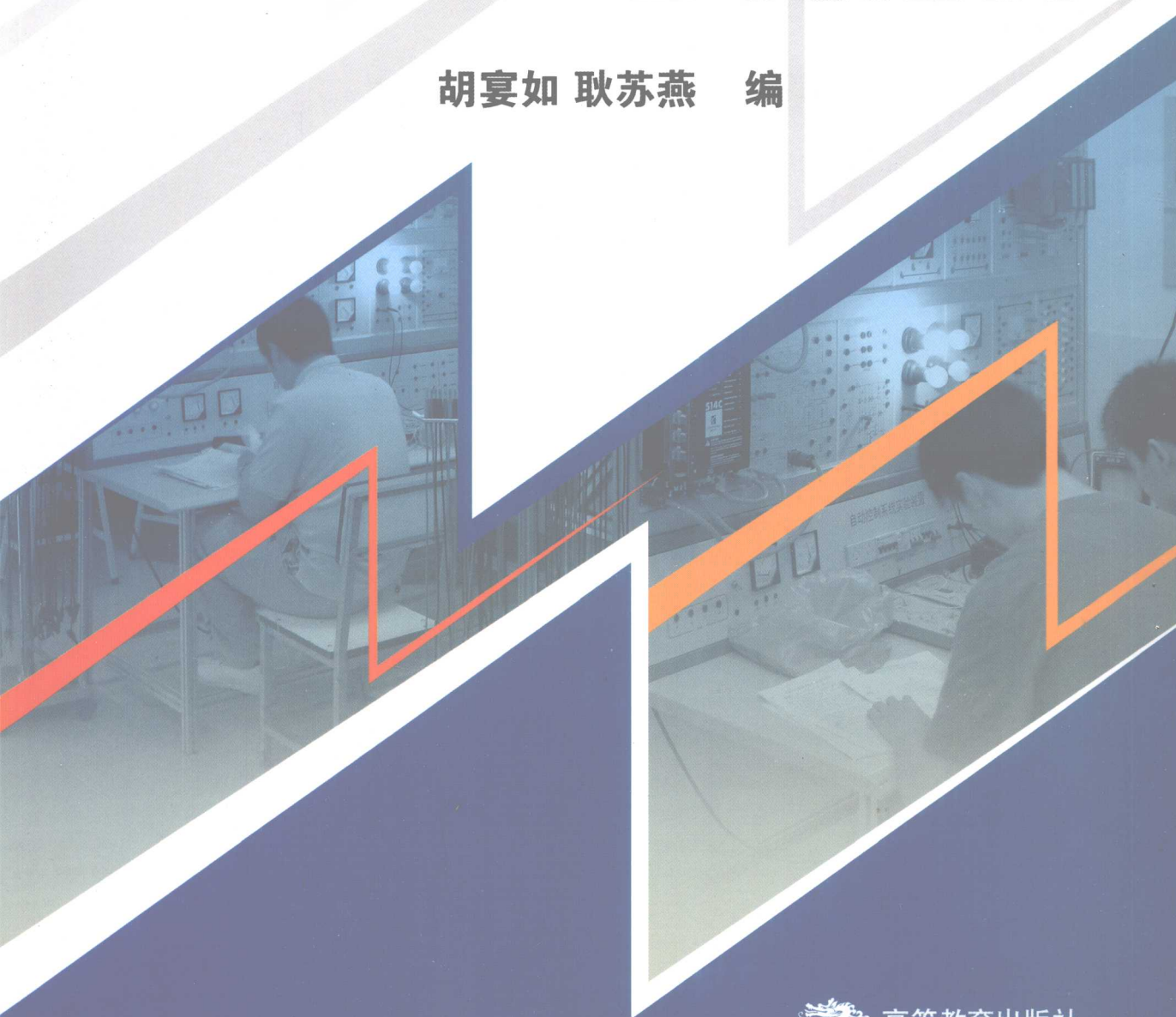


普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套用书

# 模拟电子技术 (第3版) 学习指导

胡宴如 耿苏燕 编



高等教育出版社  
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套用书

# 模拟电子技术

(第3版)

## 学习指导

胡宴如 耿苏燕 编

高等教育出版社

## 内容提要

本书是根据胡宴如主编的普通高等教育“十一五”国家级规划教材《模拟电子技术》(第3版)编写的学习指导。全书按教学目标及学习指导、内容提要及复习讨论题分析、典型例题、自测题分析四个方面逐章加以介绍,书后附录提供了适量的参考试卷及其答案。

本书对模拟电子技术主要内容、重点和难点进行全面、扼要的分析和总结,帮助读者把握主教材的教学目标、各章的重点和难点以及学习方法,通过复习讨论题的分析、典型例题以及自测题的分析,使读者加深对基本概念的理解,巩固基本知识,提高应用能力。

本书可作为高职高专院校电类各专业学生和自学读者的学习辅导书,也可作为教师的教学参考书,可与《模拟电子技术》一书配套使用,也可单独使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术(第3版)学习指导/胡宴如,耿苏燕编.

