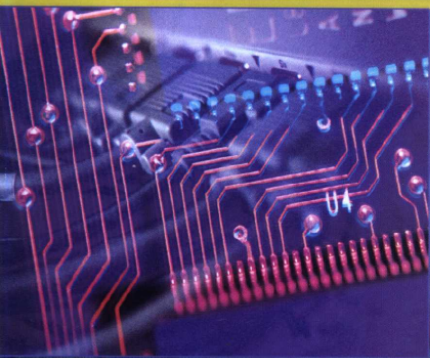


高等职业学校电子信息类、电气控制类专业系列教材

电子线路

林 东 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等职业学校电子信息类、电气控制类专业系列教材

电子线路

林 东 主编

高等教育出版社

内容简介

本书是电子技术应用的基础,它包括模拟电路和数字电路两大部分。主要内容有:半导体器件,放大电路基础,负反馈放大器、集成运算放大器的应用、音频功率放大器,直流稳压电源,无线通信系统,高频小信号放大器,谐振功率放大器,正弦波振荡器,调幅与检波,混频与倍频,调制与鉴频,反馈控制电路,数字逻辑基础,逻辑门电路,组合逻辑电路,时序逻辑电路,脉冲波形电路,模/数与数/模转换,可编程逻辑器件等。

本书针对高等职业教育的特点和普通高职学生的实际情况,讲求理论上够用,重在知识的应用。为了便于学习和培养实践动手能力,本书安排较多的实验,各章还列出学习目标,附有思考与练习。本书主要适用于高职电子与信息技术类专业,也可作为其他相近专业和工程技术人员学习电子线路的参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子线路 / 林东主编. —北京:高等教育出版社,
2004.7

ISBN 7 - 04 - 014927 - 3

I. 电... II. 林... III. 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(2004)第 051126 号

策划编辑	韦晓阳	责任编辑	许海平	封面设计	于涛	责任绘图	朱静
版式设计	王艳红	责任校对	王效珍	责任印制			

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010 - 82028899

经 销 新华书店北京发行所
印 刷

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 26
字 数 630 000

购书热线 010 - 64054588
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

版 次 年 月 第 1 版
印 次 年 月 第 次印刷
定 价 31.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

目前,电子技术已广泛地应用于国民经济的各个领域,如工业、农业、交通运输、国防建设、家用电器等。随手打开任何一台常用电器,如电视、电脑、电话、手机等,都离不开电子技术的应用。本书是电子技术应用的基础,也是电子信息类专业的一门重要的技术基础课,它包括模拟电路和数字电路两大部分。

模拟电路部分的主要内容包括:半导体器件、放大电路基础、负反馈放大器、集成运算放大器、音频功率放大器、直流稳压电源、正弦波振荡器、无线电通信系统、混频与倍频技术、信号的调制与解调、高频小信号放大器和谐振功率放大器等;数字电路部分的主要内容包括:数字逻辑基础、典型逻辑门电路、组合逻辑与时序逻辑电路(加法器与比较器,数据选择与分配电路,编码译码与显示电路,触发器、寄存器、计数器等)、模/数与数/模转换、可编程逻辑器件以及脉冲波形电路等。

由于电子器件及集成电路制造技术的不断进步,使用分立元件和小规模集成电路来设计复杂的电路系统已逐渐减少,中、大规模集成电路和功能模块的应用已越来越多。就一般应用而言,重要的是要灵活运用各种芯片和功能模块来构成电路系统,而不必详细、深入地了解芯片内部的结构和机理。因此,本书针对高等职业教育的特点和普通高职学生的实际情况,讲求理论上够用,对较深层的知识只作定性的解释,而重点在知识的应用。本书还安排了较多的实验供选用,力图培养学生的实践动手能力。为了便于学生理解书中内容,掌握学习重点,各章开头都列出了本章的学习目标,各章末尾附有章小结和思考与练习。

本书由福建信息职业技术学院林东主编,山东电子工业学校徐新艳、广东电子技术学校李菊芳参编。其中,第1~3章、第7~8章、第10章、第14章由李菊芳编写,第4~6章、第9章、第11~13章由徐新艳编写,第15~21章由林东编写,最后由林东统编全书。福建信息职业技术学院潘平仲老师对本书进行了认真细致的审阅并提出了许多修改意见。在本书编写过程中,还得到了陈颖等同志的帮助,在此一并表示感谢。

