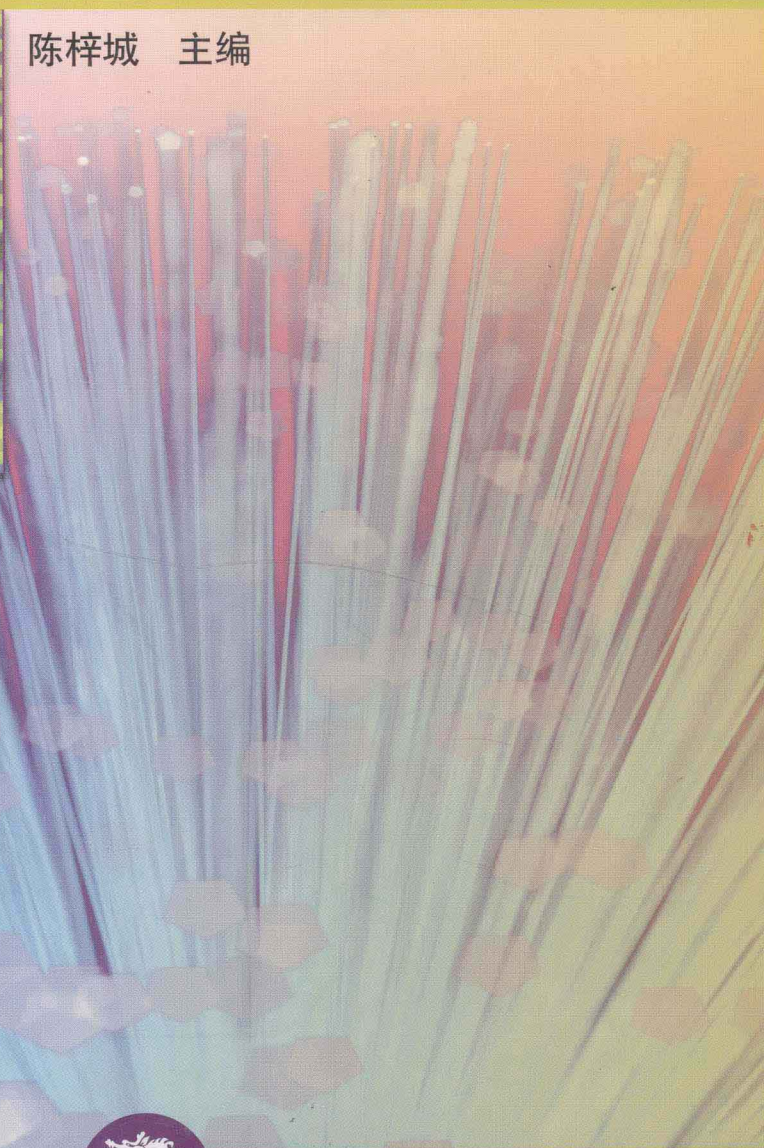
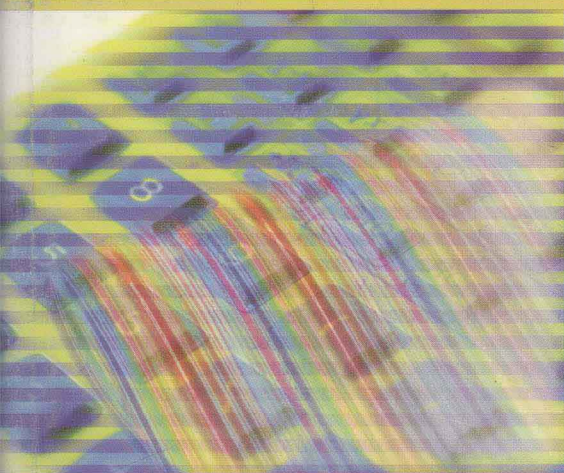


高等职业学校电子信息类、电气控制类专业系列教材

# 模拟电子技术

陈梓城 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

# 模拟电子技术

陈梓城 主编

高等教育出版社

## 内容简介

本书是根据高职、高专电子信息类专业模拟电子技术课程教学基本要求编写的。

本书主要内容包括:半导体二极管及其应用、晶体管及其放大电路、集成运放基础及负反馈电路、集成运放的应用、功率放大器、信号产生电路、直流稳压电路、光电子器件及其应用、晶闸管电路及其应用等,附录中编有 EWB 等内容。在编写过程中充分考虑学生掌握知识的特点和能力,力求做到以培养电子技术应用能力为主线并遵循“精选内容、加强实践、培养能力、突出应用”的原则,加强职业针对性,与传统教材相比,增加电路调试、实用电路示例等内容,增强实用性,增加新型器件及其应用,如集成基准电压源、三端单片开关电源、集成光电隔离放大器、液晶显示器、固态继电器等,突出教学内容先进性。该书是作者长期高职教学实践和工程实践经验的总结。

本书适用于高等职业技术学院、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校电子信息类专业,也可供工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术 / 陈梓城主编. —北京: 高等教育出版社, 2004. 6 (2005 重印)  
ISBN 7-04-013887-5

I. 模... II. 陈... III. 模拟电路 - 电子技术 - 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 015108 号

策划编辑 李宇峰 责任编辑 刘素馨 封面设计 于涛 责任绘图 朱静  
版式设计 王艳红 责任校对 杨雪莲 责任印制 宋克学

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 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 北京凌奇印刷有限责任公司

