

中国通信学会普及与教育工作委员会推荐教材



21世纪高职高专电子信息类规划教材·移动通信系列
21 Shiji Gaozhi Gaozhuan Dianzi Xinxilei Guihua Jiaocai

通信 电子技术

欧红玉 吴泳 主编

- 根据企业岗位需要合理划分知识模块
- 结合多年实践、教学经验和高职教学的特点
- 符合以就业为导向，以综合能力培养为本位的要求
- 突出岗位知识、重视技能应用，引入实践活动的编写理念



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

中国通信学会普及与教育工作委员会推荐教材



21世纪高职高专电子信息类规划教材·移动通信系列
21 Shiji Gaozhi Gaozhuan Dianzi Xinxilei Guihua Jiaocai

通信 电子技术

欧红玉 吴泳 主编

*Electronic
Information*

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

通信电子技术 / 欧红玉, 吴泳主编. — 北京: 人民邮电出版社, 2014.2
21世纪高职高专电子信息类规划教材 中国通信学会普及与教育工作委员会推荐教材
ISBN 978-7-115-34379-6

I. ①通… II. ①欧… ②吴… III. ①通信技术—高等职业教育—教材 IV. ①TN91

中国版本图书馆CIP数据核字 (2014) 第006994号

内 容 提 要

本书从实际应用出发, 通俗易懂地介绍了二极管和三极管组成的常见实用电路——电源电路、基本放大电路、功率放大电路、正弦波振荡器以及变频、锁相和滤波电路, 还有组合逻辑电路和时序逻辑电路等。特别对通信设备中的应用电路进行了较全面的分析。同时还注重实际动手操作能力的培养。

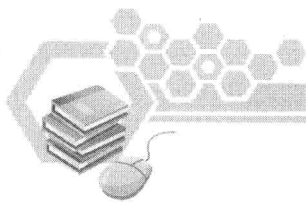
本书内容丰富, 语言通俗易懂, 适用对象为高职高专通信、电子、自动化、计算机等专业的学生, 也可作为函授、成人教育的专业基础课教材, 还可供相关工程技术人员参考。

-
- ◆ 主 编 欧红玉 吴 泳
责任编辑 滑 玉
责任印制 彭志环 杨林杰
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市海波印务有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 12 2014 年 2 月第 1 版
字数: 296 千字 2014 年 2 月河北第 1 次印刷
-

定价: 32.00 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315



前言

为适应我国高职高专教育“以就业为导向，以能力培养为本位”的要求，经过教学改革与实践，我们编写了这本《通信电子技术》。本教材坚持做到“理论够用、突出岗位技能、重视实践操作”的编写理念；较好地体现了面向应用型人才培养的高职高专教育特色。

本教材在编写过程中充分考虑到读者的接受能力和实际需要，尽量做到语言通俗易懂，内容实用，实例丰富，便于学生自学和教师施教。

本教材在内容的编排上，结合了现代通信技术的需要和现代电子技术的发展趋势，内容主要包括：半导体二极管及其应用、三极管及其放大电路、通信电子技术的基本知识、数字电路基础、逻辑门电路及其应用、组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、实际动手操作等，共分为8个模块。各模块配有相应的例题、知识拓展、过关训练题以及能力拓展题。

本教材可作为高等职业技术学院通信类、电子类和信息技术等专业的电子技术基础课程的教材（参考学时为60~80学时，建议采用理实一体的教学模式）或教学参考书，也可供中等专业学校、高级技工学校或从事电子技术的有关工程技术人员学习、参考。

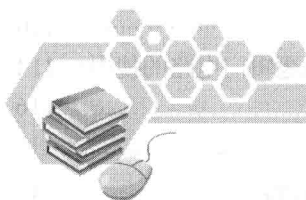
本书分别由湖南邮电职业技术学院的欧红玉、陈千红、张效民、蔡卫红、孟葵、吴泳、孔凡风和毕敏安编写；欧红玉负责统稿；欧红玉和吴泳担任主编；朱永平负责主审。本书的作者均是多年从事电子技术应用、教学和科研的高等院校的双师型教师，有着丰富的教学和实践经验。

湖南邮电职业技术学院的全体专业教师、已学过电子技术的部分学生、兄弟院校的相关老师和相关行业企业的专家为本书的编写提出了很多宝贵的建议；学院领导为本书的出版给予了大力的支持；本书在编写过程中还参考了诸多文献；在此一并表达深深的谢意。

