

全国高等职业教育规划教材

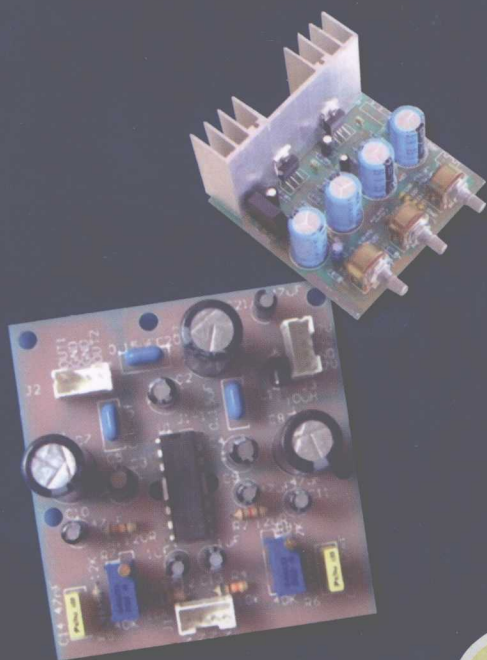
电子技术基础

张志良 主编

- 内容浅显易理解
- 文字叙述条理化
- 习题丰富有解答
- 结合实践重应用



免费下载电子教案
<http://www.cmpedu.com>



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



中国高等院校计算机专业教材

电子技术基础

第2版 王明

- 本书可作为高等院校计算机专业及相关专业的教材
- 本书可作为从事电子技术工作的工程技术人员参考
- 本书可作为从事电子技术工作的工程技术人员参考
- 本书可作为从事电子技术工作的工程技术人员参考

清华大学出版社



全国高等职业教育规划教材

电子技术基础

张志良 主编

华天京 副主编

邵菁 参编

张慧莉 参编

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础/张志良主编. —北京:机械工业出版社, 2009.1

(全国高等职业教育规划教材)

ISBN 978-7-111-25212-3

I. ①电… II. ①张… III. ①电子技术 IV. TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第153098号

机械工业出版社(北京东直门大街22号, 邮政编码100037)

策划编辑: 王 斌 责任编辑: 王 斌

责任校对: 申春香 责任印制: 邵 菁

北京国信伟业印刷厂印刷 (三河市经开印刷装订厂装订)

2009年1月第1版(1)次印刷

184mm×260mm·19.25印张·473千字

0 001—2 000册

定价: 31.00元 ISBN 978-7-111-25212-3

定价: 31.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页等, 均由发行部负责调换。

邮购地址: 北京市丰台区左安门内大街16号, 邮编100050

电话: (010) 88379641 88379642 88379643

88379644 88379645 88379646 88379647 88379648 88379649 88379650



机械工业出版社

本书根据职业技术教育要求和学生特点编写,内容包括:半导体器件及其特性、基本放大电路、集成运算放大器、正弦波振荡电路、直流稳压电源电路、数字逻辑基础、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲波产生与转换电路、数模转换和模数转换电路以及半导体存储器。内容覆盖面较宽,但难度较浅。在阐明基本概念的基础上,突出基本内容和基础知识;突出结论和结论的应用;减少理论推导和计算过程;注意实际应用;习题丰富,可布置性好;书末附有答案,并在《模拟电子学习指导与习题解答》和《数字电子技术学习指导与习题解答》中给出全部详解,便于教学和学生自学。

本书适于用作高等职业技术学校机电类、电子类和计算机类专业“电子技术”课程的教材,也可用作其他专业、其他类型学校同类课程的教材,还可供工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础/张志良主编. —北京:机械工业出版社,2009.1

(全国高等职业教育规划教材)

ISBN 978-7-111-25215-3

I. 电… II. 张… III. 电子技术 IV. TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第152998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:王颖 责任编辑:王颖

责任校对:申春香 责任印制:邓博

北京四季青印刷厂印刷(三河市杨庄镇环伟装订厂装订)

2009年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·19.25印张·473千字

0 001—5 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-25215-3

定价:31.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379753 88379739

封面防伪标均为盗版

全国高等职业教育规划教材 电子技术专业编委会成员名单

主 任 曹建林

副 主 任 张中洲 张福强 祖 炬 董维佳
俞 宁 蒋蒙安 吕何新 伍湘彬
任德齐 华永平 吴元凯

委 员 (按姓氏笔画排序)

马 彪	邓 红	王树忠	王新新	尹立贤
白直灿	包中婷	冯满顺	华天京	吉雪峰
刘美玲	刘 涛	孙吉云	孙津平	朱晓红
李菊芳	邢树忠	陈子聪	杨元挺	张立群
张锡平	苟爱梅	姚建永	曹 毅	崔金辉
黄永定	章大钧	彭文敏	曾日波	谭克清

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 戴红霞

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近 60 所高等职业院校的骨干教师对在 2001 年出版的“面向 21 世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述要容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

《电子技术基础》是工科类专业的一门非常重要的专业基础课,各类电子技术教材很多,本书在编写时与其他同类教材略有不同的是:

1) 内容覆盖面较广,但难度较浅,适用面宽。既有利于学生较全面地学习电子技术,也便于不同专业不同教学要求的学校和老师选用。

2) 在阐明基本概念的基础上,突出基本内容和基础知识;突出结论和结论的应用;减少理论推导和计算过程;注意实际应用。

3) 文字叙述注重条理化。使学生容易记忆理解,也便于教师教学。对学生不易理解和容易混淆的概念,给出较为详尽的解说,便于自学。

4) 习题丰富,可布置性好。有各种不同层次、不同题型(复习思考题、判断题、填空题、选择题和分析计算题)的习题近千道,书末附有部分习题参考答案,并在《模拟电子学习指导与习题解答》(ISBN 978-7-111-19361-6)和《数字电子技术学习指导与习题解答》(ISBN 978-7-111-21517-2)中给出全部详解,便于教学和学生自学。

本书由上海电子信息职业技术学院高级讲师张志良任主编,华天京任副主编,邵菁、张慧莉参编。其中第1、2章由张慧莉编写,第3、4章由邵菁编写,第5、6、7章由华天京编写,其余部分由张志良编写并统稿。

限于编者水平,书中错误不妥之处,恳请读者批评指正。

为配合教学,本书提供电子教案,读者可在 www.cmpedu.com 上下载。

目 录

出版说明	2.7.1 功率放大电路的基本概念	66
前言	2.7.2 互补对称功放电路	67
第1章 半导体器件及其特性	2.8 习题	73
1.1 普通二极管	第3章 集成运算放大器	85
1.1.1 PN结	3.1 差动放大电路	85
1.1.2 二极管	3.1.1 基本差动放大电路	85
1.1.3 二极管的检测与选用	3.1.2 具有电流源的差动放大电路	87
1.2 特殊二极管	3.2 集成运放电路	91
1.2.1 稳压二极管	3.2.1 集成运放基本概念	91
1.2.2 发光二极管	3.2.2 集成运放基本输入电路	93
1.2.3 光敏二极管	3.2.3 集成运放基本运算电路	96
1.2.4 变容二极管	3.3 集成运放非线性应用	100
1.3 双极型三极管	3.3.1 电压比较器	100
1.3.1 三极管概述	3.3.2 方波、矩形波、三角波、锯齿波发生器	103
1.3.2 三极管的特性曲线和主要参数	3.3.3 有源滤波器	106
1.3.3 三极管的检测和选用	3.4 习题	108
1.4 场效应管	第4章 正弦波振荡电路	116
1.5 习题	4.1 正弦波振荡器的基本概念	116
第2章 基本放大电路	4.2 RC正弦波振荡器	117
2.1 放大电路基本概念	4.3 LC正弦振荡电路	119
2.2 共射基本放大电路	4.3.1 LC并联回路的频率特性	119
2.2.1 共射基本放大电路概述	4.3.2 变压器反馈式LC正弦振荡电路	121
2.2.2 共射基本放大电路的分析	4.3.3 电感三点式正弦振荡电路	122
2.2.3 静态工作点稳定电路	4.3.4 电容三点式正弦振荡电路	122
2.3 共集电极电路和共基极电路	4.4 石英晶体振荡电路	125
2.3.1 共集电极电路	4.4.1 石英晶体基本特性	125
2.3.2 共基极电路	4.4.2 石英晶体正弦振荡电路	126
2.4 场效应管放大电路	4.5 习题	127
2.5 多级放大电路	第5章 直流稳压电源电路	133
2.5.1 多级放大电路基本概念	5.1 整流电路	133
2.5.2 阻容耦合放大电路的频率特性	5.1.1 半波整流	134
2.6 放大电路中的负反馈	5.1.2 全波整流	134
2.6.1 反馈的基本概念	5.1.3 桥式整流	135
2.6.2 多级放大电路负反馈类型的判别	5.2 滤波电路	136
2.6.3 负反馈对放大电路性能的影响	5.3 硅稳压管稳压电路	138
2.7 功率放大电路		

