

高等职业教育“十二五”电类基础课规划教材

模拟电子技术与实训

Gaodeng-zhijyejiaoyu shierwu dianlei jichu ke guihua jiaocai

罗厚军 主编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



赠电子课件、习题解答、模拟试卷

高等职业教育“十二五”电类基础课规划教材

模拟电子技术与实训

主 编 罗厚军
副主编 卢 颢 朱小祥 李 燕
参 编 陈晓黎 董英英 叶 荃 游家发
主 审 曹振军



机 械 工 业 出 版 社

本书以教育部关于《高等职业学校培养目标和人才规格》为依据,以《高职高专教育电子技术课程教学基本要求》为指导,针对高职学生知识结构及所必备的模拟电子技术基础知识,结合职业资格证书的技能要求而编写。

本书内容包括:半导体器件、放大电路基础、负反馈放大电路、集成运算放大器及应用、信号发生电路、直流稳压电源、现代电子设计方法简介等。

本书可作为工科类全日制高职院校、高等专科学校、民办高职、成人教育、职业培训的电气工程、电子信息工程、通信工程、自动化、计算机等专业的教材,也可供从事电子技术专业的技术人员和自修人员参考。

为方便教学,本书备有免费电子课件和章后详细习题解答等,凡选用本书作为授课教材的学校均可来电索取。咨询电话:010—88379375。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术与实训/罗厚军主编. —北京:机械工业出版社, 2012. 1

高等职业教育“十二五”电类基础课规划教材

ISBN 978-7-111-36407-8

I. ①模… II. ①罗… 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(2011)第 230697 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:于宁 责任编辑:于宁 曹雪伟

版式设计:霍永明 责任校对:张媛

封面设计:赵颖喆 责任印制:杨曦

保定市中画美凯印刷有限公司印刷

2012 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·14.25 印张·349 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-36407-8

定价:27.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

策划编辑:(010) 88379772

社服务中心:(010) 88361066 网络服务

销售一部:(010) 68326294 门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书以教育部关于《高等职业学校培养目标和人才规格》为依据,以《高职高专教育电子技术课程教学基本要求》为指导,针对高职学生知识结构及所必备的模拟电子技术基础知识,结合职业资格证书的技能要求而编写。

本书有着鲜明的职业教育特点,将专业性、实用性、应用性作为教材编写的基准点,突出理论与实践一体化教学,具有与行业企业生产实际结合紧密的知识框架,理论知识以必需、够用为度,以应用为目的。在编写过程中,根据高职高专培养应用型人才的基本要求,充分考虑了内容深度、应用性以及能力培养等方面,力求做到保证基础、降低深度、扩大信息、加强应用,计算从简,易教易学,便于教师讲授和学生自学。各章章前都有理论和技能的分层要求,每章均有小结,便于读者系统掌握重、难点知识,此外,还配有与知识点对应的技能训练,增加了仿真软件 Multisim 9 的介绍和应用,有较多的实用电路,知识结构完整、实用,体系结构合理,内容新颖、精练,文字通俗,使本书内容更具有科学性、实用性、可读性,以满足当前教学的需要。

限于所用软件,书中仿真软件 Multisim 9 部分的电气符号与国家标准不一致,特提请读者注意。

本书内容包括:半导体器件、放大电路基础、负反馈放大电路、集成运算放大器及应用、信号发生电路、直流稳压电源、现代电子设计方法简介等。本教材除基本内容外还设有标示“※”号的小节,以便读者根据需要自主选择学习和查阅。

本书由罗厚军担任主编,卢颀、朱小祥、李燕担任副主编。

湖北科技职业学院陈晓黎编写了第1章,河北机电职业技术学院李燕编写第5章,其余各章由武汉软件工程职业学院的老师编写,其中:朱小祥编写第2章,罗厚军编写第3章并整理了附录A、B。卢颀编写第4章,董英英编写第6章,游家发、叶茎编写第7章,叶茎还整理了附录C。全书由罗厚军负责统稿。河北机电职业技术学院曹振军副教授任主审,他审阅了全书,提出了许多修改建议,在此表示诚挚的感谢!

书中如有错误和不妥之处,殷切期望使用本书的广大师生和其他读者批评指正,我们将不断改进和完善。

编 者

目 录

前言

第1章 半导体器件	1
本章学习要求	1
1.1 半导体基础知识	1
1.1.1 半导体特点	1
1.1.2 PN 结单向导电性	3
1.2 二极管	4
1.2.1 二极管的结构	4
1.2.2 二极管的伏安特性和近似模型	5
1.2.3 二极管的主要参数	6
1.2.4 特殊二极管	7
1.3 晶体管	10
1.3.1 晶体管的结构	10
1.3.2 晶体管的电流分配与放大作用	11
1.3.3 晶体管的特性曲线	12
1.3.4 晶体管的主要参数	14
1.4 场效应晶体管	17
1.4.1 结型场效应晶体管	17
1.4.2 绝缘栅型场效应晶体管	20
1.5 半导体器件技能训练	22
1.5.1 技能训练综述	22
1.5.2 技能训练目的	22
1.5.3 二极管特性及参数测试	25
1.5.4 晶体管特性及参数测试、型号及管脚的判别	26
1.5.5 二极管、晶体管应用电路的搭建与测试	28
本章小结	29
习题1	30
第2章 放大电路基础	32
本章学习要求	32
2.1 放大电路的基本概念	32
2.1.1 放大电路概述	32
2.1.2 放大电路的主要性能指标	32
2.2 共发射极基本放大电路	34
2.2.1 共发射极偏置放大电路的工作原理	34
2.2.2 放大电路的分析方法及静态工作点的稳定	36
2.3 其他组态放大电路	42
2.3.1 共集电极放大电路	42

