

高职电子类
精品教材

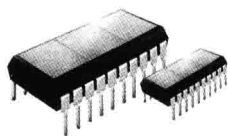
模拟电子技术

—— 理论与实践一体化教程

主编 袁媛 张艳艳

MONI DIANZI JISHU
—LILUN YU SHIJIAN YITIHUA JIAOCHENG

中国科学技术大学出版社



高职电子类
精品教材

模拟电子技术

—— 理论与实践一体化教程

MONI DIANZI JISHU

—LILUN YU SHIJIAN YITIHUA JIAOCHENG

主 编 袁 媛 张艳艳
副主编 徐红霞 严 萍
参 编 李 勤 汪海燕 李 征

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书为安徽省省级质量工程“实践推进式高职电子技术教学模式的研究”和“基于工作过程的模拟电子技术课程教学模式研究”的成果之一,以培养高职学生广泛的电子技术理论基础和扎实的电子技术实践技能为主要目标。本书在编写中依据实践推进式模式,将电路实例的仿真或实验引入教学,并适当引入 EDA 仿真教学,使理论与实践结合得更加紧密,同时培养学生设计自动化软件的能力。本书内容主要包括:二极管及其应用电路、三极管和场效应管构成的电压放大电路和功率放大电路、放大电路的反馈和集成应用、信号发生电路、直流稳压电路和晶闸管应用电路等。

本书既可供高等职业学校电子技术类专业作为教材使用,也可供电子技术从业人员作为参考学习资料。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术:理论与实践一体化教程/袁媛,张艳艳主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2012. 1

ISBN 978-7-312-02976-9

I. 模… II. ①袁… ②张… III. 模拟电路—电子技术—高等职业教育—教材
IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 267149 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
网址:<http://press.ustc.edu.cn>
印刷 安徽省瑞隆印务有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 787 mm×1092 mm 1/16
印张 15.25
字数 350 千
版次 2012 年 1 月第 1 版
印次 2012 年 1 月第 1 次印刷
定价 26.00 元

前 言

为了适应高等职业教育的改革需要,本书的编写融入了 2010 年安徽省省级质量工程项目“实践推进式高职电子技术教学模式的研究”和“基于工作过程的模拟电子技术课程教学模式研究”的主旨,内容安排上集理论、仿真、实验、实训于一体,希望以仿真、实验和实训等形式给电子技术的教学带来理论具体化、概念形象化、功能多样化的“电子技术”课程新面貌。

本书以培养高职学生具有广泛的电子技术理论基础和扎实的电子技术实践技能为主要目标。在内容的安排上,本书依据实践推进式模式,将电路实例的仿真或实验引入教学,让学生在实践中学学习电子技术理论,使理论与实践结合得更加紧密,也使得理论教学更具体化、形象化。在实验器材有限的条件下,适当引入 EDA 仿真教学,使教学的实施更加容易,同时还让学生学会使用电子设计自动化软件,可谓一举多得。

本书的内容包括:二极管及其应用电路、三极管和场效应管构成的电压放大电路和功率放大电路、放大电路的反馈和集成应用、信号发生电路、直流稳压电路和晶闸管应用电路(本章内容弱电领域的专业可选学)等。本书内容涉及较广,不仅适用于教学,还可作为资料使用,教学时可自行选用合适的章节。

本书由安徽电子信息职业技术学院袁媛和张艳艳担任主编,袁媛编写本书概论和第 1 章,张艳艳编写第 2 章和附录 A、B;阜阳职业技术学院徐红霞担任副主编,并编写第 3、4 两章;安徽电子信息职业技术学院严萍担任副主编,并编写附录 C、D;安徽电子信息职业技术学院李征编写第 5 章,汪海燕编写第 7、8 两章,安徽广播影视职业技术学院李勤编写第 6、9 两章;安徽电子信息职业技术学院江力担任主审。在编写过程中,还得到了许多其他老师的支持和帮助,在此一并表示衷心地感谢。

