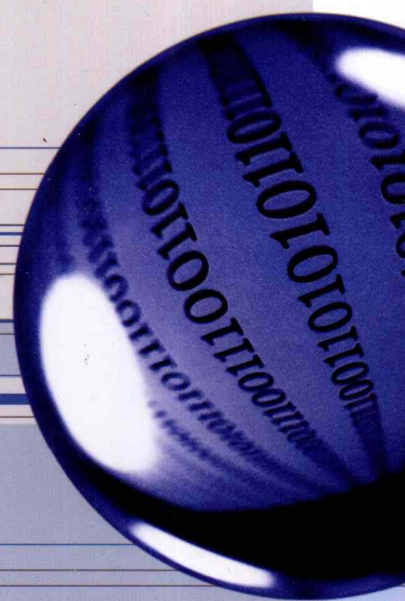


新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材·应用电子技术专业



低频 电子线路 (第2版)

刘树林 主编 杨建翔 副主编
赵宝魁 主审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·应用电子技术专业

低频电子线路

(第 2 版)

刘树林 主 编

杨建翔 副主编

赵宝魁 主 审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书从电子信息类专业学生对电子技术知识的实际需求出发,以“淡化理论,够用为度”为指导原则,介绍了常用半导体器件(二极管、稳压管、三极管、场效应管和晶闸管等)和集成运算放大器及其所组成电路的原理和基本分析方法。为使学生掌握更多的实用技能,加强实际动手能力的训练,书中还附有各类常用元器件、仪器及电路焊接的基本知识,每章均有实用性较强的实训实例。

本书可作为机械和电子信息类专业的高职高专教材,也可作为其他相关专业的参考教材,还可供从事电子技术工作的工程技术人员学习和参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

低频电子线路/刘树林主编. —2版. —北京:电子工业出版社,2009.1
新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材·应用电子技术专业
ISBN 978-7-121-07313-7

I. 低… II. 刘… III. 低频—电子电路—高等学校—教材 IV. TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第133967号

策划编辑:陈晓明

责任编辑:宋兆武 何 况

印 刷: 北京牛山世兴印刷厂
装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:17.25 字数:441.6千字

印 次:2009年1月第1次印刷

印 数:4000册 定价:26.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@sphci.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@sphci.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

参加“新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材”
编写的院校名单（排名不分先后）

桂林工学院南宁分院

江西信息应用职业技术学院

江西蓝天职业技术学院

吉林电子信息职业技术学院

保定职业技术学院

安徽职业技术学院

杭州中策职业学校

黄石高等专科学校

天津职业技术师范学院

福建工程学院

湖北汽车工业学院

广州铁路职业技术学院

台州职业技术学院

重庆工业高等专科学校

济宁职业技术学院

四川工商职业技术学院

吉林交通职业技术学院

连云港职业技术学院

天津滨海职业技术学院

杭州职业技术学院

重庆职业技术学院

重庆工业职业技术学院

广州大学科技贸易技术学院

湖北职业技术学院

江西工业工程职业技术学院

四川工程职业技术学院

广东轻工职业技术学院

西安理工大学

辽宁大学高职学院

天津职业大学

天津大学机械电子学院

九江职业技术学院

包头职业技术学院

北京轻工职业技术学院

黄冈职业技术学院

郑州工业高等专科学校

泉州黎明职业大学

浙江财经学院信息学院

南京理工大学高等职业技术学院

南京金陵科技学院

无锡职业技术学院

西安科技大学

西安电子科技大学

河北化工医药职业技术学院

石家庄信息工程职业学院
三峡大学职业技术学院
桂林电子工业学院高职学院
桂林工学院
南京化工职业技术学院
湛江海洋大学海滨学院
江西工业职业技术学院
江西渝州科技职业学院
柳州职业技术学院
邢台职业技术学院
漯河职业技术学院
太原电力高等专科学校
苏州经贸职业技术学院
金华职业技术学院
河南职业技术师范学院
新乡师范高等专科学校
绵阳职业技术学院
成都电子机械高等专科学校
河北师范大学职业技术学院
常州轻工职业技术学院
常州机电职业技术学院
无锡商业职业技术学院
河北工业职业技术学院
天津中德职业技术学院

