



普通高等教育“十二五”规划教材

电子电气基础课（研究型系列）

电子技术

吴玉蓉 李 海 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

电子技术

主编 吴玉蓉 李 海
编写 祁玉兰 薛 勇
主审 朱承高



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材，与李海等编著的《21 世纪高等学校规划教材 电工技术》为配套教材。

本书既涵盖了教学基本要求所规定的全部内容，又增添了一些拓宽和加深的內容，可满足非电类各专业的不同教学需求。全书主要包括常用半导体元器件、基本放大电路、集成运算放大器及其应用、数字电路的数学基础、门电路及组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、存储器和可编程逻辑器件、模拟量和数字量的转换、信号发生器与变换电路、电力电子技术基础等。

本书可作为高等院校本科非电类各专业的电子技术课程教材，也可供从事相关工作的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术/吴玉蓉, 李海主编. —北京: 中国电力出版社, 2012. 7

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-3312-3

I. ①电… II. ①吴… ②李… III. ①电子技术-高等学校-教材 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 162697 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005) [http: //www. cepp. sgcc. com. cn](http://www.cepp.sgcc.com.cn)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

* *

2012 年 7 月第一版 2012 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21 印张 516 千字

定价 37.80 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前言

近代科学技术发展的特点是继承、积累以及多种学科成果综合。前者体现在继承前人的知识、经验和成果的基础上向前发展；而后者是依靠和综合多种学科的成果，将多种技术结合起来实现科学技术的飞跃或更快的发展。多种学科成果综合离不开现代仪器、机器，现代仪器、机器多采用多种先进技术形式综合集成，根本上是电工电子技术的集成。在今天，无论从事何种职业，都离不开电工电子知识和技能。

人们在生活、学习和生产实践中，对电工电子技术知识的需求正日益广泛。为了适应社会需求和教学改革的需要，以教育部最新颁布的高等学校工科本科基础课程——电工学的教学基本要求作为依据，编写了这本《电子技术》，它与李海等编著的《电工技术》既可配套使用，也可单独使用。

本书编写的指导思想是，在内容上考虑到电子信息技术的迅速发展及其在非电类专业越来越广泛的应用，编写时既涵盖了教学基本要求所规定的全部内容，又增添了一些拓宽和加深的内容，以便满足非电类各专业的需要；在阐述上由浅入深，循序渐进，使之符合人们认识客观事物的规律，便于自学；适当反映了现代科学技术发展的新成就，并注意加强知识的综合和系统的概念，力求保证基础、体现先进、加强应用，处理好基础性、先进性和应用性的关系。在体系上注意各部分章节的有机联系，加强了各主要部分内容的逻辑性，便于读者应用和科技创新能力的培养。

本书的特点是精选内容保基础，跟踪前沿新技术，面向实际重应用，突出能力的培养。本书具有足够大的信息量，能为教师提供丰富的教学内容和各类不同学时对内容取舍的选择余地，也有利于开拓学生眼界和思路，有助学生自学。在内容组织上采用模块化的方式，各模块既具有其独立性又注意不同组合时模块间的逻辑衔接关系，以满足不同专业的需要。

本书的内容除涵盖全部教学基本要求外，还充分考虑培养面向 21 世纪人才所必须具备的基础扎实、知识面宽、能力强和素质高的特点。为此，编者注意到以下几点：

(1) 重点保证“三基”，即基本理论、基本知识和基本技能方面的内容，从分立元件入手，建立概念，而重点分析放在集成电路。加强基本分析方法和集成电路芯片的使用，注重“三基”的培养和训练。

(2) 尽可能反映现代电子技术的新成果、新技术，如电力电子技术章节的设置、变频技术的介绍以及增加了磁盘存储器和光盘存储器等内容，使教材的内容尽可能跟上时代发展的步伐。

(3) 突出电子技术的应用知识，主要体现在两个方面：①从应用角度出发，重点介绍各种常用集成电路芯片的功能和使用方法；②与计算机应用相适应，加强接口电路的内容，如电压比较器，数/模、模/数转换器等。

(4) 为了便于教与学，书中配有多种类型的例题和习题。例题是联系实际的典型例子，用来巩固基本知识和扩展基本内容，多数不必讲述，让学生自学理解。各章的习题大致可分

为三种类型：一是在“基本要求”范围内的习题，用于加强概念，理解、掌握“基本要求”的内容；二是较难题，用于加深理解，起到举一反三之功用；三是接近实际的应用题，用于开阔学生视野，掌握实际应用知识。

本书由武汉纺织大学吴玉蓉和武汉大学李海主编，全书由李海组织、统稿。其中第1、3、9、10章由李海编写，第2、4、6、7章及附录由吴玉蓉编写，第5章由祁玉兰编写，第8章由薛勇编写。上海交通大学朱承高教授担任本书主审。本书编写参考和引用了许多同仁的优秀成果，在此对参考资料和成果原作者表示衷心感谢。

由于编者学识水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，恳请使用本书的教师、学生以及其他读者批评指正。

