

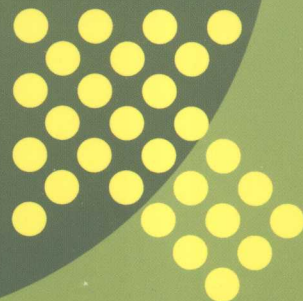
21世纪高等学校规划教材



DIANZI JISHU JI SHIXUN

电子技术及实训

李伟 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

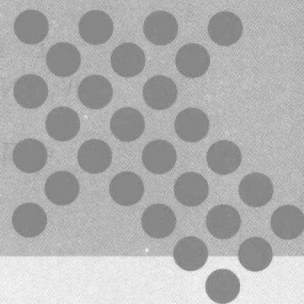
21世纪高等学校规划教材



DIANZI JISHU JI SHIXUN

电子技术及实训

主 编 李 伟
副主编 徐瑞丽 尹飞凰 赵丽萍
编 写 杜书玲 施利春 孙雷明
主 审 宋海军



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

全书共分 11 章, 包括理论篇和实训篇两个部分。理论篇主要内容包括常用半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器的基本组成和应用电路、直流稳压电源、逻辑门电路和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、D/A 转换器和 A/D 转换器等。实训篇主要内容包括电阻、电容和电感的认识和检测; 半导体器件和集成块器件的认识和检测; 常用电子仪器仪表, 电子器件的焊接工具及手工焊接的方法; 模拟电子线路的安装与调试; 数字电子线路的安装与调试等。本书内容深浅适度; 结构和教学方法新颖; 既提出了明确的知识目标, 又有明确的技能目标; 各节配有思考与练习, 各章有小结和习题, 是一本有特色的高职教育教材。

本书可作为高职高专院校自动化专业、电子信息工程专业、机电一体化专业及其他相关专业的教材, 也可作为相关技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术及实训/李伟主编. —北京: 中国电力出版社, 2009

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5083-9155-7

I. 电… II. 李… 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 122833 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 8 月第一版 2009 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.5 印张 374 千字

定价 24.80 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失
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

依据我国《高技能人才培养体系建设“十一五”规划纲要》和教育部颁发的《高职高专专业人才培养目标》，针对高职高专生源的实际特点，并结合高等职业院校的教学要求和办学特点，我们组织编写了本书。

本书将电子技术基础理论与实践教学前后呼应融为一体，十分注重教学实际中教材的可操作性和实用性。在编写过程中，一方面根据高职教育的对象及特点，力求基本概念表述清楚、精炼准确，使理论浅显易懂；另一方面根据高职教育的特殊性，使教材内容理论联系实际，体现出电子技术的先进性和前瞻性，尽量避开高深的理论推导和对元器件内部电路的过细研究，注重介绍元器件的外部特性及使用技能，突出高职教育“够用为度，注重实践”的特点，同时避免了低层次的重复编写。同时，我们在教材中融入了国外发达国家高职教育的先进经验，突出与社会生产实际紧密联系和及时反映高新技术的特点，每一章前都有“教学要求”，章后小结对本章有一个大纲性的回顾，精心编排的习题可帮助学生了解自己对主要知识点的掌握程度。

本书编写遵循以下原则：

(1) 注重教材的实用性。避免复杂的理论推导，以定性说明代替定量分析，更贴近高职院校教学实际。

(2) 注重教材内容的先进性。内容上反映电子技术必需的基础知识和在机电领域的实用，接近工程实际。

(3) 注重教材内容的连续性。本书包括了晶体管器件，基本放大电路和负反馈，集成运算放大器，直流稳压电源，逻辑门电路和组合逻辑电路，触发器和时序逻辑电路，D/A 转换器和 A/D 转换器，以及相对应的实训内容。章节安排条理清晰，衔接有序。

(4) 注重教材内容理论与实践的有机结合。理论教学与实践教学之间有很好的切入点，内容前后呼应；理论内容可以满足实训所需，实训环节又增强了学生对理论环节所学知识的领悟与理解。

本书由李伟担任主编，策划了全书的内容及组织结构。徐瑞丽、尹飞凰、赵丽萍担任副主编，杜书玲、施利春、孙雷明编写。其中李伟编写模块Ⅲ和模块Ⅳ，徐瑞丽编写第3章和模块Ⅱ，尹飞凰编写第1章和第2章，赵丽萍编写第4章和模块Ⅰ，杜书玲编写第5章，施利春编写第6章，孙雷明编写第7章。本书由宋海军主审。

在本书编写过程中，参考了一些电子技术类和电子实验实训教程类的书目，引用了部分文献资料，在此一并向有关文献的作者表示诚挚的谢意。

由于时间仓促，限于作者水平，不妥及疏漏之处在所难免，望专家与广大读者不吝赐教。

作者

2009年9月

目 录

前言

理 论 篇

第 1 章 常用半导体器件	1
1.1 半导体的基本知识	1
1.2 PN 结	3
1.3 半导体二极管	4
1.4 特殊二极管	8
1.5 半导体三极管	9
本章小结	14
习题	14
第 2 章 基本放大电路	18
2.1 三极管基本放大电路	18
2.2 放大电路的分析方法	22
2.3 工作点稳定的放大电路	27
2.4 射极输出器	29
2.5 多级放大电路	32
2.6 放大电路中的负反馈	34
本章小结	38
习题	38
第 3 章 集成运算放大器	43
3.1 集成运算放大器的基本组成	43
3.2 差动放大电路	48
3.3 集成运算放大器的基本应用电路	50
3.4 集成运算放大器的线性应用电路	52
3.5 集成运算放大器的非线性应用电路	58
3.6 集成运算放大器使用中应注意的问题	60
本章小结	62
习题	62
第 4 章 直流稳压电源	65
4.1 整流电路	65
4.2 滤波电路	70