安徽电子信息职业技术学院
浙江工商职业技术学院
河南机电高等专科学校
深圳信息职业技术学院
河北工业职业技术学院
湖南信息职业技术学院
江西交通职业技术学院
沈阳电力高等专科学校
温州职业技术学院
温州大学
广东肇庆学院
湖南铁道职业技术学院
宁波高等专科学校
南京工业职业技术学院
浙江水利水电专科学校
成都航空职业技术学院
吉林工业职业技术学院
上海新侨职业技术学院
天津渤海职业技术学院
驻马店师范专科学校
郑州华信职业技术学院
浙江交通职业技术学院
广州市今明科技有限公司
江门职业技术学院

前 言

《低频电子线路》是电子信息类各专业的一门专业技术基础课，内容抽象，理论性和实践性都较强。如何将本教材编好，以激发学生的学习兴趣和学习热情，是编者多年的夙愿。2003 年，编者将多年从事低频电子线路教学工作及应用研究的经验和体会整理成书，并在电子工业出版社的支持下出版发行。自本教材出版以来，即受到相关院校师生及工程技术人员的好评和欢迎，至今已重印六次。使用本教材的院校和老师还提出了许多宝贵的建议，并期待着对《低频电子线路》尽快进行修订；同时，考虑到低频电子线路及其应用一直在向前发展，鉴于此，为进一步适应现代社会发展对应用型和技能型人才的需求，实现高等教育，尤其是高职高专教育的培养目标，编者在保持原书理论体系和特色的基础上，主要做了以下几个方面的修改和补充。

1. 为加强学生的动手能力，进而培养其创新能力，以较大篇幅增加了基本技能和实训内容（25 个实训题目）及第 9 章综合技能训练。

2. 为增强学生分析问题和解决问题的能力，加强学生对所学内容的理解，每章的课后习题内容均有所增加。

3. 将原版中的第 2 章三极管及其放大电路分为三极管及其应用（第 2 章）和场效应晶体管及其应用（第 3 章）两章进行介绍。

4. 根据使用本教材的院校和老师的建议，第 2 版增加了二极管实用模型、深度负反馈电路的计算、对数与指数电路运算、四种有源滤波电路、整流电路的参数、开关电源的性能指标等内容。

5. 删去了第 8 章电子线路读图，同时增加了第 9 章综合技能训练。

编写《低频电子线路》（第 2 版）的指导思想仍然是以半导体分立元件为基础，集成电路及其应用为重点。在介绍半导体二极管、三极管的基础上，着重介绍集成电路及其应用，如集成功率放大器、集成运算放大器、集成波形（函数）发生器、集成三端稳压器和单片开关电源集成控制器等。

《低频电子线路》（第 2 版）的编写原则是：淡化理论，够用为度；深入浅出，注重实用；语言流畅，条理清晰。在对具体问题进行分析时，避免采用烦琐的公式推导，力求结合图、表和波形，用通俗流畅的语言对一些难于理解的问题进行由浅入深的分析。

本教材建议学时数为 80~100（包括实训），可根据各院校的具体情况而定。

本书第 2、4、6、7、8 章由刘树林编写，第 1、3、5、9 章及各章后面的实训内容由杨建翔编写，刘树林负责全书的统稿和定稿。全书由赵宝魁教授主审，赵教授仔细审阅了书稿，提出了许多宝贵的建议，在此表示衷心的感谢。

在本书的编写过程中，得到了西安科技大学电控学院、通信学院各位同人的大力支持与热情帮助，他们为本书的编写提供了许多宝贵资料。李艳同志协助完成了部分书稿的整理和文字处理等工作，在此一并表示感谢。

