



教育部高职高专规划教材

第二版

模拟电子技术

● 孙建设 主编
张惠敏 主审



化学工业出版社

教育部高职高专规划教材

模拟电子技术

第二版

孙建设 主 编
王翠兰 徐存水 副主编
张惠敏 主 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是根据教育部高职高专规划教材编写组对电子技术课程的要求编写的教材。本书系统介绍了常用电子元器件的性能、基本放大电路及模拟集成电路的应用等模拟电子技术的基础知识。

全书共分五章,主要内容为常用电子元器件、基本放大电路、模拟集成电路、正弦波振荡器、可控整流电路等内容。本教材在理论上尽量做到简明够用,多结合实际应用。每章配有技能训练内容、EWB 电路仿真实验及思考与练习内容。

本书可作为高职高专院校及各类成人高校理工类专业的教学用书,也可作为各级工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/孙建设主编. —2版. —北京:化学工业出版社, 2009.7

教育部高职高专规划教材

ISBN 978-7-122-05695-5

I. 模… II. 孙… III. 模拟电路-电子技术-高等学校:技术学院-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 082225 号

责任编辑:张建茹

责任校对:王素芹

文字编辑:高震

装帧设计:郑小红

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张12¼ 字数299千字 2009年9月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:24.50 元

版权所有 违者必究

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《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,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

第二版前言

在教育部高等教育司的领导和支持下,《模拟电子技术》教材在2001年作为第一批“教育部高职高专规划教材”由化学工业出版社正式出版。几年来,本书在全国高职高专教育教学中发挥了积极的作用,得到了全国各地兄弟院校及同行们的大力支持和帮助。在此,编者向大家表示深深的感谢。

随着高职高专教育的蓬勃发展,电子技术课程的教学与教材改革也越来越深入,为此编写组全体成员根据现阶段高职高专教育的特点及多年的教学实践,重新修订了模拟电子技术教材的内容,力求适应现代高职高专教育的发展需要。诚恳欢迎社会各界多提改进意见,以便今后修订和完善。

本教材在理论分析上力求简明够用,加强实用性内容,扩大对集成电路的使用介绍。推荐学时100左右,其中技能训练内容各校可根据具体情况自行增减。大型作业或演练也由各校自定。书中带“*”号内容为参考选修内容。

本书由孙建设主编,并负责全书的统稿工作。王翠兰和徐存水任副主编,张惠敏任主审。

参编人员编写内容分别为:孙建设编写绪论、第四章、第三章第三节,并统一全书格式;陈志红编写第一章第一至四节、本章小结、思考题与习题;王赟编写第一章第五至七节;黄根岭编写第二章第一至七节;刘海燕编写第二章第八至九节、本章小结、思考题与习题;张洪顺编写第三章第二节、第六节;路文娟编写第三章第五节、第七节、本章小结、思考题与习题;王翠兰编写第三章第一节、第四节;徐存水编写第五章。

本书编写过程中得到了教育部高等教育司领导及化学工业出版社领导的热情支持和帮助,各参编学院的领导和同行们都给予了极大关怀和鼓励,在此表示衷心感谢。

编者
2009.6

第一版前言

为贯彻《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》（教高〔2000〕2号）有关精神，积极支持教育部面向21世纪高职高专教材建设，在教育部领导直接关怀下，全国高等职业教育院校协作会专门课开发指导委员会确定了编写电子类专业的10门主干课程（《电路分析》、《模拟电子技术》、《数字电子技术》、《电子技术实训》、《高频电子线路》、《电子测量与仪器》、《电视接收技术》、《电子设计自动化（EDA）技术》、《单片机应用技术》和《C语言》）供电子技术应用、应用电子技术、电子工程、通信、电子设备制造与维修等相关专业使用。

本套教材紧密结合高职高专教育特点，主动适应社会实际需要，突出应用性、针对性，加强实践能力的培养。内容叙述力求深入浅出，将知识点与能力点有机结合，注重培养学生的工程应用能力和解决现场实际问题的能力；内容编排力求简洁明快、形式新颖、目标明确，利于促进学生的求知欲和学习主动性。

