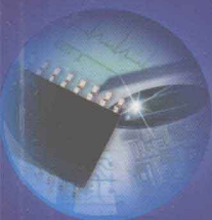




高职高专“十一五”规划教材

MONI DIANZI JISHU JICHU



模拟电子技术基础



赵军 主编



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

模拟电子技术基础

赵 军 主编

刘永波 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书共 9 章,包括半导体器件、基本放大电路、集成运算放大电路、放大电路的频率响应、放大电路中的负反馈、模拟信号运算电路、波形发生电路、功率放大电路和直流稳压电源等内容。

本书配有例题、实践与练习、思考题和习题,书末附有部分习题的参考答案,模拟电子技术常用中英文名词对照等内容。

本书可作为高职高专和应用型本科院校电子信息、通信、计算机、电气工程与自动化等专业的教材,也可供从事电子技术的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

模拟电子技术基础/赵军主编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 2

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-04125-8

I. 模… II. 赵… III. 模拟电路-电子技术-高等学校: 技术学院-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 207831 号

责任编辑: 廉 静 王听讲
责任校对: 顾淑云

文字编辑: 鲍晓娟
装帧设计: 韩 飞

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 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司
装 订: 三河市前程装订厂
787mm×1092mm 1/16 印张 15 字数 371 千字 2009 年 3 月北京第 1 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: 26.00 元

版权所有 违者必究

前 言

高等职业教育在我国高等教育中承担着重要角色，尤其工科的高等职业教育，更是担负着为我国工业、农业和国防的现代化建设培养能充分结合实际的应用型工程技术人才的重任。为了适应电子技术在工业生产中的广泛应用，各高等职业学校都开设了模拟电子技术基础这门课程，并作为专业必修课引入教学。

本书是根据教育部最新制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》，并结合高等院校电子信息工程、通信、计算机、电气工程与自动化等专业的要求而编写的专业基础课教材。它重视理论教学，更重视实践环节，主要任务是通过各个教学环节，运用各种教学手段和方法，使学生在模拟电子技术方面获得知识、素质和技能方面的培养，并为以后学习各专业知识和高一级的职业技能培训打下良好的基础。本书以培养应用型工程技术人才为目标，实用性强。

本书建议学时为 80~100 学时。书中注有“*”号的部分为选讲内容，可根据学时多少或专业需要决定。

本书由赵军主编，负责全书内容的组织和定稿；柳明丽、李青山担任副主编；张英囡、金东萍、于宝琦和潘巧智参与编写。

本书共 9 章。第 1 章由金东萍编写；第 2 章由赵军编写；第 3、4、6 章由张英囡编写；第 5 章由于宝琦编写；第 7、9 章由柳明丽编写；第 8 章由李青山编写。第 1 至 9 章的“实践与练习”由潘巧智编写。

刘永波审阅了全书，并对全书的内容和形式提出了许多宝贵建议。

本书在编写过程中得到了许多同事和朋友的支持和帮助，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏之处，恳请广大师生和读者批评指正。

编者

2008 年 10 月

目 录

第 1 章 半导体器件	1
1.1 半导体基础知识	1
1.2 半导体二极管	5
1.3 硅稳压二极管	9
1.4 特殊二极管	10
1.5 双极型晶体管	12
* 1.6 场效应管	19
实践与练习	25
本章小结	26
习题 1	27
第 2 章 基本放大电路	30
2.1 放大的概念	30
2.2 基本放大电路的工作原理	31
2.3 放大电路的分析方法	34
2.4 静态工作点的稳定	44
2.5 晶体管单管放大电路的三种基本组态	48
* 2.6 场效应管的基本放大电路	54
2.7 多级放大电路	57
实践与练习	64
本章小结	66
习题 2	68
第 3 章 集成运算放大电路	72
3.1 集成运算放大电路概述	72
3.2 集成运放的典型电路	85
3.3 理想集成运算放大器	88
3.4 集成运算放大器使用注意事项	89
实践与练习	90
本章小结	90
习题 3	93
*第 4 章 放大电路的频率响应	95
4.1 概述	95
4.2 阻容耦合单管共射放大电路的频率响应	100
4.3 多级放大电路的频率响应	107

4.4 集成运放的频率响应·····	109
实践与练习·····	111
本章小结·····	112
习题4·····	113
第5章 放大电路中的负反馈 ·····	115
5.1 反馈的基本概念·····	115
5.2 反馈类型及其判断方法·····	116
* 5.3 交流负反馈放大电路一般分析方法·····	120
5.4 负反馈对交流放大电路工作性能的影响·····	124
5.5 负反馈放大电路在实际应用中应注意的问题·····	126
实践与练习·····	129
本章小结·····	130
习题5·····	131
第6章 模拟信号运算电路 ·····	135
6.1 比例运算电路·····	135
6.2 加减运算电路·····	138
6.3 积分与微分运算电路·····	141
* 6.4 对数和指数运算电路·····	144
* 6.5 乘法和除法运算电路·····	146
实践与练习·····	149
本章小结·····	150
习题6·····	152
第7章 波形发生电路 ·····	155
7.1 正弦波振荡电路·····	155
7.2 电压比较器·····	167
7.3 非正弦波发生电路·····	174
实践与练习·····	179
本章小结·····	181
习题7·····	182
第8章 功率放大电路 ·····	185
8.1 功率放大电路概述·····	185
8.2 互补对称式功率放大电路·····	188
8.3 集成功率放大电路·····	193
实践与练习·····	195
本章小结·····	195
习题8·····	196
第9章 直流稳压电源 ·····	199
9.1 直流稳压电源的组成·····	199
9.2 单相整流电路·····	200
9.3 滤波电路·····	205

