



全国教育科学“十一五”规划课题研究成果

模拟电子技术 实用教程

主 编 杨拴科
副主编 郭 霞

高等教育出版社



全国教育科学“十一五”规划课题研究成果

模拟电子技术 实用教程

主 编 杨拴科
副主编 郭 霞
郭 华 张安莉 参 编



高等教育出版社·北京

内容简介

本书参照教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会于2010年制定的“模拟电子技术基础”课程基本要求(试行),总结三十多年教学实践经验、结合应用型本科人才培养目标的要求编写而成。

教材内容编排遵循“器件”、“电路”、“应用”相结合,以器件、电路工作原理及分析方法为基础,以集成电路及系统应用为目的的原则,体现了“基础够用、注重概念,集成为主、突出实用,重视实践、强化能力,难点分散、利于教学”等特点。内容包括:绪言、晶体二极管及其应用、双极型晶体管及放大电路基础、场效晶体管及其放大电路、多级放大电路和功率放大电路、差分放大电路与集成运算放大器、反馈与负反馈放大电路、集成运放的基本应用电路、信号检测与处理电路、信号发生器、直流稳压电源等。每章前均有引言、学习目标,章末有小结,并配有难易程度和数量都比较适当的基本概念自检题和习题。

本书可作为高等学校电气类、自动化类、电子信息类及其他相近专业本科生“模拟电子技术基础”课程的教材或教学参考书,也可作为有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术实用教程 / 杨拴科主编. --北京:
高等教育出版社, 2017.2
ISBN 978-7-04-047031-4

I. ①模… II. ①杨… III. ①模拟电路-电子技术-
高等学校-教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第301710号

策划编辑	平庆庆	责任编辑	王耀锋	封面设计	赵阳	版式设计	马敬茹
插图绘制	杜晓丹	责任校对	殷然	责任印制	毛斯璐		

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	三河市骏杰印刷有限公司		http://www.hepmall.com
开 本	787mm×1092mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	20	版 次	2017年2月第1版
字 数	490千字	印 次	2017年2月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	36.30元
咨询电话	400-810-0598		

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 47031-00

前 言

本书参照教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会于2010年制定的“模拟电子技术基础”课程基本要求（试行），总结三十多年教学实践经验、结合应用型本科人才培养目标的要求编写而成。

教材内容编排遵循“器件”、“电路”、“应用”相结合，以器件、电路工作原理及分析方法为基础，以集成电路及系统应用为目的的原则，并努力体现以下几个特点。

(1) 难点分散、利于教学：电子器件的工作原理是本课程的难点之一，晶体二极管、双极型晶体管、场效晶体管及其应用分别独立成章，在介绍一种器件的工作原理和外特性之后，紧接着介绍该器件的基本应用，有利于读者学习和掌握相关内容。

(2) 基础够用、注重概念：重视电子器件的外特性以及各种集成电路的输入输出电路和特性；压缩电子器件以及各种集成电路内部的工作原理分析；通过经典的分立元件电路，介绍电子电路的基本分析方法；注重电子电路的组成及结构设计、分析，减少复杂数学公式，突出定性分析；适当引入系统概念。

(3) 集成为主、突出实用：第1章引入集成稳压器，第4章引入集成功率放大器，第5章引入集成运放，第6章反馈电路分析中删除了分立元件电路分析，之后各章都是集成电路应用，体现了教材内容以集成电路为主的特点。第6章~第10章，设置了“系统应用电路分析”内容，通过应用电路分析不仅可以引导读者学习分析系统电路的方法，也可揭示本章教学内容在电子系统中的具体应用，增强了教学内容的实用性。

(4) 重视实践、强化能力：第1章引入直流稳压电源的调试方法，第2章引入了晶体管的工作状态在线检测、放大电路的测试方法和放大电路幅频特性的测量问题讨论，第4章引入了功率放大器主要性能指标测试方法，引导读者重视实验、掌握相关调试方法和技能。第1章引入直流稳压电源电路故障分析方法，第7章介绍了比例运算电路以及电压比较器电路的故障分析，通过“设置故障、分析故障结果、解决故障”的过程演示，引导读者学习故障分析的方法、提升排除电子电路故障的能力。

(5) 适当引入新概念、新器件、新技术：如电流模运放、轨对轨运放、开关电容滤波器、低压差线性集成稳压器、精密基准电压源、Multisim 仿真软件应用等，便于学生了解电子技术的新发展。