开 本 787×1092 1/16  
印 张 19.75  
字 数 480 000

购书热线 010-58581118  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landraco.com>  
<http://www.landraco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2004 年 6 月第 1 版  
印 次 2005 年 12 月第 3 次印刷  
定 价 24.40 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

物料号 13887-00

# 前 言

本教材为高等职业技术教育电类专业的技术基础课教材。它是根据高职电类专业模拟电子技术课程教学基本要求编写的。

本教材编写过程中,遵循“精选内容、加强实践、培养能力、突出应用”的原则,力求做到以培养电子技术应用能力为主线,并注意了以下问题:

(1) 加强针对性。教学内容针对电类专业高等技术应用性人才岗位(群)所需的知识、能力来编写。使学生掌握电子电路基本分析方法,具有常用元器件选用能力、常用电子电路读图能力、常用电路设计能力、常用电路调试能力、电路简单故障分析排除能力等;使本课程不仅为专业课学习打基础、为培养再学习能力服务,而且直接地为培养职业能力服务。

(2) 增强实用性。编写过程中力图使教学内容与企业生产现状基本相符,做到理论联系实际,学以致用。淡化公式推导,重在教学生学会元器件和电子电路在实际中的应用。讲述元器件重在外特性、引脚识别、使用注意事项、性能简易测试等实用知识的阐述。讲述电子电路在讲清工作原理后即介绍应用示例、元器件选择计算、电路调试、故障排除等。

(3) 突出教学内容先进性。为使教学内容适应电子技术飞速发展的新形势,突出集成电路及其应用,如集成运放、集成稳压器、集成功放等。并在传统教材的基础上增加了三端单片集成开关电源、集成基准源、集成  $U/I$ 、 $I/U$  变换器、集成比较器、开关电容滤波器、集成光电隔离放大器等器件及其应用,简介微型二极管、三极管。光电子技术基础单独成章,附录中编有 EWB 及其应用等。

(4) 为增强教材的适用性,知识传授尽量建立在物理概念的基础上,在通俗易懂、降低难度上下功夫,删除传统教材中载流子运动部分;为降低负反馈电路难度,将集成运放基础知识与负反馈合编为一章,重点介绍集成运放构成的负反馈电路,简介分立元件负反馈电路。本教材既适用于初中毕业生五年制高职,又可用于招收高中毕业生的三年制高职、高专和成人高校,也可供工程技术人员参考。

(5) 每章编有自我检测试题,力图做到简洁明快,便于检测知识掌握情况。习题中增加具有实用价值和有利于培养分析问题解决问题能力的题目。

(6) 首次出现的专业术语加英语标注。

本教材教学时数为 70~94 课时,\* 部分为选学内容,教学过程中可根据专业的不同和各校实际情况选用。

为了便于组织教学,现将学时分配建议列表如下。



章节序号	章节标题	参考教学时数	
		下限时数	上限时数
	绪论	1	1
第 1 章	半导体二极管及其应用	7	7
第 2 章	晶体管及其应用	16	18
第 3 章	集成运放基础及负反馈电路	10	10
第 4 章	集成运算放大器的应用	12	14
第 5 章	功率放大器	7	8
第 6 章	波形产生与变换电路	4	12
第 7 章	直流稳压电源	6	8
第 8 章	光电子器件及其应用	7	8
* 第 9 章	晶闸管电路及其应用		8
	合计	70	94

本教材与孙丽霞主编的《数字电子技术》为配套教材,是在同一指导思想下统筹编写的。

本教材由陈梓城教授任主编并负责统稿工作,宋嘉玉、邓海、李伟明参编。其中宋嘉玉编写了第 3 章、第 4 章;邓海编写了第 2 章、第 5 章、附录 A;李伟明编写了第 8 章、第 9 章;陈梓城编写了绪论、第 1 章、第 6 章、第 7 章及附录 B。

本教材书稿于 2001 年组织编写,2002 年完稿。由东南大学谢嘉奎教授任主审,他对编写提纲及书稿进行了认真仔细审阅,并提出了许多宝贵意见和建议。谢嘉奎教授不幸于 2003 年 6 月因病逝世,在本书出版之机,对他为我国高等教育事业贡献毕生精力,作出杰出贡献,表示崇高的敬意!

由于编者水平有限,错误与不妥之处在所难免,恳请同行和读者指正。

编者

# 本书常用符号表

$A$	增益、放大倍数
$A(a)$	整流元件的阳极(正极)
$A_u$	电压增益
$A_i$	电流增益
$A_{ud}$	差模电压增益
$A_{uc}$	共模电压增益
$A_{od}$	开环差模电压增益
$A_{uf}$	闭环电压增益
$B(b)$	BJT 的基极
$BW$	频带宽度(通频带)
$C_e$	发射极的旁路电容
$C_{be}$	基极-发射极电容
$C_{bc}$	基极-集电极电容
$C_f$	反馈电容
$C(c)$	BJT 的集电极
$D(d)$	场效应管漏极
$D$	占空比
$F$	反馈系数
$f$	频率
$f_L$	放大器下限频率
$f_H$	放大器上限频率
$f_M$	最高工作频率
$f_0$	中心频率
$f_T$	特征频率
$f_\alpha$	BJT 共基极截止频率
$f_\beta$	BJT 共射极截止频率
$G(g)$	场效应管的栅极
$g_m$	跨导
GND	地
$I, i$	电流
$I_{CBO}$	发射极开路 c-b 间反向饱和电流

