

全国高职高专机电类专业规划教材

电子技术基础

张兴福 项盛荣 主编
唐 振 主审



黄河水利出版社

全国高职高专机电类专业规划教材

电子技术基础

主 编 张兴福 项盛荣
副主编 吴红霞 王雅芳 杨少昆
主 审 唐 振

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书是全国高职高专机电类专业规划教材,是根据教育部对高职高专教育的教学基本要求及全国水利水电高职教研会制定的电子技术基础课程标准编写完成的。全书共 17 章,分模拟电子技术和数字电子技术两大部分。其中模拟电子技术部分包括半导体二极管及其应用、半导体三极管及其放大电路、半导体场效应管及其放大电路、负反馈放大电路、集成运算放大器及其应用、功率放大电路、正弦波振荡器和直流稳压电源,共 8 章;数字电子技术部分包括数字电路概述、逻辑函数及其化简、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与变换、数/模和模/数转换、半导体存储器和可编程逻辑器件简介,共 9 章。每章都有相应的知识与技能要求、小结和思考题与习题。

本书可作为高职高专院校机电类、通信类、电子信息类、自动化类和计算机类等专业的教材,也可作为本科院校中的应用技术学院和中等职业技术学校有关专业的选用教材,亦可供电子技术领域的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础/张兴福,项盛荣主编. —郑州:黄河水利出版社,2012. 10
全国高职高专机电类专业规划教材
ISBN 978 - 7 - 5509 - 0339 - 5

I. ①电… II. ①张… ②项… III. ①电子技术 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 200386 号

组稿编辑:王路平 电话:0371 - 66022212 E-mail: hhsllwlp@163. com
简 群 66026749 w_jq001@163. com

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940, 66020550, 66028024, 66022620(传真)

E-mail: hhslicbs@126. com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:18. 75

字数:430 千字

印数:1—4 100

版次:2012 年 10 月第 1 版

印次:2012 年 10 月第 1 次印刷

定价:37. 00 元

前 言

本书是根据《教育部关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)、《教育部关于推进高等职业教育改革创新引领职业教育科学发展的若干意见》(教职成[2011]12号)等文件精神,由全国水利水电高职教研会拟定的教材编写规划,在中国水利教育协会指导下,由全国水利水电高职教研会组织编写的机电类专业规划教材。该套规划教材是在近年来我国高职高专院校专业建设和课程建设不断深化改革和探索的基础上组织编写的,内容上力求体现高职教育理念,注重对学生应用能力和实践能力的培养;形式上力求做到基于工作任务和工作过程编写,便于“教、学、练、做”一体化。该套规划教材是一套理论联系实际、教学面向生产的高职高专教育精品规划教材。

本书是由多年从事高职电子技术理论和实践教学的一线教师,结合多年的教学实践经验,针对目前高职学生的特点,并在高职教育改革要求的基础上编写的。在编写过程中,坚持实用性和适用性原则,力求全面体现高等职业教育的特点,满足当前教育的需要。

本书的主要特点如下:

(1)全书以电子技术基本知识、基本技能及相应的基本理论为主,充实实际应用型知识,淡化了理论的推导和叙述,语言通俗易懂,便于学生理解。

(2)注重内容的通用性、先进性和适用性。各单元均从最基本的知识入手,由易到难,循序渐进。模拟电子技术部分,在分析必要基本理论的基础上,给出实用电路;数字电子技术部分,以器件及应用为主,较多地介绍具体集成电路芯片,包括逻辑符号、外引脚排列图及功能表等,重点介绍器件的外特性和使用方法。

(3)有利于教学。全书在内容的安排顺序上,充分考虑了组织课堂教学的需要。

(4)注重理论和实践结合。理论讲授中贯穿实用性,实践中有理论,以基本技能和应用为主。

(5)注重吸收新技术、新产品、新知识和增加新内容。

本书编写人员及编写分工如下:沈阳农业大学高等职业技术学院张兴福编写第1、2、3、4章,长江工程职业技术学院项盛荣编写第5、6、7、8、9章,安徽水利水电职业技术学院吴红霞编写第10、11章,福建水利电力职业技术学院王雅芳编写第12、13、14章,长江工程职业技术学院杨少昆编写第15、16、17章。本书由张兴福和项盛荣担任主编,并由张兴福负责全书内容的统编和定稿;由吴红霞、王雅芳、杨少昆担任副主编;由安徽水利水电职业技术学院唐振担任主审。