4.3 稳压电路·····	74
4.4 开关型稳压电源简介·····	78
本章小结·····	79
习题·····	80
第5章 逻辑门电路和组合逻辑电路 ·····	82
5.1 数制与编码·····	82
5.2 基本逻辑门电路·····	86
5.3 逻辑代数及应用·····	90
5.4 组合逻辑电路的分析·····	105
5.5 组合逻辑电路器件·····	107
本章小结·····	115
习题·····	116
第6章 触发器和时序逻辑电路 ·····	119
6.1 触发器概述·····	119
6.2 基本RS触发器·····	120
6.3 同步触发器·····	122
6.4 主从触发器·····	127
6.5 时序逻辑电路·····	131
6.6 计数器·····	134
6.7 寄存器·····	144
本章小结·····	147
习题·····	147
第7章 D/A转换器和A/D转换器 ·····	150
7.1 D/A转换器·····	150
7.2 A/D转换器·····	154
本章小结·····	158
习题·····	158

实 训 篇

模块Ⅰ 电阻、电容和电感 ·····	160
实训Ⅰ.1 电阻器件的认识与检测·····	160
实训Ⅰ.2 电容器件的识别与检测·····	166
实训Ⅰ.3 电感器件的识别与检测·····	172
模块Ⅱ 半导体器件和集成块 ·····	177
实训Ⅱ.1 二极管器件的认识与检测·····	177
实训Ⅱ.2 三极管器件的认识与检测·····	182
实训Ⅱ.3 集成块器件的认识与检测·····	186

模块Ⅲ 常用电子仪器仪表、焊接工具和手工焊接方法..... 195

 实训Ⅲ.1 常用电子仪器仪表..... 195

 实训Ⅲ.2 常用焊接工具及手工焊接方法..... 201

模块Ⅳ 电子线路的安装与调试..... 208

 实训Ⅳ.1 直流稳压电源的装配与调试..... 208

 实训Ⅳ.2 函数发生器的装配与调试..... 213

 实训Ⅳ.3 超外差式收音机的装配与调试..... 218

 实训Ⅳ.4 竞赛抢答器的装配与调试..... 225

 实训Ⅳ.5 数字钟的装配与调试..... 231

参考文献..... 239

理 论 篇

第 1 章 常用半导体器件

【教学要求】 本章主要介绍了半导体材料和 PN 结的形成, 半导体二极管和三极管结构、符号、主要技术参数、选用及应用。通过本章的学习可以掌握半导体二极管和三极管主要技术参数和选用; 半导体二极管和三极管使用中的应用及应用过程中的注意事项。

自 20 世纪 50 年代以来, 逐步出现了各种各样的电子电路, 而随着半导体材料技术的迅速发展, 集成电路、大规模和超大规模集成电路的相继出现, 并不断发展更新, 更使各种工业自动化控制设备和电子设备在微型化、可靠性方面向前推进了一大步。半导体器件则是组成各种电子电路的核心元件, 电路的原理性能与其所选用的器件有着密切的关系。因此, 本章首先介绍了半导体的基本知识, 接着讨论了二极管、三极管等半导体器件的结构、性能、参数和选用方法。着重说明其基本原理和由它们组成的基本电路的基本分析方法。

1.1 半导体的基本知识

我们知道, 自然界有许多物质, 若按其导电性能而言, 大体可分为导体、半导体和绝缘体, 而多数现代电子器件正是由半导体材料制成的。这不仅是因为它们之间导电性能的差别, 更重要的是其所具有的独特性能, 如当外部条件发生变化 (纯净半导体受到光照、加热或在其中加入微量“杂质”元素等) 时, 都会使其导电能力显著增加。为了便于理解这些特点, 我们首先了解半导体的结构及基本知识。

1.1.1 半导体的基本性能

在电子器件中, 常用的半导体材料是硅 (Si) 和锗 (Ge)。它们都是四价元素, 最外层原子轨道上的电子数 (价电子) 均为 4 个, 而且极易与相邻原子的价电子形成共价键, 如图 1-1 所示。在共价键的束缚下, 当外界条件为热力学零度和无外界激发时, 这些价电子不能自由移动, 而物体的导电能力又取决于参与导电粒子的数量。因此, 此时半导体不能导电, 相当于绝缘体。但在受到热和光照作用时, 少数价电子克服共价键的束缚而成为自由电子, 同时在原来共价键的位置会出现一个空位子, 被称为空穴。一般情况下, 原子本来是中性的, 如果出现一个空穴, 该原子就带正电。因此, 也可以认为空穴是带正电的, 而该空穴又可能被相邻原子中的价电子填补, 相当于带正电的空穴在沿着电子填补运动的反方向移动。所以我们说, 纯净的半导体中存在着两种载流子 (带电粒子): 带负电的自由电子和带正电的空穴。在电场的作用下, 电子形成电子流, 空穴形成空穴流, 两者移动方向相反, 但形成电流的方向相同, 共同形成半导体的电流。电子—空穴对的产生如图 1-2 所示。

