

高职高专电类专业规划教材

模拟电子技术

第三版

● 刘海燕 孙建设 主编 王金花 主审



化学工业出版社

高职高专电类专业规划教材

模拟电子技术

(第三版)

刘海燕 孙建设 主编

王金花 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要包括常用电子元器件,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。本书侧重定性分析,突出集成电路的应用,淡化基本单元的理论分析,加强实用电路的案例分析,以培养学生的工程应用能力。

本书可作为高职高专电气、电子、通信类和机电类等专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/刘海燕,孙建设主编. —3版. —北京:
化学工业出版社, 2016.7
ISBN 978-7-122-26909-6

I. ①模… II. ①刘…②孙… III. ①模拟电路-电子
技术-高等职业教育-教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 087557 号

责任编辑:潘新文 张建茹
责任校对:王素芹

装帧设计:张 辉

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:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 12¼ 字数 309 千字 2016 年 9 月北京第 3 版第 1 次印刷

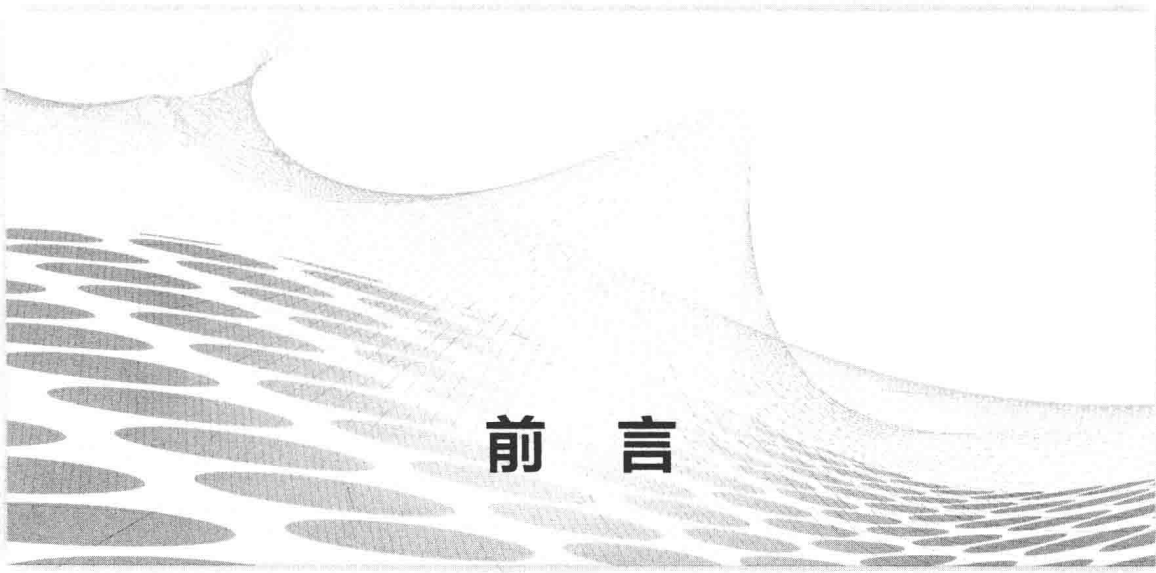
购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

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: 27.00 元

版权所有 违者必究



前言

为适应国家经济发展方式转变和产业结构调整对生产、建设、服务、管理第一线高端技术技能型人才的需求,为满足教育改革和教材建设的需要,实现培养专业基础能力强且具有可持续发展能力、创新意识和一定创新能力人才的教学目标,本书在 2009 年第二版的基础上进行了修订改版。各位编者共同努力,使本版教材紧密结合专业人才培养目标和相关行业规范,注重应用能力的培养,改革理论分析长而深的编写模式,加强“做中学、学中做”的实验、实训内容,在应用能力培养的同时,融合学生综合素质、科学思维方式与可持续发展能力的培养。

本书第三版突出集成电路的应用,淡化半导体器件和集成器件内部结构的学习,简化基本单元电路的理论分析,突出集成器件基本应用电路的讨论,加强实用电路的举例及应用知识的介绍。