由于编者能力有限,编审时间仓促,书中难免有不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

2012年5月

目 录

前 言

第1章 半导体二极管及其应用	(1)
1.1 半导体材料及其特性	(1)
1.2 半导体二极管	(5)
1.3 二极管应用电路	(7)
1.4 特殊二极管及其应用	(9)
本章小结	(12)
思考题与习题	(12)
第2章 半导体三极管及其放大电路	(14)
2.1 半导体三极管	(14)
2.2 三极管基本放大电路	(19)
2.3 共发射极放大电路	(27)
2.4 共集电极放大电路	(31)
2.5 共基极放大电路	(33)
2.6 多级放大电路	(35)
2.7 放大电路的频率响应	(37)
本章小结	(38)
思考题与习题	(39)
第3章 半导体场效应管及其放大电路	(42)
3.1 结型场效应管	(42)
3.2 绝缘栅型场效应管	(45)
3.3 场效应管放大电路	(48)
本章小结	(50)
思考题与习题	(50)
第4章 负反馈放大电路	(51)
4.1 反馈的基本概念	(51)
4.2 反馈放大器的类型与分析	(52)
4.3 负反馈对放大电路性能的影响	(56)
4.4 深度负反馈放大电路	(59)
本章小结	(60)
思考题与习题	(61)
第5章 集成运算放大器及其应用	(63)
5.1 集成运算放大器简介	(63)

5.2	集成运放的输入级——差分放大电路	(66)
5.3	集成运算放大器的基本特性	(72)
5.4	集成运算放大器的线性应用	(74)
5.5	集成运算放大器的非线性应用	(82)
5.6	集成运算放大器的应用电路	(85)
	本章小结	(87)
	思考题与习题	(87)
第6章	功率放大电路	(91)
6.1	功率放大电路的特点及技术指标	(91)
6.2	低频功率放大电路	(94)
	本章小结	(99)
	思考题与习题	(100)
第7章	正弦波振荡器	(102)
7.1	正弦波振荡器的基本原理	(102)
7.2	LC 正弦波振荡器	(104)
7.3	RC 正弦波振荡器	(108)
7.4	石英晶体正弦波振荡器	(111)
	本章小结	(113)
	思考题与习题	(114)
第8章	直流稳压电源	(117)
8.1	概 述	(117)
8.2	整流电路	(119)
8.3	滤波电路	(119)
8.4	线性直流稳压电路	(121)
8.5	集成稳压器	(123)
8.6	开关稳压电源	(127)
	本章小结	(131)
	思考题与习题	(132)
第9章	数字电路概述	(133)
9.1	数字信号与数字电路	(133)
9.2	数制和编码	(134)
	本章小结	(138)
	思考题与习题	(139)
第10章	逻辑函数及其化简	(140)
10.1	逻辑函数及其表示方法	(140)
10.2	逻辑代数的基本定律和规则	(146)
10.3	逻辑函数的化简	(148)
	本章小结	(156)

思考题与习题	(156)
第 11 章 逻辑门电路	(158)
11.1 基本逻辑门电路	(159)
11.2 集成门电路概述	(161)
11.3 集成 TTL 门电路	(162)
11.4 集成 CMOS 门电路	(168)
11.5 TTL 门电路和 CMOS 门电路的使用知识及相互连接	(172)
本章小结	(175)
思考题与习题	(176)
第 12 章 组合逻辑电路	(179)
12.1 组合逻辑电路的分析与设计	(179)
12.2 常用组合逻辑电路	(186)
本章小结	(202)
思考题与习题	(203)
第 13 章 触发器	(206)
13.1 触发器基础知识	(206)
13.2 RS 触发器	(207)
13.3 JK 触发器	(212)
13.4 D 触发器	(214)
13.5 触发器的转换	(216)
本章小结	(218)
思考题与习题	(218)
第 14 章 时序逻辑电路	(220)
14.1 时序逻辑电路概述	(220)
14.2 时序逻辑电路的分析	(221)
14.3 同步时序逻辑电路的设计	(224)
14.4 寄存器	(226)
14.5 计数器	(229)
14.6 集成计数器应用	(236)
本章小结	(239)
思考题与习题	(239)
第 15 章 脉冲波形的产生与变换	(242)
15.1 多谐振荡器	(242)
15.2 施密特触发器	(245)
15.3 单稳态触发器	(249)
15.4 555 定时器及应用	(254)
本章小结	(258)
思考题与习题	(258)

第 16 章 数/模和模/数转换	(261)
16.1 D/A 转换器	(261)
16.2 A/D 转换器	(266)
本章小结	(275)
思考题与习题	(276)
第 17 章 半导体存储器和可编程逻辑器件简介	(277)
17.1 半导体存储器	(277)
17.2 可编程逻辑器件	(283)
本章小结	(290)
思考题与习题	(291)
参考文献	(292)