同时向使用本教材并提出宝贵建议的院校和老师及所有关心和协助本书编写、出版的同志一并表示谢意。

由于编写时间仓促、编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2008 年 3 月于西安

常用符号说明

1. 电流和电压

I_B 、 U_{BE} —— 大写字母、大写下标表示直流电流和直流电压

I_b 、 U_{be} —— 大写字母、小写下标表示交流电流和电压有效值

$\dot{I}_b$ 、 $\dot{U}_{be}$ —— 大写字母上面加点、小写下标表示电流和电压正弦相量

i_B 、 u_{BE} —— 小写字母、大写下标表示总电流和电压瞬时值

i_b 、 u_{be} —— 小写字母、小写下标表示交流电流和电压分量瞬时值

U_{CC} 、 U_{EE} 、 U_{DD} 、 U_{BB} —— 直流电源电压

U_{REF} —— 参考电压

I_+ 、 U_+ —— 集成运放同相输入端的电流、电压

I_- 、 U_- —— 集成运放反相输入端的电流、电压

I_f 、 U_f —— 反馈电流、电压

I_i 、 U_i —— 输入电流、电压

I_o 、 U_o —— 输出电流、电压

2. 放大倍数或增益

A —— 放大倍数或增益的通用符号

A_c —— 共模电压放大倍数

A_d —— 差模电压放大倍数

A_i —— 电流放大倍数

A_u —— 电压放大倍数、增益

A_{uf} —— 有反馈时（闭环）电压放大倍数、增益

A_{us} —— 考虑信号源内阻时的电压放大倍数、增益

A_{usf} —— 有反馈且考虑信号源内阻时的电压放大倍数、增益

α —— 共基电流增益

β —— 共射电流增益

3. 电阻、电容和电感

R —— 固定电阻通用符号

RP —— 电位器通用符号

R_i —— 输入电阻

R_o —— 输出电阻

R_L —— 负载电阻

R_S —— 信号源内阻

R_F —— 反馈电阻

R_T —— 热敏电阻

C —— 电容通用符号

C_i —— 输入电容

C_o —— 输出电容

C_F —— 反馈电容

L —— 电感通用符号

4. 半导体元件及其相关参数

VT —— 双极型三极管、场效应管、晶闸管通用符号

VD —— 半导体二极管通用符号

VZ —— 稳压二极管通用符号

A、K —— 二极管的阳极、阴极

B、C、E —— 三极管的基极、集电极、发射极

D、G、S —— 场效应管的漏极、栅极、源极

f_T —— 三极管特征频率

I_{CM} —— 集电极最大容许电流

I_{DSS} —— 场效应管饱和漏极电流

I_S —— 二极管反向饱和电流

I_Z —— 稳压管稳定电流

P_{CM} —— 三极管集电极最大允许耗散功率

P_{DM} —— 场效应管漏极最大允许耗散功率

U_{BR} —— 二极管反向击穿电压

U_{CES} —— 三极管集电极—发射极间的饱和压降

U_{CEO} —— 三极管基极开路时集电极—发射极间的反向击穿电压

U_Z —— 稳压二极管稳定电压

U_P —— 耗尽型场效应管夹断电压

U_T —— 增强型场效应管开启电压

5. 其他符号

Q —— 静态工作点

F —— 频率通用符号

P —— 功率通用符号

P_o —— 输出功率

P_{OM} —— 输出功率最大值

F —— 反馈系数通用符号

T 、 t —— 时间、周期、温度

τ —— 时间常数

ω —— 角频率

φ —— 相位差、相角

BW —— 频带宽度

η —— 效率

K_{CMR} —— 共模抑制比

目 录

第 1 章 半导体二极管及其应用	1
1.1 PN 结与二极管	1
1.1.1 PN 结及其单向导电性	1
1.1.2 二极管及其伏安特性	2
1.1.3 二极管的主要参数	3
1.2 二极管的实用简化模型	5
1.2.1 理想二极管模型	5
1.2.2 恒压降二极管模型	6
1.2.3 折线近似的二极管模型	6
1.3 二极管的分类和应用	7
1.3.1 普通整流二极管及其应用	7
1.3.2 稳压二极管及其应用	8
1.3.3 光电二极管及其应用	11
1.3.4 发光二极管及其应用	11
1.4 基本技能	12
1.4.1 常用元器件的测量方法	12
1.4.2 焊接常识	16
1.5 技能训练	17
1.5.1 二极管的测试和判别	17
