

中国通信学会普通高等教育“十二五”规划教材立项项目

普通高等院校

电子信息类系列教材

DianZi JiShu
JiChu

电子技术 基础

◎ 姜桥 主编 邢彦辰 曲伟 王振力 副主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

中国通信学会普通高等教育“十二五”规划教材立项项目

普通高等院校电子信息类系列教材

电子技术基础

姜 桥 主编

邢彦辰 曲 伟 王振力 副主编

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础 / 姜桥主编. —北京: 人民邮电出版社,
2009.9
(普通高等院校电子信息类系列教材)
ISBN 978-7-115-20058-7

I. 电… II. 姜… III. 电子技术—高等学校—教材
IV. TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第137124号

内 容 提 要

本书全面、系统地介绍了电子技术的基础知识和基本技术, 将基础理论与应用紧密结合, 注重体现知识的实用性和前沿性。

全书共分11章, 前6章为模拟电路部分, 后5章为数字电路部分, 编者将两部分内容有机地融为一体。主要内容包括半导体器件、放大电路、集成运算放大器、直流稳压电源、逻辑代数、逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路以及模/数与数/模转换等。每章设有大量练习题, 并配有习题答案。

本书可作为应用型本科院校和高等职业院校的机电类、自动化类、计算机类、汽车类、电气类、电子类等专业的教材, 也可供工程技术人员或自学者参考。

中国通信学会普通高等教育“十二五”规划教材立项项目
普通高等院校电子信息类系列教材

电子技术基础

-
- ◆ 主 编 姜 桥
副 主 编 邢彦辰 曲 伟 王振力
责任编辑 蒋 亮
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京铭成印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 19
字数: 462千字
印数: 1—3 000册
 - 2009年9月第1版
2009年9月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-20058-7

定价: 32.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前言

电子技术是高校电气信息和电子信息类各专业的一门重要的专业技术基础课,也是其他理工科专业必修的课程之一。在信息社会中,电子技术已融入到各个领域,人们的学习、工作和生活都离不开这门课程涉及的知识。

随着电子技术的迅猛发展,尽管数字化是当今电子技术的发展重点,但电子元器件和基本电路仍是电子技术的基础,它们在电子设备中具有不可替代的作用。本书主要针对应用型本科院校和高等职业院校非电类专业而编写的,在内容编排上注重结合应用型人才的特点,做到基础理论适当,对公式、定理的推导及证明从简,知识深入浅出,原理简洁易懂写作原则,着重介绍应用电子电路的适用范围及分析、设计、调试方法,更加注重理论应用于实践的特色。使学生通过本课程的学习,提高实践应用能力,为今后的就业和创业打下良好基础。

本书是根据教育部(原国家教育委员会)1995年颁发的高等工业学校电子技术(电工学Ⅱ)课程教学基本要求编写的,既可以和由刘显忠主编、人民邮电出版社出版的《电工技术基础》教材(符合电工学Ⅰ的课程教学基本要求)作为上、下册配套使用,也可以单独使用。

本书由姜桥主编,邢彦辰、曲伟和王振力为副主编。全书共分11章,其中第2章、第4章和第6章由姜桥编写;第7章、第8章和第9章由邢彦辰编写;第1章及第3章中的第1~3节由曲伟编写;第11章由王振力编写;第10章和附录由郭宏编写;第3章中第4节和第5章由姜波编写。

本书编写过程中得到了竺培国、张义方、高洪志、关晓冬、席振鹏和赵玉兰、杜金晶的大力支持,计京鸿对本书进行了整理和校对,在此一并表示感谢。

由于编者的水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者联系方式: modianxiti@163.com

编 者

2009年8月

目 录

第1章 常用的半导体器件	1	2.3 共集电极放大电路和共基极放大电路	45
1.1 PN结	1	2.3.1 共集电极放大电路的组成及分析	45
1.1.1 半导体的导电特性	1	2.3.2 共基极放大电路的组成及分析	48
1.1.2 PN结	3	2.3.3 三种基本放大电路的比较	50
1.2 半导体二极管	5	2.4 场效应管放大电路简介	50
1.2.1 二极管的结构	5	2.4.1 共源极场效应管放大电路的组成	50
1.2.2 二极管的伏安特性及等效电路模型	6	2.4.2 共源极场效应管放大电路的静态分析	51
1.2.3 二极管的主要参数	7	2.4.3 共源极场效应管放大电路的动态分析	51
1.3 特殊二极管	9	小结	53
1.3.1 稳压二极管	9	习题	54
1.3.2 发光二极管	10	第3章 多级放大电路	58
1.3.3 光电二极管	11	3.1 多级放大电路	58
1.4 双极型三极管	11	3.1.1 多级放大电路的组成	58
1.4.1 三极管的基本结构及类型	11	3.1.2 多级放大电路的级间耦合方式	59
1.4.2 三极管的电流分配关系和电流放大作用	12	3.1.3 多级放大电路动态分析	61
1.4.3 三极管的伏安特性曲线	14	3.2 差分放大电路	61
1.4.4 三极管的主要参数	17	3.2.1 基本差分放大电路	62
1.5 场效应晶体管	19	3.2.2 改进型差分放大电路——长尾式差分放大电路	62
1.5.1 绝缘栅场效应管	19	3.2.3 恒流源式差分放大电路	66
1.5.2 场效应管的主要参数	22	3.2.4 差分放大电路的输入输出方式	67
1.5.3 场效应管和三极管性能比较	23	3.3 功率放大电路	67
小结	24	3.3.1 功率放大电路特点和分类	68
习题	25	3.3.2 乙类互补对称功率放大电路	69
第2章 基本单管放大电路	29	3.3.3 甲乙类互补对称电路	72
2.1 晶体管共发射极放大电路	29	3.3.4 集成功率放大电路	74
2.1.1 共发射极交流放大电路的组成	29		
2.1.2 放大电路的静态分析	31		
2.1.3 放大电路的动态分析	33		
2.2 放大电路静态工作点的稳定	41		
2.2.1 稳定静态工作点的必要性	41		
2.2.2 分压式偏置电路	41		