本教材在理论分析上力求简单明了，配合举例内容，突出实用性的特点，编入技能训练内容。还介绍了电子仿真软件 EWB，便于利用计算机进行演示教学。在格式编排上力求有新颖性，适当插入一些有一定思考意义、启发和提示性的指导内容，并在书中加入一些科技短文——科技花絮，以活跃教材内容，激发青少年朋友们对科学技术的兴趣，增添探索知识的动力。同时也启发读者在享受前人科技成果的同时，更要学习前人对科学孜孜不倦的进取精神。

本教材推荐学时102左右，其中技能训练内容各校可根据具体情况自行增减。大型作业或演练也由各校自定。书中带“*”号内容为参考选修内容。

本书由孙建设任主编，张惠敏任主审，李思政任副主编，参编的所有人员及内容如下。

孙建设编写绪论，第三章的前五节及第八节、第十节、第十一节，第四章的前六节，第五章的第七节，科技花絮1、4、5、6、7、8、11及对应内容的习题，并统一协调全书内容风格；李思政编写第一章前七节，科技花絮2及习题；王永红编写第二章前十一节，科技花絮3及习题；管俊洛编写第三章的第六节、第七节、第九节及对应内容的习题；首珩编写第五章的前六节及习题；李炜恒编写第六章的前六节及习题；刘素芳编写 EWB 技能训练一至四及科技花絮9；张延编写 EWB 技能训练五至七及科技花絮10。

随着社会的发展，电子技术的应用越来越广泛，教材内容也将不断改进，编写组全体成员诚恳欢迎社会各界多提改进意见，以便今后修改和完善，共同促进高职高专教育的发展。

本书编写过程中得到了教育部高等教育司领导及化工出版社领导的热情支持和帮助，各参编学院的领导和同行们都给予了极大的关怀和鼓励，在此表示衷心感谢。

编者

2002.3

目 录

绪论	1
第一章 常用电子元器件	4
第一节 半导体和 PN 结	4
第二节 二极管及其应用	6
第三节 晶体三极管	14
第四节 场效应管	23
第五节 光电子器件	27
第六节 技能训练一 实用电路举例分析	30
第七节 EWB 技能训练一 EWB 使用介绍	33
本章小结	41
思考题与习题	42
第二章 基本放大电路	44
第一节 单管共射极放大电路	44
第二节 图解法	47
第三节 微变等效电路法	50
第四节 共集电极放大电路及共基极放大电路	54
第五节 场效应管放大电路	59
第六节 多级放大电路	61
第七节 电子电路的稳定措施	64
第八节 技能训练二 实用电路读图训练	69
第九节 EWB 技能训练二 单管放大电路的仿真测试	72
本章小结	75
思考题与习题	76
第三章 模拟集成电路	78
第一节 集成运算放大器	78
第二节 集成功率放大器	100
第三节 集成稳压器	106
第四节 技能训练三 实用电路设计与制作	112
第五节 EWB 技能训练三 集成运算放大器的测试	115
第六节 EWB 技能训练四 晶体管串联稳压电路	119
第七节 技能训练四 实用功放电路读图训练	121
本章小结	125
思考题与习题	125

第四章 正弦波振荡器	131
第一节 振荡器基本原理	131
第二节 RC 正弦波振荡器及 LC 正弦波振荡器	135
第三节 石英晶体振荡器	143
第四节 技能训练五	145
第五节 EWB 技能训练五 波形发生电路的测试	146
本章小结	150
思考题与习题	151
第五章 可控整流电路	154
第一节 晶闸管	154
第二节 单相可控整流电路	159
第三节 单结晶体管触发电路	164
第四节 可控整流电路实例分析	169
第五节 晶闸管变频电路	171
第六节 技能训练六 高灵敏接触式报警器制作	175
第七节 EWB 技能训练六 晶闸管应用电路	177
第八节 EWB 技能训练七 综合训练	179
本章小结	184
思考题与习题	184
参考文献	187

绪 论

电子技术是当今世界科学技术领域中一颗耀眼的明星，在现代社会中起着不可估量的作用。

一、电子技术对人类的影响

20 世纪可以说是电子技术的世纪，它创造了一个又一个科学技术奇迹，使人类真正享受到了神话般的现代技术。也改变了人们对生活和时尚的追求。中国在改革开放后极短的时间内，电视机、手机、电脑等一系列现代电子产品已普及到家庭，使人们的精神文化生活和物质生活发生了翻天覆地的变化。