北京:高等教育出版社,2008.12

ISBN 978-7-04-025570-6

I. 模… II. ①胡… ②耿… III. 模拟电路-电子技术-高等学校:技术学校-教学参考资料 IV. TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第180852号

|      |     |      |     |      |     |      |     |
|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| 策划编辑 | 孙杰  | 责任编辑 | 李葛平 | 封面设计 | 张志奇 | 责任绘图 | 吴文信 |
| 版式设计 | 王艳红 | 责任校对 | 胡晓琪 | 责任印制 | 陈伟光 |      |     |

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120  
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 北京奥鑫印刷厂

开 本 787×1092 1/16  
印 张 10.25  
字 数 240 000

购书热线 010-58581118  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landracom.com>  
<http://www.landracom.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008年12月第1版  
印 次 2008年12月第1次印刷  
定 价 13.50元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 25570-00

# 前 言

本书是根据胡宴如主编的普通高等教育“十一五”国家级规划教材《模拟电子技术》(第3版)编写的学习指导,其目的在于帮助读者把握教材的教学目标、各章重点和难点以及学习方法,以利于基本概念的理解、基本知识的巩固、应用能力的提高。

本书是教学辅导教材。全书按教学目标及学习指导、内容提要及复习讨论题分析、典型例题、自测题分析四个方面逐章进行介绍,书后附录提供适量的参考试卷及其答案。教学目标及学习指导中,指出各章教学应达到的目标及各章的重点、难点,并对学习方法、注意事项、技能训练等给出提示和建议。内容提要及复习讨论题分析中,力求用精练的语言,对各章基本的、重要的内容进行总结归纳和必要的综合,并对主教材每节的复习讨论题进行分析,以便读者加深对本节基本概念、基本知识的理解。典型例题的选择主要根据高职高专培养目标要求,紧扣主教材内容,其中有基本应用题,有较复杂和较难的分析计算题,也有拓宽知识面的综合应用题,读者可根据不同专业的教学目标来选择,不过在深度和广度方面要适当把握,要注意基本概念、基本知识的理解和巩固,注意解题能力和知识应用能力的提高,注意知识的融会贯通,举一反三,灵活应用。自测题分析较详细地对主教材各章自测题进行分析,使读者对这些基本内容能做到熟练掌握。参考试卷供读者复习、自查练习,检测自己对本课程掌握的程度。

电子技术在现代科学技术中应用极为广泛,发展非常迅速,在当前经济建设中占有重要的地位。模拟电子技术是高职高专电类各专业的主干课程,应有充分的时间进行学习和实训,以保证电子技术基本概念的建立,掌握电子技术的基本理论、基本分析方法及电子电路调整测试基本技能。每章的电路调整测试方法、故障处理等内容,可在教师的指导下,在实训过程中由学生自学查阅;第1~4章主要进行基本技能训练,第5~7章以集成器件的应用及综合能力训练为主,EWB训练可集中进行,也可分散进行。