3.4 集成运算放大器简介	76	5.2.3 滞回比较器	111
3.4.1 集成运算放大器的组成	76	5.3 波形产生电路	112
3.4.2 集成运算放大器的主要技术指标	77	5.3.1 正弦波振荡电路的组成	112
3.4.3 理想集成运算放大器及其分析依据	78	5.3.2 桥式 RC 正弦波振荡电路	113
小结	81	5.4 集成运放使用中的几个实际问题	114
习题	81	小结	116
第4章 负反馈放大电路	86	习题	116
4.1 反馈的基本概念	86	第6章 直流稳压电源	121
4.1.1 放大电路中的反馈	86	6.1 单相整流电路	121
4.1.2 反馈的分类	86	6.1.1 直流稳压电源的组成	121
4.2 负反馈的四种基本组态	88	6.1.2 单相半波整流电路	122
4.2.1 电压串联负反馈	88	6.1.3 单相桥式全波整流电路	123
4.2.2 电压并联负反馈	89	6.2 滤波电路	125
4.2.3 电流串联负反馈	89	6.2.1 电容滤波电路	125
4.2.4 电流并联负反馈	90	6.2.2 电感滤波及复式滤波电路	128
4.3 反馈放大电路的方块图和一般表达式	91	6.3 直流稳压电路	129
4.3.1 反馈放大电路的方块图	91	6.3.1 并联型稳压电路	129
4.3.2 负反馈放大电路的一般表达式	91	6.3.2 串联型直流稳压电路	130
4.4 负反馈对放大电路性能的影响	92	6.3.3 三端集成稳压器及其应用	132
4.4.1 负反馈对放大电路性能的影响	92	6.3.4 稳压电源的质量指标	134
4.4.2 放大电路引入负反馈的一般原则	96	6.3.5 开关稳压电源简介	135
小结	96	6.4 晶闸管及可控整流电路	138
习题	97	6.4.1 晶闸管的基本特性	138
第5章 集成运算放大器的应用	100	6.4.2 单相半控桥式可控整流电路	141
5.1 模拟信号运算电路	100	6.4.3 单结晶体管触发电路	143
5.1.1 比例运算电路	100	小结	146
5.1.2 减法运算电路	103	习题	147
5.1.3 求和运算电路	105	第7章 逻辑代数与逻辑门电路	151
5.1.4 积分运算电路和微分运算电路	107	7.1 数字电路概述	151
5.2 电压比较器	109	7.1.1 数字信号与数字电路	151
5.2.1 过零比较器	109	7.1.2 数制及其转换	153
5.2.2 单限比较器	110	7.1.3 编码	156
		7.2 逻辑代数基础	158
		7.2.1 基本逻辑运算	158
		7.2.2 逻辑代数的基本概念	163
		7.2.3 逻辑代数的公式和定理	164
		7.2.4 逻辑函数的表示方法	165