9.4 稳压电路.....	208
实践与练习	213
本章小结	215
习题 9	216
附录	219
附录 A 部分习题参考答案	219
附录 B 模拟电子技术常用中英文名词对照	222
附录 C 半导体器件型号命名方法	225
附录 D 常用半导体器件参数	226
附录 E 半导体集成电路型号命名法	230
参考文献	232

第 1 章 半导体器件

【内容提要】

半导体器件是组成各种电子电路的基础，是近代电子学的重要组成部分。

本章首先介绍了半导体的基础知识——半导体的分类、性质、导电特性和 PN 结的形成及其单向导电特性；然后较详尽地介绍了半导体二极管、稳压管、特殊二极管和双极型晶体管的结构、工作原理和特性曲线及主要参数；最后介绍场效应管的结构、工作原理和特性曲线、主要参数及使用时的注意事项。

1.1 半导体基础知识

半导体器件由于其体积小、重量轻、耗电少、功率转换效率高、使用寿命长和工作可靠等一系列优点，而在生产、科研和日常生活等各个方面得到了广泛的应用。

1.1.1 半导体

1. 半导体的概念

自然界中的物质，按其导电能力的差异，可分为导体、半导体和绝缘体三大类。导电能力介于导体和绝缘体之间的一大类物质，称为半导体，例如锗、硅、硒、砷化镓以及大多数硫化物和氧化物等。

2. 半导体的特点

(1) 光敏性 当半导体受到外界光的刺激时，其导电能力会显著地增强。这种对外界光的敏感性使半导体具有多种用途，如制成各种光敏元件，从而实现对路灯、航标灯的自动控制或制成火灾报警装置、光电控制开关等。

(2) 热敏性 温度升高，会使半导体的导电能力显著增强。半导体对温度的这种敏感性，使得其在自动控制系统中常被用来制造热敏电阻及其他热敏元件。

(3) 掺杂性 在纯净的半导体中加入微量的杂质，则半导体的导电能力就会有显著的增加，这是半导体最突出的性质。利用这个特性，可制造出各种不同的半导体器件。

半导体正是由于具有以上这三个不同于导体和绝缘体的特点，才在生产和生活等各个方面得到广泛应用。

3. 半导体的分类

(1) 本征半导体 纯净的具有晶体结构的半导体称为本征半导体。目前用于制造半导体器件的材料以硅和锗最为常用。硅和锗都是四价元素。

(2) 杂质半导体 通过扩散工艺，在本征半导体中有控制地掺入微量合适的杂质元素，

便可得到杂质半导体。杂质半导体可分为两类。

- ① N 型半导体 在本征半导体中掺入微量的五价元素（如磷），便可得到 N 型半导体。
- ② P 型半导体。在本征半导体中掺入微量的三价元素（如硼），便可得到 P 型半导体。

1.1.2 半导体的导电特性

1. 本征半导体的导电特性

以硅晶体为例，来说明这个问题。硅晶体中的每个硅原子都与周围四个相邻的硅原子形

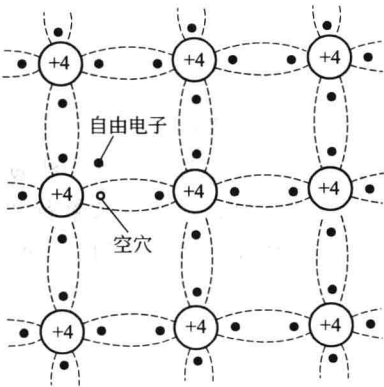


图 1-1 本征半导体中的自由电子和空穴

成共价键。室温下，晶体中仅有极少数价电子会因受热而获得足够的能量，从共价键中挣脱出来，摆脱共价键的束缚，成为自由电子。这一现象称为热激发，或称本征激发。与此同时，失去价电子的硅原子在该共价键上就留下了一个空位，这个空位称为空穴，空穴显示出带正电。很显然，在本征半导体中每产生一个自由电子必然会有一个空穴出现，自由电子与空穴总是成对出现的，所以本征半导体中的自由电子与空穴数目相等。如图 1-1 所示。

在室温下，本征半导体内产生的电子空穴对数目是很少的。当本征半导体受到外电场作用时，其内部自由电子将做逆外电场方向的定向运动，形成电场作用下的电子流；而空穴却将会做顺外电场方向的定向运动，形成电场作用下的