本书主要适用于高职电子与信息技术类专业,也可作为其他相近专业和工程技术人员学习电子线路的参考。

由于编写时间仓促,编者水平有限,书中疏漏乃至错误之处,敬请广大读者批评指正。

编者
2004年3月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)64014089 64054601 64054588

目 录

第1章 半导体器件	1
学习目标	1
1.1 半导体的基本知识	1
1.1.1 半导体的导电特性	1
1.1.2 PN结	2
1.2 二极管	3
1.2.1 二极管的伏安特性	3
1.2.2 二极管的主要参数	4
1.2.3 二极管的简易检测及选择	5
1.2.4 特殊二极管简介	6
1.3 三极管	7
1.3.1 三极管的结构类型	7
1.3.2 三极管的电流放大作用	7
1.3.3 放大电路的基本概念及其基本电路形式	8
1.3.4 三极管的共射特性曲线	9
1.3.5 三极管的主要参数	10
1.3.6 三极管的简易测试	10
1.4 场效应管	12
1.5 集成电路	13
本章小结	14
实验1	14
实验1.1 用万用表测量二极管、三极管	14
实验1.2 常用电子仪器的使用练习	14
思考与练习1	15

第2章 放大电路基础	17
学习目标	17
2.1 概述	17
2.1.1 放大器的类型	17
2.1.2 放大器的等效电路	17
2.1.3 放大器的主要性能指标	18
2.2 基本放大器的组成及工作	

原理	19
2.2.1 共发射极放大器	19
2.2.2 放大器构成原理	20
2.3 放大器的分析方法	21
2.3.1 静态分析	21
2.3.2 动态分析	22
2.4 放大器工作点的稳定	24
2.4.1 静态工作点对放大器性能的影响	24
2.4.2 分压式偏置电路	24
2.5 共集电极放大器与共基极放大器	26
2.5.1 共集电极放大器	26
2.5.2 共基极放大器	27
2.5.3 三种组态放大器的比较	27
2.6 多级放大器	28
2.6.1 级间耦合方式	28
2.6.2 多级放大器动态性能分析	29
本章小结	31
实验2	31
实验2.1 共发射极放大器	31
实验2.2 共集电极放大器	31
实验2.3 多级放大器	32
思考与练习2	33

第3章 负反馈放大器	35
学习目标	35
3.1 概述	35
3.1.1 反馈的基本概念	35
3.1.2 负反馈放大器的类型	38
3.2 负反馈对放大器性能的影响	38
3.2.1 直流负反馈的作用	38
3.2.2 交流负反馈对放大器性能的影响	

影响	38	思考与练习 5	70
本章小结	40	第 6 章 直流稳压电源	72
实验 3 负反馈放大器	40	学习目标	72
思考与练习 3	41	6.1 概述	72
第 4 章 集成运算放大器的应用	43	6.1.1 直流稳压电源的基本组成	72
学习目标	43	6.1.2 直流稳压电源的主要技术 指标	73
4.1 概述	43	6.2 整流电路	73
4.1.1 集成运放简介	43	6.2.1 半波整流电路	73
4.1.2 集成运放的主要参数	48	6.2.2 桥式整流电路	74
4.1.3 集成运放理想化	49	6.2.3 整流电路的主要参数及 整流元件	75
4.2 集成运放的应用	50	6.3 滤波电路	77
4.2.1 集成运放在信号运算 方面的应用	50	6.3.1 电容滤波电路	77
4.2.2 集成运放在信号处理 方面的应用	54	6.3.2 电感滤波电路	78
4.3 使用集成运放的注意 事项	55	6.3.3 复式滤波电路	79
本章小结	56	6.4 稳压电路	80
实验 4	56	6.4.1 稳压管稳压电路	80
实验 4.1 差分放大器	56	6.4.2 串联型稳压电路	81
实验 4.2 集成运放	57	6.4.3 三端式集成稳压电路	82
思考与练习 4	58	6.5 开关型稳压电路简介	85
第 5 章 音频功率放大器	61	6.5.1 开关型稳压电路的基本 原理	85
学习目标	61	6.5.2 开关电源的实例电路	86
5.1 概述	61	本章小结	88
5.1.1 功率放大器的特点	61	实验 6 集成稳压器	88
5.1.2 功率放大器的分类	61	思考与练习 6	89
5.2 甲类功率放大器	62	第 7 章 无线通信系统	91
5.2.1 变压器的阻抗变换作用	62	学习目标	91
5.2.2 甲类功率放大器性能分析	63	7.1 无线通信系统的基本工作 原理	91
5.3 互补功率放大器	64	7.1.1 无线通信系统组成框图	91
5.3.1 乙类互补功率放大器	64	7.1.2 无线电发射设备的基本 工作原理	92
5.3.2 甲乙类互补功率放大器	65	7.1.3 电磁波的空间传播特点	94
5.3.3 准互补功率放大器	65	7.1.4 无线电接收设备的基本 工作原理	95
5.3.4 单电源互补功率放大器	66	7.2 干扰与噪声	97
5.4 集成音频功率放大器	67		
本章小结	69		
实验 5 功率放大器	69		