电子技术的发展还推动了各个领域的技术发展，如医疗设备领域的 B 超、心电图机、脑电图机等，使现代医疗诊断水平显著提高；现代工业和航天航空技术更是乘上了电子技术的东风，使人类的活动范围不断向太空延伸；而国防技术无疑要靠电子技术显示威力，并且电子技术在未来世界展现更加迷人的风采。

二、电子技术的发展史

电子技术的发展共经历了五个阶段，即真空电子管电路→晶体管电路→中小规模集成电路→大规模集成电路→超大规模集成电路。

1904 年英国的弗来明发明了真空电子二极管，1906 年美国的德福雷斯特发明了真空电子三极管，同年，美国的费森登开始用电子管调制无线电收、发音乐和演讲系统，出现了最早的电子管收音机。电子管的外形结构主要是真空玻璃管，代表近代电子技术的基础，目前仅能偶尔从一些古董式的木箱结构的台式收音机中窥到其面目，而电视机的显像管是一种专用电子管的结构。在 20 世纪的前半叶，电子管电路独领风骚，在军事、通信、交通等社会领域中，展现了其神通作用。1920 年美国建成了世界上第一座无线电台。1925 年，英国人贝尔德发明了电视机，1946 年在美国诞生了第一台电子管电子计算机，该机用了一万八千多个电子管，整机重达 30t，功率 140kW，运算速度仅为 5000 次/s，且价格昂贵。

电子管具有体积大、工艺复杂、寿命短、不便运输等特点，因此电子元件的改进成为电子技术发展的必需。巴亨、肖克莱和布拉克，这三位杰出的美国科学家在 1947 年成功研制出了晶体三极管，晶体管是用固体的晶体材料——半导体制作而成，其各种性能远远超过了真空玻璃管。使电子技术有了根本性的技术突破，世界科学技术也随之产生了巨变。1953 年，晶体管收音机问世，1956 年第二代计算机——晶体管计算机诞生，1957 年苏联采用晶体管自动控制设备，发射了第一颗人造地球卫星；晶体管也使电视接收技术更加成熟实

用,逐步在发达国家普及到家庭。

1958年美国研制成了第一个集成电路,把一个具有完整功能的电子电路做在一块半导体晶片上,使电子电路的体积大大缩小、功能大大增强、成本大大降低,电子技术发生了又一次巨大的突破和变革。1962年,各种集成电路迅速发展,1964年出现了集成运算放大器,同时诞生了由中小规模集成电路制造的电子计算机,使计算机的功能、速度、体积、成本都有了重大突破。

到20世纪60年代末期,已出现了第四代电子器件——大规模集成电路,它可以在一块 5mm^2 左右的晶体上制造1000多个元件。乘借电子技术的东风,美国科学家们在1969年7月完成了人类首次登上月球的创举。1972年诞生了用大规模集成电路制造的第四代计算机,使得计算机进一步微型化,并开始应用于教育科研领域,电子技术也逐步广泛深入到社会的各个领域,全球科学技术发展更加迅速。

1977年美国研制成了超大规模集成电路,可在 30mm^2 的硅晶片上造出十五万多个晶体管,同时日本的集成电子技术也进入了超大规模集成电路时代。由此产生了真正意义上的微型计算机,其成本大幅下降,开始向家庭普及。计算机可以说是现代社会的功臣,是实现信息化和高效工作的前提,缩短了时空距离。计算机在技术上的发展速度可谓日新月异。

电子技术仅用一百来年的时间就取得了如此辉煌的成就,堪称神话。正如上个世纪20年代,一位富于幻想的美国作家根斯巴克在其科幻小说中预言:“七百年后人们坐在家里可以观赏六公里以外的剧院演出”,当时许多人认为这是毫无根据的瞎想,岂料仅仅几年电视机就诞生了。

人们在期待着本世纪科学技术的新突破!

