



GUOJIASHIFANXINGGAOZHUYUANXIAOJIANSHEXIANGMUCHENGGUO

国家示范性高职院校建设项目成果

电子信息专业系列

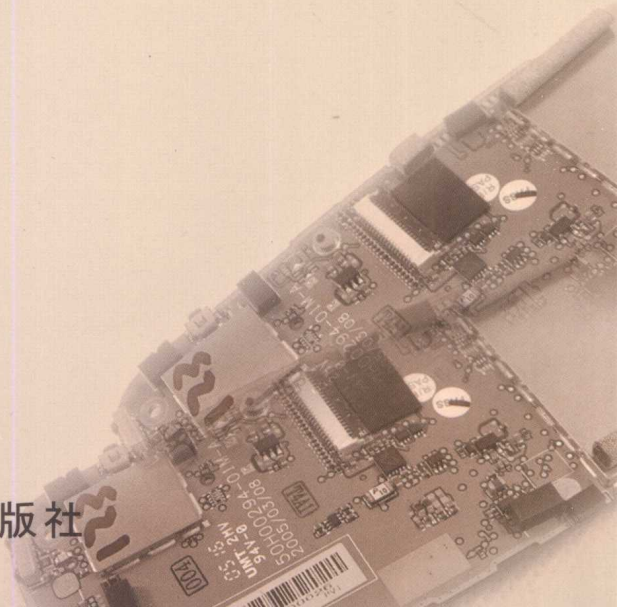
模拟电路

分析与实践

马建如 主编



清华大学出版社





CCIT

GUOJIASHIFANXINGGAOZHUYUANXIAOJIANSHEXIANGMUCHENGGUO

国家示范性高职院校建设项目成果

电子信息专业系列

模拟电路

分析与实践

马建如 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书采用项目化课程模式,以模拟电子技术中的典型项目为载体,内容包括有源音箱的分析与制作;恒温箱温度自动控制器的分析与制作;函数信号发生器的分析与制作;直流稳压电源的设计与制作;调幅收音机的分析、装配及调试 5 个项目。每个项目又分为若干个任务,在项目任务的完成过程中嵌入知识的学习和技能的训练。本书的编写思路较好地体现了“能力本位、实践为主、项目主体”的脉络,体现了高职高专课程改革的新理念。

本书是高职高专电子信息类专业主干课程教材,可作为高职高专电子、通信、自控、计算机和机电类等相关专业“模拟电子技术”类课程的教材,亦可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

模拟电路分析与实践/马建如主编. —北京:清华大学出版社,2010.9

(国家示范性高职院校建设项目成果.电子信息专业系列)

ISBN 978-7-302-22940-7

I. ①模… II. ①马… III. ①模拟电路—电路分析—高等学校:技术学校—教材 ②模拟电路—电路设计—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 102094 号

责任编辑:田梅

责任校对:李梅

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社总机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:14.5

字 数:349千字

版 次:2010年9月第1版

印 次:2010年9月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:25.00元

产品编号:035905-01

出版说明

特色教材建设是推动课程改革和专业建设的基础,是提升人才培养质量的重要举措,也是高职院校内涵建设的重点之一。

2007年,经教育部、财政部批准,常州信息职业技术学院进入100所国家示范性高职院校建设行列。开展示范院校建设以来,学院坚持以科学发展观为指导,针对市场设专业,针对企业定课程,针对岗位练技能,围绕区域经济建设、信息产业发展的实际需求,全面推进以“三依托、三合一”为核心的工学结合人才培养模式改革,强化职业素质和职业技能的培养,构建了具有学院自身特色的校企合作管理平台,在培养高素质技能型人才、为服务区域经济建设等方面取得了显著成效。

为展示课程建设成果,学院和清华大学出版社合作出版了常州信息职业技术学院特色教材30部,这也是学院示范院校建设的成果之一。作为一种探索,这套教材在许多方面还不尽成熟和完善,但它从一个侧面反映了学院广大教师多年来对中国特色高职教育教学,特别是教材建设层面的创新与实践,希望能对深化以职业能力培养为核心的专业改革、切实提高教育教学质量发挥应有的作用。

在人才培养模式的创新、课程改革和教材建设中,我们始终得到教育部、财政部、江苏省教育厅、财政厅和国家示范性高职院校建设工作协作委员会等各级领导、专家的关心和指导,得到众多行业企业、兄弟院校和清华大学出版社的大力支持,在此一并致谢!