由于通信技术和电子技术发展迅速，加之时间仓促，书中难免会有疏漏和不足之处，敬请广大读者在使用过程中指出错误，并提供宝贵意见，以使该教材再版时提高质量。

编 者

2014年1月



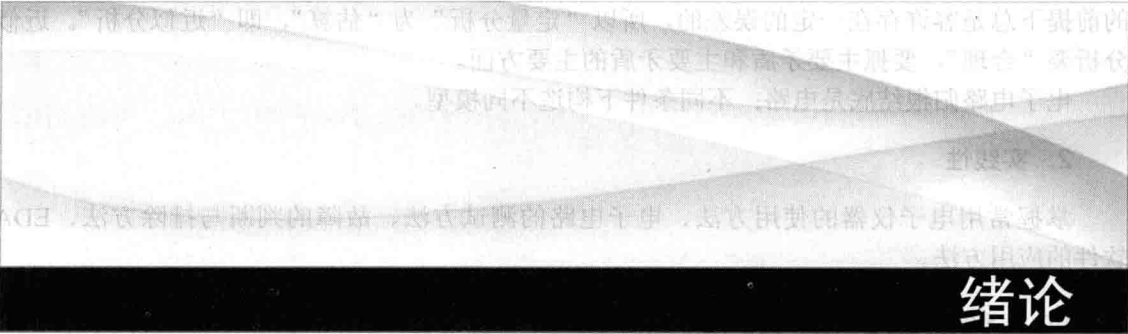
目 录

绪论.....	1	任务 2 认识放大电路.....	27
模块 1 半导体二极管及其应用.....	3	2.2.1 放大器的组成电路.....	27
任务 1 知识准备: 半导体基础.....	3	2.2.2 放大器的工作原理.....	28
1.1.1 半导体的特性及应用.....	3	任务 3 基本共射极放大电路的分析	
1.1.2 半导体的导电机理.....	4	及计算.....	30
1.1.3 杂质半导体.....	4	2.3.1 共发射极基本放大电路的	
1.1.4 PN 结.....	5	静态分析.....	30
任务 2 二极管的认识与测试.....	7	2.3.2 放大电路的动态图解	
1.2.1 初识二极管.....	7	分析.....	32
1.2.2 普通二极管的开关等效		2.3.3 放大电路的偏置电路.....	35
电路.....	9	2.3.4 放大器的主要性能指标.....	36
1.2.3 知识拓展——特殊二		2.3.5 微变等效电路法.....	39
极管.....	11	任务 4 放大电路的级联.....	41
任务 3 二极管的实用电路.....	12	任务 5 低频功率放大电路.....	44
1.3.1 整流电路.....	12	任务 6 带负反馈的放大电路.....	50
1.3.2 硅稳压管稳压电路.....	13	2.6.1 反馈的基本概念.....	50
1.3.3 限幅电路.....	14	2.6.2 负反馈放大电路的分析	
1.3.4 钳位电路.....	15	方法.....	52
任务 4 实践操作: 二极管的选择和		2.6.3 负反馈对放大电路性能的	
测试.....	16	影响.....	56
1.4.1 二极管的选择.....	16	本模块小结.....	59
1.4.2 二极管的识别与简单		过关训练 2.....	60
测试.....	16	模块 3 通信电子技术的基础知识.....	63
本模块小结.....	17	任务 1 概述.....	63
过关训练 1.....	17	3.1.1 通信的基本系统模型.....	63
模块 2 三极管及其放大电路.....	19	3.1.2 通信系统中的电磁信道及	
任务 1 三极管的认识与测试.....	19	信号.....	64
2.1.1 三极管的概述.....	19	任务 2 通信传输的信号及形成.....	65
2.1.2 三极管的工作状态.....	21	3.2.1 调制、解调的概念.....	65
2.1.3 三极管的放大原理.....	22	3.2.2 调制、解调的分类.....	66
2.1.4 三极管共发射极电路的特		3.2.3 信道复用的概念.....	67
性曲线.....	23	任务 3 通信电子技术基本电路	
2.1.5 三极管的选择.....	25	简介.....	68

3.3.1 高频小信号选频放大器	68	认识	110
3.3.2 正弦振荡器	70	5.4.2 集成逻辑门电路的使用	114
3.3.3 变频电路(或混频器)	71	本模块小结	116
3.3.4 锁相电路	72	过关训练 5	117
3.3.5 滤波电路	73	模块 6 组合逻辑电路	119
过关训练 3	74	任务 1 组合逻辑电路的分析	119
模块 4 数字电路基础	75	6.1.1 组合逻辑电路的基本概念	119
任务 1 数制与编码	75	6.1.2 组合逻辑电路的分析	120
4.1.1 数制	75	任务 2 加法器	121
4.1.2 二进制数与十进制数之间的转换	77	6.2.1 半加器	121
4.1.3 二进制数的四则运算	79	6.2.2 全加器	121
4.1.4 二—十进制编码	80	6.2.3 多位加法器	122
任务 2 逻辑函数基础	81	任务 3 编码器	123
4.2.1 基本逻辑运算	81	6.3.1 二进制编码器	123
4.2.2 逻辑代数的基本定律	85	6.3.2 优先编码器	123
任务 3 逻辑函数的卡诺图化简	87	任务 4 译码器	124
4.3.1 逻辑函数的最小项表达式	88	6.4.1 二进制译码器	125
4.3.2 逻辑函数的卡诺图表示法	89	6.4.2 非二进制译码器	126
4.3.3 卡诺图化简逻辑函数	91	6.4.3 显示译码器	127
本模块小结	95	任务 5 数据选择器和数据分配器	128
过关训练 4	96	6.5.1 数据选择器	128
模块 5 逻辑门电路及其应用	97	6.5.2 数据分配器	130
任务 1 二极管、三极管的开关特性	97	任务 6 数值比较器	131
5.1.1 二极管的开关特性	97	任务 7 组合逻辑电路的设计	131
5.1.2 三极管的开关特性	98	6.7.1 采用小规模逻辑电路设计	131
任务 2 分立元件门电路	98	6.7.2 使用中规模逻辑电路设计	132
5.2.1 二极管“与门”	99	本模块小结	134
5.2.2 二极管“或门”	99	过关训练 6	134
5.2.3 三极管“非门”	100	模块 7 时序逻辑电路	137
任务 3 集成逻辑门电路及其应用	101	任务 1 触发器	137
5.3.1 TTL 集成门电路及其应用	101	7.1.1 基本 RS 触发器	138
5.3.2 MOS 集成门电路	107	7.1.2 同步触发器	140
任务 4 集成逻辑门的使用	110	7.1.3 边沿触发器	142
5.4.1 知识拓展——集成电路的		7.1.4 维持阻塞 D 触发器	144
		7.1.5 触发器的相互转换	145
		任务 2 时序逻辑电路	146