5.4 线性串联型稳压电路	140	8.2 寄存器	217
5.4.1 线性串联型稳压电路概述	140	8.2.1 数码寄存器	217
5.4.2 三端集成稳压器	141	8.2.2 移位寄存器	218
5.5 开关型直流稳压电路	144	8.3 计数器	221
5.6 习题	150	8.3.1 计数器基本概念	221
第6章 数字逻辑基础	155	8.3.2 集成计数器	223
6.1 数字电路概述	155	8.3.3 计数器应用举例	225
6.2 数制与编码	156	8.4 习题	228
6.2.1 二进制数和十六进制数	156	第9章 脉冲波产生与转换电路	237
6.2.2 BCD 码	159	9.1 脉冲波概述	237
6.3 逻辑代数基础	160	9.2 施密特触发器	238
6.3.1 基本逻辑运算	160	9.3 单稳态触发器	239
6.3.2 逻辑代数	163	9.4 多谐振荡器	241
6.4 逻辑函数	164	9.4.1 由门电路组成的多谐振荡器	242
6.4.1 逻辑函数及其表示方法	164	9.4.2 石英晶体多谐振荡器	244
6.4.2 公式法化简逻辑函数	166	9.5 555 定时器	245
6.4.3 卡诺图化简逻辑函数	167	9.5.1 555 定时器概述	245
6.5 集成门电路	171	9.5.2 555 定时器应用	246
6.5.1 TTL 集成门电路	171	9.6 习题	248
6.5.2 CMOS 集成门电路	176	第10章 数模转换和模数转换电路	254
6.5.3 常用集成门电路	178	10.1 数模转换和模数转换	
6.6 习题	180	基本概念	254
第7章 组合逻辑电路	188	10.2 数模转换电路	255
7.1 组合逻辑电路的基本概念	188	10.3 模数转换电路	258
7.1.1 组合逻辑电路概述	188	10.4 习题	263
7.1.2 组合逻辑电路的分析方法	188	第11章 半导体存储器	266
7.1.3 组合逻辑电路的设计方法	189	11.1 存储器基本概念	266
7.2 常用集成组合逻辑电路	191	11.2 只读存储器 (ROM)	268
7.2.1 编码器	191	11.3 随机存取存储器 (RAM)	271
7.2.2 译码器	192	11.4 习题	273
7.2.3 数码显示电路	194	部分习题参考答案	276
7.2.4 数据选择器	198	附录	286
7.2.5 加法器	200	附录 A 国产半导体器件和美国、日	
7.3 组合逻辑电路的竞争冒险现象	202	本半导体器件命名法	286
7.4 习题	205	附录 B 74 系列数字集成电路型	
第8章 时序逻辑电路	211	号索引	288
8.1 触发器	211	附录 C 4000 系列数字集成电路型	
8.1.1 触发器基本概念	211	号索引	294
8.1.2 JK 触发器	213	附录 D 本书常用符号说明	296
8.1.3 D 触发器	214	参考文献	298
8.1.4 T 触发器和 T' 触发器	215		

第1章 半导体器件及其特性

本章要点

- 二极管的伏安特性及主要参数
- 三极管输入输出特性曲线
- 三极管三种基本组态和三种工作状态
- 三极管的主要参数
- 场效应管特性曲线及主要参数

半导体器件是电子技术的基础。半导体器件主要有二极管、三极管（双极型）和场效应管（单极型）等。

1.1 普通二极管

1.1.1 PN 结

1. 半导体的导电特性

自然界的物质按其导电特性（电阻率）大致可分为导体、绝缘体和半导体三类。

半导体之所以成为近代电子工业最重要的材料，并不在于其导电能力的强弱，主要是由于其独特的导电特性。

1) 掺杂特性。纯净的半导体掺入微量杂质后，电阻率变化很大。例如在纯硅中掺入百万分之一的硼后，电阻率约从 $2 \times 10^3 \Omega \cdot \text{m}$ 变化为 $4 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$ ，变化数量级达到 10^6 之多。这种特性是半导体所特有的。在金属或绝缘体中即使加入较多杂质，对电阻率的影响也不大。例如在纯铜中加入锌，电阻率变化在同一数量级。

2) 热敏和光敏特性。半导体在受热和光照后导电能力明显增强。而金属和绝缘体在受热时，电阻率变化不大；受光照时，电阻率几乎无变化。

人们正是利用了半导体的掺杂特性，制成了各种半导体器件；利用了半导体的热敏和光敏特性，制成了半导体热敏元件和光敏元件。

2. N 型半导体和 P 型半导体

纯净的半导体材料称为本征半导体，具有晶体结构，最外层电子组成共价键，游离于共价键之外的自由电子和空穴极少，如图 1-1a 所示。自由电子和空穴统称为载流子（运载电荷的粒子），自由电子带负电荷，空穴带正电荷，但整体对外仍呈电中性。

本征半导体掺入杂质后称为掺杂半导体，根据其掺入杂质元素的化学价可分为 N 型半导体和 P 型半导体。

(1) N 型半导体

N 型半导体是 4 价元素（例如硅）掺入微量 5 价元素（例如磷）后形成的，如图 1-1b

所示。5价元素原子与4价元素原子组成共价键后多余出一个电子，并游离于共价键之外。但即使是掺入微量，多余出来电子的绝对数量与不掺杂质时相比也是一个天文数字。

在N型半导体中，自由电子数远多于空穴数（在本征半导体中，自由电子数 = 空穴数）。自由电子称为多数载流子；空穴称为少数载流子。但在N型半导体中，尽管自由电子数远多于空穴数，由于同时存在许多对应的正离子（5价元素组成共价键时多出一个正电荷），所以从整体上看，N型半导体仍是电中性的。

(2) P型半导体

P型半导体是4价元素掺入微量3价元素（例如硼）后形成的，如图1-1c所示。3价元素原子与4价元素原子组成共价键后缺少一个电子，即多余一个空穴。因此，空穴数远多于自由电子数，空穴成为多数载流子，自由电子成为少数载流子。

