

高校计算机教学系列教材

电路基础与模拟电子技术

(修订本)

李树雄 编著



北京航空航天大学出版社

高校计算机教学系列教材

电路基础与模拟电子技术

(修订本)

李树雄 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书将“电路基础”及“模拟电子技术”有机地结合成一体。在保证必要的经典内容的同时,力求反映近代理论和先进技术,在理论与应用关系上,以应用为主。共10章,前4章为电路基础部分:电路的基本概念与基本定律、电路的分析方法、正弦交流电路、电路的过渡过程。后6章为模拟电路部分、半导体二极管及应用电路、放大电路、放大电路中的负反馈、集成运放的应用等。叙述条理清晰,内容连贯。文中注意正文、例题和习题之间的分工和配合,各章附有小结。

本书可供高等院校本科、高职、高专计算机专业及电类、非电类专业教学选用,也可供专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路基础与模拟电子技术/李树雄编著. —修订本. —北京:北京航空航天大学出版社,2005.1

高校计算机教学系列教材

ISBN 7-81077-575-8

I. 电… II. 李… III. ①电路理论—高等学校—教材②模拟电路—电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM13②TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 107325 号

电路基础与模拟电子技术 (修订本)

李树雄 编著

责任编辑 许传安

责任校对 戚爽

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhpress@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:18.25 字数:467千字

2005年1月第2版 2005年1月第1次印刷 印数:5000册

ISBN 7-81077-575-8 定价:25.00元



总 前 言

科教兴国,教育先行,在全国上下已形成共识。在教育改革过程中,出现了多渠道、多形式、多层次办学的局面。同时,政府逐年加大教育的投入力度。教育发展了,才能有效地提高全民族的文化、科学素质,使我们中华民族屹立于世界民族之林。

计算机科学与技术的发展日新月异,其应用领域迅速扩展,几乎无处不在。社会发展的需求,促使计算机教育生气蓬勃。从普通高校的系统性教学,到远距离的电视、网上教学;从全面讲述,到不同应用领域的、星罗棋布的培训班;从公办的到民办的;从纸介教材到电子教材等等,可以说计算机教学异彩纷呈。要进行教学,就必须有教材。

面对我们这么大的国家和教学形势,在保证国家教学基本要求的前提下,应当提倡教材多样化,才能满足各教学单位的需求,使他们形成各自的办学风格和特色。为此,我们组织北京工业大学、北京航空航天大学、北京理工大学、南开大学、天津工业大学等高校的有丰富教学经验的教师编写了计算机教学系列教材,将陆续与师生见面。

系列教材包括以下各项。

(一) **基础理论**:离散数学。

(二) **技术基础**:电路基础与模拟电子技术;数字逻辑基础;计算机组成与体系结构;计算机语言(拼盘,选择使用),包括 C++ 程序设计基础、Visual Basic 程序设计基础、Matlab 程序设计基础、Java 程序设计基础、Delphi 语言基础、汇编语言基础等;数据结构;计算机操作系统基础;计算方法基础;微机与接口技术;数据库技术基础等。

(三) **应用基础**:计算机控制技术;网络技术;软件工程;多媒体技术等。

(四) **技术基础扩展**:编译原理与编译构造;知识工程——网络计算机环境下的知识处理。

(五) **应用基础扩展**:计算机辅助设计;单片机实用基础;图形、图像处理基础;传感器与测试技术;计算机外设与接口技术。

本系列教材主要是针对计算机教学编写的,供普通高校、社会民办大学、高等职业学校、业余大学等计算机或相应专业本科或专科选用。其中一部分也适合非计算机等专业本科教学使用。在这些教材的内容简介或前言中对使用范围均作了说明。

本系列教材在编写时,注重以下几点:(1) 面对计算机科学与技术动态发展的现实,在内容上应具有前瞻性;(2) 面对学以致用,既有系统的基础知识,又具有应用价值的实用性;(3) 具有科学性、严谨性。另外,力求使有限的版面具有最大的信息量,以使读者得到实惠。