常州信息职业技术学院

清华大学出版社

2009.6

项目课程《模拟电路分析与实践》是高职高专电子信息类专业一门重要的基础能力课程,本书具有以下特点。

(1) 融理论、实践、仿真及实用电路分析、制作、测试与调试为一体。重点体现了“能力本位、实践为主、项目主体”的脉络,体现了基于工作过程导向的高职课程改革观。

(2) 在项目的选取和编制上充分考虑了本课程知识体系和技能的要求,共包含 5 个项目,主要有有源音箱的分析与制作;恒温箱温度自动控制器的分析与制作;函数信号发生器的分析与制作;直流稳压电源的设计与制作;调幅收音机的分析、装配及调试。在每个项目的内容中,从简至繁;先单元电路,后总体电路。在每一个项目中嵌入了理论知识、实践技能的学习,可以促进师生互动,以期达到最佳的教学效果。

(3) 为了充分体现任务引领、实践导向课程的思想,每一项目下的教学活动又分解成若干任务,以形成模拟电路分析、制作、测试与调试能力为基本目标,打破传统教材的设计思路,紧紧围绕工作任务完成的需要来选择和组织教学内容,突出了工作任务与知识的联系,让学生在职业实践活动的基础上掌握知识,增强课程内容与职业岗位能力要求的相关性,提高学生的职业能力。

考虑到计算机仿真分析与设计也是培养学生模拟电路分析、制作、测试与调试等能力的重要手段,因此本教材各个项目均安排了基于 Multisim 的仿真实训,在教材中各项目仿真实训电路中涉及的电路符号、器件符号及单位等均由该软件提供,与现行国标有所不同,请读者注意。

本书项目 1、项目 4、项目 5 以及附录由马建如编写,项目 2 和项目 3 由薛晓明编写,马建如负责全书的统稿。江苏常州星球电子有限公司倪亚明总工程师作为编写顾问,为本书的编写提供了很多有价值的参考资料,并提出了具体的编写意见。国家示范高职重点建设专业电子信息工程技术专业带头人,常州信息职业技术学院的陈必群老师对本书的编写大纲进行了审核并提出了宝贵的意见。

本书的编写形式是对高职高专模拟电子技术课程教学改革的一次尝试,恳请读者在使用中多提宝贵意见,以便在今后的工作中改进。

编者

2009 年 12 月

目 录

项目 1 有源音箱的分析与制作	1
任务 1.1 分立前置放大器的分析与测试	2
1.1.1 任务分析	2
1.1.2 相关知识	2
1.1.3 技能实训	31
1.1.4 任务实施	40
1.1.5 知识拓展	42
任务 1.2 集成前置放大器的分析与测试	47
1.2.1 任务分析	47
1.2.2 相关知识	47
1.2.3 技能实训	63
1.2.4 任务实施	66
任务 1.3 功率放大器的分析与测试	68
1.3.1 任务分析	68
1.3.2 相关知识	68
1.3.3 技能实训	76
1.3.4 任务实施	79
任务 1.4 有源音箱的分析与制作	81
1.4.1 任务分析	81
1.4.2 任务实施	82
小结	84
思考与练习	86
项目 2 恒温箱温度自动控制器的分析与制作	94
任务 2.1 恒温箱温度自动控制器信号运算电路的分析与测试	95
2.1.1 任务分析	95
2.1.2 相关知识	95
2.1.3 技能实训	101
2.1.4 任务实施	103
2.1.5 知识拓展	104
任务 2.2 恒温箱温度控制器信号处理电路的分析与测试	106
2.2.1 任务分析	106

2.2.2 相关知识	106
2.2.3 技能实训	108
2.2.4 任务实施	109
任务 2.3 恒温箱温度自动控制器的制作与调试	110
2.3.1 任务分析	110
2.3.2 任务实施	110
小结	113
思考与练习	113
项目 3 函数信号发生器的分析与制作	116
任务 3.1 正弦波信号发生器的分析与测试	117
3.1.1 任务分析	117
3.1.2 相关知识	117
3.1.3 技能实训	124
3.1.4 任务实施	125
任务 3.2 非正弦波信号发生器的分析与测试	126
3.2.1 任务分析	126
3.2.2 相关知识	126
3.2.3 技能实训	131
3.2.4 任务实施	133
任务 3.3 函数信号发生器的分析与制作	134
3.3.1 任务分析	134
3.3.2 任务实施	134
小结	137
思考与练习	137
项目 4 直流稳压电源的设计与制作	140
任务 4.1 线性集成直流稳压电源的分析与测试	141
4.1.1 任务分析	141
4.1.2 相关知识	141
4.1.3 技能实训	157
4.1.4 任务实施	160
任务 4.2 线性集成直流稳压电源的设计与制作	160
4.2.1 任务分析	160
4.2.2 相关知识	161
4.2.3 任务实施	163
4.2.4 知识拓展	164
小结	166
思考与练习	166