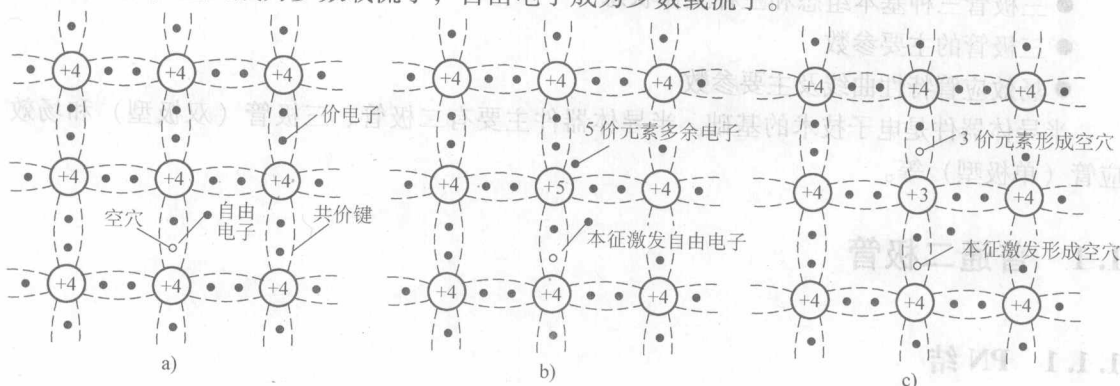


图1-1 本征半导体与掺杂半导体结构示意图

a) 本征半导体 b) N型半导体 c) P型半导体

3. PN结

在半导体中掺入杂质的意义，并不是为了提高其导电能力，而是为了形成P型半导体和N型半导体。P型半导体和N型半导体采用特殊的制造工艺结合在一起时，形成PN结，PN结是半导体元件的基础。图1-2为PN结的形成和结构示意图。

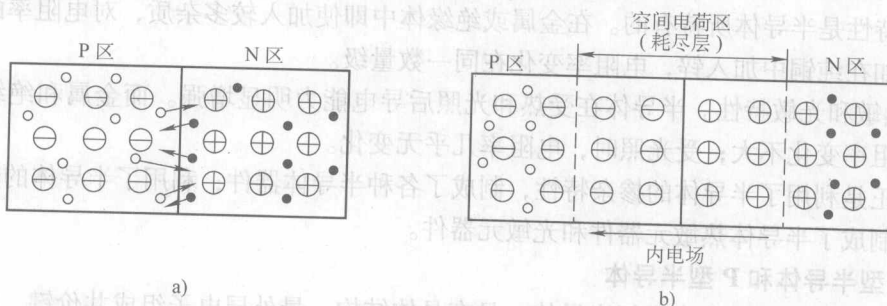


图1-2 PN结的形成

a) 载流子的扩散运动 b) 平衡状态下的PN结

1) 扩散。P型半导体多数载流子是空穴，N型半导体多数载流子是电子。由于浓度差关系，P区的空穴要向N区扩散，N区的电子要向P区扩散，如图1-2a所示。

2) 形成空间电荷区和内电场。扩散运动的结果，N区电子扩散到P区与空穴复合而消失，P区空穴扩散到N区与电子复合而消失。因而在两种半导体接触面上形成了一个没有自

由电子和空穴的耗尽层，称为“空间电荷区”。

在空间电荷区，P型半导体由于空穴扩散和复合而带负电，N型半导体由于自由电子扩散和复合而带正电。正负电荷在界面两侧形成一个内电场，方向由N区指向P区，如图1-2b所示。

3) 内电场的作用。内电场阻止扩散运动，促进漂移运动。众所周知，正电荷在电场中受力方向与电场方向相同，负电荷受力方向与电场方向相反。因此P区向N区扩散的空穴和N区向P区扩散的电子均受到PN结内电场的阻挡，即内电场阻止P型和N型半导体中多数载流子进一步的扩散运动。

相反，内电场推动P区少数载流子（电子）和N区少数载流子（空穴）越过空间电荷区，进入对方区域。因此内电场促进少数载流子的漂移运动。

4) 扩散运动与漂移运动的动态平衡。扩散和漂移是相互联系、相互矛盾的。在开始形成空间电荷区时，多数载流子的扩散运动占优势，但随着空间电荷区的加宽，内电场逐步增强，于是多数载流子的扩散运动逐渐减弱，少数载流子的漂移运动逐步增强。最后，扩散运动与漂移运动达到动态平衡。

5) PN结内电场电位差。在一定温度下，PN结的宽度相对稳定，PN结内电场也相对稳定。在室温条件下，PN结内电场的电位差，硅材料约为0.5 ~ 0.7V，锗材料约0.2 ~ 0.3V。

4. PN结单向导电性

PN结外加电压时，显示出其基本特性——单向导电性。

(1) 加正向电压时导通

P区接电源正极，N区接电源负极，称为加正向电压或正向偏置（简称正偏），如图1-3a所示。由于外电场方向与内电场方向相反，打破了原来扩散运动与漂移运动的平衡。P区的多数载流子空穴在外电场的作用下进入空间电荷区，与空间电荷区P区一侧的负离子复合；同理，N区的多数载流子电子在外电场的作用下，与空间电荷区N区一侧的正离子复合，从而使得空间电荷区变窄，内电场被削弱，多数载流子的扩散运动增强，形成较大的扩散电流 I ，PN结呈导通状态。外电场越强，扩散电流越大。

