

21世纪高等院校  
●●●●● 自动化类专业系列教材 ●●●●●

# 模拟电子技术基础

陈大钦 主编

秦臻 邹韬平 张林 参编



本书可免费下载电子教案



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高等院校自动化类专业系列教材

# 模拟电子技术基础

陈大钦 主编

秦臻 邹韬平 张林 参编



机械工业出版社

本书是作者在多年教学实践和长期编写教材经验的基础上,吸收了国内外电子技术优秀教材的特点编写而成的。本书采用了新体系,突出了集成运放及模拟集成电路的应用和综合应用能力、计算机应用能力的培养。针对重点、难点内容,书中提供了相应例题,力求做到通俗易懂,便于教学。

本书共 12 章,包括:绪论、半导体二极管及其应用电路、半导体三极管及其放大电路基础、多级放大电路及模拟集成电路基础、信号运算电路、负反馈放大电路、信号处理与产生电路、场效应管及其放大电路、功率放大电路、集成运算放大器、直流电源、电子电路的计算机辅助分析与设计。

本书可作为高等院校电气信息类(含自动化、电子信息工程等)专业的模拟电子技术基础教材,也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础/陈大钦主编.—北京:机械工业出版社,2006.1

(21世纪高等院校自动化类专业系列教材)

ISBN 7-111-18185-9

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第154085号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:胡毓坚

责任编辑:赵慧 版式设计:冉晓华

责任印制:杨曦 责任校对:李秋荣

北京机工印刷厂印刷

2006年2月第1版第1次印刷

787mm×1092mm<sup>1/16</sup>·26.25印张·651千字

0 001—5 000册

定价:36.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

# 21 世纪高等院校自动化类专业系列教材

## 编 审 委 员 会

主 任 袁著祉 南开大学

副主任 王桂增 清华大学

席裕庚 上海交通大学

委 员 (以姓氏笔划为序)

田作华 上海交通大学

李华德 北京科技大学

陈大钦 华中科技大学

张长水 清华大学

胡毓坚 机械工业出版社

贾 磊 山东大学

韩崇昭 西安交通大学

薛定宇 东北大学

# 出版说明

自动化技术是一门集控制、系统、信号处理、电子和计算机技术于一体的综合技术，广泛用于工业、农业、交通运输、国防、科学研究以及商业、医疗、服务和家庭等各个方面。自动化水平的高低是衡量一个国家或社会现代化水平的重要标志之一，建设一个现代化的国家需要大批从事自动化事业的人才。高等院校的自动化专业是培养国家所需要的专业面宽、适应性强，具有明显的跨学科特点的自动化专门人才的摇篮。

为了适应新时期对高等教育人才培养工作的需要，以及科学技术发展的新趋势和新特点，并结合最新颁布实施的高等院校自动化专业教学大纲，我们邀请清华大学、南开大学、上海交通大学、西安交通大学、东北大学、华中科技大学、山东大学、北京科技大学等名校的知名教师、专家和学者，成立了教材编写委员会，共同策划了这套面向高校自动化专业的教材。

本套教材定位于普通高等院校自动化类专业本科层面。按照教育部颁发的《普通高等院校本科专业介绍》中所提出的培养目标和培养要求，适合作为广大高校相关专业的教材，反映了当前教学与技术发展的主流和趋势。

## 本套教材的特色：

1. 作者队伍强。本套教材的作者都是全国各院校从事一线教学的知名教师和相关专业领域的学术带头人，具有很高的知名度和权威性，保证了本套教材的水平和质量。
2. 观念新。本套教材适应教学改革的需要和市场经济对人才培养的要求。
3. 内容新。近 20 年，自动化技术发展迅速，与其他学科的联系越来越紧密。这套教材力求反映学科发展的最新内容，以适应 21 世纪自动化人才培养的要求。
4. 体系新。在以前教材的基础上重构和重组，补充新的教学内容，各门课程及内容的组成、顺序、比例更加优化，避免了遗漏和不必要的重复。根据基础课教材的特点，本套教材的理论深度适中，并注意与专业教材的衔接。
5. 教学配套的手段多样化。本套教材大力推进电子讲稿和多媒体课件的建设工作。本着方便教学的原则，一些教材配有习题解答和实验指导书，以及配套学习指导用书。