7.2.1 时序逻辑电路的分析 方法	146	8.1.2 实验设备与器件	165
7.2.2 同步计数器	148	8.1.3 实验内容	165
7.2.3 同步非二进制计数器	150	8.1.4 实验总结	168
7.2.4 集成同步计数器	152	8.1.5 预习要求	168
任务 3 集成异步计数器	155	任务 2 手工焊接技术训练	168
任务 4 寄存器	158	8.2.1 实验原理	168
7.4.1 寄存器的定义及分类	158	8.2.2 实验设备、器件及材料	175
7.4.2 寄存器应用举例	158	8.2.3 实训内容	175
本模块小结	160	8.2.4 实验报告	177
过关训练 7	160	附录 1 半导体器件型号命名	178
模块 8 实际动手操作	163	附录 2 常用电子技术专业术语中英文 对照	182
任务 1 常用电子仪器的使用	163	参考文献	184
8.1.1 实验原理	163		



绪论

一、电子技术的应用

电子技术的发展，推动着计算机技术和通信技术的发展，使之“无孔不入”，应用广泛。电子技术主要应用于以下方面。

1. 广播通信：发射机、接收机、程控交换机、扩音器、收录机、电话机、手机等。
2. 网络：路由器、ATM 交换机、收发器、调制解调器等。
3. 工业：钢铁、石油化工、机械加工、数控机床等。
4. 交通：飞机、火车、高铁、轮船、汽车等。
5. 军事：雷达、电子导航等。
6. 航空航天：卫星定位、监测等。
7. 医学： γ 刀、CT、B 超、微创手术等。
8. 消费类电子：家电类，如空调、冰箱、电视、音响、摄像机、照相机、电子表；还有电子玩具和各类报警器、保安系统等。

二、电子技术的发展

电子技术的发展很大程度上反映在元器件的发展上，元器件的发展经历了电子管→半导体管→集成电路。

半导体元器件的发展：1947 年贝尔实验室制成第一只晶体管；1958 年出现集成电路；1969 年大规模集成电路问世；到 1975 年超大规模集成电路问世。第一片集成电路只有 4 个晶体管，而 1997 年一片集成电路中有 40 亿个晶体管。有科学家预测，集成度还将按每 6 年 10 倍的速度增长，到 2015 年或 2020 年达到饱和。

温馨提示：学习电子技术课程需时刻关注电子技术的最新发展动态。

查阅资料：第一只晶体管的发明者是谁？

(by John Bardeen , William Shockley and Walter Brattain in Bell Lab)

第一片集成电路的发明者又是谁？(Jack Kilby from TI)

三、电子技术课程的特点

1. 工程性

实际工程需要证明其可行性，所以强调“定性分析”；而实际工程在满足基本性能指标

的前提下总是容许存在一定的误差的，所以“定量分析”为“估算”，即“近似分析”。近似分析要“合理”，要抓主要矛盾和主要矛盾的主要方面。

电子电路归根结底是电路；不同条件下构造不同模型。

2. 实践性

掌握常用电子仪器的使用方法、电子电路的测试方法、故障的判断与排除方法、EDA软件的应用方法。

四、如何学习这门课程

1. 掌握基本概念、基本电路和基本分析方法

基本概念：概念是不变的，应用是灵活的，但万变不离其宗。

基本电路：构成的原则是不变的，具体电路是多种多样的。

基本分析方法：不同类型的电路有不同的性能指标和描述方法，因而有不同的分析方法。

2. 注意定性分析和近似分析的重要性

3. 学会辩证、全面地分析电子电路中的问题

根据需求，最适用的电路才是最好的电路。要研究利弊关系，通常有一利必有一弊。

4. 注意电路中常用定理在电子电路中的应用

五、课程的目的

本课程通过对常用电子元器件、基本实用电路及其系统的分析和设计的讲解，能够让学生掌握电子技术方面的基础知识和基本技能，为他们深入学习专业打下基础。

注重培养学生形成系统的观念、工程的观念、科技进步的观念和创新意识，引导学生学习科学的思维方法。

模块 1

半导体二极管及其应用

【问题引入】 半导体器件是近代电子学的重大发明，是电子电路的核心器件。那么半导体二极管的结构如何？都有哪些特点和性能？它们又是怎么工作的呢？我们该如何合理选择和使用半导体二极管？