(2) 加反向电压时截止

P区接电源负极，N区接电源正极，称为加反向电压或反向偏置（简称反偏），如图1-3b所示。由于外电场方向与内电场方向一致，同样打破了原来扩散运动与漂移运动的平衡。外电场力使P区的多数载流子空穴和N区的多数载流子电子离开空间电荷区两侧，使空间电荷区变宽，内电场增强，两区中的多数载流子很难越过空间电荷区，因此无扩散电流通过，PN结呈截止状态。

需要说明的是，在反偏状态下，P区的少数载流子（电子）和N区的少数载流子（空穴）在内外电场的共同作用下，形成反向电流 I_R 。由于少数载流子数量很少，因此反向电流 I_R 很小。又由于少数载流子是由本征激发形成的，其数量取决于温度（包括光照）而与外加电压基本无关（外加电压过大，超过PN结承受限额，则另当别论）。在一定温度下，反向电流基本不变，因此也称为反向饱和电流。另外，由于硅和锗原子结构的差异，锗比硅多一层电子，最外层电子离原子核距离较远，原子核对其束缚能力较弱，即锗的最外层电子更容易受本征激发而成为自由电子，因此锗材料半导体少数载流子的数量远多于硅材料半导

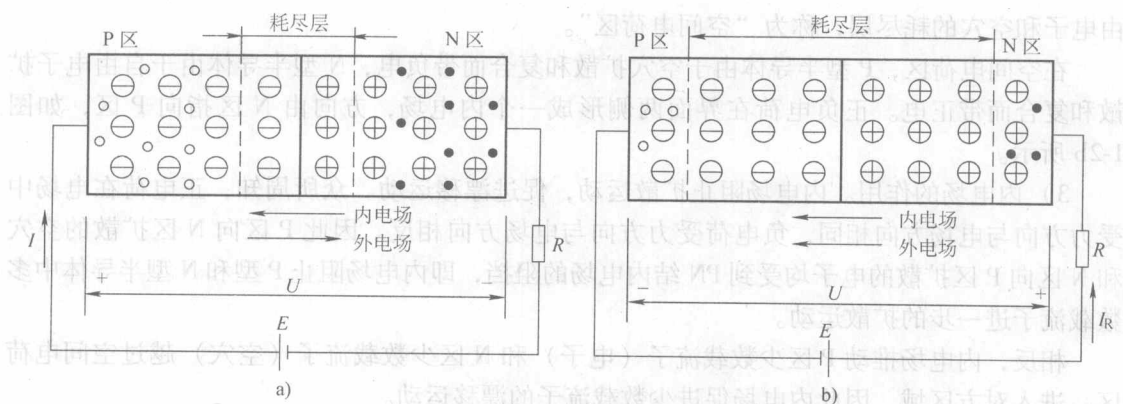


图 1-3 外加电压时的 PN 结

a) 正偏 b) 反偏

体，即锗材料 PN 结的反向电流一般远大于硅材料 PN 结的反向电流。

1.1.2 二极管

将 PN 结加上相应的电极引线和管壳，就形成了二极管。P 端引出的电极称为阳极（正极），N 端引出的电极称为阴极（负极）。

普通二极管的符号如图 1-4 所示。

按制作材料分，可分为硅二极管和锗二极管。按 PN 结结面大小分，可分为点接触和面接触。点接触 PN 结结面积小，结电容小，高频特性好，但不能通过较大电流。面接触 PN 结结面积大，结电容大，工作频率低，但能通过较大电流。按用途分，可分为普通管、整流管、稳压管和开关管等。

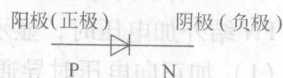


图 1-4 普通二极管符号

1. 二极管的伏安特性

伏安特性，即器件两端电压 u （单位伏 [特]）与流过器件的电流 i （单位安 [培]）之间的函数关系。其伏安特性如图 1-5 所示。PN 结的伏安特性可分为正向和反向两大部分：

(1) 正向特性

二极管正向特性又可分为两段：

1) 死区段。对应于图 1-5 中 OA 段，此时 PN 结虽然加正向电压，但外加电压小于 PN 结内电场电压，因此 PN 结仍处于截止状态。死区电压又称为门坎电压或开启电压，用 U_{th} 表示，硅材料 $U_{th} \approx 0.5V$ ，锗材料 $U_{th} \approx 0.2V$ 。

2) 导通段。对应于图 1-5 中 AB 段，此时外加电压大于 PN 结内电场电压，PN 结处于导通状态。导通电压用 U_{on} 表示，实际上是 PN 结导通时的正向压降，硅材料 $U_{on} = 0.6 \sim 0.7V$ ，锗材料 $U_{on} = 0.2 \sim 0.3V$ 。

