



教育部高职高专规划教材

电子技术

张惠敏 主编
刘云 主审



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

电子技术

张惠敏 主编
刘 云 主审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

电子技术/张惠敏主编. —北京: 化学工业出版社,
2005. 11

教育部高职高专规划教材
ISBN 7-5025-7951-6

I. 电… II. 张… III. 电子技术-高等学校: 技术
学院-教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 141713 号

教育部高职高专规划教材

电 子 技 术

张惠敏 主编

刘 云 主审

责任编辑: 张建茹

责任校对: 吴 静

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市海波装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 15½ 字数 411 千字

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7951-6

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

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

2001年4月3日

前 言

为了贯彻《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,全国高等职业教育学校协作会专门课开发指导委员会组织了高职高专规划教材的编写工作。

本教材紧密结合高职高专教育特点,主动适应社会需要,突出应用性、针对性,注重实践能力的培养;内容编排力求简捷明快、深入浅出。全书采用模块化编写格式,每章包含理论讲授、硬件或软件仿真训练和检测题,突出了理论与实践的结合,体现了“应用性、实用性、综合性和先进性”原则,着重于实际应用能力的培养。

本教材全书共分十章,主要内容包括:半导体二极管及其应用;基本放大电路;差动放大电路及集成运算放大器;正弦波振荡器;集成稳压电源与可控整流电路;数字电路基本器件与组合逻辑电路;时序逻辑电路;脉冲产生与信号变换电路;大规模集成电路和 EWB 电子电路仿真软件简介。

《电子技术》课程建议教学时数为100学时左右,其中技能训练内容(含讨论课、软件仿真、硬件实验等)约30学时,各校可根据具体情况自行增减;利用电子电路仿真软件 EWB 进行的仿真训练既可以作为实训课内容也可以作为课堂演示教学内容,以增强课堂教学的直观性,帮助学生理解、消化理论知识,提高学习兴趣;部分综合技能训练内容可通过大型作业或实习演练完成。书中带“*”号内容可作为选修内容。

本教材由张惠敏任主编并负责全书统稿;北京交通大学刘云教授任主审。

参加本教材编写的有:

张惠敏编写绪论、第一章、第三章和第四章;马蕾编写第二章;付涛编写第五章;刘海燕编写第六章;陈志红编写第七章;孙建设编写第八章和第九章;黄根岭编写第十章的第一节、第二节,赵新颖编写第十章的第三节。

本教材在编写过程中得到了教育部有关领导和化学工业出版社领导的热情支持及帮助,各参编院校的领导和同行们给予了极大的关怀和鼓励,在此表示衷心感谢。

随着科学技术的发展,集成电路工艺水平、集成度以及器件功能不断完善和提高,电子技术的应用也愈加广泛,教材内容的更新势在必行,教材编写组全体成员诚恳希望社会各界多提改进意见,以共同促进高职高专教育的发展;同时限于作者水平,书中难免有不妥之处,敬请使用者提出宝贵意见。

编 者

2005年10月

目 录

绪论	1
第一章 半导体二极管及其应用	3
第一节 PN 结与二极管	3
第二节 整流与滤波电路	9
技能训练一 EWB 操作与二极管应用	14
本章小结	16
思考题与习题	16
第二章 基本放大电路	18
第一节 晶体三极管	18
第二节 共发射极放大电路	22
第三节 微变等效电路分析法	27
第四节 分压偏置电路和射极输出器	31
第五节 基本功率放大电路	36
第六节 场效应管及其放大电路	41
技能训练二 单管放大电路的仿真测试	48
本章小结	51
思考题与习题	52
第三章 差动放大电路及集成运算放大器	55
第一节 差动放大电路	55
第二节 负反馈放大电路	60
第三节 集成运算放大器及其应用	63
技能训练三 集成运放构成的波形发生器	73
本章小结	75
思考题与习题	75
第四章 正弦波振荡器	80
第一节 正弦波振荡器的结构及振荡条件	80
第二节 LC 振荡器	81
第三节 RC 振荡器	86
第四节 石英晶体振荡器	88
本章小结	90
思考题与习题	90
第五章 集成稳压电源与可控整流电路	93
第一节 串联型稳压电路与集成稳压电源	93
* 第二节 晶闸管可控整流电路	97
* 第三节 单结晶体管触发电路	102
本章小结	104
思考题与习题	105