本书由杨拴科担任主编，负责提出编写大纲、组织编写和定稿工作，郭霞担任副主编协助主编工作。各章的编写工作具体分工如下：杨拴科编写绪言、第1、2、3、4、8章，张安莉编写第5、9章，郭霞编写第6、10章，郭华编写第7章以及电子电路仿真软件 Multisim14 简介。杨拴科为全书各章选配了习题，郭霞为全书各章配置了基本概念自检题并完成了基本概念自检题和习题的参考答案。

在编写过程中，西安交通大学城市学院电信系的部分教师参与了讨论并提出了宝贵意见；

II 前言

长安大学电子与控制工程学院林涛教授审阅了本书的全稿，并提出了不少建设性的修改意见。对此，谨致以衷心的感谢。

现代电子技术发展日新月异，本书内容若有疏漏和错误，欢迎专家、学者、使用本书的教师、学生和工程技术人员提出意见和建议，以便今后不断改进。编者邮箱：ysk368@xjtu.edu.cn。

编者

2016年7月于西安交通大学

本书常用符号表

1. 不同书写体的电压、电流、电阻之含意

(1) 电压和电流 (以晶体管 B、E 之间的电压为例)

u_{BE} 小写字母, 大写下标, 表示含有直流量的瞬时总值

U_{BE} 大写字母, 大写下标, 表示直流量 (或静态值)