7.2.1 干扰	97	原理	118
7.2.2 噪声	97	9.3 丙类谐振功率放大器工作	
本章小结	98	状态分析	120
思考与练习 7	98	9.3.1 电流导通角 θ 的选取与	
第 8 章 高频小信号放大器	99	调整	120
学习目标	99	9.3.2 负载特性	121
8.1 概述	99	9.3.3 调制特性	122
8.1.1 谐振电压增益 A_{u0}	99	9.3.4 放大特性	123
8.1.2 通频带 BW	100	9.4 丙类谐振功率放大器电路	124
8.1.3 选择性	100	9.4.1 直流馈电电路	125
8.1.4 稳定性	101	9.4.2 匹配滤波网络	127
8.1.5 噪声系数	101	9.5 集成功率放大器模块简介	128
8.2 单调谐放大器	102	本章小结	130
8.2.1 三极管混合 Π 形等效		思考与练习 9	130
电路	102	第 10 章 正弦波振荡器	132
8.2.2 单级单调谐放大器	103	学习目标	132
8.2.3 单调谐放大器级联	105	10.1 反馈式振荡器的工作	
8.3 三极管内部反馈的有害影响		原理	132
及解决办法	106	10.1.1 起振过程及起振条件	132
8.3.1 中和法	107	10.1.2 平衡过程和平衡条件	133
8.3.2 失配法	107	10.2 互感耦合正弦波振荡器	134
8.4 宽频带放大器	108	10.3 三点式 LC 振荡器	134
8.4.1 宽频带放大器的特点	108	10.3.1 三点式 LC 振荡器的判	
8.4.2 扩展通频带的方法	108	断法则	134
8.4.3 集成宽带放大器	110	10.3.2 电容三点式振荡器	136
8.5 集成中频放大器	111	10.3.3 电感三点式振荡器	138
8.5.1 集成中频放大器的选频		10.3.4 改进型电容三点式振荡器	139
元件	112	10.4 振荡器的频率稳定度	141
8.5.2 集成中频放大器应用举例	114	10.5 晶体振荡器	143
本章小结	116	10.5.1 并联型晶体振荡器	143
实验 8	116	10.5.2 串联型晶体振荡器	143
实验 8.1 小信号调谐放大器	116	10.5.3 泛音晶体振荡器	144
实验 8.2 宽频带放大器	117	10.6 RC 正弦波振荡器	145
思考与练习 8	117	10.6.1 RC 移相式振荡器	145
第 9 章 谐振功率放大器	118	10.6.2 文氏桥式振荡器	147
学习目标	118	10.7 振荡器的简易测试及常见	
9.1 概述	118	故障排除方法	149
9.2 谐振功率放大器的基本工作		本章小结	150
		实验 10	150

