



中等职业教育国家规划教材  
全国中等职业教育教材审定委员会审定

# 电子线路 第2版

## 模拟分册

宋贵林 胡春萍 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

中等职业教育国家规划教材  
全国中等职业教育教材审定委员会审定

# 电 子 线 路

第 2 版

## ——模 拟 分 册

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 主 编 | 宋贵林 | 胡春萍 |     |
| 参 编 | 李长欣 | 宋 军 | 李郁文 |
|     | 熊联荣 | 杨西明 |     |

机 械 工 业 出 版 社

本书为《电子线路》第2版的模拟分册,本书的主要内容有:半导体器件,晶体管放大器的基础知识,放大器中的负反馈,正弦波振荡器,线性集成电路,低频功率放大器,直流稳压电源,无线电广播的发送与接收。

本书可作为中等职业学校电类专业的通用教材,也可作为家用电器维修岗前培训和自学用书。

为方便教学,本书配有免费电子教案,选用本书作教材的教师可登录 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 免费注册下载。

### 图书在版编目(CIP)数据

电子线路. 模拟分册/宋贵林, 胡春萍主编. —2  
版. —北京: 机械工业出版社, 2010  
中等职业教育国家规划教材  
ISBN 978-7-111-32526-0

I. ①电… II. ①宋… ②胡… III. ①电子电路—专  
业学校—教材②模拟电路—专业学校—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 225999 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: 张值胜 王 娟 责任编辑: 王 荣

版式设计: 霍永明 责任校对: 肖 琳

封面设计: 赵颖喆 责任印制: 乔 宇

三河市宏达印刷有限公司印刷

2011 年 2 月第 2 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 11 印张 · 267 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-32526-0

定价: 22.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换  
电话服务 网络服务

社服务中心: (010) 88361066

销售一部: (010) 68326294

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821

门户网: <http://www.cmpbook.com>

教材网: <http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

## 出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，教育部组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲编写而成的，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定通过。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

## 第2版前言

本书可作为信息技术类中专、职业高中和技校的“模拟电路”教材。为了适应不同学校的教学情况，全书分为必修和选修两部分。第一章至第七章为必修部分，是模拟电路的基础知识；第八章为选修部分，是模拟电路的拓宽部分，供各学校根据自己的特点选用。

本书主要内容有：半导体器件、晶体管放大器的基础知识、放大器中的负反馈、正弦波振荡器、线性集成电路、低频功率放大器、直流稳压电源、无线电广播的发送与接收。

本书根据职业教育的特点，着重基本概念、基本理论和基本计算方法等基础知识的阐述，讲解深入浅出并具有新的思路，重点在于培养学生分析问题、解决问题的能力，理论结合实际能力及实际操作能力。在学习基础知识和分立元件单元电路的基础上，介绍了新型元器件和常用集成电路的有关知识。每章后面均有本章小结及习题，供教学选用。

本书由宋贵林、胡春萍担任主编，宋贵林负责全书的统稿。参加编写工作的还有：李长欣、宋军、李郁文、熊联荣、杨西明等同志。

由于编者水平所限，书中难免存在缺点和错误，请广大师生批评指正。

编 者

# 第1版前言

本教材是信息技术类中专、职业高中和技校的电子线路课程国家规划教材,编写提纲是按照新的“电子线路”教学大纲编写的。为了适应不同学制和各校实际情况,把全书分为基础部分、拓宽部分和选学部分。基础部分是信息技术类专业学生的必修内容;拓宽部分(用\*表示)是四年制学生必修增加的内容;选学部分(用\*\*表示)供各校根据自己的特点灵活选用。

本书主要内容有:半导体器件、放大电路基础、放大电路中的负反馈、正弦波振荡电路、线性集成电路、低频功率放大电路、直流稳压电源、无线电发送与接收的基础知识、数值与逻辑代数、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与变换、模/数、数/模转换电路、大规模集成电路。

本书注重职业教育的特点,着重基本概念、基本分析方法和基本计算方法等基础知识的讲解。重点在于培养学生分析问题、解决问题的能力,理论联系实际能力和实际操作能力。在学习基础知识和分立元件电路的基础上,较多地介绍了新型元器件和常用集成电路的有关知识。每章均有小结、习题,书末备有实验,以供教学中选用。

本书共16章,包括模拟电路(第一章~第八章)和脉冲数字电路(第九章~第十六章)两部分。

本书第一章至第四章由宋贵林编写,第五章至第七章由胡春萍编写,第八章由马广月编写,第九章至第十六章由姜有根编写,北京无线电工业学校刘连青任主审。本书编写过程中得到了李长欣、张翠兰、赵炳棋、孔凡训、宋军、李郁文、杨西明、崔鹏飞等老师的大力帮助,编者表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中难免存在缺点和错误,请广大师生批评指正。