空穴流，两者方向相反。但是由于自由电子和空穴所带的电荷极性相反，因此两者的电流效应相同。由此看来本征半导体在外电场作用下，其中的电流应该是电子流和空穴流之和。

运载电荷的粒子称为载流子。显然，本征半导体中有两种载流子，即自由电子和空穴，它们均参与导电。这就是半导体的导电特性。

2. 杂质半导体的导电特性

(1) N 型半导体的导电特性 在 N 型半导体中，所掺入的微量的磷原子会取代某些位置上的硅原子，而其五个价电子在与周围四个相邻的硅原子形成共价键后，会多余出一个电子。这个电子不受共价键的束缚（不是自由电子，但几乎自由），只需很少的能量就可成为自由电子。显然，每个磷原子可以提供一个自由电子，而每个磷原子在提供一个自由电子后，自身就变成不能移动的正离子 $[P^+]$ 。因此，在 N 型半导体中自由电子数远大于空穴数，所以自由电子是 N 型半导体中的多数载流子，简称“多子”。空穴是 N 型半导体中的少数载流子，简称“少子”。因为杂质原子——磷原子可以提供电子，所以称其为施主原子，如图 1-2 所示。在外电场作用下，N 型半导体中的电子电流远大于空穴电流，N 型半导体是以电子导电为主的半导体，所以它又被称为电子型半导体。

(2) P 型半导体的导电特性 在 P 型半导体中，所掺入的微量硼元素的每个硼原子只有三个价电子，在与四个相邻的硅原子形成共价键时，就会自然形成一个“空位”，“空位”为电中性。当硅原子外层电子由于热运动填补此空穴时，每个硼原子自身就变成不能移动的负离子 $[B^-]$ ，同时硅原子之间的共价键中就产生了一个空穴，这个空穴带正电。显然，也可以说每个硼原子可以提供一个空穴。因此，在 P 型半导体中空穴是多子，电子是少子。因为杂质原子——硼原子中的空位可以吸纳电子，所以称其为受主原子，如图 1-3 所示。P 型半导体在外电场作用下，其中的空穴电流远大于电子电流。P 型半导体是以空穴导电为主的半导体，所以它又被称为空穴型半导体。

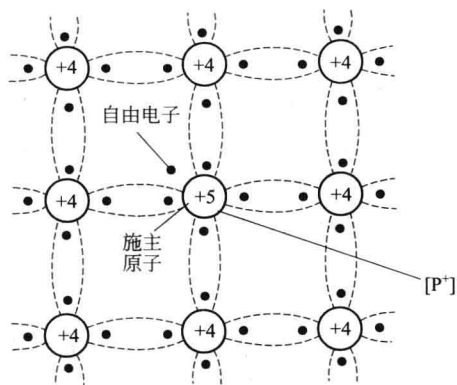


图 1-2 N 型半导体

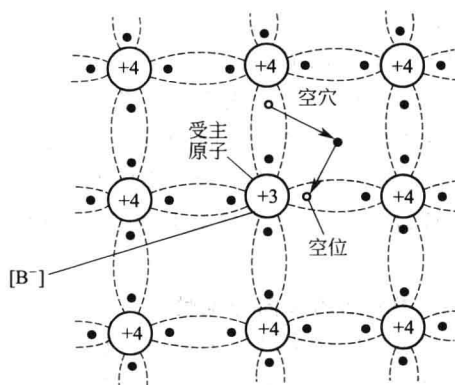


图 1-3 P 型半导体

从以上分析不难看出以下结论。

① 无论是 N 型半导体、还是 P 型半导体，所掺入的杂质愈多，多子浓度就愈高，其导电性能也就愈强。

② 由于掺入的杂质使多子的数目大大增加，从而使得多子与少子复合的机会大大地增多。所以杂质半导体的多子浓度愈高，少子的浓度就愈低。

③ 多子浓度近似等于掺杂浓度，因而其受温度影响极小；而少子是本征激发产生的，所以其对温度极为敏感。这也是半导体器件温度特性差的原因所在。

1.1.3 PN 结的形成及其单向导电性

在实际中单一的无论是 N 型半导体，还是 P 型半导体都不能直接制成半导体器件。而是在一片完整的晶片上，用特殊的掺杂工艺，将晶片的一部分制成 N 型半导体，另一部分制成 P 型半导体，那么在它们的交界处就会形成一个特殊的区域，称其为 PN 结。PN 结是构成众多半导体器件的基础。

1. PN 结的形成

在一块完整的本征硅（或锗）晶片上，用不同的掺杂工艺使其一边形成 N 型半导体，另一边形成 P 型半导体。由于 P 区与 N 区之间存在着载流子浓度的显著差异：P 区空穴多、电子少；N 区电子多、空穴少。于是在交界面处发生了 P 区与 N 区的多数载流子分别向对方区域的运动。这种由于多子的浓度差而引起的多子运动被称为扩散运动，如图 1-4(a) 所示。扩散的结果是：交界面附近 P 区因空穴减少而呈现负电性，N 区因电子减少而呈现正电性。这样，在交界面上出现了由正负离子构成的空间电荷区，空间电荷区的出现就产生了一个内电场，方向由 N 区指向 P 区，如图 1-4(b) 所示。内电场产生的电场力一方面阻碍多