第六章 数字电路基本器件及组合逻辑电路	107
第一节 数字电路基础知识	107
第二节 逻辑函数化简	109
第三节 基本逻辑门	112
第四节 TTL 集成逻辑门	115
第五节 CMOS 集成逻辑门	122
第六节 数字集成电路使用常识	125
第七节 组合逻辑电路的分析与设计	127
第八节 译码器	130
第九节 数据选择器	136
本章小结	139
思考题与习题	139
第七章 时序逻辑电路	142
第一节 触发器	142
第二节 计数器	153
第三节 寄存器	164
第四节 数字钟和智力竞赛抢答器电路分析	169
技能训练四 信号及脉冲发生器电路仿真	175
本章小结	178
思考题与习题	179
第八章 脉冲产生与信号变换电路	182
第一节 集成 555 定时器	182
第二节 555 定时器应用	184
第三节 数字-模拟转换器 DAC	190
第四节 模拟-数字转换器 ADC	194
技能训练五 555 定时器及 ADC、DAC 的应用及仿真	198
本章小结	206
思考题与习题	206
第九章 大规模集成电路	211
第一节 集成存储器	211
第二节 可编程逻辑器件	215
本章小结	219
思考题与习题	219
第十章 EWB 电子电路仿真软件简介	221
第一节 EWB 概述	221
第二节 EWB 功能介绍	222
第三节 EWB 的基本操作	231
参考文献	239

绪 论

20 世纪初,随着半导体的发现和利用,电子技术悄然来到人们身边,直接而现实地影响着人们的生活。近几十年来,电子技术的发展推动了各个领域技术的发展,如医疗行业的 B 超、CT、核磁共振等,使现代医疗水平显著提高;数字电子技术的应用使得传统的机械加工业变成了数控加工;航天航空技术更是如虎添翼;现代国防技术离开了电子技术,导弹、雷达、坦克、潜艇、战斗机、军事联络等将处于瘫痪;尤其是以电子技术为基础发展起来的计算机和通信业在人们的生产生活中扮演了越来越重要的角色,真正成为现代社会的千里眼、顺风耳,使世界变成了地球村。未来社会,电子技术将会创造出更加惊人的奇迹。

一、电子技术的发展历史

电子器件的发展带来了电子产品和技术的更新换代,其发展过程大致经历了五个阶段,即真空电子管电路、晶体管电路、中小规模集成电路、大规模集成电路和超大规模集成电路。

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。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。在 20 世纪的前半叶,电子管电路独领风骚,在军事、通讯、交通等社会领域中,展现了无比的神通。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 30 吨,功率 140kW,运算速度仅为 5000 次/秒,且价格昂贵。

1947 年,三位杰出的美国科学家巴亨、肖克莱和布拉克,成功地研究出了晶体三极管,其各种性能远远超过了真空管。它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,在发达国家已经普及到家庭。

随着 1958 年第一块集成电路在美国研制成功,电子技术发生了又一次巨大的突破和变革。集成电路能将一个完整功能的电路做在一块小晶片上,使电子电路的小型化、低成本成为现实;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,第四代电子器件——大规模集成电路诞生,使得电子电路的集成度大大提高,尤其是 1972 年诞生的第四代计算机,标志着电子设备小型化的进程进一步加快。

1977 年美国研制成功了超大规模集成电路,可以在 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,并逐渐实现个人化。

随着新兴的纳米技术的发展,电子技术也将面临着新的突破,目前电脑已进入全球网络化,未来的电脑正向着更大的容量、更高的速度和智能型发展。电子技术的明天无疑是梦幻般的奇异动人,人类所有的幻想和梦想都将随着时间的延伸而成为现实!