由上可知, 纯净半导体中, 电子与空穴总是成对出现的。另外当电子填补了空穴, 它们

又成对消失，成为复合。在一定条件下，电子—空穴对的产生、复合虽然总在进行，但最终处于平衡状态。对纯净半导体而言，电子、空穴数总是相等的，并且是少量的。

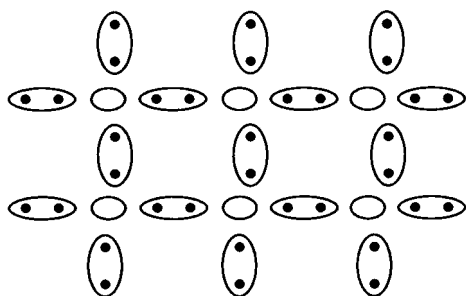


图 1-1 共价键结构

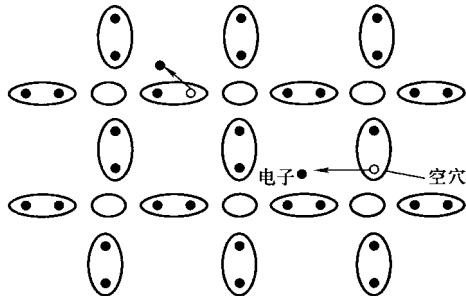


图 1-2 电子—空穴对的产生

1.1.2 N 型半导体和 P 型半导体

以上分析的是纯净半导体的情况，这类半导体虽含有两种载流子，但在共价键的作用下，数目仍很有限，导电能力依然很差，若在其中掺入微量杂质，则其导电性能会发生显著变化。

1. N 型半导体

在硅（或锗）晶体中掺入少量的五价元素（称为杂质），如磷（P），就成为电子（N）型半导体。磷原子的五个价电子中有 4 个与周围硅原子的 4 个价电子形成共价键，多余的一个价电子在常温下就可以摆脱磷原子核的束缚而成为自由电子，杂质原子就变成不能移动的正离子，如图 1-3 所示。所以在 N 型半导体中，电子数远大于空穴数，导电主要靠自由电子。于是，可以说此类半导体中自由电子是多数载流子（多子），空穴是少数载流子（少子）。

N 型半导体的特点：自由电子数量多，空穴数量少，参与导电的主要是带负电的自由电子。N 是负的意思，取自英文 negative（负的）第一个字母。

2. P 型半导体

如果在硅（或锗）晶体中掺入少量的三价元素杂质，如硼（B），这些杂质原子的 3 个价电子与周围 4 个硅原子形成共价键时，留有一个空穴。常温下，相邻硅原子的价电子很容易过来填补这个空位，在硅原子处产生一个空穴，并且使杂质原子变成带负电的离子，如图 1-4 所示。这种半导体的空穴数远大于自由电子数，成为空穴（P）型半导体。因此 P 型半导体中空穴是多子，自由电子是少子。

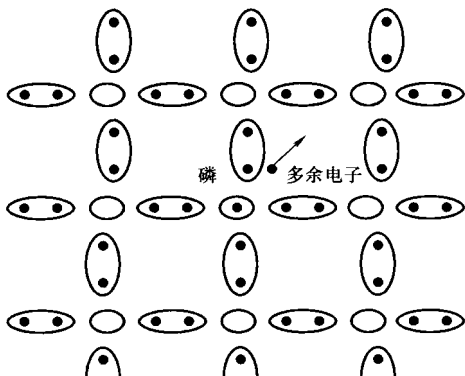


图 1-3 N 型半导体的共价键结构

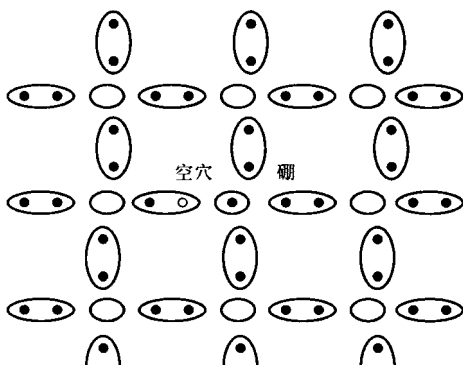


图 1-4 P 型半导体的共价键结构

P型半导体的特点：空穴数量多，自由电子数量少，参与导电的主要是带正电的空穴。“P”是负的意思，取自英文 positive（正的）第一个字母。

两种半导体中多子数目可由掺杂浓度决定，而少数数目则与掺杂无关，决定于未掺杂的半导体元素的原子核对电子束缚力的大小，而这是受温度影响的。

需要注意，N型半导体和P型半导体它们仍然是电中性的。

思考与练习

- 1.1.1 半导体与金属相比较有什么特点？
- 1.1.2 半导体具有哪些主要特点？
- 1.1.3 什么是P型半导体？什么是N型半导体？
- 1.1.4 N型半导体本身是带负电还是电中性的？为什么？

1.2 PN 结

1.2.1 PN 结的形成

若只有一个P型或N型半导体，则它在电路中的作用仅相当于一个电阻。但在同一块纯净半导体中，根据不同的掺杂工艺，使之一半为P型，另一半为N型，则在交界处就会形成PN结。它是构成各种半导体器件的基础。