第 1 章 半导体二极管及其应用

知识与技能要求

1. 知识点和教学要求

(1) 掌握:PN 结的单向导电特性与原理,二极管电路模型,二极管应用电路的分析方法。

(2) 理解:本征激发、杂质半导体的构成及 PN 结的形成。

(3) 了解:二极管(包括稳压管)的伏安特性及主要性能指标。

2. 能力培养要求

具有二极管的检测能力和二极管应用电路的分析能力。

半导体是制造各种半导体器件和电子元件的基础。PN 结是构成各种半导体器件的基本结构。本章主要介绍关于半导体的基本知识,PN 结的形成及二极管的物理结构、工作原理、特性曲线和主要参数及其应用。

1.1 半导体材料及其特性

在自然界中,物质按其导电性能分为导体、半导体、绝缘体。导电性能强的物质称为导体,如铜、铁、锌等。几乎或完全不导电的物质称为绝缘体,如橡胶、空气、陶瓷等。所谓半导体,是指其导电能力介于导体和绝缘体之间的物质,如硅(Si)、锗(Ge)、砷化镓(GaAs)等。半导体器件中用的最多的半导体材料是硅(Si)和锗(Ge)。

1.1.1 半导体的特点

半导体之所以成为制造半导体器件的原料,主要是它具有如下的特性:

(1) 热敏性。随着温度的上升,其导电能力显著增强。利用这一特性,可以把它作为热敏材料,制成热敏元件。

(2) 光敏性。随着光照强度的增加,其导电能力增强。利用这一特性,可以把它作为光敏材料,制成光敏元件。

(3) 杂敏性。在半导体材料中掺入不同的杂质,掺入杂质浓度不同,其导电能力也不同。利用这一特性,可以把它制成具有各种性能和用途的半导体器件。

1.1.2 本征半导体

纯净晶体结构的半导体称为本征半导体。纯净的硅和锗是本征半导体,最外层都有 4 个电子,称四价元素。在构成晶体时,每个原子的最外层的 4 个电子分别与周围相邻原

子的最外层电子构成共价键结构,如图 1-1(a)所示。

当半导体处于绝对温度零度 ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$) 和没有其他影响的条件下,由于共价键中的价电子被束缚着,而不能导电,相当于绝缘体。在室温下,有些价电子受到热或光的作用,获得了足够的能量而挣脱共价键的束缚,成为自由电子,这种现象称为本征激发。在价电子成为自由电子后,其共价键中出现了空位,显正电性,其正电量与电子的电量相等,通常称它为空穴,如图 1-1(b)所示。

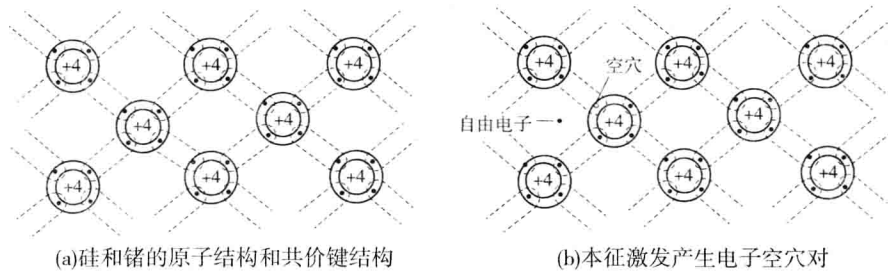


图 1-1 本征半导体

因激发而出现的自由电子和空穴是成对出现的,称为电子空穴对。本征激发产生的电子、空穴数量很少,在外电场的作用下会发生定向移动,形成电子电流和空穴电流。我们将运载电荷形成电流的粒子,称为载流子。综上所述,本征半导体的载流子为自由电子和空穴,温度越高,自由电子和空穴的数量越多。

1.1.3 杂质半导体

本征半导体两种载流子的浓度很低,因此导电性能很差。可以向晶体中有控制地掺入特定的微量元素(杂质)来改变它的导电性能,掺入的杂质主要是三价或五价的元素。这种半导体称为杂质半导体。杂质半导体主要包括 P 型半导体和 N 型半导体。

1. P 型半导体

如图 1-2 所示,在硅(或锗)中掺入少量三价的硼(B)、镓(Ga)等元素,硼原子和周围的硅原子组成共价键,三价杂质原子在与硅原子形成共价键时,因缺少一个价电子在共价键中留下一个空位,这个空位很容易俘获周围共价键中的电子,产生负离子,失去电子的共价键形成空穴。掺入一个三价原子,相当于在半导体中提供一个空穴,掺入的三价元素越多,空穴越多,电子和空穴的数量不再相等。空穴成为多数载流子,简称多子;自由电子为少数载流子,简称少子。这样的半导体为空穴型半导体,简称 P 型半导体。