项目 5 调幅收音机的分析、装配及调试	169
任务 5.1 调幅收音机的分析	169
5.1.1 任务分析	169
5.1.2 相关知识	170
5.1.3 任务实施	176
任务 5.2 调幅收音机的装配与调试	179
5.2.1 任务分析	179
5.2.2 相关知识	179
5.2.3 任务实施	184
5.2.4 知识拓展	186
小结	191
思考与练习	191
附录	192
附录 A 电子线路实训基础	192
A.1 电子电路的设计方法	192
A.2 电子电路的组装	194
A.3 电路的调试	194
A.4 检查故障的一般方法	197
A.5 电子电路项目设计总结报告	201
A.6 印制电路板元器件的安装	202
附录 B 半导体分立器件型号命名方法	204
附录 C 常用半导体二极管的主要参数	207
附录 D 常用半导体三极管的主要参数	209
附录 E 集成电路的命名方法	210
附录 F 部分模拟集成电路的主要参数	211
附录 G MF58 型负温度系数热敏电阻器电阻值——温度对照表	212
附录 H 综合试卷 1	214
附录 I 综合试卷 2	217
参考文献	222

有源音箱的分析与制作

知识目标

- (1) 了解半导体二极管、三极管及其基本特性;了解各种二极管的基本应用。
- (2) 理解三极管放大电路、集成放大电路的电路构成、工作原理和电路中各元器件的作用。
- (3) 理解功率放大电路的电路构成、工作原理和电路中各元器件的作用。

能力目标

- (1) 能正确测量各种二极管、三极管的外特性,能正确记录测量结果并能对结果作出准确描述。
- (2) 能判断放大电路中三极管的三种可能的工作状态。
- (3) 能正确测量三极管放大电路的性能指标,并能解释各性能指标的含义。
- (4) 能对三极管放大电路、集成放大电路、功率放大电路进行分析和计算。
- (5) 能装接三极管基本放大电路及集成放大电路,并能通过调试得到正确的结果。
- (6) 能判断负反馈的性质和组态及相应的应用场合,并能对深度负反馈放大电路进行近似分析和近似计算。
- (7) 能正确测试功率输出级电路的基本特性。
- (8) 能识读有源音箱电路的工作原理;能制作有源音箱,并能通过调试得到正确结果。能对电路中出现的故障现象进行分析判断并加以解决。

工作任务

- (1) 分立前置放大器的分析与测试。
- (2) 集成前置放大器的分析与测试。
- (3) 功率放大器的分析与测试。
- (4) 有源音箱的分析与制作。

计算机上“武装”的有源音箱已经是司空见惯了,从电路组成上看,它可用图 1-1 所示的框图来表示。它的内部主要由前置放大器及功率放大器组成。前置放大器主要负责对输入的微弱音频信号进行初级放大,并将放大之后的信号送入功率放大器进行放大,使输出信号的电压与电流同时满足驱动扬声器所需。前置放大器及功率放大器均有分立式与集成式两种。

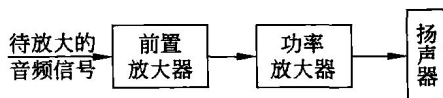


图 1-1 有源音箱组成框图

下面首先分析与测试分立、集成前置放大器、功率放大器,然后再对有源音箱整机电路进行分析与制作。

任务 1.1 分立前置放大器的分析与测试

1.1.1 任务分析

前置放大器的作用是将输入的微弱的电信号放大为幅度足够大且与原来信号变化规律一致的信号,即进行不失真的放大。

显然,放大的结果是交流信号能量的增加。当然,能量是守恒的,交流信号能量的增加实际是由直流电源的能量转化而来的。半导体三极管(简称三极管,BJT)就是一种能将直流能量转化为交流能量的器件,这样的器件也称有源器件。分立前置放大电路或分立前置放大器的核心器件是三极管,掌握与应用二极管的特性是学习三极管的基础,因此这里首先学习半导体二极管和三极管的相关知识。

1.1.2 相关知识

【相关知识 1】 半导体二极管和三极管

分立前置放大器主要由三极管放大电路组成,三极管放大电路的核心器件是三极管。了解二极管的特性是学习三极管的基础,而二极管又是由半导体材料构成的,所以,必须首先了解半导体的性能。

1. 半导体的基础知识

(1) 半导体的特性

自然界中的各种物质按导电能力划分为导体、绝缘体和半导体。半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间,它具有热敏性、光敏性和掺杂性。利用光敏性可制成光电二极管和光电三极管及光敏电阻;利用热敏性可制成各种热敏电阻;利用掺杂性可制成各种不同性能、不同用途的半导体器件,例如二极管、三极管、场效应管等。

(2) 半导体的共价键结构

在电子器件中,用得最多的材料是硅和锗。硅和锗都是四价元素,最外层原子轨道上具有 4 个电子,称为价电子。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,这些价电子一方面围绕自身的原子核运动,另一方面也时常出现在相邻原子所属的轨道上。这样,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。

当温度升高或受光照时,由于半导体共价键中的价电子并不像绝缘体中被束缚得那样紧,价电子从外界获得一定的能量,少数价电子会挣脱共价键的束缚,成为自由电子,同时在原来共价键的相应位置上留下一个空位,这个空位称为空穴,如图 1-3 所示。