u_{be} 小写字母, 小写下标, 表示交流瞬时值

U_{be} 大写字母, 小写下标, 表示交流分量有效值

$\dot{U}_{be}$ 交流量的复数表示形式

ΔU_{BE} 表示直流变化量

Δu_{BE} 表示瞬时值的变化量

(2) 电阻

R 电路的电阻或等效电阻

r 器件内部的等效电阻

2. 基本符号

(1) 电压和电流

I, i 电流通用符号

U, u 电压通用符号

i_f, u_f 反馈电流、电压

i_i, u_i 交流输入电流、电压

i_o, u_o 交流输出电流、电压

I_Q, U_Q 电流、电压的静态值

u_{ic} 共模输入电压

u_{id} 差模输入电压

u_s 信号源电压

V_{CC} 集电极直流供电电源电压

V_{EE} 发射极直流供电电源电压

V_{DD} 漏极直流供电电源电压

U_{OH} 比较器输出高电平

U_{OL} 比较器输出低电平

(2) 功率

P 功率通用符号

p 瞬时功率

P_o 电路输出功率

P_{om} 电路最大输出功率

P_T 晶体管的耗散功率

P_V 电源供给的功率

(3) 频率

f 频率通用符号

ω 角频率通用符号

f_c 滤波器的截止频率

f_0 振荡频率

f_o 中心频率

f_{BW} 通频带

f_H 放大电路的上限截止频率

f_L 放大电路的下限截止频率

f_{BWG} 单位增益带宽

(4) 电阻、电导、电容、电感

R 电阻的通用符号

R_i 电路的输入电阻

R_o 电路的输出电阻

R_{id} 差模输入电阻

R_{ic} 共模输入电阻

R_{if} 有反馈时电路的输入电阻

R_{of} 有反馈时电路的输出电阻

R_S 信号源内阻

R_L 负载电阻

G 电导的通用符号

X 电抗的通用符号

Z 阻抗的通用符号

L 电感的通用符号

II 本书常用符号表

C	电容的通用符号	I_{CEO}	基极开路时，集电极与发射极之间的穿透电流
(5) 增益或放大倍数		I_{CM}	集电极最大允许电流
A	增益或放大倍数的通用符号	U_{CES}	集电极与发射极之间的饱和电压
A_u	电压放大倍数的通用符号	$U_{(\text{BR})\text{CBO}}$	发射极开路时的集电极击穿电压
A_i	电流放大倍数的通用符号	$U_{(\text{BR})\text{CEO}}$	基极开路时，集电极与发射极之间的击穿电压
A_{ui}	互阻增益的通用符号	$U_{(\text{BR})\text{CES}}$	基极发射极短路时，集电极与发射极之间的击穿电压
A_{uu}	互导增益的通用符号	$U_{(\text{BR})\text{CER}}$	基极发射极之间加电阻时，集电极与发射极之间的击穿电压
A_{us}	考虑信号源内阻时的电压放大倍数	P_{CM}	集电极允许的最大耗散功率
$\dot{A}_{uH}$	高频电压放大倍数的复数量	g_m	跨导
$\dot{A}_{uL}$	低频电压放大倍数的复数量	β	共射极接法（交流）电流放大系数
A_{um}	中频电压放大倍数	α	共基极接法（交流）电流放大系数
A_f	闭环增益的通用符号	$\bar{\beta}$	共射极接法直流电流放大系数
A_{uf}	闭环电压放大倍数	$\bar{\alpha}$	共基极接法直流电流放大系数
A_{ud}	差模电压放大倍数	f_{β}	共射极电流放大系数的上限截止频率
A_{uc}	共模电压放大倍数	f_{α}	共基极电流放大系数的上限截止频率
3. 器件符号及参数		f_T	特征频率（双极型）
(1) 二极管		$r_{bb'}$	基区体电阻
D	二极管	r_{be}	输入电阻
D_Z	稳压管	(3) 场效晶体管	
I_S	反向饱和电流	T	场效晶体管
I_F	最大整流电流	$s、S$	源极
I_R	反向电流	$g、G$	栅极
I_Z	稳压管工作电流	$d、D$	漏极
R_D	二极管直流等效电阻	C_{gs}	栅极与源极之间的电容
r_d	二极管动态电阻	C_{gd}	栅极与漏极之间的电容
r_z	稳压管动态电阻	C_{ds}	漏极与源极之间的电容
C_B	势垒电容	I_{DSS}	耗尽型管子 $U_{\text{GS}} = 0$ 时的漏极电流
C_D	扩散电容	I_{DSM}	最大漏极电流
C_j	结电容	P_{DSM}	漏极最大允许耗散功率
U_Z	稳压管的稳定电压	$U_{\text{GS(off)}}$	夹断电压
U_T	热电压	$U_{\text{GS(th)}}$	开启电压
$U_{(\text{BR})}$	反向击穿电压	$U_{(\text{BR})\text{DS}}$	漏极与源极之间的击穿电压
U_R	最高反向工作电压	$U_{(\text{BR})\text{GS}}$	栅极与源极之间的击穿电压
f_M	最高工作频率	(4) 运算放大器	
(2) 晶体管		A	集成运放
T	晶体管	A_{ou}	开环电压放大倍数
$e、E$	发射极	I_{IO}	输入失调电压流
$b、B$	基极		
$c、C$	集电极		
I_{CBO}	发射极开路时的集电结反向电流		

U_{IO}	输入失调电压
K_{CMR}	共模抑制比
S_R	转换速率（压摆率）
U_{ICM}	最大共模输入电压
U_{IDM}	最大差模输入电压
r_{id}	差模输入电阻
r_{ic}	共模输入电阻
4. 其他符号	
η	效率
τ	时间常数
Q	静态工作点，电路的品质因数

F	反馈系数
$D = 1 + AF$	反馈深度
$\dot{U}(j\omega) = U(\omega) e^{j\varphi(\omega)}$	正弦电压复数值
φ	相位角
T	温度、周期
M	互感
γ	纹波系数
S_r	稳压系数
S_u	电压调整率
S_I	电流调整率
S_T	输出电压的温度系数

目 录

0 绪言	1
0.1 什么是电子技术	1
0.1.1 电子器件	1
0.1.2 电子电路	3
0.1.3 电子电路应用领域	4
0.2 模拟电路的特点、主要内容与学习侧重点	4
0.2.1 模拟信号与模拟电路的特点	4
0.2.2 模拟电路的主要内容及学习重点	6
0.3 模拟电子技术课程的特点与学习方法	7
1 晶体二极管及其应用	10
1.1 半导体基本知识	10
1.1.1 半导体材料的基本特性	10
1.1.2 本征半导体	11
1.1.3 掺杂半导体	11
1.2 PN 结的形成和特性	12
1.2.1 PN 结的形成	13
1.2.2 PN 结的单向导电性	14
1.2.3 PN 结的电压与电流关系	15
1.2.4 PN 结的反向击穿	15
1.2.5 PN 结的电容效应	15
1.3 晶体二极管	16
1.3.1 二极管的结构和类型	16
1.3.2 二极管的伏安特性	17
1.3.3 温度对二极管特性的影响	18
1.3.4 二极管的主要电参数	18
1.3.5 二极管模型	19
1.4 特殊二极管	21
1.4.1 硅稳压二极管	22
1.4.2 其他特殊二极管	25