2. N 型半导体

如图 1-3 所示,在硅(或锗)中掺入少量的磷(P)或砷(As)等五价元素,磷和硅形成共价键时多出一个价电子,它很容易成为自由电子,并产生正离子。掺入一个五价原子,相当于在半导体中提供一个自由电子,掺入的五价元素越多,自由电子越多,自由电子成为多子,空穴成为少子。这样的半导体为电子型半导体,简称 N 型半导体。

杂质半导体中的少数载流子由本征激发形成,所以其浓度与温度有关,这也导致半导体器件的一些参数会随温度的变化而变化。

值得注意的是,在本征半导体中,无论掺杂三价元素形成 P 型半导体,还是掺杂五价

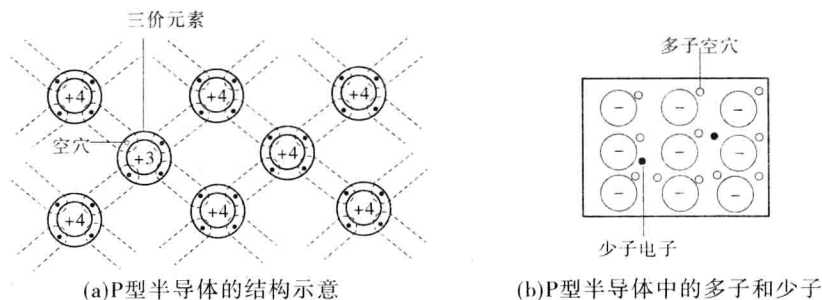


图 1-2 P 型半导体

元素形成 N 型半导体, 半导体内两种载流子数量虽然不同, 对外仍显示电中性。

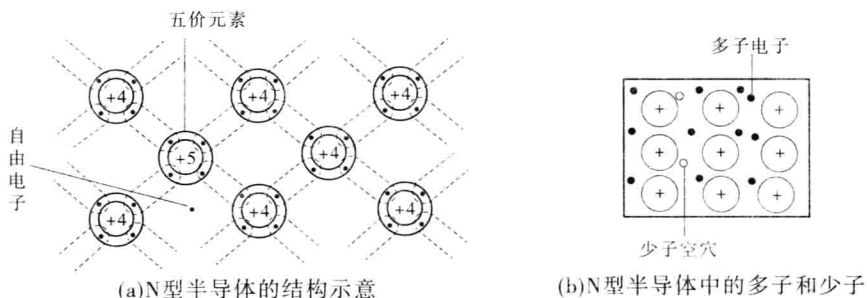


图 1-3 N 型半导体

单纯的 P 型和 N 型半导体, 只用来制造电阻, 由它们形成的 PN 结是制造各种半导体器件的基础。

1.1.4 PN 结及特性

1. PN 结的形成

采用掺杂工艺, 在一块本征半导体的两边, 掺以不同的杂质, 一边制造为 P 型半导体, 一边制造为 N 型半导体, 在两种不同类型的半导体交界处形成一个特殊的导电薄层, 即为 PN 结。PN 结的形成过程如图 1-4 所示。

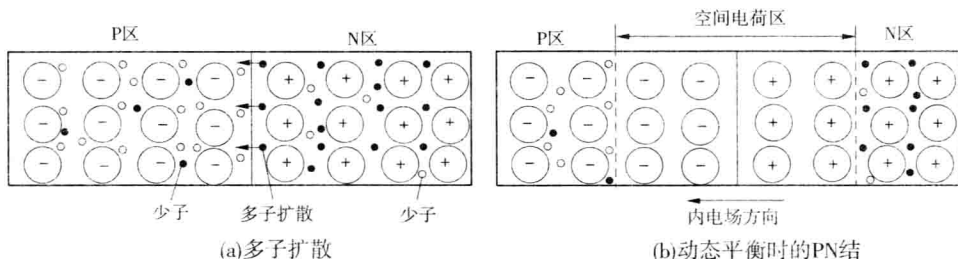


图 1-4 PN 结的形成

物质由于浓度差异而产生的运动, 称为扩散运动。当把 P 型半导体和 N 型半导体制作在一起时, 由于各区域多数载流子类型与浓度的不同, 首先出现多数载流子的扩散运动, 自