7.2.5 逻辑函数的化简方法·····	166	第 10 章 时序逻辑电路·····	220
7.3 集成门电路概述·····	173	10.1 时序逻辑电路的分析方法·····	220
7.3.1 TTL 与非门电路·····	173	10.1.1 时序逻辑电路概述·····	220
7.3.2 CMOS 门电路·····	177	10.1.2 时序逻辑电路的分析方法·····	221
7.3.3 集成逻辑门电路的使用·····	179	10.2 寄存器·····	225
小结·····	180	10.2.1 数码寄存器·····	225
习题·····	180	10.2.2 移位寄存器·····	226
第 8 章 组合逻辑电路·····	184	10.3 计数器·····	229
8.1 组合逻辑电路的分析与设计·····	184	10.3.1 计数器分类·····	229
8.1.1 组合逻辑电路的分析·····	184	10.3.2 集成计数器·····	230
8.1.2 组合逻辑电路的设计·····	186	10.4 集成电路 555 定时器及其 应用·····	236
8.2 常用的组合逻辑部件·····	189	10.4.1 555 定时器的结构和工作 原理·····	236
8.2.1 加法器·····	189	10.4.2 555 定时器的应用·····	239
8.2.2 编码器·····	191	小结·····	245
8.2.3 译码器·····	193	习题·····	245
8.2.4 数据选择器·····	199	第 11 章 大规模集成电路·····	250
8.2.5 数值比较器·····	200	11.1 数模转换器·····	250
小结·····	201	11.1.1 数模转换的基本原理·····	251
习题·····	202	11.1.2 权电阻网络 DAC·····	251
第 9 章 集成触发器·····	205	11.1.3 集成 DAC 简介·····	252
9.1 基本 RS 触发器·····	205	11.1.4 DAC 的主要技术指标·····	253
9.1.1 电路结构及功能特点·····	205	11.2 模数转换器·····	254
9.1.2 基本 RS 触发器的应用 示例·····	206	11.2.1 模数转换的基本原理·····	254
9.2 同步触发器·····	207	11.2.2 逐次逼近型 ADC·····	255
9.2.1 同步 RS 触发器·····	207	11.2.3 集成 ADC 简介·····	255
9.2.2 同步 JK 触发器·····	208	11.2.4 ADC 的主要技术指标·····	257
9.2.3 同步 D 触发器·····	210	11.3 半导体存储器·····	258
9.2.4 同步 T 触发器·····	211	11.3.1 半导体存储器概述·····	258
9.2.5 同步触发器存在的问题·····	212	11.3.2 随机存储器·····	259
9.3 无空翻触发器·····	213	11.3.3 只读存储器·····	263
9.3.1 主从触发器·····	213	11.3.4 存储器容量的扩展·····	265
9.3.2 边沿触发器·····	214	11.4 可编程逻辑器件简介·····	267
9.4 集成触发器逻辑功能转换和 特性参数·····	215	11.4.1 PLD 的电路表示法·····	268
9.5 集成触发器的脉冲工作特性及 主要参数·····	216	11.4.2 可编程阵列逻辑器件·····	270
小结·····	217	11.4.3 可编程通用阵列逻辑 器件·····	271
习题·····	217	11.4.4 复杂的可编程逻辑器件·····	273

11.4.5 现场可编程门阵列	275	附录Ⅲ 常用半导体模拟集成电路的	
11.4.6 可编程逻辑器件的编程	276	型号及参数	285
小结	277	附录Ⅳ 常用半导体数字集成电路型号及	
习题	277	引脚排列图	286
附录Ⅰ 半导体分立器件型号命名方法	281	附录Ⅴ 部分习题参考答案	288
附录Ⅱ 常用半导体分立器件型号和		参考文献	295
参数	282		

自然界中容易导电的物质称为导体，金属一般都是导体。有的物质几乎不导电，称为绝缘体，如橡皮、陶瓷、塑料等。另有一类物质的导电特性处于导体和绝缘体之间，称为半导体，如硅、锗、砷化镓和一些硫化物、氧化物等，其中硅和锗是目前制作半导体器件的主要材料。

半导体器件是近代电子学中的重要组成部分。由于半导体器件具有体积小、重量轻、使用寿命长、反应迅速、灵敏度高、工作可靠等优点而得到广泛的应用。本章主要介绍半导体二极管、三极管及场效应管的基本结构、工作原理、特征曲线和主要参数等。

1.1 PN 结

1.1.1 半导体的导电特性

1. 半导体的特点

半导体具有独特的导电性能。例如，有些半导体（如钴、锰、镍等的氧化物）的导电性能对温度的反应特别灵敏，而有些半导体（如镉、铅等的硫化物与硒化物）的导电性能对光的反应特别灵敏。当环境温度升高或有光照时，它们的导电能力会显著增加，所以利用这些特性可以做成各种温敏元件（如热敏电阻）和各种光敏元件（如光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管等）。更重要的是如果在纯净的半导体中加入适量的微量杂质后，其导电能力可增加数十万倍以上，利用这一特性，可以做成各种不同用途的半导体器件（如二极管、三极管、场效应管和晶闸管等）。

温度、光照和是否掺入杂质这三种因素对半导体导电性能的强弱影响很大，所以半导体的导电特性可以概括如下。

热敏性：当环境温度升高时，导电能力显著增强。

光敏性：当受到光照时，导电能力明显变化。

掺杂性：往纯净的半导体中掺入某些杂质，导电能力明显改变。

这些特性表明，半导体的导电能力在不同条件下有很大的差别，可以人为地加以控制，这就使半导体材料能够得以广泛地应用。

2. 本征半导体

制作半导体器件时用得最多的半导体材料是硅和锗，它们的共同特点是原子核的最外层

都有四个价电子，都是四价元素。将硅或锗材料提纯（去掉杂质）并形成单晶体后，所有原子在空间便基本上整齐排列。半导体一般都具有这种晶体结构，所以半导体也称为晶体。本征半导体就是完全纯净的、具有晶体结构的半导体。