编 者

2012年7月



目 录

前言

1 常用半导体元器件	1
1.1 PN 结	1
1.2 半导体二极管及应用	4
1.3 双极晶体管	10
1.4 绝缘栅型场效应晶体管	15
1.5 半导体光电器件	20
习题	22
2 基本放大电路	24
2.1 基本放大电路的组成	24
2.2 放大电路分析	28
2.3 CC 和 CB 放大电路分析	41
2.4 场效应晶体管放大电路	50
2.5 多级放大电路	54
习题	65
3 集成运算放大器及其应用	71
3.1 集成运算放大器的基本概念	71
3.2 放大电路中的负反馈	75
3.3 集成运算放大器在信号运算方面的应用	82
3.4 集成运算放大器在信号处理方面的应用	96
3.5 集成运算放大器的选择和使用	105
习题	107
4 数字电路的数学基础	112
4.1 数制与编码	112
4.2 逻辑代数	114
4.3 逻辑定理与规则	118
4.4 逻辑函数的表示方法	120
4.5 逻辑函数的化简	123
习题	128
5 门电路及组合逻辑电路	130
5.1 数字信号及晶体管的开关特性	130
5.2 逻辑门电路	133
5.3 组合逻辑电路的分析与设计	142
5.4 数字集成组合逻辑电路	144
习题	158

6 触发器和时序逻辑电路	162
6.1 触发器	162
6.2 时序逻辑电路的分析方法	175
6.3 寄存器	176
6.4 计数器	180
6.5 顺序脉冲分配器	193
习题	196
7 存储器和可编程逻辑器件	200
7.1 存储器	200
7.2 可编程逻辑器件	209
7.3 复杂可编程逻辑器件和现场可编程门阵列	221
习题	222
8 模拟量和数字量的转换	226
8.1 D/A 转换器	226
8.2 A/D 转换器	234
习题	242
9 信号发生器与变换电路	245
9.1 正弦波振荡器	245
9.2 555 定时器	250
9.3 多谐振荡器	251
9.4 单稳态触发器	259
9.5 施密特触发器	261
习题	264
10 电力电子技术基础	268
10.1 电力电子器件	268
10.2 晶闸管的触发电路	273
10.3 整流与滤波电路	276
10.4 直流稳压电源 (DC - DC)	285
10.5 逆变电路 (DC - AC)	294
习题	298
附录 A 半导体器件型号命名方法 (GB 249—1989)	302
附录 B 常用半导体器件型号和参数	304
附录 C 半导体集成电路型号命名方法 (GB 3430—1989)	306
附录 D 常用半导体集成电路型号和参数	308
附录 E 常用集成门电路图形符号对照表	310
部分习题答案	311
参考文献	329



1 常用半导体元器件

半导体元器件是现代电子技术的重要组成部分,是构成各种电子电路的核心。常用的半导体器件有二极管、双极晶体管、场效晶体管等。半导体元器件由半导体材料制成,因此,学习电子技术应首先了解半导体材料的特性,这将有助于对半导体元器件的学习、掌握和应用。

1.1 PN 结

1.1.1 半导体的导电特性

导电能力介于导体与绝缘体之间的物质称为半导体,这类材料大多是三、四、五价元素,主要有硅、锗、磷、硼、砷、镓等,它们的电阻率为 $10^{-3} \sim 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

半导体材料的广泛应用,并不是因为它们的导电能力介于导体与绝缘体之间,而是它们具有一些更重要的特性:

(1) 热敏特性。金属的电阻率随温度的变化很小,半导体的导电能力对温度变化反应灵敏,电阻率随温度升高而显著降低。例如,锗在温度从 20°C 升高到 30°C 时,其电阻率就要降低一半左右。利用这种特性可以制成各种半导体热敏元件,用来检测温度变化。

(2) 光敏特性。半导体的导电能力对光照敏感,光照可使半导体的电阻率显著减小。利用这种特性可以制成各种光敏元件。

(3) 掺杂特性。若在本征半导体中加入微量的杂质(不同的半导体),其导电能力可增加几十万乃至几百万倍。例如在硅中掺入 1% 的硼后,硅的电阻率会从 $21 \times 10^8 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 降到 $4 \times 10^3 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 左右。利用这种特性可制成半导体二极管、双极晶体管、场效应晶体管及晶闸管等各种不同用途的半导体器件。

一、半导体的导电机理

物质的导电是靠物体内部带电粒子的移动而实现的,这种粒子称作载流子。在物理学中已经知道,半导体中的载流子有两种,即自由电子($\bullet$)和空穴($\circ$)。

化学成分绝对纯净的半导体材料称为本征半导体。本征半导体在热或光的激发(称为本征激发)下将成对地产生自由电子和空穴,故称电子空穴对。本征激发产生的载流子数量很少,其浓度取决于本征激发的强度。所以,本征半导体的导电能力很弱。

半导体中两种载流子同时参与导电是半导体导电方式的最大特点,也是半导体和金属在导电原理上的本质区别。

半导体在外加电场作用下,其内部出现两部分电流,即自由电子作定向移动而形成的电子流和仍被原子核束缚的价电子递补空穴而形成的空穴流。

二、N 型和 P 型半导体

若在四价元素中掺入微量三价或五价元素(杂质),这种掺杂后得到的半导体称杂质半导体。根据掺入的杂质不同,杂质半导体分为 N 型和 P 型两大类。

(1) N 型半导体。若在四价的硅（或锗）晶体中掺入少量五价元素磷（P），晶体点阵中磷原子就会占据某些硅原子原来的位置，如图 1-1 所示。磷原子中的 5 个价电子只有 4 个能够与相邻的硅原子组成共价键结构，余下的一个电子因不受共价键的束缚，容易挣脱磷原子核的束缚而成为自由电子。于是自由电子数剧增，自由电子成为这种半导体的主要导电粒子，故称其为电子型半导体，自由电子带负电荷（Negative），故命名为 N 型半导体。N 型半导体中，由于自由电子数远大于空穴数，我们把数目多的载流子称多数载流子（简称多子），数目少的载流子称少数载流子（简称少子）。可见在 N 型半导体中，自由电子是多数载流子，空穴是少数载流子。