N型半导体中的电子为多子，因此，N区电子浓度远大于P区电子浓度。于是电子将从浓度大的N区向浓度小的P区扩散，如图1-5所示。首先是交界面附近的电子跑到P区，同P区的空穴复合。N区一侧只留下一些不能自由移动的带正电的五价离子，它们不参与导电，形成正电荷区；而交界面附近的一侧因“吸收”了电子，出现了一些带负电的三价离子，形成负电荷区。这样在交界面附近就形成一个空间电荷区。显然，空间电荷区构成一个由N区指向P区的内电场。在该电场的作用下，“多子”的扩散运动受到阻碍，而“少子”则产生与扩散反向的漂移运动，如图1-6所示。扩散运动使内电场增强，漂移运动又使内电场被削弱，当两者达到平衡时，交界面上扩散电流（单位时间扩散的数量）与漂移电流（单位时间漂移的数量）相等，总的“表现”电流为0。此时空间电荷区达到一个相对稳定的状态，这个区域就称为PN结。

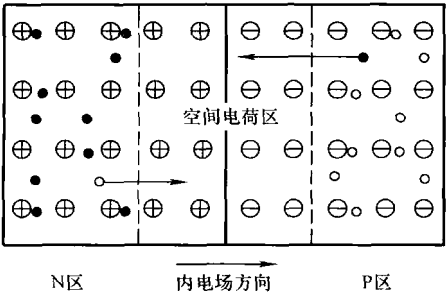


图 1-5 多子的扩散

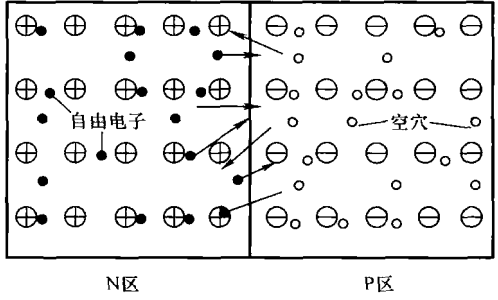


图 1-6 内电场与少子的漂移

1.2.2 PN 结的单向导电性

如果在 PN 结两端外加正向电压，即 P 区接电源正极，N 区接电源负极，如图 1-7 所示。在外电场作用下，P 区中的空穴（多子）与 N 区中的电子（多子）被推向 PN 结方向。当 P 区中的空穴进入 PN 结后，中和一部分负离子；同样，N 区中的电子进入 PN 结后也中和一部分正离子，内电场被削弱，导致扩散运动超过漂移运动，多子顺利通过 PN 结，形成较大的正向电流，也就是说 PN 结正向电阻很小。

如果在 PN 结两端外加反向电压，即 P 区接电源负极，N 区接电源正极，如图 1-8 所示。在外电场作用下，P 区与 N 区中的多子进一步远离 PN 结，内电场被加宽增强，扩散运动几乎停止，而漂移运动被加强，少子顺利通过 PN 结，达到稳定状态后形成反向饱和电流，但由于少数数目有限，在反向电压不是很大时，反向饱和电流通常很小，也说明 PN 结反向电阻很大。

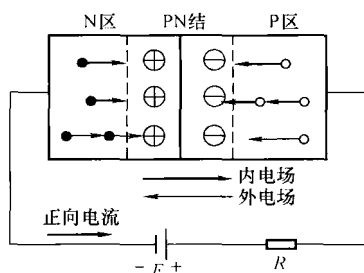


图 1-7 PN 结外加正向电压

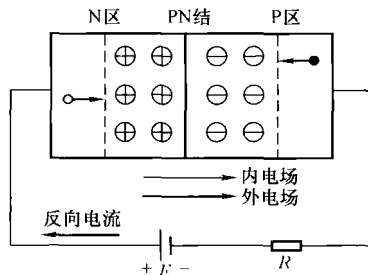


图 1-8 PN 结外加反向电压

综上所述，PN 结具有单向导电性，加正向电压，PN 结电阻很小，正向电流较大，PN 结处于导通状态；加反向电压时，PN 结电阻很大，反向电流很小，处于截止状态。

思考与练习

1.2.1 试说明 PN 结的形成与特点。

1.3 半 导 体 二 极 管

1.3.1 二极管的结构

半导体二极管是由一个 PN 结（管芯）加上电极引线和管壳构成的。从 P 型区引出的电极称为正极；与 N 型区相连的电极为负极，二极管的文字符号为 VD，其电路符号如图 1-9 (d) 所示。P 区一边为阳极 a，N 区一边为阴极 k。图 1-9 (c) 是硅工艺平面型二极管结构示意图，常用于集成电路。

二极管按结构不同分为点接触型和面接触型两类。

点接触型二极管结构如图 1-9 (a) 所示，其结构特点是 PN 结面积很小，不能通过大的电流。但由于结电容很小，适于在高频下工作，这类二极管如 2AP1~10 系列点接触型锗管。它可在电子设备中作高频检波，也可用来做小电流整流。

面接触型二极管结构如图 1-9 (b) 所示，其结构特点是 PN 结面积很大，允许通过较大

的电流。但结电容大，不宜用于高频场合，常用作频率在 3kHz 以下的整流，这类二极管如 2CP 系列。

1.3.2 二极管的特性

由于二极管的核心元件是 PN 结，因此它也具有单向导电性。二极管的特性常用伏安特性表示，指的是加在二极管两端的电压与通过管子的电流之间的关系。

实际二极管伏安特性如图 1-10 所示。由该曲线可以看出二极管具有如下特点：

(1) 正向电压较小时，外电场还不足以克服 PN 结的内电场，因此，此时正向电流几乎为 0。只有在外加正向电压超过一定数值后才有明显的电流，该电压称为死区电压，室温下硅二极管的死区电压约为 0.5V，锗二极管的死区电压约为 0.2V。当正向电压大于死区电压时，电流随电压的增加而增长很快，且接近于直线，此时管子处于导通状态。因此，将该区称为“线性工作区”，二极管正向导通时应工作在该区。正向导通后，硅二极管压降约为 0.7V，锗二极管约为 0.3V。