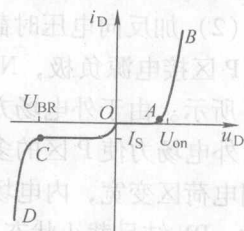


图 1-5 PN 结伏安特性

(2) 反向特性

PN 结反向特性也可分为两段：

1) 饱和段。对应于图 1-5 中 OC 段，此时 PN 结处于反偏截止状态，仅有少量反向电流，用 I_S 表示。因反向电流主要取决于温度而与外加电压基本无关，因此 OC 段与横轴基本

平行,呈饱和特性,即反向电流基本上不随外加反向电压增大而增大。

2) 击穿段。对应于图 1-5 中 CD 段,此时由于外加反向电压超出 PN 结能承受的最高电压 U_{BR} ,反向电流急剧增大。

PN 结的伏安特性也可以用数学表达式 (1-1) 表示。

$$I_D = I_S (e^{U_D/U_T} - 1) \quad (1-1)$$

式中, I_S 为 PN 结反向饱和电流; U_T 为温度电压当量, $U_T = kT/q$, 其中 k 为玻耳兹曼常数 ($k = 1.380 \times 10^{-23} \text{ J/K}$); T 为热力学温度 (单位 K); q 为电子电量 ($q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$)。在常温条件下 ($T = 300\text{K}$), $U_T \approx 26\text{mV}$ 。

需要说明的是,式 (1-1) 不适用于反向击穿段。

2. 硅二极管与锗二极管伏安特性的区别

硅二极管与锗二极管的伏安特性有一定的区别。图 1-6 是在同一坐标轴上定性画出的硅二极管和锗二极管的伏安特性,从图中看出,两种二极管的伏安特性相似,主要区别是:

1) 硅管的死区电压比锗管大: $U_{th}(\text{硅}) \approx 0.5\text{V}$; $U_{th}(\text{锗}) \approx 0.2\text{V}$ 。硅管导通时的正向压降比锗管大: $U_{on}(\text{硅}) \approx 0.6 \sim 0.7\text{V}$; $U_{on}(\text{锗}) \approx 0.2 \sim 0.3\text{V}$ 。

2) 硅管的反向饱和电流 I_S 比锗管小得多。一般来讲,小功率硅二极管 I_S 小于 $0.1\mu\text{A}$,可忽略不计;小功率锗二极管 I_S 为几十至几百微安。 I_S 的大小体现了二极管单向导电特性的好坏,即质量的优劣。

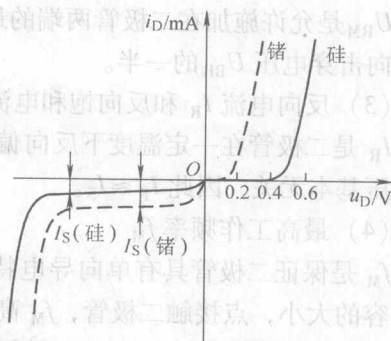


图 1-6 硅二极管与锗二极管伏安特性

3) 反向击穿电压 U_{BR} 。一般硅二极管的 U_{BR} 比锗二极管大。

综上所述,硅二极管以其比锗二极管优越的特性得到了更广泛的应用。目前,除需要正向低压降的场合用锗管外,几乎是硅管的一统天下。

3. 温度对二极管伏安特性的影响

温度对二极管伏安特性有较大的影响。图 1-7 为同一个二极管在不同温度下的伏安特性,从图中可看出:

1) 温度升高后,二极管死区电压 U_{th} 和导通正向压降 U_{on} 下降 (正向特性左移)。在室温附近,温度每升高 1°C , U_{on} 约减小 $2 \sim 2.5\text{mV}$ 。

2) 温度升高后,二极管反向饱和电流 I_S 大大增大 (反向特性下移)。温度每升高 10°C , 反向饱和电流约增大一倍。这是因为反向饱和电流是少数载流子形成的电流,而少数载流子属本征激发,其数量主要与温度有关。

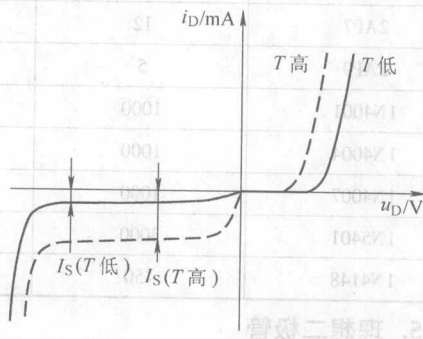


图 1-7 温度对伏安特性的影响

3) 当二极管的反向击穿电压 U_{BR} 大于 6V 时属雪崩击穿,呈正温度系数,即温度升高, U_{BR} 增大;小于 6V 时属齐纳击穿,呈负温度系数,即温度升高, U_{BR} 减小。但无论正温度系数或负温度系数 U_{BR} 变化均不大。需要指出的是温度升高后,反向电流增大,功耗增大,又促使其结温进一步升高,形成恶性循环,导致热击穿。因此从这一角度上讲,温度升高后,

容易引起二极管击穿损坏。

4. 二极管的主要特性参数

二极管的特性除可用伏安特性描述外，还可利用其参数来描述，实际应用中，可依据这些特性参数合理选用二极管。

(1) 最大整流电流 I_F

I_F 定义为二极管长期运行允许通过的最大正向平均电流。从二极管正向伏安特性看出，二极管正向导通电流无上限，只要不超过二极管的 PN 结最大允许功耗，二极管就不会损坏。 I_F 为保证二极管长期可靠运行的上限值。