由于编者水平有限,疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2011 年 11 月

目 录

前言	(i)
绪论	(1)
第1章 晶体二极管及其整流电路	(7)
1.1 半导体二极管	(7)
1.2 半导体二极管的整流电路	(13)
1.3 二极管应用电路	(20)
1.4 特殊二极管及其应用电路	(22)
实训 LED 发光电路的设计与安装调试	(27)
本章小结	(29)
习题	(29)
第2章 晶体三极管及其放大电路	(32)
2.1 晶体三极管	(32)
2.2 基本放大电路	(40)
2.3 放大电路的估算分析法	(48)
2.4 共集放大电路	(56)
2.5 共基放大电路	(58)
2.6 多级放大电路	(59)
实训 放大电路的设计与安装调试	(62)
本章小结	(65)
习题	(66)
第3章 场效应管及其放大电路	(70)
3.1 场效应管的结构和特性	(70)
3.2 场效应管放大电路	(84)
3.3 场效应管电路的特点和使用注意事项	(89)
实训 场效应管放大电路的安装与调试	(91)
本章小结	(94)
习题	(94)
第4章 负反馈放大电路	(98)
4.1 反馈的概述	(98)
4.2 负反馈放大电路的基本类型及分析	(103)

4.3	负反馈对放大电路性能的影响	(107)
4.4	深度负反馈放大电路的分析	(112)
	实训 负反馈放大电路的设计与调试	(115)
	本章小结	(118)
	习题	(119)
第5章	集成运算放大器	(123)
5.1	差动放大电路	(123)
5.2	集成运算放大器的构成和理想特性	(129)
5.3	理想集成运放的线性应用	(131)
5.4	理想集成运放的非线性应用	(140)
5.5	滤波器	(142)
	实训 集成运放电路的设计	(146)
	本章小结	(149)
	习题	(150)
第6章	波形发生电路	(154)
6.1	正弦波振荡器及其工作条件	(154)
6.2	LC 正弦波振荡电路	(156)
6.3	RC 正弦波振荡电路	(158)
6.4	石英晶体振荡器	(161)
6.5	非正弦波振荡器	(162)
	实训 文氏桥振荡电路的测试	(167)
	本章小结	(169)
	习题	(170)
第7章	功率放大电路	(172)
7.1	概述	(172)
7.2	乙类互补对称功率放大电路	(174)
7.3	甲乙类互补对称功率放大电路	(179)
	实训 OTL 功率放大电路	(184)
	本章小结	(187)
	习题	(187)
第8章	直流稳压电源	(190)
8.1	直流稳压电源的基础知识	(190)
8.2	串联型晶体管稳压电路	(191)
8.3	集成稳压电路	(193)
8.4	开关型稳压电路	(196)
	实训 集成直流稳压电源的调整与测试	(198)
	本章小结	(200)

习题	(200)
* 第9章 晶闸管及其可控整流电路	(202)
9.1 单向晶闸管的结构和特性	(202)
9.2 单向晶闸管的可控整流电路	(206)
9.3 晶闸管的保护	(211)
9.4 晶闸管的应用实例	(213)
实训 晶闸管的测量以及可控整流电路的调试和测量	(215)
本章小结	(216)
习题	(217)
附录 A 电阻器、电容器的使用知识	(218)
附录 B 半导体器件型号命名方法	(227)
附录 C 贴片二极管和三极管介绍	(229)
附录 D 常用半导体器件参数	(232)
参考文献	(234)

绪 论

高职院校模拟电子技术课程的目标是使学生掌握基本电子元器件的结构、特性和检测方法;了解电路的原理,掌握基本单元电路的结构、原理及调试方法;掌握常用模拟集成电路的构成、原理、性能特点和调试应用。

1. 电子技术的发展

在 20 世纪初,电子管的问世,推动了无线电电子学的蓬勃发展。但是,电子管十分笨重,能耗高、寿命短、噪声大,制造工艺也十分复杂。于是就有了晶体管的诞生,晶体管常用的材料就是锗和硅。1947 年,美国物理学家肖克利、巴丁和布拉顿三人捷足先登,合作发明了晶体二极管。但直到 1950 年,人们才成功地制造出第一个 PN 结型晶体管。晶体管的发明是电子技术史中具有划时代意义的伟大事件,它开创了一个崭新的时代——固体电子技术时代。

