

21
世纪

高等学校计算机应用型本科规划教材精选



电子技术基础

—— 电路与模拟电子



赵辉 主编
孙富元 主审



清华大学出版社

21 世纪高等学校计算机应用型本科规划教材精选

电子技术基础 ——电路与模拟电子

赵 辉 主编

孙富元 主审

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是“21世纪高等学校计算机应用型本科规划教材精选”的规划教材,是为了适应应用型人才培养的需要、新的课程体系和教学内容改革的需要以及满足课程压缩学时的实际需要而编写的。本书将传统的“电路基础”课程和“模拟电子技术基础”两门课程进行合并。全书共10章,包括电路的基本概念和定律、电阻电路的分析、动态电路分析、正弦稳态电路分析、半导体器件、放大电路分析、负反馈放大电路、集成运算放大器及其应用、波形产生电路、直流稳压电源。为适应应用型本科人才培养的需要,书中穿插典型例题及习题,并提供多媒体教学课件。

本书可作为高等学校计算机、通信、电气电子等相关专业的本科生教材,也可作为成人教育及自学考试试用教材,或作为电子工程技术人员的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础:电路与模拟电子/赵辉主编.—北京:清华大学出版社,2009.9

(21世纪高等学校计算机应用型本科规划教材精选)

ISBN 978-7-302-20231-8

I. 电… II. 赵… 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. TM13 TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 123322 号

责任编辑:索梅 柴文强

责任校对:李建庄

责任印制:杨艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:19.75 字 数:472千字

版 次:2009年9月第1版 印 次:2009年9月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:29.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:031336-01

21 世纪高等学校计算机应用型本科规划教材精选

编写委员会成员

(按姓氏笔画)

王慧芳	朱耀庭	孙富元
高福成	常守金	

序

PREFACE

“教

育部财政部关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见”(教高[2007]1号)指出:“提高高等教育质量,既是高等教育自身发展规律的需要,也是办好让人民满意的高等教育、提高学生就业能力和创业能力的需要”,特别强调“学生的实践能力和创新精神亟待加强”。同时要求将教材建设作为质量工程的重要建设内容之一,加强新教材和立体化教材的建设;鼓励教师编写新教材,为广大教师和学生提供优质教育资源。

“21世纪高等学校计算机应用型本科规划教材精选”就是在实施教育部质量工程的背景下,在清华大学出版社的大力支持下,面向应用型本科的教学需要,建设一套突出应用能力培养的系列化、立体化教材。该系列教材包括各专业计算机公共基础课教材;包括计算机类专业,如计算机应用、软件工程、网络工程、数字媒体、数字影视动画、电子商务、信息管理等专业方向的计算机基础课、专业核心课、专业方向课和实践教学的教材。

应用型本科人才教育重点面向应用、兼顾继续深造,力求将学生培养成为既具有较全面的理论基础和专业基础,同时也熟练掌握专业技能的人才。因此,本系列教材吸纳了多所院校应用型本科的丰富办学实践经验,依托母体校的强大教师资源,根据毕业生的社会需求、职业岗位需求,适当精选理论内容,强化专业基础、技术和技能训练,力求满足师生对教材的需求。

本丛书在遴选和组织教材内容时,围绕专业培养目标,从需求逆推内容,体现分阶段、按梯度进行基本能力→核心能力→职业技能的培养;力求突出实践性,实现教材和课程系列化、立体化的特色。

突出实践性。丛书编写以能力培养为导向,突出专业实践教学内容,为有关专业实习、课程设计、专业实践、毕业实践和毕业设计教学提供具体、翔实的实验设计,提供可操作性强的实验指导,完全适合“从实践到理论再到应用”、“任务驱动”的教学模式。

教材立体化。丛书提供配套的纸质教材、电子教案、习题、实验指导和案例,并且在清华大学出版社网站(<http://www.tup.com.cn>)提供及时更新的数字化教学资源,供师生学习与参考。

课程系列化。实验类课程均由“教程+实验指导+课程设计”三本教材构成一门课

IV 电子技术基础——电路与模拟电子

程的“课程包”，为教师教学、指导实验，学生完成课程设计提供翔实、具体的指导和技术支持。

希望本丛书的出版能够满足国内对应用型本科学生的教学要求，并在大家的努力下，在使用中逐渐完善和发展，从而不断提高我国应用型本科人才的培养质量。

丛书编委会

2009年6月

本书常用符号说明



1. 基本原则

(1) 电压、电流

I_B, U_{BE}	大写字母、大写下标表示直流量
I_b, U_{be}	大写字母、小写下标表示交流量有效值
i_B, u_{BE}	小写字母、大写下标表示交、直流总量
i_b, u_{be}	小写字母、小写下标表示交流量瞬时值
\dot{I}_b, \dot{U}_{be}	表示交流量的相量