(2) P 型半导体。若在硅（或锗）的晶体中掺入三价元素硼（B），由于硼原子只有 3 个价电子，因而在组成共价键结构时，因缺少一个价电子而多出一个空穴，如图 1-2 所示。于是空穴数目大量增加，空穴成为这种半导体的主要导电粒子，故称它为空穴型半导体，空穴带正电荷（Positive）。故命名为 P 型半导体。在 P 型半导体中，空穴为多子，自由电子为少子。

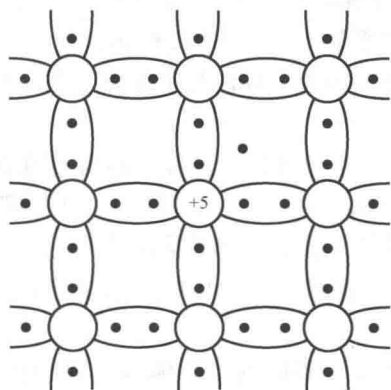


图 1-1 N 型半导体的共价键结构

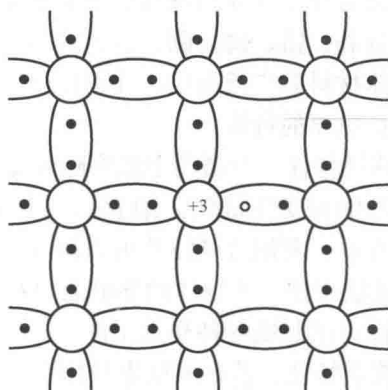


图 1-2 P 型半导体的共价键结构

1.1.2 PN 结的形成

虽然 P 型和 N 型半导体的导电能力比本征半导体增强了许多，但不能直接用来制造半导体器件。通常采用一定的工艺手段，在一块晶片的两边扩散不同的杂质，分别形成 P 型半导体和 N 型半导体，在它们的交界面处就会形成 PN 结，PN 结是构成各种电子器件的最基本的积木块。它是现代电子技术迅速发展的物质基础。

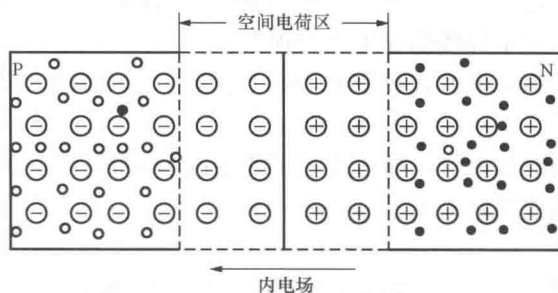


图 1-3 PN 结的形成

在交界面两边同类载流子出现很大的浓度差，在浓度差的作用下，多数载流子从高浓度区域向低浓度区域扩散。载流子扩散到彼区，与那里的异性载流子中和而消失，在交界处两侧附近留下不能移动的带电离子，从而形成一层很薄的空间电荷区，如图 1-3 所示。这空间电荷区称为 PN 结。空间电荷区的载流子已中和而消失了，因此又称空间电荷区叫耗尽层。

空间电荷区将产生一个内电场，其方向由 N 区指向 P 区。该电场阻碍多数载流子的扩散，同时推动少数载流子（P 区的电子和 N 区的空穴）越过空间电荷区进入对方区域，这种载流子在电场作用下产生的运动称为漂移运动。漂移运动使交界面两侧 P 区和 N 区由于扩散运动而失去的空穴和电子得到一些补充。

由此可见，PN 结的形成过程中存在着两种载流子的运动：一种是多数载流子因浓度差而产生的扩散运动；一种是少数载流子在电场作用下产生的漂移运动。

载流子的扩散与漂移运动是一对相伴而存在的一对矛盾。在一定的条件下二者达到动态平衡，于是 PN 结就处于相对稳定状态。

1.1.3 PN 结的单向导电性

一、PN 结的导通与截止

由于空间电荷区中的载流子极少，故 PN 结的电阻很大。PN 结电阻的大小与空间电荷区的厚度有关，厚度越厚电阻越大，反之则越小。当 PN 结呈现低电阻值称为 PN 结导通，反之，称为截止。

在实用中，为了改变、控制 PN 结的厚度，以改变、控制电阻的大小，常在 PN 结上施加一定的外加电压，此称为给 PN 结施加偏置电压，简称偏置。

如图 1-4 (a) 所示电路，在 PN 结 P 区接电源正极，N 区接电源负极，称为 PN 结外加正向电压，又叫正向偏置。PN 结正向偏置时，外电场与内电场方向相反，从而削弱了内电场，使得空间电荷区的宽度减小，多数载流子的扩散运动容易进行，形成较大的扩散电流，这时 PN 结处于导通状态。此时少数载流子的漂移运动减弱。所以在外加正向电压的 PN 结中，扩散电流占主导地位，PN 结呈现的电阻很低，在外电路中形成较大的流入 P 区的正向电流 I_F 。

若将 PN 结 N 区接电源正极，P 区接电源负极，称为 PN 结外加反向电压，又叫反向偏置，如图 1-4 (b) 所示。PN 结反向偏置时，外电场与内电场方向相同，使得空间电荷区变宽，内电场增强，多数载流子的扩散运动难以进行，仅有少数载流子的漂移形成的数值很小的反向电流 I_R ，又因少数载流子数目取决于本征激发（如温度）的强度，在一定温度下，反向电流几乎与外加电压的大小无关，故称为反向饱和电流，用 I_s 表示。PN 结反向偏置时，PN 结呈现很高的反向电阻，故处于截止状态。