实验 10.1 LC 振荡器	150	本章小结	191
实验 10.2 RC 桥式振荡器	151	实验 12 混频器	192
思考与练习 10	152	思考与练习 12	192
第 11 章 调幅与检波	155	第 13 章 调频与鉴频	194
学习目标	155	学习目标	194
11.1 概述	155	13.1 概述	194
11.1.1 调幅电路作用	155	13.1.1 调相波的性质	194
11.1.2 调幅方式	158	13.1.2 调频波的性质	195
11.2 调幅电路	159	13.1.3 调相波与调频波的比较	197
11.2.1 高电平调幅电路	159	13.2 直接调频原理与电路	198
11.2.2 低电平调幅电路	162	13.2.1 简易调频电路	198
11.3 检波器	167	13.2.2 变容二极管调频电路	199
11.3.1 检波器的功能及技术指标	167	13.3 间接调频原理与电路	200
11.3.2 小信号平方律检波器	169	13.4 鉴频器	202
11.3.3 大信号包络检波器	170	13.4.1 斜率鉴频器	202
11.4 同步检波器	173	13.4.2 相位鉴频器	207
11.4.1 乘积同步检波器	174	本章小结	210
11.4.2 相加同步检波器	174	实验 13 设计并制作简易	
本章小结	175	无线话筒	211
实验 11	176	思考与练习 13	213
实验 11.1 调幅器与检波器	176	第 14 章 反馈控制电路	215
实验 11.2 大信号包络检波器	177	学习目标	215
思考与练习 11	177	14.1 概述	215
第 12 章 混频与倍频	179	14.2 自动增益控制电路	216
学习目标	179	14.2.1 U_{AGC} 产生电路	217
12.1 概述	179	14.2.2 放大器的增益控制原理	217
12.1.1 混频原理	180	14.3 自动频率控制电路	218
12.1.2 混频器的主要技术指标	182	14.3.1 采用 AFC 电路的主要原因	218
12.2 三极管混频器	182	14.3.2 AFC 电路组成原理框图	218
12.3 混频干扰与非线性失真	184	14.3.3 AFC 电路的工作原理	219
12.3.1 组合频率干扰	184	14.4 锁相环路	219
12.3.2 非线性失真	185	14.4.1 锁相环路的工作原理	220
12.3.3 减小干扰及失真的措施	186	14.4.2 锁相环路的应用——频率	
12.4 二极管混频器	188	合成器	221
12.4.1 单管混频器	188	14.4.3 锁相环路应用实例	222
12.4.2 平衡混频器与环形混频器	188	本章小结	224
12.5 集成混频器	189	思考与练习 14	224
12.6 倍频器	190		

第 15 章 数字逻辑基础	225
学习目标	225
15.1 数制与码制	225
15.1.1 数制	225
15.1.2 二进制与十进制转换	226
15.1.3 二进制算术运算	227
15.1.4 二-十进制编码(BCD 码)	228
15.1.5 格雷码	229
15.2 逻辑代数	230
15.2.1 基本逻辑关系	230
15.2.2 逻辑代数的基本运算规则、 基本公式与基本定律	232
15.2.3 基本定律扩展运用的 三个规则	234
15.3 逻辑函数的公式化简法	234
15.3.1 并项法	235
15.3.2 消项法	235
15.3.3 配项法	235
15.3.4 消元法	235
15.4 逻辑函数的卡诺图化简法	236
15.4.1 逻辑函数的最小项表达式	236
15.4.2 用卡诺图表示逻辑函数	237
15.4.3 用卡诺图化简逻辑函数	239
本章小结	241
思考与练习 15	242
第 16 章 逻辑门电路	245
学习目标	245
16.1 晶体管开关特性	245
16.1.1 二极管开关特性	245
16.1.2 三极管开关特性	245
16.1.3 反相器	247
16.2 典型逻辑门电路	247
16.2.1 基本逻辑门电路	247
16.2.2 复合逻辑门电路	248
16.3 集成门电路	250
16.3.1 集成电路型号命名方法	250
16.3.2 TTL 门电路	252
16.3.3 CMOS 门电路	257
16.3.4 集成门电路的使用	259
本章小结	261
实验 16	262
实验 16.1 饱和型 TTL 与非门主要参数 和传输特性测试	262
实验 16.2 STTL 型与非门主要参数 和传输特性测试	264
实验 16.3 OC 门功能测试及线与 应用	264
实验 16.4 三态门的逻辑功能测试与 应用	264
实验 16.5 CMOS 双向开关功能 测试	265
实验 16.6 测试 CMOS 门电路的主要 参数	266
思考与练习 16	266
第 17 章 组合逻辑电路	272
学习目标	272
17.1 概述	272
17.1.1 组合与时序逻辑电路的概念	272
17.1.2 组合逻辑电路的分析	273
17.1.3 组合逻辑电路的设计	274
17.2 算术逻辑电路	275
17.2.1 加法器	275
17.2.2 比较器	278
17.3 编码器	280
17.3.1 二进制编码器	280
17.3.2 二-十进制编码器	281
17.3.3 优先编码器	282
17.4 译码器与显示电路	285
17.4.1 二进制译码器	285
17.4.2 二-十进制(BCD 码) 译码器	287
17.4.3 七段显示译码器	288
17.4.4 液晶及其静态驱动器	289
17.4.5 动态扫描显示原理及器件	291
17.5 数据选择与分配电路	294
17.5.1 数据选择器	294
17.5.2 数据分配器	298
本章小结	299
实验 17	300