随着电子技术的广泛应用和电子产品发展的日趋复杂,为确保电子设备的可靠性,缩小其重量和体积,一种新兴技术诞生了,那就是今天大放异彩的集成电路。集成电路是在一块几平方毫米的半导体晶片上,将成千上万的晶体管、电阻、电容以及导线做在一起,真正是“立锥之地布千军”。集成电路技术的发展历史主要经历了六个阶段:

1962 年制造出包含 12 个晶体管的小规模集成电路 SSI(Small-Scale Integration)。

1966 年发展到集成度为 100 个至 1000 个晶体管的中规模集成电路 MSI(Medium-Scale Integration)。

1967—1973 年,研制出 1000 个至 10 万个晶体管的大规模集成电路 LSI(Large-Scale Integration)。

1977 年研制出在 30 平方毫米的硅晶片上集成 15 万个晶体管的超大规模集成电路 VLSI(Very Large-Scale Integration),这是电子技术的第四次重大突破,人们从此真正迈入了微电子时代。

1993 年随着集成了 1000 万个晶体管的 16M FLASH 和 256M DRAM 的研制成功,进入了特大规模集成电路 ULSI(Ultra Large-Scale Integration)时代。

1994 年由于集成 1 亿个元件的 1G DRAM 的研制成功,进入巨大规模集成电路 GSI(Giga Scale Integration)时代。

电子行业具有广阔的科技和应用前景,与此同时微电子技术通过微型化、自动化、计算机化和机器人化,将从根本上改变人类的生活。

2. 模拟电子技术的内容

(1) 元器件:主要介绍晶体二极管、三极管和场效应管,此外还介绍了晶闸管和单结晶体管。

(2) 单元电路:主要介绍二极管应用电路和三极管应用电路,具体是二极管限幅电

路、二极管钳位电路、二极管整流电路、放大电路(共射、共集、共基、差动、功率和集成运放)、信号产生电路、晶闸管可控整流和调压电路等。

(3) 电路的分析方法:在电路分析的基本原理中结合元器件的特性进行电路分析,有二极管电路的分段分析法、放大电路的图解分析法、近似估算分析法和微变等效电路分析法等。

3. 模拟电子技术的学习方法

学习模拟电子技术应该首先学习元器件,在掌握了电子元器件的结构特性的基础上,理解单元电路的工作原理,结合适当的方法分析电路的工作情况,并掌握元器件和实际电路的检测方法。在模拟电子技术的学习过程中需要注意以下几点:

(1) 注意元件的非线性和电路的估算法

模拟电子电路中许多重要的元件都是非线性的,分析电路时不能用以前线性电路的固定思维模式去思考。例如二极管、三极管等电子器件均为非线性器件,往往具有复杂的物理特性。实际的晶体管除了具有非线性电阻特性外还具有因势垒电容和扩散电容引起的非线性电容特性,因此电路的变化因素很多,这时我们往往采用近似估算加实际测试的方法来分析电路。

(2) 注意电路的交直流并存、动静分开

在电子线路中,往往是交直流并存的,电路的交流工作常常是以直流工作为基础的。对这种电路的分析,需要采用交、直流或动、静态分开的分析方法,即把一个电路分成两个状态的叠加,直流状态和交流状态,要注意在不同状态中,电路中的元件间的连接关系是不同的,如在分压式偏置电路中,基极偏置电阻 R_{B1} 和 R_{B2} 在静态电路中是串联关系,而在交流通道中他们是并联关系,但交、直流分析也不是完全割裂的。所以在学习中应注意交、直流分析法的意义,在单元电路乃至复杂电路的分析中形成良好的习惯。

(3) 注意化整为零和化零为整

实际电子线路往往是由多个不同功能的单元电路构成,分析时常常需要化整为零,即将电路拆成单元电路,逐步分析电路的功能。而在有些电路分析时,由于往往需要分析电路的输入和输出功能,所以可以将整个电路化零为整,看成一个整体去分析则更为简单,如多级放大电路。

4. 模拟电子线路和 EWB 仿真

电子线路设计自动化(EDA)技术,在电子技术教学中的应用越来越广泛。EDA 的软件有很多种,其中 EWB(Electronics Workbench)小巧简单,在教学领域里的功能齐全,可以对各种电子线路进行仿真,通过仿真加深对电路的理解,并可以对一些电路的功能进行验证,也可对电路进行辅助设计等。在本书中利用 EWB 对各章节的有关电路进行仿真实验及性能分析,现将 EWB 软件的使用方法简介如下。

