

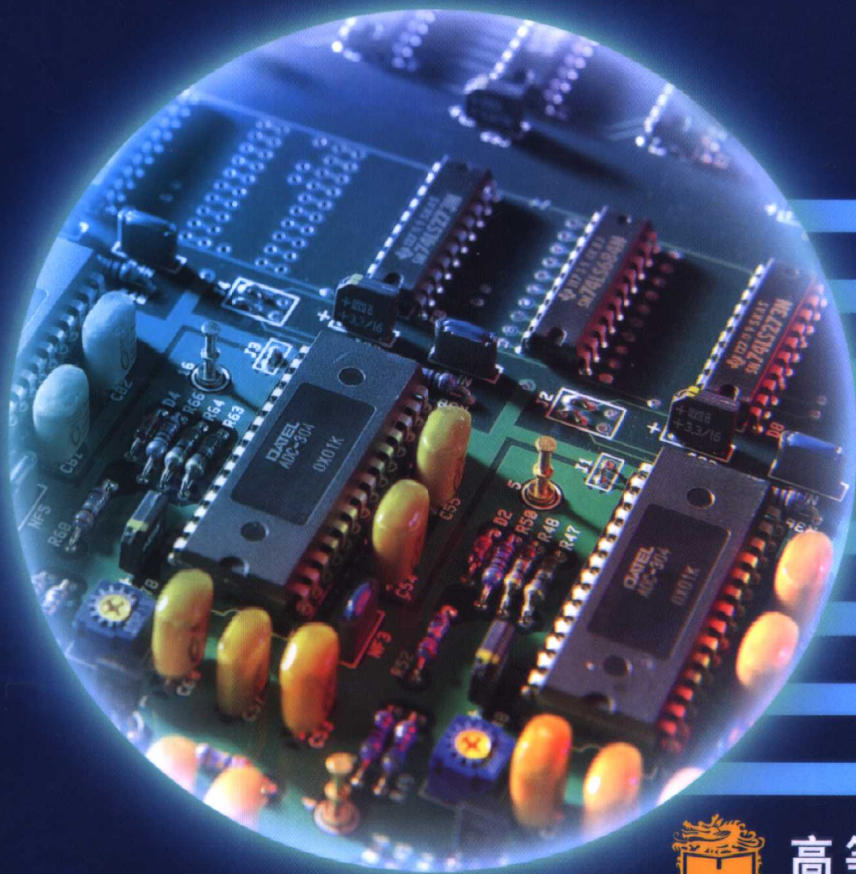


普通高等教育“十五”国家级规划教材

(高职高专教育)

模拟电子技术 学习指导

胡宴如 耿苏燕 编



高等教育出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材
(高职高专教育)

模拟电子技术学习指导

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《模拟电子技术》(第2版)编写的学习指导书。全书按基本要求及学习指导、内容提要及复习讨论题分析、习题选解三个方面逐章加以论述。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,帮助读者把握教材的基本要求、各章的重点和难点以及学习方法,通过复习讨论题的分析和习题的选解,使读者加深基本概念的理解,提高分析和解决问题的能力。为了开阔思路,提高学生灵活应用的能力,适当补充了一些原教材中未详细叙述到的习题,并作了解答,供读者参考。习题选解、补充习题及参考试卷题的选择主要根据高职高专培养目标要求,紧扣教材内容,其中有简单的、复杂的,也有较难的,读者可根据不同专业的教学要求来选择。

本书可作为高职高专电气、电子、通信、自动化、计算机等专业学生和自学读者学习辅导用,也可作为教师教学参考;可与《模拟电子技术》(第2版)一书配套使用,也可单独使用。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术学习指导/胡宴如,耿苏燕编. —北京:

高等教育出版社, 2004. 2

ISBN 7-04-013175-7

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(2003)第 095388 号

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 100011
总 机 010-82028899

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 北京奥隆印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 9
字 数 210 000

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

版 次 2004 年 2 月第 1 版
印 次 2004 年 2 月第 1 次印刷
定 价 11.00 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