编 者

2001年4月

# 目 录

出版说明

第2版前言

第1版前言

## 第一章 半导体器件 ..... 1

### 第一节 半导体与PN结 ..... 1

一、本征半导体 ..... 1

二、半导体材料 ..... 2

三、PN结及其特性 ..... 2

### 第二节 半导体二极管 ..... 3

一、二极管的结构与分类 ..... 3

二、二极管的特性 ..... 4

三、二极管的主要参数 ..... 5

四、稳压二极管 ..... 6

五、发光二极管 ..... 8

### 第三节 半导体晶体管 ..... 9

一、晶体管的结构 ..... 9

二、晶体管的放大作用 ..... 10

三、晶体管的连接方法 ..... 12

四、晶体管的特性 ..... 12

五、晶体管的主要参数 ..... 15

### 第四节 场效应晶体管 ..... 16

一、结型场效应晶体管 ..... 16

二、绝缘栅型场效应晶体管 ..... 19

本章小结 ..... 20

习题一 ..... 22

实验一 二极管与晶体管的检测 ..... 23

## 第二章 晶体管放大器的基础知识 ..... 27

### 第一节 放大器的基础知识 ..... 27

一、放大器的基本结构 ..... 27

二、放大器的分类 ..... 27

三、放大器的基本性能指标 ..... 28

### 第二节 共发射极放大器的基础知识 ..... 29

一、放大器的偏置原理 ..... 29

二、共发射极基本放大器的结构 ..... 30

三、共发射极基本放大器的工作原理 ..... 31

### 第三节 共发射极基本放大器直流参数的

分析 ..... 32

一、直流参数的估算法 ..... 32

二、直流参数的图解法 ..... 33

### 第四节 共发射极基本放大器交流参数的

分析 ..... 35

一、放大器的输入电阻 ..... 35

二、放大器的输出电阻 ..... 36

三、放大器的电压放大倍数 ..... 36

### 第五节 常用小信号放大器 ..... 37

一、分压式电流负反馈偏置放大器 ..... 37

二、电压反馈式偏置放大器 ..... 39

三、共集电极放大器 ..... 41

### 第六节 放大器的频率特性 ..... 44

一、放大器频率特性的意义 ..... 44

二、放大器频率特性产生的原因 ..... 45

### 第七节 多级放大器 ..... 45

一、多级放大器的耦合方式 ..... 45

二、多级放大器的性能 ..... 47

### 第八节 场效应晶体管放大器 ..... 47

一、自生偏压共源放大器 ..... 47

二、分压偏置共源放大器 ..... 49

三、源极输出器 ..... 50

本章小结 ..... 50

习题二 ..... 52

实验二 分压式电流负反馈偏置放大器 ..... 53

## 第三章 放大器中的负反馈 ..... 56

### 第一节 反馈的基本概念 ..... 56

一、反馈 ..... 56

二、反馈的类型及判断方法 ..... 57

三、负反馈的基本关系式 ..... 58

### 第二节 负反馈放大器的四种基本类型 ..... 60

一、电流串联负反馈 ..... 60

二、电压串联负反馈 ..... 61

三、电压并联负反馈 ..... 62

四、电流并联负反馈 ..... 63

### 第三节 负反馈对放大器性能的影响 ..... 64

|                         |    |                           |     |
|-------------------------|----|---------------------------|-----|
| 一、降低放大器的放大倍数 .....      | 64 | 三、集成运算放大器的基本接法 .....      | 94  |
| 二、提高放大倍数的稳定性 .....      | 64 | 第四节 集成运算放大器的应用电路 .....    | 97  |
| 三、减小非线性失真 .....         | 64 | 一、比例运算电路 .....            | 97  |
| 四、展宽频带 .....            | 64 | 二、加法运算电路 .....            | 97  |
| 五、改变输入电阻和输出电阻 .....     | 65 | 三、减法运算电路 .....            | 98  |
| 六、减小放大器的内部噪声 .....      | 65 | 第五节 集成运算放大器的使用常识 .....    | 99  |
| 本章小结 .....              | 66 | 一、集成运算放大器的选择 .....        | 99  |
| 习题三 .....               | 67 | 二、集成运算放大器使用中的注意事项 .....   | 99  |
| 实验三 负反馈放大器的研究 .....     | 67 | 本章小结 .....                | 101 |
| <b>第四章 正弦波振荡器</b> ..... | 70 | 习题五 .....                 | 103 |
| 第一节 振荡器的基础知识 .....      | 70 | 实验五 差动放大器 .....           | 104 |
| 一、振荡器的组成 .....          | 70 | <b>第六章 低频功率放大器</b> .....  | 106 |
| 二、振荡器的振荡条件 .....        | 70 | 第一节 功率放大器的基础知识 .....      | 106 |
| 第二节 变压器耦合振荡器 .....      | 71 | 一、功率放大器的特点和要求 .....       | 106 |
| 一、变压器耦合振荡器的结构 .....     | 72 | 二、功率放大器的分类 .....          | 106 |
| 二、变压器耦合振荡器能否振荡的判断 ..... | 72 | 第二节 OTL 功率放大器 .....       | 108 |
| 三、变压器耦合振荡器的振荡频率 .....   | 72 | 一、OTL 功率放大器的特点 .....      | 108 |
| 四、变压器耦合振荡器实例 .....      | 72 | 二、OTL 功率放大器的基本工作原理 .....  | 109 |
| 第三节 三点式振荡器 .....        | 73 | 三、实用 OTL 功率放大器 .....      | 109 |
| 一、三点式振荡器的结构 .....       | 73 | 四、复合管与复合管 OTL 功率放大器 ..... | 111 |
| 二、三点式振荡器能否振荡的判断 .....   | 74 | 五、集成电路 OTL 功率放大器 .....    | 112 |
| 三、三点式振荡器的振荡频率 .....     | 75 | 第三节 OCL 功率放大器 .....       | 113 |
