,所以叫做串联限幅电路。

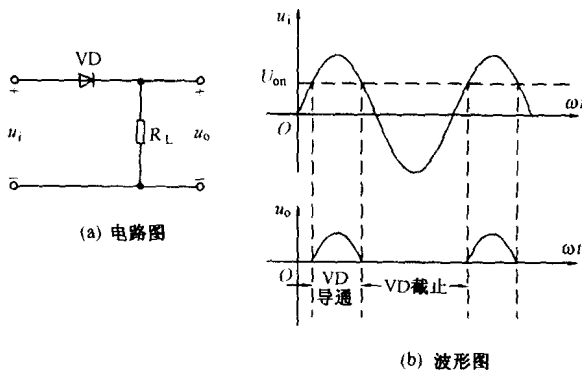


图 1.9 串联限幅电路

设输入信号  $u_i$  为正弦波。当  $u_i$  处于正半周,且其数值大于二极管 VD 的导通电压  $U_{on}$  时,VD 导通,且  $u_o = u_i - U_{on}$ 。当  $u_i$  处于负半周或其数值小于  $U_{on}$  时,二极管截止,  $u_o = 0$ ,  $u_o$  的波形如图 1.9(b)所示,此时信号的负半周受到了限制。

### 1.2.3 双向限幅电路

双向限幅电路如图 1.10(a)所示。根据并联限幅电路的工作原理,可得图 1.10(b)所示的输出波形。由图 1.10 可见,双向限幅电路限制了输入信号的正负幅度,使输出电压的最大幅值为  $U_{on}$ 。

如果要求提高输出幅度,可以在二极管支路中串联固定电压。

二极管的应用电路还很多,这里不再介绍。