本书可作为高职高专院校电类专业学生和广大自学读者的学习辅导书,也可作为教师教学的参考书;可与《模拟电子技术》一书配套使用,也可单独使用。

本书由胡宴如、耿苏燕编写,全书由胡宴如统稿。胡旭峰、马丽明为书稿的整理及例题解答、校对做了大量工作。

书中错漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2008年8月

## 郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

**反盗版举报电话：**（010）58581897/58581896/58581879

**传    真：**（010）82086060

**E - mail：** dd@hep.com.cn

**通信地址：** 北京市西城区德外大街 4 号  
高等教育出版社打击盗版办公室

**邮    编：** 100120

**购书请拨打电话：**（010）58581118

# 目 录

## 第 1 章 半导体二极管及其基本

### 应用 ..... 1

#### 一、教学目标及学习指导 ..... 1

#### 二、内容提要及复习讨论题分析 ..... 1

##### 1.1 半导体的基础知识 ..... 1

##### 1.2 二极管的特性和主要参数 ..... 3

##### 1.3 二极管的基本应用 ..... 3

##### 1.4 特殊二极管 ..... 4

##### 1.5 二极管应用电路的测试 ..... 5

#### 三、典型例题 ..... 7

#### 四、自测题分析 ..... 10

## 第 2 章 半导体三极管及其基本

### 应用 ..... 14

#### 一、教学目标及学习指导 ..... 14

#### 二、内容提要及复习讨论题分析 ..... 15

##### 2.1 晶体管的特性与参数 ..... 15

##### 2.2 晶体管的基本应用 ..... 16

##### 2.3 场效应管及其基本应用 ..... 17

##### 2.4 晶体管基本应用电路的测试 ..... 20

#### 三、典型例题 ..... 22

#### 四、自测题分析 ..... 29

## 第 3 章 放大电路基础 ..... 34

#### 一、教学目标及学习指导 ..... 34

#### 二、内容提要及复习讨论题分析 ..... 35

##### 3.1 放大电路的基本知识 ..... 35

##### 3.2 三种基本组态放大电路 ..... 36

##### 3.3 差分放大电路 ..... 40

##### 3.4 互补对称功率放大电路 ..... 42

##### 3.5 多级放大电路 ..... 45

##### 3.6 放大电路的调整与测试 ..... 46

#### 三、典型例题 ..... 48

#### 四、自测题分析 ..... 62

## 第 4 章 负反馈放大电路 ..... 67

#### 一、教学目标及学习指导 ..... 67

#### 二、内容提要及复习讨论题分析 ..... 68

##### 4.1 负反馈放大电路的组成及基本类型 ..... 68

##### 4.2 负反馈对放大电路性能的影响 ..... 70

##### 4.3 负反馈放大电路应用中的几个问题 ..... 71

##### 4.4 负反馈放大电路的调整与测试 ..... 72

#### 三、典型例题 ..... 73

#### 四、自测题分析 ..... 77

## 第 5 章 集成运算放大器的应用

### 电路 ..... 81

#### 一、教学目标及学习指导 ..... 81

#### 二、内容提要及复习讨论题分析 ..... 82

##### 5.1 基本运算电路 ..... 82

##### 5.2 集成运算放大器的频率特性 ..... 85

##### 5.3 集成运算放大器交流放大电路 ..... 89

##### 5.4 有源滤波电路 ..... 90

##### 5.5 集成功率放大器及其应用 ..... 92

##### 5.6 集成运算放大器应用电路的调整 与测试 ..... 93

#### 三、典型例题 ..... 94

#### 四、自测题分析 ..... 107

## 第 6 章 信号产生电路 ..... 110

#### 一、教学目标及学习指导 ..... 110

#### 二、内容提要及复习讨论题分析 ..... 111

##### 6.1 正弦波振荡电路 ..... 111

##### 6.2 非正弦波信号产生电路 ..... 113

##### 6.3 锁相频率合成电路 ..... 115

##### 6.4 信号产生电路的调整与测试 ..... 116

#### 三、典型例题 ..... 117

#### 四、自测题分析 ..... 123

|                           |     |                        |     |
|---------------------------|-----|------------------------|-----|
| <b>第 7 章 直流稳压电源</b> ..... | 127 | 7.4 直流稳压电源的调整与测试 ..... | 133 |
| 一、教学目标及学习指导 .....         | 127 | 三、典型例题 .....           | 134 |
| 二、内容提要及复习讨论题分析 .....      | 128 | 四、自测题分析 .....          | 137 |
| 7.1 单相整流滤波电路 .....        | 128 | <b>附录</b> .....        | 140 |
| 7.2 线性集成稳压器 .....         | 130 | 附录 A 参考试卷 .....        | 140 |
| 7.3 开关集成稳压电源 .....        | 132 | 附录 B 参考试卷答案 .....      | 153 |

## 第 1 章

# 半导体二极管及其基本应用

## 一、教学目标及学习指导

### (一) 教学目标

1. 了解半导体的基本知识,掌握 PN 结的单向导电性;
2. 了解二极管的结构,掌握普通二极管的符号、伏安特性及主要参数,熟悉其基本应用;
3. 熟悉稳压二极管的符号、特性及其基本应用;
4. 了解发光二极管、光电二极管和变容二极管的符号、工作特点及其应用;
5. 学会二极管识别与检测的基本方法。

### (二) 学习指导

1. 本章重点是二极管的伏安特性及其基本应用。通过本章学习,应该明确二极管伏安特性的变化规律及特点,掌握用二极管理想模型及恒压降模型分析二极管基本应用电路的特性。

2. 半导体基础知识的学习,需知道何谓本征半导体、P 型和 N 型半导体? PN 结的形成,理解 PN 结的正偏、反偏的含义及其单向导电性。

3. 稳压二极管、发光二极管与光电二极管、变容二极管的结构与普通二极管类似,均由 PN 结构成,但稳压二极管工作在反向击穿区,主要用于稳压;发光二极管与光电二极管是用于实现光电信号转换的半导体器件;变容二极管在电路中作可变电容使用。所以这一部分内容学习主要理解它们的工作特点,熟悉其应用。

4. 二极管特性的测试与应用,主要通过自学与实验,了解二极管使用知识,学会二极管电路测试的基本方法及常用电子仪器的使用方法,明确实验报告的撰写方法。

## 二、内容提要及复习讨论题分析

### 1.1 半导体的基础知识

#### 1. 半导体的导电性能

半导体有自由电子和空穴两种载流子参与导电。

纯净的单晶半导体称为本征半导体,其载流子由本征激发产生,自由电子和空穴成对产生(也成对消失),其浓度随温度升高而增加。常温下,其导电性能很差。



本征半导体中掺入杂质后即成为杂质半导体,按掺入杂质的不同,有 N 型和 P 型半导体两种。本征半导体中掺入微量的五价元素,则形成 N 型半导体,其中自由电子为多数载流子,空穴为少数载流子;本征半导体中掺入微量的三价元素,则形成 P 型半导体,其中空穴为多数载流子,自由电子为少数载流子。多数载流子主要由掺杂产生,故多数载流子浓度决定于掺杂浓度,其值较大,且基本上不受温度影响,所以,杂质半导体导电性能得到显著改善;少数载流子由本征激发产生,其数量与温度有关。

## 2. PN 结的单向导电性

PN 结上外加电压,若 P 区接电位高端,N 区接电位的低端,称为正向偏置,反之,称为反向偏置。

PN 结零偏置时扩散运动和漂移运动达到动态平衡,通过 PN 结的总电流为零;PN 结正偏时,正向电流主要由多子的扩散运动形成,其值较大且随正偏电压的增加而迅速增大,PN 结处于导通状态;PN 结反偏时,反向电流主要由少子的漂移运动形成,其值很小,且基本不随反偏电压而变化,但随温度变化较大,PN 结处于截止状态。因此,PN 结具有单向导电性。反向偏置电压过大,PN 结被反向击穿,单向导电性被破坏。

## 3. 复习讨论题分析

[1. 1. 1] 何谓本征半导体、P 型半导体和 N 型半导体? 它们在导电性能上各有何特点?

[解] 纯净的单晶半导体称为本征半导体,它有空穴和自由电子两种载流子并相等。在常温下,其载流子浓度很低,故导电能力很弱,且对温度、光照等非常敏感。

P 型半导体又称空穴型半导体,以空穴导电为主,它是在本征半导体中掺入少量三价元素而形成的,多子空穴的数量决定于掺入三价元素的浓度。所以,它的导电性能比本征半导体显著改善,同时受外界因素影响较小。

N 型半导体又称电子型半导体,以电子导电为主,它是在本征半导体中掺入少量五价元素而形成的,多子电子的数量决定于掺入五价元素的浓度,同样它的导电性能比本征半导体显著改善,受外界因素影响较小。

[1. 1. 2] 空间电荷区是电子、空穴还是由施主离子、受主离子构成? 空间电荷区又称耗尽区、阻挡层,为什么?

[解] 空间电荷区是由施主和受主离子构成,它们是不移动的。

由于空间电荷区中载流子被复合而很快减少,以至耗尽,故将空间电荷区称为耗尽区。又由于空间电荷区所形成的电场阻止多子扩散,所以又把它称为阻挡层。

[1. 1. 3] 何谓 PN 结的正向偏置和反向偏置? 何谓 PN 结的单向导电性?