出版说明

为加强高职高专教育的教材建设工作,2000年教育部高等教育司颁发了《关于加强高职高专教育教材建设的若干意见》(教高司[2000]19号),提出了“力争经过5年的努力,编写、出版500本左右高职高专教育规划教材”的目标,并将高职高专教育规划教材的建设工作分为两步实施;先用2至3年时间,在继承原有教材建设成果的基础上,充分汲取近年来高职高专院校在探索培养高等技术应用性专门人才和教材建设方面取得的成功经验,解决好高职高专教育教材的有无问题;然后,再用2至3年的时间,在实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,推出一批特色鲜明的高质量的高职高专教育教材。根据这一精神,有关院校和出版社从2000年秋季开始,积极组织编写和出版了一批“教育部高职高专规划教材”。这些高职高专规划教材是依据1999年教育部组织制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》(草案)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(草案)编写的,随着这些教材的陆续出版,基本上解决了高职高专教材的有无问题,完成了教育部高职高专规划教材建设工作的第一步。

2002年教育部确定了普通高等教育“十五”国家级教材规划选题,将高职高专教育规划教材纳入其中。“十五”国家级规划教材的建设将以“实施精品战略,抓好重点规划”为指导方针,重点抓好公共基础课、专业基础课和专业主干课教材的建设,特别要注意选择一部分原来基础较好的优秀教材进行修订使其逐步形成精品教材;同时还要扩大教材品种,实现教材系列配套,并处理好教材的统一性与多样化、基本教材与辅助教材、文字教材与软件教材的关系,在此基础上形成特色鲜明、一纲多本、优化配套的高职高专教育教材体系。

普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专教育)适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

教育部高等教育司

2002年11月30日

前 言

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地位。模拟电子技术是高职高专工科专业的主干课程,根据高职高专《模拟电子技术基础教学基本要求》,由胡宴如主编的《模拟电子技术》一书自2000年出版以来,已获各方面认可,使用量不断上升,为了更好地满足高职高专教育发展的需要,现已对原版进行修订,形成第2版,同时配套编写出版该书的学习指导。其目的在于帮助读者把握教材的基本要求、各章的重点和难点以及学习方法,通过复习讨论题的分析和习题的选解,使读者加深基本概念的理解,提高分析和解决问题的能力。

本书是教学辅导教材,全书按基本要求及学习指导、内容提要及复习讨论题分析、习题选解三个方面逐章加以论述,在习题选解中,为开阔思路,满足“专转本”的要求,适当补充了一些教材中未叙述到的内容。其次,书后附录中还提供了适量的参考试卷以及答案,供读者复习自测练习。应当指出,书中的习题选解、参考试卷题和补充习题的选择,主要根据高职高专培养目标要求,紧扣原教材内容,其中有简单的、复杂的,也有较难的,读者可根据不同专业的教学要求来选择,不过在深度和广度方面应适当把握,要注重基本概念的掌握及解题能力的提高,注意知识的融会贯通,举一反三,灵活应用。

《模拟电子技术》(第2版)教材第1~4章是本课程的基本内容,应有充分的时间进行学习和实验,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;第5~7章内容可根据各专业的不同进行选择。每章的电路调整测试方法、故障处理等内容,在教师的指导下,在实验过程中由学生自学查阅。1~4章主要进行基本技能训练,5~8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电气、电子、通信、自动化及计算机等专业学生和广大自学读者学习辅导用,也可作为教师教学参考;可与《模拟电子技术》(第2版)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。胡旭峰为书稿插图的绘制及习题解答校对做了大量工作。

本书承蒙中国人民解放军理工大学气象学院王勉照副教授仔细审阅,提出了许多宝贵的意见及修改建议,在此表示衷心的感谢。

书中错漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2003年7月

策划编辑	孙 杰
责任编辑	章浩平
封面设计	王凌波
责任绘图	吴文信
版式设计	王艳红
责任校对	王效珍
责任印制	陈伟光

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) 58581897/58581698/58581879/58581877

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn 或 chenrong@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社法律事务部