2.3.2 共基极放大电路	43
2.3.3 三种组态放大电路的特点	44
2.4 场效应晶体管放大电路	45
2.4.1 场效应晶体管放大电路的组成	45
2.4.2 场效应晶体管放大电路的分析	45
2.5 多级放大电路	48
2.5.1 多级放大电路的组成与耦合方式	48
2.5.2 多级放大电路的分析和动态参数计算	50
2.6 功率放大电路	52
2.6.1 功率放大电路的基本概念	52
2.6.2 互补对称功率放大电路	53
2.7 放大电路技能训练	56
2.7.1 技能训练综述	56
2.7.2 技能训练目的	57
2.7.3 扩音机放大电路的工作原理	58
2.7.4 扩音机放大电路的制作	59
2.7.5 扩音机常见故障的分析与排除	62
本章小结	66
习题2	67
第3章 负反馈放大电路	72
本章学习要求	72
3.1 反馈的基本概念与分类	72
3.1.1 反馈的概念	72
3.1.2 反馈的分类	73
3.2 负反馈放大电路的类型及框图	77
3.2.1 负反馈类型以及判断方法	77
3.2.2 负反馈放大电路的框图	81
3.2.3 负反馈的基本关系式	81
3.3 负反馈对放大电路性能的影响	82
3.3.1 减小非线性失真	82
3.3.2 提高电路放大倍数的稳定性	82
3.3.3 扩展通频带	83
3.3.4 改变放大电路的输入和输出电阻	83
3.3.5 抑制内部干扰和噪声	85
3.4 深度负反馈放大电路	86
3.4.1 深度负反馈的特点	86
3.4.2 深度负反馈的分析方法	87
3.5 负反馈放大电路的稳定与引入负反馈的原则	89
3.5.1 负反馈放大电路的稳定	89
3.5.2 放大电路引入负反馈的原则	90
3.6 负反馈放大电路技能训练	91
3.6.1 技能训练综述	91
3.6.2 技能训练目的	91

3.6.3 电子音量控制器电路的工作原理	92
3.6.4 电子音量控制器电路的制作	92
本章小结	94
习题3	94
第4章 集成运算放大器及应用	97
本章学习要求	97
4.1 集成运算放大器的基本知识	97
4.1.1 集成运算放大器的特点	97
4.1.2 集成运算放大器的组成及原理	97
4.1.3 通用型集成运算放大器简介	98
4.2 集成运放的基本单元电路	100
4.2.1 差分放大电路	100
4.2.2 输出级电路	103
4.3 集成运放的应用	104
4.3.1 集成运放的理想化条件	104
4.3.2 集成运放的三种基本电路	105
4.3.3 集成运放的其他应用电路	109
4.4 集成运放的型号命名及使用	111
4.4.1 集成运放的特性参数	111
4.4.2 集成运放器件的型号	113
4.4.3 集成运放的简单测试	114
4.5 集成运算放大器技能训练	115
4.5.1 技能训练综述	115
4.5.2 技能训练目的	115
4.5.3 送话器放大器电路的工作原理	116
4.5.4 送话器放大器电路的制作	117
本章小结	119
习题4	120
第5章 信号发生电路	122
本章学习要求	122
5.1 正弦波振荡电路	122
5.1.1 正弦波振荡电路的工作原理	122
5.1.2 RC正弦波振荡电路	124
5.1.3 LC正弦波振荡电路	127
5.2 非正弦波信号产生电路及波形变换电路	130
5.2.1 电压比较器	130
5.2.2 多谐波振荡器	132
5.2.3 波形变换电路	135
5.3 石英晶体振荡器	137
5.3.1 石英晶体的基本特征	137
5.3.2 石英晶体振荡电路	138
5.4 集成函数发生器8038简介	139
5.5 信号发生电路技能训练	140