在内容上本版以现代电子技术基本知识、基本理论、基本技能为主,侧重定性分析,简化数学推导,力求叙述简明、概念清楚、重点突出、知识实用。

为培养学生的自我学习的能力,本书第三版加强了课后习题量,习题侧重实用电路的分析与设计,用以培养学生的知识应用能力和工程应用能力。

与此同时本版教材对部分章节顺序进行了调整,并增加了负反馈的判断等内容。

本书由刘海燕、孙建设任主编,负责全书的策划和定稿。刘海燕编写绪论及第一章第一节至第五节,并统一全书格式;卢伟编写第一章的第六节、第七节;马蕾编写第二章;任全会编写第三章;吴昕编写第四章;冯笑编写第五章。孙建设负责全书统稿工作。

由于水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者
2016. 2

目 录

绪 论

第一章 常用电子元器件

第一节	半导体和 PN 结	3
第二节	二极管及其应用	5
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 分析实用电路	30
第七节	EWB 技能训练一 认识 EWB 使用介绍	33
本章小结	.....	41
思考题与习题	.....	41

第二章 基本放大电路

第一节	共发射极放大电路	44
第二节	图解分析法	48
第三节	微变等效电路分析法	50
第四节	共集电极放大电路及共基极放大电路	54
第五节	电子电路的稳定措施	60
第六节	多级放大电路	66
第七节	场效应管放大电路	68
第八节	技能训练二 实用电路读图训练	70
第九节	EWB 技能训练二 单管放大电路的仿真测试	73
本章小结	.....	77
思考题与习题	.....	78

第三章 模拟集成电路

第一节	集成运算放大器	80
第二节	集成功率放大器	103
第三节	集成稳压器	109
第四节	技能训练三 实用电路设计与制作	115
第五节	EWB 技能训练三 集成运算放大器的测试	118
第六节	EWB 技能训练四 晶体管串联稳压电路	121
第七节	技能训练四 实用功放电路读图训练	124
本章小结	.....	128
思考题与习题	.....	128

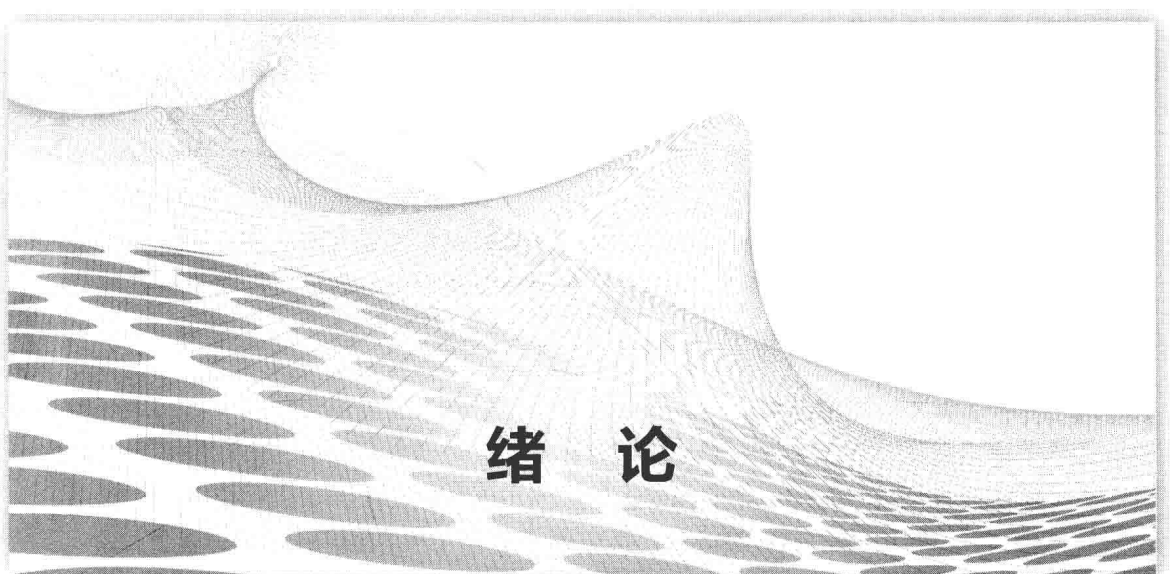
第四章 正弦波振荡器

第一节	振荡器基本原理	134
第二节	RC 正弦波振荡器及 LC 正弦波振荡器	138
第三节	石英晶体振荡器	146
第四节	技能训练五 实用电路设计与制作	149
第五节	EWB 技能训练五 波形发生电路测试	150
本章小结	.....	153
思考题与习题	.....	154