[解] PN 结上外加电压,若 P 区接电位高端,N 区接电位低端,称 PN 结外接正向偏置电压,简称正偏。反之,称 PN 结反向偏置,简称反偏。

PN 结正偏时,形成较大的正向电流,呈现很小的电阻,可近似为短路,称为导通;PN 结反偏时,反向电流很小,呈现很大的电阻,可近似为开路而称为截止。即 PN 结正偏导通、反偏截止,称为 PN 结的单向导电性。

[1. 1. 4] 何谓 PN 结的击穿特性? 何谓电击穿和热击穿? 哪一种击穿是不可逆的?

[解] 当加于二极管两端反向电压增大到一定值时,二极管的反向电流将随反向电压的增加而急剧增大,这种现象称为反向击穿。反向击穿后,反向电压很小的变化就会产生很大的电流

变化而具有恒压特性,只要反向电流和反向电压的乘积不超过 PN 结容许的耗散功率,PN 结一般不会损坏。若反向电压下降到击穿电压以下后,其性能可恢复到原有情况,即这种击穿是可逆的,称为电击穿。若反向电流不加限制,将导致 PN 结结温过高而损坏,这种击穿是不可逆的,称为热击穿。

## 1.2 二极管的特性和主要参数

### 1. 二极管的伏安特性

二极管伏安特性具有非线性,即通过半导体的电流  $i_D$  与其两端电压  $u_D$  不成正比。伏安特性表达式为

$$i_D = I_S (e^{u_D/U_T} - 1)$$

式中,  $I_S$  为二极管的反向饱和电流;  $U_T$  为温度电压当量,在常温 ( $T=300\text{ K}$ ) 下,  $U_T \approx 26\text{ mV}$ 。

常用的二极管有硅管和锗管,硅二极管的导通电压  $U_{D(on)} \approx 0.7\text{ V}$ ,锗二极管的  $U_{D(on)} \approx 0.2\text{ V}$ 。

### 2. 二极管的主要参数

普通二极管的主要参数有最大整流电流  $I_F$ 、最高反向工作电压  $U_{RM}$ 。使用中还应注意二极管的最高工作频率  $f_M$  和反向电流  $I_R$ ,要求反向电流  $I_R$  越小越好,硅管反向电流比锗管小得多,另外,要求二极管的正向压降越小越好。

### 3. 复习讨论题分析

[1.2.1] 二极管正向特性有何特点?

[解] (1) 存在死区电压  $U_{th}$ ,硅管  $U_{th} \approx 0.5\text{ V}$ ,锗管  $U_{th} \approx 0.1\text{ V}$ 。

(2) 正向电压大于  $U_{th}$  后,正向电流与外加电压呈指数关系,即正向电压很小变化将会产生较大正向电流的变化,所以,可认为二极管正向导通压降为恒值,硅管为  $0.7\text{ V}$ 、锗管为  $0.2\text{ V}$ 。

[1.2.2] 温度对二极管的特性有哪些影响?

[解] (1) 温度升高,正向特性向左移,即正向电流相同,温度升高后其压降减小,温度每升高  $1^\circ\text{C}$ ,正向压降减小约  $2 \sim 2.5\text{ mV}$ 。

(2) 温度升高,反向电流显著增大,温度每升高  $10^\circ\text{C}$ ,反向电流约增大一倍。

[1.2.3] 二极管有哪些主要参数? 使用中应特别注意哪些参数?

[解] 普通二极管的主要参数有:最大整流电流  $I_F$ 、最高反向工作电压  $U_{RM}$ 、反向电流  $I_R$  和最高工作频率  $f_M$ 。

使用中应特别注意:(1) 正向电流应加以限制,以免正向电流过大而损坏二极管;(2) 反向电压应小于反向工作电压  $U_{RM}$ ,以免产生击穿而损坏。另外,还需注意,当工作环境温度变化时,因二极管参数会随温度变化而变化,特别是二极管的反向电流将会显著增大。

## 1.3 二极管的基本应用

### 1. 二极管大信号模型

二极管应用广泛,应根据不同的应用情况,采用不同的方法进行二极管电路的分析。在大信号状态,通常二极管电路用理想开关模型和恒压降模型进行分析。应用理想模型和恒压降模型

对二极管电路进行分析时,首先应判断二极管的导通和截止情况,当二极管处于导通状态时,管压降近似为 0 或恒压 0.7 V(硅管);当二极管处于截止状态时,管子断开,电流为 0。

2. 二极管应用电路举例

二极管应用很广泛,如用于对信号进行控制的开关电路,用于将交流电变为直流电的整流电路,用于限制输出电压幅度的限幅电路等,它们都是利用二极管的单向导电性来实现电路功能的。

3. 复习讨论题分析

[1.3.1] 何谓二极管的开关特性? 二极管恒压降模型有何特点?

[解] 二极管加正向电压时导通,管压降近似为 0,相当于开关闭合;加反向电压时截止,电流近似为 0,相当于开关断开,将这一特性称为二极管的开关特性。

二极管导通后,二极管的正向电流随正向电压的增加而迅速增大,即正向电压很小的变化就会产生很大的正向电流变化,可近似认为二极管正向导通压降为恒值,硅管的正向导通电压  $U_{D(on)} \approx 0.7\text{ V}$ ,锗管的  $U_{D(on)} \approx 0.2\text{ V}$ 。所以二极管的恒压降模型的特点为:当加于二极管两端电压  $U_D \geq U_{D(on)}$  时,二极管导通,管压降  $U_D = U_{D(on)}$ ,当  $U_D < U_{D(on)}$  时,二极管截止,  $I_D = 0$ 。

[1.3.2] 何谓整流电路? 为什么整流电路可把交流电变成直流电?