| 四、电容三点式振荡器 .....        | 75 | 一、OCL 功率放大器的特点 .....      | 113 |
| 第四节 石英晶体振荡器 .....       | 76 | 二、OCL 功率放大器的基础知识 .....    | 114 |
| 一、石英晶片的特点 .....         | 76 | 三、分立元件 OCL 功率放大器 .....    | 114 |
| 二、石英晶体振荡器实例 .....       | 78 | 四、集成电路 OCL 功率放大器 .....    | 115 |
| 第五节 RC 正弦波振荡器 .....     | 78 | 第四节 BTL 功率放大器 .....       | 116 |
| 一、RC 串并联电路的频率特性 .....   | 79 | 一、BTL 功率放大器的特点 .....      | 117 |
| 二、RC 桥式正弦波振荡器 .....     | 80 | 二、BTL 功率放大器的基本结构 .....    | 117 |
| 本章小结 .....              | 80 | 三、BTL 功率放大器的基本工作原理 .....  | 117 |
| 习题四 .....               | 82 | 四、集成电路 BTL 功率放大器 .....    | 118 |
| 实验四 变压器耦合振荡器 .....      | 83 | 第五节 功率放大管的散热与保护 .....     | 119 |
| <b>第五章 线性集成电路</b> ..... | 86 | 一、功率放大管的散热 .....          | 119 |
| 第一节 直流放大器的特点 .....      | 86 | 二、防止功率放大管的二次击穿 .....      | 119 |
| 一、直接耦合 .....            | 86 | 三、功率放大管的保护措施 .....        | 120 |
| 二、直接耦合的电位移动 .....       | 86 | 本章小结 .....                | 121 |
| 三、零点漂移 .....            | 87 | 习题六 .....                 | 121 |
| 第二节 差动放大器 .....         | 87 | 实验六 OTL 功率放大器 .....       | 122 |
| 一、双端输入—双端输出差动放大器 .....  | 88 | <b>第七章 直流稳压电源</b> .....   | 124 |
| 二、其他形式的差动放大器 .....      | 90 | 第一节 整流电路 .....            | 124 |
| 第三节 集成运算放大器概述 .....     | 91 | 一、半波整流电路 .....            | 124 |
| 一、集成电路的基础知识 .....       | 91 | 二、全波整流电路 .....            | 125 |
| 二、集成运算放大器的基础知识 .....    | 92 | 三、桥式整流电路 .....            | 126 |



## 目 录

|                              |     |                                 |     |
|------------------------------|-----|---------------------------------|-----|
| 四、倍压整流电路 .....               | 128 | 一、变频器的基本结构 .....                | 146 |
| 第二节 滤波电路 .....               | 129 | 二、变频的基本原理 .....                 | 146 |
| 一、电容滤波 .....                 | 129 | 三、变频器实际电路 .....                 | 147 |
| 二、电感滤波 .....                 | 130 | 第三节 谐振放大器 .....                 | 147 |
| 三、组合滤波电路 .....               | 131 | 一、LC 并联谐振回路的频率特性 .....          | 148 |
| 第三节 串联式稳压电路 .....            | 132 | 二、谐振放大器的种类与特性 .....             | 149 |
| 一、简单串联式稳压电路 .....            | 133 | 三、谐振放大器的应用实例 .....              | 150 |
| 二、具有放大环节的串联式稳压电路 .....       | 133 | 第四节 检波器与鉴频器 .....               | 152 |
| 第四节 集成稳压电路 .....             | 135 | 一、检波器 .....                     | 152 |
| 一、三端固定集成稳压电路 .....           | 135 | 二、鉴频器 .....                     | 153 |
| 二、三端可调集成稳压电路 .....           | 136 | 第五节 反馈控制电路 .....                | 155 |
| 本章小结 .....                   | 137 | 一、自动增益控制电路 .....                | 155 |
| 习题七 .....                    | 139 | 二、自动频率控制电路 .....                | 157 |
| 实验七 串联式稳压电源 .....            | 140 | 第六节 超外差式收音机 .....               | 158 |
| 第八章 无线电广播的发送与接收 .....        | 143 | 一、天坛牌 TTA 型收音机整机电路的<br>特点 ..... | 159 |
| 第一节 无线电广播的基础知识 .....         | 143 | 二、静态工作点的调整方法 .....              | 160 |
| 一、无线电波 .....                 | 143 | 三、收音机频率的调整方法 .....              | 161 |
| 二、调制与解调 .....                | 144 | 本章小结 .....                      | 163 |
| 三、无线电广播的发送与接收的基本<br>过程 ..... | 145 | 习题八 .....                       | 164 |
| 第二节 变频器 .....                | 146 | 参考文献 .....                      | 165 |