二、本课程研究的对象及内容

电子技术是研究利用电子器件构成的各种实用电路,以实现电信号的产生、传输和处理的实用技术。电信号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;数字信号是指幅度和时间均为离散的信号,如电报码、心电图信号和计算机代码等。

根据两类信号的不同特点,电子电路也分为模拟电子电路和数字电子电路两大类(简称为模拟电路和数字电路)。模拟电子电路就是用来产生、传输和处理模拟信号的,典型设备有收音机、电视机、扩音机等。收音机系统和电视机系统,都是把原始的声音信号或图像信号模拟转变为以同样规律变化的电信号,由电子发射电路向空中发射带有该信号的电磁波,收音机和电视机收到电磁波信号后进行处理、放大,再由扬声器和显像管还原出声音或图像来。数字电子电路是用来传输和处理数字信号以实现其逻辑功能变换与判断的,典型设备是电子计算机等,计算机系统主要用于对各种数字信号进行存储、逻辑运算及分析处理等。随着数字化进程的加快,模拟电路和数字电路的结合越来越紧密,在技术上正趋向于将模拟信号数字化,以获取更高的抗干扰性能、便于传输和计算机处理,如数码相机、数字电视等。

模拟电子电路最主要的任务是对微弱的电信号进行模拟放大,主要学习内容包括:半导体器件的结构与原理、基本放大电路、负反馈放大电路、集成运算放大器、集成功率放大器、振荡器、直流电压源和可控整流电路等。

数字电子电路的主要研究对象是电路的输入和输出之间的逻辑关系,其基本分析工具是逻辑代数。在数字电路中,半导体器件大多工作在开关状态,电路只有两个状态,分别用“0”和“1”表示,因此构成数字电路的基本单元十分简单,并且对器件要求不高、易于集成。数字电路主要学习内容包括:数字电路的基础知识、基本逻辑门电路、常用集成触发器、常用的组合逻辑部件和时序逻辑部件、数字信号的产生与变换、数/模和模/数转换器、大规模集成电路等。

三、本课程的特点和学习方法

电子技术是应用性非常强的技术基础课,学习过程中必须特别注重实践能力的培养,因此本教材根据内容特点,在每章有选择地编排了讨论课、硬件实验或软件仿真实验,突出理论与实践的结合,同时便于教师灵活安排技能训练或采用多媒体演示教学。EWB是常用的电子电路仿真软件之一,它可以模拟实际电子实验室的环境,提供了众多的元器件和仪器仪表以及分析工具,可以虚拟所有的电子实验,堪称虚拟电子实验室。了解强大的EDA(电子设计自动化)工具在电子课教学和实验中的作用,可以扩展学生的知识面和综合应用能力。

《电子技术》作为电子、自控、机电、通信和计算机等专业的重要技术基础,是各专业的重要技术基础课程之一,只有掌握一定的基础知识和实践技巧,才能顺利地进入神奇的电子技术世界。

第一章 半导体二极管及其应用



目的与要求 半导体是现代电子技术重要的物质基础。本章主要任务是认识半导体的性能及 PN 结的形成；熟悉半导体的基本电子器件——二极管的结构、特点及主要应用；熟练掌握由半导体二极管构成的整流电路的原理等。

第一节 PN 结与二极管

一、半导体及 PN 结

大自然的物质类别是极其丰富的。单从导电能力上分，有导体、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。在半导体硅中只要掺入亿分之一的硼（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，热敏电阻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（CdS），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。

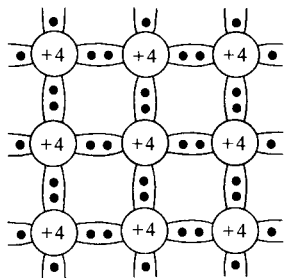


图 1-1 硅或锗晶体的共价键结构示意图

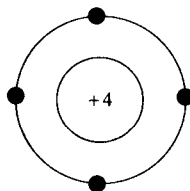


图 1-2 硅和锗的原子结构简化模型

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。

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。利用半导体的杂敏特性，可以在本征半导体中掺入微量的杂质，就会使半导体的导电性能发生显著的改变。

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。

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，简称多子；自由电子为少数载流子，简称少子。

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，使其内部多出了自由电子，自由电子就成为多数载流子，空穴为少数载流子。

4. PN 结及其特性

如果在一块纯净半导体（如硅和锗等）中，通过特殊的工艺，在它的一边掺入微量的三价元素硼形成 P 型半导体，在它的另一边掺入微量的五价元素磷，形成 N 型半导体，这样在 P 型半导体和 N 型半导体的交界面上就形成了一个具有特殊电性能的薄层——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 1-3（a）所示。在交界面两侧产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 1-3（b）所示。这个内电场对扩散运动起阻止作用，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会达到动态平衡。这样就形成了有一定厚度的 PN 结。