[解] 将 50 Hz 的交流电变成直流电的电路称为整流电路。整流电路由二极管构成,由于二极管具有单向导电性,可以把交流电变成单向的直流电。

[1.3.3] 说明直流电路中求流过二极管电流的方法。

[解] 大信号状态下,通常二极管用理想开关模型或恒压降模型来等效。首先将二极管断开,判断二极管正极与负极之间所加电压是正向还是反向,若是反向,则二极管截止,令二极管断开进行求解;若是正向,则二极管导通,令二极管两端电压降为 0(或  $U_{D(on)}$ ),然后求解。

[1.3.4] 说明二极管直流电阻  $R_D$  和交流电阻  $r_d$  的区别及其应用。

[解] 直流电阻  $R_D$  表示二极管在直流电路中所呈现的等效电阻,当二极管两端直流电压为  $U_D$ ,流过的直流电流为  $I_D$ ,如图 1.1 所示,则二极管的直流电阻等于

$$R_D = \frac{U_D}{I_D}$$

由于二极管伏安特性是非线性的,所以,其直流电阻随管压降(或流过的电流)的大小而变。 $R_D$  用来分析二极管直流电路。

交流电阻  $r_d$  表示二极管在直流工作点上对小信号所呈现的动态电阻,由图 1.1 可得

$$r_d = \left. \frac{\Delta u_D}{\Delta i_D} \right|_Q$$

$r_d$  用来分析在小信号工作状态下,交流、直流量共存的二极管电路中求交流电流和电压。

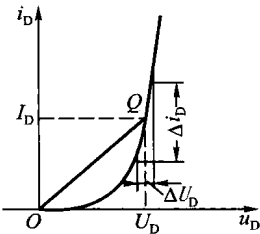


图 1.1 二极管的直流电阻和交流电阻

1.4 特殊二极管

1. 稳压二极管

稳压二极管是一种特殊的硅二极管,正常情况下稳压管工作在反向击穿区,反向击穿电流在很大范围内变化时,其端电压变化很小,因而具有稳压作用。

稳压二极管的主要参数有稳定电压  $U_Z$  和稳定电流  $I_Z$ ,当工作电流小于  $I_Z$  时,稳压效果变差,若低于最小稳定电流  $I_{Zmin}$  时,稳压二极管将失去稳压作用。

## 2. 发光和光电二极管

发光和光电二极管也是一种特殊二极管,用以实现光、电信号转换的半导体器件。发光二极管是通以正向电流就会发光的二极管,因采用的材料不同,可发出红、橙、黄、绿、蓝等光;光电二极管是将光信号转为电信号的半导体器件,它工作在反向偏置状态,在光的照射下,其反向电流随光照强度而变。

## 3. 变容二极管

利用 PN 结的电容效应制成的二极管,称为变容二极管,常用于高频电路中,作压控电容器使用。

## 4. 复习讨论题分析

[1.4.1] 稳压二极管与普通二极管相比较有何特点?为使稳压二极管在稳压电路中正常工作,其工作电压、电流如何选择?

[解] 稳压二极管正向特性与普通二极管相似,但它的反向击穿电压比较低,反向击穿特性曲线很陡直,反向电流在很大范围内变化时端电压变化很小,而具有稳压功能。为使稳压二极管正常工作,加于稳压二极管两端的反向电压应大于稳定电压值,并使其工作电流值介于参考电流  $I_Z$  和最大工作电流  $I_{ZM}$  之间。

[1.4.2] 发光二极管和光电二极管有何用处?使用中应注意哪些问题?

[解] 发光二极管的作用是将电信号变为光信号,通常作为显示器件。光电二极管的作用则是将光信号变为电信号,通常用于光检测。将发光和光电二极管配合使用可实现光电耦合或光电传输。

使用发光二极管时应根据其参数选择合适的工作电流,电流太小则亮度不够,电流太大则功耗大且影响寿命,甚至损坏。工作电压在 5 V 以下。

使用光电二极管时,需避免光干扰,在检测弱光信号时,应采用暗电流小的管子。

[1.4.3] 变容二极管有何特性?它有何用途?

[解] 变容二极管具有压控电容特性,即变容二极管的电容量随加于二极管两端反向电压的增加而减小,它常用于高频电路中作压控电容,如用于谐振回路的电调谐、调频信号的产生等。

# 1.5 二极管应用电路的测试

## 1. 二极管的识别与检测

二极管种类很多,它们的分类、型号、特性和参数等都可以从半导体手册中查到。由于半导体器件特性的分散性,具体某一只管子的特性可通过电子仪器测量得到。实用中常用万用表判别普通二极管的极性和质量好坏。将万用表置于  $R \times 1\text{ k}$  挡,调零后,将表笔分别正、反接于二极管的两引脚,可测得大小两个阻值,两个阻值相差越大,则二极管的质量就越好,否则质量就越差。如果两次测得的电阻值都是无穷大或为零,则二极管内部已断路或短路。测得电阻值较小时,黑表笔(即“—”测试端)所接为二极管的正极。由于不同型号的万用表所提供的测试电流不

同,故同一个二极管用不同万用表在相同的测量挡,所测电阻值是不相同的。

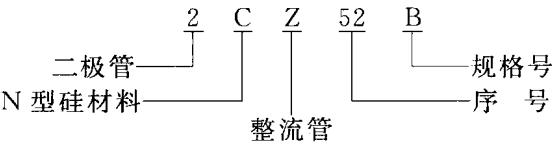
2. 二极管基本应用电路的测试

通过简单二极管电路的测试,以加深二极管特性的理解,学习电子电路实验的基本方法。要求实验者在实验前应认真阅读有关课文,明确实验内容及要求,实验过程中应注意理论与实践相结合,分析每一个实验结果,实验结束应认真完成实验报告。

3. 复习讨论题分析

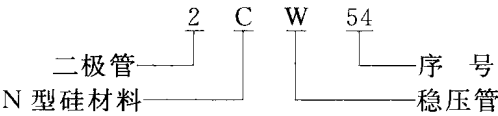
[1. 5. 1] 说明 2CZ52B、2CW54 符号的含义并列其主要参数值。

[解] 2CZ52B 为硅整流二极管,其含义为



主要参数值为:最大整流电流  $I_F=0.1\text{ A}$ ;最高反向工作电压  $U_{RM}=50\text{ V}$ 。

2CW54 为硅稳压二极管,其含义为



主要参数值为:稳定电压  $U_Z=5.5\sim6.5\text{ V}$ ;稳定电流  $I_Z=10\text{ mA}$ ;最大稳定电流  $I_{ZM}=38\text{ mA}$ 。

[1. 5. 2] 说明用模拟指针式万用表的电阻挡测量二极管正向电阻时,不同量程挡位下所测得正向电阻不同的原因? 万用表所指电阻是二极管的何种电阻?