能否实现这些愿望,只有师生在教学实践中评价。我们期望得到师生的批评和指正。

高校计算机教学系列教材编委会



高校计算机教学系列教材编委会成员

主 任:赵沁平

副 主 任(常务):陈炳和

顾 问:姜中凡

委 员(以姓氏笔划为序):

吕景瑜(北工大教授)

乔少杰(社长,副教授)

姜中凡(北航教授,教育部工科计算机基础教学指导委员会副主任、中专计算机
教学指导委员会顾问)

苏开娜(北工大教授)

陈炳和(北工大教授)

张鸿宾(北工大博导)

郑玉明(北工大副教授)

金茂忠(北航博导)

赵沁平(北航博导,国务院学位办主任)



修订版前言

多年来,“电路基础”及“模拟电子技术”都以独立形式各成一书。由于其涉及面广,内容庞杂,在本科、大专非电类专业、计算机专业选用这些教材时,不得不做内容的取舍或增补,以满足教学需要。尤其近年来各高校普遍提倡夯实基础、拓宽知识面的教学理念,为此许多相关课程都在调整课时,且希望在有限的时间内,开设更多的课程,本人于2000年2月主持编写了将电路理论与模拟电子学有机结合为一体的教材,不到4年已印刷了6次,仍不能满足读者需要。这恰恰表明本书的编写特点符合当前的教学要求,因此才得到各高校的普遍认可。为进一步满足教学需求,经过慎重考虑,又对原书进行了较大幅度的修改,重新编写和调整的内容接近50%。本书具有以下特点:

1. 第1~4章为电路基础部分,编入的内容绝大部分仍然属于经典内容。主要包括直流电阻电路、正弦稳态电路及电路的过渡过程。目的是让学生掌握电路理论的一些最基本内容。考虑到专业的需要和学时限制,将受控源、谐振、互感及三相电路等内容都以一节形式写入相应章中。但在基本概念、基本分析方法上都作了详尽的阐述。

2. 第5~10章为模拟电路部分,重点放在建立放大的基本概念、反馈概念和以集成电路为主的内容上。将负反馈放大电路、运算放大电路、电压比较器、波形发生电路以及直流电源等内容结合在集成运放电路中介绍,尽量精简涉及半导体物理的内容,压缩分立元件放大电路等比较陈旧的内容。同时,列举了集成运放多方面应用的实例,以适应当前电子技术发展的现状及需要。

3. 在修改过程中,特别注意使教师好教,学生好学,去掉了一些非重点内容,以及冗长的推导和分析;加强了对重点内容的文字叙述,更加突出文字的科学性、通俗性;增加了实例和插图;力图帮助读者通过自学可自行理解和掌握相关的概念。

4. 在修改过程中,在保证传统内容的同时,更注意反映近代理论和带有实用价值的技术。理论的阐述以够用为度,重点放在应用上。注意运用正文、例题、习题之间的分工和配合,尤其每章后的小结,起到提纲挈领、掌握要点、强化概念的作用,以帮助读者归纳和总结。

5. 本书明确为后续课程“数字逻辑基础”、“微机技术”、“传感器与测量技术”等相关课程服务的宗旨,为此做好内容的铺垫和衔接。此外,考虑到本书适用专业范围较广,增加了“*”号标记,教师在教学中,



可根据专业和课时的需要适当选取,非电类专业可把打“*”号内容作为深入或选学内容。

本书在修改过程中得到南开大学牛文成教授的多方指点,南开大学吕景发教授也提出了许多修改建议,同时还得到多所高校同仁的悉心指导。本书在编写过程中,由李铮、王丹帮助抄写全部书稿,张鸿珍、曾光、李拓、王大明等同志帮助绘制了全书电路图,曾昭成老师为本书编写提供了大量参考资料和文献。在此一并向他们表示衷心感谢。