$I_{CEO}$	基极开路 c - e 间反向饱和电流
$I_i, i_i$	输入电流
$I_o, i_o$	输出电流
$I_L$	负载电流
$I_{L(AV)}$	负载电流平均值
$I_{IB}$	输入偏置电流
$I_{IO}$	输入失调电流
$I_F$	整流电流(二极管正向电流)
$I_R$	反向电流
$I_{ZM}$	稳压管最大稳定电流
$K_{CMR}$	共模抑制比
$L$	电感
$M$	互感
$P_C$	集电极耗散功率
$P_{CM}$	集电极最大允许功率
$P_c$	集电极管耗
$P_{cm}$	集电极最大管耗
$P_o$	输出功率
$P_{om}$	最大输出功率
$P_v$	电源功率
$Q, q$	电荷, 品质因数
$Q$	静态工作点
$R_b, R_e, R_c$	接于 BJT 基极、发射极、集电极的电阻
$R_s$	信号源电阻
$R_L$	负载电阻
$R_p$	电位器、可调电阻
$r_{be}$	BJT 的输入电阻
$R_i$	放大电路交流输入电阻
$R_o$	放大电路交流输出电阻
$R_f$	反馈电阻
$S$	开关
$S_u$	电压调整率
$S_\gamma$	稳压系数
$S_R$	转换速率
$T$	温度
$T$	变压器
$t$	时间
$THD$	非线性失真系数

$U, u$	电压
$U_F$	二极管导通正向电压
$U_S, u_s$	信号源电压
$U_i, u_i$	输入电压
$U_T$	温度的电压当量
$U_{th}$	阈值电压、门槛电压、开启电压
$U_{REF}$	参考电压
$U_{(BR)CEO}$	基极开路、集电极 - 基极反向击穿电压
$U_{CE(sat)}$	BJT 饱和压降
$U_{(BR)CBO}$	发射极开路、集电极 - 基极反向击穿电压
$U_Z$	稳压管稳压值
$V_{CC}$	接 BJT 集电极电源
$V_{EE}$	接 BJT 发射极电源
$V_{BB}$	接 BJT 基极电源
$V_{DD}$	接 FET 漏极电源
$X, x$	电抗, 反馈电路中信号量
$Z, z$	阻抗
$\alpha$	BJT 共基接法电流放大系数
$\eta$	效率
$\varphi$	相角
$\beta$	BJT 共射接法电流放大系数
$\tau$	时间常数
$\omega$	角频率

表 1 晶体管各电压和电流符号规定(以 BJT 为例)表

项目	静态值(直流)	交流或随时间变化的分量			总量(直流 + 交流)
		瞬时值	有效值	相量	
集电极电压	$U_C$	$u_c$	$U_c$	$\dot{U}_c$	$u_c = U_C + u_c$
集电极电流	$I_C$	$i_c$	$I_c$	$\dot{i}_c$	$i_c = I_C + i_c$
基极电压	$U_B$	$u_b$	$U_b$	$\dot{U}_b$	$u_b = U_B + u_b$
基极电流	$I_B$	$i_b$	$I_b$	$\dot{i}_b$	$i_b = I_B + i_b$
发射极电压	$U_E$	$u_e$	$U_e$	$\dot{U}_e$	$u_e = U_E + u_e$
发射极电流	$I_E$	$i_e$	$I_e$	$\dot{I}_e$	$i_e = I_E + i_e$



# 目 录

绪论 .....	1	影响 .....	33
第 1 章 半导体二极管及其应用 .....	4	2.1.5 晶体管的引脚判别及性能粗测 .....	36
1.1 半导体二极管 .....	4	2.1.6 微型晶体管简介 .....	37
1.1.1 半导体基础知识 .....	4	2.2 共射基本放大电路 .....	38
1.1.2 二极管的结构、类型、电路符号 .....	5	2.2.1 放大电路的基本要求 .....	38
1.1.3 二极管的伏安特性 .....	6	2.2.2 共射基本放大电路的组成、工作 原理 .....	38
1.1.4 温度对二极管特性的影响 .....	8	2.2.3 直流通路与交流通路 .....	40
1.1.5 二极管主要参数 .....	8	2.2.4 共射基本电路静态工作点 .....	41
1.1.6 二极管引脚识别及性能简易测试 .....	9	2.3 共射放大电路的图解分析 .....	42
1.2 特种二极管 .....	10	2.3.1 静态分析 .....	42
1.2.1 稳压二极管 .....	10	2.3.2 动态分析 .....	43
1.2.2 变容二极管 .....	11	2.3.3 静态工作点对输出波形的影响 .....	44
1.2.3 肖特基二极管 .....	11	2.4 分压式工作点稳定电路 .....	45
1.2.4 快速恢复二极管 .....	12	2.4.1 温度对静态工作点的影响 .....	45
1.2.5 SMT 与微型二极管简介 .....	12	2.4.2 分压式工作点稳定电路的组成 .....	46
1.3 二极管整流电路 .....	13	2.4.3 分压式工作点稳定电路的工作 原理 .....	46
1.3.1 单相半波整流电路 .....	14	2.4.4 静态工作点估算 .....	47
1.3.2 单相全波整流电路 .....	15	2.5 微变等效电路分析法 .....	47
1.3.3 单相桥式整流电路 .....	17	2.5.1 晶体管微变等效电路 .....	47
1.3.4 倍压整流电路 .....	19	2.5.2 基本共射电路 $A_u$ 、 $R_i$ 、 $R_o$ 估算 .....	49
1.4 滤波电路 .....	20	2.5.3 分压式工作点稳定电路 $A_u$ 、 $R_i$ 、 $R_o$ 估算 .....	50
1.4.1 电容滤波电路 .....	20	2.6 共集电路、共基电路 .....	52
1.4.2 电感电容滤波电路 .....	22	2.6.1 共集电路组成、工作原理 .....	52
1.4.3 $\pi$ 型滤波电路 .....	23	2.6.2 共集电路的性能及其应用 .....	53
本章小结 .....	24	2.6.3 共基电路 .....	54
自我检测题 .....	25	2.7 场效应管及其放大电路 .....	55
习题 .....	26	2.7.1 增强型绝缘栅场效应管的结构 及其工作原理 .....	55
第 2 章 半导体三极管及其放大电路 .....	28	2.7.2 耗尽型绝缘栅场效应管的结构 及其工作原理 .....	58
2.1 晶体管 .....	28	2.7.3 结型场效应管 .....	59
2.1.1 晶体管的结构、电路符号 .....	28		
2.1.2 晶体管的电流放大作用及其放大的 基本条件 .....	29		
2.1.3 晶体管的输入、输出特性曲线 .....	31		
2.1.4 晶体管的主要参数及温度对特性的			