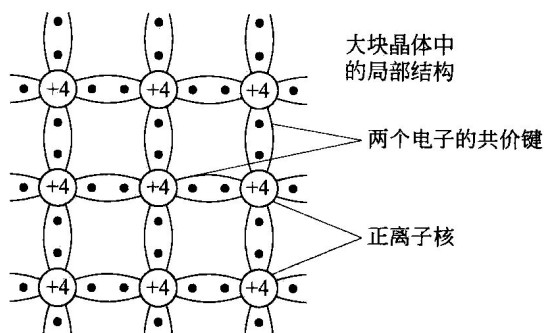


图 1-2 硅和锗的共价键结构

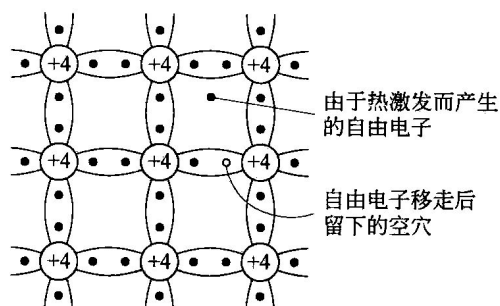


图 1-3 本征激发产生电子和空穴对

自由电子和空穴是成对出现的,所以称它们为电子空穴对。在本征半导体中,电子与空穴的数量总是相等的。把在热或光的作用下,本征半导体中产生电子空穴对的现象称为本征激发,又称为热激发。

由于共价键中出现了空位,在外电场或其他能源的作用下,邻近的价电子就可填补到这个空穴上,而在这个价电子原来的位置上又留下新的空位,以后其他价电子又可转移到这个新的空位上,如图 1-4 所示。

为了区别于自由电子的运动,把这种价电子的填补运动称为空穴运动,认为空穴是一种带正电荷的载流子,它所带电荷和电子相等,符号相反。由此可见,本征半导体中存在两种载流子——电子和空穴;而金属导体中只有一种载流子——电子。本征半导体在外电场作用下,两种载流子的运动方向相反而形成的电流方向相同,如图 1-5 所示。

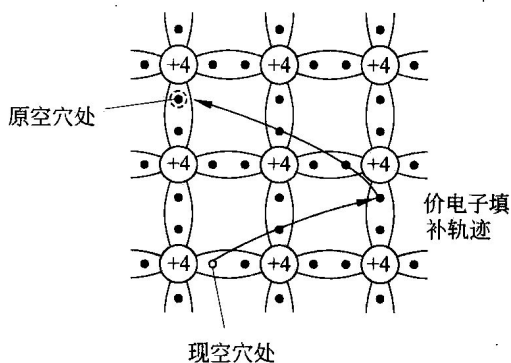


图 1-4 电子与空穴的移动

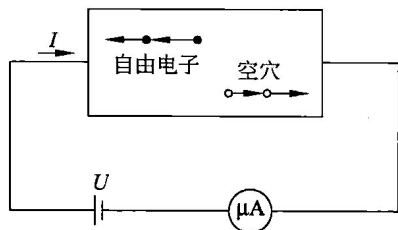


图 1-5 两种载流子在电场中的运动

(3) 杂质半导体

① N 型半导体

在纯净的半导体硅(或锗)中掺入微量五价元素(如磷)后,就可形成 N 型半导体,如图 1-6(a)所示。在这种半导体中,自由电子数远大于空穴数,导电以电子为主,故此类半导体亦称电子型半导体。

② P 型半导体

在硅(或锗)的晶体中掺入少量三价元素杂质,如硼(或镉)等,可形成 P 型半导体。硼原子只有 3 个价电子,它与周围硅原子组成共价键时,因缺少一个电子,在晶体中便产生一