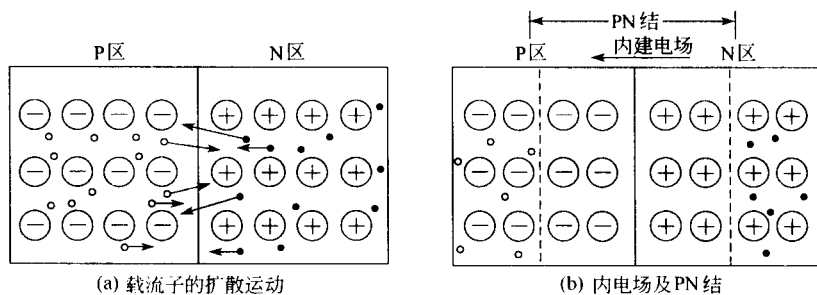


图 1-3 半导体 PN 结的形成

如图 1-4 所示，给 PN 结外加上正向电压时，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，相当于导通；若加上反向电压，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），相当于截止。这就是 PN 结的单向导电性能。

二、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，其外形和符号如图 1-

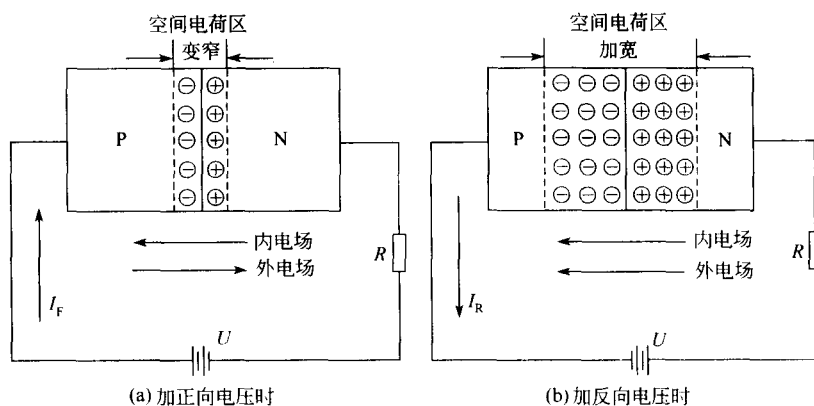


图 1-4 PN 结的单向导电性

5 中的 (a) 和 (b) 所示。

二极管的正极也称为阳极，用字母 a 表示，另一边是负极也称为阴极，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。

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 1-5 中的 (c)、(d)、(e) 所示。

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，适用于对电网的交流电进行整流。如国产的 2CP 系列、2CZ 系列的二极管都是面接触型的。

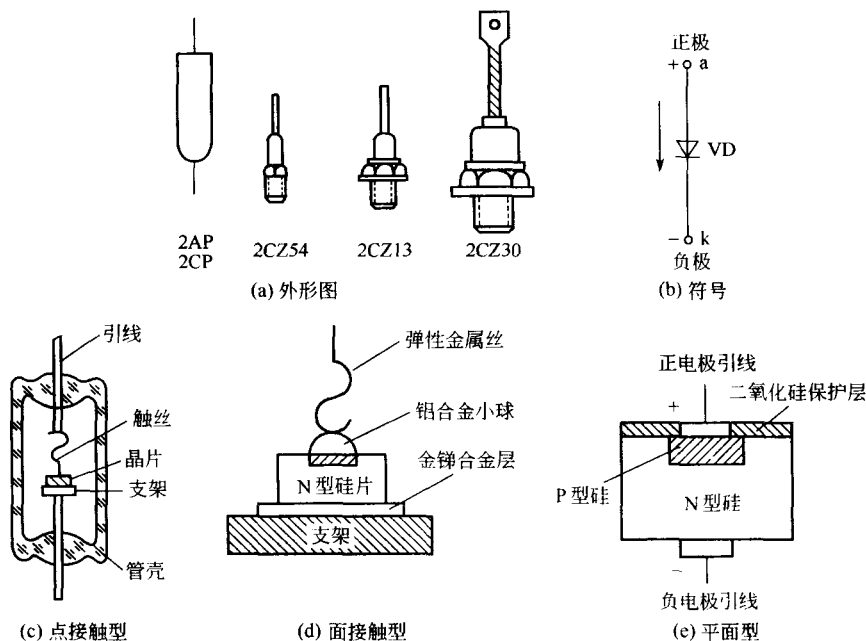


图 1-5 二极管的外形、符号及主要结构类型

平面型二极管的特点是在 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可靠, 多用于开关、脉冲及超高频电路中。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 1-6 中的 (a) 和 (b) 分别是硅二极管和锗二极管的两端电压与其内部的电流的关系曲线, 称为伏安特性曲线。图中纵轴的右侧称为正向特性, 左侧称为反向特性。

