

全国高等职业教育规划教材

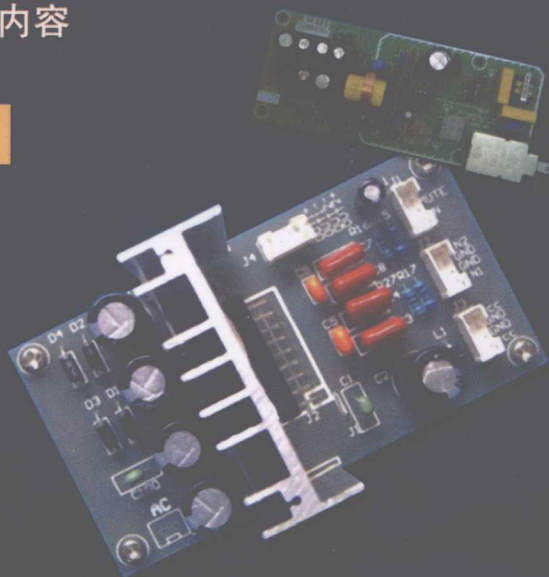
低频电子线路

纪静波 主编
李文革 副主编

- 集作者多年教学经验
- 内容完整、通俗易懂、实例新颖
- 提供实训及课程设计内容



免费下载电子教案
<http://www.cmpedu.com>



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



全国高等职业教育规划教材

低频电子线路

纪静波 主 编

李文革 副主编

田延娟 张 波 参 编



机械工业出版社

本书主要包括常用半导体器件、基本放大电路、放大电路的反馈、集成运算放大器及其应用、功率放大器、波形发生器、直流稳压电源、低频电子线路课程设计等。

本书既可作为高职高专电子信息类、电气信息类、自动控制类等专业的教材，也可作为相关工程技术人员及自学人员的参考用书。

编 主 郑静波

编主编 李友革

编 参 郑 彬 田 敬

· 图书在版编目 (CIP) 数据

低频电子线路 / 纪静波主编. —北京: 机械工业出版社, 2008.9

(全国高等职业教育规划教材)

ISBN 978-7-111-24943-6

I. 低… II. 纪… III. 低频—电子电路—高等学校: 技术学校—教材

IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 127318 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 关晓飞

责任印制: 邓 博

北京双青印刷厂印刷

2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13 印张·321 千字

0001—4000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-24943-6

定价: 22.00 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

封面无防伪标均为盗版

出版说明

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

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

低频电子线路课程是高职高专院校电子信息类、电气信息类、自动控制类专业非常重要的一门专业基础课。

本书根据新时期职业教育的特点和教学的实际需求而组织编写。在编写过程中，本书着力突出有关基本概念并避免繁琐的理论分析；在强调典型电路的基本组成和原理的同时，突出实际应用的介绍；注重实践应用能力的培养，介绍了常用器件的选用，强化实训，并专门提供了课程设计方面的内容。在内容的组织上，本书本着改革、创新的精神，充分考虑学生后续课程乃至就业后相关工作岗位对该课程知识的要求，力求内容完整，重点突出，通俗易懂；注重实践，应用实例新颖，使学生通过学习，具备基本的解决实际问题的能力。

本书共分 8 章，包括常用半导体器件、基本放大电路、放大电路的反馈、集成运算放大器及其应用、功率放大器、波形发生器、直流稳压电源、低频电子线路课程设计等。为便于教学，每章均列有学习要求、相关实训内容、习题及参考答案。另外在附录中介绍了半导体器件命名方法及常用半导体器件参数，供师生查阅。对于书中带有*的章节，读者可根据教学实际情况安排。

本书参考学时为 96 学时，其中理论知识 68 学时，实训实验 28 学时。由于无线电及电子技术的迅速发展，应用领域不断扩大，而且各个地区、学校的具体情况不同，因此对低频电子线路课程的要求不可能完全一样，在组织教学时，教师可根据实际情况对内容进行取舍。

本书由山东电子职业技术学院纪静波担任主编，李文革担任副主编，张波、田延娟参加编写。其中，第 1、2、8 章由纪静波编写，第 3 章由李文革编写，第 4、5 章由田延娟编写，第 6、7 章由张波编写。全书由纪静波统稿。