三、本课程研究的对象及内容

电子技术主要研究用电子器件构成实用电路去控制电子运动的规律,把电子运动产生的电流和电磁波等物理量作为一种信息来进行传输和处理。这种信息可以分为模拟信号和数字信号两大类。模拟信号是指幅度随时间连续变化的信号,如用电压或电流的变化模拟声波的变化。数字信号是指幅度随时间间断的、离散的信号,如电报码和用电平的高与低表示的二值逻辑信号等。最早把电流作为信息来处理的是1844年5月美国的莫尔斯发明的有线电报,用电流分别构成点、横线和空格,组成“莫尔斯电码”,用其组合分别来表示26个英文字母等信息,这就是最早的数字信号。最早利用电流产生并传输模拟信号的是1875年6月美国的贝尔发明的电话,通过把声音信号转换成同样变化规律的电信号进行传输。

根据这两类信号,电子电路也分为模拟电子电路和数字电子电路两大类(简称为模电和数电)。模拟电子电路就是用来产生、传输和处理模拟信号的电路,典型设备有收音机、电视机、扩音机等。收音机和电视机系统是把原始的声音和图像信号模拟转换为以同样规律变化的电信号,再进行处理、传输和放大,由扬声器和显像管还原出声音和图像。数字电路是专门用来传输和处理数字信号以实现逻辑功能的,典型设备是电子计算机等。计算机系统主要是对各种数字信号进行逻辑运算及分析处理等。模拟电路和数字电路的结合越来越广泛,

在技术上正趋向于将模拟信号数字化，以获取更好的传输效果及抗干扰性能，如数码相机、数码电视机等。

本书研究的对象是模拟电子电路，其主要任务之一是对微弱的电信号进行模拟放大。在自动控制电路中，非电物理量经传感器转换成的电信号通常是较微弱的，必须经模拟电路进行放大才能驱动执行机构。本书的主要内容有常用电子元器件的结构与原理、基本放大电路、集成运算放大器、集成功率放大器、直流电压源、振荡器和可控整流电路等。

电子技术是一门实用性很强的技术课程，必须加强实践能力的培训。本书在每章配有技能训练内容，作为教学参考内容及实践学习的资料，教学中可根据实训设备条件予以选用。

第一章 常用电子元器件

引言：半导体是现代电子技术中重要的物质材料基础。本章主要讲解半导体二极管、三极管、场效应管的特性、应用、测试以及识别方法，并介绍部分特种电子器件，如光电元器件等。

第一节 半导体和 PN 结

一、半导体

大自然的物质类别是极其丰富的。单从导电能力上可以分为导体、绝缘体和半导体。

常见的导体有金、银、铜、铁、铝等金属类；常见的绝缘体有胶木、橡胶、陶瓷等。

半导体是导电能力介于导体和绝缘体之间的特殊物质，常用材料有锗（Ge）、硅（Si）、砷化镓（GaAs）等。这些材料在现代科学技术中扮演了极为重要的角色。

1. 半导体的性质

半导体的导电能力具有一些独特的性能。主要表现为如下三个方面。

(1) 杂敏性 半导体对掺入杂质很敏感。只要在半导体硅中掺入亿分之一的硼（B），电阻率就会下降到原来的数万分之一。因此用控制掺杂浓度的方法，可人为地控制半导体的导电能力，制造出各种不同性能、不同用途的半导体器件。

(2) 热敏性 半导体对温度变化很敏感。温度每升高 10°C ，半导体的电阻率减小为原来的二分之一。这种特性对半导体器件的工作性能有许多不利的影响，但利用这一特性可制成自动控制系统中常用的热敏电阻，它可以感知万分之一摄氏度的温度变化。

(3) 光敏性 半导体对光照很敏感。半导体受光照射时，它的电阻率显著减小。例如，半导体材料硫化镉（CrS），在一般灯光照射下，它的电阻率是移去灯光后的数十分之一或数百分之一。自动控制中用的光电二极管、光电三极管和光敏电阻等，就是利用这一特性制成的。

2. 本征半导体

完全纯净的半导体叫做本征半导体，又称为纯净半导体。

半导体中的原子是按照一定的规律、整齐地排列着，呈晶体结构，如图 1-1 所示，所以半导体管又称为晶体管。

常用的半导体材料是硅和锗。它们的简化原子模型如图 1-2 所示。

在室温下，价电子获得足够的能量可挣脱共价键的束缚，成为自由电子，这种现象称为本征激发。这时，共价键中就留下一个空位，这个空位称为空穴。空穴的出现是半导体区别于导体的一个重要特点。