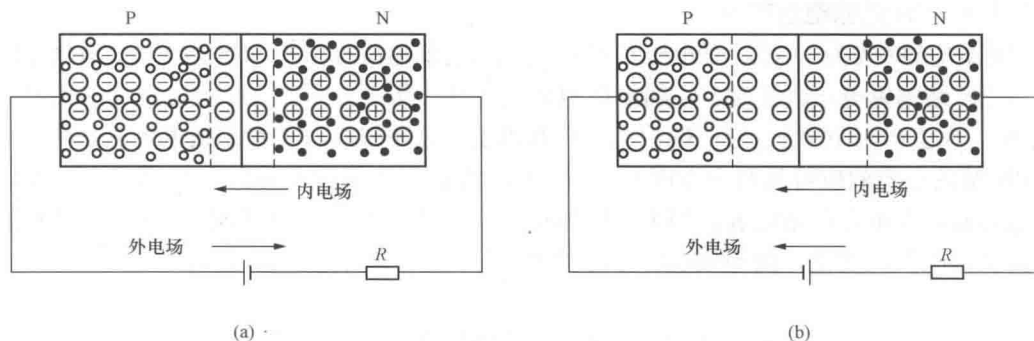


图 1-4 PN 结单向导电特性
(a) PN 结的正偏；(b) PN 结的反偏

总之，外加正向电压时，PN 结电阻很低，正向电流很大，PN 结处于导通状态；外加

反向电压时,结电阻很高,反向电流很小,PN结处于截止状态。PN结只有在正偏时才能导通的特性称PN结的单向导电特性。特别强调的是:截止并不意味着电流为零,此时有少数载流子的漂移而形成反向饱和电流。

二、PN结的伏安特性

PN结的单向导电性可用伏安特性曲线直观地描述,如图1-5所示。其伏安特性分为正向特性、反向特性和反向击穿特性三部分。

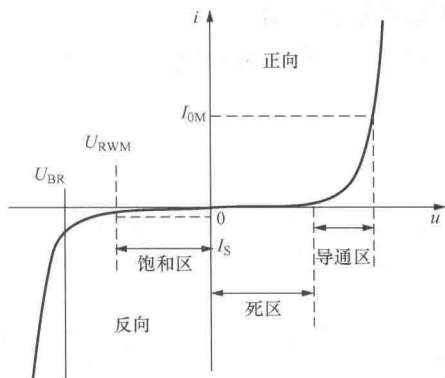


图 1-5 PN 结的伏安特性

(1) 正向特性。当外加正向电压较低时,由于外电场还不足以克服PN结内电场对多数载流子扩散运动的阻力,因此,这时的正向电流近似为零,呈现较大的电阻。这一段曲线称为PN结的死区,正向电流为零的最大正向电压称为死区电压,其数值与材料及环境温度有关,硅半导体的死区电压约为0.5V,锗半导体的死区电压约为0.2V。

当正向电压超过死区电压后,内电场被大大削弱,PN结的电阻变得很小,正向电流迅速增加,这时PN结真正导通。由于这段特性很陡,在正常工作范围内,正向电压变化很小,硅半导体的正向导通压降约为0.6~0.7V,锗半导体的正向导通压降约为0.2~0.3V,当电流较小时取下限值,当电流较大时取上限值。

(2) 反向特性。当PN结上加反向电压时,少数载流子的漂移运动形成很小的反向饱和电流。反向电流具有正温度特性,即随温度的升高而增大;在一定电压范围内,反向电流的大小基本恒定,故称为反向饱和电流。

(3) 反向击穿特性。当外加反向电压过高时,反向电流突然增大,PN结失去单向导电性,这种现象叫作PN结的反向击穿。产生击穿时的反向电压称为反向击穿电压。

如果PN结击穿后只要外加电压减小即可恢复常态,则称为电击穿。PN结发生电击穿后,若不限制反向电流,将会使PN结温度升高。结温升高会使反向电流继续增大,形成恶性循环,最终造成PN结因过热而烧毁,这种情况称为热击穿。PN结热击穿后便会失去单向导电性而永久性损坏。

1.1.4 PN结的电容效应

电容效应的表现为,电容上的电压变化时,电容器存储电荷的增减,即电容器的充放电过程。

当PN结偏置电压改变时,空间电荷也随之改变。因此,PN结有电容效应。用结电容 C_j 表示。不过PN结的结电容一般很小,只有当工作频率很高时才考虑结电容的作用。

PN结的电容效应可从两个方面来理解:PN结是一个空间电荷区,相当于一个充电的平板电容器,此电容称结电容;当PN结加正向偏置电压时,多数载流子要进行扩散运动,于是将引起电荷的变化,此等效电容称为扩散电容。

1.2 半导体二极管及应用

1.2.1 基本结构及分类

半导体二极管是由一个PN结、电极引出线和外壳构成的,P区一侧引出的电极称为阳

极，N 区一侧引出的电极称为阴极，常用二极管的外形图如图 1-6 所示。半导体二极管有很多类型。按材料的不同，二极管可分为硅管和锗管两种；按内部结构的不同，二极管又可分为点接触型、面接触型和平面型等。