(2) 电阻

R	电路中的电阻或等效电阻
r	器件内部的等效电阻

2. 基本符号

(1) 电压、电流

I, i	电流的通用符号
U, u	电压的通用符号
U_Q, I_Q	静态电压、静态电流
u_i, i_i	交流输入电压、输入电流
u_o, i_o	交流输出电压、输出电流
u_f, i_f	交流反馈电压、反馈电流
u'_i, i'_i	交流净输入电压、净输入电流
U_+, I_+	运放同相输入端电压、电流
U_-, I_-	运放反相输入端电压、电流
U_{OH}, U_{OL}	电压比较器的输出高电平和输出低电平
u_{id}	差模输入电压
u_{ic}	共模输入电压
u_s	交流信号源电压
U_{CC}	双极型晶体管集电极直流电源电压
U_{BB}	双极型晶体管基极直流电源电压
U_{EE}	双极型晶体管发射极直流电源电压

U_{GG}	场效应管栅极直流电源电压
U_{DD}	场效应管漏极直流电源电压
(2) 电阻、电容、电感、阻抗	
R	电阻的通用符号
G	电导的通用符号
C	电容的通用符号
L	电感的通用符号
Z	阻抗的通用符号
Y	导纳的通用符号
X	电抗的通用符号
R_i 、 R_o	电路的输入电阻、输出电阻
R_{if} 、 R_{of}	有反馈电路的输入电阻、输出电阻
R_L	负载电阻
R_+	运放同相输入端外接等效电阻
R_-	运放反相输入端外接等效电阻
R_s	信号源内阻
X_L	电感元件的感抗
X_C	电容元件的容抗
(3) 放大倍数、增益、反馈系数	
A	放大倍数或增益的通用符号
F	反馈系数的通用符号
A_u	电压放大倍数
A_i	电流放大倍数
A_{uf}	闭环电压放大倍数
A_{us}	考虑信号源内阻时的电压放大倍数
A_{ud}	差模电压放大倍数
A_{uc}	共模电压放大倍数
(4) 功率和效率	
P	功率的通用符号
η	效率的通用符号
p	瞬时功率
P_o	输出交流功率
P_{om}	最大输出交流功率
P_T	晶体管耗散功率
P_V	直流电源供给的功率
Q	无功功率
S	视在功率
(5) 频率	
f	频率的通用符号

ω	角频率的通用符号
f_{BW}	通频带
f_o	电路的振荡频率
ω_o	电路的振荡角频率
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

3. 器件符号及参数

(1) 二极管

D	二极管
I_{F}	二极管的最大整流电流
I_{R}	二极管的反向电流
U_{T}	二极管的死区电压(或称导通电压)
U_{R}	二极管的最高反向工作电压
U_{BR}	二极管的反向击穿电压
f_{M}	二极管的最高工作频率

(2) 稳压二极管

D_{Z}	稳压二极管
I_{Z}	稳压二极管的稳定电流
$I_{\text{Zmin}}、I_{\text{Zmax}}$	稳压二极管的最小稳定电流、最大稳定电流
U_{Z}	稳压二极管的稳定电压
r_{z}	稳压二极管的动态电阻
α	稳压二极管的电压温度系数

(3) 双极型晶体管

T	晶体管
c、b、e	集电极、基极、发射极
I_{CBO}	发射极开路时,集电极-基极之间的反向饱和电流
I_{CEO}	基极开路时,集电极-发射极之间的穿透电流
U_{CES}	晶体管的饱和管压降
I_{CM}	集电极最大允许电流
P_{CM}	集电极最大允许耗散功率
$U_{(\text{BR})\text{CEO}}$	基极开路时,集电极与发射极之间的反向击穿电压
$U_{(\text{BR})\text{CBO}}$	发射极开路时,集电极与基极之间的反向击穿电压
$U_{(\text{BR})\text{EBO}}$	集电极开路时,发射极与基极之间的反向击穿电压
$\alpha、\bar{\alpha}$	共基极交、直流电流放大系数
$\beta、\bar{\beta}$	共发射极交、直流电流放大系数
r'_{bb}	基区体电阻