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)64014089 64054601 64054588

专业基础系列

■ 电路基本分析 (第2版)	石 生
■ 电路基本分析学习指导(配盘)	刘青松
■ 电路及磁路 (第二版)	蔡元宇
■ 电路	徐熙文
■ 电路基础	胡翔骏
■ 电路与电工技术	陆国和
■ 电工实验与实训	陆国和
■ 电工电子技术 (少学时)	林平勇
■ 电工电子技术 (多学时)	陈小虎
■ 电工电子技术简明教程	谢克明
■ 电工学	易沅屏
■ 电工技术 (第二版)	席时达
■ 电子技术 (第二版)	吕国泰
■ 建筑电工技术	严伟中
■ 电工电子实训	董儒胥
■ 电子技术实践与训练	廖先芸
■ 电子电路及电子器件	郭培源
■ 电子技术	付植桐
■ 模拟电子技术基础	陈梓城
■ 数字电子技术基础	张友汉
■ 模拟电子技术 (第2版)	胡宴如
■ 模拟电子技术学习指导	胡宴如
■ 数字电子技术 (第2版)	杨志忠
■ 数字电子技术学习指导	杨志忠
■ 模拟电子技术基础 (第二版)	周良权
■ 数字电子技术基础 (第二版)	周良权
■ 电机及拖动	许晓峰
■ 电机及应用	赵承荻
■ 电机应用技术基础	牛维扬

目 录

第 1 章 半导体二极管 1	一、基本要求及学习指导 75
一、基本要求及学习指导 1	二、内容提要及复习讨论题分析 76
二、内容提要及复习讨论题分析 1	三、习题选解 84
三、习题选解 8	第 6 章 集成模拟乘法器及其应用 91
第 2 章 半导体三极管 12	一、基本要求及学习指导 91
一、基本要求及学习指导 12	二、内容提要及复习讨论题分析 91
二、内容提要及复习讨论题分析 13	三、习题选解 95
三、习题选解 21	第 7 章 信号产生电路 97
第 3 章 放大电路基础 28	一、基本要求及学习指导 97
一、基本要求及学习指导 28	二、内容提要及复习讨论题分析 98
二、内容提要及复习讨论题分析 29	三、习题选解 104
三、习题选解 42	第 8 章 直流稳压电源 110
第 4 章 负反馈放大电路与基本运算	一、基本要求及学习指导 110
电路 58	二、内容提要及复习讨论题分析 111
一、基本要求及学习指导 58	三、习题选解 117
二、内容提要及复习讨论题分析 59	附录 A 参考试卷 120
三、习题选解 67	附录 B 参考试卷答案 132
第 5 章 线性集成电路的应用 75	

第1章

半导体二极管

一、基本要求及学习指导

(一)基本要求

1. 了解半导体的基本知识,掌握 PN 结的单向导电性;
2. 掌握普通二极管伏安特性,熟悉其工作特点及主要参数;
3. 掌握二极管理想模型、恒压降模型及其应用、理解二极管电路图解法和微变等效电路分析法;
4. 掌握稳压二极管、发光与光电二极管的作用,了解其工作特点;
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二极管电路的基本分析方法,难点是二极管电路的微变等效电路。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电路的方法。二极管电路图解法和微变等效电路分析法的学习,其目的是了解电子电路的基本分析方法,明确静态分析和动态分析的意义,为今后学习打下基础。

2. 半导体基础知识学习,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 的正偏、反偏的含义及其单向导电性。

3. 稳压二极管、发光与光电二极管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;发光与光电二极管是用以实现光电信号转换的半导体器件。所以这一部分内容学习主要理解它们的工作特点,掌握其应用。

4. 二极管特性的测试与应用,主要通过自学与实验,学会电子电路测试的基本方法及常用电子仪器的使用方法,掌握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?雪崩击穿和齐纳击穿各有何特点?

[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,而且有恒压特性,若此时反向电流不加限制,就会因管耗过大而损坏。

反向电压足够大时,PN结的内电场加强,使少子漂移速度加快,动能增大,通过空间电荷区与原子相撞,产生很多新的电子-空穴对,这些新产生的电子又会去撞击更多的原子,如雪崩一样,使反向电流急剧增加,称为雪崩击穿。雪崩击穿电压较高,大于6V,且具有正温度系数。

由高浓度掺杂材料制成的PN结很窄,即使反向电压不高也容易在很窄的耗尽区形成很强的电场,将价电子直接从共价键中拉出来产生电子-空穴对,使反向电流急剧增加,称为齐纳击穿。齐纳击穿电压较低,小于6V,具有负温度系数。

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 $U_{D(\text{on})} \approx 0.7\text{ V}$,锗二极管的 $U_{D(\text{on})} \approx 0.2\text{ V}$ 。

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 V 、锗管为 0.2 V 。

[1.2.2] 温度对二极管的特性有哪些影响?