[解] 模拟指针式万用表电阻挡的电路为直流电路,故用万用表测出的是二极管直流电阻。由于不同量程时加在管子两端的电压基本不变,但通过二极管的电流不同,量程小时,流过二极管的正向电流大,测得的二极管直流电阻就小;量程大时,流过二极管的正向电流小,测得的二极管电阻就大。

[1. 5. 3] 二极管电路如图 1. 2(a)所示,已知  $u_i$  为振幅等于  $8\text{ V}$  的正弦信号,如图 1. 2(b)所示,试画出输出电压  $u_o$  波形。

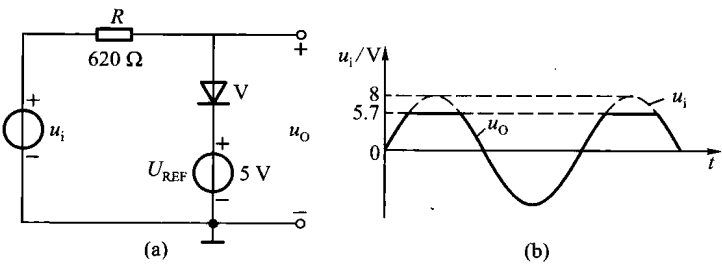


图 1. 2 教材图 1. 5. 2(c)电路及输出波形

[解] 设二极管的导通电压  $U_{D(on)}=0.7\text{ V}$ ,则  $u_i < U_{REF} + U_{D(on)}=5.7\text{ V}$  时,二极管 V 截止,此时输出电压  $u_o = u_i$ ;当  $u_i \geq 5.7\text{ V}$  后,二极管导通,因二极管的钳位作用,此时输出电压  $u_o$  始

终等于 5.7 V。由此可以作出输出电压的波形如图 1.2(b)所示。

[1.5.4] 在图 1.3 所示稳压二极管稳压电路中,如果限流电阻  $R=0$ ,是否还有稳压作用? $R$  在电路中起什么作用?说明稳压二极管使用中应注意哪些问题?

[解] 稳压二极管稳压电路中限流电阻  $R$  是不可缺少的,它除了有限流作用外,还起到重要的电压调节作用。稳压电路输出电压  $U_O$  微小的变化将会引起稳压二极管电流  $I_{DZ}$  较大的变化,使流过  $R$  中的电流发生变化, $R$  上的压降发生变化,从而实现自动维持输出电压的稳定。若  $R=0$ ,不但稳压电路失去了调压元件,而且此时流过稳压二极管的电流  $I_{DZ}$  将会很大,致使管子损坏而失去稳压作用。所以稳压二极管稳压电路中限流电阻  $R$  是不允许短路的。稳压二极管使用时应注意以下几点:

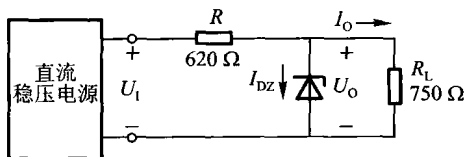


图 1.3 教材图 1.5.3 电路

(1) 稳压二极管必须工作在反向击穿区;

(2) 稳压二极管工作时的电流应在稳定电流  $I_Z$  和最大稳定电流  $I_{ZM}$  之间,电流小于  $I_{Zmin}$  将失去稳压作用,大于  $I_{ZM}$  有可能使器件损坏,所以稳压二极管使用时必须与之串接合适的限流电阻;

(3) 稳压二极管不能并联使用,但可串联使用。

### 三、典型例题

例 1.1 二极管电路如图 1.4 所示,二极管的导通电压  $U_{D(on)}=0.7$  V,试分别求出  $R$  为 1 kΩ、4 kΩ 时,电路中电流  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_O$  和输出电压  $U_O$ 。

[解] (1)  $R=1$  kΩ

将二极管断开,可求得输出电压

$$U'_O = \frac{-9 \text{ V} \times 1 \text{ k}\Omega}{(1+1) \text{ k}\Omega} = -4.5 \text{ V}$$

可见,电路中二极管的阳极电位高于阴极电位,所以,二极管处于导通状态,则

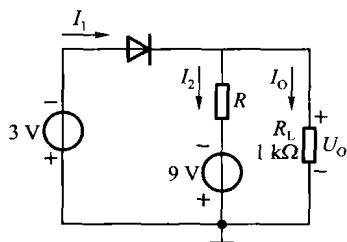


图 1.4 例 1.1 图

$$U_O = -3 \text{ V} - 0.7 \text{ V} = -3.7 \text{ V}$$

$$I_O = U_O / R_L = -3.7 \text{ V} / 1 \text{ k}\Omega = -3.7 \text{ mA}$$

$$I_2 = \frac{-3.7 \text{ V} - (-9 \text{ V})}{1 \text{ k}\Omega} = 5.3 \text{ mA}$$

$$I_1 = I_O + I_2 = -3.7 \text{ mA} + 5.3 \text{ mA} = 1.6 \text{ mA}$$

(2)  $R=4$  kΩ

将二极管断开,可求得输出电压

$$U'_O = \frac{-9 \text{ V} \times 1 \text{ k}\Omega}{4 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega} = -1.8 \text{ V}$$