r_{be}	基极与发射极之间的微变等效电阻
(4) 场效应管(FET)	
JFET	结型场效应管
MOSFET	绝缘栅型场效应管
D、G、S	漏极、栅极、源极
U_P	耗尽型场效应管的夹断电压
U_T	增强型场效应管的开启电压
I_{DSS}	耗尽型场效应管的饱和漏极电流
R_{GS}	场效应管栅-源极之间的直流输入电阻
g_m	低频跨导
I_{DM}	漏极最大允许电流
P_{DM}	漏极最大允许耗散功率
$U_{(BR)DS}$	漏-源击穿电压
(5) 集成运放	
A_{ud}	开环差模电压放大倍数
K_{CMR}	共模抑制比
R_{id}	差模输入电阻
U_{IO}	输入失调电压
I_{IO}	输入失调电流
I_{IB}	输入偏置电流
U_{Idmax}	最大差模输入电压
U_{Icmax}	最大共模输入电压
f_{BW}	开环带宽
f_{BWG}	单位增益带宽
S_R	转换速率
(6) 其他符号	
Q	静态工作点、品质因数
T	周期、温度
θ	相位角
φ	相位差
τ	时间常数
S_r	稳压系数

前 言

FOREWORD

本书是“21 世纪高等学校计算机应用型本科规划教材精选”的规划教材。本教材旨在贯彻实施“质量工程”，是为适应应用型人才培养的需要、新的课程体系和教学内容改革的需要以及满足课程压缩学时的实际需要而编写的。本书根据计算机专业对电路与模拟电子技术课程的基本要求和学习特点，将传统的“电路基础”课程和“模拟电子技术基础”两门课程进行了合并。

本书充分考虑应用型本科培养应用型人才的需要，着重培养学生应用理论知识分析和解决电路实际问题的能力，按照循序渐进、理论联系实际的原则，教材内容以适量、实用为度，注重理论知识的运用。在编写过程中力求叙述简练，概念清晰，通俗易懂，便于自学。对于电路的分析求解，做到步骤清楚、结果正确，在例题的选择上更接近实际应用并具有典型性，是一本体系创新、深浅适度、重在应用、着重能力培养的应用型本科教材。

电路基础部分根据计算机专业后续专业课程的实际需要，精选出最基本的教学内容重点阐述，包括电路的基本概念和定律、电阻电路的分析、动态电路分析、正弦稳态电路分析。模拟电子技术基础部分，主要内容包括半导体器件、放大电路分析、负反馈放大电路、集成运算放大器及其应用、波形产生电路、直流稳压电源。

本书共 10 章，第 1 章由刘永增编写，第 2~4 章由李燕荣编写，第 9 章以及本书的 PSpice 仿真部分由高夕庆编写，第 5~8 章及第 10 章由赵辉编写。全书由赵辉担任主编，并完成全书的修改及统稿。本书由孙富元担任主审。本书在编写过程中得到朱耀庭教授、孙富元教授、王慧芳教授、常守金教授的多方支持，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中查阅和参考了众多的文献资料，得到许多教益和启发，在此向参考文献的作者致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中不当之处欢迎广大同行和读者批评指正。

编 者

2009 年 7 月

目 录

CONTENTS

第 1 章 电路的基本概念和定律	1
1.1 电路及电路模型	1
1.1.1 实际电路	1
1.1.2 电路模型	2
1.2 电路的基本物理量	2
1.2.1 电流	2
1.2.2 电压	3
1.2.3 电功率	4
1.3 电阻元件	5
1.3.1 线性电阻	5
1.3.2 电阻元件吸收的功率	6
1.4 电阻电路的等效化简	6
1.4.1 电阻的串联	7
1.4.2 电阻的并联	7
1.4.3 电阻星形连接和三角形连接的等效变换	8
1.5 独立电源元件	10
1.5.1 理想电压源和理想电流源	10
1.5.2 实际电源模型及其等效变换	12
1.6 基尔霍夫定律	15
1.6.1 基尔霍夫电流定律	16
1.6.2 基尔霍夫电压定律	17
1.7 本章小结	19
习题 1	20
第 2 章 电阻电路的分析	24
2.1 支路电流法	24
2.2 结点电压法	27
2.2.1 结点电压方程的一般形式	27
2.2.2 含有理想电压源支路的结点电压分析法	30
2.3 网孔电流法	31
2.3.1 网孔电流方程的一般形式	31
2.3.2 含有理想电流源支路的网孔电流分析法	33