(2) 在反向电压作用下，没有多子做扩散运动，而少子很容易通过 PN 结做漂移运动，但由于少子数目很少，所以反向电流也很小。当温度一定时，反向电流表现出饱和性质，因此，将该区称为反向饱和区，二极管处于截止状态，硅管的反向电流约在纳安（nA）量级；锗管约在微安（ μA ）量级。

温度升高时，少子增加，反向电流随之增加。

(3) 当反向电压增加到一定数值时，图 1-10 中 C 点反向电流剧增，称为二极管反向击穿。产生击穿时的电压称为反向击穿电压。普通二极管不允许工作于该区（图 1-10 中 CD 区）。

(4) 温度升高，正向特性曲线左移，反向特性曲线下移，如图 1-11 所示。

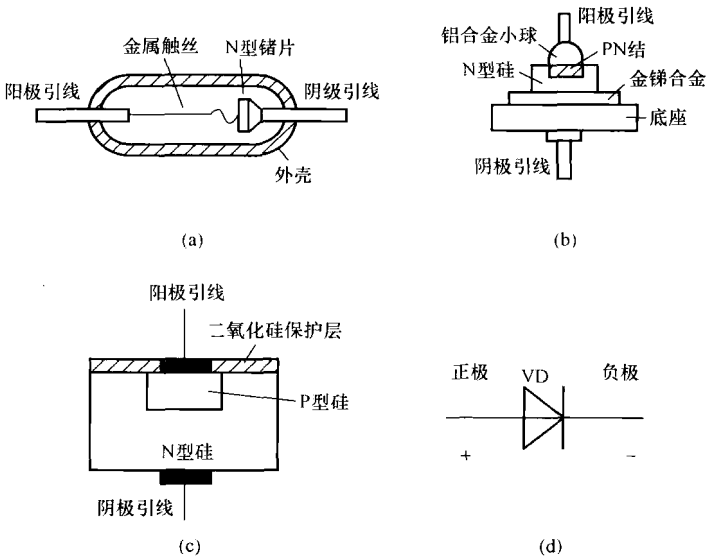


图 1-9 半导体二极管的结构及电路符号
(a) 点接触型；(b) 面接触型；(c) 平面型；(d) 电路图形

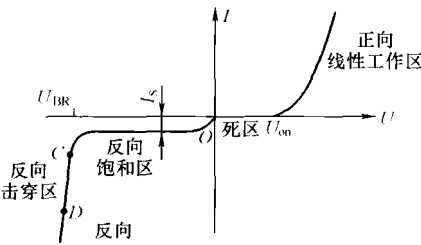


图 1-10 二极管的伏安特性

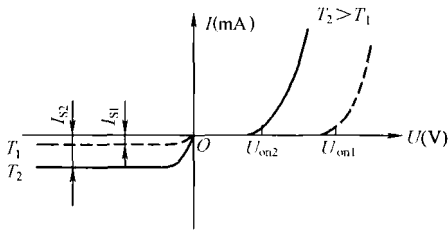


图 1-11 伏安特性曲线受温度的影响

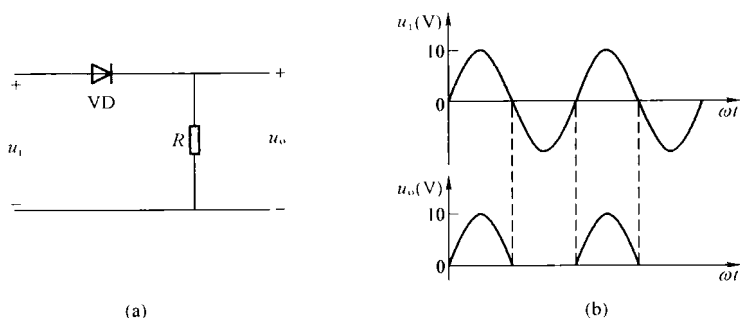


图 1-12 例 1-1 图

如图 1-12 (b) 所示。

1.3.3 二极管的参数及选用方法

(1) 最大整流电流 I_F : 二极管长期连续工作时, 允许通过二极管的最大正向电流的平均值, 其大小由 PN 结的面积和散热条件决定。实际选用时, 应注意通过二极管的实际工作电流不能超过此值, 并要满足其散热条件, 否则烧坏二极管。

(2) 最大反向工作电压 U_R : 二极管允许承受的最大反向工作电压。如果超过此值, 二极管就有可能被击穿。为确保安全, 一般取反向击穿电压的一半作为 U_R 。

(3) 反向电流 I_R : 室温下, 在规定的反向电压下的反向电流值。 I_R 越小, 管子单向导电性越好。此值与少子浓度有关, 所以受温度影响很大, 使用时要注意温度的影响。硅二极管的反向电流一般在纳安 (nA) 级; 锗二极管在微安 (μA) 级。

(4) 最高工作频率 f_M : 二极管在高频下工作时, 由于 PN 结的电容效应, 单向导电作用退化。 f_M 就是指二极管的单向导电作用开始明显退化时交流信号的频率。因此使用二极管时, 若通过二极管的电流频率大于此值, 则不能起到应有的作用。