【主要内容】 本模块介绍：半导体的导电特性和作用、PN 结的形成和特性；半导体二极管的结构、主要参数、外部特性和简单的应用电路；怎样合理选择和使用二极管。

【学习目标】 了解基本概念；掌握二极管的外特性、实际应用和等效电路的分析方法；会合理选择和使用二极管。

任务 1 知识准备：半导体基础

半导体器件在电子电路中的应用很广泛，为了能较容易地掌握它们的性质和用途，让我们先简单地了解一下半导体的基础知识。

1.1.1 半导体的特性及应用

自然界中的物质按导电能力不同可分为：导体、半导体和绝缘体。半导体是指导电能力介于导体和绝缘体之间的一类物质，如硅（Si）、锗（Ge）等。

那么，半导体为什么能成为制作各种电子器件的材料？因为它具有一些独特的性质。

1. 热敏特性及应用

大多数半导体对温度的变化很敏感，其导电能力会随温度的升高而明显增强。利用该特性可以将某些半导体制成各种热敏元器件，如热敏电阻器、温度传感器等，这些热敏元器件被广泛地应用于各种自动温控和保温产品中。

2. 光敏特性及应用

许多半导体在受到光的照射后，其导电性能也会明显变化。利用此特性可制造各种光敏元器件，如光敏电阻、光电二极管、光电探测器等。此外，半导体还具有被光照射后产生电动势的性质，太阳能电池就是其应用实例。

3. 掺杂特性及应用

在纯净的半导体中掺入微量的某种物质（通常称为杂质）时，半导体的导电能力就可能提高几十万乃至几百万倍。利用此特性可制成各种性能和用途的半导体器件，如二极管、三

极管、场效应管和晶闸管等。

半导体怎么会具有这些特性呢？因为其内部结构和导电机理很特别。

1.1.2 半导体的导电机理

半导体按材料划分，用得最多的有硅（Si）和锗（Ge）半导体，它们都是 4 价元素；如果按是否掺杂，半导体又可分为本征半导体和杂质半导体。

本征半导体，是指完全纯净的、具有晶体结构的半导体。

1. 电子-空穴对

如图 1.1.1 所示，当本征半导体在室温下、或受到光照等其他外界能量的激发时，会产生一定数量的可移动的、带负电的自由电子和带正电的、可移动的空穴。

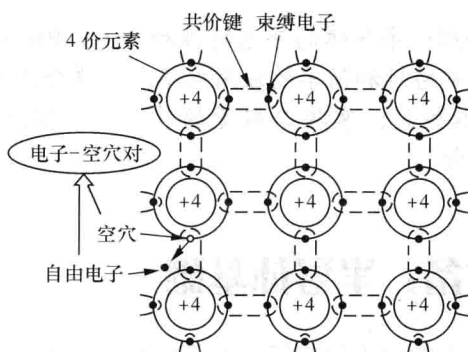


图 1.1.1 本征半导体的结构示意图

在本征半导体中，自由电子和空穴是成对出现的，称为电子-空穴对。

2. 两种载流子

当有外电场作用时，自由电子和空穴均能做定向移动而形成电流，都是载流子。因此，在半导体中，有自由电子和空穴两种载流子参与导电；半导体的导电能力取决于自由电子和空穴数目的多少。常温下，电子-空穴对很少，因而本征半导体的导电能力很差。

如果在本征半导体中掺入某些微量的其他元素，半导体的导电性能又怎样呢？

1.1.3 杂质半导体

在本征半导体中，人为地掺入极其微量的其他元素（称为杂质），可以制成杂质半导体。根据掺入杂质的不同，可分为电子型半导体（N 型）和空穴型半导体（P 型）。

1. N 型半导体

如图 1.1.2 所示，在本征半导体中掺入少量的 5 价元素（如磷）。常温下，少量的 5 价元素就能释放出很多自由电子，而半导体中原来的电子-空穴对很少，所以此时自由电子数远多于空穴数，以自由电子导电为主，这种半导体称为电子型半导体。因为电子带负电（Negative），所以又称为 N 型半导体。