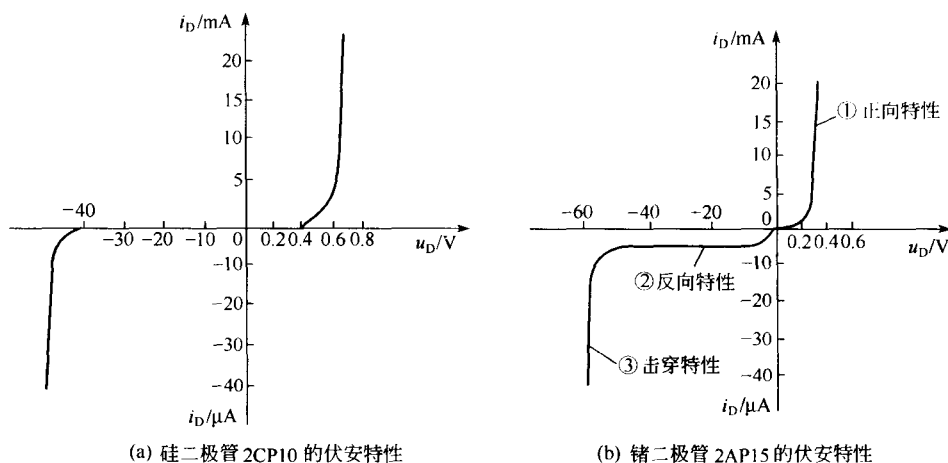


图 1-6 二极管的伏安特性曲线

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, 这个区域成为二极管正向特性的“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 $0.6 \sim 0.7\text{V}$, 锗管 $0.2 \sim 0.3\text{V}$) 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微小增加而急速增大的, 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 $90 \sim 100^\circ\text{C}$, 硅管为 $125 \sim 200^\circ\text{C}$) 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°C , 反向电流约增大一倍。反向电流是衡量二极管质量好坏的重要参数之一, 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 : 指长期运行时晶体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} : 指反向电流明显增大, 超过某规定值时的反向电压。

④ 最高工作频率 f_M ：是由 PN 结的结电容大小决定的参数。当工作频率 f 超过 f_M 时，结电容的容抗减小到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。

三、其他类型的二极管

1. 稳压二极管

稳压二极管是用特殊工艺制造的面结合型硅半导体二极管。其符号如图 1-7 (a) 所示，它主要工作在反向击穿区，而它的击穿具有非破坏性，称为齐纳击穿，当外加电压撤除后，PN 结的特性可以恢复。稳压管的伏-安特性曲线如图 1-7 (b) 所示。它在直流稳压电源中获得广泛的应用。

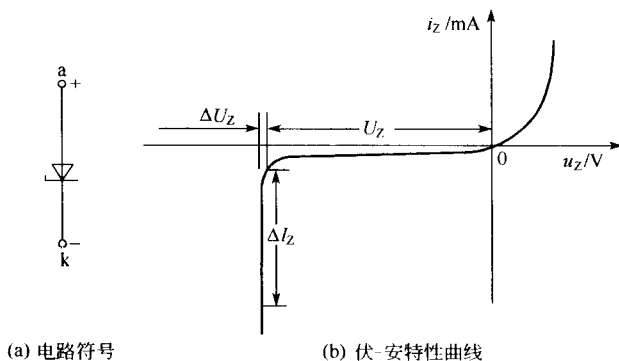


图 1-7 稳压管的电路符号及伏安特性

2. 光电二极管

光电二极管的 PN 结可以接收外部的光照。PN 结工作在反向偏置状态下，其反向电流随光照强度的增加而上升。图 1-8 (a) 是光电二极管的代表符号，图 (b) 是它的等效电路，而图 (c) 则是它的特性曲线。其主要特点是，反向电流与照度成正比，灵敏度的典型值为 $0.1\mu\text{A}/\text{l x}$ 数量级 (l x 即勒克斯，为照度的单位)。