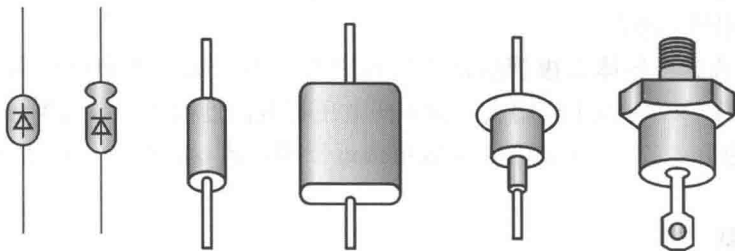


图 1-6 半导体二极管外形图

(1) 点接触型二极管结构如图 1-7 (a) 所示。它由三价金属铝的触丝与锗结合构成 PN 结。其特点是 PN 结的结面积很小，因而结电容小，适用于高频（几百兆赫兹）电路，但不能通过较大的电流，也不能承受高的反向电压，主要用于高频检波和开关电路。

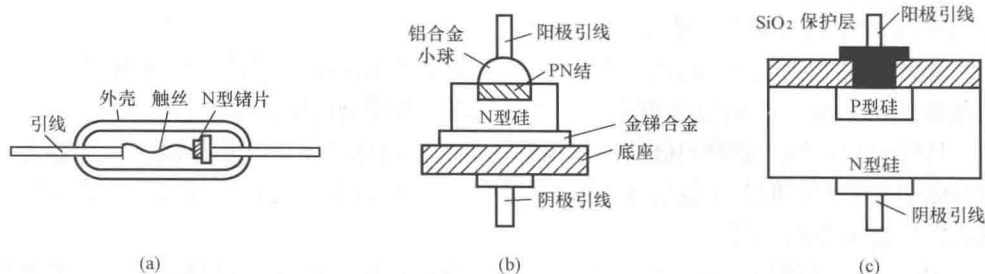


图 1-7 二极管的结构

(a) 点接触型；(b) 面接触型；(c) 平面型

(2) 面接触型二极管结构如图 1-7 (b) 所示。PN 结是用扩散法或合金法做成的。其特点是 PN 结的结面积大，能通过较大的电流（几安培），但结电容也大，适用于频率较低的整流电路。

(3) 平面型二极管结构如图 1-7 (c) 所示。它是采用先进的集成电路制造工艺制成的。其特点是结面积较大时，能通过较大的电流，适用于大功率整流电路；结面积较小时，结电容较小，工作频率较高，适用于开关电路。

1.2.2 普通二极管

一、电路符号及伏安特性

普通二极管的图形符号及伏安特性如图 1-8 所示。

二极管是一种非线性元件，其电流 i_{VD} 和两端的电压 u_{VD} 间的函数关系可近似表

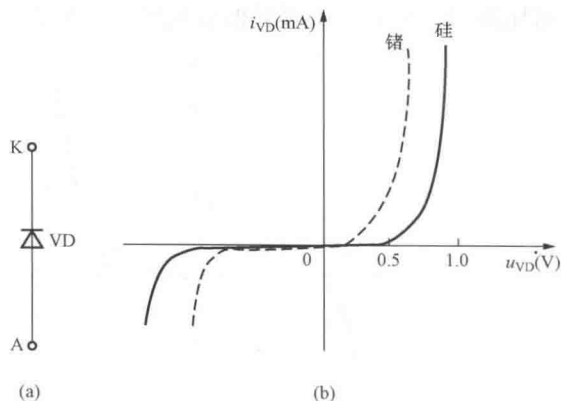


图 1-8 普通二极管

(a) 图形符号；(b) 伏安特性

示为

$$i_{VD} = I_S(e^{\frac{u_{VD}}{V_T}} - 1) \quad (1-1)$$

式中： I_S 为反向饱和电流； V_T 为温度的电压当量，常温（ $T=300\text{K}$ ）时， $V_T=26\text{mV}$ 。 u_{VD} 和 V_T 在式中采用同一单位。

式（1-1）称为半导体二极管的伏安特性方程。当二极管外加正向电压，且 $u_{VD} \gg V_T$ 时，式中的 $e^{u_{VD}/V_T} \gg 1$ ，故 1 可略去，即正向电压与电流近似为指数关系；当二极管外加反向电压时， u_{VD} 为负，若 $|u_{VD}| \gg V_T$ ，指数项接近于零，故 $i_{VD} \approx I_S$ ，即二极管的反向电流基本上与电压无关。

二、技术参数

二极管的参数表明了二极管的性能和使用条件，是正确选择和使用二极管的依据，主要参数有如下几个：

（1）最大正向电流 I_F 。它是指二极管长时间使用时允许流过的最大正向平均电流。当实际流过的正向平均电流超过该值时，二极管将因 PN 结过热而损坏。

（2）最高反向工作电压 U_R 。它是保证二极管不被击穿所允许施加的最高反向电压，一般规定为反向击穿电压的 1/2 或 2/3。

（3）最大反向电流 I_{RM} 。它是二极管加上最高反向工作电压时的反向电流值，是衡量二极管温度性能的指标，反向电流越小，二极管受温度的影响也越小。

（4）其他参数，如二极管的最高工作频率、最大整流电流下的正向压降、结电容等，可在需要时查阅产品手册，但要注意给出参数的测试条件和产品制造过程中难以避免的分散性。

三、二极管的电路模型

由二极管的伏安特性可知，二极管是一种非线性元件，即电阻随着电压、电流的变化而变化，而且对于某一点 Q，可以定义两种电阻，即静态电阻 R_s 和动态电阻 R_d ，即

$$R_s = \frac{u_Q}{i_Q} \quad (1-2)$$

$$R_d = \lim_{\Delta i \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta i} = \frac{du}{di} = \frac{1}{\tan \beta} \quad (1-3)$$