打开 EWB 软件后,见到如图 0.1 所示的界面。进入界面后可以按需要搭接电路,并按下仿真开关进行电路的仿真。

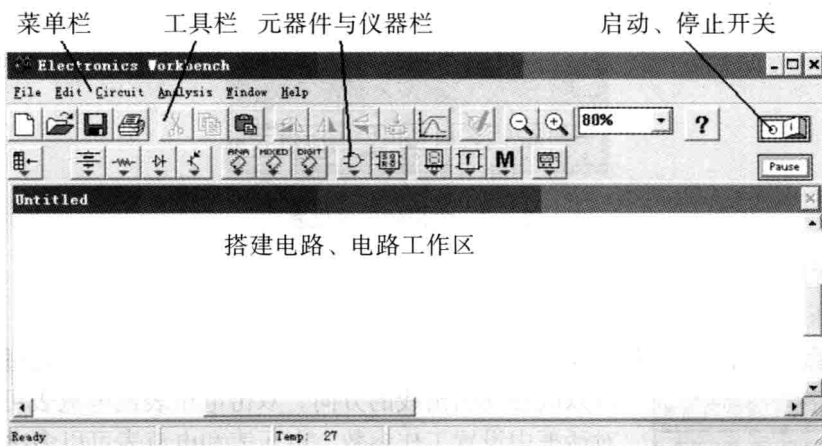


图 0.1 EWB 工作界面

(1) 元件库中的常用元件

EWB 带有丰富的元器件模型库,在电路分析软件实验中要用到的常用元件如下:

- 信号源(如图 0.2 所示)

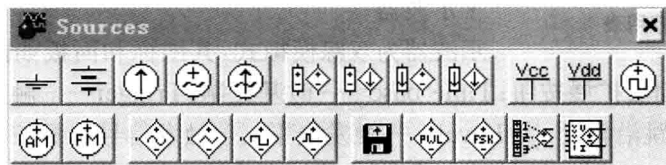


图 0.2 信号源

- 基本元件(如图 0.3 所示)



图 0.3 基本元件

- 二极管、三极管和场效应管(如图 0.4 所示)

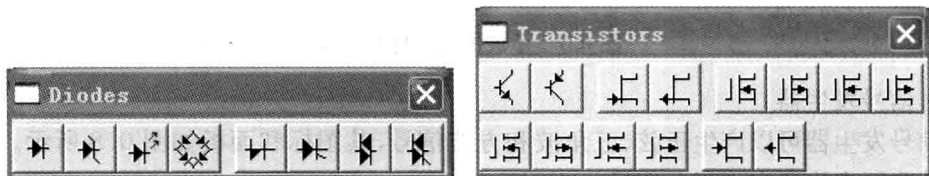


图 0.4 二极管、三极管和场效应管

- 常用的仪器仪表(如图 0.5 所示)

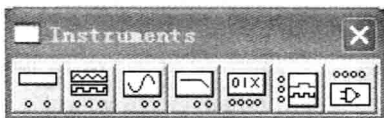


图 0.5 常用的仪器仪表

(2) 常用仪器仪表

- 电压表和电流表

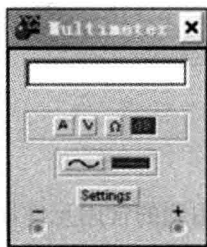
从指示器件库中,选定电压表或电流表,用鼠标拖拽到电路工作区中,通过旋转操作可以改变其引出线的方向。双击电压表或电流表可以在弹出对话框中设置工作参数。电压表和电流表可以多次选用。

- 数字多用表

数字多用表的量程可以自动调整。如图 0.6 所示是其图标和面板。其电压挡、电流挡的内阻,电阻挡的电流和分贝挡的标准电压值都可以任意设置。从打开的面板上选 Setting 按钮可以设置其参数。