机械工业出版社

# 前 言

本书是参照原国家教委 1993 年颁布的《高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求》和教育部新近制订的《模拟电子技术基础课程教学基本要求》(草案)编写的,反映了当前教学与电子技术发展的主流和趋势,完全可以满足高等学校本科的教学需求,适合作为高等学校电气信息类(含自动化、电子信息工程)专业的模拟电子技术基础教材。

考虑到模拟电子技术基础是一门重要的技术基础课,它在素质教育中起着重要作用。在教学中,除了要抓住基本概念、基本知识和基本技能外,应突出综合应用能力、创新能力、计算机应用能力的培养。

另外,教材要根据教学改革或教学需要,方便取舍,力求做到好教好学。

根据以上要求,编写本书的指导思想是:

1) 突出集成运放及模拟集成电路的应用,将信号运算电路、及以集成运放为主的反馈放大电路和信号处理与产生电路都集中在前面讨论,建立以模拟集成电路应用为主干的新体系。

2) 对于电子器件着重介绍工作原理、外特性和主要参数。模拟集成器件内部电路,对于多数专业的教学不是重点,因此,本教材只作简要介绍。

3) 近年来,模拟集成电路理论与设计、集成工艺技术都有很大发展和突破,因此,在教材中增加了 BiCMOS 和跨导运放等新型集成电路器件。

4) 增加了电子电路的计算机辅助分析与设计一章,并附有 PSpice 的例题和习题,目的是为电子电路的计算机的仿真与设计自动化打下初步基础。

5) 本书针对重点、难点内容都有相应例题,力求做到通俗易懂,便于教学。

6) 每章都有一定数量、有启发意义的思考题和习题。习题量、内容和难易程度覆盖了不同层次高等学校(包括不同专业)的要求。书末附有自我检验题和部分习题答案,以备校核。

7) 为了便于开展教学,本书免费提供电子教案,下载网址为 [Http://www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)。

参加本书编写工作的有邹韬平(第 1、11 章,第 3.6、4.1、4.2 节及附录 A)、秦臻(第 2、8 章及第 3.1~3.5 节)、陈大钦(第 5、7、9、10 章及第 4.3 节)、张林(第 6、12 章及附录 B)。陈大钦任主编,负责全书的组织和定稿。

本书的编写大纲由清华大学华成英教授审阅,并提出了许多宝贵意见和修改建议,在此谨致衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

模拟电子技术基础常用符号表

符号和量的名称		符号和量的名称	
A	集成运算器件	g	场效应管的栅极
A, $\dot{A}$	增益	H	双口网络的混合参数
a	整流元件的阳极(正极)	$h_{ie}, h_{re}, h_{fe}, h_{oe}$	BJT共射接法的H参数
$A_f$	反馈放大电路的闭环增益	$I, i$	电流
$A_v, \dot{A}_v$	电压增益	$I_s$	信号源电流
$A_i, \dot{A}_i$	电流增益	$I_i$	输入电流
$A_r, \dot{A}_R$	互阻增益	$I_o$	输出电流
$A_g, \dot{A}_G$	互导增益	$I_{CC}$	空载正电源电流
$A_{vc}$	共模电压增益	$I_{DD}$	空载漏电源电流
$A_{vd}$	差模电压增益	$I_{EE}$	空载负电源电流
$A_{vo}$	开环电压增益	$I_L$	负载电流
$A_{vf}$	闭环电压增益	$I_{IB}$	输入偏置电流
$A_{od}$	开环差模电压增益	$I_{IO}$	输入失调电流
b	BJT的基极	$I_{OM}$	最大输出电流
BW	频谱宽度, 带宽	$I_{OO}$	输出失调电流
C	电容	$I_{OS}$	输出短路电流
c	BJT的集电极	$I_{REF}$	参考电流(基准电流)
$C_B$	隔直电容(耦合电容)	$i_s$	信号源电流
$C_e$	发射极旁路电容	$i_i$	输入电流
$C_{b'c}$	基极-集电极电容	$i_o$	输出电流
$C_{b'e}$	基极-发射极电容	J	电流密度
$C_B$	势垒电容	K	热力学温度的单位(开尔文)
$C_D$	扩散电容	k	玻耳兹曼常数
$C_j$	结电容	k	整流元件的阴极(负极)
$C_f$	反馈电容	$K_{CMR}$	共模抑制比
$C_i$	输入电容	L	自感系数, 电感
$C_o$	输出电容	L	负载
$C_L$	负载电容	l	长度
D	扩散系数	M	互感系数
D	二极管	N	电子型半导体
d	场效应管的漏极	N	绕组匝数
E	能量, 电场强度	$N_F$	噪声系数
e	电子的电荷量, 自然对数的底	P	功率
e	BJT的发射极	P	空穴型半导体
F	反馈系数	Q, q	电荷, 品质因数
$F_v$	电压反馈系数	Q	静态工作点
f	频率	R	电阻(直流电阻或静态电阻)
$f_L$	放大器的下限频率	$R_b, R_c, R_e$	BJT的基极、集电极、发射极电阻
$f_H$	放大器的上限频率	$R_g, R_d, R_s$	FET的栅极、漏极、源极电阻
$f_T$	特征频率	$R_s$	信号源内阻
$f_a$	BJT的共基极截止频率	$R_L$	负载电阻
G	电导	$R_p$	电位器(可变电阻)
g	微变电导	r	电阻(交流电阻或动态电阻)
$g_m$	双口有源器件的互导(跨导)	$r_{be}$	BJT的输入电阻