自由电子在这里是多数载流子，称为多子；空穴是少数载流子，称为少子。

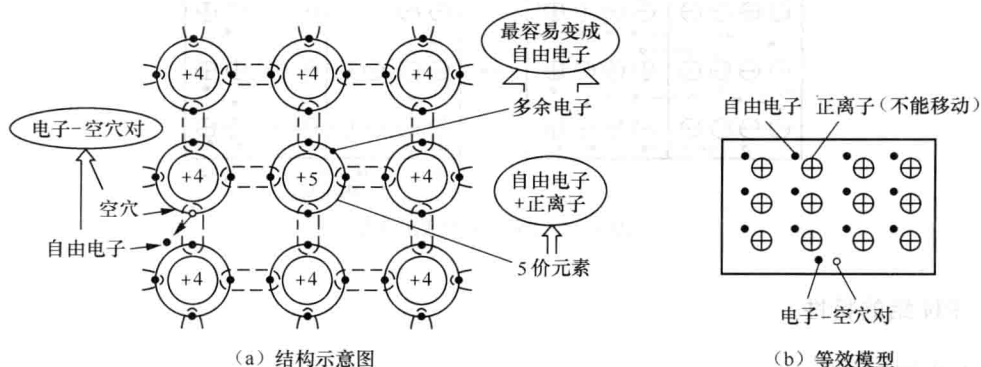


图 1.1.2 N 型半导体

2. P 型半导体

如图 1.1.3 所示，在本征半导体中掺入微量的 3 价元素（如硼）。常温下，少量的 3 价元素就能提供很多空穴，而半导体中原来的空穴-电子对很少，所以此时空穴数远多于自由电子数，以空穴导电为主，这种半导体称为空穴型半导体。而空穴带正电（Positive），所以又称为 P 型半导体。空穴在这里是多子，而自由电子是少子。

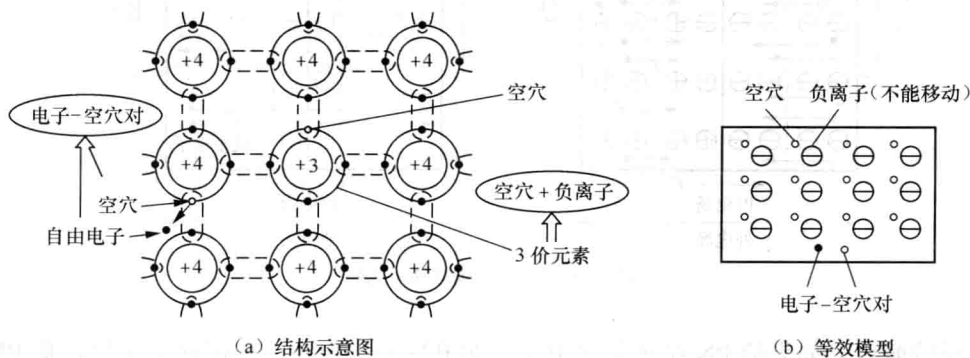


图 1.1.3 P 型半导体

如果把 N 型半导体和 P 型半导体放在一起，又会产生什么奇迹呢？

1.1.4 PN 结

1. PN 结的形成

如图 1.1.4 所示。利用特殊的掺杂工艺，在同一块单晶硅（或锗）片的一边形成 P 型半导体（即 P 区），另一边形成 N 型半导体（N 区）。于是在两种杂质半导体的交界处存在自由电子和空穴的运动：N 区失掉电子，留下不能移动的正离子；P 区失去空穴，留下不能移动的负离子。于是，在交界面形成了一个很薄的、相对稳定的正负离子区，称为 PN 结。

在 PN 结内，固定的正、负离子间必然会产生一个空间电场 E ，这个电场称为内电场。

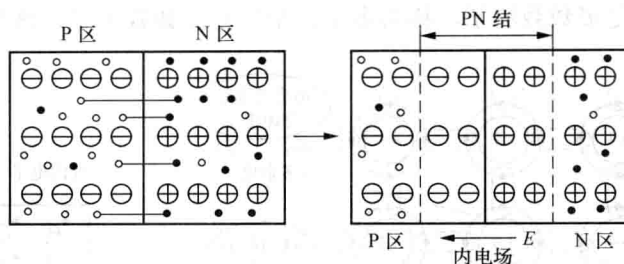


图 1.1.4 PN 结的形成示意图

2. PN 结的特性

(1) 单向导电性

① 正偏导通。给 PN 结加上正向电压，即 P 区接高电位、N 区接低电位，称 PN 结为正向偏置，简称正偏。如图 1.1.5 所示，外电场与内电场方向相反，当外电场大于内电场时，外电场抵消内电场而使多子定向移动，形成正向电流 I_F 。 I_F 随着正向电压的增加而增大；相应的，PN 结的等效电阻很小，此时称 PN 结导通。

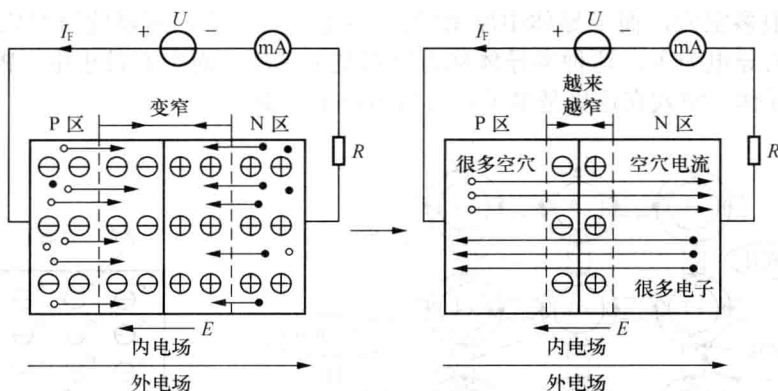


图 1.1.5 PN 结正偏导通示意图

② 反偏截止。如果给 PN 结加反向电压，即 P 区接低电位、N 区接高电位，称 PN 结反偏。如图 1.1.6 所示，外电场与内电场方向相同而使内电场的作用增强，同时使少子定向移动形成反向电流 I_R （通常 I_R 的大小不随反向电压而改变，故又称为反向饱和电流 I_S ）。常温下，少子的数目很少，所以 I_R 很小，接近于零；相应的，PN 结的等效电阻很大，此时称 PN 结截止。