1.5.2 简易整流电路的制作	20
思考题和习题 1	21
第 2 章 双极型三极管及其应用	23
2.1 双极型三极管	23
2.1.1 三极管的结构和分类	23
2.1.2 三极管的电流分配与放大作用	24
2.1.3 三极管的伏安特性和主要参数	27
2.2 共射放大电路的组成和工作原理	31
2.2.1 放大电路原理及主要性能指标	31
2.2.2 共射放大电路的构成和原理	33
2.2.3 放大电路的组成原则	35
2.3 放大电路的分析方法	36
2.3.1 直流通路和交流通路	36
2.3.2 静态工作点与静态分析	37
2.3.3 动态分析——图解分析法	39
2.3.4 动态分析——微变等效电路分析法	45

2.4	静态工作点稳定放大电路	48
2.4.1	温度对静态工作点的影响	48
2.4.2	稳定静态工作点放大电路	49
2.5	基本放大电路的三种组态	52
2.5.1	共基放大电路	52
2.5.2	共集放大电路	55
2.5.3	三种基本放大电路的比较	58
2.6	放大电路的频率响应	59
2.6.1	频率响应概述	59
2.6.2	三极管的频率特性	60
2.6.3	单管共射放大电路的频率响应	63
2.7	基本技能训练	65
2.7.1	常用仪器仪表的使用	65
2.7.2	三极管的测试和极性判别	70
2.7.3	单管共射放大电路及参数测试	73
2.7.4	三极管构成的简易触摸开关制作	76
思考题和习题 2		77
第 3 章 场效应晶体管及其应用		81
3.1	场效应晶体管	81
3.1.1	结型场效应管的结构、原理和分类	81
3.1.2	绝缘栅场效应管的结构、原理和分类	83
3.1.3	场效应管的主要参数	84
3.2	场效应管放大电路	86
3.2.1	基本共源极放大电路	86
3.2.2	分压式自偏压共源极放大电路	87
3.2.3	共漏极放大电路	89
3.3	基本技能训练	90
3.3.1	场效应管的特点及使用注意事项	90
3.3.2	场效应管的测试和极性判别	91
3.3.3	场效应管放大电路	92
思考题和习题 3		96
第 4 章 放大电路中的反馈		98
4.1	反馈的概念	98
4.2	反馈的分类及其判别	99
4.2.1	正、负反馈及其判别	99
4.2.2	直流、交流反馈及其判别	100
4.2.3	电压、电流反馈及其判别	100
4.2.4	串联、并联反馈及其判别	101
4.2.5	负反馈的四种组态及其判别	101

4.3	负反馈对放大电路性能的影响	103
4.3.1	反馈放大电路的方框图及一般关系式	103
4.3.2	负反馈对放大倍数稳定性的影响	105
4.3.3	负反馈对输入和输出电阻的影响	106
4.3.4	负反馈可减小非线性失真	106
4.3.5	负反馈可展宽通频带	107
4.4	深度负反馈电路的分析计算	107
4.5	负反馈放大电路的稳定性问题	109
4.5.1	负反馈放大电路的自激振荡问题	109
4.5.2	防止振荡的措施	110
4.6	基本技能训练	111
4.6.1	负反馈放大电路的应用	111
4.6.2	电压跟随器应用	113
	思考题和习题 4	116
第 5 章	低频功率放大电路	120
5.1	功率放大电路的特点和分类	120
5.1.1	对功率放大电路的要求	120
5.1.2	功率放大器的分类	121
5.2	互补对称功率放大电路	122
5.2.1	乙类双电源互补对称功率放大电路 (OCL 电路)	122
5.2.2	甲乙类互补对称功率放大器	125
5.2.3	单电源互补对称功率放大器 (OTL 电路)	126
5.3	集成功率放大器	127
5.3.1	集成功率放大电路分析	127
5.3.2	集成功率放大电路的主要性能指标	128
5.3.3	集成功率放大电路的应用	129
5.4	基本技能训练	131
5.4.1	集成功率放大器安装与测试	131
5.4.2	有源音箱功率放大电路的制作	133
	思考题和习题 5	137
第 6 章	多级放大电路与集成运算放大器	139
6.1	多级放大电路	139
6.1.1	多级放大电路的组成	139
6.1.2	多级放大电路的耦合方式	139
6.2	差动放大电路	141
6.2.1	概述	141
6.2.2	基本的差动放大电路	141
6.2.3	射极耦合差动放大电路	143
6.2.4	恒流源式差动放大电路	146
6.2.5	差动放大电路的输入/输出连接方式	147