由于编者的水平有限，书中难免存在错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

为了配合教学，本书为读者提供电子教案，读者可在机械工业出版社网站 www.cmpedu.com 下载。

第 1 章 常用半导体器件	1.1
1.1.1 二极管	1.1.1
1.1.2 三极管	1.1.2
1.1.3 场效应管	1.1.3
1.1.4 集成运算放大器	1.1.4
1.1.5 功率放大器	1.1.5
1.1.6 波形发生器	1.1.6
1.1.7 直流稳压电源	1.1.7
1.1.8 课程设计	1.1.8
1.1.9 习题	1.1.9
1.1.10 参考答案	1.1.10
第 2 章 基本放大电路	2.1
2.1.1 放大电路的组成	2.1.1
2.1.2 放大电路的静态工作点	2.1.2
2.1.3 放大电路的动态分析	2.1.3
2.1.4 放大电路的频率响应	2.1.4
2.1.5 放大电路的失真	2.1.5
2.1.6 放大电路的噪声	2.1.6
2.1.7 放大电路的散热	2.1.7
2.1.8 放大电路的调试	2.1.8
2.1.9 习题	2.1.9
2.1.10 参考答案	2.1.10
第 3 章 放大电路的反馈	3.1
3.1.1 反馈的概念	3.1.1
3.1.2 反馈的类型	3.1.2
3.1.3 反馈对放大电路性能的影响	3.1.3
3.1.4 反馈电路的设计	3.1.4
3.1.5 习题	3.1.5
3.1.6 参考答案	3.1.6
第 4 章 集成运算放大器及其应用	4.1
4.1.1 集成运算放大器的组成	4.1.1
4.1.2 集成运算放大器的静态工作点	4.1.2
4.1.3 集成运算放大器的动态分析	4.1.3
4.1.4 集成运算放大器的频率响应	4.1.4
4.1.5 集成运算放大器的失真	4.1.5
4.1.6 集成运算放大器的噪声	4.1.6
4.1.7 集成运算放大器的散热	4.1.7
4.1.8 集成运算放大器的调试	4.1.8
4.1.9 习题	4.1.9
4.1.10 参考答案	4.1.10
第 5 章 功率放大器	5.1
5.1.1 功率放大器的组成	5.1.1
5.1.2 功率放大器的静态工作点	5.1.2
5.1.3 功率放大器的动态分析	5.1.3
5.1.4 功率放大器的频率响应	5.1.4
5.1.5 功率放大器的失真	5.1.5
5.1.6 功率放大器的噪声	5.1.6
5.1.7 功率放大器的散热	5.1.7
5.1.8 功率放大器的调试	5.1.8
5.1.9 习题	5.1.9
5.1.10 参考答案	5.1.10
第 6 章 波形发生器	6.1
6.1.1 波形发生器的组成	6.1.1
6.1.2 波形发生器的静态工作点	6.1.2
6.1.3 波形发生器的动态分析	6.1.3
6.1.4 波形发生器的频率响应	6.1.4
6.1.5 波形发生器的失真	6.1.5
6.1.6 波形发生器的噪声	6.1.6
6.1.7 波形发生器的散热	6.1.7
6.1.8 波形发生器的调试	6.1.8
6.1.9 习题	6.1.9
6.1.10 参考答案	6.1.10
第 7 章 直流稳压电源	7.1
7.1.1 直流稳压电源的组成	7.1.1
7.1.2 直流稳压电源的静态工作点	7.1.2
7.1.3 直流稳压电源的动态分析	7.1.3
7.1.4 直流稳压电源的频率响应	7.1.4
7.1.5 直流稳压电源的失真	7.1.5
7.1.6 直流稳压电源的噪声	7.1.6
7.1.7 直流稳压电源的散热	7.1.7
7.1.8 直流稳压电源的调试	7.1.8
7.1.9 习题	7.1.9
7.1.10 参考答案	7.1.10
第 8 章 课程设计	8.1
8.1.1 课程设计的目的	8.1.1
8.1.2 课程设计的选题	8.1.2
8.1.3 课程设计的步骤	8.1.3
8.1.4 课程设计的报告	8.1.4
8.1.5 习题	8.1.5
8.1.6 参考答案	8.1.6

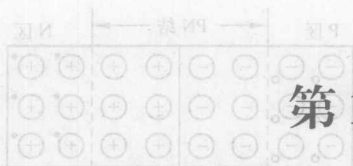
目 录

出版说明	第2章 基本放大电路	33
前言	2.1 基本放大电路概述	33
第1章 常用半导体器件	2.1.1 放大电路的基本知识	33
1.1 半导体的基本知识	2.1.2 放大电路的静态工作点对输出波形的影响	37
1.1.1 本征半导体	2.1.3 放大电路的直流偏置方式	38
1.1.2 杂质半导体	2.1.4 放大电路的三种组态	40
1.1.3 PN结的基本特性	2.1.5 放大电路性能指标的估算	41
1.2 二极管	2.2 多级放大电路	46
1.2.1 二极管的结构、分类及伏安特性	2.2.1 多级放大电路的组成	46
1.2.2 二极管的主要参数	2.2.2 多级放大电路性能指标的估算	47
1.2.3 二极管的简易测试	*2.2.3 放大电路的频率特性	49
1.2.4 手册的使用	2.3 场效应晶体管放大电路	49
1.2.5 特殊二极管简介	2.3.1 共源极放大电路	50
1.3 晶体管	2.3.2 共漏极放大电路	54
1.3.1 晶体管的结构	2.4 本章小结	55
1.3.2 晶体管的电流放大作用	2.5 实训	56
1.3.3 晶体管的伏安特性及主要参数	2.5.1 实训1 分压式偏置共发射极放大电路	56
1.3.4 晶体管的测试及手册的使用	2.5.2 实训2 射极输出器	58
1.3.5 特殊晶体管简介	2.6 习题	60
1.4 场效应晶体管	第3章 放大电路的反馈	65
1.4.1 结型场效应晶体管	3.1 反馈的基本概念及分类	65
1.4.2 绝缘栅型场效应晶体管	3.1.1 反馈的基本概念	65
1.4.3 场效应晶体管的主要参数	3.1.2 反馈的类型及判别	65
1.4.4 场效应晶体管与双极型晶体管的特点比较及使用注意事项	3.2 负反馈对放大电路性能的影响	71
1.5 晶闸管	3.2.1 降低放大倍数及提高放大倍数的稳定性	71
1.5.1 单向晶闸管	3.2.2 改变放大电路的输入电阻和输出电阻	72
1.5.2 双向晶闸管	3.2.3 减小非线性失真	72
1.6 本章小结	*3.2.4 展宽频带	72
1.7 实训 半导体器件的认识与测量		
1.8 习题		