5.5.1 技能训练综述	140
5.5.2 技能训练目的	141
5.5.3 信号发生器电路的设计	141
5.5.4 信号发生器电路的制作	141
本章小结	144
习题 5	145
第 6 章 直流稳压电源	150
本章学习要求	150
6.1 概述	150
6.2 整流与滤波电路	151
6.2.1 单相整流电路	151
6.2.2 单相滤波电路	155
6.3 直流稳压电路	157
6.3.1 硅稳压管直流稳压电路	158
6.3.2 串联型稳压电路	159
6.4 三端集成稳压器	161
6.4.1 三端集成稳压器的原理及主要参数	161
6.4.2 三端集成稳压器的典型应用	163
6.5 开关稳压电源	165
6.5.1 开关稳压电源的基本工作原理	166
6.5.2 集成开关稳压电源及其应用	167
6.6 直流稳压电源技能训练	169
6.6.1 技能训练综述	169
6.6.2 技能训练目的	169
6.6.3 直流稳压电源电路的工作原理	170
6.6.4 小型稳压电源的制作	171
本章小结	173
习题 6	173
第 7 章 现代电子设计方法简介	176
本章学习要求	176
7.1 电子系统概述	176
7.2 模拟电子电路的设计方法	176
7.2.1 模拟电子系统设计的一般原则	176
7.2.2 模拟电子系统的设计流程	177
7.3 模拟电路仿真分析	180
7.3.1 单管放大电路的设计与仿真	180
7.3.2 负反馈电路的设计与仿真	184
7.3.3 LC 正弦波振荡电路的设计与仿真	187
7.3.4 集成运放电路的设计与仿真	189
7.3.5 直流稳压电源电路的设计与仿真	190
7.4 设计应用举例	192
7.4.1 电池恒流自动充电电路的设计	192
7.4.2 电源监视器电路的设计	195

本章小结	198
习题 7	198
附录	200
附录 A 半导体分立器件型号及参数	200
附录 B 常用国产集成电路的型号及命名	203
附录 C 仿真软件 Multisim 9 的安装与详细菜单介绍	204
部分习题参考答案	213
参考文献	218

第 1 章 半导体器件

【本章学习要求】

理论：掌握 PN 结单向导电性和晶体管(NPN 型硅管)截止、放大、饱和三种工作状态的条件及特点；熟悉硅二极管的伏安特性曲线和晶体管(NPN 型硅管)的输入特性和输出特性曲线以及 MOS 管三个工作区域的特点；了解稳压管的主要参数。

技能：掌握常用电子仪器的使用，掌握用万用表简易测试二极管、晶体管的方法，掌握二极管、晶体管简单应用电路。

1.1 半导体基础知识

1.1.1 半导体特点

1. 物质的导电性

导电性能介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体，自然界的物体根据其导电性能的强弱可分为导体、绝缘体和半导体三大类。

导体(如铜、铁、银等金属材料)导电能力很强，电阻率一般小于 $10^{-4} \Omega/\text{cm}$ 。

绝缘体(如塑料、橡胶、陶瓷、云母等材料)导电能力很差，电阻率一般大于 $10^{10} \Omega/\text{cm}$ 。

半导体(如硅(Si)、锗(Ge)、砷化镓(GaAs)及其一些氧化物和硫化物等)电阻率在 $10^{-3} \sim 10^9 \Omega/\text{cm}$ 的范围内。

常用的半导体材料有硅和锗，硅原子和锗原子的电子数分别是 14 和 32，所以它们最外层的电子都是 4 个，是四价元素。它们的原子结构简化模型如图 1-1 所示。每个原子的 4 个价电子不仅受自身原子核的束缚，而且还与周围相邻的 4 个原子发生联系，相邻的原子就被共有的价电子联系在一起，称为共价键结构，如图 1-2 所示。

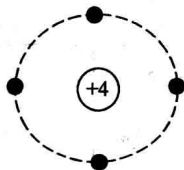


图 1-1 硅和锗的原子结构简化模型

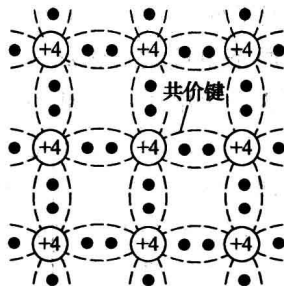


图 1-2 硅和锗的晶体结构

2. 本征半导体

纯净的不含任何杂质、晶体结构排列整齐的半导体晶体称为本征半导体。由于晶体共价

键结合力非常强,在热力学温度零度(记作 0K , 相当于 -273°C)条件下,价电子不能挣脱共价键的束缚而导电,因此半导体在此情况下与绝缘体一样不导电。

当温度逐渐升高或有一定强度的光照时,晶体中少量的价电子因热激发获得了足够的能量,可以挣脱共价键的束缚而成为带负电荷的自由电子,同时在原来的共价键位置上留下一个相当于带有正电荷的空穴,如图 1-3 所示。

本征半导体中不仅有带负电荷的自由电子,而且有正电荷的空穴,它们在外电场作用下都能定向运动参与导电,所以将这两种带电粒子称为载流子。

本征半导体中的价电子可挣脱共价键的束缚而成为带单位负电荷的自由电子,自由电子和空穴在热运动中又可能重新相遇结合而消失,这种现象称为复合。

3. 杂质半导体

本征半导体的导电能力很差,但是如果在本征半导体中掺入某种微量元素后,它的导电能力可增加几十万倍。根据掺入杂质的不同,杂质半导体又可分为 N 型(电子型)半导体和 P 型(空穴型)半导体。