实验 17.1	集成加法器应用:BCD 码 与余 3 码变换	300	实验 18.1	主从 JK 触发器 74LS73 的逻辑功能测试	338
实验 17.2	集成数字比较器应用: 8 位数字比较器	300	实验 18.2	上升沿 JK 触发器 74LS70 逻辑功能测试	338
实验 17.3	10 线-4 线优先编码器 74LS147 逻辑功能测试	301	实验 18.3	双 D 触发器 74LS74 逻辑 功能测试	339
实验 17.4	集成 3 线-8 线译码器 74LS138 功能测试	302	实验 18.4	D 触发器和 JK 触发器构成 的 3 位二进制计数器	340
实验 17.5	集成 3 线-8 线译码器 74LS138 逻辑功能扩展	303	实验 18.5	74LS194 逻辑功能测试	341
实验 17.6	集成 BCD 码驱动/译 码电路 74LS145 功能测试	303	实验 18.6	二进制数码串并行转换	342
实验 17.7	七段译码/驱动器 MC14558 逻辑功能测试	304	实验 18.7	二进制数码的串行发送与 接收	342
实验 17.8	集成数据选择器逻辑功能 测试	305	实验 18.8	74LS290 的逻辑功能测试 ..	343
实验 17.9	集成数据分配器逻辑功能 测试	306	实验 18.9	74LS192 逻辑功能测试	343
思考与练习 17		307	实验 18.10	CC4060 分频功能 测试	345
实验 18.11	CC40110 逻辑功能 测试	345	思考与练习 18		346
第 18 章 时序逻辑电路		311	第 19 章 脉冲波形电路		355
学习目标		311	学习目标		355
18.1 概述		311	19.1 基本脉冲电路		355
18.1.1 时序逻辑电路特点		311	19.1.1 微分电路		355
18.1.2 同步时序与异步时序		312	19.1.2 积分电路		355
18.2 触发器		312	19.1.3 脉冲分压电路		356
18.2.1 RS 触发器		312	19.2 多谐振荡器		357
18.2.2 JK 触发器		316	19.2.1 环形振荡器		357
18.2.3 D 触发器和 T 触发器		319	19.2.2 简单的频率可调多谐振 荡器		357
18.2.4 集成触发器应用		321	19.2.3 高稳定度晶体多谐振荡器		358
18.3 寄存器		324	19.3 单稳态电路和双稳态电路		358
18.3.1 数码寄存器		324	19.3.1 单稳态电路		358
18.3.2 移位寄存器		326	19.3.2 双稳态电路		360
18.4 计数器		328	19.4 函数波形发生器		361
18.4.1 异步计数器		328	19.4.1 ICL8038 的功能		361
18.4.2 同步计数器		330	19.4.2 ICL8038 波形发生电路		361
18.4.3 可逆计数器		332	19.4.3 ICL8038 频率应用电路		362
18.4.4 集成计数器应用		333	19.5 555 时基电路及应用		363
本章小结		336	19.5.1 NE555 集成定时器		363
实验 18		338	19.5.2 555 时基电路的单稳态工作		

方式	364
19.5.3 555 时基电路的无稳态工作	
方式	365
19.5.4 555 时基电路的双稳态工作	
方式	366
19.5.5 555 时基电路的应用	366
本章小结	368
实验 19	369
实验 19.1 环形振荡器	369
实验 19.2 频率可调多谐振荡器	369
实验 19.3 晶体多谐振荡器	369
实验 19.4 集成单稳态触发器构成	
的方波发生器	369
实验 19.5 用施密特电路将正弦波	
整形成矩形波	369
实验 19.6 555 单稳态触发器	370
实验 19.7 555 多谐振荡器	370
实验 19.8 555 施密特触发器	371
实验 19.9 高低音调交替模拟	
声响电路	371
实验 19.10 防盗报警电路	371
实验 19.11 电冰箱电源保护器	371
思考与练习 19	372
第 20 章 模/数与数/模转换	376
学习目标	376
20.1 集成 D/A 转换器	376
20.1.1 D/A 转换器的功能与主要	
技术指标	376