(2) 最高反向工作电压 U_{RM}

U_{RM} 是允许施加在二极管两端的最大反向电压。为保证二极管可靠工作，通常规定 U_{RM} 为反向击穿电压 U_{BR} 的一半。

(3) 反向电流 I_R 和反向饱和电流 I_S

I_R 是二极管在一定温度下反向偏置时的反向电流，因反向电流主要取决于温度而与外加电压基本无关，因此 $I_R \approx I_S$ 。

(4) 最高工作频率 f_M

f_M 是保证二极管具有单向导电特性的最高交流信号频率。 f_M 主要取决于二极管 PN 结电容的大小，点接触二极管， f_M 高；面接触二极管， f_M 低。

以上二极管参数， I_F 和 U_{RM} 是极限参数，应用时不能超过，可根据需要选用。 I_R 是性能质量参数，越小越好。 f_M 也属于极限参数，但只有在高频电路中才予以考虑。

几种常用二极管的特性参数如表 1-1 所示。

表 1-1 几种常用二极管的特性参数

型号 \ 参数	最大整流电流/mA	最高反向工作电压/V	反向饱和电流/ μ A	最高工作频率/MHz
2AP1	16	20	≤ 250	500
2AP7	12	100	≤ 250	500
2AP9	5	15	≤ 250	100
1N4001	1000	100	≤ 0.1	3
1N4004	1000	400	≤ 0.1	3
1N4007	1000	1000	≤ 0.1	3
1N5401	3000	100	≤ 10	3
1N4148	450	60	≤ 0.1	250

5. 理想二极管

为便于分析二极管电路，常将二极管等效为理想化的电路模型，主要有以下二种：

(1) 理想二极管模型

将二极管看作一个开关，加正向电压导通（正向压降为零），加反向电压截止，其伏安特性如图 1-8a 所示。

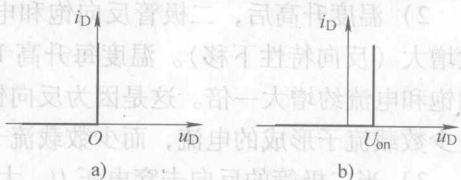


图 1-8 理想二极管的伏安特性

a) 理想二极管模型 b) 恒压降模型

(2) 恒压降模型

将二极管看作理想二极管与一个恒压源的串联组合。恒压源电压 U_{on} 为二极管导通电压。这种模型的二极管也相当于一个开关，正向电压大于 U_{on} 时导通，正向电压小于 U_{on} 或加反向电压时截止。其伏安特性如图 1-8b 所示。

【例 1-1】已知电路如图 1-9 所示，VD 为硅二极管， $R_L = 1000\Omega$ ，当 (1) $V_{DD} = 2V$ ；(2) $V_{DD} = 10V$ 时，试分别按理想二极管和恒压降 ($U_{on} = 0.6V$) 模型求解 I_O 和 U_O 。

解：(1) $V_{DD} = 2V$ 时，有

1) 理想二极管模型：

$$U_O = V_{DD} = 2V; I_O = \frac{V_{DD}}{R_L} = \frac{2}{1000}A = 2mA$$

2) 恒压降模型： $U_O = V_{DD} - U_{on} = (2 - 0.6)V = 1.4V$ ；

$$I_O = \frac{V_{DD} - U_{on}}{R_L} = \frac{2 - 0.6}{1000}A = 1.4mA$$

(2) $V_{DD} = 10V$ 时，有

1) 理想二极管模型： $U_O = V_{DD} = 10V$ ； $I_O = \frac{V_{DD}}{R_L} = \frac{10}{1000}A = 10mA$

2) 恒压降模型： $U_O = V_{DD} - U_{on} = (10 - 0.6)V = 9.4V$ ；

$$I_O = \frac{V_{DD} - U_{on}}{R_L} = \frac{10 - 0.6}{1000}A = 9.4mA$$

从上例看出，当 V_{DD} 远大于 U_{on} 时，两种模型计算结果的相对误差不大，在工程计算上允许存在，因此电路中二极管正向压降一般可忽略不计。当 V_{DD} 与 U_{on} 数值相近时，分析计算应考虑二极管正向压降。

【例 1-2】已知电路如图 1-10a、b 所示，VD 为理想二极管， $E = 5V$ ， $u_i = 10\sin\omega t$ ，试分别画出输出电压 u_O 波形。

解：1) 对于图 1-10a，根据电路，可写出两种 u_O 表达式（电压与路径无关）：

$$u_O = U_D + E = U_R + u_i$$

当二极管 VD 导通时， $U_D = 0$ ，按 $u_O = U_D + E = E = 5V$ 。

当二极管 VD 截止时，电阻中无电流流过， $U_R = 0$ ，按 $u_O = U_R + u_i = u_i = 10\sin\omega t$ 。

因此，本题转化为判断二极管 VD 导通或截止，图 1-10a 电路中，二极管 VD 负极接 $E = 5V$ 正极，则 VD 端正极电压大于 $5V$ 时，VD 导通；小于 $5V$ 时，VD 截止。画出 u_O 波形如图 1-10c 所示。