(1) N 型半导体 在本征半导体硅中,掺入微量磷(或其他五价元素)之后,由于磷原子最外层有 5 个价电子,因此与硅原子构成共价键后,将多出一个价电子,多余的一个价电子很容易成为带负电的自由电子。同时,磷原子由于失去一个电子,并不产生空穴,而是成为带正电的离子。在杂质半导体中的自由电子数目大大增加,远远大于空穴数,所以自由电子为多数载流子,简称多子;而空穴为少数载流子,简称少子。这种杂质半导体称为电子型半导体或 N 型半导体。

N 型半导体的形成及结构示意图如图 1-4 所示。

(2) P 型半导体 在本征半导体硅中,掺入微量硼元素(或其他三价元素)之后,硼原子的最外层有 3 个价电子,因此与硅原子组成共价键后,因为缺少一个价电子而形成空位,即空穴。同时,硼原子成为带负电的离子。在杂质半导体中的空穴数目大大增加,远远大于自由电子数,因此称空穴为多数载流子,简称多子;相应的自由电子为少数载流子,简称少子。这种杂质半导体称为空穴型半导体或 P 型半导体。

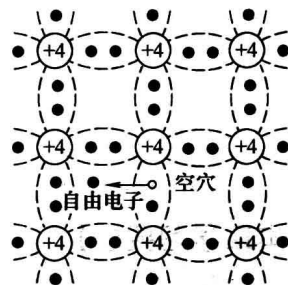


图 1-3 热激发产生的自由电子与空穴

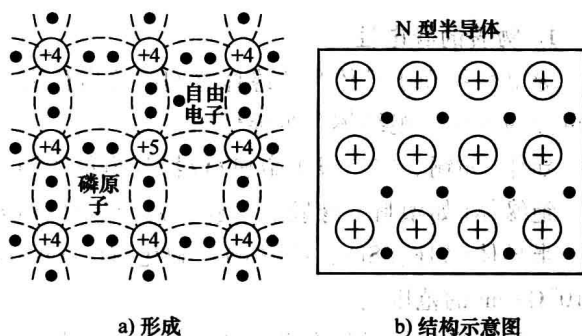


图 1-4 N 型半导体的形成及结构示意图

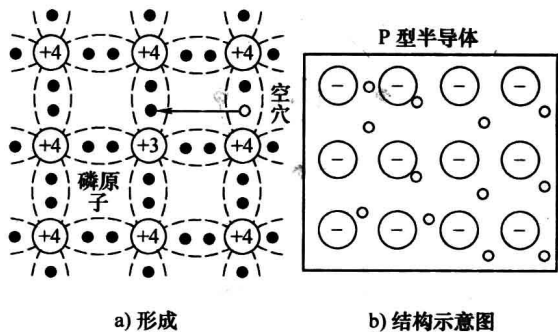


图 1-5 P 型半导体的形成及结构示意图

P型半导体的形成及结构示意图如图1-5所示。

1.1.2 PN结单向导电性

在一块本征半导体上通过某种掺杂工艺把P型半导体和N型半导体结合起来,则在它们的交界处就会形成一个具有特殊性质的薄层,称为PN结。PN结是构成各种半导体器件的基础。

1. PN结的形成

在本征半导体上通过某种掺杂工艺,使其形成P型区和N型区两部分,P区的多子是空穴,N区的多子是自由电子,由于交界面两侧载流子浓度的差别,N区的电子必然向P区扩散,P区的空穴也要向N区扩散,多数载流子在浓度差作用下的定向运动称为扩散运动,如图1-6a所示。

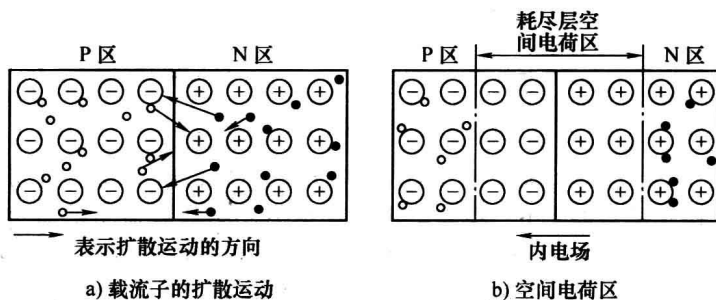


图1-6 PN结的形成

扩散运动的结果是在交界面附近P区一侧因失去空穴留下不能移动的负离子,N区因失去自由电子留下不能移动的正离子。同时,扩散到P区的电子将逐渐与P区的空穴复合,扩散到N区的空穴将逐渐与N区的自由电子复合。多子扩散到对方区域后,使对方区域的多子因复合而耗尽,于是在P区和N区的交界处就会出现数量相等、不能移动的负离子区和正离子区,这些不能移动的带电离子形成了空间电荷区,也就是PN结,如图1-6b所示。在空间电荷区内,多子已扩散到对方,或被对方扩散过来的多子复合,即多子被耗尽了,所以空间电荷区也称为耗尽层。在耗尽层以外的区域仍呈电中性。