(续)

符号和量的名称		符号和量的名称	
$r_{ce}$	BJT的输出电阻	$V_{REF}$	参考电压(基准电压)
$R_i$	直流输入电阻	$V_{(BR)CBO}$	发射极开路,集电极-基极反向击穿电压
$R_i$	放大电路交流输入电阻	$V_{(BR)EBO}$	集电极开路,发射极-基极反向击穿电压
$R_o$	放大电路交流输出电阻	$V_{(BR)CEO}$	基极开路,集电极-发射极反向击穿电压
$R_f$	反馈电阻	$V_{(BR)DS}$ 、 $V_{(BR)GD}$ 、 $V_{(BR)GS}$	分别为漏源击穿电压、栅漏击穿电压和栅源击穿电压
$S$	面积,归一化频率	$X$	电抗
$S$	开关	$x$	反馈电路中的信号量
$s$	复频率变量	$x_s$	源信号
$s$	秒,FET的源极	$x_i$	输入信号
$S/N$	信噪比	$x_{id}$	差值信号
$S_R$	转换速率	$x_f$	反馈信号
$T$	温度(热力学温度以K为单位)	$x_o$	输出信号
$T$	三端有源器件 <sup>①</sup>	$Y, y$	导纳
$T_r$	变压器	$Z, z$	阻抗
$t$	时间	$\alpha$	BJT共基极接法的电流放大系数
$V, v$	电压	$\beta$	BJT共射极接法的电流放大系数
$v_s$	信号源电压	$\gamma$	稳压系数
$v_i$	输入电压	$\eta$	效率
$v_e$	反馈放大电路中的差值电压	$\theta$	整流元件的导电角
$v_f$	反馈电压	$\mu$	BJT的内部电压反馈系数
$v_{id}$	差模输入电压	$\rho$	电阻率
$v_{ic}$	共模输入电压,戴维南等效电压	$\sigma$	电导率
$V_{th}$	二极管、BJT的阈值电压	$\varphi$	相角
$V_T$	场效应管的开启电压	$\phi$	时钟脉冲
$V_T$	温度的电压当量	$\tau$	时间常数
$V_P$	场效应管的夹断电压	$\Omega$	电阻的单位(欧姆)
$V_{CC}$ 、 $V_{DD}$ 、 $V_+$	正电源电压	$\Omega, \omega$	角频率
$V_{EE}$ 、 $V_{SS}$ 、 $V_-$	负电源电压		
$V_{OO}$	输出失调电压		