第五章 可控整流电路

第一节	晶闸管	157
第二节	单相可控整流电路	162
第三节	单结晶体管触发电路	167
第四节	可控整流电路实例分析	172
第五节	晶闸管变频电路	174
第六节	技能训练六 高灵敏接触式报警器制作	178
第七节	EWB 技能训练六 晶闸管应用电路	180
第八节	EWB 技能训练七 综合训练	182
本章小结	.....	186
思考题与习题	.....	187

参考文献	189
------------	-----



绪 论

一、电子技术的发展

电子技术的发展共经历了五个阶段：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。借着电子技术的东风，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。

二、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的运动,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,它通过把声音信号转换成同样变化规律的电流信号进行传输。

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。本书在每章中配有技能训练内容,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

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；熟练掌握由半导体构成的基本电子器件二极管、三极管、场效应管的特性、应用、测试以及识别方法。

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。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，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（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。硅、锗原子的外层电子都是四个，它们在组成晶体时，晶体内部结构的组合方式是共价键结构，其简化原子模型如图 1-2 所示，每个价电子受到相邻两个原子核的束缚。

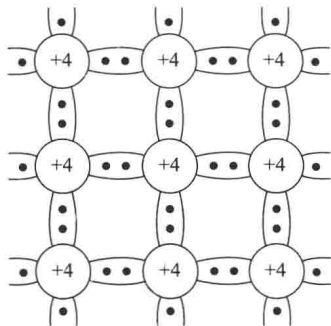


图 1-1 硅或锗晶体的共价键结构示意图

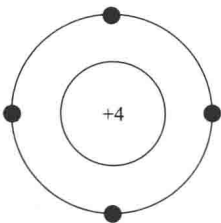


图 1-2 硅和锗的原子结构简化模型

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。利用杂敏的特性，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。

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，空穴为少数载流子。

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。

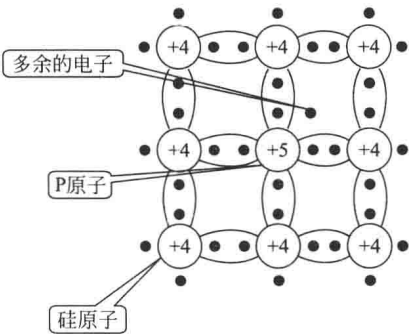


图 1-3 N 型半导体结构

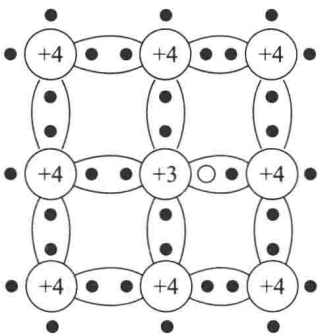


图 1-4 P 型半导体结构

二、PN 结及其特性

1. PN 结的形成

如果在—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 1-5（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 1-5（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达到动态平衡。这样就形成了有一定厚度的 PN 结。

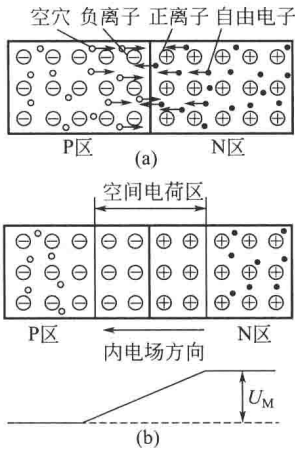


图 1-5 半导体 PN 结形成

2. PN 结的特性

当 PN 结外加上正向电压（称为正向偏置）时，如图 1-6（a）所示，由于内电场被削弱，则形成较大的扩散电流，呈现较小的电阻，相当于导通状态；若加上反向电压（称为反向偏置），如图 1-6（b）所示，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），呈现较大的电阻，处于截止状态。这就是 PN 结的重要特性——单向导电性。