6.3	集成运算放大器	148
6.3.1	集成电路及其分类	148
6.3.2	集成运算放大器的基本组成	148
6.3.3	集成运算放大器的主要技术指标	149
6.3.4	集成运算放大器的分类	150
6.4	理想运算放大器	151
6.4.1	理想运算放大器的技术指标	152
6.4.2	理想运算放大器工作在线性区的特点	152
6.4.3	理想运算放大器工作在非线性区的特点	153
6.5	集成运放的线性应用之一——基本的信号运算电路	154
6.5.1	比例运算电路	154
6.5.2	加法和减法运算	157
6.5.3	积分和微分运算	159
6.5.4	指数和对数运算	160
6.6	集成运放的线性应用之二——有源滤波器电路	161
6.6.1	滤波电路的种类和用途	161
6.6.2	有源低通滤波电路	162
6.6.3	有源高通滤波电路	164
6.6.4	有源带通滤波电路	165
6.7	集成运放的非线性应用	166
6.7.1	简单电压比较器	166
6.7.2	双限比较器	168
6.7.3	滞回比较器	168
6.8	集成运放应用需注意的几个问题	170
6.8.1	集成运放参数的测试	171
6.8.2	集成运放使用中可能出现的问题	171
6.8.3	集成运放的保护	171
6.9	基本技能训练	172
6.9.1	集成运算放大器的参数测试	172
6.9.2	电平指示电路制作与调试	175
	思考题和习题 6	176
第 7 章	波形发生器	180
7.1	振荡电路概述	180
7.1.1	产生正弦波振荡的条件	180
7.1.2	振荡电路的组成	181
7.1.3	正弦波振荡电路的分析	181
7.2	RC 桥式正弦波振荡电路	182
7.2.1	RC 串并网络的选频特性	182
7.2.2	RC 桥式正弦波振荡电路的振荡频率和起振条件	184
7.2.3	稳幅措施	184

7.2.4	频率的调节	185
7.3	LC 正弦波振荡电路	186
7.3.1	LC 选频放大电路	186
7.3.2	变压器反馈式振荡电路	187
7.3.3	电感三点式振荡电路	188
7.3.4	电容三点式振荡电路	190
7.4	石英晶体振荡电路	191
7.4.1	正弦波振荡电路的频率稳定问题	191
7.4.2	石英晶体的基本特性与等效电路	191
7.4.3	石英晶体振荡电路	192
7.5	非正弦波产生电路	193
7.5.1	矩形波发生器	193
7.5.2	三角波发生器	194
7.5.3	锯齿波发生器	195
7.5.4	集成函数发生器 8038 简介	196
7.6	基本技能训练	198
7.6.1	正弦波振荡电路的安装与调试	198
7.6.2	简易电子门铃的制作	200
7.6.3	无线话筒的组装及调试	204
	思考题和习题 7	207
第 8 章	直流电源	211
8.1	直流电源的组成	211
8.2	单相整流电路	212
8.2.1	整流电路的基本参数	212
8.2.2	单相半波整流电路	212
8.2.3	单相全波整流电路	213
8.2.4	单相桥式全波整流电路	214
8.2.5	倍压整流电路	215
8.3	单相可控整流电路	216
8.3.1	可控硅(晶闸管)简介	216
8.3.2	单相半波可控整流电路	218
8.3.3	单相桥式可控整流电路	219
8.4	滤波电路	221
8.4.1	电容滤波电路	221
8.4.2	电感滤波电路	223
8.4.3	组合滤波电路	223
8.5	晶体管稳压电路	224
8.5.1	基本串联型稳压电路	224
8.5.2	带有放大环节的串联型稳压电路	225
8.5.3	具有过载保护环节的稳压电路	226