空间电荷区靠近P区的部分带负电,靠近N区的部分带正电,因此形成了一个电场方向由N区指向P区的内建电场,简称内电场。内电场阻碍了多子的扩散运动,而有利于少子的漂移运动。由于内电场的方向是从N区指向P区,因此这个电场对多子的扩散起到阻碍的作用;对少子的运动起到了加强的作用。由于P区的少子是自由电子,N区的少子是空穴,因此,内电场有利于漂移(N区的少子空穴向P区漂移,P区的少子电子向N区漂移),载流子在电场力作用下的定向移动,称为漂移运动,如图1-7所示。

综上所述,PN结中进行着多子扩散运动和少子漂移运动。扩散运动使空间电荷区变宽,漂移运动使空间电荷区变窄,两种运动不断进行着,当扩散强度等于漂移强度,达到了动态平衡时,流过PN结的总电流为零,因此PN结呈电中性。

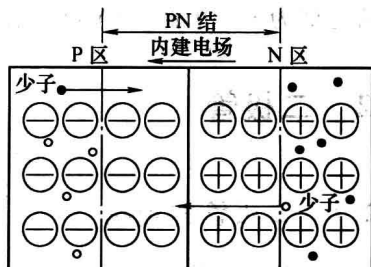


图1-7 漂移运动

2. PN 结的单向导电特性

没有加外部电压时, 流过 PN 结的总电流为零, 只有外加电压时, PN 结才显示出单向导电性。

(1) 外加正偏电压时 PN 结导通 将 PN 结的 P 区接高电位(如电源的正极), N 区接低电位(如电源的负极), 称为给 PN 结加正向偏置电压, 简称正偏, 如图 1-8a 所示。

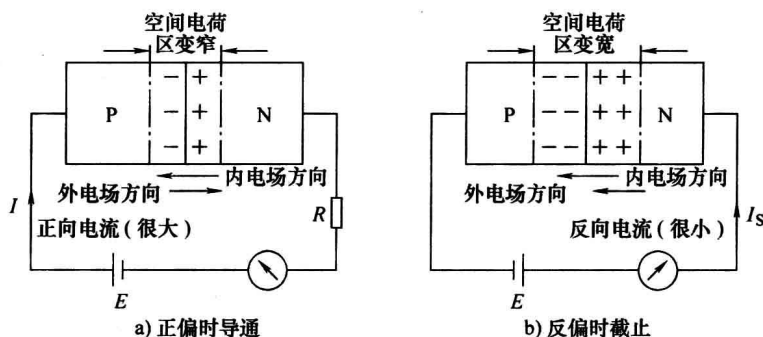


图 1-8 PN 结的单向导电性

PN 结正偏时, 由于外电场与 PN 结的内电场方向相反, 内电场被削弱, 空间电荷区变窄, 扩散增强, 漂移几乎减弱到 0。在外电场的作用下, 多数载流子能越过空间电荷区形成正向电流 I , 电流方向是从 P 区指向 N 区, 为了防止较大的正向电流 I 将 PN 结烧坏, 应在回路中串联限流电阻 R 。扩散电流随外加电压的增加而增加, 当外加电压增加到一定值后, 正向电流将随正向电压的增加呈指数上升。在正向偏置下, PN 结对外电路呈现较小的电阻(理想情况下电阻为零, 可以看成是短路情况), 因此称 PN 结处在导通状态。

(2) 外加反偏电压时 PN 结截止 将 PN 结的 P 区接低电位(如电源的负极), N 区接高电位(如电源的正极), 称为给 PN 结加反向偏置电压, 简称反偏, 如图 1-8b 所示。

PN 结反偏时, 由于外电场与 PN 结的内电场方向相同, 内电场被加强, 空间电荷区变宽。多子扩散运动减弱到几乎为 0, 而少子漂移运动在内电场的作用下增强, 在 PN 结中形成了少子漂移电流, 电流方向是从 N 区指向 P 区, 称为反向电流。反向电流非常小, 一般为微安数量级。随着反向电压的增大, 反向电流几乎不变, 因此反向电流又称为反向饱和电流 I_s 。在反向偏置下, PN 结对外电路显现很大的电阻(理想情况下电阻为无穷大, 可以看成是开路情况), 因此称 PN 结处在截止状态。

综上所述, PN 结正向偏置时导通, 形成较大的正向电流; PN 结反向偏置时截止, 反向电流近似为零。因此, PN 结具有单向导电性。

1.2 二极管

1.2.1 二极管的结构

半导体二极管, 实质上是由一个 PN 结加上电极引线及外壳封装制成。由 P 区引出的电极为阳极或正极, 由 N 区引出的电极为阴极或负极。常见二极管的结构、外形及电路符号如图 1-9 所示。

半导体二极管按材料不同可分为硅二极管、锗二极管等；按用途不同可分为普通二极管、整流二极管、稳压二极管、发光二极管、开关二极管等；按其结构的不同，可分为点接触型、面接触型和平面型三种。