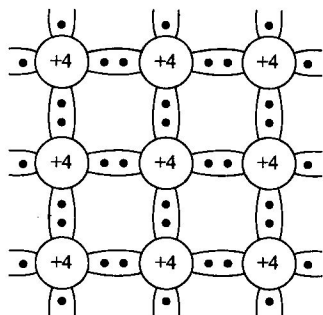


图 1-1 硅或锗晶体的共价键结构示意图

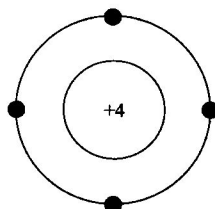


图 1-2 硅和锗的原子结构简化模型

在半导体中，有两种载流子，即空穴和自由电子。在本征半导体中，它们总是成对出现的。利用杂敏的特性，可以在本征半导体中掺入微量的杂质，使半导体的导电性能发生显著改变。

3. 掺杂半导体

根据掺入杂质性质的不同，掺杂半导体可分为空穴（P）型半导体和电子（N）型半导体两大类。

N 型半导体是在纯净的半导体中掺入五价元素（如磷、砷和锑等）形成的，如图 1-3 所示，使其内部多出了自由电子，自由电子就成为多数载流子，简称多子；空穴为少数载流子，简称少子。

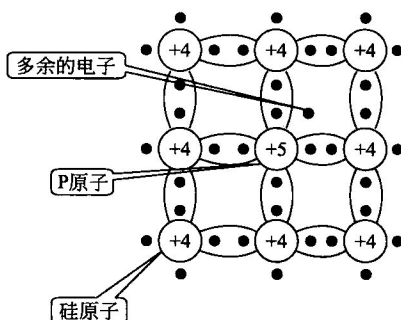


图 1-3 N 型半导体结构

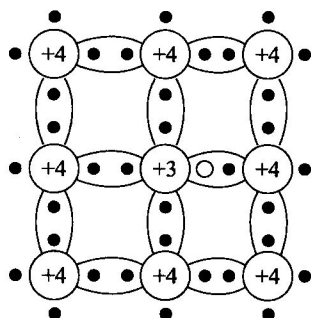


图 1-4 P 型半导体结构

P 型半导体是在硅（或锗）的晶体内掺入少量的三价元素形成的，如图 1-4 所示，如硼（或铟）等，因硼原子只有三个价电子，它与周围硅原子组成共价键时，缺少一个电子，在晶体中便多产生了一个空位，这一空位极易捕捉相邻硅原子的价电子而形成空穴。控制掺入杂质的多少，便可控制空穴数量。这样，空穴数就远大于自由电子数，在这种半导体中，以空穴导电为主，因而空穴为多数载流子；自由电子为少数载流子。

二、PN 结及其特性

1. PN 结的形成

在一块完整的晶体中，通过一定的掺杂工艺，分别形成 P 型半导体和 N 型半导体。在它们的交界处就形成了一个特殊薄层，这就是 PN 结。PN 结具有单向导电的性能。这是因为在交界面两侧存在着电子和空穴浓度差，N 区的电子要向 P 区扩散（同样 P 区的空穴也向 N 区扩散，称为扩散运动），并与 P 区的空穴复合，如图 1-5(a) 所示。在交界面两侧产

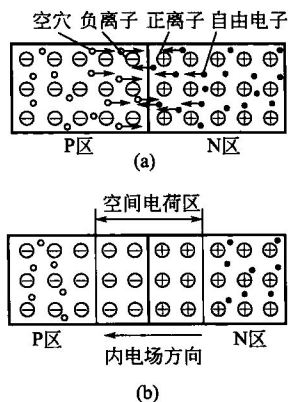


图 1-5 半导体 PN 结形成

生了数量相同的正负离子，形成了方向由 N 到 P 的内电场。如图 1-5(b) 所示。这个内电场对扩散运动起阻碍作用，同时内电场又对两侧的少子起推进作用，使其越过 PN 结，称为漂移运动。显然扩散与漂移形成的电流方向是相反的，最终扩散运动与漂移运动达到动态平衡。这样就形成了有一定厚度的 PN 结。

2. PN 结的特性

如图 1-6(a) 所示，给 PN 结外加上正向电压（称为正向偏置）时，由于内电场被削弱，则形成较大的扩散电流，呈现较小的正向电阻，处于导通状态；如图 1-6(b) 所示，若加上反向电压（称为反向偏置），则内电场加强，只形成极其微弱的漂移电流（因为少子的数量是极少的），处于截止状态。这就是 PN 结的重要特性——单向导电性。