[解] (1)温度升高,正向特性向右移,即正向电流相同,温度升高后其压降减小,温度每升高 1°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°C ,反向电流约增大一倍。

[1.2.3] 使用二极管应注意哪些问题?

[解] (1)正向电流应加以限制,以免正向电流过大而损坏;(2)反向电压应小于最大反向工作电压 U_{RM} ,以免产生击穿现象;(3)注意二极管的最高工作频率。二极管的实际工作频率应远小于其最高工作频率 f_M ;(4)在满足上述条件下,尽量选用正向压降、反向电流小的二极管。当工作环境温度较高时,因二极管参数有很大的变化,所选管子应留有足够的裕量。

1.3 二极管电路的分析

1. 理想二极管及二极管特性的折线近似

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,即可应用箝位概念,求解二极管电路。

2. 二极管电路的图解分析法和微变等效电路分析法

由于二极管是非线性器件,所以,用图解法求解非线性电路是电路分析中常用方法之一,但作图较麻烦。

在二极管电路中既含有直流电源又含有交流信号电压,这样加在二极管两端电压,既有直流成分又有交流成分,因此流过二极管的电流有直流和交流。当交流信号幅度很小时,分析交、直流量共存的电子电路,常用的方法是对直流状态和交流状态分别进行讨论,称为静态分析和动态分析,然后进行综合。动态分析可采用二极管微变等效电路求解。

3. 复习讨论题分析

[1.3.1] 说明二极管直流电阻 R_D 、导通电阻 r_D 和交流电阻 r_d 的区别及应用条件。

[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_Q ,流过的直流电流为 I_Q ,如图 1.1(a)所示,则二极管的直流电阻等于

$$R_D = \frac{U_Q}{I_Q}$$

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。

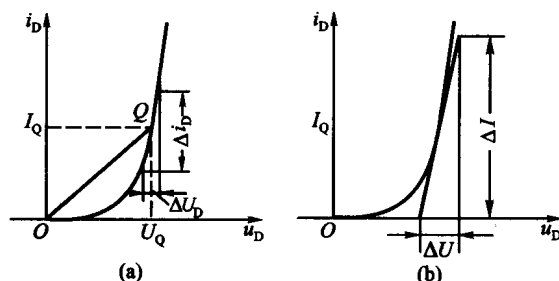


图 1.1 二极管的直流电阻、交流电阻和导通电阻

导通电阻 r_D 表示二极管正向导通后所呈现的等效电阻。将二极管的伏安特性曲线折线化,如图 1.1(b)所示,则得二极管的导通电阻 r_D 为

$$r_D = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

r_D 用来分析大信号工作状态下的二极管电路。

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(a)可得

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

r_d 用来分析小信号工作状态下交流、直流量共存的二极管电路。

[1.3.2] 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。

[1.3.3] 二极管电路及二极管伏安特性如图 1.2 所示,试求该电路中二极管的直流电阻 R_D 等于多少? 交流电阻 r_d 等于多少? 若图(a)中外接电阻 R 分别为 $150\ \Omega$ 、 $75\ \Omega$,试用作图法求出 I_Q 、 U_Q ,并求各 Q 点的直流和交流电阻值,分析其大小的变化。