综上所述，PN 结具有单向导电性：正偏导通，形成很大的正向电流，呈现很小的电阻；反偏截止，反向电流近似为零，呈现高阻态。

(2) 反向击穿特性

当 PN 结反偏时，如果外加的反向电压增大到一定数值时，反向电流会突然增加，这种现象称为 PN 结的反向击穿特性，发生击穿时所需要的电压称为反向击穿电压 $U_{(BR)}$ 。利用此特性可制成一类特殊二极管——稳压二极管。

当然，PN 结还有一些其他特性，例如它还具有电容效应等，这里不再赘述。

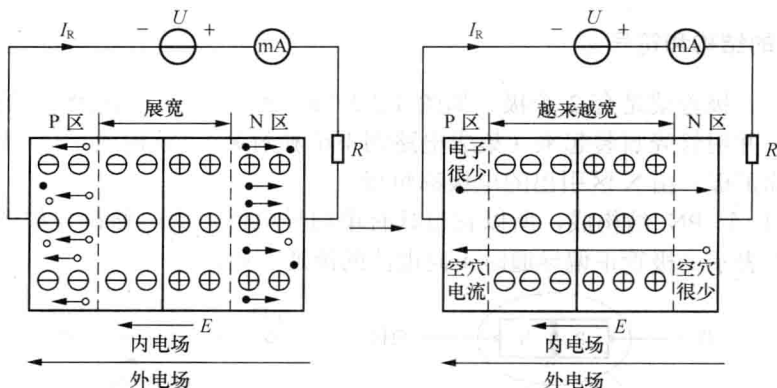


图 1.1.6 PN 结反偏截止示意图

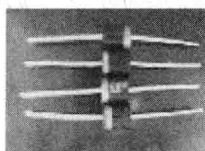
任务 2 二极管的认识与测试

1.2.1 初识二极管

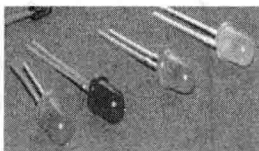
半导体二极管简称二极管，是半导体器件中最普通、最简单的一种，其种类很多，应用广泛。

1. 二极管的类型

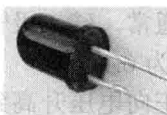
常用二极管的部分实物图如图 1.2.1 所示。



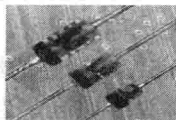
普通二极管



发光二极管



光敏二极管



稳压二极管



贴片二极管

图 1.2.1 部分二极管的实物图

二极管的常见分类方法和类型如表 1.2.1 所示。

表 1.2.1

二极管的常见分类方法和类型

分类标准	类型及说明
按半导体材料不同	硅 (Si) 二极管、锗 (Ge) 二极管以及砷化镓 (GaAs) 二极管等
按用途不同	整流二极管、检波二极管、稳压二极管、开关二极管、发光二极管、光敏二极管以及磁敏二极管等
按外壳封装材料不同	塑料封装、玻璃封装和金属封装等 其中普通二极管多采用塑料封装；大功率整流二极管多采用金属封装，并且有个螺帽以便固定在散热器上；检波二极管多采用玻璃封装等
按二极管的内部结构不同	点接触型、面接触型和平面型等
按是否有引脚	有引脚的插件式二极管，无引脚的贴片式二极管（为适用小型化的发展，也为了降低成本，较新的设计都采用体积小了的表面贴片式二极管）

2. 二极管的结构和符号

顾名思义,二极管就是有 2 个极。如图 1.2.2 (a) 所示,在 1 个 PN 结的两端各加上相应的电极引线,并用管壳封装起来(集成电路则不单独封装),就构成了 1 个二极管。由 P 区引出的电极称正极,由 N 区引出的电极称负极。

二极管由 1 个 PN 结构成,所以它也具有单向导电性。其电路符号如图 1.2.2 (b) 所示,其三角箭头表示二极管正偏导通时正向电流的流通方向。

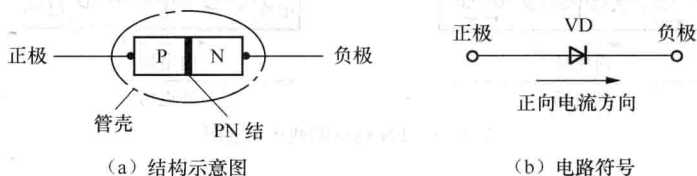


图 1.2.2 二极管的结构和符号

常用文字符号 VD (Diode) 表示二极管。二极管的命名方法见附录 1。

3. 二极管的伏安特性

二极管的伏安特性通常用其两端的电压降 u_D 作横坐标、流过管子的电流 i_D 作纵坐标的关系线来形象地描述,如图 1.2.3 所示。

(1) 正向特性

当二极管加上正向电压时,其正向特性曲线见图 1.2.3 的 OB 段。在 OA 段,加在二极管上的正向电压较小,此时的正向电流很小,二极管的等效电阻还很大,称为死区。通常,硅二极管的死区电压约为 0.5 V,锗管的约为 0.1 V。