个空穴。这个空穴与本征激发产生的空穴都是载流子,具有导电性能。P型半导体的共价键结构如图 1-6(b)所示。

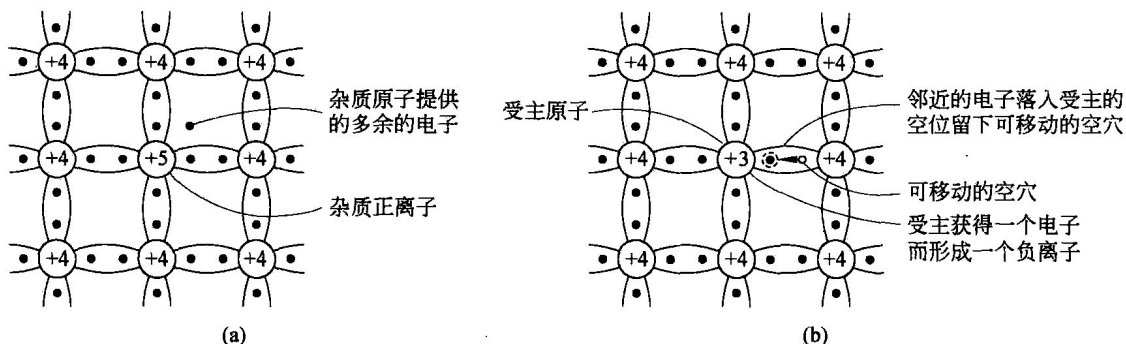


图 1-6 掺杂后的半导体

(a) N型半导体; (b) P型半导体

在 P 型半导体中,空穴数远远大于自由电子数,空穴为多数载流子(简称“多子”),自由电子为少数载流子(简称“少子”),导电以空穴为主,故此类半导体又称为空穴型半导体。

(4) PN 结及其单向导电性

① PN 结的形成

在一块完整的晶片上,通过一定的掺杂工艺,一边形成 P 型半导体,另一边形成 N 型半导体。在交界面两侧形成一个带异性电荷的离子层,称为空间电荷区,并产生内电场,其方向是从 N 区指向 P 区。内电场的建立阻碍了多数载流子的扩散运动,随着内电场的加强,多子的扩散运动逐步减弱,直至停止,使交界面形成一个稳定的特殊的薄层,即 PN 结。

② PN 结的单向导电性

在 PN 结两端外加电压,称为给 PN 结以偏置电压。给 PN 结加正向偏置电压,即 P 区接电源正极,N 区接电源负极,称为正向偏置(简称正偏),此时 PN 结处于正向导通状态。给 PN 结加反向偏置电压,即 N 区接电源正极,P 区接电源负极,称为反向偏置(简称反偏),此时,PN 结只有微弱的电流通过,处于反向截止状态。

综上所述,PN 结具有单向导电性,即加正向电压时导通,加反向电压时截止。

2. 半导体二极管及其应用电路

(1) 二极管的外形、结构、符号及命名

各种二极管器件的外形图及封装形式如图 1-7 所示。

二极管的基本结构如图 1-8(a)所示,其核心组成部分(管芯)由 P 型半导体和 N 型半导体相互紧密结合构成。为了能使二极管与外部电路可靠连接,需要在 P 区和 N 区两端引出电极引线或贴片焊接区(贴片元器件),并加以封装(管壳)。二极管的电路符号如图 1-8(b)所示,电路符号中的箭头方向表示正向电流的流通方向,即由阳极指向阴极。

二极管种类繁多,国内外都采用各自规定的命名方法加以区分。我国国产半导体器件命名方法采用国家标准 GB 249—1989。

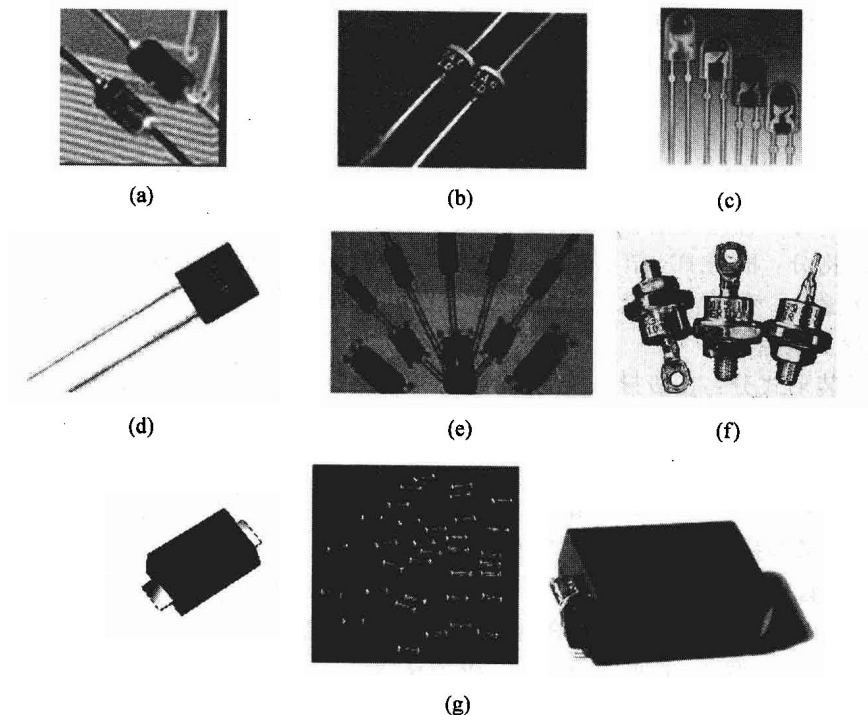


图 1-7 二极管外形图及封装形式

(a) 稳压二极管；(b) 小功率整流二极管；(c) 发光二极管；(d) 变容二极管；
(e) 开关二极管；(f) 大功率整流二极管；(g) 三种不同形式的贴片二极管