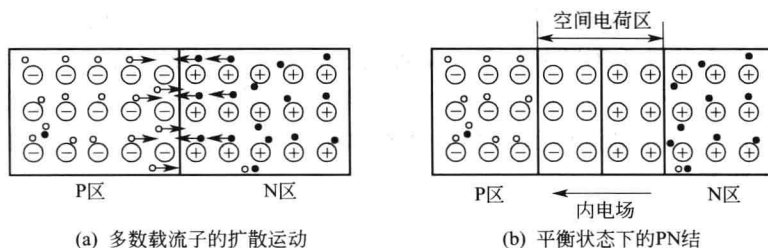


图 1-4 PN 结的形成

子的扩散运动，另一方面却促使 P 区少子——自由电子与 N 区的少子——空穴分别向对方运动，这种在内电场作用下的少子运动称为漂移运动。

在空间电荷区形成之初，扩散运动占优势，随着扩散运动的进行，空间电荷区逐渐加宽，内电场逐渐增强。而随着内电场的增强，扩散运动就会逐渐减弱，漂移运动却会逐渐增强。在无外电场和其他激发作用的情况下，最后扩散运动与漂移运动达到动态平衡，多子扩散的数目与少子的漂移数目相等，空间电荷区的宽度不再增加，相对稳定的 PN 结就形成了。

2. PN 结的单向导电性

若对 PN 结施以外加电压，那么在 PN 结中就会产生电流。但是外加电压的极性不同，流过 PN 结的电流不但方向会不同，而且其大小也会存在非常大的差别。

(1) PN 结加正向电压 PN 结加正向电压，就是将 P 区接电源的正极，N 区接电源的负极，如图 1-5(a) 所示。称 PN 结的这种接法为正向接法或正向偏置，简称正偏。

PN 结正偏时，外电场与内电场方向相反，在外电场的作用下 PN 结变窄，削弱了内电场，打破了动态平衡，使扩散运动占优势，漂移运动被减弱。这时只要一个很小的电压，就可得到一个较大的电流 I ，方向从 P 区到 N 区，如图 1-5(a) 中标注所示，称其为正向电流。由于正向电流是由多子的扩散运动形成的，所以外加正向偏置电压稍有增加，正向电流便会急剧增加。PN 结正向偏置时，呈现低阻状态，即处于导通状态。为防止回路中电流过大，一般可接入一个限流电阻 R 。

(2) PN 结加反向电压 PN 结加反向电压，就是将 N 区接电源的正极，P 区接电源的负极，如图 1-5(b) 所示。称 PN 结的这种接法为反向接法或反向偏置，简称反偏。

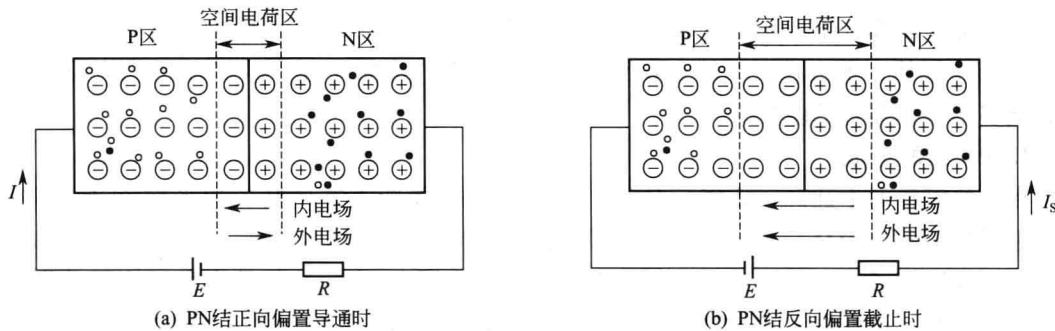


图 1-5 PN 结的单向导电性

PN 结反偏时，外电场使空间电荷区变宽，加强了内电场，同样也打破了动态平衡，即阻止了扩散运动的进行，加剧了漂移运动的进行。此时 PN 结中形成的电流称为反向电流，其方向从 N 区到 P 区。反向电流是由少子的漂移运动形成的，所以也称其为漂移电流。当温度一定时，反向电流几乎不随外加反向偏置电压的变化而变化，所以又称其为反向饱和电流，通常用符号 I_s 表示。反向饱和电流的数值很小，为微安级，且受温度的影响很大。在近似分析中，常由于反向电流的值很小而将其忽略不计。PN 结反向偏置时，呈现高阻状态，即处于截止状态。

【思考题】

1-1-1 半导体的特点是什么？

1-1-2 为什么 N 型半导体和 P 型半导体显电中性？

1-1-3 为什么 PN 结中的反向饱和电流的数值会很小?