图中 AB 段称为导通区。当正向电压升高到大于死区电压时,正向电流随着正向电压的微增而猛增,二极管两端电压几乎恒定,二极管完全导通了,其正向电阻变得很小。此恒定电压称为正向导通电压 $U_{D(on)}$ 。一般,硅管的导通电压取 0.7 V,锗管的取 0.2 V。

正向特性曲线说明:当二极管外加正向电压时,并不一定能导通,必须是正向电压达到或超过导通电压 $U_{D(on)}$ 时,二极管才真正导通。

(2) 反向特性

当二极管加上反向电压时,图 1.2.3 中 OC 段称为截止区,此时二极管内只形成很小的反向电流(如小功率硅管的反向电流小于 $0.1\mu A$,锗管为几十微安),可忽略不计,二极管的等效电阻很大,称二极管截止了。

(3) 反向击穿特性

当加在二极管上的反向电压增加到某一数值时,反向电流剧增,二极管反向导通了,这种现象称为二极管的反向击穿特性,如图 1.2.3 中 CD 段所示。发生击穿时的电压叫反向击穿电压 $U_{(BR)}$ 。反向击穿电压一般很高,低的几十伏,高的几千伏。一般二极管被反向击穿

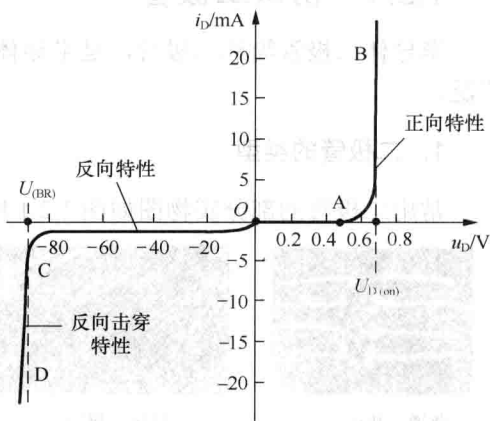


图 1.2.3 硅二极管的伏安特性曲线示意图



后就报废了。所以，在实际应用中，应将外加反向电压限制在一定范围内（ $< U_{(BR)}$ ），同时限制反向电流，避免管子出现反向击穿而烧坏。但稳压二极管却是利用反向击穿特性制成的。

反向特性曲线说明：当二极管加反向电压时是截止的，不能导通；但当反向电压达到反向击穿电压 $U_{(BR)}$ 时，二极管会被反向击穿而导通。

结论：通常，二极管就两种工作状态——导通和截止。通过二极管的电流与加在其两端的电压不成线性关系，所以二极管是非线性器件。

二极管是一个非线性器件，那么，怎么对其电路进行定量分析和计算呢？

1.2.2 普通二极管的开关等效电路

在工程上，通常用一定条件下的相应等效电路（或电路模型）来代替二极管，从而简化计算。通常二极管就导通和截止两种工作状态，很像我们熟悉的开关，下面我们就讨论一下二极管的开关等效模型。

1. 二极管的理想开关模型

理想二极管的伏安特性曲线如图 1.2.4 所示（虚线为二极管的实际伏安特性曲线）。由图可知：二极管正偏导通，管压降为零，等效电阻为 0，二极管相当于开关闭合，其等效电路如图 1.2.5 (a) 所示；二极管反偏截止，其反向电流为零，等效电阻为无穷大，二极管相当于开关断开，如图 1.2.5 (b) 所示。

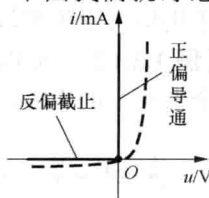


图 1.2.4 理想二极管的伏安特性曲线示意图

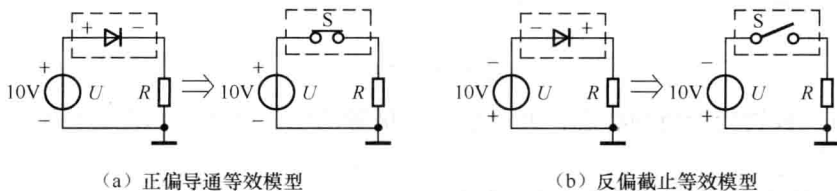


图 1.2.5 二极管的理想开关等效示意图

2. 二极管的普通开关模型——恒压降模型

普通二极管的伏安特性曲线可近似为如图 1.2.6 实线所示。当二极管外加正向电压等于或大于其导通电压 $U_{D(on)}$ 后，二极管才导通，等效电阻为 0，其两端的电压恒等于 $U_{D(on)}$ ，相当于 1 个闭合的开关和 1 个电压源 $U_{D(on)}$ 相串联，如图 1.2.7 (a) 所示；当外加电压小于 $U_{D(on)}$ 时，二极管截止，电阻为无穷大，电流为零，相当于开关断开，如图 1.2.7 (b) 所示。此即为二极管的普通开关模型，也称恒压降模型。