R_d 的几何意义如图 1-9（a）所示。在正常工作范围内，当电源电压远大于二极管正向导通压降时，可将二极管近似看成理想二极管，其伏安特性曲线如图 1-9（b）所示。

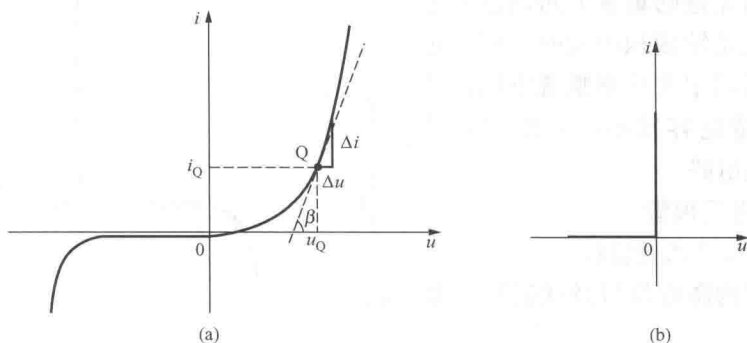


图 1-9 二极管的电阻参数

（a）电阻参数的几何意义；（b）理想二极管的伏安特性

1.2.3 稳压二极管

一、稳压二极管外形及图形符号

稳压二极管简称稳压管，又称齐纳二极管，是工作在 PN 结电击穿时的恒压特性的电子元件，是一种用特殊工艺制造的面接触型硅半导体二极管。其外形和图形符号如图 1-10 所示。它在电路中与适当阻值的电阻配合能起稳定电压的作用。

二、工作原理及伏安特性

稳压管正常工作在 PN 结的反向击穿状态，稳压管的伏安特性曲线形状与普通二极管类似，如图 1-11 所示，只是稳压管的反向特性曲线比普通二极管更陡一些。反向击穿后，电流在很大范围内变化，管子两端的电压变化很小，因此可以稳压。与普通二极管不同，它的反向击穿是可逆的，当去掉反向电压后，PN 结恢复常态。

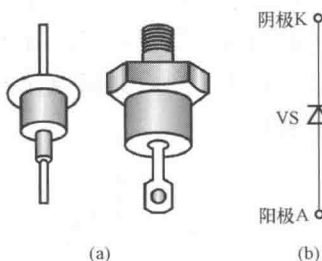


图 1-10 稳压管
(a) 外形图；(b) 图形符号

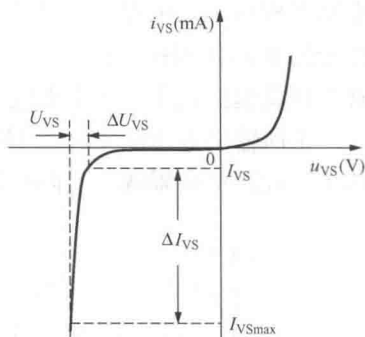


图 1-11 稳压二极管的伏安特性

三、稳压管主要参数

(1) 稳定电压 U_{VS} 。稳定电压是稳压管在正常工作下管子两端的电压。一般手册中所给出的都是在通过规定的测试电流时管子两端的电压。由于工艺方面的原因，即使同一型号的稳压管，其稳压值也有一定的分散性，例如 2CW14 稳压管的稳定电压为 6~7.5V。

(2) 稳定电流 I_{VS} 和最大稳定电流 I_{VSmax} 。稳定电流是指工作电压等于稳定电压时的反向电流。最大稳定电流是指稳压管允许通过的最大反向电流。使用稳压管时，工作电流不能超过 I_{VSmax} 值，否则稳压管将会因发生热击穿而烧毁。所以，应注意采取适当的限流措施。

(3) 最大耗散功率 P_{VS} 。最大耗散功率是指稳压管不发生热击穿的最大功率损耗。 $P_{VS} = U_{VS} I_{VSmax}$ ，已知 U_{VS} 和 P_{VS} 就可以求出 I_{VSmax} 。

(4) 动态电阻 r_{VS} 。动态电阻是稳压管在反向击穿区稳定工作时，端电压的变化量与相应电流变化量的比值，即

$$r_{VS} = \frac{\Delta U_{VS}}{\Delta I_{VS}} \quad (1-4)$$

它是衡量稳压管稳压性能的指标。 r_{VS} 越小，则由 ΔI_{VS} 引起的 U_{VS} 变化量 ΔU_{VS} 越小，稳压性能越好。

(5) 电压温度系数 α_U 。电压温度系数就是当温度变化 1℃ 时， U_{VS} 变化的百分比数，用以表示稳压管的温度稳定性。一般来说，稳定电压低于 6V 的稳压管，电压温度系数是负的；高于 6V 的稳压管，电压温度系数是正的；而 6V 左右的稳压管，稳压值受温度的影响