2.7.4	场效应管的主要参数	61	3.4.1	负反馈的电路框图	102
2.7.5	场效应管的偏置电路	62	3.4.2	反馈深度和深度负反馈	103
2.7.6	场效应管放大电路性能指标 估算	63	3.5	负反馈对放大电路性能的影响	103
2.8	多级放大器	64	3.5.1	负反馈对放大器性能的影响	103
2.8.1	级间耦合方式	64	3.5.2	负反馈电路的自激振荡及其消除	104
2.8.2	多级放大电路性能参数估算	66	3.6	深度负反馈放大电路电压放大 倍数的估算	106
2.8.3	组合放大电路	66	3.6.1	深度负反馈电路的特点	106
2.9	共射放大电路的频率特性	68	3.6.2	深度负反馈放大电路电压放大倍数 的估算	106
2.9.1	频率响应的基本概念和波特图	68	*3.7	负反馈电路应用示例	109
2.9.2	BJT 频率参数及共射电路的 电容选择	71	3.7.1	音调控制电路	109
2.9.3	多级放大电路的频率特性	72	3.7.2	交流电压测量放大电路	110
*2.10	分立元件放大电路设计与 调试	73	本章小结		111
2.10.1	阻容耦合分压式工作点稳定电路 设计	73	自我检测题		112
2.10.2	分立元件放大电路的静态调试	75	习题		113
2.10.3	动态调试与性能指标测试	76	<b>第4章 集成运算放大器的应用</b>		117
本章小结		77	4.1	集成运放理想化条件和线性应 用条件	117
自我检测题		78	4.2	集成运放线性应用基本电路	118
习题		79	4.2.1	反相输入放大电路	118
<b>第3章 集成运放基础及负反馈电路</b>		84	4.2.2	同相输入放大电路	119
3.1	差分放大电路	84	4.2.3	差分输入放大电路	120
3.1.1	差分放大电路的组成和静态分析	84	4.3	运算电路	120
3.1.2	共模信号、差模信号及放大倍数	86	4.3.1	相加放大器	120
3.1.3	差模输入信号的动态分析	87	4.3.2	积分和微分电路	122
3.1.4	共模输入信号的动态分析	88	4.3.3	测量放大器	124
3.1.5	恒流源	91	4.3.4	模拟乘法器及其在运算电路中 的应用	125
3.1.6	失调、温漂及调零电路	93	4.4	集成运放在信号转换中的应用	127
3.2	集成运算放大器	94	4.4.1	电压-电流转换电路	127
3.2.1	概述	94	4.4.2	电流-电压转换电路	128
3.2.2	集成运算放大器的内部电路框图	96	4.4.3	精密整流电路	129
3.2.3	运算放大器的特性和主要参数	96	4.5	有源滤波器	129
3.2.4	典型的双运算放大器简介	98	4.5.1	滤波器的基本概念	129
3.3	负反馈电路	99	4.5.2	一阶低通滤波器	130
3.3.1	反馈	99	4.5.3	一阶高通滤波器	131
3.3.2	反馈的基本形式及其判别	99	4.5.4	二阶有源滤波器	131
3.3.3	反馈判别示例	100	4.5.5	带通滤波器和带阻滤波器	133
3.4	反馈的一般表达式	102	*4.5.6	开关电容滤波器	136