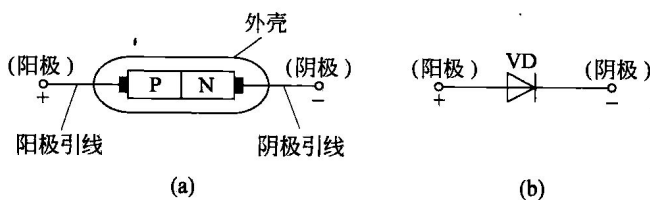


图 1-8 二极管的结构与符号

(a) 结构；(b) 符号

半导体器件的型号由五个部分组成,如图 1-9 所示。其型号组成部分的符号及其意义见附录 B。如 2CZ11B 中,“2”表示电极数为 2,“C”表示 N 型锗材料,“Z”表示整流管,“11”表示序号,“B”表示规格号。

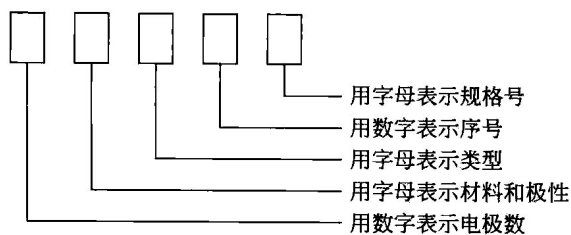


图 1-9 二极管器件的型号组成

目前国内市场上常用的进口晶体二极管有 1N 系列、1S 系列等。

1N 系列塑封硅整流二极管的典型产品有 1N4001~1N4007(1A)、1N5391~1N5339(1.5A)、1N5400~1N5408(3A)等。

1S 系列低频整流二极管的典型产品有 1S555、1S1553、1S1886、1S1887 等。

(2) 二极管的类型

① 按材料分：有硅二极管、锗二极管和砷化镓二极管等。
 ② 按结构分：根据 PN 结面积大小有点接触型、面接触型二极管。
 ③ 按用途分：有整流二极管、稳压二极管、开关二极管、发光二极管、光电二极管、变容二极管、阻尼二极管等。

④ 按封装形式分：有塑封二极管及金属封二极管等。

⑤ 按功率分：有大功率二极管、中功率二极管及小功率二极管等。

(3) 二极管的伏安特性

半导体二极管的核心是 PN 结，它的特性就是 PN 结的特性——单向导电性。常利用伏安特性曲线来形象地描述二极管的单向导电性。

流过二极管中的电流与其两端外加电压的变化规律，可应用如图 1-10 所示的测试电路测试。根据测出的电压及与之对应的电流数值描绘出电流随电压变化的曲线，称为二极管的伏安特性曲线，如图 1-11 所示（图中虚线为锗管的伏安特性，实线为硅管的伏安特性）。下面对二极管的伏安特性曲线加以说明。

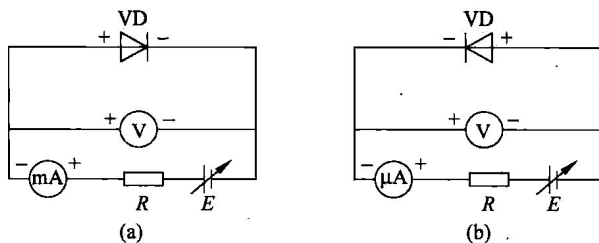


图 1-10 二极管的伏安特性测试电路

(a) 正向特性测试电路；(b) 反向特性测试电路

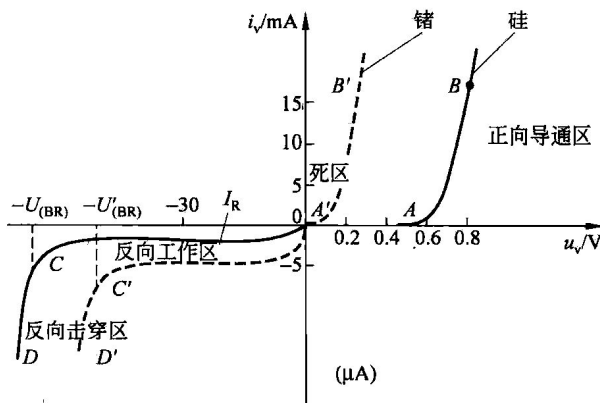


图 1-11 二极管的伏安特性曲线

① 正向特性

二极管两端加正向电压时，就产生正向电流。当正向电压较小时，正向电流极小（几乎

为零),这一部分称为死区,相应的 $A(A')$ 点的电压称为死区电压或门槛电压(也称阈值电压),硅管约为 0.5 V ,锗管约为 0.1 V ,如图 1-11 中 $OA(OA')$ 段。