（1）本征半导体的原子结构及共价键

在本征半导体中，相邻的两个原子的一对最外层电子（即价电子）不但各自围绕自身所属的原子核运动，而且出现在相邻原子所属的轨道上，成为共用电子，这样的组合称为共价键结构，如图 1.1.1 所示。共价键内的两个电子是由相邻的原子各用一个价电子组成，称为束缚电子。这样每个原子核最外层等效有 8 个价电子，由于价电子不易挣脱原子核束缚而成为自由电子，因此，本征半导体导电能力较差。

（2）本征激发现象

在热力学温度 0K (-273°C) 时，本征半导体中的每个价电子都被束缚在共价键中，不存在自由运动的电子，本征半导体相当于绝缘体。当温度升高或受到光的照射时，价电子能量增高，有的价电子可以挣脱原子核的束缚而参与导电，成为自由电子。与此同时，在该共价键上留下了一个空位，这个空位称为空穴。这种现象称为本征激发（也称热激发）。因热激发而出现的自由电子和空穴是同时成对出现的，称为电子—空穴对。温度越高，产生的电子—空穴对数目就越多，这就使得游离的部分自由电子也可能回到空穴中去，称为复合。

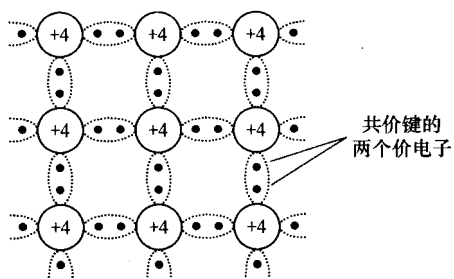


图 1.1.1 硅或锗的原子结构模型及共价键结构示意图

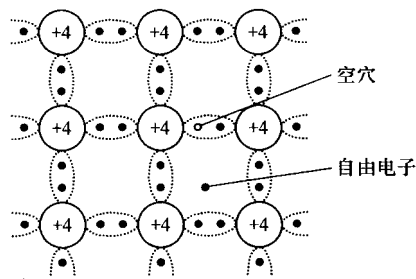


图 1.1.2 本征激发产生电子—空穴对

在一定温度下本征激发和复合会达到动态平衡，此时，自由电子和空穴的浓度一定，且自由电子数和空穴数相等。

（3）半导体的导电原理

当半导体两端加上外施电压后，半导体中有两类作相反运动的导电粒子形成的电流：一类是自由电子作定向运动形成的电子电流，另一类是被原子核束缚的价电子填补空穴而形成的空穴电流。因此，在半导体中有自由电子和空穴两种承载电流的粒子（即载流子），这是半导体导电方式的最大特点，也是半导体与金属导体在导电机理上的本质差别。

空穴导电的实质是相邻原子中的价电子（共价键中的束缚电子）依次填补空穴而形成电流。由于电子带负电，而电子的运动与空穴的运动方向相反，因此认为空穴带正电。

温度越高，产生的电子—空穴对数目就越多，导电能力增强。所以温度对半导体器件有很大影响。

在室温下，虽然本征半导体中有两种载流子参与导电，但是它们的数量极少，这对半导体技术无实用价值。

3. 杂质半导体

掺入杂质的本征半导体称为杂质半导体。杂质半导体是半导体器件的基本材料。根据掺入杂质的性质不同,杂质半导体分为两类:电子型(N型)半导体和空穴型(P型)半导体。

(1) P型半导体

在本征半导体中掺入微量的三价元素(如硼)就形成P型半导体,结构示意图如图1.1.3所示。

由于硼原子只有三个价电子,所以在构成共价键结构时,将因缺少一个电子而产生一个空位。当相邻原子中的价电子获得能量后,便极易填补这个空位,使相邻原子的共价键中因缺少一个价电子而产生一个空穴,同时使杂质原子因得到一个价电子成为不能移动的带负电的杂质负离子,杂质半导体仍然呈现电中性。

可见每掺入一个三价原子,就能提供一个空穴,所以在P型半导体中,空穴浓度远大于自由电子浓度,空穴为多数载流子,自由电子是少数载流子。

(2) N型半导体

在本征半导体中掺入微量的五价元素(如磷)就形成N型半导体,结构示意图如图1.1.4所示。由于磷原子有五个价电子,所以在构成共价键结构时,还剩余一个价电子,这个价电子不受共价键的束缚,只受原子核的吸引,便很容易挣脱磷原子核的束缚而成为自由电子,同时使杂质原子因失去一个价电子而成为不能移动的带正电的杂质正离子,杂质半导体仍然呈现电中性。