光电二极管可用来作为光的测量，是将光信号转换为电信号的常用器件。在自动控制和检测系统中应用广泛。

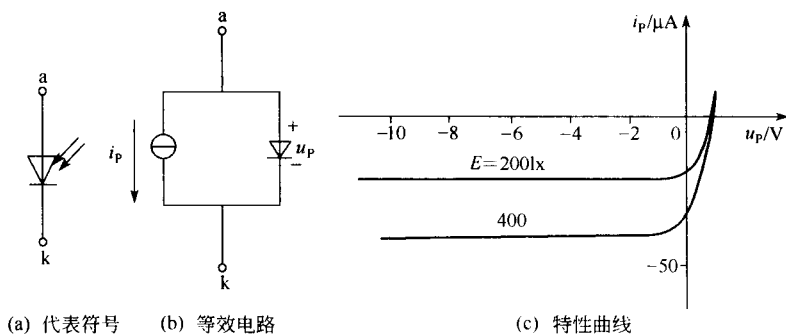


图 1-8 光电二极管

图 1-9 发光二极管符号

3. 发光二极管

发光二极管在正向导通时会发出可见光，这是由于电子与空穴直接复合而放出能量的结果。它的 PN 结通常用元素周期表中 III、V 族元素的化合物，如砷化镓、磷化镓等制成，可发出红、黄、蓝等颜色的光，作为显示器件使用，工作电流一般为几个毫安至十几毫安之间。图 1-9 表示发光二极管的电路符号。

发光二极管的另一重要用途是将电信号变为光信号，通过光缆传输，然后再用光电二极管接收，再现电信号。

四、半导体器件型号命名方法

半导体器件的型号由五部分组成（如图 1-10 所示）。一些特殊器件的型号只有第三、四、五部分而没有第一二部分（如场效应管、复合管、激光器件等）。

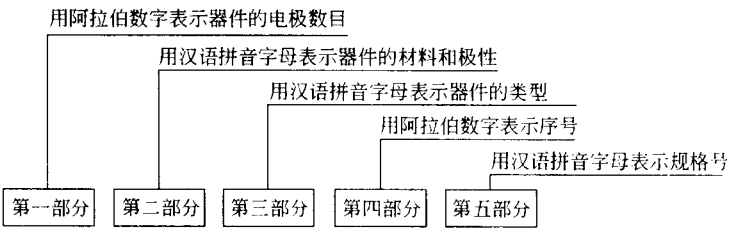


图 1-10 半导体器件的命名方法

如 2AP9 表示 N 型锗材料普通二极管；2CK84 表示 N 型硅材料开关二极管；3AX81 表示 PNP 型低频小功率三极管；3DD303C 表示 NPN 型低频大功率三极管（C 为区别代号）。部分二极管的型号意义和参数如表 1-1 至表 1-4。

一些国际通用元器件的型号命名方式与国产的型号差别很大。更详细的内容可查阅有关电子元器件手册。

表 1-1 半导体器件型号中的字母含义

第二部分		第三部分			
字母	意义	字母	意义	字母	意义
A	N 型 锗材料	P	普通管	D	低频大功率管 ($f < 3\text{MHz}$, $P_c \geq 1\text{W}$)
B	P 型 锗材料	V	微波管		
C	N 型 硅材料	W	稳压管	A	高频大功率管 ($f \geq 3\text{MHz}$, $P_c \geq 1\text{W}$)
D	P 型 硅材料	C	参量管		
A	PNP 型 锗材料	Z	整流器	T	半导体闸流管(可控整流器)
B	NPN 型 锗材料	L	整流堆	Y	体效应器件
C	PNP 型 硅材料	S	隧道管	B	雪崩管
D	NPN 型 硅材料	N	阻尼管	J	阶跃恢复管
E	化合物材料	U	光电器件	CS	场效应器件
		K	开关管	BT	半导体特殊器件
		X	低频小功率管 ($f < 3\text{MHz}$, $P_c < 1\text{W}$)	PIN	PIN 型管
				FH	复合管
		G	高频小功率管 ($f \geq 3\text{MHz}$, $P_c < 1\text{W}$)	JG	激光器件