图标



面板

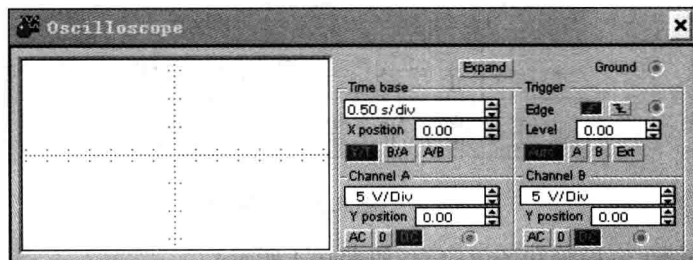
图 0.6 数字万用表

- 示波器

示波器为双踪模拟式,其图标和面板如图 0.7 所示。其中:Expand——面板扩展按钮;Time base——时基控制;Trigger——触发控制,包括:① Edge——上(下)跳沿触发,② Level——触发电平,③ 触发信号选择按钮 Auto(自动触发按钮)、A、B(A、B 通道触发按钮)或 Ext(外触发按钮);X(Y)position——X(Y)轴偏置;Y/T、B/A、A/B——显示方式选择按钮(幅度/时间、B 通道/A 通道、A 通道/B 通道);AC、0、DC——Y 轴输入方式按钮(AC、0、DC)。



图标



示波器面板

图 0.7 示波器的图标和面板

- 信号发生器

信号发生器可以产生正弦、三角波和方波信号,其图标和面板如图 0.8 所示。信号的幅值和频率均可在面板上选择。

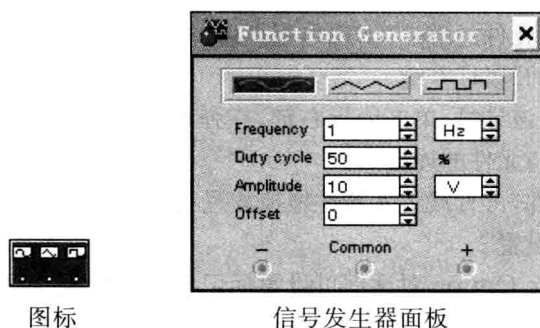


图 0.8 信号发生器的图标和面板

• 波特图仪

波特图仪类似于实验室的扫频仪,可以用来测量和显示电路的幅度频率特性和相位频率特性。波特图仪的图标和面板如图 0.9 所示。

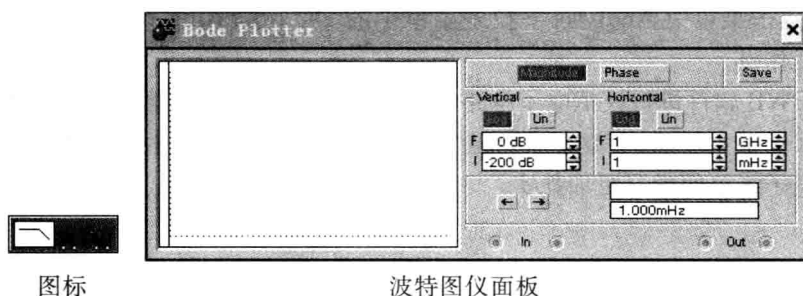


图 0.9 波特图仪图标和面板

波特图仪有 IN 和 OUT 两对端口,分别接电路的输入端和输出端。在使用波特图仪时,必须在电路的输入端接入 AC(交流)信号源,但对其信号频率的设定并无特殊要求,频率测量的范围由波特图仪的参数设置决定。其中: Magnitude(Phase)——幅频(相频)特性选择按钮; Vertical(Horizontal) Log/Lin——垂直(水平)坐标类型选择按钮(对数/线性); F(I)——坐标终点(起点)。

(3) 创建电路并仿真

• 元器件操作

选择元件: 点击打开元件库栏,将鼠标移动到需要的元件图形上,按住左键,将元件符号拖拽到工作区,将元件拖动合适的位置组成电路。

元件的旋转、反转、复制和删除: 用鼠标单击元件符号选定,用相应的菜单、工具栏或单击右键激活弹出菜单,选定需要的操作。

元器件参数设置: 选定该元件,从右键弹出菜单中选 Component Properties 可以设定元器件的标签(Label)、编号(Reference ID)、数值(Value)和模型参数(Model)、故障(Fault)等特性。