# 第一章

## 半导体器件

### 【本章内容提要】

本章主要讲述半导体和半导体二极管、半导体晶体管及场效应晶体管的基础知识。

半导体器件是电子电路的核心，电子电路的质量与所用半导体器件的质量关系非常密切。因此，学习电子电路必须首先了解半导体器件的构造，掌握它们的工作原理、特性和参数。半导体器件的种类很多，一般来说，由半导体材料制造的二极管、晶体管、场效应晶体管及集成电路等统称为半导体器件。

### 第一节 半导体与 PN 结

自然界有多种物质，按其导电性能可分为导体、绝缘体和半导体三种。导电性能良好的物质称为导体，不善于导电的物质称为绝缘体，导电性能介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。

#### 一、本征半导体

##### 1. 半导体的结构

纯净的半导体称为本征半导体，常用的半导体硅（Si）、锗（Ge）分别由硅、锗原子组成。在常温下，半导体硅、锗为共价键结构，处于稳定状态，自由电子极少，所以它们的导电性能很差。

半导体物质受热或光照时，有的价电子吸收能量而内能增加，挣脱了原子核的束缚变为自由电子。电子离去后，原来的位置就留下一个空位。一个价电子离去，即可形成一个自由电子和一个空穴，这个空穴又可以被别的电子填补，这样就产生了一个新的空穴。自由电子和空穴均为载流子。在电场的作用下，自由电子向高电位运动，空穴向低电位运动，这就形成了本征半导体中的电流。

##### 2. 半导体的特性

###### （1）热敏特性

当半导体的温度升高时，自由电子、空穴增多，半导体的导电性能就会随着温度的升高而增强，半导体的这种特性称为热敏特性。

###### （2）光敏特性

当半导体受到光的照射时，自由电子、空穴增多，半导体的导电性能随着光照的增强而

## 第一章 半导体器件

增强, 半导体的这种特性称为光敏特性。

## (3) 掺杂特性

当有目的地往本征半导体中掺入微量的五价或三价元素时, 半导体的导电能力会急剧增强, 半导体的这种特性称为掺杂特性。

## 二、半导体材料

利用半导体的掺杂特性, 往本征半导体中掺入微量的五价或三价元素, 就可以制成半导体材料。半导体材料有 N 型和 P 型两种, 它们是制造半导体器件的材料。

## 1. N 型半导体材料

往本征半导体中掺入微量五价元素, 就可制成 N 型半导体材料。由于五价元素的掺入, 半导体中自由电子浓度增大, 使半导体的导电性能急剧增强。N 型半导体的导电是以电子导电为主的, 所以 N 型半导体又称为电子导电半导体。

## 2. P 型半导体材料

往本征半导体中掺入微量三价元素, 就可制成 P 型半导体材料。由于三价元素的掺入, 半导体中空穴浓度增大, 使半导体的导电性能急剧增强。在电场的作用下, 电子依次填充空穴形成电流。P 型半导体的导电是以空穴导电为主的, 所以 P 型半导体又称为空穴导电半导体。

## 三、PN 结及其特性

## 1. PN 结

把一块 P 型半导体与一块 N 型半导体结合在一起时, P 型半导体中的空穴与 N 型半导体中的电子就会相互扩散、中和, 在它们的交界面形成了一个带有电荷而无载流子的特殊薄层, 这个薄层就是 PN 结。

PN 结的 P 型区由于丢失了空穴、得到了电子而带有负电荷, PN 结的 N 型区由于丢失了电子、得到了空穴而带有正电荷, 由此形成的电场称为 PN 结电场。由于 PN 结内的电子与空穴中和, 所以 PN 结内无载流子, 故 PN 结又称为耗尽层。PN 结的结构示意图如图 1-1 所示。

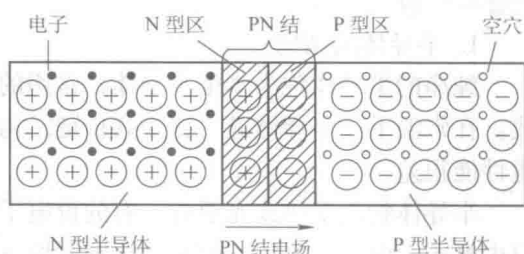


图 1-1 PN 结的结构示意图

## 2. PN 结的特性

PN 结具有单向导电性, 即加正向电压导电、加反向电压不导电。PN 结的单向导电性是分析半导体二极管、晶体管工作原理的基础。PN 结的单向导电性示意图如图 1-2 所示。

## (1) PN 结加正向电压导电

当在 PN 结两端加正向电压 (P 端接高电位, N 端接低电位) 时, 由于外电场的方向与 PN 结电场的方向相反, 于是外电场的加入削弱了 PN 结电场, 使扩散能够继续进行而导电, 如图 1-2a 所示。