20.1.2 集成 D/A 转换器典型芯片	
及应用	379
20.2 集成 A/D 转换器	381
20.2.1 A/D 转换器的功能与主要	
技术指标	381
20.2.2 集成 A/D 转换器典型芯片	
及应用	383
本章小结	387
实验 20	387
实验 20.1 DAC0832 功能测试	387
实验 20.2 ADC0809 功能测试	388
思考与练习 20	389
第 21 章 可编程逻辑器件	391
学习目标	391
21.1 存储器	391
21.1.1 存储器及其分类	391
21.1.2 存储器在数字系统中的应用	393
21.2 阵列逻辑器件	394
21.2.1 PLD 电路的表示方法及有关	
符号	394
21.2.2 几种 PLD 器件的结构特点	395
21.2.3 PAL 及 GAL 器件型号的命名	
方法	397
本章小结	398
思考与练习 21	399
参考文献	400

第 1 章

半导体器件



学习目标

- ① 掌握 PN 结的主要特性,二极管及特殊二极管的符号、主要特性,三极管的符号、电流放大作用和电流分配关系式。掌握三极管三个工作区域和三种基本组态的判断方法以及利用万用表电阻挡对二极管、三极管的简易检测方法。
- ② 理解半导体的基本知识,场效应管的特点、类型,集成电路的内部结构特点。
- ③ 了解半导体器件的主要参数。

半导体器件是构成各种电子线路的基本器件,最常用的有半导体二极管、三极管、场效应管和集成电路(又称为集成块)。半导体器件是由半导体材料通过特殊的工艺制成的。本章先介绍半导体的基本知识,然后再介绍半导体器件。

1.1 半导体的基本知识

1.1.1 半导体的导电特性

导电性能介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。常用的半导体材料主要有硅(Si)和锗(Ge)等。

1. 本征半导体的特性

由纯净的硅或锗材料制成的半导体称为本征半导体。

在电场作用下,能运载电荷形成电流的带电粒子称为载流子。金属等导体的载流子是自由电子。而本征半导体中存在两种载流子:带负电的自由电子和带正电荷的空穴,它们成对出现,又称为电子-空穴对。本征半导体中的载流子数目很少,所以它的导电能力很弱。

当温度升高或光照增强时,本征半导体中的载流子数目显著增加,其导电能力大大加强,即具有热敏和光敏特性。利用半导体的热敏和光敏特性制成的热敏器件(如热敏电阻)和光敏器件(如光敏电阻),已得到广泛的应用。

本征半导体还具有掺杂特性,即在本征半导体中掺入微量的杂质元素,本征半导体中的载流子数目将显著增加,其导电能力大大提高。

2. 杂质半导体的导电特性

在本征半导体中掺入微量有用的杂质元素,半导体的导电能力有极大提高,这种半导体称为杂质半导体。按掺入杂质元素的不同,杂质半导体又分为 N 型半导体和 P 型半导体两大类。

在本征半导体中掺入某微量的杂质元素,使其内部的自由电子数量显著增加而成为多数载流子,这类杂质半导体称为 N 型半导体;若掺入微量杂质后,使其内部的空穴数量显著增加而成为多数载流子,这类杂质半导体称为 P 型半导体。

1.1.2 PN 结

1. PN 结的含义

将一块本征半导体的一边掺杂成 P 型半导体,另一边掺杂成 N 型半导体时,在这两种杂质半导体的交界面处,就会形成一个特殊的薄层——PN 结,如图 1.1 所示。PN 结是构成各种半导体器件的核心。

2. PN 结的主要特性——单向导电性

给 PN 结外加电场时,若 P 区电位比 N 区电位高,称为正向偏置,简称正偏;若 N 区电位比 P 区电位高,则称为反向偏置,简称反偏。

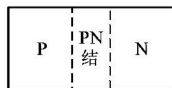


图 1.1 PN 结

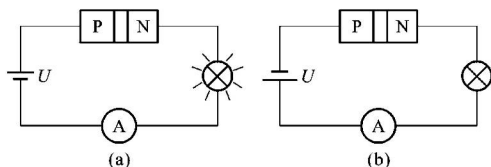


图 1.2 PN 结的单向导电性

(a) 正偏 (b) 反偏

PN 结的主要特性是单向导电性。它的主要含义是:

① 正偏导通:给 PN 结加正偏,如图 1.2(a)所示,可以发现灯亮而且电流表的读数较大,即该电路有较大的电流通过,说明 PN 结呈现的电阻小,这种现象称为正偏导通,也叫正向导通。

② 反向截止:给 PN 结加反偏,如图 1.2(b)所示,可以发现灯不亮而且电流表的读数很小,即该电路电流很小,说明 PN 结呈现的电阻大,这种现象称为反偏截止,也叫反向截止。

总之,正偏时 PN 结导通,呈现的正向电阻小,形成的正向电流大;反偏时 PN 结截止,呈现的反向电阻大,形成的反向电流小,这就是 PN 结的单向导电性。

3. PN 结的电容效应

PN 结存在电容,具有电容效应,但容量较小,一般在频率较高的场合才考虑结电容的影响。

1.2 二极管

二极管由一个 PN 结并引出两个电极,外加管壳封装而成。如图 1.3(a)所示。接在 P 区的电极叫正极,接在 N 区的电极为负极。其电路符号如图 1.3(b)所示,图中三角箭头表示二极管正向电流的方向,VD 是二极管的文字符号。

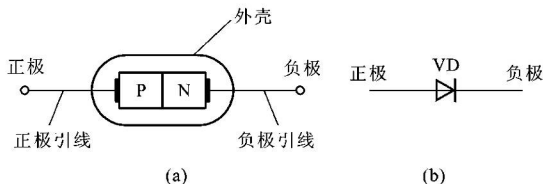


图 1.3 二极管的组成与符号

(a) 组成 (b) 符号

按所用的半导体材料不同,二极管可分为硅二极管和锗二极管两类。

按内部结构不同,二极管可分为点接触型和面接触型两类。如图 1.4 所示。

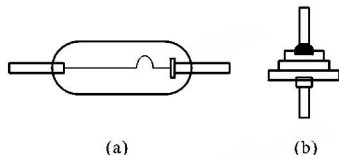


图 1.4 二极管的内部结构

(a) 点接触型 (b) 面接触型

点接触型二极管的 P 区与 N 区接触面积小,结电容小,允许通过的电流小,一般适用于频率较高的场合,如检波电路和脉冲开关电路等;面接触型二极管的 P 区与 N 区接触面积大,允许通过的电流大,主要用于整流电路中。

1.2.1 二极管的伏安特性

电子元器件的导电特性,常用加在它两端的电压 U 与通过它的电流 I 的关系来描述,因为电压的单位是伏特,简称伏,电流的单位是安培,简称安,所以它们之间的关系又称为伏安特性。

二极管实质上是一个 PN 结,所以它最主要的特性是单向导电性。可通过逐点法(即改变二极管两端的电压,测出通过它的电流,并将值逐点描绘在坐标上)或晶体管图示仪法直接观察到二极管的伏安特性曲线,如图 1.5 所示。其中,虚线是锗材料二极管的伏安特性曲线,实线为硅材料二极管的伏安特性曲线。

由图可见,二极管两端的电压与流过它的电流不是线性关系,二极管是非线性器件。二极管的伏安特性曲线可分为四个区域:

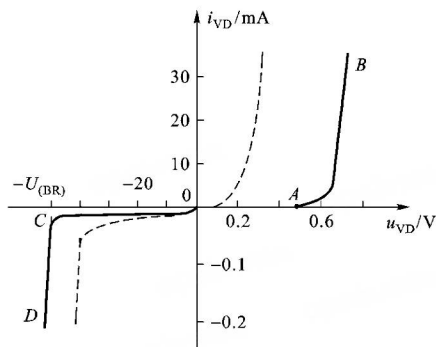


图 1.5 二极管的伏安特性曲线

1. 正向死区(图 1.5 中对应 OA 段)

给二极管加正向电压且小于导通电压 U_A , 此时, 正向电流很小, 二极管几乎处于截止状态, 所以把该区域称为死区, A 点的电压又称为死区电压。室温下硅二极管的死区电压为 0.5 V , 锗二极管的死区电压为 0.1 V 。

2. 正向饱和导通区(图 1.5 中对应 AB 段)