限于编者水平,书中难免有错误和不妥之处,诚望读者不吝指正。

作者 E-mail: Yefan 2001 65@Yahoo.com.cn

作 者

2004 年 5 月



常用符号说明

电路基础部分

I	直流电流, 正弦电流有效值
I_L, I_P	三相电路线电流, 相电流
i	交流电流, 正弦交流电流
I_m	正弦电流最大值
\dot{I}, \dot{I}_m	正弦电流有效值相量, 正弦电流最大值相量
I_S	电流源电流
I_{SC}	短路电流
U	直流电压, 正弦电压有效值
U_L, U_P	三相电路线电压, 相电压
u	交流电压的瞬时值, 正弦交流电压
U_m	正弦电压最大值
\dot{U}, \dot{U}_m	正弦电压有效值相量, 正弦电压最大值相量
U_S	电压源电压
U_{OC}	开路电压
P	直流电阻电路功率, 正弦交流电平均功率
P_L, P_{Lmax}	负载功率, 负载最大功率
$p(t)$	瞬时功率
R_S	电源内阻
R_0	戴维南等效电阻
R, G	电阻, 电导
Z, Y	阻抗, 导纳
Z_{ref}	反映阻抗
X_L, X_C	感抗, 容抗
L, C	电感, 电容
M	互感系数
K	耦合系数, 积分常数
$w(t), W$	瞬时能量, 平均能量
Q	电荷量
φ	相位差
Ψ	磁链
Φ	磁通[量]
ω	角频率
ω_0, ω_d	谐振角频率, 阻尼振荡角频率



f, f_0	频率, 谐振频率
t	摄氏温度, 时间
θ	初相角, 阻抗角
Q	无功功率, 品质因数
Q_L, Q_C	电感无功功率, 电容无功功率
S	视在功率, 特征根, 开关
$s(t)$	单位阶跃响应
$\varepsilon(t), \varepsilon(t-t_0)$	单位阶跃函数, 延时单位阶跃函数
ρ	特性阻抗
τ	时间常数
α	衰减常数

模拟电子技术部分

U_{CC}, U_{BB}	三极管集电极直流电源电压, 三极管基极直流电源电压
U_S	信号源电压有效值
U_1, U_i, u_i	直流输入电压, 交流输入电压有效值, 交流输入电压
U_O, u_O	交流输出电压有效值, 交流输出电压
U_{DD}	场效应管漏极直流电源电压
U_N, U_P	集成运放反相输入端电压, 同相输入端电压
U_f	反馈电压
U_R	参考电压
U_X, U_Y	模拟乘法器输入电压
U_T	温度电压当量, 场效应管开启电压, 比较器门限电压
ΔU_T	回差电压
U_Z, U_F	稳压管电压, 发光二极管电压
U_{om}	三角波、锯齿波幅值
U_P	场效应管夹断电压
$\pm U_{OPP}$	集成运放最大输出电压
U_{RM}	二极管最高反向工作电压
A	增益, 开环放大倍数
F	反馈系数
A_u, A_i	开环电压放大倍数, 开环电流放大倍数
A_f, A_{uf}	闭环放大倍数, 闭环电压放大倍数
A_d, A_C	差模电压放大倍数, 共模电压放大倍数
A_{us}	含有信号源内阻电压放大倍数
I_R	二极管反向电流, 电流源基准电流
I_D, I_Z	二极管电流平均值, 稳压管电流
I_f, I_F	反馈电流, 发光二极管电流
I_i, I_O	输入电流有效值, 输出电流有效值
i_D	二极管电流, 场效应管电流



R_s	信号源内阻
R_i, R_{if}	输入电阻, 具有负反馈的输入电阻
R_o, R_{of}	输出电阻, 具有负反馈的输出电阻
g_m	跨导
f_L, f_H	下限频率, 上限频率
f_{bw}	通频带
$\beta, \bar{\beta}$	交流电流放大系数, 直流电流放大系数
P_o, P_{om}	输出功率, 最大输出功率
P_E, P_V	电源功率, 三极管管耗
η	转换效率
V, VD, VD_Z	三极管符号, 二极管符号, 稳压二极管符号