• 导线的操作

主要包括:导线的连接、弯曲导线的调整、导线颜色的改变及连接点的使用。

连接:鼠标指向一元件的端点,出现小圆点后,按下左键并拖拽导线到另一个元件的端点,出现小圆点后松开鼠标左键。

删除和改动:选定该导线,单击鼠标右键,在弹出菜单中选 delete。或者用鼠标将导线的端点拖拽离开它与元件的连接点。

向电路插入元器件,可直接将元器件拖拽放置在导线上,然后释放即可插入电路中。

- 电路图选项的设置

Circuit/Schematic Option 对话框可设置标识、编号、数值、模型参数、节点号等的显示方式及有关栅格(Grid)、显示字体(Fonts)的设置,该设置对整个电路图的显示方式有效。其中节点号是在连接电路时,EWB 自动为每个连接点分配的。

- 电路的仿真

电路连接好后,点击 EWB 界面右上角的仿真开关,则电路图执行实际电路的功能进行工作。可以利用各种仪器仪表来对电路进行功能测试,如用示波器观察电路的输入和输出波形。也可利用菜单里功能项对电路的某些功能进行仿真分析,如常用的静态工作点分析,是点击菜单中 Analysis 下拉子菜单中的 DC operating point 项,即自动得出电路的静态工作点。

利用 EWB 软件进行模拟电子电路的学习,相当于把实验室搬到了理论课堂,给我们的学习带来了很大帮助,希望大家能逐步掌握用 EWB 对电路进行分析测试的方法,使我们对模拟电子线路的学习更加扎实。

第 1 章 晶体二极管及其整流电路

教学目的

掌握二极管的结构、特性和整流电路的仿真与分析方法。理解半导体导电原理和二极管电路的一般分析方法。了解各种二极管应用电路。

技能要求

掌握：二极管的好坏判断和检测方法；二极管应用电路的检测方法。

1.1 半导体二极管

在电子线路中,我们常常用到晶体二极管这种电子器件,其外形如图 1.1 所示。

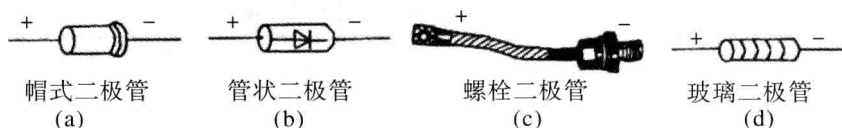


图 1.1 晶体二极管

从二极管的外形可见二极管对外有两个电极,一个称为阳极,也叫正极;另一个称为阴极,也叫负极。这两个电极不可互换,我们通过 EWB 软件对二极管的功能进行仿真,如图 1.2 所示。

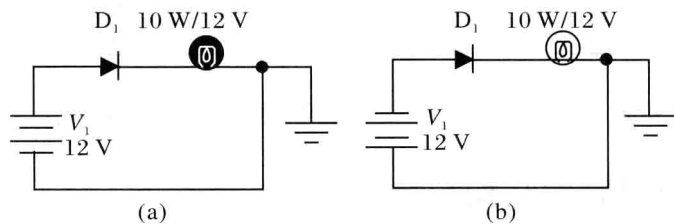


图 1.2 晶体二极管的导通与截止

通过上面电路的仿真可见,当二极管的正极接电源正极时,电路接通,所以灯亮;而当二极管的正极接电源负极时,电路断开,所以灯不亮。

由此可见,二极管有单向导电性,电源方向或二极管方向改变时,就会有不同的导电状态:当二极管正极接电源正极时,二极管承受正向电压(正偏),二极管导通;当二极管负极接电源正极时,二极管承受反向电压(反偏),二极管截止。

为了进一步得到二极管在电路中时两端电压和通过它的电流有什么具体关系,我们对二极管的伏安特性进行测试。

仿真实验 1.1 二极管特性的仿真测试

二极管特性测试可以用实际元器件搭接电路,也可以在 EWB 软件环境下连接仿真电路,二极管的正向特性测试电路如图 1.3 所示。

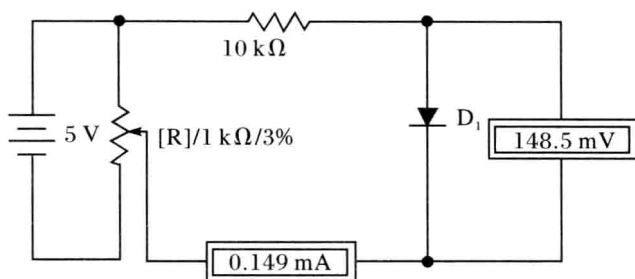


图 1.3 二极管正向特性测试电路

如图 1.3 所示测试电路中,三端电位器是分压接法,调节电位器阻值大小(即滑动端所在位置的百分比),则可以改变二极管两端电压,并随即观测电流表两端电流值,二者关系如表 1.1 所示。