当正向电压超过门槛电压时,正向电流就会急剧增大,二极管呈现很小电阻而处于导通状态。这时硅管的正向导通压降为 $0.6\sim 0.7\text{ V}$,锗管为 $0.2\sim 0.3\text{ V}$,如图 1-11 中 $AB(A'B')$ 段。二极管正向导通时,要特别注意它的正向电流不能超过最大值,否则将烧坏 PN 结。

② 反向特性

二极管两端加上反向电压时,在开始很大范围内,它相当于非常大的电阻,反向电流很小,且不随反向电压而变化。此时的电流称为反向饱和电流 I_R ,见图 1-11 中 $OC(OC')$ 段。

③ 反向击穿特性

二极管的反向电压加到一定数值时,反向电流急剧增大,这种现象称为反向击穿。此时对应的电压称为反向击穿电压,用 U_{BR} 表示,如图 1-11 中 $CD(C'D')$ 段。

下面用 Multisim 2001 仿真软件进行仿真测试。

根据图 1-12(a) 在 Multisim 的电路窗口区搭建仿真电路。在电路中串接入 $1\text{ m}\Omega$ ($0.001\ \Omega$) 的电阻,该电阻的作用是取样,称为取样电阻。

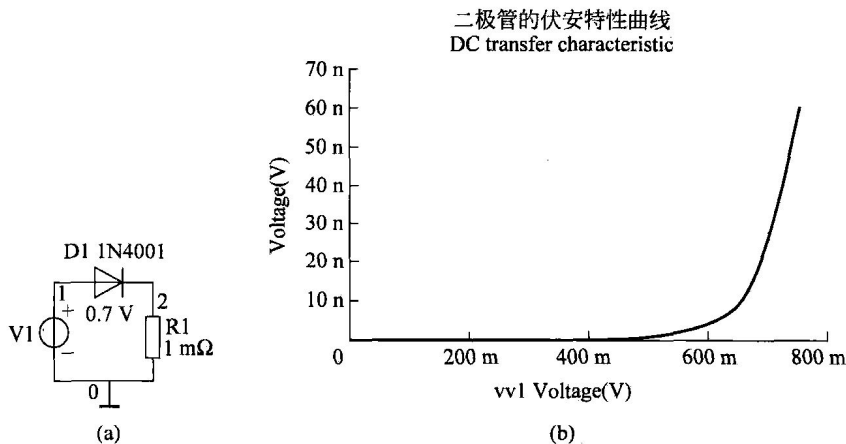


图 1-12 二极管的伏安特性曲线仿真测试电路图及仿真曲线

对节点 2 进行直流扫描,可得到如图 1-12(b) 所示的二极管的伏安特性曲线,其中横坐标表示二极管上电压的变化,纵坐标表示 $1\text{ m}\Omega$ 电阻上电压的变化,即二极管的电流的变化。将纵坐标电压的变化转化为电流的变化,即可得到二极管 1N4001 的伏安特性。

④ 温度对特性的影响

由于二极管的核心是一个 PN 结,它的导电性能与温度有关,温度升高时二极管正向特性曲线向左移动,正向压降减小;反向特性曲线向下移动,反向电流增大。

【例 1-1】 电路如图 1-13 所示,设二极管为理想器件,判断二极管是否导通,并求输出电压 U_o 。

解 设 A 点为公共参考点(接地端),二极管 VD 的正极电位为 -10 V ,负极通过电阻 R 所接 B 点电位为 -20 V ,正极电位大于负极电位,所以二极管 VD 导通。

因为二极管为理想器件,认为二极管正向压降为零,故输出电压 $U_o = -10\text{ V}$ 。

【例 1-2】 理想二极管组成电路如图 1-14 所示,试确定电路的输出电压(图中电压均对地而言)。

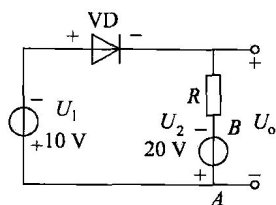


图 1-13 二极管电路 1

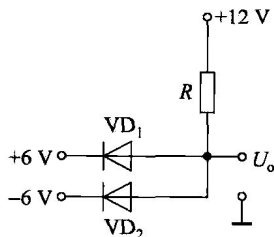


图 1-14 二极管电路 2

解 两个二极管的正极通过 R 接到 $+12\text{V}$, 都比它们的负极电位高, 似乎都有导通的可能。

现分别讨论如下: (1) 若 VD_1 管导通, $U_o = 6\text{V}$, 这样 VD_2 管也要导通, $U_o = -6\text{V}$, 但 U_o 不能有两个值; (2) 若 VD_2 管导通, $U_o = -6\text{V}$, VD_1 因为 VD_2 管的导通, 使得 VD_1 的正极电位比负极电位低而截止, 所以 $U_o = -6\text{V}$ 。

由以上分析可以进行推广, 图中若再有若干个二极管, VD_1 、 VD_2 正极相连, 而负极接不同电位(或负极相连, 而正极接不同电位)时, 只有一个二极管导通, 其他二极管都截止, 这个导通的二极管必定是其两端电位差最大的一个。