给二极管加的正向电压大于导通电压后, 通过二极管的电流迅速增加, 二极管导通。二极管导通后其两端电压变化很小, 此时二极管两端的电压称为二极管的正向饱和压降, 硅二极管约为 0.6 V , 锗二极管约为 0.2 V 。

3. 反向截止区(图 1.5 中对应 OC 段)

给二极管加反向电压较小, 小于 C 点的电压时, 二极管形成的反向电流很小, 二极管处于反向截止状态。

4. 反向击穿区(图 1.5 中对应 CD 段)

给二极管加的反向电压超过 C 点的电压时, 二极管的反向电流剧增, 这种现象称为 PN 结的击穿现象, C 点的电压称为击穿电压, 用 $U_{(BR)}$ 表示。不同型号二极管的击穿电压不同。二极管在反向击穿时流过的电流在较大范围内变化而管子两端电压变化很小。

1.2.2 二极管的主要参数

电子元器件的参数是我们选用电子器件的主要依据。二极管的参数可以直接测量, 也可以从半导体器件手册中查找。它的主要参数有:

1. 最大整流电流 I_F

最大整流电流是指二极管长期运行时允许通过的最大正向平均电流。在实际选用二极管时应选择 I_F 大于所用于电路的电流平均值, 否则, 二极管会过热而损坏。

2. 最大反向工作电压 U_{RM}

最大反向工作电压是指二极管在使用时, 允许加在它两端的反向电压的峰值。 U_{RM} 一般为二极管反向击穿电压的一半。在实际选用二极管时, 应选择 U_{RM} 大于该电路的最大反向电压值, 否则, 二极管会发生反向击穿甚至损坏。

3. 反向电流 I_R

反向电流是指二极管在反向截止区的电流值。这个值越小,二极管的单向导电性越好。但 I_R 随温度的升高而迅速增加。

4. 最高工作频率 f_M

最高工作频率是指二极管具有单向导电性的最大工作频率。当工作频率超过 f_M 时,二极管将逐渐失去单向导电性。

1.2.3 二极管的简易检测及选择

一般在二极管的外壳上都标有二极管的符号或标志,可以据此直接判断二极管的正负极,如图 1.6 所示(标有符号“+”的端为正极)。

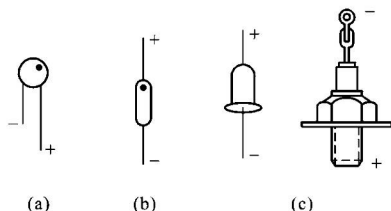


图 1.6 二极管的极性判断方法

(a) 开关管 (b) 普通管 (c) 整流管

如有一种贴片二极管,它的外表标志是:黑色并有极性标志(有色带端为负极)或一个引脚粗一个引脚细(粗端为负极)。

当从二极管的外表无法判断极性时,利用它的单向导电性,可以用万用表对其进行简易的检测判断。

1. 二极管的简易检测

(1) 用数字万用表检测

判断二极管的电极。将万用表转换开关拨到二极管图形符号所指挡位,用两表笔分别与二极管两极相接,读数;交换表笔,重复上述测量。其中表的示数为“1”的那次,黑表笔所接为二极管正极。

判断二极管的制造材料。将红表笔接二极管正极,黑表笔接二极管负极,表的示数为“600”左右的为硅管,表的示数为“200”左右的为锗管。

若正反测量都不符合上述要求的,说明二极管已损坏。

(2) 用指针万用表检测

判断二极管的电极。将万用表的转换开关拨到电阻挡(小功率管使用 $R \times 100 \Omega$ 或 $R \times 1 \text{ k}\Omega$ 挡,大功率管使用 $R \times 10 \Omega$ 或 $R \times 1 \Omega$ 挡),用表笔分别与二极管的两极相接,测出电阻;交换表笔再测量一次,则所测阻值较小的一次,黑表笔所接为二极管的正极(此时二极管正偏。万用表置于电阻挡时,黑表笔接表内电源的正极,红表笔接负极)。

判断二极管的制造材料。小功率管使用 $R \times 1 \text{ k}\Omega$ 挡,大功率管使用 $R \times 10 \Omega$ 挡。将黑表笔接二极管正极,红表笔接二极管负极,指针示数在“1”左右的是锗管,指针示数在“5”左右的是硅管。