可见,电路中二极管阳极电位低于阴极电位,二极管处于截止状态,所以

$$\begin{aligned}U_O &= U'_O = -1.8 \text{ V}, I_1 = 0 \\I_O &= U_O / R_L = -1.8 \text{ V} / 1 \text{ k}\Omega = -1.8 \text{ mA} \\I_2 &= \frac{-1.8 \text{ V} - (-9 \text{ V})}{4 \text{ k}\Omega} = 1.8 \text{ mA}\end{aligned}$$

例 1.2(教材习题 1.4) 二极管电路如图 1.5 所示,二极管的导通电压  $U_{D(\text{on})} = 0.7 \text{ V}$ ,试求电路中电流  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_O$  和输出电压  $U_O$ 。

[解] 由图可见,图中 3 个二极管均加正向电压而导通,所以

$$\begin{aligned}U_O &= 3U_{D(\text{on})} = 3 \times 0.7 \text{ V} = 2.1 \text{ V} \\I_O &= U_O / R_L = 2.1 \text{ V} / 1 \text{ k}\Omega = 2.1 \text{ mA} \\I_1 &= (6 - 2.1) \text{ V} / 560 \Omega = 0.007 \text{ A} = 7 \text{ mA} \\I_2 &= I_1 - I_O = 7 \text{ mA} - 2.1 \text{ mA} = 4.9 \text{ mA}\end{aligned}$$

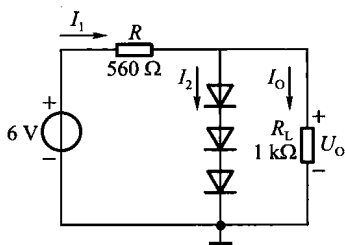


图 1.5 教材图 P1.4

例 1.3(教材习题 1.7) 图 1.6(a)所示电路中,设  $u_i = 1.5\sin\omega t \text{ V}$ ,二极管具有理想特性,试分别画出开关 S 处于 A、B、C 时输出电压  $u_O$  的波形。

[解] 当 S 处于 A 时,二极管正偏导通,  $u_O = 3 \text{ V} + u_i = (3 + 1.5\sin\omega t) \text{ V}$ ,其波形如图 1.6(b)所示。

当 S 处于 B 时,因  $U_{im} < 3 \text{ V}$ ,故二极管反向偏置而截止,所以  $u_O = 0$ ,输出电压波形为与横轴重叠的直线,如图 1.6(b)所示。

当 S 处于 C 时,  $u_i$  正半周时,二极管导通,  $u_i$  为负半周时,二极管截止,故输出电压波形为半波整流波形,如图 1.6(b)所示。

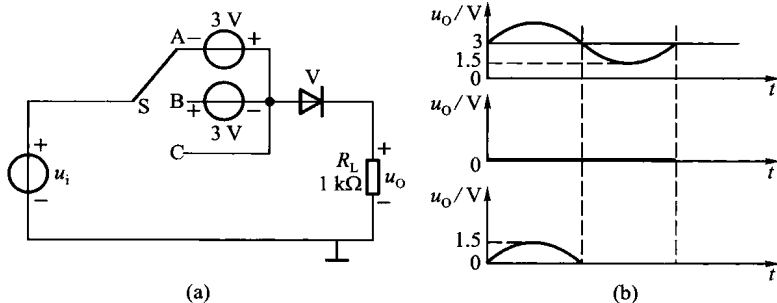


图 1.6 教材图 P1.7 及输出电压波形

例 1.4 二极管双向限幅电路如图 1.7 所示,图中二极管采用硅管,导通电压  $U_{D(\text{on})} = 0.7 \text{ V}$ ,已知输入电压  $u_i = 10\sin\omega t \text{ V}$ ,试对应画出  $u_i$ 、 $u_O$  波形。

[解] 画出输入电压  $u_i$  的波形如图 1.7(b)虚线所示。当  $u_i$  为正半周时,  $V_2$  管因反偏而截止;在  $u_i$  小于  $5.7 \text{ V}$  时,  $V_1$  管也因反偏而截止,输出电压  $u_O = u_i$ ;  $u_i \geq 5.7 \text{ V}$  后,  $V_1$  管因正偏导

通,使输出电压  $u_o$  恒等于  $5.7\text{ V}$ ,  $u_o$  波形如图 1.7(b)实线所示。当  $u_i$  为负半周时,  $V_1$  管因反偏而截止;在  $u_i$  大于  $-5.7\text{ V}$  时,  $V_2$  管也因反偏截止,  $u_o = u_i$ ;  $u_i \leq -5.7\text{ V}$  后,  $V_2$  管因正偏导通,使  $u_o$  恒等于  $-5.7\text{ V}$ ,所以  $u_o$  波形如图 1.7(b)实线所示。由此可见,输出电压  $u_o$  的幅度被限制在  $\pm 5.7\text{ V}$  之间,实现了双向限幅功能。

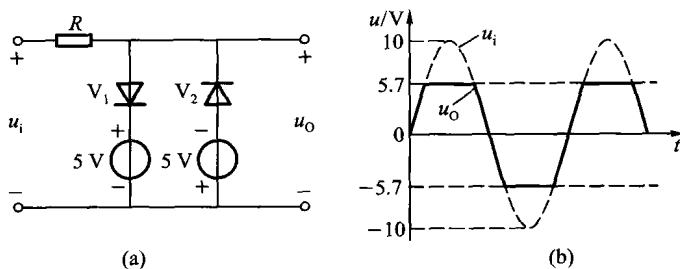


图 1.7 二极管限幅电路

(a) 电路 (b) 工作波形

例 1.5 二极管电路如图 1.8 所示,二极管的导通电压  $U_{D(\text{on})} = 0.7\text{ V}$ ,试求  $R$  分别为  $200\ \Omega$ 、 $100\ \Omega$  时二极管的直流电阻  $R_D$  和交流电阻  $r_d$ ,并分析其大小的变化。