3.3 深度负反馈放大电路的分析	73	4.7 集成运算放大器的实用电路及工艺介绍	109
3.3.1 负反馈的一般分析	73	4.7.1 集成运算放大器的实用电路	109
3.3.2 深度负反馈放大电路的分析	74	4.7.2 集成电路工艺简介	110
3.4 负反馈放大电路的稳定	76	4.8 本章小结	111
3.4.1 负反馈放大电路的自激振荡	76	4.9 实训	111
3.4.2 负反馈放大电路的稳定方法	76	4.9.1 实训1 差分放大电路的参数测试	111
3.5 本章小结	77	4.9.2 实训2 集成运算放大器的线性应用	113
3.6 实训 负反馈放大电路	77	4.9.3 实训3 集成运算放大器的非线性应用	114
3.7 习题	79	4.10 习题	115
第4章 集成运算放大器及其应用	82	第5章 功率放大器	118
4.1 差分放大电路	82	5.1 功率放大器的特点与分类	118
4.1.1 电路组成与性能分析	82	5.1.1 功率放大器的特点	118
4.1.2 差分放大电路的输入输出方式	86	5.1.2 功率放大器的分类	118
4.2 集成运算放大器	88	5.2 互补对称功率放大器	119
4.2.1 集成运算放大器概述	88	5.2.1 乙类互补对称功率放大器	120
4.2.2 集成运算放大器的主要参数	89	5.2.2 甲乙类 OCL 互补对称功率放大器	122
4.3 理想运算放大器	90	5.2.3 单电源互补对称功率放大器	123
4.3.1 理想运算放大器的技术指标	90	5.2.4 桥式功率放大器	124
4.3.2 理想运算放大器的线性特点	91	5.3 复合互补对称功率放大电路	125
4.3.3 理想运算放大器的非线性特点	92	5.3.1 复合管	125
4.4 集成运算放大器的线性应用	92	5.3.2 应用举例	126
4.4.1 基本运算电路	92	5.4 集成功率放大器	127
4.4.2 有源滤波器	97	5.4.1 集成功率放大器简介	127
4.5 集成运算放大器的非线性应用	100	5.4.2 集成功率放大器的应用	128
4.5.1 电压比较器	100	5.5 本章小结	129
4.5.2 精密整流电路	104	5.6 实训 集成功率放大器的测试	129
4.6 集成运算放大器的选择与使用	105	5.7 习题	131
4.6.1 集成运算放大器的种类	105	第6章 波形发生器	134
4.6.2 集成运算放大器的选用	106	6.1 正弦波振荡器	134
4.6.3 集成运算放大器的保护与相位补偿	107	6.1.1 正弦波振荡器的工作原理	134
		6.1.2 正弦波振荡器的组成	135
		6.1.3 正弦波振荡器的分类	135

6.2	RC 振荡器	135
6.2.1	RC 串并联正弦波振荡电路	135
6.2.2	RC 移相式正弦波振荡电路	137
6.3	LC 正弦波振荡器	138
6.3.1	LC 选频放大电路	138
6.3.2	电感三点式振荡电路	139
6.3.3	电容三点式振荡电路	140
6.3.4	变压器反馈式振荡器	142
6.4	石英晶体振荡器	143
6.4.1	石英晶体简介	143
6.4.2	石英晶体振荡电路的分类	144
6.4.3	常见的石英晶体振荡电路	145
6.5	非正弦波振荡器	146
6.5.1	矩形波信号产生电路	146
6.5.2	三角波信号产生电路	147
6.5.3	锯齿波信号产生电路	148
6.6	本章小结	149
6.7	实训	150
6.7.1	实训 1 RC 振荡器的测试	150
6.7.2	实训 2 LC 振荡器的测试	151
6.7.3	实训 3 非正弦波振荡器的测试	153
6.8	习题	154
第 7 章	直流稳压电源	158
7.1	直流稳压电源概述	158
7.1.1	直流稳压电源的组成与分类	158
7.1.2	直流稳压电源的技术指标	158
7.2	整流电路	159
7.2.1	二极管整流电路	159
7.2.2	晶闸管整流电路及晶闸管调压电路	161

7.3	滤波电路	163
7.3.1	电容滤波电路	163
7.3.2	其他形式的滤波电路	165
7.4	稳压电路	166
7.4.1	稳压管稳压电路	166
7.4.2	串联反馈式稳压电路	167
7.4.3	三端集成稳压器	168
7.5	开关电源	169
7.5.1	开关电源的特点与分类	169
7.5.2	开关电源的结构与原理	170
7.5.3	开关电源举例	172
7.6	其他电源电路	174
7.6.1	直流-直流电路	174
7.6.2	充电电路	176
7.7	本章小结	177
7.8	实训 串联型晶体管稳压电源	177
7.9	习题	180
第 8 章	低频电子线路课程设计	183
8.1	晶体管放大器的实验电路设计	183
8.2	音频功率放大器的设计	184
8.3	集成运算放大器及其基本应用 (函数发生器的设计)	186
8.4	光控节能灯电路的设计	188
8.5	有源滤波器的设计	189
8.6	电子配料秤的设计	191
附录		193
附录 A	半导体器件的命名方法	193
附录 B	常用器件的参数	195
习题参考答案		197
参考文献		200