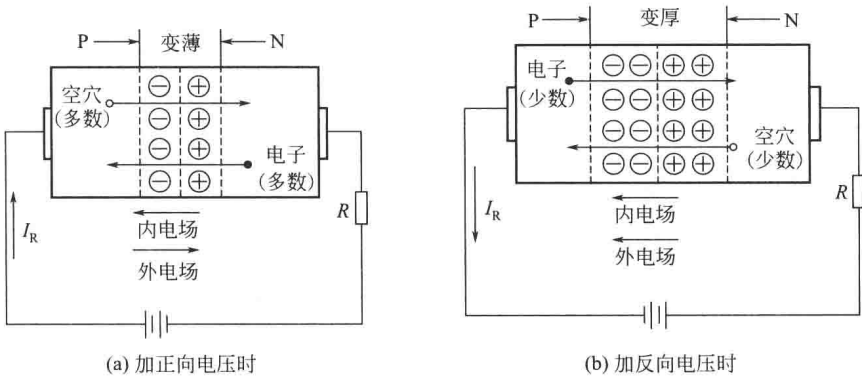


图 1-6 PN 结的单向导电性

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，其外形和符号如图 1-7 中的（a）和（b）所示。

二极管有两个电极：与 P 区相连为正极，与 N 区相连的为负极。正极或称为阳极，用字母 A 表示，负极或称为阴极，用字母 K 表示。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。

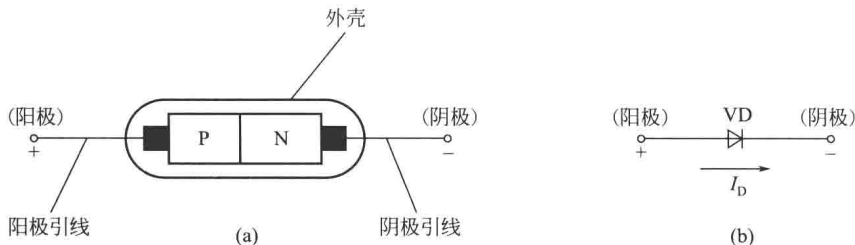


图 1-7 二极管的符号和结构

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 中的所示。

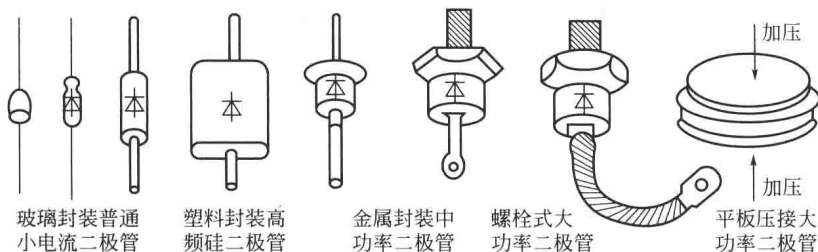


图 1-8 二极管的外形

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。

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，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。

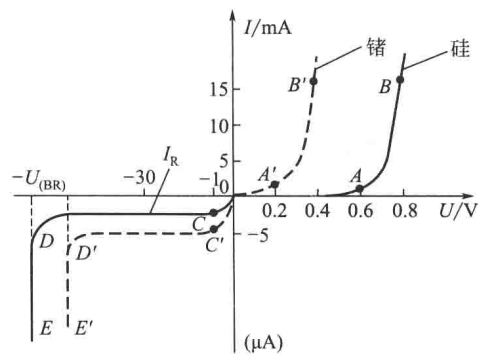


图 1-9 二极管的伏安特性曲线

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。

(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”；如图 1-9 的 OA 段。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 ~

0.7V, 锗管 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, 如图 1-9 中 B 点以后的线段所示。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), 如图 1-9 的 OC 段, 反向电压 0 至 -1V 范围内, 反向电流随反向电压增大而增大, 当反向电压小于 -1V 时, 反向电流趋于饱和, 如图 1-9 的 CD 段。反向电流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, 如图 1-9 的 DE 段所示, 这种状态称为击穿。发生击穿时的电压 U_{ER} 为反向击穿电压, 对于点接触型二极管的 U_{ER} 为数十伏, 面接触二极管为数百伏, 最高可达几千伏。