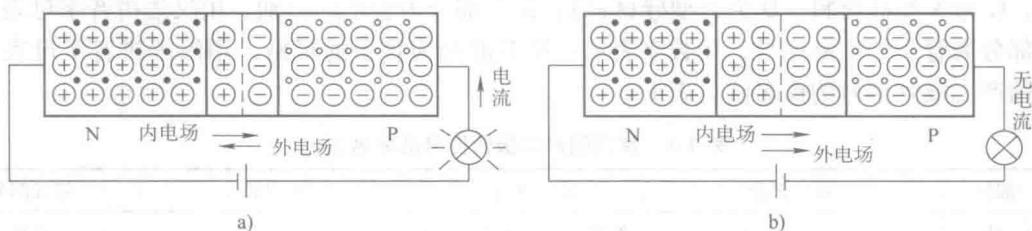


图 1-2 PN 结的单向导电性示意图

a) 加正向电压 PN 结导电 b) 加反向电压 PN 结不导电

## (2) PN 结加反向电压不导通

当在 PN 结两端加反向电压 (P 端接低电位, N 端接高电位) 时, 由于外电场的方向与 PN 结电场的方向相同, 于是外电场的加入增强了 PN 结电场, 使扩散不能继续进行而不导电, 如图 1-2b 所示。

## 第二节 半导体二极管

半导体二极管是电子电路中常用的一种半导体器件, 它主要用于整流、稳压、检波、钳位及温度补偿等。在本书中, 如无特殊指定, 所说二极管均指半导体二极管。

### 一、二极管的结构与分类

#### 1. 二极管的结构

二极管由一个 PN 结加上引线经封装而构成。二极管的结构与符号如图 1-3 所示, 图 1-3a 为二极管的结构示意图, 图 1-3b 为二极管的符号。

在图 1-3a 中, P 区接出的引线为二极管的正极, N 区接出的引线为二极管的负极。在电路图中, 二极管常用图 1-3b 所示的图形符号来表示, 箭头形状的一端为二极管正极, 带竖线的一端为二极管负极; VD 是二极管的文字符号。

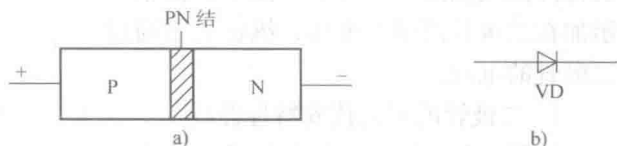


图 1-3 二极管的结构与符号

a) 二极管的结构示意图 b) 二极管的符号

#### 2. 二极管的分类

##### (1) 二极管的种类

按构成二极管的半导体材料种类, 二极管可分为硅管与锗管两种。按二极管的耗散功率, 二极管可分为大功率管、中功率管与小功率管三种。按二极管的工作频率, 二极管可分为高频管、中频管与低频管三种。按二极管的用途, 二极管可分为普通二极管、整流二极管、开关二极管、稳压二极管等多种。

##### (2) 国产二极管型号的命名法

常用国产二极管型号的命名由五部分构成: 第一部分为管子的主称, 用数字 2 表示二极管; 第二部分为半导体的材料与极性, 用汉语拼音字母表示 (A 为 N 型锗材料, B 为 P 型锗

## 第一章 半导体器件

材料, C 为 N 型硅材料, D 为 P 型硅材料); 第三部分为管子的类别, 用汉语拼音字母表示; 第四部分为管子的产品序号, 用数字表示; 第五部分为管子的规格, 用汉语拼音字母表示。常用国产二极管型号的命名法见表 1-1。

表 1-1 常用国产二极管型号的命名法

| 第一部分 |     | 第二部分 |          | 第三部分 |     | 第四部分                                      | 第五部分    |
|------|-----|------|----------|------|-----|-------------------------------------------|---------|
| 符号   | 意义  | 符号   | 意义       | 符号   | 意义  | 意义                                        | 意义      |
| 2    | 二极管 | A    | N 型, 锗材料 | P    | 普通管 | 如果第一、第二、第三部分相同, 仅第四部分不同, 则表示同类型管在某些性能上有差别 | 表示管子的规格 |
|      |     | 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 |                                           |         |

例如, 2CP21 表示 N 型硅材料普通二极管, 2CZ55 表示 N 型硅材料整流二极管, 2AK33 表示 N 型锗材料开关二极管, 2CW55 表示 N 型硅材料稳压二极管。

## 二、二极管的特性

为了了解二极管的单向导电性, 必须认真研究二极管两端所加电压与通过二极管电流的关系, 即二极管的伏安特性。二极管的伏安特性通常用二极管的伏安特性曲线来描述。

以 2CP 型硅二极管为例, 二极管的伏安特性曲线如图 1-4 所示。图中, 横轴表示加在二极管两端的电压, 纵轴表示通过二极管的电流。

## 1. 二极管的正向伏安特性曲线

从零开始逐渐给二极管两端加正向电压, 即可得到二极管的正向伏安特性曲线。二极管的正向伏安特性曲线分为死区、非线性区和线性区三段, 如图 1-4 中第一象限的曲线所示。