说 明

I_{BQ}, U_{BEQ}	大写字母、大写下标表示直流量
I_b, U_{be}	大写字母、小写下标表示交流有效值
i_B, u_{BE}	小写字母、大写下标表示包括直流量的总瞬时量
i_b, u_{be}	小写字母、小写下标表示交流分量瞬时值



目 录

第 1 章 电路的基本概念与基本定律	1
1.1 电路和电路元件	1
1.2 元件的电流、电压和功率	2
1.2.1 电流、电压及其参考方向	2
1.2.2 功率和能量	4
1.3 基尔霍夫定律	6
1.3.1 基尔霍夫电流定律	6
1.3.2 基尔霍夫电压定律	7
1.4 无源二端元件	8
1.4.1 电阻元件	8
1.4.2 电容元件	9
1.4.3 电感元件	12
1.5 无源电路的等效化简	13
1.5.1 电阻的串联和并联	14
1.5.2 电阻的 Y- Δ 等效变换	17
1.5.3 电容、电感的串联和并联	19
1.6 有源二端元件	21
1.6.1 电压源	21
1.6.2 电流源	23
1.7 含独立源电路的等效简化	24
* 1.7.1 理想电源的串联、并联	24
1.7.2 两种实际电源的等效互换	26
小 结	27
习 题	30
第 2 章 电路的分析方法	33
2.1 简单电路的分析方法	33
2.2 复杂电路的分析方法	35
2.2.1 支路电流法	35
2.2.2 网孔分析法	35
2.2.3 节点分析法	38
2.3 叠加定理、等效电源定理	41
2.3.1 叠加定理	41



2.3.2 等效电源定理	44
* 2.4 受控源和含受控源电路的分析	50
2.4.1 受控源	50
2.4.2 用等效概念分析含受控源电路	52
小 结	55
习 题	57
第3章 正弦交流电路	60
3.1 正弦交流电压和电流	60
3.1.1 正弦交流电的三要素	60
3.1.2 正弦交流电的相位差和有效值	61
3.2 相 量	63
3.2.1 复数和复数的四则运算	63
3.2.2 正弦量的相量表示	65
3.3 基尔霍夫定律的相量形式	67
3.4 电阻、电感和电容元件的正弦电流	68
3.4.1 电 阻	68
3.4.2 电 感	70
3.4.3 电 容	72
3.5 阻抗与导纳、相量模型	74
3.5.1 阻抗与导纳	74
3.5.2 用相量法分析无源二端电路的等效阻抗	75
3.6 复杂正弦电路的分析计算	80
3.7 正弦交流电路的功率和功率因数	82
3.7.1 二端电路平均功率和功率因数	82
3.7.2 二端电路的无功功率	84
3.8 谐振电路	86
3.8.1 串联谐振	86
3.8.2 并联谐振	89
* 3.9 互感电路	91
3.9.1 耦合电感及其伏安关系	91
3.9.2 具有互感线圈的串联与并联	94
3.9.3 去耦等效电路	95
3.9.4 空芯变压器	96
3.10 三相交流电路	98
3.10.1 三相电路	98
3.10.2 线电压(电流)与相电压(电流)的关系	100
* 3.10.3 三相电路的计算	101
* 3.10.4 三相电路的功率	103