1.2 半导体二极管

在 PN 结两端接上电极引线，并用管壳密封就构成半导体二极管，简称二极管。几种常见二极管的外形如图 1-6 所示。

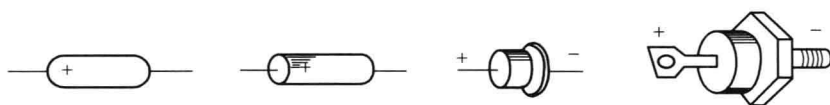


图 1-6 常见二极管外形

1.2.1 半导体二极管的基本结构与符号

二极管的基本结构示意图如图 1-7 所示。由 P 区引出的电极称其为二极管的正极或阳极，由 N 区引出的电极称其为二极管的负极或阴极。二极管的符号如图 1-8 所示，三角箭头方向表示正向电流的方向，正向电流只能从二极管的正极流入，从负极流出。二极管的文字符号用 VD 来表示。

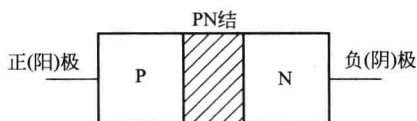


图 1-7 二极管的结构示意图



图 1-8 二极管的符号

二极管的结构按 PN 结形成的制造工艺方式可分为点接触型、面接触型和平面型等，如图 1-9 所示。

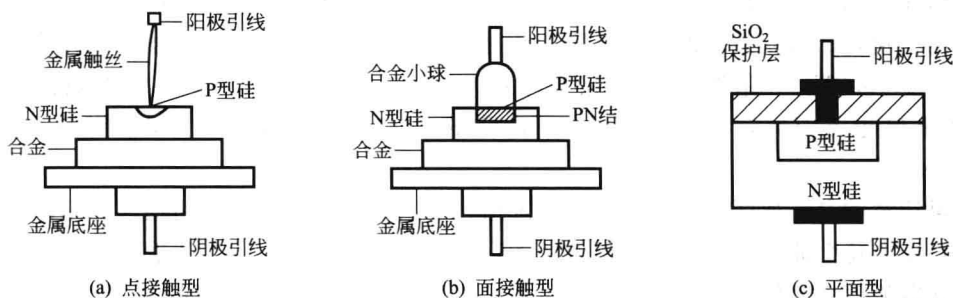


图 1-9 二极管常见结构

点接触型二极管由一根金属丝经特殊工艺与半导体表面连接，形成 PN 结。由于 PN 结的接触面积小，所以不能通过很大的正向电流和承受较高的反向电压，但它的高频性能好，适宜于在高频检波电路和小功率电路中使用；面接触型二极管采用合金工艺制成，其 PN 结的接触面积大，可以通过较大电流，能承受较高的反向电压，但其结电容大，只能在较低频率下工作，适宜于在整流电路中使用；平面型二极管采用扩散法制成，PN 结面积大的管可用于大功率整流，PN 结面积小的管适宜用作脉冲数字电路中的开关管，在数字电路中有广泛的应用。

1.2.2 二极管的伏安特性及主要参数

1. 伏安特性

加在二极管两电极间的电压 U 与流过二极管的电流 I 之间的对应关系，称为二极管的伏安特性。伏安特性可以用伏安特性曲线表示，硅二极管和锗二极管的伏安特性曲线如图 1-10 所示。

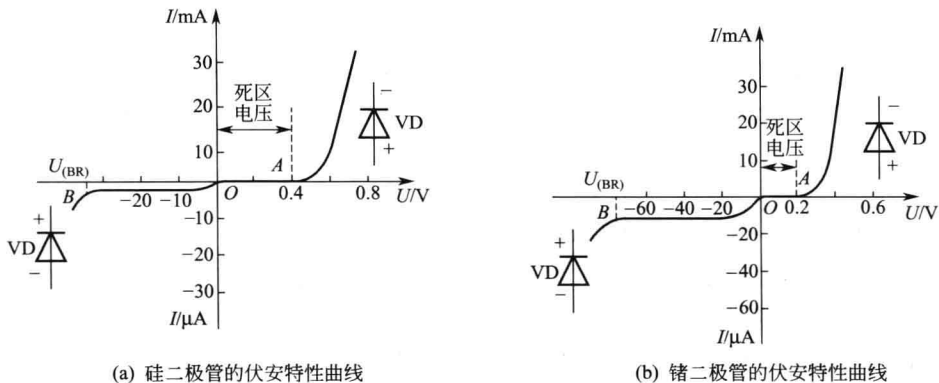


图 1-10 二极管的伏安特性

特性曲线可分为三部分：加正向电压时的特性称为正相特性（第一象限部分）；加反向电压，且反向电压的值小于 $U_{(BR)}$ 时的特性称为反向特性（第三象限 OB 段）；加反向电压，且反向电压的值大于 $U_{(BR)}$ 时的特性称为反向击穿特性（第三象限 B 点以后的曲线）。