4.6 集成运算放大器的非线性应用 .....	138	6.1.3 振荡电路的组成和分析方法 .....	180
4.6.1 集成运放非线性应用条件 .....	138	6.1.4 正弦波振荡电路的分类 .....	181
4.6.2 电压比较器 .....	138	6.2 RC 正弦波振荡电路 .....	181
4.7 集成运放使用常识与应用示例 .....	142	6.2.1 文氏桥式 RC 正弦波振荡电路 .....	181
4.7.1 集成运放的选用 .....	142	6.2.2 RC 移相式正弦波振荡电路 .....	185
4.7.2 外接电阻器的选用 .....	143	6.3 LC 正弦波振荡电路 .....	186
4.7.3 性能参数测试 .....	143	6.3.1 LC 并联回路的频率特性 .....	186
4.7.4 集成运放电路的调试 .....	144	6.3.2 变压器反馈式 LC 正弦波振荡器 .....	187
4.7.5 集成运放的保护电路 .....	147	6.3.3 电感三点式振荡电路 .....	189
* 4.7.6 集成运放应用示例 .....	148	6.3.4 电容三点式振荡电路 .....	190
本章小结 .....	149	6.3.5 判断三点式振荡电路振荡与否的 简便方法 .....	192
自我检测题 .....	150	6.4 石英晶体振荡器 .....	194
习题 .....	151	6.4.1 石英晶体谐振器 .....	194
<b>第 5 章 功率放大电路</b> .....	<b>156</b>	6.4.2 晶体振荡电路 .....	196
5.1 低频功率放大电路概述 .....	156	6.5 非正弦信号发生器 .....	198
5.1.1 低频功率放大电路的特点和要求 ..	156	6.5.1 方波发生器 .....	198
5.1.2 功率放大电路的分类 .....	157	6.5.2 占空比可调的矩形波发生器 .....	199
5.1.3 低频功率放大电路的主要技术 指标 .....	157	6.5.3 三角波发生器与锯齿波发生器 .....	200
5.2 乙类互补对称功率放大电路 .....	158	* 6.5.4 集成函数信号发生器 .....	204
5.2.1 OCL 电路 .....	158	* 6.6 振荡电路的调试 .....	206
5.2.2 OTL 电路 .....	161	6.6.1 不能自动起振的调试 .....	206
5.2.3 采用复合管的互补对称功率放大 电路 .....	162	6.6.2 振荡幅度太小和波形不良的调整 ..	207
* 5.2.4 OTL、OCL 电路调试 .....	164	6.6.3 其它非正常振荡现象及其消除 .....	208
5.3 集成功率放大器 .....	165	本章小结 .....	209
5.3.1 典型单片功率放大器及其应用 .....	165	自我检测题 .....	210
5.3.2 典型单片功放实用电路 .....	167	习题 .....	212
* 5.3.3 BTL 电路 .....	168	<b>第 7 章 直流稳压电源</b> .....	<b>216</b>
* 5.3.4 集成功放电路的调试 .....	170	7.1 直流稳压电源的主要性能指标与 并联稳压电路 .....	216
* 5.4 功放管的安全使用 .....	171	7.1.1 直流稳压电源的主要性能指标 .....	216
5.4.1 功放管的二次击穿及其保护 .....	171	7.1.2 并联稳压电路组成及其工作原理 ..	217
5.4.2 功放管的散热 .....	172	7.1.3 并联稳压电路元器件选择 .....	218
本章小结 .....	174	7.1.4 并联稳压电源适用场合 .....	219
自我检测题 .....	175	7.2 串联反馈型稳压电路 .....	219
习题 .....	176	7.2.1 电路组成 .....	219
<b>第 6 章 信号产生与变换电路</b> .....	<b>178</b>	7.2.2 工作原理 .....	220
6.1 正弦波振荡电路的基本概念 .....	178	7.3 三端线性集成稳压电路与稳压 电源调试 .....	221
6.1.1 产生正弦波振荡的条件 .....	178	7.3.1 三端固定式线性集成稳压器 .....	221
6.1.2 起振与稳幅过程 .....	179		

7.3.2	三端固定式集成稳压器应用电路	222	习题	264
7.3.3	三端可调式集成稳压器	225	<b>* 第9章 晶闸管电路及其应用</b>	265
7.3.4	三端可调式集成稳压器基本应用电路	226	9.1 晶闸管结构及工作原理	265
7.3.5	集成稳压器的主要参数与简易测试	227	9.1.1 晶闸管的结构、电路符号	265
<b>* 7.3.6</b>	直流稳压电源调试	228	9.1.2 晶闸管工作原理	266
<b>* 7.4 集成基准电压源电路</b>		230	9.1.3 伏安特性及主要参数	268
7.4.1	带隙基准电压源的基本原理	230	9.1.4 其它晶闸管	270
7.4.2	MC1403 基准电压源及其应用	231	9.2 单相可控整流电路	271
7.4.3	ICL8069 型基准电压源	232	9.2.1 单相半波相控整流电路	271
7.4.4	LM399 精密基准电压源及其应用	233	9.2.2 阻性负载单相桥式半控整流电路	273
7.5 开关稳压电源		234	9.2.3 电感性负载半波可控整流电路及续流二极管	275
7.5.1	开关稳压电源基本原理	234	9.3 触发电路	276
7.5.2	由集成脉宽调制器组成开关电源	235	9.3.1 对晶闸管触发电路的要求	276
7.5.3	三端单片开关集成稳压器及其应用	236	9.3.2 单结晶体管的结构与特性	277
本章小结		240	9.3.3 单结晶体管触发电路	279
自我检测题		241	9.3.4 触发二极管及其应用简介	280
习题		242	9.3.5 集成触发电路简介	281
<b>第8章 光电子器件及其应用</b>		244	9.4 晶闸管电路应用示例及固态继电器	282
8.1 电-光器件及其应用		244	9.4.1 晶闸管电路应用示例	282
8.1.1	发光二极管	244	9.4.2 固态继电器	283
8.1.2	发光二极管的应用	246	本章小结	286
8.1.3	LED 数码管	247	自我检测题	286
8.1.4	LED 点阵显示器及其应用	248	习题	288
8.2 光-电器件及其应用		249	附录 A 模拟电路的软件仿真—— Electronics Workbench 简介	289
8.2.1	光电二极管及其应用	249	附录 B 表 B-1 中国半导体分立器件 型号的命名方法 (GB249—1974)	297
8.2.2	光电晶体管及其应用	252	表 B-2 国产硅半导体整流 二极管主要参数	298
8.2.3	光敏电阻器及其应用示例	253	表 B-3 2CW、2DW 型稳压二 极管的主要参数	299
8.2.4	太阳能电池	254	表 B-4 几种典型半导体三极 管主要参数	300
8.3 光电耦合器及其应用		256	参考文献	301
8.3.1	光电耦合器	256		
8.3.2	光电耦合器的应用	257		
8.3.3	集成光电隔离放大器及其应用	259		
<b>* 8.4 液晶显示器</b>		260		
8.4.1	液晶显示器概述	260		
8.4.2	液晶显示器的驱动	261		
8.4.3	LCD 使用注意事项	262		
本章小结		262		
自我检测题		263		