8.6	集成稳压器	226
8.6.1	固定三端稳压器	227
8.6.2	可调三端稳压器	227
8.7	开关电源	228
8.7.1	概述	228
8.7.2	开关电源的组成和工作原理	229
8.7.3	开关电源的质量指标	231
8.7.4	实用的开关电源	232
8.8	基本技能训练	235
8.8.1	三端集成稳压器的测试与应用	235
8.8.2	串联型稳压电源的安装与调试	237
	思考题和习题 8	241
第 9 章	综合技能训练	244
9.1	概述	244
9.2	六管超外差式收音机的设计	244
9.2.1	六管超外差式收音机的设计要求	244
9.2.2	六管超外差式收音机的设计方案	244
9.2.3	六管超外差式收音机电路设计	245
9.2.4	六管超外差式收音机电路安装与调试	246
9.2.5	六管超外差式收音机制作结果及功能分析	249
9.3	亚超声遥控开关的设计	250
9.3.1	亚超声遥控开关设计要求	250
9.3.2	亚超声遥控开关设计方案	250
9.3.3	亚超声遥控开关电路设计	250
9.3.4	亚超声遥控开关电路安装与调试	252
9.3.5	亚超声遥控开关制作结果及功能分析	253
9.4	充电器的组装及调试	254
9.4.1	充电器设计要求	254
9.4.2	充电器设计方案	254
9.4.3	充电器电路设计	254
9.4.4	充电器电路安装与调试	255
9.4.5	充电器制作结果及功能分析	258
	参考文献	259

第 1 章 半导体二极管及其应用

序号	本章要点	特 点		重点和难点
1	半导体 (Si、Ge)	杂敏性、热敏性、光敏性		P 型和 N 型半导体, PN 结
2	二极管	普通二极管	在 PN 结两端引出电极而形成	单向导电性、整流、钳位
		发光二极管	由化合物半导体 GaAs、GaP 形成	正向应用, 可发红、黄、绿等光
		稳压二极管	反向应用	典型电路, 限流电阻的选择
		光电二极管	反向应用	反向电流与光照强度成正比
3	二极管简化模型	理想模型、恒压降模型、折线模型		实际应用

1.1 PN 结与二极管

1.1.1 PN 结及其单向导电性

自然界中的物质按导电能力强弱的不同, 可以分为 3 大类: 导体、绝缘体和半导体。导体是导电能力特别强的物质, 如一般的金属、碳和电解液等; 绝缘体是导电能力特别差, 几乎不导电的物质, 如胶木、橡胶和陶瓷等; 半导体是导电能力介于导体和绝缘体之间的物质, 常用的半导体材料有锗 (Ge)、硅 (Si) 和砷化镓 (GaAs) 等, 大多数半导体器件所用的主要材料就是锗和硅。

尽管半导体的导电性能不如导体, 绝缘性能又不如绝缘体, 但半导体却得到了广泛的应用。现代电子技术的发展实际上就是半导体技术的发展, 为什么半导体技术会有如此大的影响力呢? 主要在于半导体具有如下一些奇妙特性。

(1) 杂敏性: 半导体对杂质很敏感。在半导体硅中只要掺入亿分之一的硼 (B), 电阻率就会下降到原来的五百万分之一。人们就用控制掺杂的方法, 精确地控制半导体的导电能力, 制造出各种不同性能、不同用途的半导体器件, 如普通半导体二极管、三极管、晶闸管、电阻和电容等。

而且, 在半导体中不同的部分掺入不同的杂质就呈现不同的性能, 再采用一些特殊工艺, 将各种半导体器件进行适当的连接就可制成具有某一特定功能的电路——集成电路, 甚至系统, 这是半导体最具魅力之处。