[解] 当  $R = 200\ \Omega$  时,可求得

$$I_D = \frac{(2 - 0.7)\text{ V}}{200\ \Omega} = 6.5\text{ mA}$$

由此可求得二极管的直流电阻  $R_D$  和交流电阻  $r_d$  分别为

$$R_D = \frac{U_D}{I_D} = \frac{0.7\text{ V}}{6.5\text{ mA}} = 0.108\text{ k}\Omega = 108\ \Omega$$

$$r_d = \frac{U_T}{I_D} = \frac{26\text{ mV}}{6.5\text{ mA}} = 4\ \Omega$$

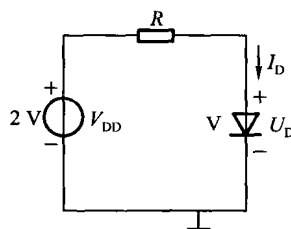


图 1.8 例 1.5 图

当  $R = 100\ \Omega$  时,可求得

$$I_D = \frac{(2 - 0.7)\text{ V}}{100\ \Omega} = 13\text{ mA}$$

则二极管的直流电阻、交流电阻分别为

$$R_D = \frac{0.7\text{ V}}{13\text{ mA}} = 0.054\text{ k}\Omega = 54\ \Omega$$

$$r_d = \frac{26\text{ mV}}{13\text{ mA}} = 2\ \Omega$$

由计算结果可见,当  $R$  减小,使流过二极管的电流增大,二极管的直流电阻和交流电阻随之减小。

例 1.6(教材习题 1.11) 稳压二极管稳压电路如图 1.9 所示,稳压二极管的参数为  $U_Z = 8.5\text{ V}$ ,  $I_Z = 5\text{ mA}$ ,  $P_{ZM} = 250\text{ mW}$ ,输入电压  $U_1 = 20\text{ V}$ 。(1) 求  $U_o$ 、 $I_{DZ}$ ;(2) 若  $U_1$  增加 10%,  $R_L$  开路,分析稳压二极管是否安全;(3) 若  $U_1$  减小 10%,  $R_L = 1\text{ k}\Omega$ ,分析稳压二极管是否工作在稳



压状态。

[解] (1) 求  $U_O$ 、 $I_{DZ}$

由图 1.9 可得

$$I_{DZ} = \frac{U_1 - U_Z}{R} - \frac{U_Z}{R_L} = \frac{(20 - 8.5) \text{ V}}{680 \Omega} - \frac{8.5 \text{ V}}{1000 \Omega} = 8.4 \text{ mA} > 5 \text{ mA}$$

所以

$$U_O = U_Z = 8.5 \text{ V}, I_{DZ} = 8.4 \text{ mA}$$

(2)  $U_1$  增加 10%,  $R_L$  开路

$$I_{DZ} = \frac{20(1 + 0.1) - 8.5}{680} \text{ mA} = 19.9 \text{ mA}$$

稳压二极管承受的功耗

$$P_Z = U_Z I_{DZ} = 8.5 \text{ V} \times 19.9 \text{ mA} = 169 \text{ mW}$$

由于  $P_Z < P_{ZM} = 250 \text{ mW}$ , 故稳压二极管能安全工作。

(3)  $U_1$  减小 10%,  $R_L = 1 \text{ k}\Omega$

设稳压二极管工作在反向击穿区, 则可得

$$I_{DZ} = \left( \frac{20(1 - 0.1) - 8.5}{680} - \frac{8.5}{1000} \right) \text{ mA} \approx 5.5 \text{ mA}$$

由于  $I_{DZ} > 5 \text{ mA}$ , 故假设成立, 稳压二极管工作在稳压状态。

例 1.7(教材习题 1.14) 电路如图 1.10 所示, 已知发光二极管的导通电压为 1.6 V, 正向电流  $\geq 5 \text{ mA}$  即可发光, 最大正向电流为 20 mA。为使发光二极管发光, 试求电路中  $R$  的取值范围。

[解] 因为  $I_{D\min} = 5 \text{ mA}$ ,  $I_{D\max} = 20 \text{ mA}$

所以

$$R_{\max} = \frac{V_{DD} - U_D}{I_{D\min}} = \frac{(5 - 1.6) \text{ V}}{5 \text{ mA}} = 0.68 \text{ k}\Omega$$

$$R_{\min} = \frac{V_{DD} - U_D}{I_{D\max}} = \frac{(5 - 1.6) \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 0.17 \text{ k}\Omega$$

即  $R$  的取值范围为 170~680  $\Omega$ 。

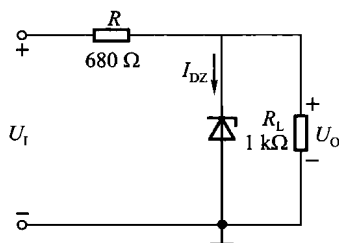


图 1.9 教材图 P1.11

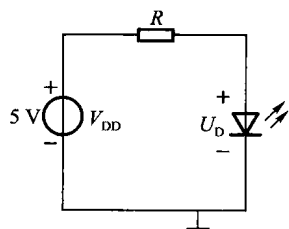


图 1.10 教材图 P1.14

## 四、自测题分析

(一) 填空题

1. 半导体中有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两种载流子参与导电。
2. 本征半导体中, 若掺入微量的五价元素, 则形成\_\_\_\_\_型半导体, 其多数载流子是\_\_\_\_\_; 若掺入微量的三价元素, 则形成\_\_\_\_\_型半导体, 其多数载流子是\_\_\_\_\_。