点接触型二极管的PN结面积很小，允许通过的电流小，但其结电容小，高频性能好，适用于高频的检波、高频振荡及脉冲数字电路里的开关元件。如2AP系列和2AK系列二极管。

面接触型二极管的PN结面积大，能通过较大的电流，但其结电容大，低频性能好，适用于工作频率较低的电路中，主要用于整流。如2CZ系列二极管。

平面型二极管一般采用光刻生产工艺制成，集成电路中的二极管通常采用这种结构。

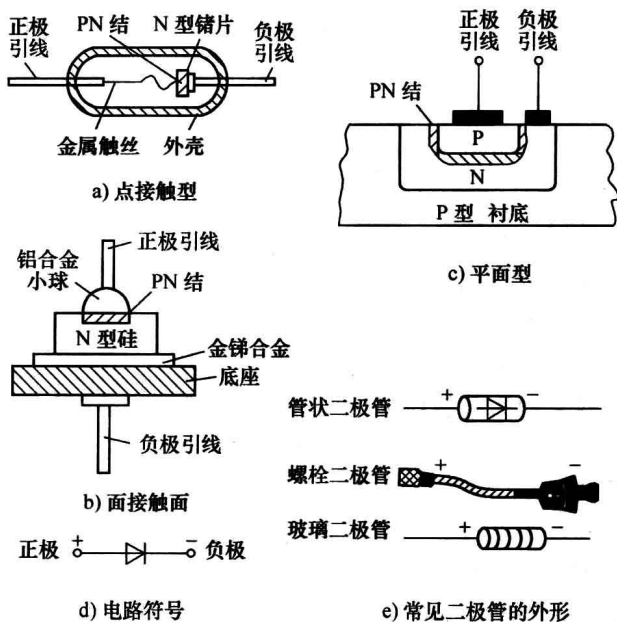


图 1-9 二极管的结构、外形与符号

1.2.2 二极管的伏安特性和近似模型

二极管的伏安特性也就是PN结的伏安特性。二极管的伏安特性是指加到二极管两端的电压和流过二极管的电流之间的关系曲线，如图1-10所示。曲线可以分为三部分：正向特性、反向特性和击穿特性。

1. 正向特性

正向特性曲线如图1-10中OA段所示。当外加电压 U 较小时，外电场很小，还不足以克服PN结的内电场，正向扩散电流仍几乎为零，PN结不导通。只有当 U 大于死区电压(硅管约为0.5V，锗管约为0.1V)后，外加电场才足以削弱内电场，使扩散运动迅速增加，产生正向电流。并且一旦导通后，只要正向电压 U 有微小的增加，电流就急剧地以指数规律上升。从二极管的正向特性曲线还可以看出：当二极管正向电流在很大范围内变化时，二极管两端的电压几乎不变，即二极管导通后正向导通压降可近似为固定值，硅管导通压降约为0.6~0.8V，锗管导通压降约为0.2~0.3V。理想二极管导通压降可以近似为零。

2. 反向特性

反向特性曲线如图1-10中OB段所示。当外加反向电压时，PN结内流过的电流为少子的漂移电流，即反向饱和电流 I_s 。当反向电压 U 在一定范围内变化时，反向电流很小，并

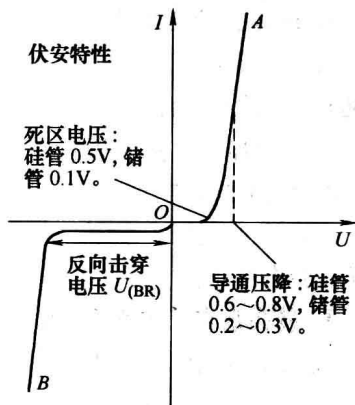


图 1-10 二极管的伏安特性

且几乎不变。一般为微安数量级，理想二极管可以认为反向电阻为无穷大。

3. 击穿特性

当外加反向电压增大到一定数值时，由于外电场过强，会使反向电流急剧增大，称为反向击穿。发生击穿时的反向电压称为反向击穿电压 U_{BR} 。如图 1-10 中 C 段(硅管为 C 段，锗管为 C' 段)所示，各类二极管的反向击穿电压大小各不相同，普通二极管反向击穿后将因反向电流过大而损坏。

4. 二极管的近似模型

(1) 理想模型 所谓理想模型就是将二极管的单向导电特性理想化，可以将二极管视为理想模型，即忽略二极管导通电压(硅二极管 0.6 ~ 0.8V 或锗二极管 0.2 ~ 0.3V)，认为二极管的导通电压和反向电流等于零，此时的伏安特性如图 1-11a 所示。在这种情况下，二极管可以等效为开关。一般在电源电压远大于二极管的导通电压时，利用理想二极管来分析，不会产生较大的误差。