## (1) 死区

当二极管两端所加正向电压较低时, 通过二极管的正向电流极小而且不随电压的升高而增大, 伏安特性曲线几乎与横轴重合, 此段叫死区, 如图中 OA 段曲线所示。此段曲线对应的电压值一般为  $0 \sim 0.5\text{V}$ , A 点的电压  $U_A$  称为死区电压。

## (2) 非线性区

当二极管两端所加正向电压从 A 点升高时, 正向电流逐渐增大, 而且电流与电压呈曲线关系增大, 此段叫非线性区, 如图中 AC 段曲线所示。此段曲线对应的电压值一般为  $0.5 \sim 0.6\text{V}$ 。

## (3) 线性区

当二极管两端所加正向电压从 C 点升高时, 正向电流很快增大, 而且电流与电压呈线性关系增大, 此段叫线性区, 如图中 CD 段曲线所示。此段曲线对应的电压值一般为  $0.6 \sim$

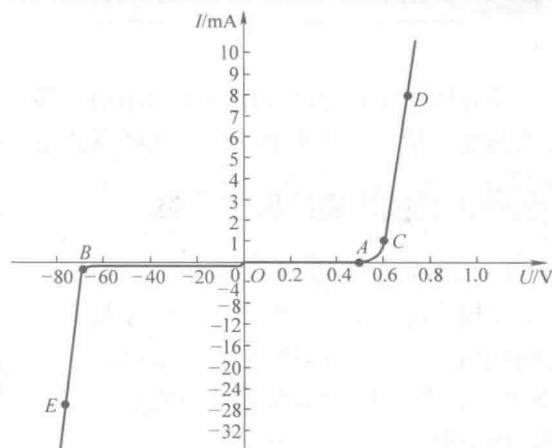


图 1-4 二极管的伏安特性曲线

0.8V。如果二极管两端所加的正向电压过高,可能因正向电流过大而烧毁二极管。

## 2. 二极管的反向伏安特性曲线

从零开始逐渐给二极管两端加反向电压,即可得到二极管的反向伏安特性曲线。二极管的反向伏安特性曲线可分为截止区和击穿区两段,如图 1-4 中第三象限的曲线所示。

### (1) 截止区

当二极管两端所加反向电压从零变化到  $B$  点对应的电压时,二极管中只有极小(几乎为零)的反向电流,如图中  $OB$  段曲线所示。随后,反向电流也不随反向电压的升高而增大,只保持这个极小的数值。这个小电流称为二极管的反向饱和电流。

### (2) 击穿区

当二极管两端所加反向电压超过  $B$  点继续升高时,会突然有很大的反向电流通过二极管,如图中  $BE$  段曲线所示。此时,二极管处于反向击穿状态, $B$  点电压  $U_B$  称为反向击穿电压。二极管进入反向击穿区后,如果对反向电流不加限制并继续升高反向电压,二极管将被击穿。普通二极管击穿后,将造成永久性损坏。

## 3. 关于二极管伏安特性曲线的两点说明

1) 二极管的正向伏安特性曲线与反向伏安特性曲线的坐标刻度一般是不一样的,使用中应予以注意。

2) 温度对二极管伏安特性曲线的影响很大,这是由于半导体的热敏特性造成的。当温度升高时,二极管的正向伏安特性曲线将向左移动,反向伏安特性曲线将向下移动,使二极管的性能变差。实际应用中,必须限制通过二极管的电流并注意加强散热,以保证二极管的性能并保护二极管不被损坏。

3) 不同材料的二极管,正向电压不同,锗材料二极管的正向电压约为 0.3V,而硅材料二极管的正向电压约为 0.5~0.7V。

## 三、二极管的主要参数

二极管的参数是对二极管的特性及极限运用条件的定量描述,是正确选择并合理使用二极管的依据。常用二极管的主要参数如下:

### (1) 直流电阻

二极管两端所加正向电压与通过二极管的正向电流之比,称为二极管的直流电阻( $R$ ),用公式表示为

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-1)$$

二极管的电阻如图 1-5 所示。当二极管工作在  $A$  点时, $U_A = 0.7V$ , $I_A = 10mA$ ,二极管的电阻  $R_A$  为

$$R_A = \frac{U_A}{I_A} = \frac{0.7V}{10mA} = 70\Omega$$

必须指出,随着二极管工作点的改变,二极管的直流电阻也要变化。当二极管工作在  $B$  点时, $U_B = 0.8V$ , $I_B = 23mA$ ,二极管的电阻  $R_B$  为

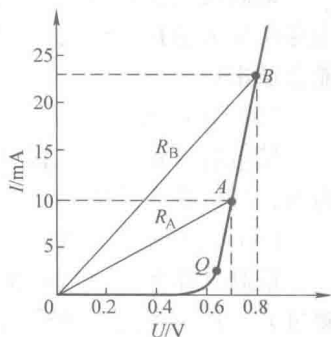


图 1-5 二极管的电阻

## 第一章 半导体器件

$$R_B = \frac{U_B}{I_B} = \frac{0.8\text{V}}{23\text{mA}} \approx 35\Omega$$

用欧姆表测量二极管的直流电阻时,二极管的直流电阻随工作点的改变而变化的特点表现得很明显。当用不同的量程测量二极管的直流电阻时,由于不同量程的欧姆表给二极管所加的电压不同,所以测得的直流电阻也不相同。