就比较小。

1.2.4 二极管的应用

二极管的应用范围广泛,利用其单向导电性,可以用作整流、限幅、钳位和检波等,也可以构成其他元件或电路的保护电路,以及在脉冲与数字电路中作为开关元件等。

在电路分析时,一般将二极管视为理想二极管,即二极管正向导通时,忽略正向导通压降和电阻,相当于短路;二极管截止时,忽略反向饱和电流,反向电阻无穷大,相当于开路。

一、整流电路

利用二极管的单向导电性可以将交流电变为脉动直流电,这种变换称为整流。图 1-12 所示电路是简单的整流电路。

二、限幅电路

限幅电路又称为削波电路,其功能是把输出信号限制在输入信号的一定范围之内,或者说将输入信号的某部分削掉。图 1-13 (a) 所示电路为一种削波电路,当输入电压 $u_i < E$ 时,二极管 VD 反偏而截止, R 中无电流流通, $u_o = u_i$; 当 $u_i > E$ 时,二极管 VD 正偏而导通, $u_o = E$, 正向输出电压保持在 E 值。波形如图 1-13 (b) 所示。该电路只是把 $u_i > E$ 的部分削掉了,故称单向限幅。实际应用中也有双向限幅电路。

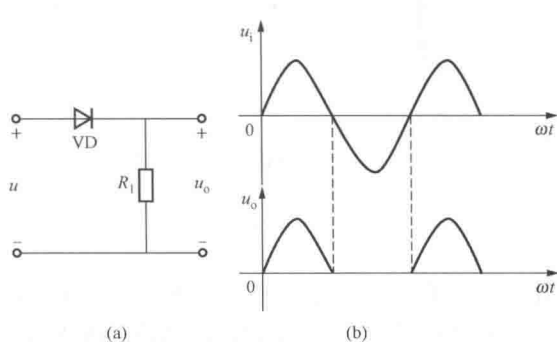


图 1-12 整流电路

(a) 电路图; (b) 输入、输出波形

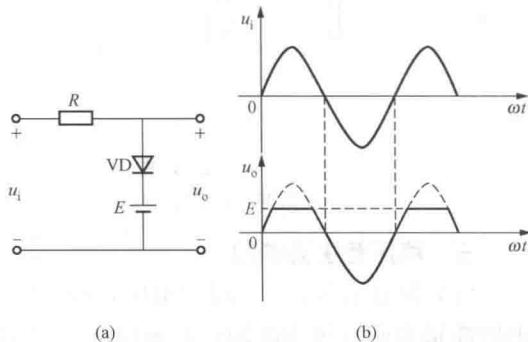


图 1-13 限幅电路

(a) 电路图; (b) 输入、输出波形

【例 1-1】 图 1-14 (a) 所示电路是二极管的应用电路,电压波形如图 1-14 (b) 所示,已知 $u = 20\sin\omega t \text{ V}$ 。 $E = 10 \text{ V}$ 。若将二极管看作理想二极管,试画出 u_o 的波形。

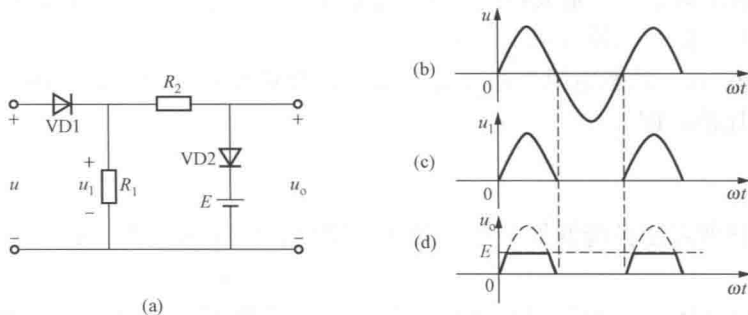


图 1-14 例 1-1 图

(a) 电路图; (b) u 的波形; (c) u_1 的波形; (d) u_o 的波形

解 在图示电路中, 二极管 VD1 起整流作用, 当 $u > 0$ 时 VD1 导通, $u < 0$ 时 VD1 截止, 即将输入的正弦波变成脉动波如图 1-14 (c) 所示。

二极管 VD2 起着单向限幅作用, 当 $u_1 < E$ 时, VD2 截止, 输出 $u_o = u_1$ 。当 $u_1 > E$ 时, VD2 导通, 输出 $u_o = E$ 。其输出电压 u_o 的波形如图 1-14 (d) 中实线所示。

三、钳位电路

利用二极管正向导通压降相对稳定且数值较小的特点, 来限制电路中某点的电位, 这时二极管的作用为钳位。如图 1-15 所示电路中, 由于二极管的钳位作用, 使 V_o 被限制在 $0 \sim 6V$ 范围内。当开关 S 断开时, 二极管正向偏置, 若忽略其正向导通压降, 阳极电位 V_o 被钳制在 $6V$, 当开关 S 闭合时, 二极管截止, V_o 为 $0V$ 。

【例 1-2】 图 1-16 所示电路中, 输入端的电位 $V_A = 0V$, $V_B = 4V$, 若忽略二极管的正向导通压降, 试求输出端的电位 V_o 。

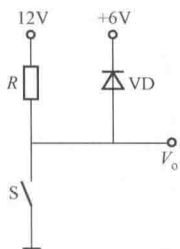


图 1-15 钳位电路

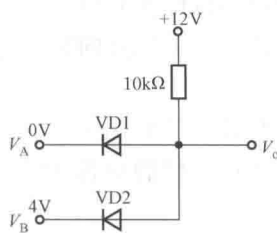


图 1-16 例 1-2 图

解 因为 V_A 的电位比 V_B 的电位低, 所以 VD1 两端的电压比 VD2 两端的电压高, 于是 VD1 优先导通, 并将输出钳制在 $0V$, 所以 $V_o = 0V$ 。VD1 导通后, VD2 反偏截止。