表 1-2 2AP 系列检波二极管

参 数 型号	最大整流电流	最高反向工作电压 (峰值)	反向击穿电压 (反向电流为 400 μA)	正向电流 (正向电压为 1V)	反向电流(反向电压分别为 10V, 100V)	最高工作频率	极间电容
	mA	V	V	mA	μA	MHz	pF
2AP1	16	20	≥ 40	≥ 2.5	≤ 250	150	≤ 1
2AP7	12	100	≥ 150	≥ 5.0	≤ 250	150	≤ 1

注：2AP 系列为点接触型锗管，在电子设备中作检波和小电流整流用。

表 1-3 2CZ 系列整流二极管

参数 型号	最大整 流电 流	最高反向工作电压(峰值)	最高反向工作电压下的 反向电流(125℃)	正向压降(平 均值)(25℃)	最高工 作频率
	A	V	μA	V	kHz
2CZ52	0.1	25,50,100,200,300,400,500,	1000	≤ 0.8	3
2CZ54	0.5	600,700,800,900,1000,1200,	1000	≤ 0.8	3
2CZ57	5	1400,1600,1800,2000,2200,	1000	≤ 0.8	3
		2400,2600,2800,3000			
1N4001	1	50	5	1.0	
1N4007	1	1000	5	1.0	
1N5401	3	100	5	0.95	

注：该系列整流二极管用于电子设备的整流电路中。

表 1-4 硅稳压二极管

参数 型 号		最大耗散功 率 P_{Zk}/W	最大工作电 流 I_{Zk}/mA	稳定电压 V_Z/V	反向漏电流 $I_R/\mu\text{A}$	正向压降 V_F/V
(1N4370)	2CW50	0.25	83	1~2.8	$\leq 10(V_R=0.5\text{V})$	≤ 1
1N746 (1N4371)	2CW51	0.25	71	2.5~3.5	$\leq 5(V_R=0.5\text{V})$	≤ 1
参数 型 号		最大耗散功 率 P_{Zk}/W	最大工作电 流 I_{Zk}/mA	稳定电压 V_Z/V	反向漏电流 $I_R/\mu\text{A}$	正向压降 V_F/V
1N747-9	2CW52	0.25	55	3.2~4.5	$\leq 2(V_R=0.5\text{V})$	≤ 1
1N750-1	2CW53	0.25	41	4~5.8	≤ 1	≤ 1
1N752-3	2CW54	0.25	38	5.5~6.5	≤ 0.5	≤ 1
1N754	2CW55	0.25	33	6.2~7.5	≤ 0.5	≤ 1
1N755-6	2CW56	0.25	27	7~8.8	≤ 0.5	≤ 1
1N757	2CW57	0.25	26	8.5~9.5	≤ 0.5	≤ 1
1N758	2CW58	0.25	23	9.2~10.5	≤ 0.5	≤ 1
1N962	2CW59	0.25	20	10~11.8	≤ 0.5	≤ 1
(2DW7A)	2DW230	0.2	30	5.8~6.0	≤ 1	≤ 1
(2DW7B)	2DW231	0.2	30	5.8~6.0	≤ 1	≤ 1
(2DW7C)	2DW232	0.2	30	6.0~6.5	≤ 1	≤ 1
2DW8A		0.2	30	5~6	≤ 1	≤ 1

第二节 整流与滤波电路

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 4 部分电路完成，如图 1-11 (a) 所示。图 1-11 (b) 表示各部分对应的输出波形。

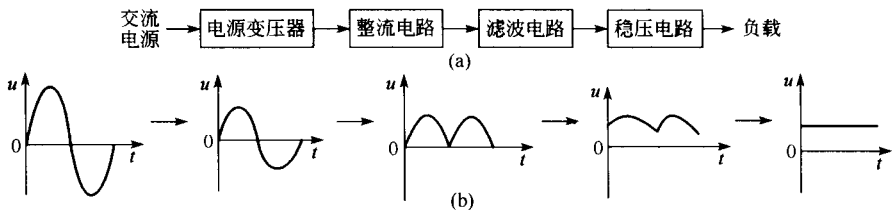


图 1-11 直流电源的组成框图

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起开始分析。

一、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，称为整流。图 1-12 是单相半波整流电路图。

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 1-13 所示。在交流 u_i 的正半周，二极管 VD 正向导通，其导通电压可以忽略不计，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 1-13 看出，交流输入电压只有一半通过整流电路，所以这种整流称为半波整流。