由电子由 N 区向 P 区扩散,进入 P 区后与 P 区的空穴复合。这样打破了原来各区域的中性,在两区域的交界面处出现异性电荷区。在交界面 N 区的一侧,随着电子向 P 区的扩散,出现正离子;在交界面 P 区的一侧,随着电子与空穴的复合,出现负离子,如图 1-4(a)所示。空间电荷区中的正负离子形成电场,方向由 N 区指向 P 区,如图 1-4(b)所示,称为内电场。内电场的出现,一方面对多数载流子的扩散运动产生阻碍作用,使之逐渐减弱;另一方面内电场力会对少数载流子产生作用,使各区域的少数载流子向对方区域移动。

在电场力作用下载流子的运动称为漂移运动。少数载流子的漂移运动方向正好与扩散运动的方向相反,即 P 区的少数载流子(电子)向 N 区移动,并随扩散运动的进行而增强。最终,两种运动达到动态平衡,空间电荷区宽度不再发生变化。在两种不同类型的半导体交界处形成的空间电荷区称为 PN 结。因结内载流子很少,所以又常称为耗尽层。PN 结很薄,一般为 $0.5\ \mu\text{m}$ 左右。

2. PN 结的特性

1) PN 结施加正向电压的特性

如图 1-5(a)所示,给 PN 结施加正向电压,即 PN 结的 P 区加电源的正极, N 区加电源的负极,又称 PN 结正向偏置。外加的正向电压有一部分降落在 PN 结上,方向与 PN 结内电场方向相反,削弱了内电场,使 PN 结变薄,内电场对多子扩散运动的阻碍减弱,使扩散运动增强,形成较大的多子扩散电流,PN 结呈低电阻,称 PN 结处于正向导通状态。

2) PN 结施加反向电压的特性

如图 1-5(b)所示,给 PN 结施加反向电压,即 PN 结的 P 区加电源的负极, N 区加电源的正极,又称 PN 结反向偏置。外加的反向电压有一部分降落在 PN 结上,方向与 PN 结内电场方向相同,加强了内电场。内电场对多子扩散运动的阻碍增强,电路中只有少数子漂移运动形成的漂移电流,使空间电荷区变宽。在室温条件下,本征激发产生的少数子数量十分有限,故漂移电流很小,PN 结呈高电阻,可视为 PN 结反向截止。由于少子的数量只与温度有关,在温度一定的条件下,少子的漂移电流具有饱和性,称之为反向饱和电流。

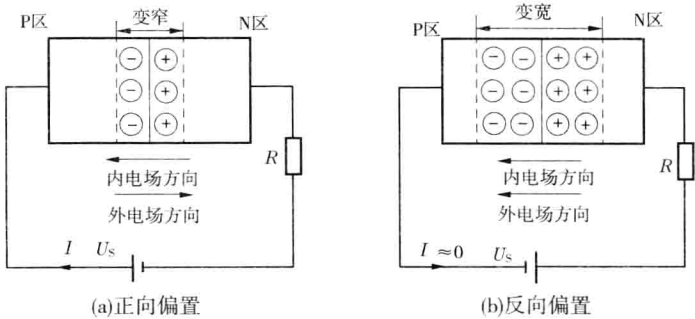


图 1-5 PN 结的单相导电特性

综上所述,PN 结具有单向导电特性,即施加正向电压(正偏)时导通,施加反向电压(反偏)时截止。

3. PN 结的电容效应

PN 结形成后,由于它的一侧是正电荷,一侧是负电荷,宛如一对带有不同电荷的平行

板电容器,在二极管工作时出现电容效应。这种电容效应产生的电容,称为 PN 结的结电容。它的数值一般不大,只有几个皮法,但当半导体器件工作频率很高时,必须考虑它的影响。

1.2 半导体二极管

1.2.1 二极管的结构和类型

1. 二极管的结构与符号

将一个 PN 结加上相应的外引线,然后封装起来就构成一个半导体二极管。常用二极管的结构与符号如图 1-6 所示。接在二极管 P 区的引出线称二极管的阳极,也称为正极;接在 N 区的引出线称二极管的阴极,也称为负极。