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} 当外加反向电压低于 U_{BR} 时, 二极管处于反向截止区, 反向电压几乎为零。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, 稳压电源组成及各部分对应的输出波形。

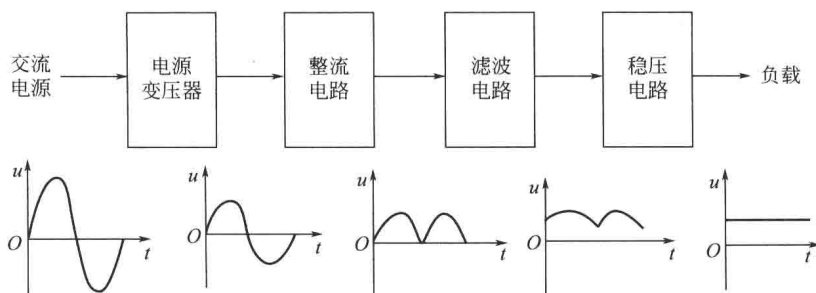


图 1-10 直流电源的组成框图

图 1-10 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，称为整流。图 1-11 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 1-12 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 1-12 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。整流的过程只是把双向交流电变为单向脉动交流电。

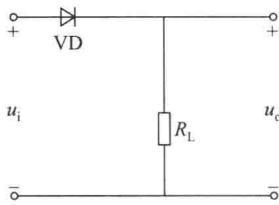


图 1-11 二极管单相半波整流电路

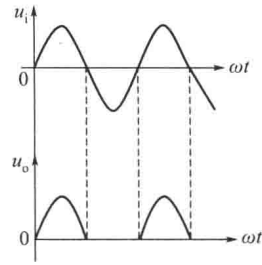


图 1-12 半波整流电路的波形图

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：

$$U_O = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_i \approx 0.45 U_i$$

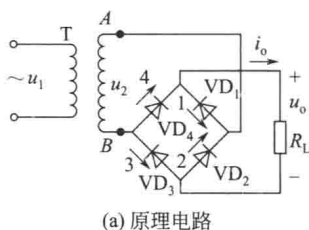
流过负载 R_L 上的直流电流为：

$$I_O = \frac{U_O}{R_L} = \frac{0.45 U_i}{R_L}$$

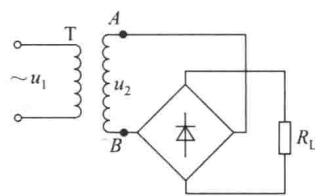
整流二极管的选择：在图 1-12 中可明显看出，二极管反向时承受的最高电压是 u_i 的峰值电压 $\sqrt{2} U_i$ ，承受的平均电流等于 I_O 。实际选用二极管时，还要将这两个值乘以 (1.5~2) 倍的安全系数，再查阅电子元器件手册选取合适的二极管。

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。



(a) 原理电路



(b) 简化画法

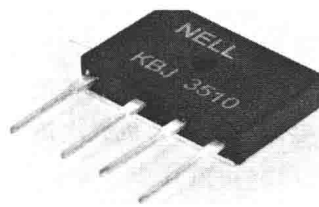
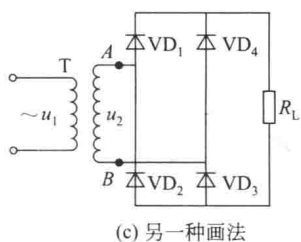


图 1-13 单相桥式整流电路

注：图 1-13 (a) 中 1、2、3、4 分别表示电流 i_{VD1} 、 i_{VD2} 、 i_{VD3} 、 i_{VD4} 。

(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 (a) 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_2 、 VD_4 正偏导通， VD_1 、 VD_3 反偏截止，电流通路是 $B \rightarrow VD_2 \rightarrow R_L \rightarrow VD_4 \rightarrow A$ 。同样，负载 R_L 上电流 i_o 方向自上而下，波形图如图 1-14 (d) 所示。

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负载 R_L 从而达到整流的目的。四个二极管中，两个一组轮流导通，在负载 R_L 上得全波脉动的直流电压 u_o 和电流 i_o ，如图 1-14 (b)、(c)。所以桥式整流电路称为全波整流电路。