① 三端有源器件指BJT、FET等。

在电路原理图中,以BJT为例,各电压和电流的符号规定如下表所示。

项 目	电 源	静 态 值	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	瞬 时 值
集电极电压	$V_{CC}$	$V_C$	$v_c$	$V_c$	$\dot{V}_c$	$v_C = V_C + v_c$
集电极电流	$I_{CC}$	$I_C$	$i_c$	$I_c$	$\dot{I}_c$	$i_C = I_C + i_c$
基极电压	$V_{BB}$	$V_B$	$v_b$	$V_b$	$\dot{V}_b$	$v_B = V_B + v_b$
基极电流	$I_{BB}$	$I_B$	$i_b$	$I_b$	$\dot{I}_b$	$i_B = I_B + i_b$
发射极电压	$V_{EE}$	$V_E$	$v_e$	$V_e$	$\dot{V}_e$	$v_E = V_E + v_e$
发射极电流	$I_{EE}$	$I_E$	$i_e$	$I_e$	$\dot{I}_e$	$i_E = I_E + i_e$

注:在电子电路的交流通路和小信号等效电路中,各元件的电流、电压均标交流分量;在正弦稳态分析中,各信号量标为相量: $\dot{V}_c$ 、 $\dot{I}_c$ 等;对于输入信号为非正弦波的,而且电路在零输入时为零输出,则标为 $v_1$ 、 $v_0$ 等;对于输入为非正弦波信号,而且在电路为零输入时非零输出,则标为 $\Delta v_1$ 、 $\Delta v_0$ 等。



# 目 录

出版说明

前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 信号与电子系统 .....	1
1.1.1 信号及其分类 .....	1
1.1.2 电子系统举例 .....	3
1.2 放大电路的基本概念 .....	4
1.2.1 放大电路符号 .....	4
1.2.2 放大电路的主要性能指标 .....	5
1.2.3 放大电路模型 .....	9
1.3 单时间常数的 RC 电路 .....	10
1.3.1 时间常数 $\tau$ 的估算 .....	10
1.3.2 单时间常数 RC 电路的频率响应 .....	11
1.4 小结 .....	14
1.5 自我检验题 .....	15
1.6 思考题与习题 .....	15
<b>第 2 章 半导体二极管及其应用电路</b> .....	17
2.1 PN 结的基本知识 .....	17
2.1.1 本征半导体及其导电性 .....	17
2.1.2 杂质半导体 .....	18
2.1.3 PN 结及其单向导电性 .....	19
2.1.4 PN 结电容 .....	22
2.2 半导体二极管 .....	23
2.2.1 二极管的结构 .....	23
2.2.2 二极管的伏安特性 .....	24
2.2.3 二极管的主要参数 .....	25
2.2.4 二极管模型 .....	27
2.3 二极管应用电路 .....	29
2.3.1 整流电路 .....	29
2.3.2 限幅电路 .....	31
2.3.3 钳位电路 .....	31
2.4 特殊二极管 .....	32
2.4.1 稳压二极管 .....	32
2.4.2 光敏二极管 .....	34
2.4.3 发光二极管 .....	34

2.4.4 激光二极管 .....	34
2.5 小结 .....	35
2.6 自我检验题 .....	35
2.7 思考题与习题 .....	36
<b>第3章 半导体三极管及其放大电路基础</b> .....	<b>40</b>
3.1 半导体三极管 .....	40
3.1.1 三极管的结构 .....	40
3.1.2 三极管的工作原理 .....	41
3.1.3 三极管的伏安特性曲线 .....	44
3.1.4 三极管的主要参数 .....	46
3.2 共发射极放大电路 .....	47
3.2.1 共射极放大电路的组成 .....	47
3.2.2 放大电路的两种工作状态 .....	48
3.3 放大电路的基本分析方法 .....	50
3.3.1 图解法 .....	50
3.3.2 微变等效电路法 .....	55
3.4 放大电路静态工作点的稳定问题 .....	60
3.4.1 温度对静态工作点的影响 .....	61
3.4.2 射极偏置电路 .....	61
3.5 共集电极放大电路和共基极放大电路 .....	65
3.5.1 共集电极放大电路 .....	65
3.5.2 共基极放大电路 .....	67
3.5.3 放大电路三种组态的比较 .....	69
3.6 放大电路的频率响应 .....	70
3.6.1 三极管高频小信号模型 .....	71
3.6.2 单级放大电路的频率响应 .....	74
3.7 小结 .....	83
3.8 自我检验题 .....	84
3.9 思考题与习题 .....	87
<b>第4章 多级放大电路及模拟集成电路基础</b> .....	<b>94</b>
4.1 多级放大电路的耦合方式 .....	94
4.1.1 直接耦合 .....	94
4.1.2 阻容耦合 .....	97
4.1.3 变压器耦合 .....	97
4.1.4 光耦合 .....	98
4.2 多级放大电路的性能分析 .....	99
4.2.1 多级放大电路的分析方法 .....	99
4.2.2 多级放大电路的分析举例 .....	99
4.2.3 多级放大电路的频率响应 .....	102
4.3 模拟集成电路基础 .....	103