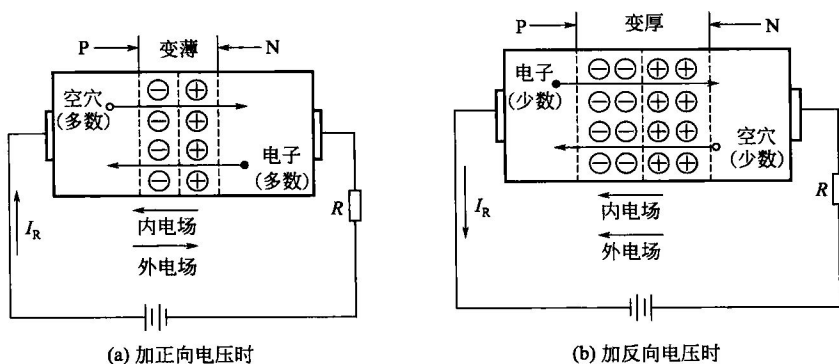


图 1-6 PN 结的单向导电性

第二节 二极管及其应用

一、二极管

在 PN 结两侧各引出一个电极并加上管壳就形成了半导体二极管，其结构和符号如图 1-7 中的 (a) 和 (b) 所示。

二极管的正极或称为阳极，用字母 a 表示；另一边是负极或称为阴极，用字母 k 表示。正极与 P 区相连，负极与 N 区相连。二极管的极性通常标示在它的封装上，有些二极管用黑色或白色色环表示其负极端。

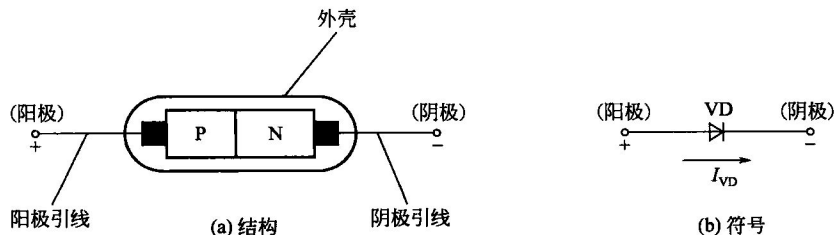


图 1-7 二极管的符号和结构

1. 二极管的类型

根据所用的半导体材料不同,可分为锗二极管和硅二极管;按照管芯结构不同,可分为点接触型、面接触型和平面型,如图 1-8 所示。

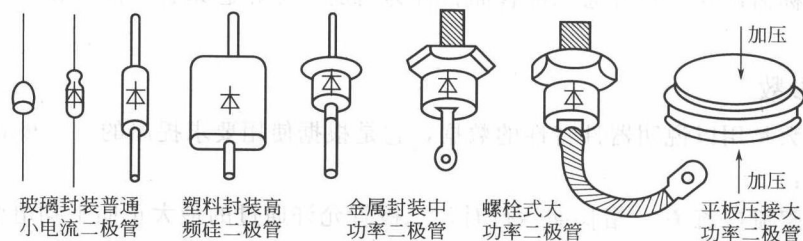


图 1-8 二极管的外形

点接触型二极管的 PN 结接触面很小,只允许通过较小的电流(几十毫安以下),但在高频下工作性能很好,适用于收音机中对高频信号的检波和对微弱交流电的整流,如国产的锗二极管 2AP 系列、2AK 系列等。

面接触型二极管 PN 结面积较大,并做成平面状,它可以通过较大的电流,适用于对交流电进行整流,如国产的 2CP 系列、2CZ 系列的二极管都是面接触型的。

平面型的特点是在 PN 结表面被覆一层二氧化硅薄膜,避免 PN 结表面被水分子、气体分子以及其他离子等沾污。这种二极管的特性比较稳定,多用作开关元件,处理脉冲信号及用于超高频电路中。国产 2CK 系列二极管就属于这种类型。