小 结.....	104
习 题.....	108
第 4 章 电路中的过渡过程.....	112
4.1 换路定律及初始值的计算	112
4.1.1 换路定律	112
4.1.2 初始值计算	113
4.2 一阶电路的零输入响应	114
4.2.1 RC 电路的零输入响应	114
4.2.2 RL 电路的零输入响应	117
4.3 一阶电路的零状态响应	120
4.4 一阶电路的完全响应	123
4.4.1 完全响应	123
4.4.2 一阶电路的三要素分析法	124
* 4.5 阶跃函数与阶跃响应	128
4.5.1 阶跃函数	128
4.5.2 阶跃响应	129
* 4.6 二阶电路的零输入响应	130
小 结.....	133
习 题.....	135
第 5 章 半导体二极管及应用电路.....	138
5.1 半导体基础知识	138
5.1.1 半导体的导电特性	138
5.1.2 PN 结特性	141
5.2 半导体二极管	142
5.2.1 二极管的结构及伏安特性	142
5.2.2 二极管的应用举例	143
5.3 单相整流滤波电路	144
5.3.1 单相桥式整流电路	144
5.3.2 倍压整流电路	146
5.3.3 滤波电路	147
5.4 稳压管及稳压电路	149
5.4.1 稳压二极管	149
5.4.2 稳压电路	149
5.4.3 稳压管及电路元件的选择	150
* 5.5 光电子器件	152
5.5.1 发光二极管	152
5.5.2 光敏二极管	153



小 结	153
习 题	154
第 6 章 半导体三极管及放大电路	156
6.1 双极型三极管	156
6.1.1 三极管的结构	156
6.1.2 三极管的电流控制作用	157
6.1.3 三极管的特性曲线	159
6.1.4 三极管的微变等效电路	161
6.1.5 三极管的主要参数	161
6.1.6 温度对三极管参数的影响	163
6.2 放大电路基础	164
6.2.1 放大的概念及放大电路的性能指标	164
6.2.2 共射极放大电路	166
6.2.3 静态工作点稳定电路	174
6.2.4 共集电极放大电路	176
6.3 多级放大电路	179
6.3.1 多级放大电路的组成	179
6.3.2 多级放大电路性能指标的估算	180
6.4 放大电路的频率特性	181
6.5 场效应管及放大电路	182
6.5.1 结型场效应管	182
6.5.2 绝缘栅型场效应管	184
6.5.3 场效应管放大电路	185
小 结	187
习 题	188
第 7 章 集成运算放大电路基础	191
7.1 集成运放的基本组成	191
7.2 集成运放中的偏置电路	191
7.2.1 镜像电流源	192
7.2.2 微电流源	192
7.2.3 电流源用作有源负载	192
7.3 差动放大电路	193
7.3.1 长尾式差动放大电路	194
7.3.2 恒流源式差动放大电路	198
7.4 功率放大电路	199
7.4.1 乙类双电源互补对称功率放大电路(OCL 电路)	200
7.4.2 甲乙类双电源互补对称功率放大电路	201



7.4.3 采用复合管的 OCL 电路	202
7.4.4 单电源互补对称功率放大电路(OTL 电路)	203
7.5 集成运算放大电路	204
7.5.1 集成运算放大电路内部的组成	204
7.5.2 集成运算放大电路的主要参数	205
7.5.3 理想集成运算放大电路	206
小 结	208
习 题	209
第 8 章 放大电路中的负反馈	211
8.1 反馈的基本概念与分类	211
8.1.1 反馈的概念	211
8.1.2 反馈的分类与判别	211
8.2 负反馈放大电路的组态	214
8.3 反馈放大电路的表示方法	215
8.4 深度负反馈放大电路的估算	217
8.5 负反馈对放大电路性能的影响	220
8.5.1 提高放大倍数的稳定性	220
8.5.2 减小非线性失真,抑制干扰噪声	220
8.5.3 扩展通频带	221
8.5.4 改善放大电路的输入和输出电阻	221
8.6 负反馈放大电路的自激振荡	222
小 结	223
习 题	224
第 9 章 集成运放在信号的运算与处理上的应用	226
9.1 比例运算电路	226
9.1.1 反相比例运算电路	226
9.1.2 同相比例运算电路	227
9.1.3 差动输入比例运算电路	228
9.2 求和电路	230
9.2.1 反相求和电路	230
9.2.2 同相求和电路	231
9.2.3 差动求和电路	232
9.3 积分与微分电路	233
9.3.1 积分电路	233
9.3.2 微分电路	234
9.4 对数与反对数电路	235
9.4.1 对数电路	235