第1章 常用半导体器件

内容提要：本章主要介绍半导体基础知识，以及在电子技术中广泛应用的二极管、晶体管、场效应晶体管、晶闸管的结构、原理、伏安特性和主要参数。

1.1 半导体的基本知识

1.1.1 本征半导体

物质按照导电能力的不同可分为导体（conductor）、绝缘体（nonconductor）和半导体（semiconductor）。其中，半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间。常用的半导体材料有硅（Si）、锗（Ge）、砷化镓（GaAs）等。半导体具有掺杂特性、热敏特性、光敏特性等，因而得到广泛应用。

纯净的半导体称为本征半导体（Intrinsic Semiconductor）。

硅和锗都是四价元素，即它们原子的最外层电子数都是4个，因而原子间以共价键形式结合。在绝对温度零度（0K）以下时，由于本征半导体硅和锗的最外层电子无法挣脱共价键的束缚，所以不能导电。当温度升高或有光照射时，受共价键束缚的部分电子获得足够的能量后挣脱共价键的束缚成为自由电子（Free Electron），同时在共价键中留下空位，称为空穴（hole）。这种由于光或热的作用使半导体中产生电子空穴对的现象，称为本征激发。这里的自由电子和空穴也称为电子载流子和空穴载流子。

本征激发产生电子空穴对的同时，自由电子和空穴在运动过程中又会相遇而重新形成共价键，这个过程称为复合。当环境温度一定时，本征半导体中的本征激发和复合现象并存，且速率一定，使本征半导体内维持一定数目的电子空穴对，称为热平衡。

实际上，由于本征半导体的导电能力很弱，因而不能直接用于制作半导体器件。在制作半导体器件时，使用的是杂质半导体。

1.1.2 杂质半导体

在本征半导体中掺入微量的其他元素（杂质）所形成的半导体称为杂质半导体（Impurity Semiconductor）。根据掺入杂质元素的不同，杂质半导体分为N型半导体和P型半导体。

在本征半导体硅或锗中掺入微量的磷（P）等五价元素后，所得到的杂质半导体称为N型半导体或电子型半导体。这种杂质半导体的多数载流子（Majority Carriers）为自由电子，少数载流子（Minority Carriers）为空穴。N型半导体呈电中性。

在本征半导体硅或锗中掺入微量的硼（B）等三价元素后，所得到的杂质半导体称为P型半导体或空穴型半导体。这种杂质半导体的多数载流子为空穴，少数载流子为自由电子。P型半导体呈电中性。

与本征半导体相比，杂质半导体中的载流子数目增多，导电能力增强，而且可以通过控制杂质元素的种类和数量来获得不同导电类型和不同导电能力的半导体。

1.1.3 PN 结的基本特性

用特殊工艺把 P 型半导体和 N 型半导体结合在一起后，在它们的交界面上所形成的特殊带电薄层称为 PN 结（PN Junction），如图 1-1 所示。

由图 1-1 可知，PN 结在 P 区一侧带负电，在 N 区一侧带正电，从而形成内电场，方向由 N 区指向 P 区。

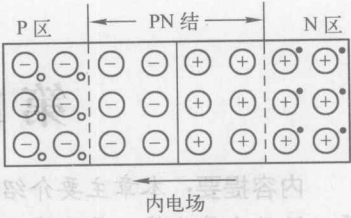


图 1-1 PN 结

PN 结具有单向导电性。

PN 结的 P 区接电源的正极，N 区接电源的负极，称为正向偏置，简称正偏，如图 1-2a 所示。此时，流经 PN 结的正向电流为大电流，PN 结等效的正向电阻阻值较小，PN 结处于正向导通状态。

PN 结的 P 区接电源的负极，N 区接电源的正极，称为反向偏置，简称反偏，如图 1-2b 所示。此时，流经 PN 结的反向电流为小电流，PN 结等效的反向电阻阻值较大，PN 结处于反向截止状态。