## (2) 交流电阻

交流电阻( $r$ )表示二极管对交流电流的阻碍作用。交流电阻在数值上等于二极管两端所加交流电压 $u$ 与通过二极管的交流电流 $i$ 之比,即

$$r = \frac{u}{i} \quad (1-2)$$

由于二极管是单向导电的,所以这里所说的交流电压与交流电流都是叠加在二极管的直流电压与直流电流上面的。

如果要在伏安特性曲线上计算某点(如 $Q$ 点)的交流电阻,可以在伏安特性曲线上过该点作一条切线,在切线上任取两点,分别对应为 $U_1$ 、 $I_1$ 和 $U_2$ 、 $I_2$ ,则该点的交流电阻用公式表示为

$$r = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{u}{i} \quad (1-3)$$

通过分析可以看出,曲线上不同点的交流电阻是不同的,即二极管的交流电阻是随工作点的改变而变化的。通常二极管的交流电阻比直流电阻小一些,这是因为二极管导通时伏安特性曲线很陡的缘故。

## (3) 最大整流电流

最大整流电流( $I_F$ )指二极管作为整流管长期使用时,允许通过的最大正向平均电流。 $I_F$ 是由二极管PN结的面积及散热条件决定的。实际应用中,通过二极管的电流不得超过 $I_F$ ,否则,可能会因过热而烧毁二极管。

## (4) 最高反向工作电压

最高反向工作电压( $U_R$ )指二极管工作时能承受的最高反向工作电压。 $U_R$ 一般为反向击穿电压 $U_B$ 的一半左右。实际应用中,二极管两端的反向电压不得超过 $U_R$ ,否则二极管可能会被击穿。

## (5) 结电容

结电容( $C_j$ )是二极管的PN结电容、引线电容及壳体电容的总和,其中以PN结电容为主,所以称为结电容。

## (6) 最高工作频率

最高工作频率( $f_M$ )指二极管工作时允许的最高工作频率。实际应用中,工作频率不得超过 $f_M$ 。 $f_M$ 主要由二极管的PN结电容决定,当信号频率超过 $f_M$ 时,PN结电容的容抗将变得很小,使二极管的单向导电性能变差。低频二极管的PN结面积较大,所以 $C_j$ 较大;高频二极管的PN结面积较小,所以 $C_j$ 较小。

## 四、稳压二极管

## 1. 稳压二极管的特性

稳压二极管是一种性能特殊的面结合型硅二极管。正常使用时,稳压二极管的负极接外



加电压的正端, 正极接外加电压的负端。稳压二极管的特性是: 反向击穿后, 特性曲线非常陡峭, 通过稳压二极管的反向电流可以在很大范围内变化, 但其两端电压却基本保持不变。图 1-6 就是稳压二极管 2CW55 的反向伏安特性曲线。图中,  $\Delta U_Z$  为反向击穿后反向电压的变化量,  $\Delta I_Z$  为相对电流的变化量。

稳压二极管的正向伏安特性曲线与普通硅二极管相同, 故不再重述。

## 2. 稳压二极管的主要参数

### (1) 稳定电压

稳定电压 ( $U_Z$ ) 也称为击穿电压, 它是稳压二极管正常工作时两端的电压。不同型号的稳压二极管, 其稳定电压值一般不同, 即使同一型号的稳压二极管, 其稳定电压值一般也略有差别。在制作对输出电压要求准确的稳压电路时, 必须对稳压二极管的稳定电压预先进行测定。

### (2) 稳定电流

稳压二极管的稳定电流有最大稳定电流、最小稳定电流和稳定电流三种。

1) 最大稳定电流 ( $I_{Z\max}$ ) 是稳压二极管工作时允许通过的最大电流。使用中, 实际工作电流不得超过此值, 否则会损坏稳压二极管。

2) 最小稳定电流 ( $I_{Z\min}$ ) 是稳压二极管进入稳压状态必须达到的最小电流。使用中, 如稳定电流小于此值, 稳压二极管将因为没有进入击穿区而失去稳压作用。

3) 稳定电流 ( $I_Z$ ) 是稳压二极管工作时稳定电流的参考值, 该值一般选在最大稳定电流与最小稳定电流之间。

### (3) 最大耗散功率

最大耗散功率 ( $P_{ZM}$ ) 是稳压二极管工作时所能承受的最大功率损耗, 在数值上它等于稳定电压 ( $U_Z$ ) 与最大稳定电流 ( $I_{Z\max}$ ) 的乘积。

在实际应用中, 由于稳定电压是固定的, 为了使稳压二极管的实际耗散功率不超过最大耗散功率, 必须限制通过稳压二极管的电流, 使之不超过最大稳定电流, 否则会由于温升过高而影响稳压效果, 甚至损坏稳压二极管。在电子电路中, 常用稳压二极管的最大耗散功率为 0.25 ~ 1W。