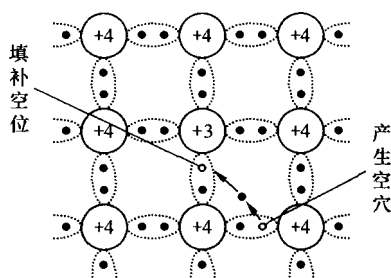


图 1.1.3 P型半导体的结构

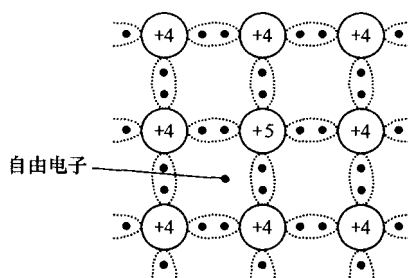


图 1.1.4 N型半导体的结构

注意:杂质半导体中的多数载流子的浓度主要取决于掺杂浓度;而少数载流子是因本征激发产生,因而其浓度与掺杂无关,只与温度等激发因素有关。

1.1.2 PN结

1. PN结的形成

(1) 载流子的扩散运动

用掺杂工艺在一块完整半导体中,一部分形成P型半导体,另一部分形成N型半导体。那么,在两种杂质型半导体交界处两侧,P区的空穴(多子)浓度远大于N区的空穴(少子)浓度,因此,P区的空穴必然向N区运动,并与N区中的电子复合而消失;同样,N区的电子必然向P区运动,并与P区中的空穴复合而消失。这种由于浓度差而引起的载流子运动称

为扩散运动，如图 1.1.5 所示。

(2) 内电场的建立

载流子扩散运动的结果，使交界面 N 区一侧失去电子而留下正离子，P 区一侧失去空穴而留下负离子。这些不能移动的带电离子称为空间电荷，相应地这个区域称为空间电荷区，并建立起一个电场，其方向由 N 区指向 P 区，如图 1.1.5 所示。为了区别由外加电压建立的电场，故把这个电场称为内电场。

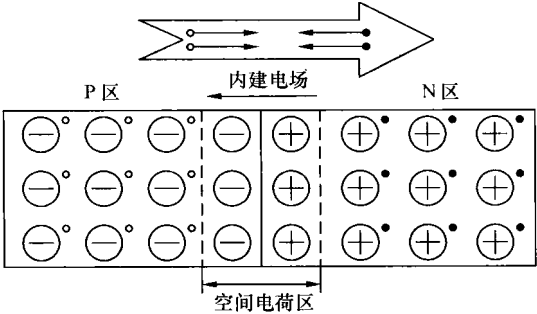


图 1.1.5 PN 结的形成

(3) 内电场对载流子运动的作用

随着载流子扩散运动的进行，空间电荷区加宽，内电场加强，它将阻碍多子的扩散；同时，内电场又推动 P 区的少子（电子）向 N 区、N 区的少子（空穴）向 P 区运动，这种在电场作用下的载流子运动称为漂移运动，其结果使空间电荷区变窄，内电场削弱，而这又将导致多子扩散运动的加强。

(4) PN 结的形成

由以上分析可见，载流子在 P 区和 N 区的交界面发生着扩散和漂移两种运动。当多子扩散与少子漂移达到动态平衡时，空间电荷区的宽度基本上稳定下来，PN 结就形成了，其厚度为数微米。对空间电荷区来说其中多数载流子扩散到对方复合而耗尽了，故又称为耗尽区。另外，由于 PN 结内电场阻止多子的继续扩散，故又称之为阻挡层，还可称为势垒区。

2. PN 结的单向导电性

(1) 加正向电压（或称正向偏置，简称正偏），即电源正极接 P 区，负极接 N 区。这时外电场的方向与内电场方向相反，PN 结的工作过程可简单表示如下。

外电场削弱内电场→PN 结变窄→扩散运动>漂移运动→多子扩散形成较大的正向电流 I →PN 结导通。图 1.1.6 所示为 PN 结正向偏置时的电路图。

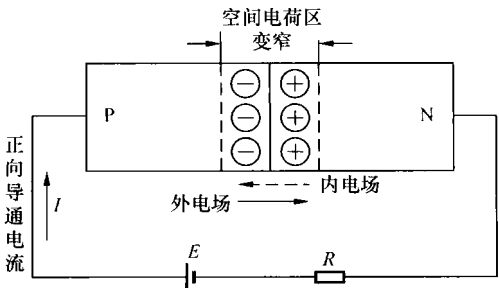


图 1.1.6 PN 结正向偏置

(2) 加反向电压（或称反向偏置，简称反偏），即电源正极接 N 区，负极接 P 区。这时外电场的方向与内电场方向相同，PN 结的工作过程可简单表示如下。

外电场加强内电场→PN 结变宽→漂移运动>扩散运动→少子漂移形成极小的反向电流 I →PN 结截止。图 1.1.7 所示为 PN 结反向偏置时的电路图。

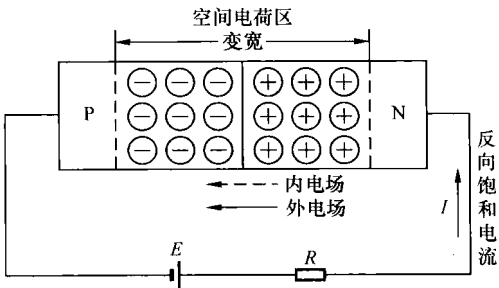


图 1.1.7 PN 结反向截止

(3) PN 结的单向导电性。当 PN 结外加正向电压（正偏），即 P 区接高电位、N 区接低电位时，PN 呈现低电阻，流过较大的电流（mA 级），称为正向导通，相当于开关闭合。当 PN 结外加反向电压（反偏），即 P 区接低电位、N 区接高电位时，PN 呈现很大的电阻，流过极小的电流（ μA 级），称为反向截止，相当于开关断开。这就是 PN 结的单向导电性。