(2) 热敏性: 半导体对温度很敏感。温度每升高 10°C , 半导体的电阻率就减小为原来的 $1/2$ 。这种特性对半导体器件的工作性能有许多不利的影响, 但利用这一特性可制成自动控制中有用的热敏电阻, 热敏电阻可以感知万分之一摄氏度的温度变化。

把热敏电阻装在机器的各个重要部位, 就能集中控制和测量它们的温度。用热敏电阻制作的恒温调节器, 可以把环境温度稳定在上下不超过 0.5°C 的范围。在农业上, 热敏电阻制成的感测装置能准确地测出植物叶面的温度和土壤的温度。它还能测量辐射, 几百米远人体发出的热辐射或 1000 米外的热源都能方便地测出。

(3) 光敏性: 半导体对光照很敏感。半导体受光照射时, 它的电阻率会显著减小。例如, 一种硫化镉 (CdS) 的半导体材料, 在一般灯光照射下, 它的电阻率是移去灯光后的几

十分之一或几百分之一。自动控制中用的光电二极管、光电三极管和光敏电阻等，就是利用这一特性制成的。

应用光电器件可以实现路灯、航标灯的自动控制，制成火灾报警装置，可以进行产品自动计数，实现机器设备的人身安全保护等。

在纯净的半导体（又称为本征半导体）中掺入杂质就成了杂质半导体，根据其内部掺入杂质的不同，可将杂质半导体分为两类。

（1）P 型半导体，又称为空穴型半导体。它是在半导体中掺入三价元素，多子为空穴，少子为电子。

（2）N 型半导体，又称为电子型半导体。它是在半导体中掺入五价元素，多子为电子，少子为空穴。

电子带负电，空穴带正电，因此电子和空穴的定向运动就形成了电流。电子和空穴同时参与导电，是半导体与导体导电的本质区别。

如果在半导体的一侧掺入三价元素，另一侧掺入五价元素，则半导体的一侧为 P 型，另一侧为 N 型，在 P 型与 N 型的交界处就形成了一块特殊的区域，成为 PN 结。PN 结具有单向导电性，正是利用了 PN 结具有单向导电性这一奇妙的特性，人们制造出了如二极管、三极管、场效应管、晶闸管等众多的半导体器件，甚至电路。

本章主要介绍二极管的特性及其应用。

1.1.2 二极管及其伏安特性

在 PN 结的两端引出两个电极，并在外面装上管壳，就成为半导体二极管。

1. 二极管的结构和符号

半导体二极管的结构、符号和外形如图 1.1 所示。接在 P 区的引出线称为二极管的阳极，用 A 表示；接在 N 区的引出线称为二极管的阴极，用 K 表示。

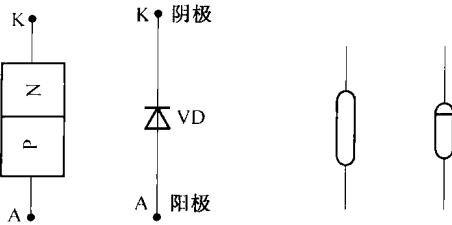


图 1.1 半导体二极管的结构、符号和外形

2. 二极管的伏安特性

加在二极管两端的电压与流过二极管电流的关系称为二极管的伏安特性，二极管两端电压与流过二极管的电流可用如图 1.2（a）和图 1.2（b）所示电路进行测试。

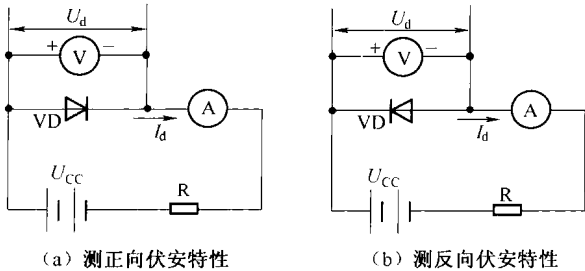


图 1.2 测试二极管伏安特性电路