以上所列出的只是二极管的一些主要参数, 使用时可查阅手册。值得注意的是, 由于制造工艺的限制, 即使是同一型号的管子, 参数的分散性也很大, 手册上往往是给出参数的范围。另外, 手册上的参数是在一定的测试条件下测得的, 应用时要注意这些条件, 若条件改变, 相应参数值也会发生相应的变化。

1.3.4 二极管电路的分析方法

由于二极管的伏安特性是非线性的, 为了分析计算方便, 在特定条件下, 将二极管的伏安特性曲线进行分段线性化处理, 就可以用某些线性元件来近似地代替二极管, 从而得到二极管的等效电路, 常用的有下面几种等效电路。

1. 理想二极管

由理想二极管的伏安特性可知, 加正向电压时, 二极管的压降为 0; 加反向电压时, 电流为 0。虽然理想二极管和实际二极管的特性有一定的差别, 但在电路中, 如果二极管的正向压降远小于和它串联的电压, 反向电流远小于和它并联的电流时, 就可以把该二极管看作理想二极管。图 1-13 为理想二

【例 1-1】 如图 1-12 (a) 所示的电路中, 已知 $u_i = 10\sin\omega t\text{V}$, 试画出 u_i 与 u_o 的波形。设二极管正向导通电压可忽略不计。

解 u_i 是按正弦规律变化的, u_i 正半周时, 二极管正向导通, 相当于短路; u_i 负半周时, 二极管反向截止, 相当于断路, 可得 u_o 的波形

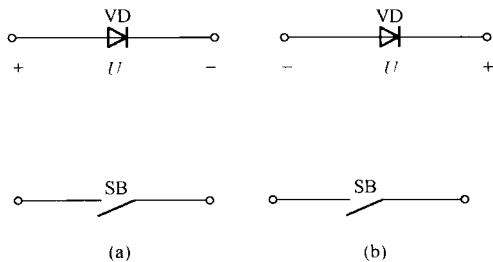


图 1-13 理想二极管的等效电路

(a) 开关闭合; (b) 开关断开

管的等效电路。由图 1-13 (a) 可以看出二极管正偏导通相当于开关闭合；图 1-13 (b) 为二极管反偏截止相当于开关断开。

2. 考虑正向压降时的等效电路

为了反映二极管的导通电压，也可以用图 1-14 所示的等效电路来近似表示实际二极管。由图可见，只有当正向电压超过导通电压时，二极管才导通，导通后其两端电压为常量；否则二极管不导通，电流为 0。

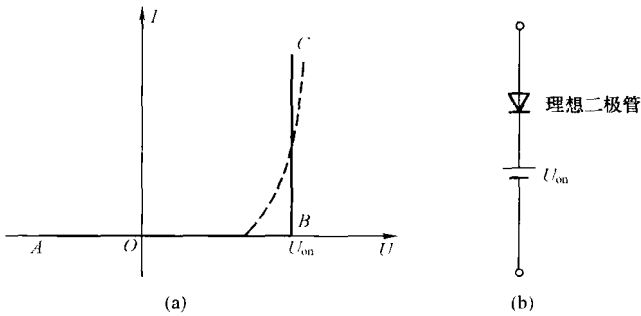


图 1-14 考虑正向压降时的等效电路

3. 考虑正向压降和正向特性斜率时的等效电路

为了更近似地表示二极管的特性，还可用图 1-15 所示的等效电路，即二极管两端电压小于正向导通电压时，二极管不导通，电流为 0；超过导通电压时，二极管导通，且正向特性曲线用斜线来近似，斜线的斜率为工作范围内电流、电压的比值。

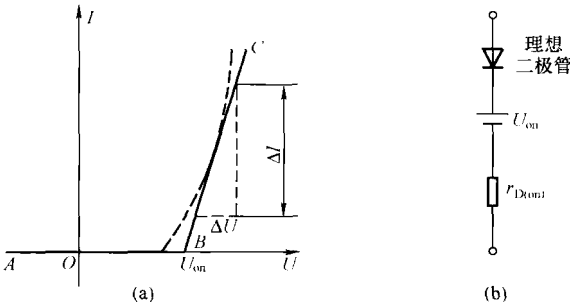


图 1-15 考虑正向压降和正向特性斜率时的等效电路

另外，二极管电路的分析方法常用的还有图解法，微变等效电路法等，这里不再一一说明。

1.3.5 二极管的应用举例

根据二极管的特性，它被广泛用于各种电子电路中，不仅可以利用普通二极管组成整流电路、开关电路等，还可利用特殊二极管起到一些特殊的作用。

下面举一个利用二极管组成限幅电路的例子。限幅电路用来限制输出电压的幅度，图 1-16 是限幅电路的一种。输入电压是一个正弦电压 $u_i = 8\sin\omega t \text{ V}$ ，电源电压 $E = 4 \text{ V}$ 。当输入