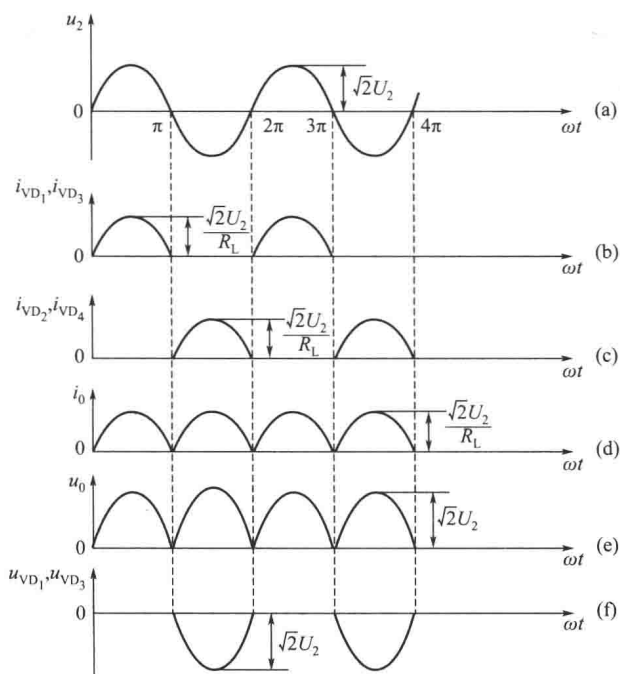


图 1-14 单相桥式整流波形图

(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, 每只二极管在一个周期内只有半周是导通的, 因此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, 为其截止时所承受的反向峰压, 如图 1-14 (f) 所示。其反向电压大小为:

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

图 1-14 中仅画出了 VD_1 、 VD_3 管截止时承受的反向电压波形, VD_2 、 VD_4 管与 VD_1 、 VD_3 交替截止, 读者可试着自己画出 VD_2 、 VD_4 管截止时承受反向电压的波形图。

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, 如图 1-13 (d) 所示。

3. 滤波电路

经过整流得到的单向脉动直流电中还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。

(1) 电容滤波 如图 1-15 所示为单相桥式整流电容滤波电路, 负载两端并联的电容 C 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, 在不接电容 C 时, 其输出电压波形如图 1-16 (a) 所示。