3. PN 结的反向击穿特性

当 PN 结的反向电压增大到一定值时，反向电流随电压数值的增加而急剧增大，PN 结失去了单相导电特性，这种现象称为 PN 结反向击穿。PN 结的反向击穿有以下两类。

(1) 热击穿：不可逆，应避免。

(2) 电击穿：可逆，又分为雪崩击穿和齐纳击穿。无论发生哪种击穿，若对其电流不加以限制，都可能造成 PN 结的永久性损坏。

1.2 半导体二极管

1.2.1 二极管的结构

1. 结构与符号

在 PN 结的两端各引出一根电极引线，然后用外壳封装起来就构成了半导体二极管（或称晶体二极管，简称二极管）。由 P 区引出的电极称为阳极（正极），由 N 区引出的电极称为阴极（负极）。图 1.2.1 (a) 所示是二极管的结构示意图，图 1.2.1 (b) 所示是二极管的电路符号图，符号图中的三角箭头表示正向电流的流通方向，在电路中常用字母 VD 标注二极管。

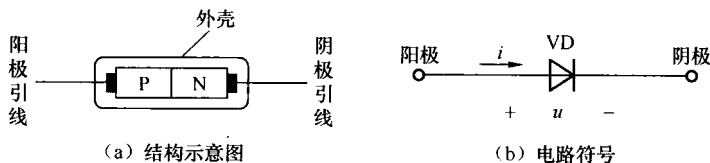


图 1.2.1 二极管的结构及符号

2. 分类

按所用材料分，二极管可分为锗二极管（如 2AP 型）和硅二极管（如 2CP 型）两种，其中硅二极管的热稳定性比锗二极管的热稳定性要好得多。

按用途分，二极管可分为普通二极管、整流二极管、检波二极管、稳压二极管、开关二极管及光电二极管等。

按结构分，二极管可分为点接触型、面接触型和平面型三大类。

(1) 点接触型：其特点是 PN 结面积很小，因而结电容很小，其高频性能好，但不能通过大电流，主要用于高频检波和小电流的整流等。

(2) 面接触型：其特点是 PN 结面积大，因而结电容大，不适应工作在高频，只能在低频工作，但允许通过较大电流，主要用于工频大电流整流电路。

(3) 平面型：其特点是 PN 结面积可大可小，PN 结面积大的，主要用于功率整流；结面积小的可作为数字脉冲电路中的开关管。在集成电路的制造工艺中，常采用这种结构。

图 1.2.2 所示是三种不同结构的二极管示意图。

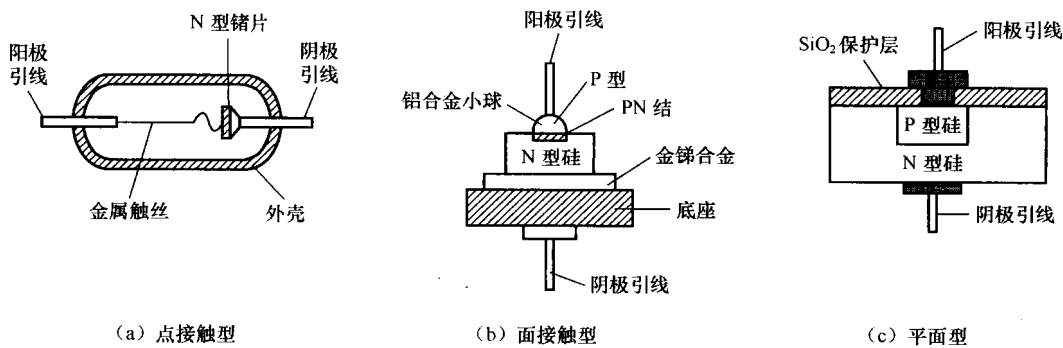


图 1.2.2 半导体二极管的结构

1.2.2 二极管的伏安特性及等效电路模型

1. 二极管的伏安特性

伏安特性是指二极管两端的电压 u 与流过二极管电流 i 的关系。

(1) 正向特性

正向特性是指二极管正偏时的伏安特性，如图 1.2.3（实线部分）所示。

正向特性具有以下特点。

① 外加正向电压较小时，外电场还不足以克服内电场对多数载流子扩散运动的阻力，正向电流 $i \approx 0$ ，这个区域称为死区。

② 正向电压逐渐增大超过某一数值后，二极管开始导通，出现正向电流，并按指数规律增长，此时的电压称为死区电压（又称开启电压或门坎电压），用 U_{th} 表示。在室温下，硅管的 U_{th} 约为 0.5V，锗管约为 0.1V。