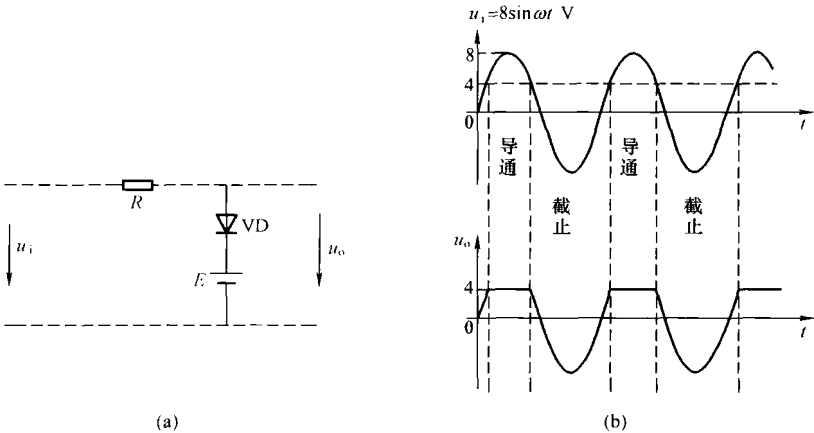


图 1-16 限幅电路及其输出波形

电压小于电源电压时,二极管加反向电压(称为反向偏置),二极管截止,没有电流流过,输出电压跟随输入电压变化。

输入电压大于电源电压时,二极管加正向电压(称为正向偏置),二极管导通,其两端电压为0,所以输出电压与电源电压相同,为4V(如果考虑二极管正向压降,则此时输出电压应为4.7V)。

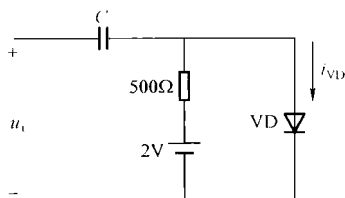


图 1-17 例 1-2 图

【例 1-2】 电路如图 1-17 所示,二极管导通电压 $U_D = 0.7\text{V}$, 常温下 $U_T \approx 26\text{mV}$, 电容 C 对交流信号视为短路; U_i 为正弦波, 有效值为 10mV 。问二极管中流过的交流电流有效值为多少?

解 二极管的直流电流

$$I_D = (2 - U_D) / R = 2.6 \text{ mA}$$

$$\text{其动态电阻 } r_D \approx U_T / I_D = 10 \text{ } \Omega$$

故动态电流有效值

$$I_D = U_i / r_D \approx 1 \text{ mA}$$

思考与练习

- 1.3.1 画出二极管的电路符号和文字符号,并说明二极管的主要特性。
- 1.3.2 二极管伏安特性的物理意义是什么?
- 1.3.3 选用二极管时主要考虑哪些因素?并说明参数意义。
- 1.3.4 锗二极管与硅二极管的主要差异是什么?各适用于什么场合?
- 1.3.5 有一只二极管,测得正向电阻 $1.2\text{k}\Omega$,反向电阻 $520\text{k}\Omega$,该管子能使用吗?

1.4 特殊二极管

除上述所讨论的普通二极管外,常见的还有许多特殊二极管,如稳压二极管、变容二极管、光电二极管和发光二极管等。现分别简要介绍如下。

1.4.1 稳压二极管

这是一种特殊二极管,符号及伏安特性如图 1-18 所示,由图可知,稳压管的正向特性与普通二极管相似,而反向特性曲线更陡一些。当反向电压较小时,其反向电流很小,进入击穿区后, ΔI_Z 变化很大,而 ΔU_Z 变化很小。因此在反向击穿区取一个较大的电流变化量,对应的电压变化量基本为 0,这就是稳压效应。稳压管就工作在反向击穿区,且反向电压撤除后,管子仍正常。当然,如果反向电流太大,管子会因过热而烧坏,

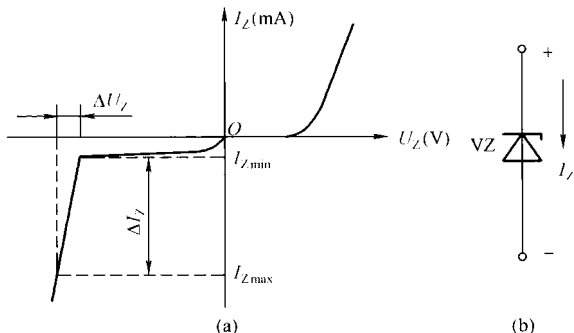


图 1-18 稳压管的代表符号及伏安特性

(a) 伏安特性; (b) 符号

为此使用稳压管必须串联一个合适的限流电阻。

为了保证稳压管工作在反向击穿状态,作稳压使用时必须反向加压,并且还必须加限流电阻,其作用保证工作电流 I_Z 满足

$$I_{Zmin} < I_Z < I_{Zmax}$$

若 $I_Z < I_{Zmin}$, 则稳压管进入反向饱和区,没有稳压作用;若 $I_Z > I_{Zmax}$ 时,会引起管子过热而损坏。稳压管使用时的接法如图 1-19 所示。

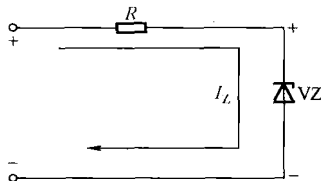


图 1-19 稳压管的使用条件

稳压管的参数主要如下。

(1) 稳定电压 U_Z : 在规定的稳压管反向工作电流 I_Z 下,所对应的反向工作电压。

(2) 稳定电流 I_Z : 稳压管在正常工作时的电流值,其中 I_{Zmin} 为最小稳定电流,低于此值时稳压效果差,甚至失去稳压作用; I_{Zmax} 为最大稳定电流,高于此值时稳压管易击穿而损坏,当稳压管的电流在 I_{Zmax} 与 I_{Zmin} 之间时,稳压效果最好。

(3) 额定功耗 P_{ZM} : 管子不至于产生过热损坏时的最大功率损耗值。

1.4.2 光电二极管

光电二极管的特点是当光线照射于 PN 结时,可成对产生电子和空穴。它的反向电流随光照强度的增加而增加。管壳上备有一个玻璃窗口,以便通过光照。图 1-20 (b) 为光电二极管的符号。这种器件的 PN 结在反向偏置状态下运行,它可用来作光控元件,当制成大面积的光电二极管时,可作为一种能源成为光电池。