1.5 二极管整流电路	26
1.5.1 单相半波整流电路	27
1.5.2 单相桥式整流电路	27
1.5.3 单相全波整流电路	29
1.6 直流电源的滤波和稳压电路	30
1.6.1 电源滤波电路	30
1.6.2 集成稳压器	34
1.7 应用电路分析	36
1.7.1 简单直流稳压电源分析	36
1.7.2 直流稳压电源调试与电路故障分析	37
本章小结	39
基本概念自检题 1	40
习题 1	41
2 双极型晶体管及放大电路基础	44
2.1 双极型晶体管	44
2.1.1 晶体管的结构	45
2.1.2 晶体管的工作原理	45
2.1.3 晶体管共射极接法的伏安特性曲线	47
2.1.4 晶体管的工作状态在线检测	49
2.1.5 晶体管的主要电参数	51
2.1.6 温度对管子参数以及特性曲线的影响	53
2.1.7 光敏晶体管	54
2.2 晶体管放大电路的组成原理和分析方法	54
2.2.1 放大电路的基本概念	55
2.2.2 放大电路的主要技术指标	55
2.2.3 共射极基本放大电路的组成及工作原理	57
2.2.4 放大电路的静态分析	59

II 目录

2.2.5 放大电路的动态分析	62	本章小结	113
2.2.6 放大电路的测试方法	68	基本概念自检题3	114
2.2.7 静态工作点稳定电路	70	习题3	115
2.3 共集电极和共基极放大电路	72	4 多级放大电路和功率放大电路	117
2.3.1 共集电极放大电路	72	4.1 多级放大电路	117
2.3.2 共基极放大电路	74	4.1.1 多级放大电路中的耦合方式	117
2.3.3 三种基本放大电路性能比较	75	4.1.2 多级放大电路的组成原则	120
2.4 放大电路频率特性	76	4.1.3 多级放大电路的动态分析	121
2.4.1 频率特性和线性失真	76	4.1.4 多级放大电路的频率特性	122
2.4.2 一阶 RC 电路的频率特性	79	4.2 功率放大电路	124
2.4.3 晶体管的高频等效电路	82	4.2.1 功率放大电路的基本概念	124
2.4.4 单管共射极放大电路的频率特性	84	4.2.2 乙类互补推挽功率放大电路	126
2.4.5 放大电路的增益带宽积	88	4.2.3 甲乙类互补推挽功率放大电路	129
2.4.6 放大电路幅频特性的测量	88	4.2.4 复合管甲乙类互补推挽功率放大电路	130
本章小结	89	4.2.5 单电源功率放大电路	132
基本概念自检题2	90	4.2.6* 功率管的散热	132
习题2	92	4.2.7 集成功率放大器 LM386 及其应用	134
附录2.1 密勒定理	95	4.2.8 功率放大器主要性能指标测试	135
3 场效晶体管及其放大电路	97	本章小结	136
3.1 结型场效晶体管	97	基本概念自检题4	137
3.1.1 结型场效晶体管的结构和类型	97	习题4	138
3.1.2 结型场效晶体管的工作原理	98	5 差分放大电路与集成运算放大器	140
3.1.3 结型场效晶体管的伏安特性	100	5.1 差分放大电路	140
3.2 绝缘栅型场效晶体管	101	5.1.1 典型差分放大电路	140
3.2.1 增强型 MOSFET	102	5.1.2 单端输入差分放大电路	145
3.2.2 耗尽型 MOSFET	104	5.1.3 带恒流源的差分放大电路	146
3.3 场效晶体管的参数和微变等效电路	105	5.2 集成运算放大器	147
3.3.1 场效晶体管的主要电参数	105	5.2.1 集成运算放大器内部电路典型结构	147
3.3.2 场效晶体管的微变等效电路	107	5.2.2 集成运算放大器的主要参数	148
3.3.3 场效晶体管与双极型晶体管的比较	108	5.2.3 集成运算放大器的电路模型	152
3.4 场效晶体管放大电路	108	5.2.4 集成运放的类型及其特点	153
3.4.1 场效晶体管偏置电路及其静态分析	109	本章小结	154
3.4.2 场效晶体管放大电路动态分析	110	基本概念自检题5	155