③ 当正向电压继续增大至二极管完全导通后，两端电压基本为定值，称为二极管的正向导通压降。硅管约为 0.6~0.8V（通常取 0.7V），锗管约为 0.2~0.3V（通常取 0.2V）。

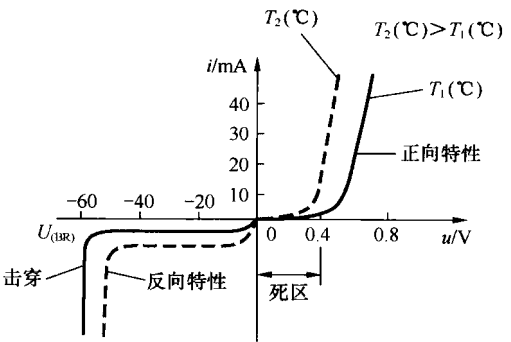


图 1.2.3 硅二极管的典型特性曲线

(2) 反向特性

指二极管反偏时的伏安特性，如图 1.2.3（虚线部分）所示。

① 外加反向电压时，反向电流很小（ $I \approx -I_S$ ），而且在相当宽的反向电压范围内，反向电流几乎不变，因此，称此电流值为二极管的反向饱和电流。在室温下，硅管的反向饱和电流比锗管的小得多，小功率硅管的 I_S 小于 0.1 μ A，锗管为几十微安。

② 当反向电压达到 $U_{(BR)}$ 时，反向电流急剧增大，二极管击穿。 $U_{(BR)}$ 称为反向击穿电压，二极管一旦击穿，便失去单向导电性，使用时要注意。

2. 温度特性

温度对二极管伏安特性的影响很大,如图 1.2.3 中虚线部分为温度升高时的特性。特点概括如下:

- (1) 当温度升高时,二极管的正向特性曲线向左移动——二极管的导通压降低。
- (2) 当温度升高时,二极管的反向特性曲线向下移动——反向饱和电流 I_S 增大。
- (3) 当温度升高时,反向击穿电压 $U_{(BR)}$ 减小。

3. 二极管的等效电路模型

(1) 理想电路模型

二极管的理想电路模型即为正向偏置时,管压降为 0,导通电阻为 0;反向偏置时,电流为 0,反向电阻为 ∞ 。适用于信号电压远大于二极管压降时的近似分析。如图 1.2.4 所示。

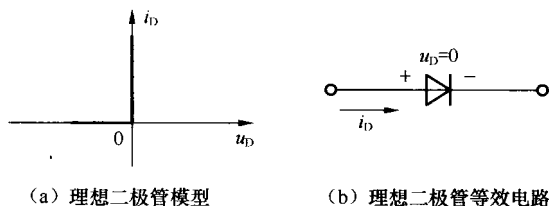


图 1.2.4 二极管理想模型

(2) 恒压降模型

二极管的恒压降模型是根据二极管伏安特性曲线近似建立的模型,它用两段直线逼近伏安特性,即正向导通时压降为一个常量 U_{th} ;截止时反向电流为 0。

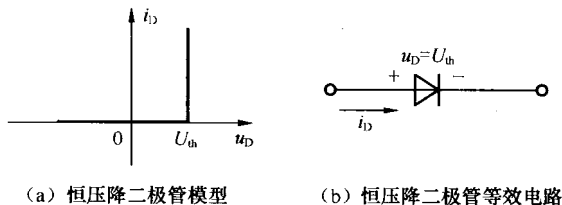


图 1.2.5 二极管恒压降理想模型

(3) 二极管的小信号模型

二极管的小信号模型即二极管的电压和电流在微小变化范围内,将二极管近似看成线性器件,等效为一个动态电阻 r_D 。这种模型仅限于用来计算叠加在直流工作点 Q 上的微小电压或电流变化时的响应。

1.2.3 二极管的主要参数

描述二极管特性的物理量,称为二极管的参数。它是表示二极管的性能及适用范围的依据,是正确选择和使用二极管的重要依据。二极管有以下主要参数。

1. 最大整流电流

最大整流电流 (I_{FM}) 是指二极管长期运行时允许通过的最大正向平均电流。它是由 PN

结的面积和外界散热条件决定的。当电流超过允许值时，容易造成 PN 结过热而烧坏管子。

2. 最大反向工作电压

最大反向工作电压 (U_{RM}) 是指二极管在使用时所允许加的最大反向电压。超过此值时二极管就有可能发生反向击穿。通常取反向击穿电压的一半值作为 U_{RM} 。

3. 最大反向电流

最大反向电流 (I_{RM}) 是指在给二极管加最大反向工作电压时的反向电流值。 I_{RM} 越小说明二极管的单向导电性越好，此值受温度的影响较大。

4. 最高工作频率

二极管的工作频率超过最高工作频率 (f_M) 所规定的值时，单向导电性将受到影响。此值由 PN 结电容所决定。

此外还有结电容、工作温度等参数，各参数均可在半导体手册中查得。但应指出，由于工艺制造的原因，参数的分散性较大，手册上给出的往往是参数值的范围。另外，各种参数是在规定的条件下测得的，在使用时要注意这些条件。