### (4) 动态电阻

动态电阻 ( $r_Z$ ) 也叫交流电阻, 它是稳压二极管击穿后, 电压的变化量  $\Delta U_Z$  与对应电流的变化量  $\Delta I_Z$  之比。

动态电阻反映的是稳压二极管反向击穿特性曲线的陡峭程度。从图 1-6 可以看出, 动态电阻越小, 稳压二极管的反向击穿特性曲线越陡, 稳压效果越好。

### (5) 温度系数

温度系数 ( $\alpha_Z$ ) 表示通过稳压二极管的电流为稳定电流 ( $I_Z$ ) 时, 环境温度每变化 1℃, 稳压二极管稳定电压 ( $U_Z$ ) 的相对变化量。温度系数越小, 稳定电压受温度变化的影响越小, 稳压二极管的温度稳定性越好。

稳定电压高于 7V 的稳压二极管具有正温度系数, 稳定电压低于 4V 的稳压二极管具有

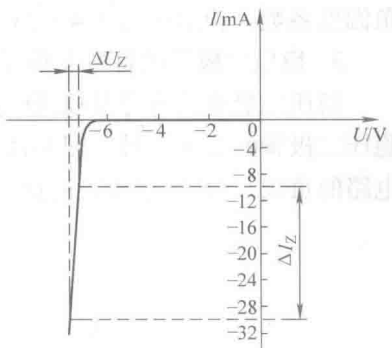


图 1-6 稳压二极管 2CW55 的反向伏安特性曲线



## 第一章 半导体器件

负温度系数, 稳定电压为  $4 \sim 7\text{V}$  的稳压二极管的温度系数较小。

## 3. 稳压二极管的符号及稳压电路

稳压二极管的符号及稳压电路如图 1-7 所示。图 1-7a 为稳压二极管的图形符号, VS 为稳压二极管的文字符号。图 1-7b 为稳压电路,  $R$  为稳压二极管的限流保护电阻,  $R_L$  为稳压电路的负载, VS 为稳压二极管。

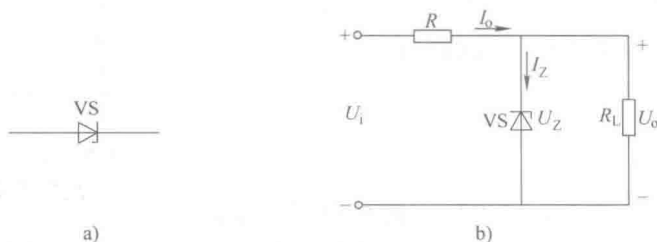


图 1-7 稳压二极管的符号及稳压电路

a) 稳压二极管的图形符号 b) 稳压电路

稳压电路的稳压原理是: 当输入电压  $U_i$  或负载  $R_L$  发生变化时, 虽然输出电压  $U_o$  有很小的变化, 但稳压二极管两端的电压保持不变。由于负载与稳压二极管并联, 所以输出电压也保持不变, 于是波动的电压落在了限流保护电阻  $R$  的两端。

## 五、发光二极管

发光二极管 (简称 LED) 是一种将电能转变为光能的半导体器件。当给它加正向电压时, 它就以发光的形式释放能量。发光二极管有多种颜色, 常用的有红、橙、黄、绿四种。发光二极管的工作电压一般为  $1.6 \sim 3\text{V}$ 。

使用发光二极管时, 要给它加正向电压, 并串入适当的限流保护电阻。发光二极管的正向电流一般为几毫安至几十毫安。在一定范围内, 发光二极管的发光强度与正向电流的大小呈线性关系。

发光二极管常用于电路的通、断及电平指示, 在仪器、仪表及家用电器中应用非常普遍。发光二极管的符号及电平指示电路如图 1-8 所示。图 1-8a 为发光二极管的图形符号, VL 是发光二极管的文字符号。图 1-8b 为电平指示电路。

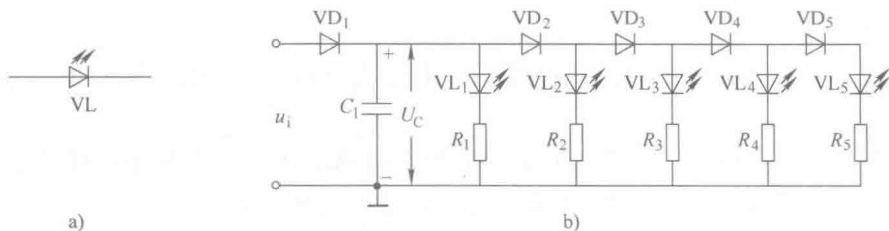


图 1-8 发光二极管的符号及电平指示电路

a) 发光二极管的图形符号 b) 电平指示电路

在图 1-8b 中,  $u_i$  为音频信号电压,  $VD_1$  与  $C_1$  组成音频信号电压的整流滤波电路,  $VD_1$  是整流二极管,  $C_1$  是滤波电容。VL<sub>1</sub> ~ VL<sub>5</sub> 是五只发光二极管。音频信号电压  $u_i$  经  $VD_1$ 、