根据二极管用途不同,可分为整流二极管、稳压二极管、开关二极管、光电二极管及发光二极管等。

2. 二极管的伏安特性

图 1-9 中分别是硅二极管和锗二极管的两端电压与其内部电流的关系曲线,称为伏安特性(V-A)曲线。图中纵轴的右侧称为正向特性,左侧称为反向特性。

(1) 正向特性 正向连接时,二极管的正极接电路的高电位端,负极接低电位端。当二极管两端的正向电压很小的时候,正向电流微弱,二极管呈现很大的电阻,这个区域是二极管正向特性的“死区”;只有当外加正向电压达到一定数值(这个数值称为导通电压,硅管约 0.6~0.7V,锗管约 0.2~0.3V)以后,二极管才真正导通。此时,二极管两端的正向管压降几乎不变(硅管为 0.7V 左右,锗管为 0.3V 左右),可以近似地认为它是恒定的,不随电流的变化而变化。但是从伏安特性曲线可以看出,此时正向电流是随着正向电压的增加而急速增大的,如不采取限流措施,过大的电流会使 PN 结发热,超过最高允许温度(锗管为 90℃~100℃,硅管为 125℃~200℃)时,二极管就会被烧坏。

(2) 反向特性 二极管反向连接时处于截止状态,仍然会有微弱的反向电流(锗二极管不超过几微安,硅二极管不超过几十纳安),它和温度有极为密切的关系,温度每升高 10℃,反向电流约增大一倍。反向电流是衡量二极管质量好坏的

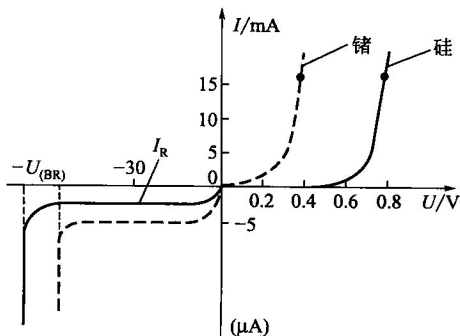


图 1-9 二极管的伏安特性曲线

重要参数之一,反向电流太大,二极管的单向导电性能和温度稳定性就差,选择和使用二极管时必须特别注意。

(3) **击穿特性** 当加在二极管两端的反向电压增加到某一数值时,反向电流会急剧增大,这种状态称为击穿。对普通二极管而言称为雪崩击穿,意味着二极管丧失了单向导电特性而损坏了。

3. 主要参数

器件的参数是用以说明器件特性的数据,它是根据使用要求提出的。二极管的主要参数及其意义如下:

(1) **最大整流电流 I_F** 指长期运行时,二极管允许通过的最大正向平均电流。

(2) **最大反向工作电压 U_{RM}** 指正常工作时,二极管所能承受的反向电压的最大值。

(3) **反向击穿电压 U_{BR}** 当外加反向电压低于 U_{BR} 时,二极管处于反向截止区,反向电流几乎为零。当外加反向电压超过 U_{BR} 后,反向电流突然增大,二极管失去单向导电性。

(4) **最高工作频率 f_M** 是二极管工作的上限频率,由 PN 结的结电容大小决定的参数。当工作频率 f 超过 f_M 时,结电容的容抗减小至可以和反向交流电阻相比拟时,二极管将逐渐失去它的单向导电性。

二、二极管在整流、滤波电路中的应用

各种电子电路和设备都需要有直流电源提供能量,而日常所用的电源一般都是工频交流电源,这就需要应用电子电路将其转换为直流电源。这个过程由四部分电路完成,如图 1-10 所示。

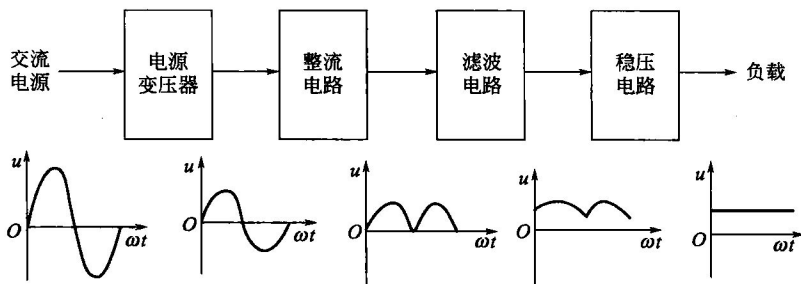


图 1-10 直流电源的组成框图

图中电源变压器的任务是将交流电的幅度变换为直流电源所需要的幅度;整流电路的任务是将双向变化的交流电变成单向的脉动直流电;滤波电路的任务是滤除脉动直流电中的交流成分,保留直流成分;稳压电路的任务是使输出电压的幅度保持稳定。由于变压器的结构和原理已在电工知识中讲过,所以本节从整流电路讲起。