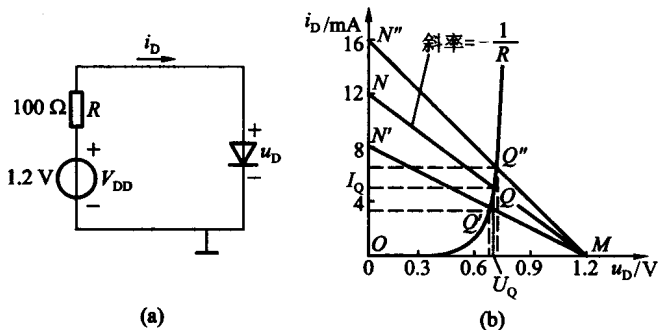


图 1.2 教材图 1.3.10

[解] 当 $R = 100\ \Omega$, 由图 1.2(b) 中作出直线 MN 可得: $U_Q = 0.7\text{ V}$ 、 $I_Q = 5\text{ mA}$, 所以

$$R_D = \frac{U_Q}{I_Q} = \frac{0.7\text{ V}}{5\text{ mA}} = 140\ \Omega, r_d \approx \frac{U_T}{I_Q} = \frac{26\text{ mV}}{5\text{ mA}} = 5.2\ \Omega$$

当 $R = 150\ \Omega$, 在图 1.2(b) 中作出直线 MN' , 该直线与二极管特性曲线相交于 Q' 点, 由 Q' 点得: $U'_Q = 0.68\text{ V}$ 、 $I'_Q = 3.4\text{ mA}$, 所以

$$R'_D = \frac{U'_Q}{I'_Q} = \frac{0.68\text{ V}}{3.4\text{ mA}} = 200\ \Omega, r'_d \approx \frac{U_T}{I'_Q} = \frac{26\text{ mV}}{3.4\text{ mA}} = 7.6\ \Omega$$

当 $R = 75\ \Omega$, 在图 1.2(b) 中作出直线 MN'' , 得交点 Q'' , 则得: $U''_Q = 0.72\text{ V}$ 、 $I''_Q = 6.4\text{ mA}$, 所以

$$R''_D = \frac{U''_Q}{I''_Q} = \frac{0.72\text{ V}}{6.4\text{ mA}} = 113\ \Omega, r''_d \approx \frac{U_T}{I''_Q} = \frac{26\text{ mV}}{6.4\text{ mA}} = 4.1\ \Omega$$

由此可见, 当 R 减小, 流过二极管的电流增大时, 二极管的直流电阻和交流电阻跟随减小, 反之, 流过二极管电流减小时, 其直流和交流电阻将跟随增大。

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. 复习讨论题分析

[1.4.1] 稳压二极管有何特点? 为使稳压二极管工作正常, 其工作电压、电流应如何选择?

[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] 稳压二极管电路如图 1.3 所示, 已知: $R = 300 \Omega$, $R_L = 750 \Omega$, 稳压二极管的参数 $U_Z = 9 \text{ V}$, $I_Z = 5 \text{ mA}$, $I_{ZM} = 26 \text{ mA}$ 。试求输入电压 U_1 分别为 15 V 和 12 V 时, 输出电压 U_O 的大小。

[解] (1) $U_1 = 15 \text{ V}$ 时, 将稳压二极管断开, 求得 A、B 两端电压为

$$U_{AB} = \frac{U_1 R_L}{R + R_L} = \frac{15 \times 750}{300 + 750} \text{ V} = 10.7 \text{ V}$$

因 $U_{AB} > U_Z$, 稳压二极管接入电路后即可工作在反向击穿区, 所以令输出电压 $U_O = U_Z$, 求得流过稳压二极管的电流为

$$I_Z = \frac{U_1 - U_Z}{R} - \frac{U_Z}{R_L} = \left(\frac{15 - 9}{300} - \frac{9}{750} \right) \text{ mA} = 8 \text{ mA}$$

可见, $5 \text{ mA} < I_Z < 26 \text{ mA}$, 说明稳压二极管安全地工作在反向击穿区, 则 $U_O = 9 \text{ V}$ 。