# 绪 论

自英国物理学家麦克斯韦(J. C. Maxwell)1865年发表了第一篇有关电磁场的论文和德国物理学家赫兹(H. R. Hertz)1887年用实验验证了电磁波的存在,一门新兴的学科——无线电电子学(简称电子学)就诞生了。在短短的一个多世纪内,电子学得到迅速发展,作为研究和应用电子学的电子技术也突飞猛进地发展。

## 一、电子技术的发展与应用概况

电子技术是研究电子器件、电子电路及其应用的科学技术。电子技术以影响面广、渗透力强、发展速度快、生命力强而引人注目,它的应用日益广泛。人们熟知的通信、广播、电视、计算机、自动化设备、医疗电子设备、人造卫星、宇宙航行、新型武器及家用电器等都与电子技术紧密相连。

各种电子设备都是由电子线路构成的。电子线路是由电子器件(又称有源器件,如电子管、半导体二极管、晶体管、集成电路等)和电子元件(又称无源器件,如电阻器、电容器、电感器、变压器等)组成的具有一定功能的电路。电子器件是电子线路的核心。电子器件的发展促进了电子技术的发展;同时,生产力和科技进步对电子技术的新要求,又促进了电子器件的改进和新型器件的发明。

1904年电子管的发明,使电子技术进入了第一个时代——电子管时代。从此,无线电通信、电视、广播、雷达、导航电子设备和计算机等陆续问世,并得到迅速发展。

1948年贝尔(Bell)实验室发明晶体管后,使电子技术进入晶体管时代,拉开了人类社会步入信息时代的序幕。晶体管的广泛应用,开创了电子设备朝小型化、微型化发展的新局面。

1958年,得克萨斯仪器公司发明了集成电路,使电子技术进入集成电路时代。它的出现打破了由电子管、晶体管等独立电子器件和元件构成分立元件电路(Discrete component circuit)的传统观念,使电子技术的发展与应用有了新的突破。集成电路芯片是通过一系列特定的加工工艺,将晶体管、二极管等有源器件和电阻、电容等无源器件,按照一定的电路互连,“集成”在一块半导体单晶片上,实现特定的电路或系统功能。它具有外接元件少、可靠性高、便于安装与调试等优点。集成电路的集成度以年增长率46%的速率持续发展,而产品价格却直线下降,因而应用范围迅速扩大。集成电路已从20世纪60~70年代的小、中规模进入80~90年代的大规模和超大规模集成电路。当前已进入系统集成芯片(SOC——System On Chip)的时代,可将整个系统或子系统集成在一个硅芯片上。进一步发展,可与特种物理的、化学的和生物的敏感器(完成信息获取功能)和执行器与信息处理系统集成在一起,从而完成信息获取、处理、存储、传输到执行的系统功能,这是一个更广义上的系统集成芯片。可以认为这是电子技术又一次革命性变革。

它已如同细胞组成人体一样,成为现代工农业、第三产业、国防装备和家庭耐用消费品的细胞。

2000年以集成电路为基础的电子信息产业已成为世界第一大产业。电子信息产业的发展在国民经济发展中具有十分重要的战略意义。现代经济发展的数据表明,GDP每增长100元,需要10元左右电子工业产值和1~3元集成电路产值的支持。几乎所有的传统产业只要与电子技术结合,用集成电路进行智能改造,就会使传统产业重新焕发青春,例如汽车的电子化导致汽车工业的革命,目前先进的现代化的汽车,电子装备已占其总成本的70%。进入信息化社会,集成电路成为武器的一个组成单元,于是电子战、智能武器应运而生。雷达的精确定位和导航,战略导弹的减重增程,战术导弹的精确制导,巡航导弹的图形识别与匹配,以及各类卫星的有效载荷和寿命的提高等等,其核心技术都是微电子技术。