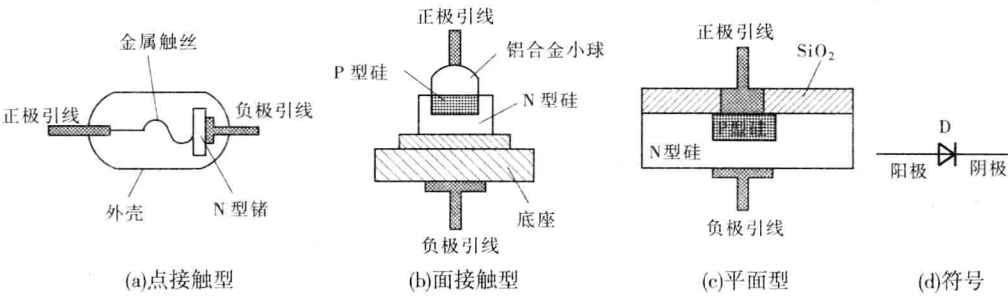


图 1-6 二极管的结构与符号

2. 二极管的类型

二极管有多种类型。按材料分为硅二极管和锗二极管,按用途分为普通二极管、整流二极管、稳压二极管、开关二极管等,按结构分为点接触型、面接触型和平面型。图 1-7 为常见的二极管外形。

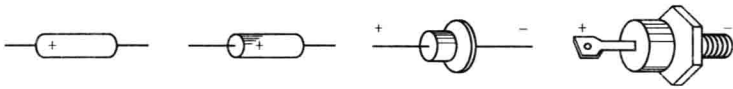


图 1-7 常见的二极管外形

点接触型二极管的 PN 结面积小,常用于检波和变频等高频电路;面接触型二极管的 PN 结面积大,常用于低频大电流整流电路;平面型二极管往往用于集成电路制造工艺中。

1.2.2 二极管伏安特性和参数

1. 二极管的伏安特性

与 PN 结一样,二极管也具有单向导电特性。与 PN 结相比,由于二极管存在半导体电阻和引线电阻,所以当外加正向电压时,在电流相同的情况下,二极管的端电压大于 PN 结上的压降;由于二极管表面泄漏电流的存在,外加反向电压时反向电流增大。

二极管的导电特性可用伏安特性来描述。二极管的伏安特性是指流过二极管的电流

i_D 与二极管两端电压 u_D 之间的关系。可用下式表示

$$i_D = I_S (e^{\frac{u_D}{U_T}} - 1) \quad (1-1)$$

式中, I_S 为反向饱和电流; U_T 为温度电压当量, 对于室温, $U_T = 26 \text{ mV}$ 。

图 1-8 为二极管的伏安特性曲线, 与电阻元件的伏安特性曲线不同, 呈现明显的非线性。所以, 二极管是非线性元件。从图 1-8 中可以看出, 特性曲线分为两部分: 反映正向特性的第一象限曲线和反映反向特性的第三象限曲线。

1) 正向特性

在外加电压较小时, 外电压不足以克服内电场对扩散运动造成的阻力, 不能形成多子的扩散运动, 电路中电流接近零, 这个范围称做死区, 相应的电压称做死区电压 (曲线中的 OA 段)。硅管的死区电压约为 0.5 V , 锗管的死区电压约为 0.2 V 。

当施加的正向电压大于死区电压后, 随电压的增加电流迅速上升, 二极管处于导通状态 (曲线中的 BC 段)。工程中, 处于导通状态的二极管, 管压降可视为常量, 且与材料有关, 硅管约为 0.7 V , 锗管约为 0.3 V , 此时的二极管可看做线性元件。

2) 反向特性

外加反向电压较小时, 反向电流很小, 为少子形成的反向饱和电流, 几乎不随电压的增加而增大, 而随温度的升高而增加, 此时二极管处于反向截止状态 (曲线中的 OD 段)。当反向电压增大到某一数值时, 反向电流急剧增大, 二极管失去单向导电特性 (曲线中 D 点以后的区域)。这样的特性称反向击穿特性, 对应的电压称反向击穿电压。一般的二极管不允许工作在反向击穿区。

2. 二极管的主要参数

二极管的特性, 除可用伏安特性曲线来表示外, 还可以用特定的参数来表征。它是合理选用和正确使用二极管的依据。二极管的主要参数如下。

1) 最大整流电流 I_F

I_F 是二极管在长期运行时, 允许通过的最大正向平均电流。它与二极管的材料、面积及散热条件有关。一般点接触型二极管的最大整流电流约为几十毫安, 面接触型二极管的最大整流电流可达几十安以上。

2) 最高反向工作电压 U_{RM}

U_{RM} 是二极管运行时允许承受的最高反向电压。为避免二极管的反向击穿, 规定其最高反向电压为其反向击穿电压的 $1/2$ 或 $2/3$ 。一般点接触型二极管的最高反向工作电压为几十伏, 面接触型二极管的最高反向工作电压可达数百伏。