表 1.1 二极管正向特性的测试结果

电压(V)	0	0.25	0.4	0.5	0.55	0.59
电流(mA)	0	0.25	0.44	4	19.5	79.5

将上面电路中的二极管反向旋转后再接入电路,同法测试出二极管的反向特性,结果如表 1.2 所示。

表 1.2 二极管反向特性的测试结果

电压(V)	0	5	10	20	30	40
电流(μ A)	0	0	0	0	0	0

有了以上数据,就可用逐点描述法绘出二极管的伏安特性曲线。

1.1.1 二极管的结构和特性

1. 二极管的结构和类型

二极管是由一个半导体材料制成的特殊的结构——PN 结构成,外加管壳封装加固,对外引出两根电极就构成了二极管。

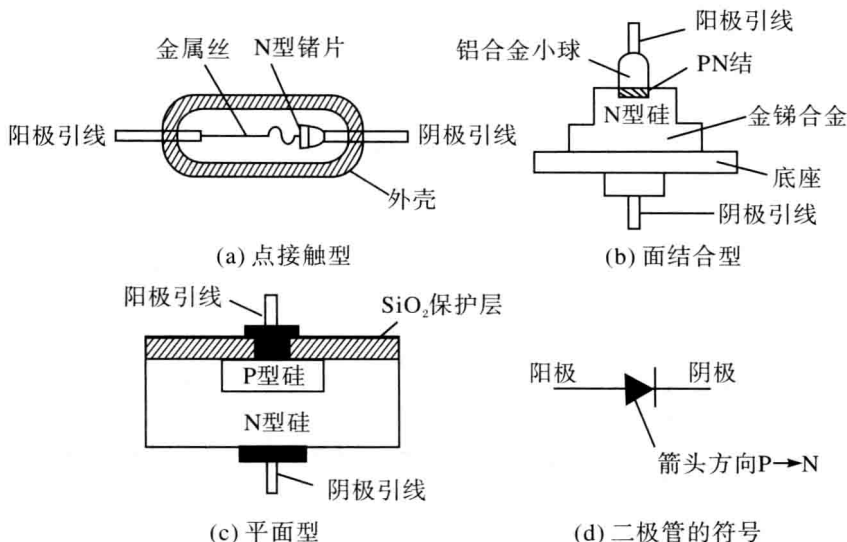


图 1.4 半导体二极管的结构类型和电路符号

(1) 按 PN 结结面结构分类,可分为:

点接触型:PN 结结面积小,适用于高频小功率场合。常用于小电流整流和高频检波,也适用于开关电路。

面结合型:PN 结结面积较大,适用于低频较大功率场合,常用于整流电路。

平面型:PN 结结面积大,适用于大功率整流场合。

(2) 按材料分类:通常可分为硅管和锗管,硅管常适用于较大功率场合,热稳定性较好;锗管的热稳定性较差,常适用于高频小功率场合。

(3) 按用途分,可分为整流二极管、检波二极管、变容二极管、稳压二极管、开关二极管、发光二极管和光电二极管等。

2. 二极管的伏安特性

根据实验 1.1 中测试的结果,即根据表 1.1 和表 1.2 中的数据用逐点法在关于伏特安培的坐标系中绘出二极管的伏安特性曲线,如图 1.5 所示。

根据二极管的伏安特性曲线,可以得出二极管的伏安特性如下:

(1) 正向特性分为死区和正向导通区,对硅管来说,死区范围是 $0 \sim 0.5 \text{ V}$;而对锗管来说死区范围是 $0 \sim 0.1 \text{ V}$ 。死区范围内,二极管没有真正导通,所以正向电流非常小,几乎为零;过了死区后,进入二极管的正向导通区,二极管的正向电流随着正向电压的微小增加会迅速增大,如果把导通的二极管看成一个电阻,则电阻值会随电压(电流)的增大而减小。