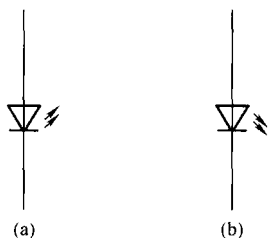


图 1-20 发光二极管和光电二极管

(a) 发光二极管符号; (b) 光电二极管符号

1.4.3 发光二极管

它的工作原理与光电二极管正好相反,当该管正向偏置通过电流时会发光,目前在电子、电工仪器及控制设备中,广泛用于信号、状态指示、数码显示及各种图形显示等。其符号如图 1-20 (a) 所示。

思考与练习

- 1.4.1 稳压管与普通二极管在结构、特性与应用方面各有何异同点?
- 1.4.2 稳压管为什么能稳压?
- 1.4.3 使用稳压管时应注意哪些事项?

1.5 半导体三极管

1.5.1 三极管的结构

半导体三极管也称为三极管 (BJT),它是整个电子技术的核心元件。目前许多集成电路中,也都离不开三极管。与二极管相似,它也可分为硅三极管和锗三极管。根据结构三极管有 PNP 型和 NPN 型。顾名思义,PNP 管就是在两个 P 型半导体中夹一个 N 型半导体;

而 NPN 管则是在两个 N 型半导体中夹一个 P 型半导体。因此。无论哪种三极管都是由两个 PN 结的三层半导体组成。图 1-21 (a)、图 1-22 (a) 分别为 NPN 型和 PNP 型管的结构示意图。从三块半导体上各自接出一根引线就是三极管的三个电极，分别称为发射极 e、基极 b 和集电极 c，对应的半导体称为发射区、基区和集电区。以 NPN 型三极管为例，虽然发射区和集电区都是 N 型半导体，但发射区掺杂较多，而集电区则面积较大，因而它们并不是对称的。发射区与基区交界处的 PN 结为发射结，集电区与基区交界处的 PN 结为集电结。两种管子的符号分别如图 1-21 (b)、图 1-22 (b) 所示。两者工作原理相同，只是在电路中，电压极性与电流流向不同（其中箭头表示发射结正向导通时的电流方向）。

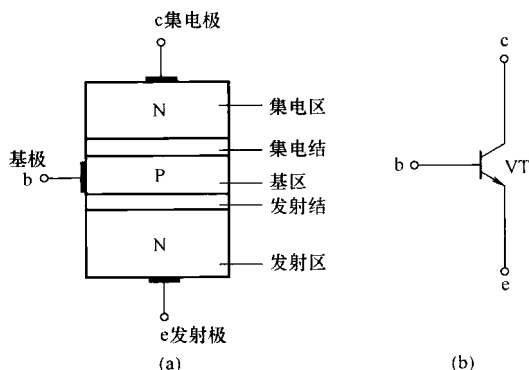


图 1-21 NPN 型三极管

(a) NPN 型管的结构示意图；(b) 符号

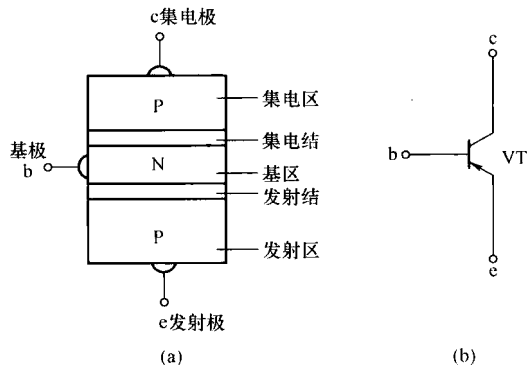


图 1-22 PNP 型三极管

(a) PNP 型管的结构示意图；(b) 符号

综上所述，三极管内部结构的特点是：发射区掺杂浓度高，即多子浓度高；基区很薄且杂质浓度低；基电区体积大，掺杂浓度较低。这是三极管具有电流放大作用的内因。

1.5.2 三极管的电流放大作用

要使三极管能对微小信号起到放大作用，则不仅有内因，还要有外部条件：发射结正偏，而集电结反偏。电路接法如图 1-23 所示，下面仍以 NPN 管为例来说明三极管的电流放大作用。

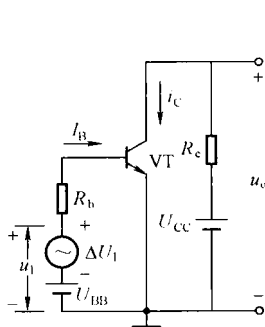


图 1-23 电路接法

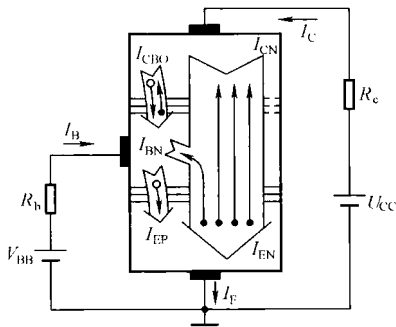


图 1-24 三极管内部载流子运动与外部电流

由于发射结正偏，即发射结导通，可使发射区多子源源不断地越过发射结而进入基区，形成发射极电流 I_E 。到达基区的电子，在靠近发射结的地方积累起来，使得基区中的电子浓度在靠近发射结处高于靠近集电结处，于是电子继续向集电区方向扩散。扩散过程中，部