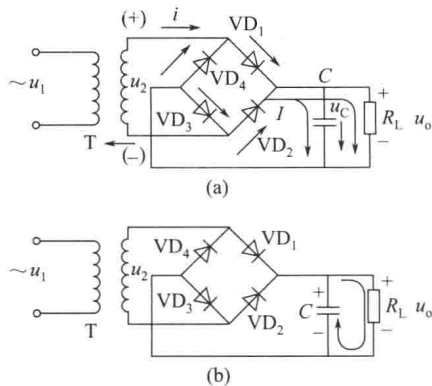


图 1-15 单相桥式整流电容滤波电路

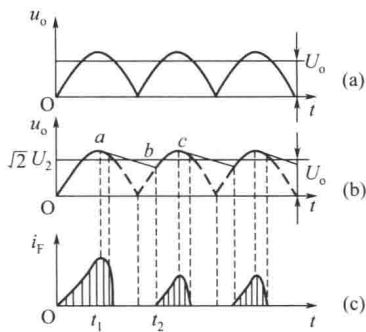


图 1-16 单相桥式整流电容滤波波形

接上电容器 C 后, 在输入电压 u_2 正半周: 二极管 VD_1 、 VD_3 在正向电压作用下导通, VD_2 、 VD_4 反偏截止, 如图 1-15 (a)。整流电流 I 分为两路, 一路向负载 R_L 供电, 另一路向 C 充电, 因充电回路电阻很小, 充电时间常数很小, C 被迅速充电, 如图 1-16 (b) 中的 oa 段。到 t_1 时刻, 电容器上电压 $u_C \approx \sqrt{2}U_2$, 极性上正下负。 $t_1 \sim t_2$ (a 点对应 t_1 时刻; b 点对应 t_2 时刻) 期间, $u_2 < u_C$, 二极管 VD_1 、 VD_3 受反向电压作用截止。电容 C 经 R_L 放电, 放电回路如图 1-15 (b) 所示。因放电时间常数 $\tau_{放} = R_L C$ 较大, 故 u_C 只能缓慢下降, 如图 1-16 (b) 中 ab 段所示。期间, u_2 负半周到来, 也迫使 VD_1 、 VD_3 反偏截止, 直到 t_2 时刻 u_2 上升到大于 u_C 时, VD_1 、 VD_3 才导通, C 再度充电至 $u_C \approx \sqrt{2}U_2$, 如图 1-16 (b) 中 bc 段。而后, u_2 又按正弦规律下降, 当 $u_2 < u_C$ 时, VD_1 、 VD_3 反偏截止, 电容器又经 R_L

放电。电容器 C 如此反复地充放电，负载上便得到近似于锯齿波的输出电压。

接入滤波电容后，二极管的导通时间变短，如图 1-16 (c) 所示。负载平均电压升高，交流成分减小。电路的放电时间常数 $\tau = R_L C$ 越大， C 放电过程就越慢，负载上得到的 u_O 就越平滑。

② 滤波电容的选择 根据前面分析可知，电容 C 越大，电容放电时间常数 $\tau = R_L C$ 越大，负载波形越平滑。一般情况下，桥式整流可按下式来选择 C 的大小，式中 T 为交流电周期。

$$R_L C \geq (3 \sim 5) \frac{T}{2}$$

滤波电容一般都采用电解电容，使用时极性不能接反。电容器耐压应大于 $\sqrt{2}U_2$ ，通常取 $(1.5 \sim 2) U_2$ 。

此时负载两端电压依经验公式得：

$$U_O = 1.2 U_2$$

【例 1-1】桥式整流电容滤波电路，要求输出直流电压 30V，电流 0.5A，试选择滤波电容的规格，并确定最大耐压值。（交流电源 220V，50Hz）。

解：由于 $R_L C \geq (3 \sim 5) \frac{T}{2}$

$$C \geq \frac{5T}{2R_L} = 5 \times \frac{0.02}{2 \times 30/0.5} = 830 \times 10^{-6} \text{F} = 830 \times 10^{-6} \text{F} = 830 (\mu\text{F})$$

$$\text{其中：} T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50\text{Hz}} = 0.02\text{s}$$

$$R_L = \frac{U_O}{I_O} = \frac{30\text{V}}{0.5\text{A}} = 60 (\Omega)$$

取电容标称值 $1000\mu\text{F}$ ，由经验公式 $U_O = 1.2 U_2$ 得： $U_2 = \frac{U_O}{1.2} = \frac{30}{1.2} = 25 (\text{V})$

电容耐压为 $(1.5 \sim 2) U_2 = (1.5 \sim 2) \times 25 = 37.5\text{V} \sim 50\text{V}$

最后确定选 $1000\mu\text{F}/50\text{V}$ 的电解电容器一只。

(2) 电感滤波电路 电容滤波在大电流工作时滤波效果较差，当一些电气设备需要脉动小，输出电流大的直流电时，往往采用电感滤波电路，见图 1-17 (a)。

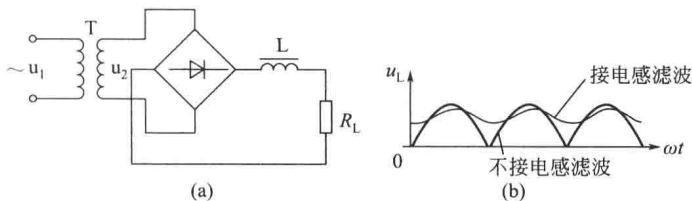


图 1-17 电感滤波电路

电感元件具有通直流阻碍交流的作用，整流输出的电压中直流分量几乎全部加在负载上，交流分量几乎全部降落在电感元件上，负载上的交流分量很小。这样，经过电感元件滤波，负载两端的输出电压脉动程度大大减小，如图 1-17 (b) 所示。

不仅如此，当负载变化引起输出电流变化时，电感线圈也能抑制负载电流的变化，这是因为电感线圈的自感电动势总是阻碍电流的变化。