习题 5	155	7.1.6 模拟乘法器及其在信号运算中的 应用	196
6 反馈与负反馈放大电路	157	7.2 电压比较器	198
6.1 反馈的基本概念	157	7.2.1 单门限电压比较器	199
6.1.1 什么是反馈	157	7.2.2 迟滞比较器	201
6.1.2 反馈的分类及判别方法	159	7.2.3 迟滞比较器电路故障分析	203
6.2 负反馈放大电路分析	161	7.2.4 窗口比较器	204
6.2.1 负反馈放大电路的四种组态	161	7.2.5 集成电压比较器	205
6.2.2 负反馈放大电路的一般 表达式	166	7.3 集成运放使用中的几个问题	206
6.2.3 深度负反馈放大电路放大倍数 分析	168	7.3.1 集成运放的静态调试	206
6.3 负反馈对放大电路性能的 影响	170	7.3.2 集成运放输入及输出保护	208
6.3.1 提高放大倍数的稳定性	170	7.3.3 运放单电源供电电路	208
6.3.2 扩展通频带	171	7.3.4 轨到轨输入/输出运放的优势	210
6.3.3 减小反馈环内的非线性失真	172	7.4 系统应用电路分析	211
6.3.4 抑制反馈环内的干扰和噪声	173	7.4.1 照相机自动曝光控制电路 分析	211
6.3.5 对输入电阻和输出电阻的 影响	173	7.4.2 铂热电阻测温电路分析	213
6.3.6 正确引入反馈	176	本章小结	214
6.4 负反馈放大电路的自激振荡及 消除	176	基本概念自检题 7	215
6.4.1 产生自激振荡的条件及其 原因	177	习题 7	216
6.4.2 消除自激振荡的方法	178	8 信号检测与处理电路	219
6.5 负反馈应用电路分析	179	8.1 电子系统概述	219
6.5.1 电压-电流变换电路分析	179	8.2 信号检测系统中的放大电路	220
6.5.2 电流-电压变换电路分析	181	8.2.1 测量放大器	220
本章小结	182	8.2.2 隔离放大器	222
基本概念自检题 6	183	8.2.3 程控增益放大器	224
习题 6	184	8.2.4 高速电流模运算放大器	224
7 集成运放的基本应用电路	186	8.3 有源滤波器	227
7.1 信号运算电路	186	8.3.1 滤波器的基础知识	227
7.1.1 比例运算电路	186	8.3.2 一阶 RC 有源滤波器	228
7.1.2 比例运算电路故障分析	189	8.3.3 二阶 RC 有源滤波器	230
7.1.3 加法运算与减法运算电路	190	8.3.4 开关电容滤波器基本原理	234
7.1.4 积分与微分运算电路	193	8.4 精密整流与峰值检波电路	236
7.1.5 对数与反对数运算电路	195	8.4.1 精密整流电路	236
		8.4.2 峰值检波电路	238
		8.5 系统应用电路分析	238
		8.5.1 精密电阻应变计信号放大电路 分析	238

8.5.2 心电图信号检测电路分析	239
本章小结	241
基本概念自检题 8	242
习题 8	243
9 信号发生器	245
9.1 正弦波信号发生器	245
9.1.1 正弦波自激振荡的基本原理	245
9.1.2 RC 型正弦波信号发生器	247
9.1.3 LC 型正弦波信号发生器	250
9.1.4 晶体振荡器	252
9.2 非正弦波信号发生器	254
9.2.1 方波发生器	254
9.2.2 三角波和锯齿波发生器	256
9.2.3 压控振荡器	257
9.3 信号发生器应用电路分析	259
9.3.1 JFET 稳幅音频测试信号源的电路 分析	259
9.3.2 脉宽调制波发生电路分析	260
本章小结	261
基本概念自检题 9	262
习题 9	263
10 直流稳压电源	266
10.1 概述	266
10.1.1 直流稳压电源的组成和分类	266
10.1.2 稳压电路主要性能指标	267
10.2 线性稳压电路	268
10.2.1 串联反馈型稳压电路的组成及 工作原理	268
10.2.2 三端集成稳压器	270
10.2.3 低压差三端集成稳压器	274
10.2.4 精密基准电压源	275
10.2.5 三端集成稳压器应用电路 分析	275
10.3 开关型稳压电路	278
10.3.1 开关稳压电路的结构及类型	278
10.3.2 降压型开关稳压电路原理	279
10.3.3 集成开关稳压器及其应用电路 分析	280
本章小结	282
基本概念自检题 10	282
习题 10	283
附录 A 电子电路仿真软件 Multisim 14	
应用入门	286
A.1 Multisim 的特色与资源	286
A.1.1 Multisim 14 的主要特色	286
A.1.2 Multisim 14 的元器件库	287
A.1.3 Multisim 14 的虚拟仪器	287
A.1.4 Multisim 14 的分析工具	288
A.2 Multisim 使用方法简介	289
A.2.1 Multisim 14 窗口功能简介	289
A.2.2 Multisim 14 的应用举例	293
附录 B 基本概念自检题参考答案	300
附录 C 部分习题参考答案	301
主要参考文献	306