二极管的应用主要是利用它的单向导电特性，因此，二极管在电路中常用作整流、检波、限幅、钳位、开关、元件保护、温度补偿等。

【例 1.2.1】图 1.2.6 所示是利用二极管构成的正向限幅器。所谓限幅器就是削波电路，用来限制输出电压的幅度。设 $u_i=12\sin\omega t$ V， $U_S=3$ V。试分析工作原理，并作出 u_o 的波形 (VD 为理想元件)。

分析方法：将二极管断开，分析二极管两端电位的高低或所加电压 U_D 的正负。若采用理想电路模型，则有

$V_{阳}>V_{阴}$ 或 U_D 为正 (正向偏置) —— 二极管导通，相当开关闭合；

$V_{阳}<V_{阴}$ 或 U_D 为负 (反向偏置) —— 二极管截止，相当开关断开。

解：取 U_S 负端为参考点， $V_{阳}=u_i=12\sin\omega t$ V， $V_{阴}=3$ V

所以，当 $u_i>3$ V 时，二极管导通， $u_o=3$ V，反之，二极管截止， $u_o=u_i$ ， u_o 的波形如图 1.2.7 所示。

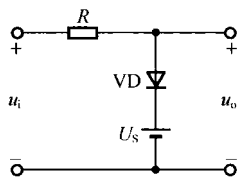


图 1.2.6 例 1.2.1 电路图

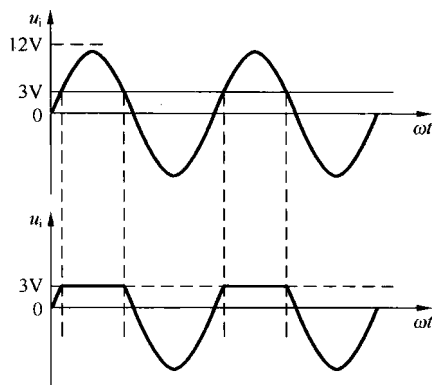


图 1.2.7 例 1.2.1 波形图

1.3 特殊二极管

1.3.1 稳压二极管

稳压二极管是一种特殊工艺制造的面接触型硅二极管，通常工作在反向击穿状态，在制造工艺上保证在规定的工作条件下，允许重复击穿而不损坏。稳压管的稳定电压就是反向击穿电压。稳压管的稳压作用在于：电流增量很大，只引起很小的电压变化。

1. 伏安特性及符号

稳压二极管的伏安特性及符号如图 1.3.1 所示。

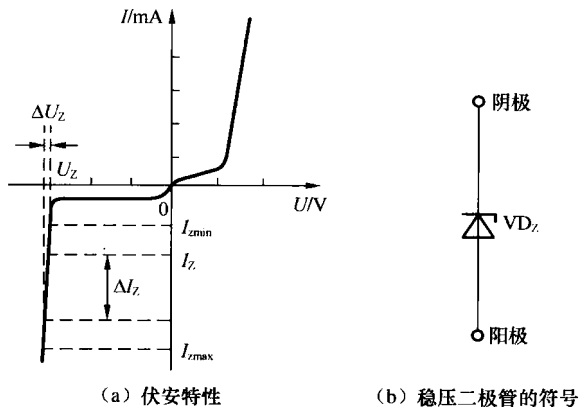


图 1.3.1 稳压二极管的特性曲线和符号

2. 稳压管的主要参数

(1) 稳定电压

稳定电压 (U_Z) 是指稳压管在正常工作 (流过的电流在规定范围内) 时，稳压管两端的电压值。

(2) 稳定电流和最大稳定电流

稳定电流 (I_Z) 是指稳压管在正常工作时的参考电流值，通常为工作电压等于 U_Z 时所对应的电流值。当工作电流低于 I_Z 时，稳压效果变差。若工作电流低于 I_{Zmin} 将失去稳压作用。

最大稳定电流 (I_{ZM}) 是指稳压管允许通过的最大反向电流，若工作电流高于 I_{ZM} 稳压管易击穿而损坏。一般来说，只要不超过稳压管的最大耗散功率和 I_{ZM} ，工作电流较大时稳压性能较好。

(3) 最大耗散功率

最大耗散功率 (P_{ZM}) 是指稳压管的稳定电压 U_Z 与最大稳定电流 I_{ZM} 的乘积，它是由稳压管的温升所决定的参数。

I_{ZM} 和 P_{ZM} 是为了保证稳压管不发生热击穿而规定的极限参数。

【例 1.3.1】 图 1.3.2 所示是稳压管稳压电路，其中 R 是限流电阻。已知 $U_I=20V$ ， $R=1k\Omega$ ， $R_L=1.5k\Omega$ ，稳压管的稳定电压 $U_Z=8V$ ，最大整流电流 $I_{Zmax}=10mA$ 。试求稳压管中通过的电