4.3.1	电流源电路 .....	103
4.3.2	长尾式差分放大电路 .....	106
4.3.3	改进型差分放大电路 .....	113
4.4	小结 .....	116
4.5	自我检验题 .....	116
4.6	思考题与习题 .....	118
<b>第 5 章</b>	<b>信号运算电路 .....</b>	<b>126</b>
5.1	运算放大器的工作原理 .....	126
5.1.1	原理电路及代表符号 .....	126
5.1.2	电路模型及传输特性 .....	128
5.2	集成运算放大器的主要参数 .....	129
5.2.1	输入失调参数 .....	129
5.2.2	差模特性参数 .....	130
5.2.3	共模特性参数 .....	131
5.2.4	大信号动态特性 .....	131
5.2.5	电源特性参数 .....	132
5.3	运算电路的 3 种输入方式 .....	132
5.3.1	同相输入放大电路及虚断概念的引出 .....	132
5.3.2	反相输入放大电路 .....	134
5.3.3	差分输入放大电路 .....	135
5.4	加减运算电路 .....	138
5.4.1	加法电路 .....	138
5.4.2	减法电路 .....	139
5.5	积分电路和微分电路 .....	140
5.5.1	积分电路 .....	140
5.5.2	微分电路 .....	141
5.6	对数和反对数 (指数) 运算电路 .....	144
5.6.1	对数运算电路 .....	144
5.6.2	反对数 (指数) 运算电路 .....	144
5.7	集成运放性能指标对运算误差的影响 .....	146
5.7.1	开环电压增益 $A_{od}$ 为有限值引起闭环增益的误差 .....	146
5.7.2	共模抑制比 $K_{CMR}$ 为有限值引起闭环增益的误差 .....	146
5.7.3	输入失调参数 $V_{I0}$ 、 $I_{I0}$ 和输入偏置电流 $I_{IB}$ 引起输出电压的误差 .....	147
5.8	变跨导模拟乘法器及其在运算电路中的应用 .....	149
5.8.1	变跨导模拟乘法器简介 .....	149
5.8.2	模拟乘法器在运算电路中的应用 .....	150
5.9	小结 .....	152
5.10	自我检验题 .....	153
5.11	思考题与习题 .....	154
<b>第 6 章</b>	<b>负反馈放大电路 .....</b>	<b>162</b>

6.1 反馈的基本概念及分类	162
6.1.1 反馈的基本概念	162
6.1.2 反馈放大电路的基本表达式	163
6.1.3 反馈的分类及判别	164
6.2 负反馈放大电路的近似计算	170
6.2.1 深度负反馈条件下放大电路闭环增益的近似计算	170
6.2.2 闭环输入和输出电阻估算	174
6.3 负反馈对放大电路性能的影响	177
6.3.1 提高闭环增益稳定性	177
6.3.2 对输入和输出电阻的影响	178
6.3.3 展宽通频带	179
6.3.4 减小负反馈环内非线性失真	180
6.4 负反馈放大电路的自激问题	181
6.4.1 产生自激的原因和条件	181
6.4.2 负反馈放大电路的稳定裕度	182
6.4.3 自激振荡的判断	183
6.4.4 自激振荡的消除	184
6.5 小结	187
6.6 自我检验题	188
6.7 思考题与习题	189
<b>第7章 信号处理与产生电路</b>	<b>194</b>
7.1 有源滤波器	194
7.1.1 基本概念	194
7.1.2 一阶有源滤波器	195
7.1.3 二阶有源滤波器	197
7.1.4 几种常用的高阶滤波电路	202
7.2 开关电容滤波器	208
7.3 电压比较器	210
7.3.1 单门限电压比较器	210
7.3.2 迟滞比较器	212
7.3.3 集成电压比较器	216
7.4 正弦波振荡电路的基本概念	218
7.4.1 正弦波振荡电路的振荡条件	218
7.4.2 振荡的建立与稳定	218
7.4.3 正弦波振荡电路的分类与选频网络	219
7.5 RC 正弦波振荡电路	219
7.5.1 RC 桥式正弦波振荡电路	219
7.5.2 RC 移相式正弦波振荡电路	222
7.6 LC 正弦波振荡电路	223
7.6.1 LC 并联回路与选频放大电路	223
7.6.2 变压器反馈式 LC 振荡电路	225
7.6.3 三点式 LC 振荡电路	226