(1) 正向特性曲线 曲线从坐标原点起，即 $U=0$ ， $I=0$ 。在曲线 OA 段，电压 U 虽为正值，即 $U>0$ ，但因其值很小，所以此时正向电流非常小（几乎为 0），这个区域通常称为“死区”。只有当 U 为正值且超过一定值（ A 点对应的电压，称为“死区电压”）后，才有正向电流迅速增加的状态出现，这时二极管处于正向导通状态。二极管导通后，正向电流在较大范围内变化，二极管两端的正向压降变化并不大。通常认为二极管导通后，硅管的正向压降约为 $0.6\sim 0.8\text{V}$ ，一般取 0.7V ；锗管约为 $0.1\sim 0.3\text{V}$ ，一般取 0.2V 。二极管的死区电压也叫做开启电压 U_{on} ，一般情况下，硅管的开启电压 $U_{on}=0.5\text{V}$ ，锗管的开启电压 $U_{on}=0.1\text{V}$ 。

值得注意的是，死区电压值与正向压降值在以后的学习中经常会用到，要熟记。

(2) 反向特性曲线 在反向电压作用下，反向电流的值很小，且几乎不随电压的增加而增大，此电流值被叫做反向饱和电流，也用 I_S 表示。此时二极管呈现很高的电阻，近似处于截止状态。硅管的反向电流比锗管的反向电流小，约在 $1\mu\text{A}$ 以下，锗管的反向电流达几微安甚至几十微安，这也是现在硅管应用比较多的原因之一。

(3) 反向击穿特性曲线 由图 1-10 可以看出，反向电压在一定范围内时，反向电流基本不随反向电压的增加而增大，但当反向电压超过一定值——反向击穿电压 $U_{(BR)}$ 后，反向电流急剧增大，二极管失去单向导电性，这种现象称为二极管的反向击穿。普通二极管不允许工作在反向击穿区。

硅、锗两种材料小功率二极管的正向导通电压范围、死区电压（或开启电压）及反向饱和电流的数量级如表 1-1 所示。

表 1-1 硅、锗两种材料的小功率二极管比较

材 料	导通电压 U/V	死区电压 U_{on}/V	反向饱和电流 $I_S/\mu A$
锗(Ge)	0.2~0.3	约 0.1	几到几十
硅(Si)	0.6~0.8	约 0.5	小于 1

综上所述，二极管的伏安特性是非线性的，因此二极管是一种非线性元件。在外加电压取不同极性或不同值时，就可以使二极管工作在不同的区域，从而充分发挥二极管的作用。

在实际工程估算中，若外加电压大于二极管的正向导通电压许多（一般 3~5 倍），为了简便起见，可将二极管视为理想二极管。所谓理想二极管，即认为其正向管压降为零，亦即认为其正向导通电阻为零，此时二极管相当于短路；反向电阻为无穷大，此时二极管相当于断路。

2. 温度对二极管伏安特性的影响

前面已经介绍了半导体器件中的少数浓度与温度有关，所以当环境温度发生变化时，二极管的伏安特性会发生变化。如果温度升高，二极管的正向特性将左移，反向特性将下移，如图 1-11 所示。

显然，当环境温度升高时，正向导通压降会减小，反向电流会增大，击穿电压会降低。在室温附近，温度每升高 1℃，正向导通压降将减小 2~2.5mV；温度每升高 10℃，反向电流约增大一倍。因此，二极管是一种对温度非常敏感的元件。二极管的温度特性对于电路的稳定性十分不利，在实际应用中要加以抑制。但是二极管的温度特性又可以为人们所利用，如利用二极管对温度的变化进行检测，从而实现对温度的自动控制。

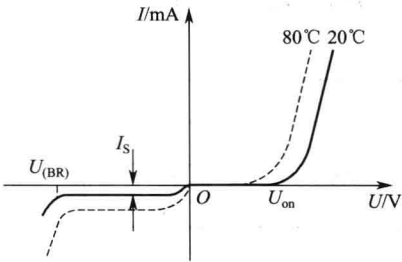


图 1-11 温度对二极管的伏安特性的影响

3. 二极管的主要参数

电子器件的参数是用来表征器件的性能优劣和适用范围的，是合理选择和正确使用器件的依据。二极管的主要参数如下。

- (1) 最大整流电流 I_F 最大整流电流 I_F 是指二极管长期工作时允许通过的最大正向平均电流。其值与二极管的材料、面积及散热条件有关。在实际使用时，流过二极管的最大平均电流不能超过 I_F ，否则二极管会因过热而损坏。
- (2) 最大反向工作电压 U_R 最大反向工作电压 U_R 是指二极管在工作时允许施加的最大反向电压值。二极管在实际使用时反向电压应该不超过此值，否则二极管就会因反向击穿而损坏。通常 U_R 为击穿电压 $U_{(BR)}$ 的一半。
- (3) 反向电流 I_R 反向电流 I_R 是指二极管未被击穿时的反向电流。 I_R 愈小，二极管的单向导电性愈好， I_R 对温度非常敏感，温度升高， I_R 会急剧增大。

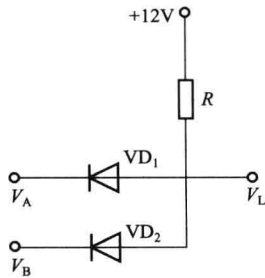
此外，二极管还有结电容和最高工作频率等许多参数，读者可查阅相关的半导体器件手册进行了解。