9.4.2 反对数电路	236
* 9.5 模拟乘法器	237
9.5.1 除法运算	237
9.5.2 开平方运算	238
9.6 电压比较器	239
9.6.1 过零比较器	239
9.6.2 单门限比较器	240
9.6.3 滞回比较器	242
9.6.4 窗口比较器	243
小 结	244
习 题	245
第 10 章 集成运放在其它方面的应用	250
10.1 正弦波振荡电路	250
10.1.1 产生正弦波振荡的条件	250
10.1.2 RC 串并联电路选频特性	251
10.1.3 RC 串并联振荡电路	252
10.2 非正弦波振荡电路	254
10.2.1 矩形波发生器	254
10.2.2 三角波发生器	256
10.2.3 锯齿波发生器	257
* 10.2.4 压控振荡器	257
10.3 稳压电源	258
10.3.1 串联型稳压电源的基本构成和工作原理	259
10.3.2 集成稳压器	260
* 10.4 集成运放应用举例	263
10.4.1 低通滤波器	263
10.4.2 移相电路	264
10.4.3 电压-电流转换电路	265
10.4.4 电容量倍增电路	266
10.4.5 理想二极管与精密整流电路	266
10.4.6 测量放大器	268
小 结	269
习 题	271
参 考 文 献	274



第1章

电路的基本概念与基本定律

电路理论不是研究实际电路,而是研究由理想元件构成的电路模型。本章将讨论理想的电阻、电容、电感及理想的电源。这些元件都是对实际器件进行近似化、理想化抽象出来的模型。将这些模型元件连接一起,各元件之间电流、电压必然要受到一定约束。这种约束关系就是基尔霍夫定律。

本章将引入等效概念,这是本课程的重要内容。等效变换是分析电路的常用方法之一。



1.1 电路和电路元件

所谓电路就是由实际器件按一定方式连接起来形成电流的通路,复杂些的电路又称为网络。实际电路种类很多,形式和结构也各不相同。按电路的基本功能可分为两大类:一类是对信号的变换、传输和处理的电路;一类是对能量的转换和传输的电路。前者用来对各种物理量进行测量、放大等等,如收音机、电视接收机将接收的微弱无线电信号经过放大后以满足人们对听觉和视觉的要求。后者用来把电能转换成所需要的其它形式的能量,如发电厂的发电机把热能或原子能或水能变换成电能,通过变压器、输电线传送给各用电单位。

日常生活中用的手电筒就构成一个简单的电路。它由电池、灯泡、连接导线及开关组成,如图 1-1-1(a) 所示。电池作为电源,在其正负极间能保持一定的电压,为电路提供电能。灯泡是吸收能量的装置,将电能转换成光能、热能。这类电器件称为负载。电源与负载通过导线与开关连接,使电流形成通路。

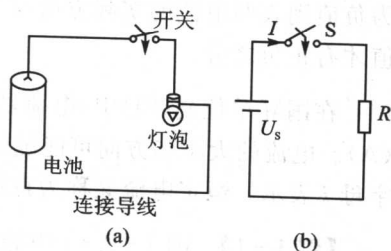


图 1-1-1 实际电路及其模型

电路理论包括分析和研究电路中所发生的电磁现象与过程,探讨电路的基本规律和计算方法。

在分析和研究电路时,为突出重点,抓住主要矛盾,是把实际的具体电路抽象为由一些理想元件构成的电路。所谓理想元件,就是对实际电路器件的科学抽象。实际器件的物理过程十分复杂,并且都和电磁有关,因此性能方程也十分复杂。为了简化对器件性能的描述,常略去其次要的物理过程,把它近似化、理想化,使之可以用一个简单的数学方程来描述。这种经过简化的器件称为理想元件或元件模型。一个实际电路可以由多个理想元件的组合来模拟,这样的电路称为电路模型。

有了理想元件和电路模型的概念,对图 1-1-1(a) 所示的实际手电筒电路,可以用电阻 R 表示灯泡;用直流电压源 U_s 表示电池;用 S 表示开关;用电阻为零的导线表示金属壳体,如图 1-1-1(b) 所示。