(4) 半导体二极管的主要参数

描述二极管特性的物理量称为二极管的参数, 它是反映二极管电性能的质量指标, 是合理选择和使用二极管的主要依据。在半导体器件手册或生产厂家的产品目录中, 对各种型号的二极管均用表格列出其参数。二极管的主要参数有以下几种。

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。实际应用时, 工作电流应小于 I_F , 否则可能导致二极管温度过高而烧毁。

② 最大反向工作电压 U_{RM}

最大反向工作电压 U_{RM} 是指二极管反向运用时, 所允许加的最大反向电压(峰值)。实际应用中, 当反向电压增加到击穿电压时, 二极管可能被击穿损坏, 因而, 通常手册上给出的最大反向工作电压是击穿电压的 $1/2$ 左右。

③ 反向饱和电流 I_R

反向饱和电流 I_R 是指二极管在规定的反向电压和室温下所测得的反向电流值。 I_R 愈小, 表明二极管的单向导电性能愈好。另外, I_R 与温度密切相关, 使用时应注意。

④ 二极管的直流电阻 R_V

直流电阻 R_V 定义为加在二极管两端的直流电压 U_V 与流过二极管的直流电流 I_V 之比, 即

$$R_V = \frac{U_V}{I_V} \quad (1-1)$$

R_V 的大小与二极管的工作点有关。通常用万用表测出来的二极管电阻即直流电阻。不过应注意的是, 使用不同的欧姆挡测出来的直流等效电阻不同, 其原因是二极管工作点的位置不同。一般二极管的正向直流电阻在几十欧到几千欧之间, 反向直流电阻在几十千欧到几百千欧之间。正反向直流电阻差距越大, 二极管的单向导电性能越好。

⑤ 最高工作频率 f_M

最高工作频率 f_M 是指二极管正常工作时,允许通过交流信号的最高频率。实际应用时,不要超过此值,否则二极管的单向导电性将显著退化。

需要指出的是,由于制造工艺的限制,即使是同类型号的二极管,其参数的分散性很大。通常半导体手册上给出的参数都是在一定测试条件下测出的,使用时应注意条件。

(5) 特殊二极管

前面主要讨论了普通二极管。另外还有一些特殊用途的二极管,如图 1-7 所示的稳压二极管、发光二极管、激光二极管、光电二极管和变容二极管等,下面分别进行介绍。

① 稳压二极管

- 稳压二极管的工作特性

稳压二极管简称稳压管,它的特性曲线和符号如图 1-15 所示。

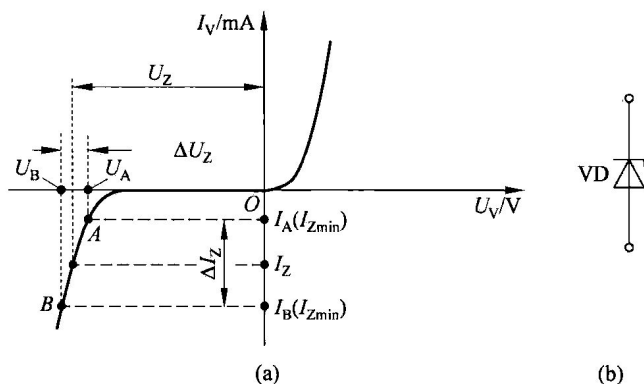


图 1-15 稳压二极管的特性曲线和符号

(a) 伏安特性曲线; (b) 符号

- 稳压二极管的主要参数

稳定电压 U_Z : 稳定电压 U_Z 即反向击穿电压。

稳定电流 I_Z : 稳定电流 I_Z 是指稳压管工作至稳压状态时流过的电流。当稳压管稳定电流小于最小稳定电流 I_{Zmin} 时,没有稳压作用;大于最大稳定电流 I_{Zmax} 时,管子将因过流而损坏。

② 发光二极管

发光二极管(LED)与普通二极管一样,同样具有单向导电性,但在正向导通时能发光,所以它是一种把电能转换成光能的半导体器件。其电路符号如图 1-16 所示。

- 普通发光二极管

普通发光二极管工作在正偏状态。检测发光二极管,一般用万用表 $R \times 10 \text{ k}(\Omega)$ 挡,方法和普通二极管一样,一般正向电阻为 $15 \text{ k}\Omega$ 左右,反向电阻为无穷大。

- 红外发光二极管

红外发光二极管工作在正偏状态。用万用表 $R \times 1 \text{ k}(\Omega)$ 挡检测,若正向阻值在 $30 \text{ k}\Omega$ 左右,反向为无穷大,则表明正常;否则,红外发光二极管性能变差或损坏。

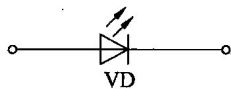


图 1-16 发光二极管的电路符号