7.6.4	石英晶体正弦波振荡电路	227
7.7	非正弦波产生电路	229
7.7.1	矩形波产生电路	229
7.7.2	锯齿波及三角波产生电路	230
7.8	单片集成函数发生器 8038 简介	232
7.9	小结	234
7.10	自我检验题	236
7.11	思考题与习题	237
<b>第 8 章</b>	<b>场效应管及其放大电路</b>	<b>247</b>
8.1	金属-氧化物-半导体 (MOS) 场效应管	247
8.1.1	N 沟道增强型 MOS 场效应管	247
8.1.2	N 沟道耗尽型 MOS 场效应管	252
8.1.3	P 沟道 MOS 场效应管	253
8.1.4	MOS 场效应管的主要参数	253
8.2	结型场效应管	255
8.2.1	结型场效应管的结构和工作原理	255
8.2.2	结型场效应管的特性曲线及参数	257
8.3	场效应管放大电路及模拟集成电路基础	258
8.3.1	场效应管放大电路的静态分析	258
8.3.2	场效应管的微变等效电路	260
8.3.3	场效应管电流源	265
8.3.4	场效应管差分放大电路	267
8.4	各种放大器件及电路性能比较	269
8.4.1	各种场效应管的特性及使用注意事项	269
8.4.2	各种放大器件电路性能比较	270
8.5	小结	273
8.6	自我检验题	274
8.7	思考题与习题	274
<b>第 9 章</b>	<b>功率放大电路</b>	<b>282</b>
9.1	功率放大电路的一般问题	282
9.2	变压器耦合甲类功率放大电路	283
9.2.1	静态分析计算	284
9.2.2	动态分析	285
9.3	乙类双电源互补对称功率放大电路	286
9.3.1	电路组成及工作原理	286
9.3.2	分析计算	288
9.3.3	半导体三极管的选择	289
9.4	甲乙类互补对称功率放大电路	291
9.4.1	甲乙类双电源互补对称功率放大电路	291
9.4.2	甲乙类单电源互补对称功率放大电路	292

9.5 集成功率放大器	293
9.5.1 功率器件	293
9.5.2 集成功率放大器	298
9.6 小结	300
9.7 自我检验题	300
9.8 思考题与习题	301
<b>第 10 章 集成运算放大器</b>	<b>306</b>
10.1 通用型集成运算放大器	306
10.1.1 带有源负载的差分放大电路	306
10.1.2 通用型集成运放的简化原理电路	306
10.1.3 741 运放的组成及工作原理	307
10.2 CMOS 型集成运算放大器简介	309
10.3 BiCMOS 单片集成运算放大器	310
10.4 BJT 运算放大器	311
10.5 跨导运算放大器	312
10.6 如何选用集成运算放大器	314
10.6.1 集成运算放大器的分类	314
10.6.2 如何选择集成运算放大器	315
10.7 小结	316
10.8 自我检验题	316
10.9 思考题与习题	317
<b>第 11 章 直流电源</b>	<b>319</b>
11.1 单相桥式整流电容滤波电路	319
11.1.1 单相桥式整流电路	319
11.1.2 电容滤波电路	324
11.1.3 倍压整流电路	327
11.2 串联反馈型稳压电路	328
11.2.1 稳压电源的质量指标	329
11.2.2 稳压电路组成及工作原理	329
11.2.3 三端集成稳压器	332
11.3 开关型稳压电路	336
11.4 小结	339
11.5 自我检验题	340
11.6 思考题与习题	341
<b>* 第 12 章 电子电路的计算机辅助分析与设计</b>	<b>346</b>
12.1 典型器件的 SPICE 模型简介	346
12.2 电子电路辅助分析	349
12.3 电子电路 SPICE 程序辅助设计	355
12.4 思考题与习题	359