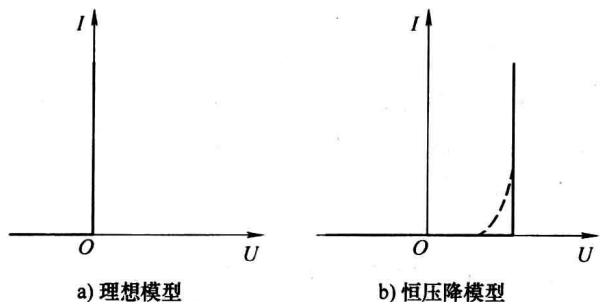


图 1-11 二极管的近似模型

(2) 恒压降模型 在二极管的导通电压不能忽略时，还可以将二极管视为恒压降模型，如图 1-11b 所示，即认为二极管正偏导通后的管压降是个恒定值(对于硅管和锗管来说，分别取 0.7V 和 0.2V)，二极管反偏时反向饱和电流 I_S 和理想二极管一样视为零。这个模型比理想二极管更接近实际情况。

1.2.3 二极管的主要参数

为了正确选用和判断二极管的好坏，必须了解二极管的主要参数。

1. 最大整流电流 I_F

最大整流电流 I_F 是指二极管在一定温度下，长期允许通过的最大正向平均电流。使用时通过二极管的电流要小于这个电流，否则会使二极管因过热而损坏。另外，对于大功率二极管，必须加装散热装置。

2. 反向击穿电压 U_{BR}

反向击穿电压 U_{BR} 是指二极管反向击穿时的电压值。当温度升高时，二极管反向击穿电压 U_{BR} 会有所下降。

3. 最高反向工作电压 U_{RM}

最高反向工作电压 U_{RM} 是指确保二极管安全使用时所允许的最大反向电压，一般手册上给的最高反向工作电压 U_{RM} 约为反向击穿电压 U_{BR} 的一半，以保证二极管正常工作的余量，避免二极管发生反向击穿。

4. 反向电流 I_R (反向饱和电流 I_S)

反向电流 I_R (又称为反向饱和电流 I_S) 是指在室温和规定的反向工作电压下(管子未击穿时)的反向电流。此值越小，说明二极管的单向导电性越好。当温度升高时，反向电流 I_R 会有所增大。

5. 最高工作频率 f_M

最高工作频率 f_M 就是二极管能保持单向导电性的外加电压的最高频率，其值的大小取决于 PN 结电容的大小。结电容越小，则二极管允许的最高工作频率越高。

除上述参数外，二极管的参数还有很多，如结电容、正向压降等。在实际应用时，可查阅半导体器件手册。

1.2.4 特殊二极管

1. 稳压二极管

稳压二极管简称稳压管，是利用二极管的反向击穿特性，用特殊工艺制造的面接触型硅半导体二极管，常用的稳压二极管有 2CW 和 2DW 系列。其伏安特性曲线及电路符号如图 1-12 所示。稳压管在正常情况下工作在反向击穿区，由于二极管的反向击穿特性曲线很陡，反向电流在很大范围内变化时，二极管端电压的变化很小，因此具有稳压作用。

稳压管可以稳定地工作于击穿区而不损坏。稳压管的外形、内部结构均与普通二极管相似。稳压管反向击穿特性曲线越陡，动态电阻 r_z 越小，稳压性能就越好。稳压管的稳定电压 U_z 低的为 3V，高的可以达到 300V。

稳压二极管的参数是合理选择稳压管的重要依据，主要参数有：

(1) 稳定电压 U_z 稳定电压 U_z 如图 1-12a 所示，它是指当稳压管中电流为规定值时，稳压管在电路中其两端产生的稳定电压值。稳定电压的大小取决于制造时的掺杂浓度，所以同一型号稳压管的稳定电压也有所不同，例如 2CW15 稳压管的稳定电压 U_z 在 7 ~ 8.5V 之间。但是对于一个稳压管来说，在正常工作电流时的稳定电压是一确定值。

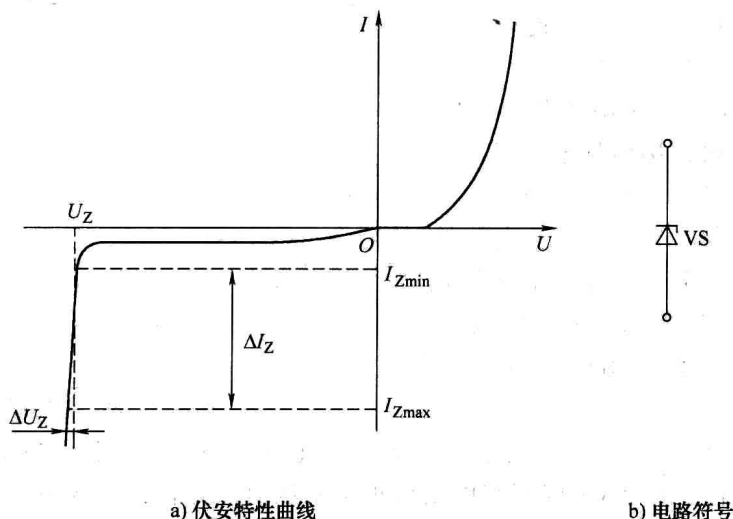


图 1-12 稳压管伏安特性曲线与电路符号

(2) 最大稳定电流 I_{Zmax} 和最大功率损耗 P_{ZM} 最大稳定电流 I_{Zmax} 指稳压管允许流过的最大工作电流。最大功率损耗 P_{ZM} 指稳压管不产生热击穿的最大功率损耗。如果通过稳压管的电流太大，会使稳压管内部的功耗增加，结温上升而烧坏稳压管，故正常工作时稳压管的电流和功率不应超过这两个极限参数。其关系为