1. 单相半波整流

利用二极管的单向导电性,可以把双向变化的交流电转换为单向的直流电,这个过程称为整流。图 1-11 是单相半波整流电路。

图中 u_i 为交流电压,其幅度一般较大,为几伏以上,其输入输出波形如图 1-12 所示。在交流 u_i 的正半周,二极管 VD 正向导通,忽略其正向导通电压,则 u_o 等于 u_i ;在 u_i 的负半周,VD 反向截止,则 u_o 等于 0,从图 1-12 看出,交流输入电压只有一半通过整流电路,

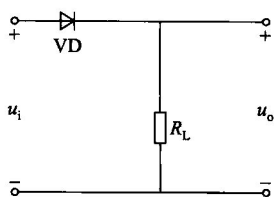


图 1-11 二极管单相半波整流电路

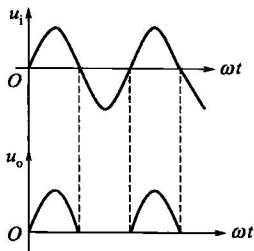


图 1-12 半波整流电路的波形图

所以这种整流称为半波整流。整流的过程只是把双向交流电变为单向脉动直流电。

输出电压平均值 U_o 的计算：正弦交流电的平均电压值为 0，所以用有效值来描述，经过半波整流后的单向脉动电压则可以用平均值来描述，可利用高等数学中积分的方法来求得 U_o 的平均值。即

$$U_o = \frac{1}{T} \int_0^T u_i dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2}U_i \sin\omega t d(\omega t)$$

$$\text{可得出: } U_o = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_i \approx 0.45U_i$$

流过负载 R_L 上的直流电流为

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = \frac{0.45U_i}{R_L}$$

整流二极管的选择：从图 1-12 中可明显看出，二极管反偏时承受的最高电压是 u_i 的峰值电压 $\sqrt{2}U_i$ ，承受的平均电流等于 I_o 。实际选用二极管时，还要将这两个值乘以 (1.5~2) 倍的安全系数，再查阅电子元器件手册选取合适的二极管。

2. 单相桥式整流电路

图 1-13 为单相桥式整流电路。由图可见，四个二极管 VD_1 、 VD_2 、 VD_3 、 VD_4 构成电桥的桥臂，在四个顶点中，不同极性点接在一起与变压器次级绕组相连，同极性点接在一起与直流负载相连。

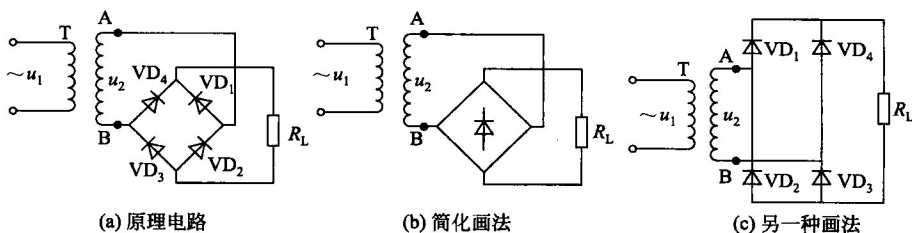


图 1-13 单相桥式整流电路

(1) 工作原理 设电源变压器次级电压 $u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin\omega t$ ，其波形如图 1-14 所示。

如图 1-13 所示，在 u_2 正半周，A 端电压极性为正，B 端为负。二极管 VD_1 、 VD_3 正偏导通， VD_2 、 VD_4 反偏截止，电流通路为 $A \rightarrow VD_1 \rightarrow R_L \rightarrow VD_3 \rightarrow B$ ，负载 R_L 上电流方向自上而下；在 u_2 负半周，A 端为负，B 端为正，二极管 VD_4 、 VD_2 正偏导通， VD_1 、 VD_3 反偏截止，电流通路为 $B \rightarrow VD_4 \rightarrow R_L \rightarrow VD_2 \rightarrow A$ 。同样， R_L 上电流方向自上而下。

由此可见，在交流电压的正负半周，都有同一个方向的电流通过 R_L ，从而达到整流的