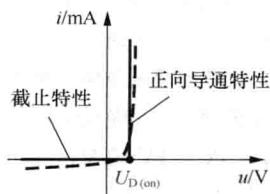


图 1.2.6 普通二极管的伏安特性曲线示意图

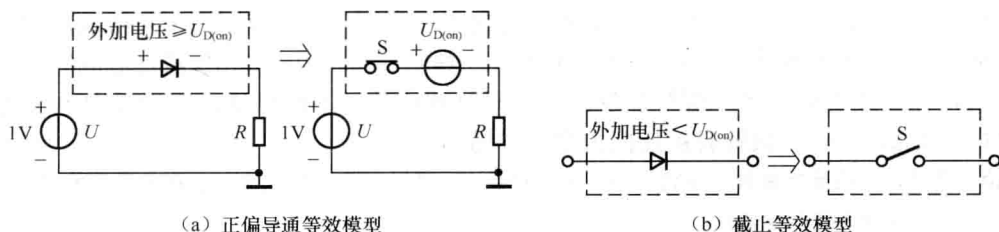


图 1.2.7 二极管的恒压降模型等效示意图

以上分析的二极管的开关等效电路模型是一种工程近似的思想，到底在什么情况下用什么模型，这要视具体情况而定。当外加电源电压远大于二极管的管压降时，可采用理想二极管模型，将二极管的管压降略去进行计算，所得结果与实际值误差不大；如果电源电压较低时，采用恒压降模型较为合理。另外，在数字电路中的二极管，通常是作为理想开关用。

【例 1.2.1】 如图 1.2.8 (a) 所示接有二极管（当没特别说明时，一般认为二极管为硅管，全书同）的电路，试回答以下问题。

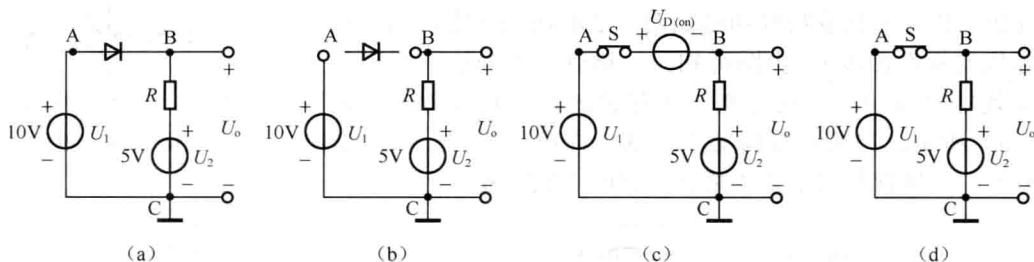


图 1.2.8 例 1.2.1 用图

(1) 分析二极管处于何种状态；并分别用二极管的恒压降模型和理想模型，求电路中的输出电压 U_o 值。

(2) 若 U_1 和 U_2 分别换成 3V 和 1V 呢？

(3) 若 U_1 和 U_2 的极性都换成上负下正，结果怎样？

解：(1) 先假设二极管不接入电路中，即 A、B 两点断开，如图 1.2.8 (b) 所示，则有 $U_A = 10V$, $U_B = 5V$ ，重新接入二极管后，二极管的外加电压=正极电位 (U_A) - 负极电位 (U_B) = $10V - 5V = 5V$ ，所以，二极管处于正向导通状态。

当二极管为恒压降模型时，原电路的等效电路如图 1.2.8 (c) 所示，则实际 $U_{AB} = U_{D(on)} = 0.7V$ ，所以

$$U_o = U_1 - U_{AB} = 10V - 0.7V = 9.3V$$

当二极管为理想模型时，原电路的等效电路如图 1.2.8 (d) 所示，实际 $U_{AB} = 0V$ ，所以

$$U_o = U_1 - U_{AB} = 10V - 0V = 10V$$

结论：10V 和 9.3V 数值很接近，说明当外加电源电压 $U_1 (=10V)$ 远大于二极管的管压降 $U_{D(on)} (=0.7V)$ 时，可采用理想二极管模型，将二极管的管压降略去进行计算，所得结果与实际值误差不大。

(2) 当 $U_1 = 3V$ 、 $U_2 = 1V$ 时，同样先不接二极管，则 $U_A = 3V$, $U_B = 1V$ ，重新接入二极管后，二极管外加的正向电压 = $U_A - U_B = 3V - 1V = 2V$ ，二极管仍处于正向导通状态。

当二极管为恒压降模型时，则实际 $U_{AB} = U_{D(on)} = 0.7V$ ，所以

$$U_o = U_1 - U_{AB} = 3V - 0.7V = 2.3V$$