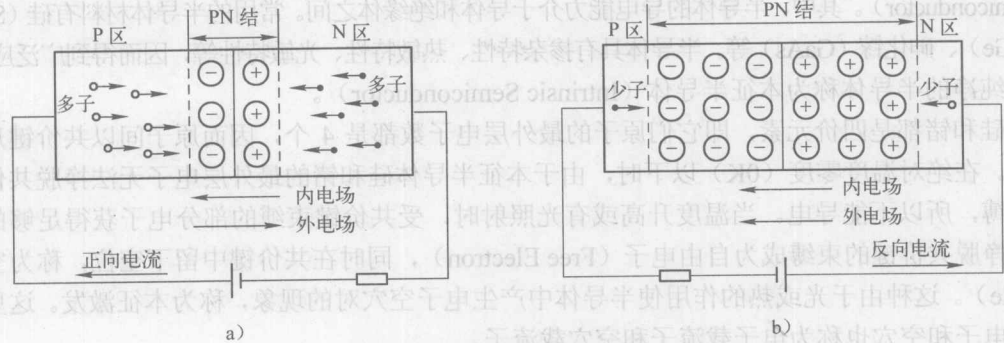


图 1-2 PN 结的单向导电性

a) 正偏 b) 反偏

值得注意的是，只有正偏电压形成的外电场大于内电场时，PN 结才能够导通。

1.2 二极管

1.2.1 二极管的结构、分类及伏安特性

晶体二极管简称二极管（diode），是整流、检波、限幅等电路中最基本的器件之一。由于其内部就是一个 PN 结，因而其基本特性也是单向导电特性。二极管的结构及电路符号如图 1-3 所示。

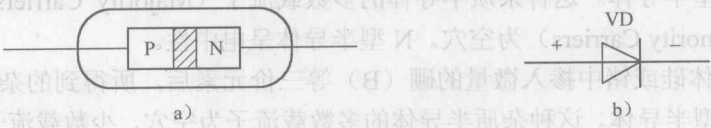


图 1-3 二极管的结构及电路符号

a) 结构 b) 电路符号

根据构成 PN 结材料的不同，将二极管分为硅二极管和锗二极管。根据管芯结构不同可

分为点接触型、面接触型、平面型 3 种。点接触型适用于高频（数百兆赫）电路中，允许通过的电流较小（小于几十毫安）。面接触型适用于低频电路中，允许通过较大的电流。平面型性能稳定可靠，适用于脉冲电路、开关电路和超高频电路中。

根据二极管用途的不同，还可以分为整流二极管、稳压二极管、开关二极管、光敏二极管、发光二极管等。

电子器件的基本特性可以用流过它的电流 i 与其两端电压 u 之间的关系来描述，这就是伏安特性。图 1-4 为硅二极管和锗二极管的伏安特性。由于二极管的特性曲线是非线性的，所以它是非线性器件。

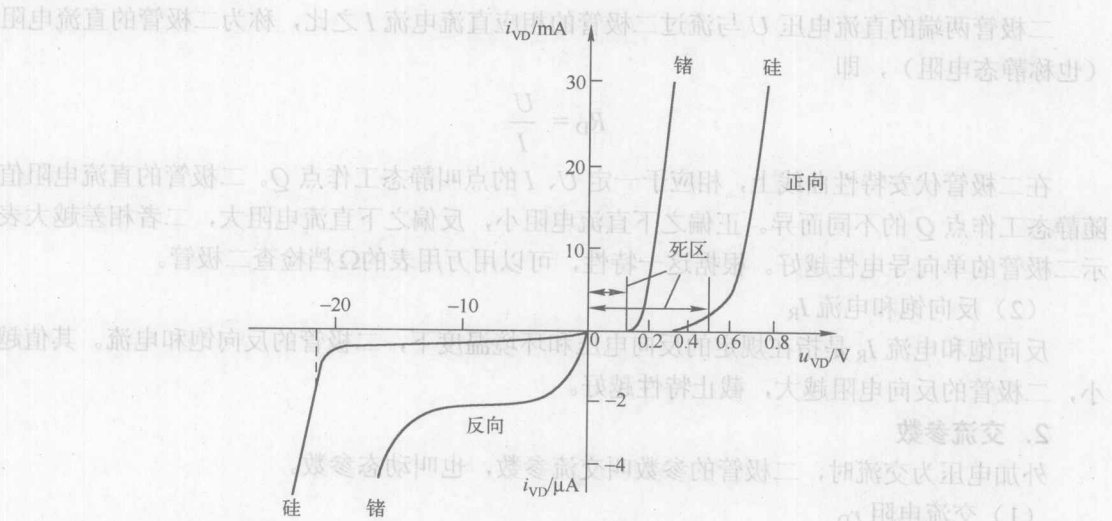


图 1-4 二极管的伏安特性

1. 正向特性

由图 1-4 可知，二极管并不是只要正偏就导通，只有当正向电压达到一定值（这个数值称为死区电压）后，正向电流按指数规律增大，这时才可认为二极管处于导通状态。室温下，硅管的死区电压约为 0.5V，锗管的死区电压约为 0.2V。

二极管导通后曲线陡直，表明二极管导通电阻很小，电流变化范围很大而电压变化范围很小。一般二极管导通后两端的电压在一定的范围之内，因而把二极管导通以后两端的正偏电压称为二极管的管压降。通常硅管的管压降为 0.6~0.8V，锗管的管压降为 0.2~0.3V。

2. 反向特性

由图 1-4 可知，反向电压在相当大的范围内变化时，反向电流数值很小，表明二极管的反向电阻很大，且当环境温度不变时反向电流几乎不变，所以称此反向电流为反向饱和电流。通常硅管的反向饱和电流为 10^{-9} 数量级，锗管的为 10^{-6} 数量级。当温度升高时，反向饱和电流的数值增大。