(2) $U_1 = 12 \text{ V}$ 时, 将稳压二极管断开, 求得

$$U_{AB} = \frac{12 \times 750}{300 + 750} \text{ V} = 8.6 \text{ V} < U_Z$$

故稳压二极管不能被击穿而处于截止状态, 所以, $U_O = 8.6 \text{ V}$ 。

[1.4.3] 发光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。

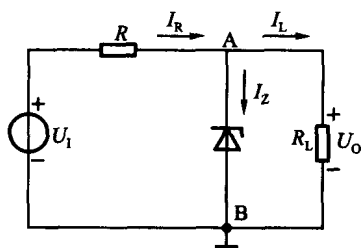


图 1.3 教材图 1.4.2

1.5 二极管特性的测试与应用

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。

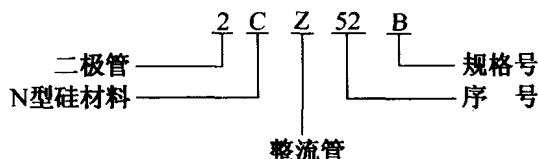
2. 二极管特性及基本应用电路的测试

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

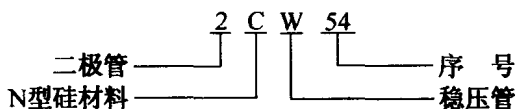
[1.5.1] 说明 2CZ52B、2CW54 符号的含义并列出其主要参数值。

[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 $U_Z = 5.5 \sim 6.5 \text{ V}$;稳定电流 $I_Z = 10 \text{ mA}$;最大稳定电流 $I_{ZM} = 38 \text{ mA}$ 。

[1.5.2] 二极管电路如图 1.4(a)所示,已知 u_i 为振幅等于 8 V 的正弦信号,如图 1.4(b)所示,试画出输出电压 u_o 波形。

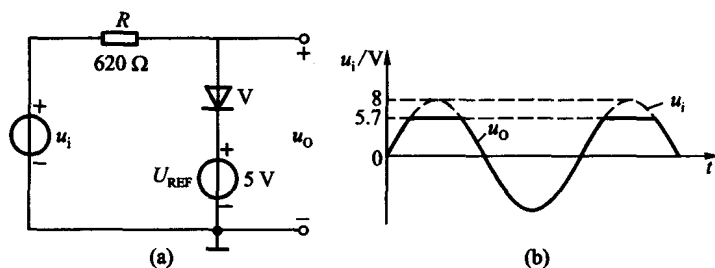


图 1.4 教材图 1.5.3(c)电路及输出波形

[解] 设二极管的导通电压 $U_{D(on)} = 0.7 \text{ V}$, 则 $u_i \leq U_{REF} + U_{D(on)} = 5.7 \text{ V}$ 时, 二极管 V 截止, 此时输出电压 $u_o = u_i$; 当 $u_i > 5.7 \text{ V}$ 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 1.4(b) 所示。

[1.5.3] 说明稳压二极管使用中应注意哪些问题?

[解] 稳压二极管主要用于稳压, 在使用中应注意以下几点:

(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联合适的限流电阻;

(3) 稳压二极管不能并联使用, 但可串联使用。

三、习题选解

[1.2] 二极管电路如图 1.5 所示, 二极管的导通电压 $U_{D(on)} = 0.7 \text{ V}$, 试分别求出 R 为 $1 \text{ k}\Omega$ 、 $4 \text{ k}\Omega$ 时, 电路中电流 I_1 、 I_2 、 I_o 和输出电压 U_o 。

[解] (1) $R = 1 \text{ k}\Omega$

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

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

$$I_o = U_o / R_L = -3.7 \text{ V} / 1 \text{ k}\Omega = -3.7 \text{ mA}$$

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

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

(2) $R = 4 \text{ k}\Omega$

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

$$U_o = U'_o = -1.8 \text{ V}, I_1 = 0$$

$$I_o = U_o / R_L = -1.8 \text{ V} / 1 \text{ k}\Omega = -1.8 \text{ mA}$$

$$I_2 = \frac{-1.8 \text{ V} - (-9 \text{ V})}{4 \text{ k}\Omega} = 1.8 \text{ mA}$$

[1.4] 二极管电路如图 1.6 所示, 二极管的导通电压 $U_{D(on)} = 0.7 \text{ V}$, 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, 图中三个二极管均加正向电压而导通, 所以

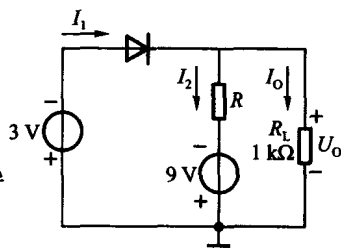


图 1.5 教材图 P1.2