$$P_{ZM} = U_z I_{Zmax}$$

(3) 最小稳定电流 I_{Zmin} 最小稳定电流 I_{Zmin} 是指稳压管正常工作时的最小电流值。正常工作时稳压管的电流应大于 I_{Zmin} ，且电流越大，稳压效果越好。

(4) 稳定电流 I_Z 稳定电流 I_Z 指稳压管工作在稳定状态时，稳压管中流过的电流。实际电流如果小于最小稳定电流 I_{Zmin} 时，稳压管将失去稳压作用；实际电流如果大于最大稳定电流 I_{Zmax} 时，稳压管将因过电流而损坏。在最小稳定电流 I_{Zmin} 和最大稳定电流 I_{Zmax} 之间时，电流越大，稳压效果越好。

(5) 动态电阻 r_z 动态电阻 r_z 指在反向击穿状态下，稳压管两端的电压变化量和相应的通过稳压管的电流变化量之比， r_z 是稳压管的微变电阻。反向击穿特性越陡， r_z 就越小，稳压管两端的电压变化量也就越小，稳压效果就越好。因此 r_z 的大小反映了稳压管性能的优劣。

稳压管稳压时，一定要外加反向电压，保证稳压管工作在反向击穿区。当外加的反向电压值大于或等于 U_Z 时，才能起到稳压作用；如果外加的电压值小于 U_Z ，则稳压管在使用时相当于普通的二极管。

在稳压管稳压电路中，一定要配合限流电阻的使用，保证稳压管中流过的电流在规定的范围之内。

【例 1.1】 电路如图 1-13 所示，其中 VS_1 的稳定电压值为 5V， VS_2 的稳定电压值为 10V，它们的正向压降为 0.7V，求各电路的输出电压值。

解：图 1-13a 中 VS_1 、 VS_2 串联在电路中， VS_1 正向连接， VS_2 反向连接， VS_1 因正向连接而导通， VS_2 处于稳压状态，两端电压等于稳压值 10V，因此输出电压为 $U_O = 10V + 0.7V = 10.7V$ 。

图 1-13b 中 VS_1 、 VS_2 串联在电路中，两个稳压管均正向连接而导通，因此输出电压为 $U_O = 0.7V + 0.7V = 1.4V$ 。

图 1-13c 中 VS_1 、 VS_2 并联反向连接于电路中，当稳压管 VS_1 处于稳压状态时，稳压管 VS_2 因两端电压小于稳压值而处于截止状态。因此输出电压为 $U_O = 5V$ 。

图 1-13d 中 VS_1 、 VS_2 并联在电路中， VS_1 反向连接， VS_2 正向连接，稳压管 VS_2 因正向连接而导通，相应的稳压管 VS_1 因两端电压值小于稳压值而处在截止状态。因此输出电压为 $U_O = 0.7V$ 。

2. 发光二极管

发光二极管是一种将电能直接转换成光能的半导体器件，简称 LED。发光二极管与普通二极管一样，由一个 PN 结构成，其伏安特性曲线及电路符号如图 1-14 所示。

目前发光二极管的颜色有红、黄、橙、绿、白和蓝 6 种，所发光的颜色主要取决于制作发光二极管的材料，例如用磷化镓发出绿光，而用砷化镓则发出红光。其中白色发光二极管是新型产品，主要应用在手机背光灯、液晶显示器背光灯、照明等领域。

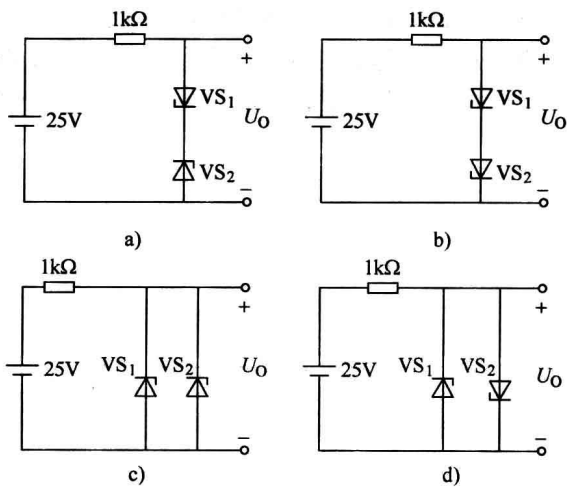


图 1-13 例 1-1 题图