最近美国工程技术界评出20世纪世界最伟大工程技术成就的第5项电子技术时谈到,“从真空管到半导体、集成电路已成为各行各业智能工作的基石。”由于集成电路的原料是硅,它改变着社会的生产方式和人们的生活方式,不仅成为现代产业和科学技术的基础;而且正在创造着代表着信息时代的硅文化(Silicon Culture)。因此有科学家认为人类继石器、青铜器、铁器时代之后进入硅时代。

## 二、课程的性质和任务

本课程是高等职业教育电子信息类专业通用的技术基础课程;也是实践性较强的一门主干课程。在本专业人才培养过程中具有重要的地位和作用。

通过理论教学和实验、课程设计等实践教学,使学生获得电子元器件和功能电路及其应用的基本知识,掌握电子技术基本技能,培养学生创新意识和实践能力,以适应电子技术发展的形势,为后续课程的学习和形成职业能力打好基础。

通过教学使学生获得以下知识和能力。

1. 熟悉常用电子元器件的性能特点及其应用常识,具有查阅手册、合理选用、测试常用电子元器件的能力。
2. 掌握常见功能电路的组成、工作原理、性能特点及其分析计算方法,具有常见低频电路读图能力。
3. 熟悉常见电路的调试方法,具有电路简单故障分析、排除能力。
4. 了解 EWB 基本操作方法,会用软件进行电路仿真。

## 三、课程特点和学习方法

本课程是研究模拟电路(Analog circuit)低频部分及其应用的课程。模拟信号是时间上和数值上都连续的信号,它能以电压或电流方式模拟真实世界的物理量(如声音、温度、压力等),它的变化是连续的和平滑的。模拟电路则是产生和处理模拟信号的电路。相对应的在时间上和数值上都是断续的信号称为数字信号,数字电路(Digital circuit)则是产生和处理数字信号的电路。数字电路知识的学习通过数字电子技术课程完成。

本课程有着下列与其它课程不同的特点和分析方法。

(1) 近似估算的方法 半导体器件的物理特性十分复杂,需要进行十分复杂的分析,且其性能参数有很大的不同。由于电子元件的允许误差范围较宽,如电阻器、电容器允许误差:Ⅰ级为 $\pm 5\%$ ,Ⅱ级为 $\pm 10\%$ ,Ⅲ级为 $\pm 20\%$ ;同一类标称值的元器件有着较大的变化范围。同时,在实际电路中存在着各种寄生参数的影响,如分布电容、分布电感等。因此,在模拟电路的分析过程

中,要从实际情况出发,突出主要矛盾,忽略次要因素,采用工程经验公式,采用近似估算的方法。如果不采用近似估算的方法,片面追求数学上的“严密”,势必使问题复杂化,甚至无从解决。

(2) 等效的方法 由于电子电路中含有非线性的电子器件,不能应用欧姆定律和叠加原理进行分析。为使问题简单便捷地得以解决,在一定的条件下,常将非线性电路等效为线性电路,再用电路分析基础中线性电路的分析方法进行分析。

(3) 图解的方法 伏安特性曲线能准确地反映非线性半导体器件的性能,在非线性和线性元器件(特性曲线为直线)组成的电子电路中,用伏安特性曲线(图)代替元器件,用图解的方法直观地进行分析,以确定电子电路的工作状态或研究电路特性和变化趋势。

(4) 实验调整的方法 由于实际电子器件性能参数的分散性和寄生因素的影响,不能单靠理论分析来解决问题,电子电路一般需要经过调整才能投入实际应用。

因而在本课程学习过程中,要根据课程特点进行,并注意以下问题。

第一,提高对本课程重要性的认识,努力学习。本课程在本专业人才培养过程中具有十分重要的地位和作用:① 本课程要为后续课程的学习打好基础,要为学生走上工作岗位后再学习能力的形成打好基础;② 本课程是为培养学生的电子技术应用能力服务的,电子技术应用能力是电子信息专业人才的能力主线之一;③ 本课程所学的元器件和基本电路在工程技术实践中具有广泛的实用价值,学好它是直接为形成专业能力,适应工作岗位要求服务的。本课程是本专业的主干课程,应提高认识,认真学习。

第二,理论联系实际,重视实践动手能力的培养。学习的目的在于应用,理论教学要为培养电子技术应用能力服务。本课程是实践性很强的课程,理论联系实际显得尤为重要。实践教学环节如电子线路实验、课程设计等是培养能力、实现知识向能力转化的重要途径。能力的培养对学生十分重要,具有较强的实践动手能力是电子信息类高职人才在社会上立足的必备条件之一。

第三,注重职业道德培养,养成良好职业习惯。具有良好职业习惯和职业道德是具有较高政治素质的重要内涵,也是毕业生在工作岗位上和人才市场具有竞争力的重要条件之一。电子技术工作是严谨细致的技术工作,必须具有良好的职业习惯,严谨细致的工作作风。在电路设计、安装、调试过程中,要做到严密细致,考虑性能价格比和经济效益。同时还必须严格遵守实验规则和安全操作规程。否则,轻则损坏仪器设备,使实验结果错误或无法进行;重则发生设备和人身安全事故。



# 第 1 章

## 半导体二极管及其应用

### 1.1 半导体二极管

#### 1.1.1 半导体基础知识

导电性能介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体(Semiconductor)。常用的半导体材料有四价元素硅(Si)、锗(Ge)、硒(Se)和砷化镓(GaAs)及其它金属氧化物和硫化物等,半导体一般呈晶体结构。