3. 击穿特性

由图 1-4 可知，当二极管的反向电压增大到一定数值后，其反向电流会突然增大，这种现象称为反向击穿（breakdown）。发生击穿时的电压称为反向击穿电压。二极管的击穿现象有电击穿与热击穿之分。其中，电击穿发生后，若将反向电压降至击穿电压以下，二极管仍能正常工作；若发生了热击穿，则会将二极管烧坏。实际中，一般不允许二极管工作在击穿

状态,但利用电击穿现象可以制成稳压二极管。

1.2.2 二极管的主要参数

描述二极管特性和极限使用条件的物理量,称为二极管的参数。它是正确选择和使用二极管的依据。

1. 直流参数

外加电压为直流时,二极管的参数叫直流参数,也叫静态参数。

(1) 直流电阻 R_D

二极管两端的直流电压 U 与流过二极管的相应直流电流 I 之比,称为二极管的直流电阻(也称静态电阻),即

$$R_D = \frac{U}{I}$$

在二极管伏安特性曲线上,相应于一定 U 、 I 的点叫静态工作点 Q 。二极管的直流电阻值随静态工作点 Q 的不同而异。正偏之下直流电阻小,反偏之下直流电阻大,二者相差越大表示二极管的单向导电性越好。根据这一特性,可以用万用表的 Ω 档检查二极管。

(2) 反向饱和电流 I_R

反向饱和电流 I_R 是指在规定的反向电压和环境温度下,二极管的反向饱和电流。其值越小,二极管的反向电阻越大,截止特性越好。

2. 交流参数

外加电压为交流时,二极管的参数叫交流参数,也叫动态参数。

(1) 交流电阻 r_D

在静态工作点 Q 附近,二极管两端电压改变量 ΔU 与流过二极管的相应电流改变量 ΔI 之比,称为二极管的交流电阻(也称动态电阻),即

$$r_D = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$
$$r_D = \frac{dU}{dI}$$

其值随 Q 的不同而异。电流越大, r_D 越小。

二极管的直流电阻和交流电阻都不是常数,为非线性电阻。

(2) 极间电容 C

极间电容 C 是指 PN 结结电容、引线电容和壳体电容的总和。若极间电容数值大,则相当于在二极管旁并联一个不可忽略的电容,因而要求此电容容量要小。

(3) 最高工作频率 $f_{\max}$

最高工作频率 $f_{\max}$ 是指二极管具有单向导电性的最高交流信号频率。使用时,若工作频率超过此值,二极管性能变差。

3. 极限参数

(1) 额定工作电流 I_F

额定工作电流 I_F 是指在一定温度下二极管长期工作所允许流过的最大正向电流。实际使用中,若二极管的正向电流超过此值,会使管子因过热而损坏。

(2) 最高反向工作电压 U_R

最高反向工作电压 U_R 是指二极管在使用时允许加的最大反向电压,一般取反向击穿电压的一半。使用时,二极管所承受的反向电压应低于此值,否则管子容易被击穿。

1.2.3 二极管的简易测试

实际测试中,常用万用表的电阻档检查二极管。将万用表拨到 Ω 档的 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 档,用万用表的两个表笔分别接到二极管的两个管脚,测其阻值,然后将表笔对换,再测阻值,若前后两次所测阻值差别较大,则说明二极管的性能较好。其中,对应于测得阻值较大的情况是,红表笔接的一端为二极管的正极,黑表笔接的一端为负极。

若前后两次所测阻值均为无穷大,则说明二极管内部断路;若两次所测阻值均为零,则说明二极管内部短路;若两次所测阻值接近,则说明二极管性能恶化。另外,禁止使用万用表 Ω 档的 $R \times 1$ 或 $R \times 10k$ 档来检查二极管。

1.2.4 手册的使用

半导体器件手册给使用者提供了十分完整的器件特性参数和使用资料,是正确使用器件的依据。在设计电路及维修电子设备时需要经常查手册。

器件手册的种类很多,凡是能够系统地、详细地给出各种器件特性、参数的资料都可作为器件手册。常用的器件手册有《常用晶体管手册》、《常用线性集成电路大全》、《中国集成电路大全》、《中外集成电路简明速查手册》等。

在一些电子类技术图书中,也有许多以附录形式出现的介绍器件参数的资料,也能起到与手册相同的作用,但它介绍的内容一般仅限于与书本内容有关的器件。另外,常见的器件型号对照表等资料,也可作为对器件手册的补充。

器件手册一般包含以下内容。

(1) 器件的型号命名方法

手册上附有按标准规定的器件型号命名方法,说明器件型号由哪些部分组成,各部分中数字或字母所表示的意义。

(2) 电参数符号说明

为了查阅和了解手册中介绍器件的功能及有关技术性能,手册中一般都给出器件通用的参数符号及其表示意义。

(3) 器件的主要用途

各种器件根据其结构、制作工艺不同,特性参数不同,因而用途也不同。手册中介绍了器件的各种用途,为选用器件提供了可靠的依据。

(4) 主要参数和外形

手册中的列表给出了器件的参数以及这些参数的测试条件。当需要测试这些参数时,应根据所给的条件进行测试。对于集成电路,有的还附有相应的测试电路图。

手册上还介绍器件的外形、尺寸和引线排列顺序,供识别器件、设计印制电路板时参考。

(5) 内部电路和应用参考电路

对于集成电路,手册上附有所介绍的集成电路的内部电路或内部逻辑图,并附有较为典型的应用参考电路,供分析电路原理、设计实用电路时参考。

实际工作中,一般应从以下两方面使用器件手册。

(1) 已知器件的型号查找其参数和使用资料

若已知器件的型号,使用器件手册可以查阅此器件的类型、用途、主要参数等技术指标。常用于设计、制作时对已知型号的器件进行分析,判断其是否满足电路要求。

(2) 根据使用要求查选器件

首先要确定所选器件的类型,确定应查阅哪类手册以及在手册中应查哪类器件栏目。确定栏目后,将栏目中各型号的器件参数逐一与要求参数相对照,判断哪种型号符合要求,据此确定需选用器件的型号。