附录	365
附录 A 常用的网络定理	365
A.1 叠加原理	365
A.2 戴维南定理和诺顿定理	366
A.2.1 戴维南定理	366
A.2.2 诺顿定理	369
A.3 密勒定理	370
附录 B OrCAD 软件使用简介	371
B.1 OrCAD/Capture 简介	372
B.1.1 Orcad Capture 集成环境	372
B.1.2 Capture 中的电路描述	375
B.2 OrCAD/PSpice A/D 简介	377
B.2.1 PSpice A/D 仿真功能简介	377
B.2.2 PSpice A/D 集成环境	378
B.2.3 PSpice A/D 中的有关规定	379
B.2.4 简化版 Orcad 9.2 Lite Edition 中的主要元器件	382
B.3 电路 OrCAD 仿真的一般步骤	383
B.3.1 新建仿真设计项目	383
B.3.2 绘制电路图	384
B.3.3 编辑修改元器件标号和参数	385
B.3.4 创建仿真分析要求简要表及设置分析功能	386
B.3.5 仿真	387
B.3.6 在 PSpice A/D 窗口中观测仿真结果	388
附录 C 自我检验题及部分习题答案	392
参考文献	405

# 第 1 章 绪 论

以微电子技术为标志的现代电子技术的飞速发展，推动了自动控制、计算机、通信和全球网络等技术的发展，人类已进入信息时代。今天，信息的处理已离不开电子技术，人们每天都要同各种电子器件和电子设备打交道。电子技术在科学研究、国防、工业、医学、通信及文化生活等各个领域中都起着巨大的作用。

电子技术的基本任务为：信号的产生、信号的传输、信号的处理。任务的完成取决于对电子器件、电子电路、电子系统性能的研究。按照功能和构成原理的不同，电子电路可分为模拟电路和数字电路两大类。本书着重讨论模拟电路的基本概念、基本原理、基本分析方法及基本应用。

作为绪论，本章首先简要地介绍信号与电子系统的基本概念，接着讨论模拟电子系统中应用最普遍的基本电路——放大器（模型）及其性能，最后研究简单  $RC$  电路的频率响应。这样安排的意图：一是使初学者对本课程的概貌有个初步了解，二是为后续各章的讨论提供必要的基础知识。

## 1.1 信号与电子系统

### 1.1.1 信号及其分类

信号可以用来传输信息。信息可用语言、文字、图像等来表达，也可以用人们事先规定好的编码来表达。但在很多情况下，这些表达信息的语言、文字、图像、编码等不便于直接传输。因此，在近代科学技术中，常用电信号来传送各种信息，即利用一种变换设备把各种信息转换为随时间作相应变化的电压或电流进行传输。这种随信息作相应变化的电压或电流就是电信号。当电信号传递到目的地后，再利用一种与上述相反的变换设备，把电信号还原成原来的信息。最早的无线电系统就是利用电磁波传输信息的无线电通信系统。

例如，在电视广播系统中，传输配有声音的景物时，先利用电视摄像机把景物的光线、色彩转变成图像信号（电压或电流），并利用传声器把声音转变成伴音信号（电压或电流），这些就是电视要传输的带有信息的电信号。然后把这些信号送入电视发射机进行处理，产生一种反映信息变化的便于传输的高频电信号，再由天线将高频电信号转换为电磁波发射出去，在空间传播。电视观众用接收天线截获了电磁波的很小一部分能量送入电视接收机，接收机的作用与发射机相反，它能对接收到的由电磁波转换得到的高频电信号进行处理，从而恢复出原来的图像和伴音信号，并分别送入显像管与扬声器，供观众欣赏。这个过程可用一个简明的方框图表示，如图 1-1-1 所示。其中，变换器指的是把表达信息的景物和声音转换为电信号的装置（如摄像管和传声器），或者反过来，是把电信号转换为景物和声音的装置（如显像管和扬声器等）。