绪 言

引 言

模拟电子技术是高等工业院校电类专业在电子技术方面入门性质的技术基础课。它的任务是使学生熟悉常用电子器件和电子电路的性能以及主要应用,掌握电子电路的基本分析方法、计算能力和识图能力,学会电子电路的基本测量方法与调试技能,为以后深入学习电子技术某些领域中的内容以及电子技术在专业中的应用打好基础。本章首先介绍电子技术所涉及的主要内容及其应用领域,接着介绍了模拟信号和模拟电路的特点,给出了模拟电子技术课程要学习的主要内容以及学习的重点,最后指出了本课程与其他先修课程的区别以及学习本课程的方法。

0.1 什么是电子技术

学习本节后,你应该能

- 知道什么是电子技术
- 了解电子器件、电子电路的发展简史,知道电子电路应用领域

电子技术就是研究电子器件、电子电路及其应用的科学技术。本节简要介绍电子器件、电子电路及其应用领域,使读者对电子技术有一个概貌性的了解。

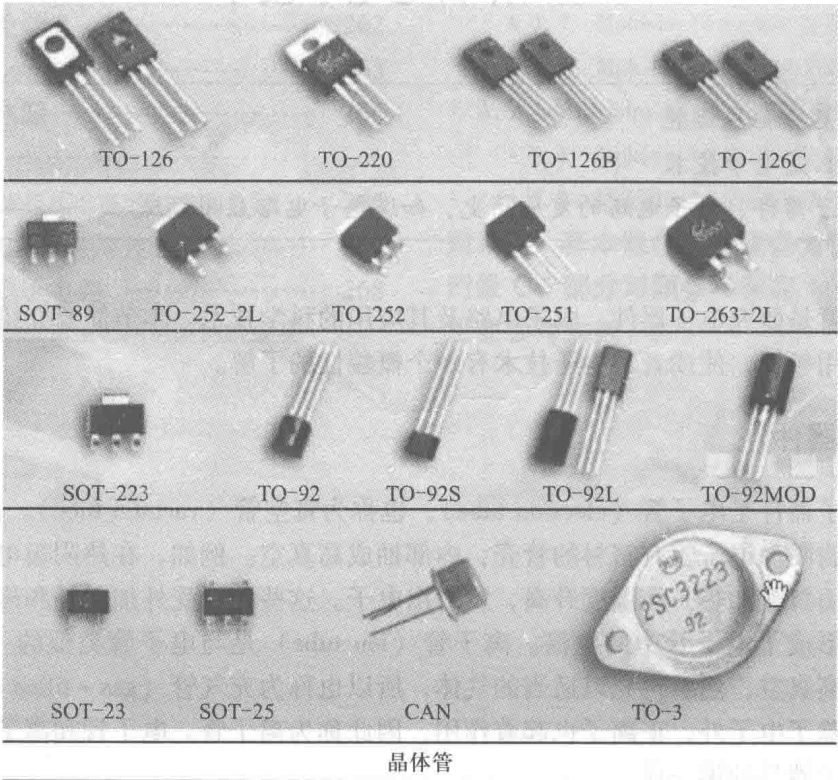
0.1.1 电子器件

最早的电子器件是电子管 (electron tube), 也称为真空管 (vacuum tube)。图 0-1-1 是若干电子管的实物图。电子管有密封的管壳, 内部抽成高真空。例如, 在热阴极电子管中, 有一个阴极, 它可由灯丝加热, 使温度升高, 发射出电子。这些电子受外加电场和磁场的影响, 在真空中运动就形成了电子管中的电流。离子管 (ion tube) 是与电子管类似的一种电子器件。它们也要抽成高真空, 然后再充以适当的气体, 所以也称为充气管 (gas-filled tube)。这类管子中的电流, 除了电子外, 正离子也起着作用, 因此称为离子管。电子管和离子管都属于电真空器件, 是电子器件的第一代。



图 0-1-1 电子管实物图

第二代电子器件是晶体管 (transistor)，它们是用半导体材料制成的，也称为半导体器件 (semiconductor device) 或者固体器件 (solidstate device)。各种封装形式的晶体管实物如图 0-1-2 所示。这类管子具有体积小、重量轻、寿命长、功耗小等优点，在许多电子设备中已经取代了电子管。然而，半导体器件也有它的弱点，例如过载能力较差，受温度变化的影响较大，外加电压不能太高等。因此，半导体器件不可能完全代替电子管。电子管在某些场合仍然发挥着它的优势，例如高频大功率无线发射设备、某些电视机中的显像管、电子示波器中的示波管，目前还是采用电子管。