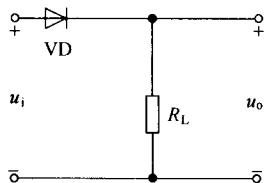


图 1-12 二极管单相半波整流电路

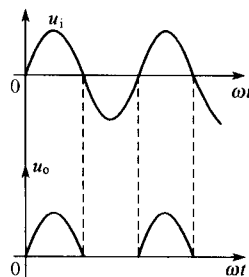


图 1-13 半波整流电路的波形图

整流的过程只是把双向交流电变为单向脉动交流电。

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

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

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

流过负载 R_L 上的直流电流为
$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = \frac{0.45 U_i}{R_L}$$

整流二极管的选择：在图 1-12 中可明显看出，二极管反向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。

二、单相桥式整流电路

图 1-14 为单相桥式整流电路。由图可见，4 个二极管 VD_1 、 VD_2 、 VD_3 、 VD_4 构成电桥的桥臂，在 4 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。

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 1-15。

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 、

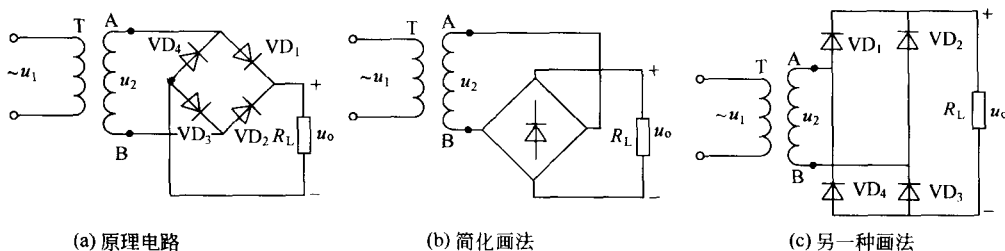


图 1-14 单相桥式整流电路

VD₄ 反偏截止, 电流通路为 A→VD₁→R_L→VD₃→B, 负载 R_L 上电流方向自上而下; 在 u₂ 负半周, A 端为负, B 端为正, 二极管 VD₂、VD₄ 正偏导通, VD₁、VD₃ 反偏截止, 电流通路是 B→VD₂→R_L→VD₄→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 从而达到整流的目的。4 个二极管中, 两个一组轮流导通, 在负载上得全波脉动的直流电压和电流, 如图 1-15 (b)、(c)。所以桥式整流电路称为全波整流电路。

2. 负载上的电压与电流计算

由于单相桥式整流输出波形刚好是两个半波整流的波形, 所以有

$$U_o \approx 0.9U_2$$

流过负载 R_L 的电流

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = \frac{0.9U_2}{R_L}$$

3. 整流二极管的选择

桥式整流中, 每只二极管只有半周是导通的, 流过二极管的电流平均值为负载电流的一半, 即

$$I_V = \frac{1}{2} I_o$$

二极管最大反向电压, 按其截止时所承受的反向峰压

$$U_{RM} = \sqrt{2}U_2 \approx 1.57U_o$$

为了方便地使用整流电路, 利用集成技术, 将硅整流器件按某种整流方式封装制成硅整流堆, 习惯上称为硅堆。

三、滤波电路

经过整流得到的单向脉动直流电, 包含多种频率的交流成分。为了滤除或抑制交流分量以获得平滑的直流电压, 必须设置滤波电路。滤波电路直接接在整流电路后面, 一般由电容、电感以及电阻等元件组成。

(一) 电容滤波

如图 1-16 所示为桥式整流电容滤波电路, 负载两端并联的电容为滤波电容, 利用 C 的充放电作用, 使负载电压、电流趋于平滑。

1. 工作原理

单相桥式整流电路波形如图 1-17 所示, 在不接电容 C 时, 其输出电压波形如图 1-17 (a) 所示。

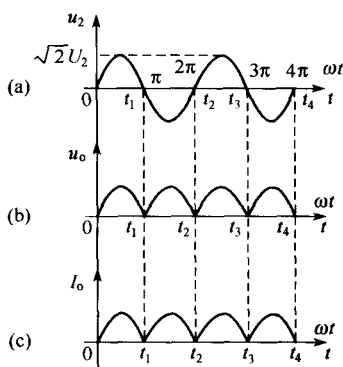


图 1-15 单相桥式整流波形图