2) 对于图 1-10b：

同理可得， $u_O = U_D + u_i = U_R + (-E)$

二极管 VD 导通时， $u_O = U_D + u_i = u_i$

二极管 VD 截止时， $u_O = U_R + (-E) = -E = -5V$

图 1-10b 中二极管 VD 负极通过电阻 R 接 $-E = -5V$ ，则 VD 端正极电压大于 $-5V$ 时导通，小于 $-5V$ 时截止，据此，画出 u_O 波形如图 1-10d 所示。

上述两例说明，求解含有理想二极管的电路时，可先判断二极管导通还是截止。若二极管导通，则用短路导线替代二极管 VD；若二极管截止，则将二极管开路。然后按一般线性

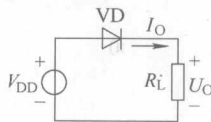


图 1-9 例 1-1 电路

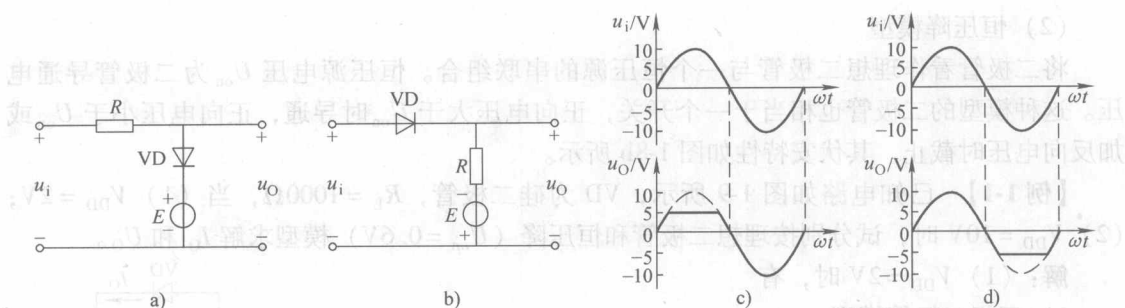


图 1-10 例 1-2 电路及 u_i 、 u_o 波形

电路分析计算。

【例 1-3】 电路如图 1-11 所示， $VD_1 \sim VD_3$ 为理想二极管，试判断 $VD_1 \sim VD_3$ 通断状态，并求解 U_F 。

解：从电路结构初看，三个二极管均处于正偏状态，但一旦 VD_2 导通，因 VD_2 为理想二极管，导通时两端电压为 0，相当于短路， $U_F = -6V$ 。 VD_1 、 VD_3 即处于反偏状态，截止。因此：

VD_2 导通， VD_1 、 VD_3 截止， $U_F = -6V$ 。

本题说明，二极管导通后，具有钳位作用。

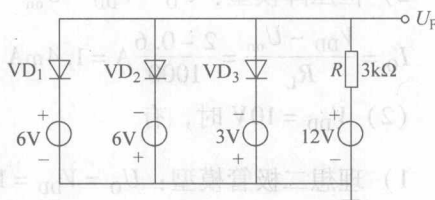


图 1-11 例 1-3 电路

1.1.3 二极管的检测与选用

1. 二极管检测

二极管的检测一般可用万用表和晶体管特性图示仪。本节介绍用万用表检测的方法，用万用表检测二极管，可检测二极管的正负极和初步判断二极管质量优劣，方法简单方便。

(1) 检测二极管正负极性

根据二极管单向导电性，可用万用表判断二极管正负极性。如图 1-12 所示，将万用表置于 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡（在万用表欧姆挡，黑表棒连接的是表内电源正极，红表棒连接的是表内电源负极），检测二极管电阻可测得大小两个电阻值。较小值为正向电阻，这时黑表棒连接的是二极管正极，如图 1-12a 所示；较大值为反向电阻，这时，黑表棒连接的是二极管负极，如图 1-12b 所示。

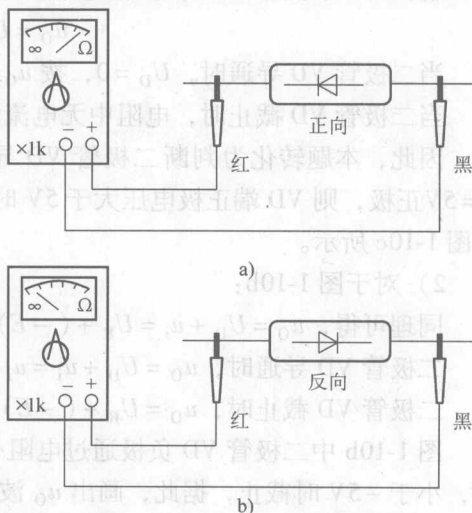


图 1-12 二极管的测试

a) 正向特性 b) 反向特性

(2) 判断二极管的好坏与质量优劣

根据上述方法测得二极管正反向电阻，可判别二极管的好坏与质量优劣。

1) 正向电阻越小，反向电阻越大，表明二