1. 2. 3 二极管的应用

由于二极管具有单向导电性，因此其在实际中得到了广泛的应用。它的主要作用有整流、检波、箝位、限幅、续流以及作为数字电路中的开关元件等。这里只介绍二极管的箝位、限幅和续流作用，而它的一个重要作用——整流将会在第 9 章中作介绍。

1. 二极管的箝位作用

在讨论二极管的箝位作用时，为了简便起见，将所有二极管均视为理想二极管。在图 1-12 所示电路中， V_A 、 V_B 分别为二极管阴极所加输入信号； V_L 为电路输出信号。



当 $V_A = V_B = 0V$ 时，二极管 VD_1 、 VD_2 均因为承受正向电压而导通，若忽略二极管的正向压降，则电路的输出信号 $V_L = 0$ 。

当 $V_A = V_B = 3V$ 时，二极管 VD_1 、 VD_2 也均因为承受正向电压而导通，若忽略二极管的正向压降，则电路的输出信号 $V_L = 3V$ 。

当输入信号 V_A 和 V_B 中只有一个为 $0V$ 时，例如 $V_A = 0V$ ， $V_B = 3V$ ，则因为二极管 VD_1 承受的正向压降大于二极管 VD_2 所承受的正向压降，于是二极管 VD_1 优先导通， VD_1 一旦导通，输出端的电位就将箝制在 $0V$ ，即 $V_L = 0$ ，于是使得 VD_2 因处于反向偏置而截止。

图 1-12 二极管的箝位作用

综上所述，图 1-12 所示电路的输入、输出信号的关系如表 1-2 所示。在数字电路中利用二极管的箝位作用可以组成各种的门电路。

表 1-2 图 1-12 所示电路的输入和输出信号的关系

输 入		输 出	输 入		输 出
V_A	V_B	V_L	V_A	V_B	V_L
0V	0V	0V	3V	0V	0V
0V	3V	0V	3V	3V	3V

2. 二极管的限幅作用

所谓限幅是将电路的输出电压限制在某一数值之下，限幅电路如图 1-13(a) 所示。为简单起见，仍将二极管视为理想二极管。

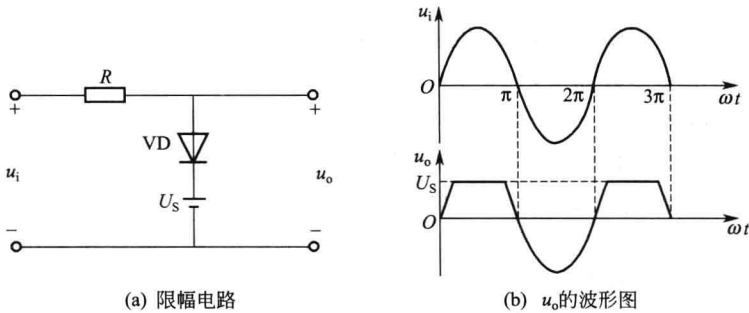


图 1-13 二极管的限幅作用

设定 u_i 为正弦电压，即 $u_i = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$ 。

(1) u_i 在正半周

① 当 $u_i < U_S$ 时，二极管 VD 因承受反向压降而截止（ VD 相当于断路），因此 $u_o = u_i$ ；

② 当 $u_i > U_S$ 时，二极管 VD 因承受正向电压而导通（ VD 相当于短路），因此 $u_o = U_S$ 。

(2) u_i 在负半周 在此时间段内，二极管 VD 始终因承受反向电压而截止，因此， $u_o = u_i$ 。

u_i 与 u_o 的波形如图 1-13(b) 所示，很显然， u_o 波形的幅值被限制在 U_S 之下。在实际

应用中，常利用二极管的限幅作用来保护半导体器件，以使其不会因过压而损坏。

3. 二极管的续流作用

在实际中，无论是电子电路还是其他电器电路，经常会有电感线圈存在，如图 1-14 所示。

若图 1-14 所示电路中没有接入二极管，则在开关 S 接通瞬间，电路中的电流从 0 突然增大，其变化率 $\left| \frac{di}{dt} \right|$ 很大。由于电感的性质所决定，电感元件就会产生一个方向为阻碍电流变化，大小与电流变化率成正比的感应电动势 e_L ，其极性如图 1-14 中标注所示，其值为 $L \left| \frac{di}{dt} \right|$ 。于是电感线圈上就会有一个较大的电压，这个电压对于人身和设备安全都是一个极大的威胁。例如，图 1-14 中的开关 S，此时所承受的电压就为 E 与 e_L 的叠加（因为线圈内阻 R 很小，忽略其压降），其端子就会产生火花放电，甚至被损毁。

将二极管与电感线圈并联，利用二极管进行续流，就可以很好地解决上述问题。在图 1-14 中接入二极管， e_L 一旦产生，二极管立即导通，电感线圈经二极管进行放电，从而使得其上的电压等于二极管的导通电压，避免了高压在电路中出现。