在选择二极管时应注意以下几点:

1) 设计电路时,根据电路对二极管的要求查阅手册,确定二极管的型号。要求所选二极管的极限参数 I_F 、 U_R 、 $f_{\max}$ 应分别大于电路对二极管的额定工作电流、最高反向工作电压、最高工作频率的要求。另外,要求导通电压低时选锗管,反向电流小时选硅管,反向击穿电压高时选硅管,工作频率高时选点接触型管,工作环境温度高时选硅管。

2) 维修电子设备时,若发现二极管损坏,应用同型号的管子替换。若找不到同型号的管子而需要用其他型号的管子替换时,则替换管子的极限参数 I_F 、 U_R 、 $f_{\max}$ 应不低于原管,且管子的材料类型(硅管或锗管)应保持不变。

二极管的命名方法及型号参数举例见附录 A、B。

1.2.5 特殊二极管简介

二极管按用途不同分为普通二极管和特殊二极管。特殊二极管包括稳压二极管、变容二极管、发光二极管、光敏二极管、激光二极管等。

1. 稳压二极管

(1) 稳压二极管及其伏安特性

稳压二极管(Zener Diode)又称齐纳二极管或电压调整二极管,简称稳压管,是一种特殊工艺制造的硅二极管。它利用 PN 结在电击穿时反向电压几乎不随电流变化的特点来达到稳定电压的目的。在稳压设备和一些电子线路中经常使用。稳压管的电路符号及伏安特性如图 1-5 所示。

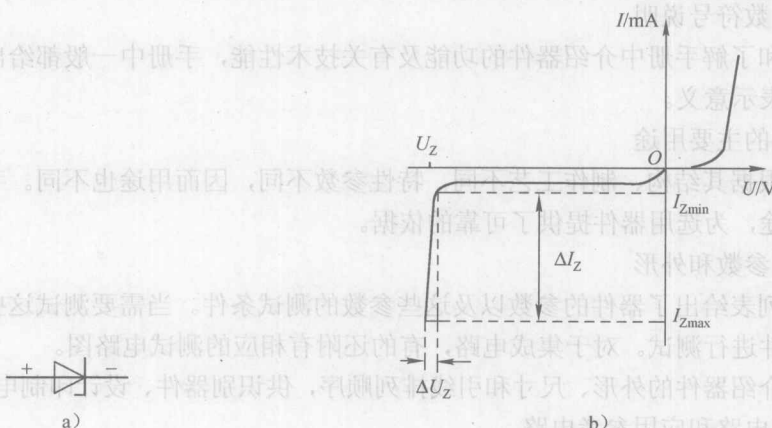


图 1-5 稳压管的电路符号及伏安特性

a) 电路符号 b) 伏安特性

由图 1-5 可知,稳压管的正向特性与普通二极管一致,反向击穿特性比普通二极管陡直。稳压管工作于反偏状态,且要求外接直流电压大于管子的击穿电压,并且回路中须接入限流电阻,以防止电击穿转化为热击穿。当流经稳压管的电流 I_Z 在一定范围内变化时,其两端电压 U_Z 几乎不变。

(2) 稳压二极管的主要参数

1) 稳定电压 U_Z 是指稳压管中的电流为规定值时,稳压管两端的电压值。由于制造工艺的原因,同一型号管子的 U_Z 存在较大的离散性。例如,2CW15 的 U_Z 在 7~8.5V 之间(测试电流为 5mA 时)。值得注意的是,对一个稳压管来说,某一工作电流时的稳定电压是惟一确定的值。

2) 工作电流 I_Z 是指稳压管在稳定电压下的工作电流,其范围为 $I_{Zmin} \sim I_{Zmax}$ 。实际使用中,若 $|I_Z| < |I_{Zmin}|$ 时,稳压管将失去稳压作用;若 $|I_Z| > |I_{Zmax}|$ 时,稳压管会因热击穿而损坏。

3) 耗散功率 P_Z 是指稳压管不产生热击穿所允许的耗散功率的最大值, $P_Z = U_Z I_{Zmax}$ 。

2. 变容二极管

二极管结电容的大小除了与本身结构和工艺有关外,还与外加电压有关。结电容随反向电压的增加而减小。变容二极管 (Variable-Capacitance Diode) 是利用 PN 结的电容效应,并采用特殊工艺使结电容随反向电压变化比较灵敏的一种特殊二极管。其电路符号及特性曲线如图 1-6 所示。