3) 最大反向电流 I_{RM}

I_{RM} 是二极管在加上最高反向工作电压时的反向电流值。该值越大, 说明管子的单向

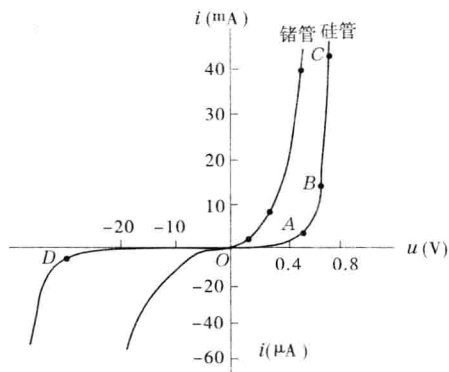


图 1-8 二极管的伏安特性曲线

导电性越差,而且受温度的影响大。硅管的反向电流较小,一般在零点几微安,甚至更小;锗管反向电流较大,为硅管的几十到几百倍。

4) 最高工作频率 f_M

f_M 是保持二极管单向导电特性时外加电压的最高频率。此参数主要由 PN 结的结电容决定。结电容越大,二极管允许的最高工作频率越低。

1.2.3 二极管的模型

在电路分析中,二极管经常用电路模型来等效。二极管的模型有多种,根据不同的场合和使用条件应选择不同的模型。这里只介绍工作频率较低时的两种模型:二极管开关模型、固定正向压降模型。如图 1-9 所示是二极管低频电路模型。

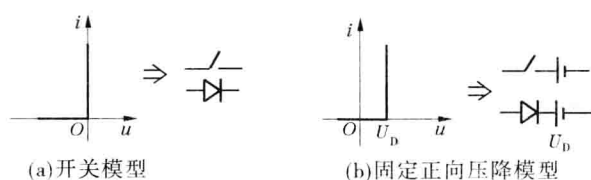


图 1-9 二极管低频电路模型

1. 开关模型

正向导通时,认为二极管的正向压降为 0;反向截止时,认为反向电阻为无穷大,反向电流为 0。该模型主要用于低频大信号电路之中,例如整流电路。此时二极管称为理想二极管,相当于理想开关,用二极管的符号去掉中间横线表示。

2. 固定正向压降模型

如果二极管电路中信号的幅度比较小,需要考虑二极管的正向压降。工程计算和设计中,常认为正向压降是一个固定值,硅管的正向压降为 0.7 V,锗管的正向压降为 0.3 V。等效电路用理想二极管串联电压源表示。

1.3 二极管应用电路

将交流电变为单方向脉动直流电的过程称为整流。单相整流电路是二极管应用电路的一种,有半波整流、全波整流、桥式整流和倍压整流电路等。本节只简单介绍单相半波整流电路和单相桥式整流电路。

1.3.1 单相半波整流电路

1. 电路组成和工作原理

单相半波整流电路由整流变压器 T、整流二极管 D 及负载 R_L 组成,如图 1-10(a)所示。设变压器和二极管都是理想元件(忽略变压器内阻,二极管用开关模型)。

若变压器的二次侧电压为

$$u_2 = \sqrt{2} U_2 \sin \omega t$$

在 u_2 的正半周, 变压器二次侧的瞬时极性为上正下负, 整流二极管承受正向电压而导通。整流二极管视为理想二极管, 其正向导通压降视为 0, 则输出电压 $u_o = u_2$ 。在 u_2 的负半周, 变压器二次侧的瞬时极性为上负下正, 整流二极管承受反向电压而截止, 则输出电压 $u_o = 0$ 。

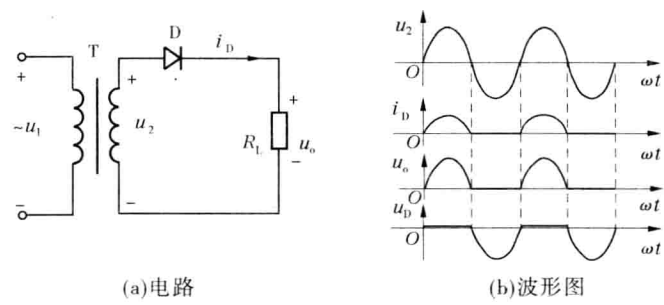


图 1-10 半波整流电路及波形

2. 负载上直流电压和电流的估算

在单相半波整流的情况下, 负载两端的直流电压平均值可由下式计算

$$U_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d(\omega t) = 0.45 U_2 \quad (1-2)$$