晶体管

图 0-1-2 晶体管实物图

0.1.2 电子电路

电子器件与常用的电阻器、电感器、电容器、变压器、开关等元件适当地连接起来所组成的电路,就称为电子电路。它具有控制方便、工作灵敏、响应速度快等特点。电子电路与普通电路的区别在于电子电路包含有电子器件,而这些器件的特性往往是非线性的,所以必须采用非线性电路的分析方法来分析电子电路。

由各种单个的电子器件和元件构成的电路称为分立电路(discrete circuit)。分立电路通常是把许多元件和器件焊接在印刷电路板上制成的。复杂的电路有成千上万个焊点,这些焊点的接触不良,往往是电子设备发生故障的主要原因之一,影响了设备的正常运行。

随着半导体技术的发展,出现了能把许多晶体管与电阻等元件制作在同一块硅晶片上的电路,这种电路被称为集成电路(IC——integrated circuit)。几种封装形式的集成电路实物如图0-1-3所示。集成电路内部不仅包含器件,还有元件和连线,是“管”与“路”的结合,因此也称为集成组件(module)。集成电路使电子电路系统进一步缩小了体积,减轻了重量,降低了功耗,减少了焊接点,提高了工作的可靠性。自从1959年世界上第一块集成电路在美国的德州仪器公司和西屋电气公司诞生以来,它的发展经历了小规模、中规模、大规模和超大规模(small, medium, large, very large scale integration, 简称为SSI、MSI、LSI和VLSI)等不同阶段。第一块集成电路上只有四只晶体管,而目前的集成电路已经可以在一片硅片上集成几千万只,甚至上亿只晶体管。同时,集成电路的性能(高速度和低功耗等)也迅速提高。集成电路的出现,使电子技术产生了一个新的飞跃,进入了微电子技术(microelectronics)时代。

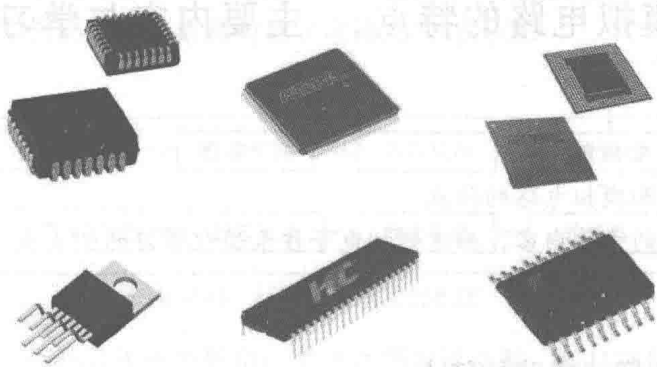


图0-1-3 集成电路实物图

采用集成电路芯片,配合一些分立的元器件,就可以组成具有特定功能的电子系统。利用这种方法设计电子系统,不仅可以使系统的电路结构、设计和制作得到简化,并且能使系统的可靠性和性能价格比有很大的提高。

目前,集成电路仍在高速发展。系统级芯片(SOC——system on chip)已经能将整个系统集成在单个芯片上,完成系统的功能。系统级芯片的出现,使集成电路逐步向集成系统(integrated system)的方向发展。

0.1.3 电子电路应用领域

电子技术应用多种多样,这里很难一一列举,仅从通信、控制、计算机和文化生活四个方面扼要地讲一下。

电子技术最初应用于**通信系统**。它与无线电技术相结合,使通信科学在20世纪就获得了惊人的发展。除了无线电外,有线载波通信、激光通信、光纤通信等,也都应用了电子技术的成就。

控制是电子技术另一个广泛的应用领域。在自动化技术中,电子控制是后起之秀。它具有快速、灵敏、精确等特点。程序控制机床,就是一个例子。在自动控制系统中,首先需要检测被控对象的运行状态,然后进行自动调节,所以控制与测量经常是联系在一起的。目前电子测量技术和电子计量仪表的应用日益广泛。在电力系统中,依靠电子技术,可以远距离测量各发电厂的参数,并及时进行合理的自动调整和调度,保证运行的可靠性,提高劳动生产率。诸如火箭发射等的控制,更是离不开电子技术。