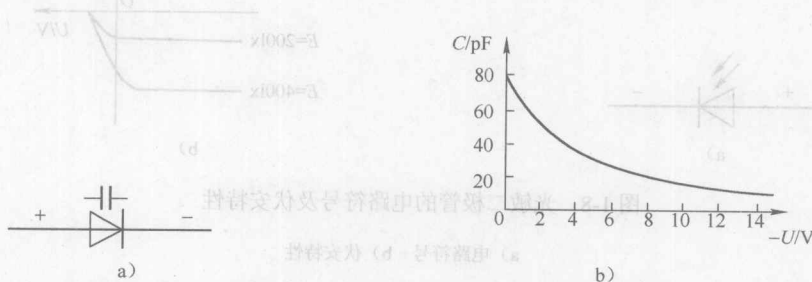


图 1-6 变容二极管的电路符号及特性曲线

a) 电路符号 b) 特性曲线

不同型号的管子,其电容最大值不同,范围是 5~300pF。变容二极管的最大电容与最小电容之比(称为电容比)约为 5:1。变容二极管在高频技术中应用较多,因为其结电容能随外加的反向偏压而变化,常被用作调频、扫频及相位控制。目前,变容二极管的应用已相当广泛。例如,彩色电视机普遍采用具有记忆功能(预选台)的电子调谐器,其工作原理就是通过控制直流电压来改变变容二极管的结电容容量,以选择某一频道的谐振频率。

3. 发光二极管

发光二极管 (Light-Emitting Diode) 简称 LED,是一种利用正偏时 PN 结两侧的多子直接复合释放出光能的光发射器件。通常用砷化镓、磷化镓等化合物制成,工作在正偏状态下,在正向电流达到一定值时就发光。其电路符号及正向伏安特性如图 1-7 所示。

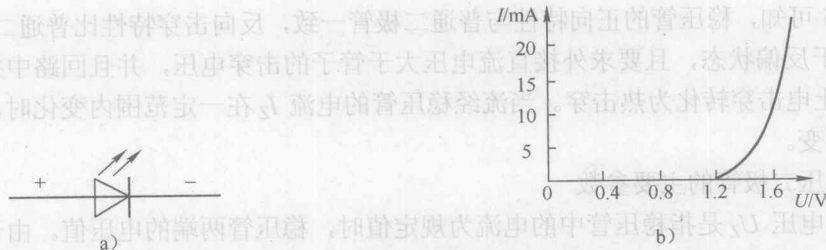


图 1-7 发光二极管的电路符号及正向伏安特性

a) 电路符号 b) 正向伏安特性

发光二极管常用来作为显示器件或光电控制电路中的光源，除单个使用外，也常用来构成七段式或矩阵式显示器件，工作电流一般在几毫安至十几毫安之间。发光二极管所发光的颜色取决于所使用的半导体材料，通常有红光、黄光、绿光、橙光等几种。

4. 光敏二极管

光敏二极管 (Photo-Diode) 是利用半导体的光敏特性制造的光接收器件。当光照度 E (单位为 lx) 增加时，由于 PN 结两侧的少子浓度增加，使二极管反向饱和电流值增大。光敏二极管的电路符号及伏安特性如图 1-8 所示。

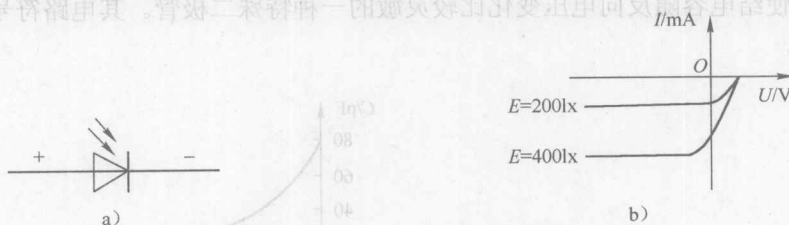


图 1-8 光敏二极管的电路符号及伏安特性

a) 电路符号 b) 伏安特性

光敏二极管的结构与普通二极管类似，管壳上的一个玻璃窗口能接收外部的光。工作在反偏状态下，没有光照射时，反向电阻很大，反向电流很小，这时的反向电流称为暗电流，光敏二极管处于截止状态。当光照射在 PN 结上，它的反向电流随光照度的增加而上升，这时的反向电流称为光电流，光敏二极管处于导通状态。其主要特点是，它的反向电流与光照度成正比，灵敏度的典型值为 0.1mA/lx 数量级。它可用于光的测量，可将光信号转换为电信号。

5. 激光二极管

激光二极管 (Laser Diode) 的结构示意图及电路符号如图 1-9 所示。激光二极管的物理结构是在发光二极管的结间安置一层具有光活性的半导体，其端面经过抛光后具有部分反射功能，因而形成一个光谐振腔。在正向偏置的情况下，LED 结发射出光来并与光谐振腔相互作用，从而进一步激励从结上发射出单波长的光，这种光的物理性质与材料有关。

激光二极管在正常工作时处于正向偏置状态。根据其内部构造和原理，常通过测试激光二极管的正、反向电阻来确定的它的好坏。测试时，将万用表置于 $R \times 1k$ 档，若测得其正向电阻为 $20 \sim 30k\Omega$ ，反向电阻为无穷大，则说明激光二极管正常；否则，说明激光二极管已经老化或损坏。