负载中的平均电流

$$I_o = 0.45 \frac{U_2}{R_L} \quad (1-3)$$

单相半波整流电路的特点是元件少、结构简单, 但输出电压波动大, 只利用了交流电的半个周期, 电源利用率低。

为了克服半波整流电路的缺点, 常采用全波整流电路, 最常用的形式是桥式整流电路。

1.3.2 单相桥式整流电路

1. 电路组成和工作原理

电路如图 1-11 所示。它是由整流变压器 T、4 只整流二极管 (理想二极管)、负载 R_L 组成的。单相桥式整流电路中的 4 只二极管可以是 4 只分立的二极管, 也可以是一个内部装有 4 个二极管的桥式整流器 (桥堆)。

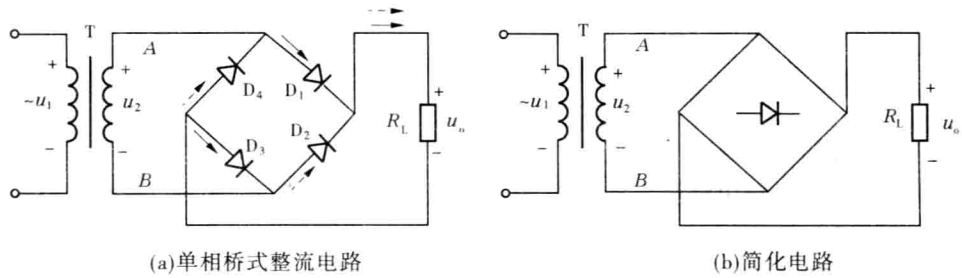


图 1-11 单相桥式整流电路

设变压器的二次侧电压为

$$u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$$

在 u_2 的正半周, 变压器二次侧的瞬时极性为上正下负, 整流二极管 D_1 、 D_3 因承受正向电压导通, D_2 、 D_4 因承受反向电压截止。电流从图中的 A 点出发, 经 D_1 , 自上而下流经 R_L , 再经 D_3 流回 B 点。整流二极管正向导通时压降视为 0, 则输出电压 $u_o = u_2$ 。

在 u_2 的负半周, 变压器二次侧的瞬时极性为下正上负, 整流二极管 D_2 、 D_4 因承受正向电压导通, D_1 、 D_3 因承受反向电压截止。电流从图中的 B 点出发, 经 D_2 , 仍自上而下流经 R_L , 再经 D_4 流回 A 点。整流二极管正向导通时压降视为 0, 则输出电压 $u_o = -u_2$ 。即

$$\begin{cases} u_o = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t & (0 \leq \omega t \leq \pi) \\ u_o = -\sqrt{2}U_2 \sin \omega t & (\pi \leq \omega t \leq 2\pi) \end{cases}$$

负载 R_L 得到单向全波脉动直流电压和电流, 波形如图 1-12 所示。

2. 负载上直流电压和电流的估算

由图 1-12 可知, 单相桥式整流电路输出电压波形的面积是单相半波整流时的两倍, 所以负载上输出的直流平均电压和电流是单相半波整流时的两倍, 即

$$U_o = 0.9U_2 \tag{1-4}$$

$$I_o = \frac{0.9U_2}{R_L} \tag{1-5}$$

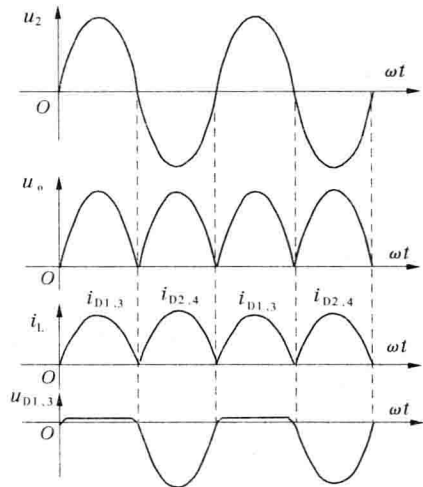


图 1-12 单相桥式整流电路波形

1.4 特殊二极管及其应用

一般来说, 整流、检波、开关等二极管具有前述的伏安特性, 为普通二极管。此外, 还有一些具有专门用途的特殊二极管, 本节将介绍几种特殊用途的二极管。

1.4.1 稳压二极管

1. 稳压二极管的伏安特性及符号

硅稳压二极管(简称稳压管), 是一种用特殊工艺制造的面接触型硅半导体二极管。反向击穿时, 在一定的电流范围内, 端电压几乎不变, 表现出稳压特性, 因而广泛用于稳压电源与限幅电路之中。

稳压管的伏安特性曲线和符号如图 1-13 所示。稳压管的正向伏安特性与普通二极管相同, 为指数曲线。当稳压管外加反向电压的数值大到一定程度时击穿, 击穿区的曲线很陡, 几乎平行于纵轴, 表现出很好的稳压特性。只要控制反向电流不超过一定值, 管子就不会因过热而损坏。