在这个电路中, VD1 起钳位作用, VD2 起隔离作用, 把输入端 B 与输出端隔离。

【例 1-3】 试判断图 1-17 所示电路中, 当 $U_1 = 3V$ 时, 哪些二极管导通? 当 $U_1 = 0V$ 时, 哪些二极管导通? 设二极管正向压降为 $0.7V$ 。

解 判断某个二极管是否导通, 关键在于确定该二极管是外加正向电压还是反向电压。若二极管 VD2、VD3、VD4 同时导通的话, 则 a 点电位必然等于 (钳位于) $2.1V$ 。

当 $U_1 = 3V$ 时, 二极管 VD1 外加反向电压而截止。二极管 VD2、VD3、VD4 经 $5V$ 电源、 $3k\Omega$ 电阻形成回路, 二极管 VD2、VD3、VD4 可得到正向电压而导通。

当 $U_1 = 0V$ 时, 二极管 VD1 导通, a 点电位被钳制在 $0.7V$, 不足以使二极管 VD2、VD3 和 VD4 导通。

四、稳压电路

利用稳压管组成的简单稳压电路如图 1-18 所示。R 为限制流过稳压管的电流的限流电阻, 其值由式 (1-5) 确定。

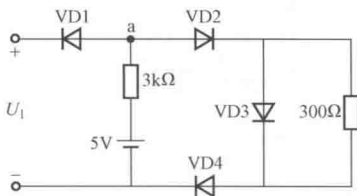


图 1-17 例 1-3 图

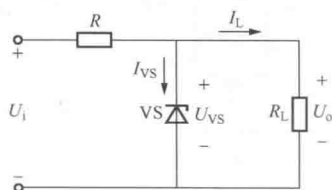


图 1-18 稳压管稳压电路

$$\frac{U_{\text{imax}} - U_{\text{VS}}}{I_{\text{zmax}} + I_{\text{Lmin}}} < R < \frac{U_{\text{imin}} - U_{\text{VS}}}{I_{\text{zmin}} + I_{\text{Lmax}}} \quad (1-5)$$

当稳压管处于反向击穿状态时, 稳定电压 U_{VS} 基本不变, 故负载电阻 R_{L} 两端的电压 U_{L} 基本稳定, 在一定范围内不受 u_{i} 和 R_{L} 变化的影响。



【练习与思考】

1-2-1 自由电子导电和空穴导电有什么区别? 空穴电流是不是由自由电子递补空穴形成的?

1-2-2 N型半导体中的自由电子多于空穴, P型半导体中的空穴多于自由电子, 是否N型半导体带负电, 而P型半导体带正电?

1-2-3 为什么说扩散运动是多数载流子的运动, 漂移运动是少数载流子的运动?

1-2-4 空间电荷区既然是由带电的正、负离子形成的, 为什么它的电阻率很高?

1-2-5 为什么二极管的反向饱和电流与外加反向电压基本无关, 而当温度升高时会明显增大?

1-2-6 什么叫做管子的死区电压, 硅管和锗管死区电压的典型值约为多少?

1-2-7 为什么稳压管的动态电阻越小, 则稳压效果越好?

1.3 双极晶体管

晶体管是电子电路的核心元件, 它有两大类, 一是双极结型晶体管 BJT (Bipolar Junction Transistor), 二是场效应晶体管 FET (Field Effect Transistor)。双极晶体管是因为在工作过程中有自由电子和空穴两种载流子同时参与导电而得名, 习惯简称双极晶体管, 又称为半导体三极管。双极晶体管种类很多, 按制造材料分硅管和锗管; 按工作频率分高频管和低频管; 按功率大小分大功率、中功率、小功率管等; 按结构分 NPN 型和 PNP 型。

1.3.1 双极晶体管的结构

两个 PN 结则可以构成一个三极管, 其结构示意图和图形符号如图 1-19 所示。由图可知,

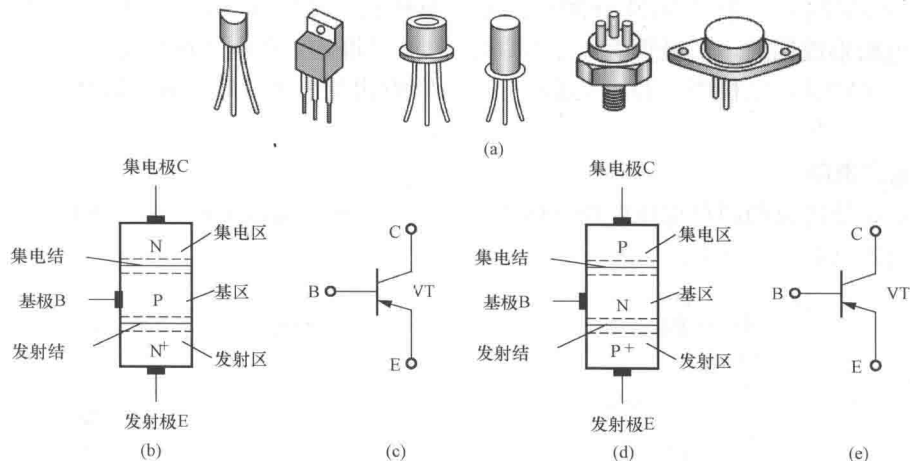


图 1-19 晶体管结构示意图及电路符号

(a) 外形图; (b) NPN 型结构; (c) NPN 型图形符号; (d) PNP 型结构; (e) PNP 型图形符号