电子技术又有力地推动了**计算机**的发展。20世纪40年代第一部数字电子计算机,用了18 000个电子管,所需功率130 kW,重量达30 t,占地约150平方米,运算速度仅约5 000次/s,并且故障率高。现代的微型计算机,采用了大规模和超大规模集成电路,具有功耗低、体积小、重量轻、运算速度快、功能强等特点。

电子技术已经深入人们的文化生活。广播、电视、录音、录像,无一不与电子技术有关。在现代教育和教学工作中,电子技术也已经成为一种重要的辅助工具。

0.2 模拟电路的特点、主要内容与学习侧重点

学习本节后,你应该能

- 了解模拟信号和模拟电路的特点
- 了解模拟电路的主要内容,知道模拟电子技术课程学习的侧重点

0.2.1 模拟信号与模拟电路的特点

自然界的物理量,如声、光、温度、压力、流量、位移、速度、加速度等,都可以通过一系列称之为“传感器”的变换装置转换为电信号。这些电信号就是传递、处理、存储和控制信息的载体。

在电子电路中,依靠电压(或电流)对时间的连续变化来运载信息的信号叫模拟信号,又称为模拟量,如图0-2-1所示,这里电压 u 的幅值随时间呈连续变化,波形上任意一点的数值都有其物理意义;依靠电压(或电流)对时间地断续变化来运载信息的信号叫数字信号,又称为数字量,如图0-2-2所示,这里信号的幅值和时间都是离散的,它用高电平和低电平这两种物理状态来分别表示二值信号的**1**和**0**,对高电平和低电平的幅值有一个特定范围,对

其具体数值没有十分严格的要求,这就是数字信号和模拟信号本质的区别。比较模拟信号和数字信号,不难发现模拟信号比较容易受干扰噪声的污染,而数字信号的抗干扰能力比较强。因而,数字信号在传递、处理和存储过程中比模拟信号更容易。

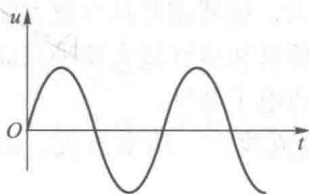


图 0-2-1 模拟信号波形图

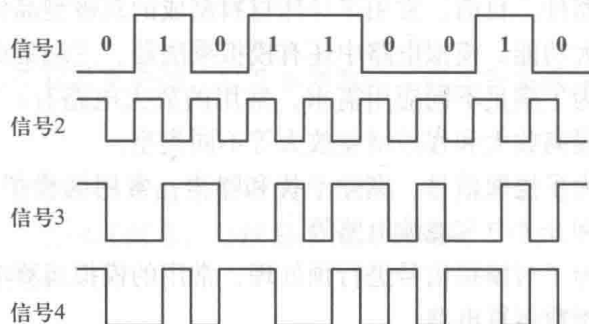


图 0-2-2 数字信号波形图

电子电路根据它所处理的信号不同,有模拟电路和数字电路之分。下面通过一个计算机控制系统(如图 0-2-3 所示)的例子来讨论模拟电子电路的特点。由图 0-2-3 可知,该系统由计算机系统、数/模转换、执行机构、被控对象、传感器、放大电路、滤波电路和模/数转换组成。这里,传感器将被控量(温度、压力、流量等)转换成模拟信号,经放大、滤波后由模/数转换电路变换成数字信号,传递给计算机系统进行分析、计算、显示、存储等处理,然后再通过数/模转换电路把处理后的数字信号变换成模拟信号传递给执行机构对被控对象进行控制。该控制系统中,传感器、放大电路、滤波电路、执行机构属于模拟电路,计算机系统属于数字电路,模/数转换和数/模转换是模拟电路与数字电路之间的桥梁。



图 0-2-3 计算机控制系统框图

在实际应用系统中,传感器输出的模拟信号往往都比较微弱,而且这种微弱的模拟信号比较容易受干扰和噪声的污染,需要经过放大、滤波等预处理后才能进入数字系统进行数据分析、处理。虽然,当今数字信号处理技术和数字集成电路的发展非常迅速,但是它不可能取代模拟电路。由于模拟电路设计要对电路的速度、精度、增益、功耗、电源电压等多种因素综合考虑,同时,电子系统中的干扰、噪声、电子元器件参数波动等因素对模拟电路的影响都远比数字电路严重得多,因此,往往一个电子系统中模拟电路性能的优劣对整个系统性能起决定性的作用。高性能的模拟电路设计很少能依靠计算机自动完成,一定程度上依赖于设计者的经验。因而,学好模拟电路基本原理、掌握电路分析和设计方法、积累经验和提高创新能力对培养优秀的电子工程师是非常必要的。