综上所述，在电子技术中谈到“信号”时，指的就是变化的电压或电流——电信号。根据电信号随时间的变化规律，可将电信号分为两大类：模拟信号和数字信号。



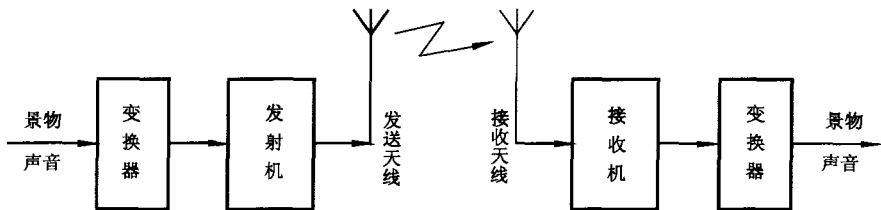


图 1-1-1 电视系统方框图

图 1-1-2 所示的电压波形有正弦波、三角波、调幅波和阻尼振荡波形等等，均为复杂的数学函数。它们随时间的变化规律是不同的，但它们都是模拟信号。模拟信号的幅值随时间呈连续变化，波形上任意一点的数值均有其物理意义。在前面介绍的电视系统中，模拟语音的音频信号，模拟图像的视频信号都是模拟信号，自然界中大部分物理参数都属于模拟量，如温度、压力、位置、速度和重量等等。在电子技术中，为了测量和分析的需要，常常将这些物理量转换为模拟信号。产生和处理模拟信号的电路称为模拟电子电路，如交、直流放大器、音频信号发生器等。

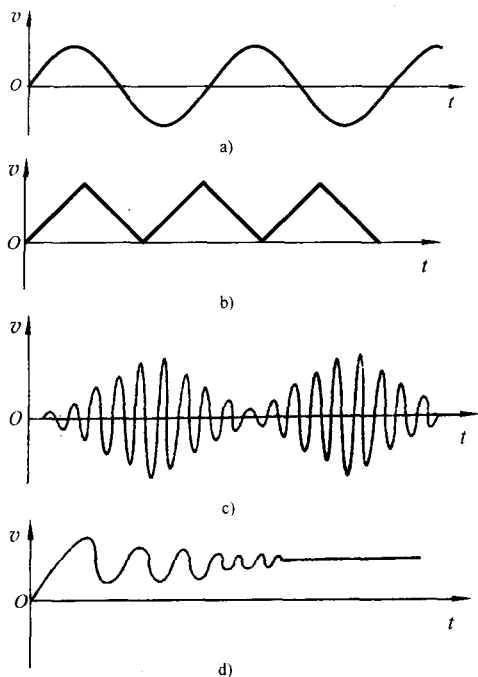


图 1-1-2 几种模拟信号波形

a) 正弦波 b) 三角波 c) 调幅波 d) 阻尼振荡波

与模拟信号相对应的是数字信号，它只在某些不连续的瞬时给出函数值，其函数值通常是某个最小单位的整数倍，小于这个最小单位的数值是没有意义的。像电灯的“亮”和“灭”，工厂产品数量的统计等都是数字信号。图 1-1-3 所示的方波信号就是典型的数字信号。产生和处理数字信号的电路称为数字电子电路，如各种门电路、触发器、计数器等等。

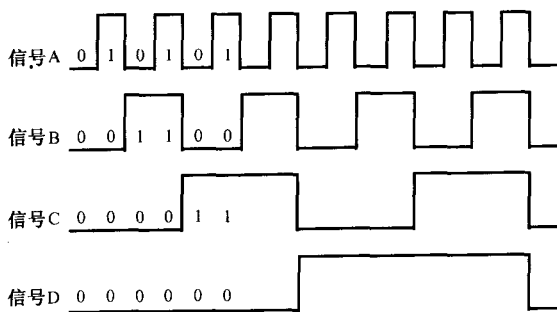


图 1-1-3 数字信号波形举例