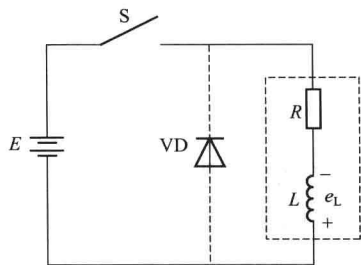


图 1-14 二极管的续流作用

【思考题】

- 1-2-1 普通二极管的工作区应在伏安特性的哪些区域？
- 1-2-2 二极管的死区电压和导通电压分别为多少？
- 1-2-3 如何用万用表鉴别一个二极管的好坏？
- 1-2-4 分别用万用表的 $R \times 10$ 和 $R \times 100$ 挡测得同一个二极管的正向电阻是不同的，为什么？

1.3 硅稳压二极管

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。稳压管在反向击穿时，在一定的电流范围内，端电压几乎不变，表现出稳压特性，因此广泛应用于稳压电源和限幅电路中。

1.3.1 工作特性及其应用

稳压管通常用字母“VZ”表示，其电路符号和伏安特性曲线如图 1-15 所示。它的正向特性、反相特性与普通二极管相同，反向击穿特性比普通二极管更陡直，这表明稳压管被击穿后，流过管子的电流变化 (ΔI_Z) 很大，而管子两端的电压变化 (ΔU_Z) 却很小，或者说管子两端电压基本保持不变。正是因为这一点，稳压管在电路中才能起到稳压的作用。

稳压管的工作区在反向击穿区，只要反向电流不超过极限电流 I_{ZM} ，在规定的电流范围内，管子工作在击穿区并不会被损坏，其击穿属可逆击穿，这与普通二极管破坏性击穿是截然不同的。

在实际应用中，使用稳压二极管要满足两个条件：一是使管子反向偏置，保证管子工作

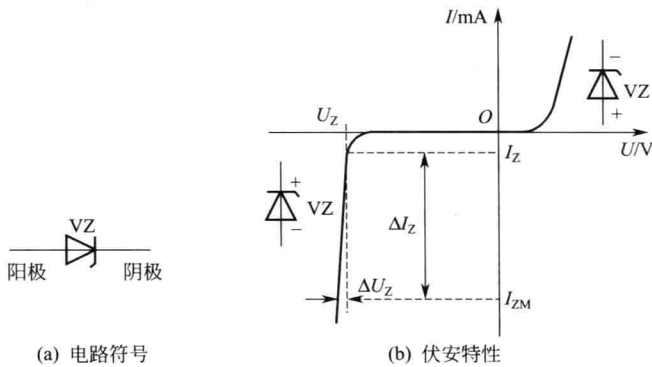


图 1-15 稳压管电路符号和伏安特性

在反向击穿状态；二是要有限流电阻配合使用，保证流过管子的电流在允许范围内。如图 1-16 所示是常用的稳压管稳压电路，稳压管 VZ 和负载是并联关系，限流电阻 R 和负载是串联关系。稳压电路的工作原理将在第 9 章详细论述。

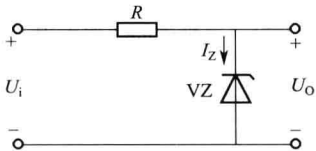


图 1-16 稳压管稳压电路

1.3.2 稳压管的主要参数

1. 稳定电压 U_Z

稳定电压 U_Z 是稳压管在正常工作时管子两端的电压，也就是它的反向击穿电压。由于制造工艺的原因，即使同一型号的稳压管其稳定电压 U_Z 的值分散性也较大。如 2CW11 型稳压管的稳定电压 U_Z 为 3.2~4.5V。但对某一只稳压管而言，其稳定电压 U_Z 的值是确定的。

2. 稳定电流 I_Z

稳定电流 I_Z 是稳压管工作在稳压状态时的参考电流，实际电流低于此值时稳压效果变坏，甚至根本不稳压，故也常将 I_Z 记作 I_{Zmin} 。只要不超过稳压管的额定功率，电流愈大，稳压效果愈好。

3. 额定功率 P_{ZM}

额定功率 P_{ZM} 等于稳压管的稳定电压 U_Z 与最大稳定电流 I_{ZM} （或记作 I_{Zmax} ）的乘积。稳压管的实际功耗超过此值，就会因结温升的过高而损坏。

4. 动态电阻 r_z

动态电阻 r_z 是稳压管工作在稳压区时，其端电压变化量与其电流变化量之比，即

$$r_z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z} \tag{1-1}$$

式(1-1)表明， r_z 愈小，稳压管的稳压效果愈好。

【思考题】

- 1-3-1 稳压管的工作区应在伏安特性的哪个区域？
- 1-3-2 为什么稳压管的动态电阻 r_z 愈小，稳压管的稳压效果愈好？

1.4 特殊二极管

1.4.1 光电二极管

光电二极管，又称为光敏二极管，是一种光接收器件，也是由一个 PN 结构成。它通过