(2) 反向特性分为反向截止区和反向击穿区:反向截止区是个很大的电压范围,在这个区域内,二极管的电流(反向电流)非常小,室温下一般硅管的反向饱和电流小于 $1 \mu\text{A}$,锗管为几十到几百微安,常把这个电流称为反向漏电流或反向饱和电流,这个电流会随着二极管所处的环境温度的增加而增大;当二极管的反向电压过大时,二极管内会突然出现一个很大的反向电流,二极管被击穿,一般地说,此时二极管会损坏,所以二极管电

压一般不允许进入此区域。

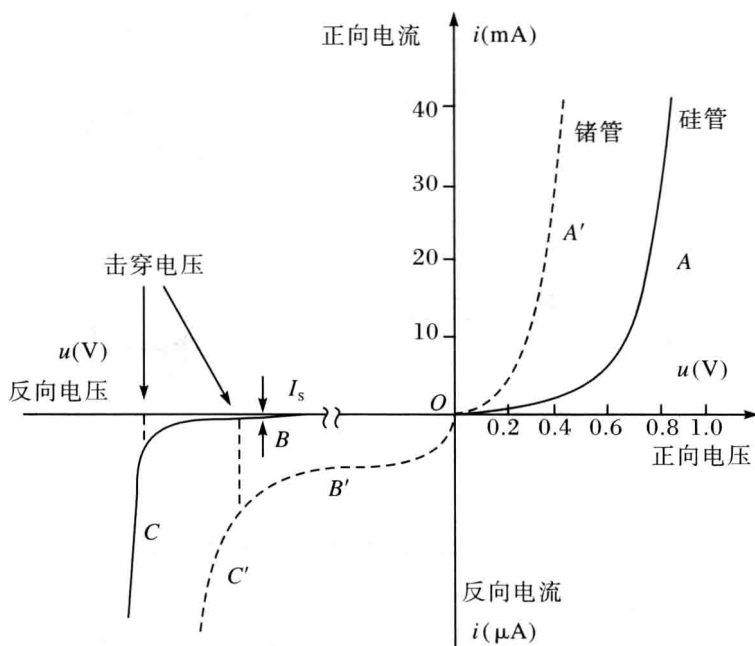


图 1.5 二极管的伏安特性曲线

根据二极管的伏安特性,可知二极管是非线性元件,正向导通时管压降较小(硅管一般在 0.7 V,而锗管一般在 0.3 V),所以理想二极管一般可将这些管压降忽略不计,在分析二极管应用电路时,理想二极管可近似为闭合的开关或导线。而二极管截止时,由于反向饱和电流很小,所以理想二极管截止时,可近似为断开的开关,或近似成电路在二极管处断路。本书中没有特别说明时,二极管均视为理想二极管。

应用技能 二极管的简易测试

根据二极管的伏安特性,我们可以用万用表对二极管进行简易的测试,测试二极管的质量好坏和判别它的正负极。检测原理:根据二极管的单向导电性这一特点,性能良好的二极管其正向电阻小,反向电阻大;这两个数值相差越大说明二极管的质量越好。

测量工具:万用表的“欧姆”挡。一般用 $R \times 100$ 或 $R \times 1 \text{ k}$ 挡,而不用 $R \times 1$ 或 $R \times 10 \text{ k}$ 挡。因为 $R \times 1$ 挡的电流大,容易烧坏二极管, $R \times 10 \text{ k}$ 挡的内电源电压较大,易击穿二极管。

测量二极管好坏的方法:将两表笔分别接在二极管的两个电极上,正测一次,反测一次,若两次阻值相差很大,说明该二极管性能良好;根据测量电阻小(几千欧以下)的那次的表笔接法(称之为正向连接),判断出与黑表笔连接的是二极管的正极,与红表笔连接的是二极管的负极,因为万用表的内电源的正极与万用表的“-”插孔连通,内电源的负极与万用表的“+”插孔连通。如果测得的正、反向阻值都很小,说明二极管内部短路或击穿;如果测得的正、反向阻值都很大,说明二极管内部已经断路;两次测量的阻值相差不大,说明二极管性能欠佳。在这些情况下,二极管就不能使用了。