纯净的不含任何杂质、晶体结构排列整齐的半导体叫做本征半导体(Intrinsic semiconductor)。本征半导体的最外层电子(称为价电子 Valent electron)除受到原子核吸引外,还受到共价键(Covalent bond)束缚,因而它的导电能力差。半导体的导电能力随外界条件改变而改变。它具有热敏特性和光敏特性,即温度升高或受到光照,半导体材料的导电能力增强。这是由于价电子从外界获得能量,挣脱共价键的束缚而成为自由电子(Free electron)。这时,在共价键结构中留下相同数量的空位,每次原子失去价电子后,变成带正电荷的离子,从等效观点来看,每个空位相当于带一个电子电荷量的正电荷,称为空穴(Hole)。在半导体中,空穴也参与导电。其导电实质是在电场作用下相邻共价键中的价电子填补了空穴而产生新的空穴,而新的空穴又被其相邻的价电子填补,这个过程持续下去,就相当于带正电荷的空穴在移动。共价键结构与空穴产生示意图如图 1.1.1 所示。

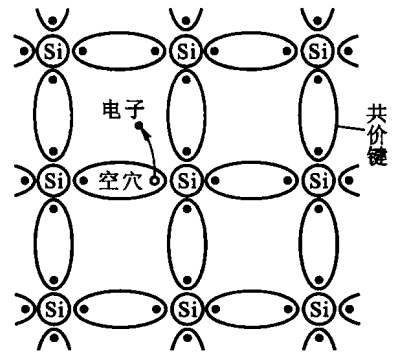


图 1.1.1 共价键结构与空穴产生示意图

本征半导体的导电能力差,但是在本征半导体中掺入某种微量元素(杂质)后,它的导电能力可增加几十万甚至几百万倍。如果在四价的本征半导体(硅)中掺入微量三价元素(硼),就形成了 P 型半导体(P-type semiconductor)。在掺杂过程中,每个三价原子与相邻的四个四价半导体原子组成共价键时,因其中一个共价键中缺少一个电子而产生一个空位。在室温或其它能量

激发下,相邻共价键中的价电子就可能填补这些空位而在价电子原来所处位置上形成带正电的空穴。P型半导体中空穴为多数载流子,简称多子(Majority carrier);因热激发等原因而形成的电子为少数载流子,简称少子(Minority carrier)。在本征半导体(硅)中掺入五价元素(磷),每个五价原子与相邻四个四价半导体原子组成共价键时,有一个多余电子,就形成了N型半导体(N-type semiconductor)。N型半导体中多子是电子,少子是空穴,空穴是由热激发形成的。掺杂半导体共价键结构示意图如图1.1.2所示。

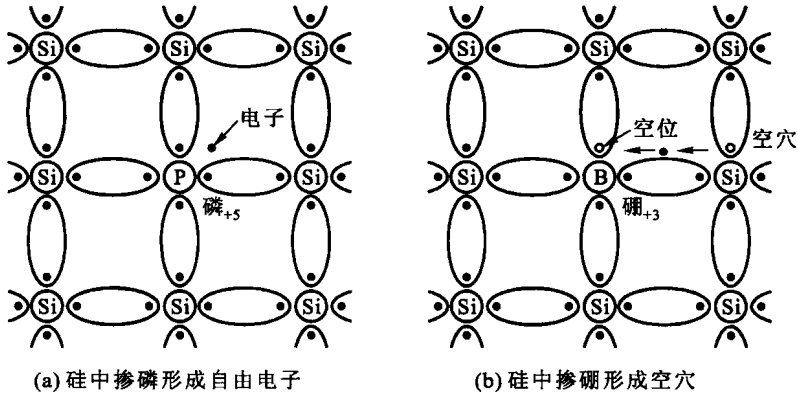


图 1.1.2 掺杂半导体共价键结构示意图

### 1.1.2 二极管的结构、类型、电路符号

如果通过一定的生产工艺把半导体的P区和N区部分结合在一起,则它们的交界处就会形成一个具有单向导电性的薄层,称为PN结(PN Junction)。

以PN结为管芯,在结的两侧,即P区和N区均接上电极引线,并以外壳封装,就制成了半导体二极管(Diode)。半导体二极管内部结构示意图如图1.1.3(a)所示。从P区接出的引线称为二极管的阳极(Anode),从N区接出的引线称为阴极(Cathode)。二极管电路符号如图1.1.3(b)所示。其中三角箭头表示二极管正向导通时电流的方向。

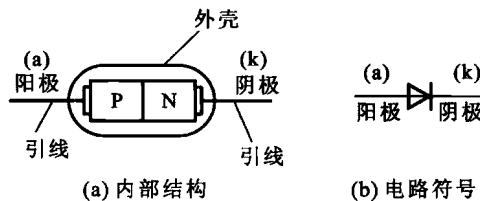


图 1.1.3 二极管内部结构示意图和电路符号

半导体二极管按所用材料不同可分为硅管和锗管;按制造工艺不同可分为点接触型和面接触型两类。二极管结构如图1.1.4所示。

#### 1. 点接触型二极管

点接触型二极管结构如图1.1.4(a)所示。它由一根很细的金属丝热压在N型锗片上制成。与金属丝相接的引出线为阳极,与金属支架相接的引出线为阴极。