2.4	叠加定理	34
2.5	等效电源定理	36
2.5.1	戴维南定理	36
2.5.2	诺顿定理	39
2.5.3	最大功率传输定理	40
2.6	受控源	41
2.7	非线性电阻电路简介	45
2.7.1	非线性电阻元件	45
2.7.2	非线性电阻电路的分析	45
2.8	PSpice 仿真分析	47
2.9	本章小结	48
	习题 2	50
第 3 章	动态电路分析	54
3.1	动态电路元件	54
3.1.1	电容元件	54
3.1.2	电感元件	57
3.2	动态电路初始值的计算	60
3.2.1	换路定律	60
3.2.2	初始值的计算	60
3.3	一阶电路的零输入响应	62
3.3.1	一阶 RC 电路的零输入响应	62
3.3.2	一阶 RL 电路的零输入响应	64
3.4	一阶电路的零状态响应	66
3.4.1	一阶 RC 电路的零状态响应	66
3.4.2	一阶 RL 电路的零状态响应	68
3.5	一阶电路的完全响应	70
3.6	求解一阶电路动态响应的三要素法	71
3.7	PSpice 仿真分析	74
3.8	本章小结	74
	习题 3	75
第 4 章	正弦稳态电路分析	79
4.1	正弦量的基本概念	79
4.1.1	正弦量的三要素	80
4.1.2	同频率正弦量的相位差	82
4.1.3	正弦量的有效值	83
4.2	正弦量的相量表示	84
4.2.1	复数的概念及其运算	84
4.2.2	正弦量的相量表示	85

4.3	基本元件 VAR 和基尔霍夫定律的相量形式	86
4.3.1	基本元件 VAR 的相量形式	86
4.3.2	基尔霍夫定律的相量形式	90
4.4	复阻抗和复导纳	92
4.4.1	复阻抗	92
4.4.2	复导纳	93
4.4.3	阻抗的串并联	94
4.5	正弦交流电路的相量分析法	97
4.6	正弦稳态电路的功率	99
4.6.1	二端网络的功率	99
4.6.2	最大功率传输	102
4.7	谐振电路	104
4.7.1	串联谐振	104
4.7.2	并联谐振	107
4.8	三相电路	109
4.8.1	三相电源	109
4.8.2	对称三相电路的计算	111
4.9	PSpice 仿真分析	114
4.10	本章小结	114
	习题 4	116
第 5 章	半导体器件	119
5.1	半导体的基础知识	119
5.1.1	半导体的导电特性	119
5.1.2	PN 结及其单向导电特性	122
5.2	半导体二极管	124
5.2.1	半导体二极管的结构与分类	124
5.2.2	二极管的伏安特性曲线	124
5.2.3	二极管的主要参数	125
5.2.4	稳压二极管	126
5.3	半导体三极管	127
5.3.1	三极管的结构及放大原理	127
5.3.2	三极管的特性曲线	129
5.3.3	三极管的主要参数	132
5.4	场效应晶体管	134
5.4.1	结型场效应管	134
5.4.2	绝缘栅型场效应管	138
5.4.3	场效应管的主要参数	141
5.5	本章小结	142
	习题 5	143

第 6 章 放大电路分析	146
6.1 共发射极基本放大电路	146
6.1.1 共发射极基本放大电路的组成	146
6.1.2 放大电路的工作原理	147
6.1.3 直流通路和交流通路	148
6.2 共发射极放大电路的分析	149
6.2.1 静态分析	149
6.2.2 动态分析	152
6.3 工作点稳定电路	159
6.4 其他类型放大电路	162
6.4.1 共集电极放大电路	162
6.4.2 共基极放大电路	165
6.4.3 3 种组态放大电路的比较	167
6.5 场效应管放大电路	168
6.5.1 场效应管的偏置电路及静态分析	168
6.5.2 场效应管的简化微变等效电路	170
6.5.3 共源极放大电路的动态分析	171
6.5.4 共漏极放大电路的动态分析	172
6.6 多级放大电路	173
6.6.1 多级放大电路概述	174
6.6.2 多级放大电路的分析	175
6.7 放大电路的频率特性	177
6.7.1 频率特性的基本概念	178
6.7.2 简单 RC 电路的频率特性	179
6.7.3 三极管的频率参数	182
6.7.4 多级放大电路的频率特性	184
6.8 功率放大电路	185
6.8.1 功率放大电路概述	185
6.8.2 双电源互补对称功率放大电路	186
6.8.3 单电源互补对称功率放大电路	189
6.9 集成运算放大器简介	189
6.9.1 集成运算放大器的框图及符号	190
6.9.2 集成运放的电压传输特性	191
6.9.3 集成运放的主要性能指标	191
6.10 PSpice 仿真分析	192
6.11 本章小结	194
习题 6	195
第 7 章 负反馈放大电路	201
7.1 反馈的基本概念	201

7.1.1	反馈的定义	201
7.1.2	反馈的类型及判断方法	202
7.2	交流负反馈的4种组态	204
7.2.1	负反馈放大电路的一般表达式	204
7.2.2	电压串联负反馈	206
7.2.3	电压并联负反馈	207
7.2.4	电流串联负反馈	208
7.2.5	电流并联负反馈	208
7.3	负反馈对放大电路性能的影响	210
7.3.1	提高放大倍数的稳定性	210
7.3.2	改变输入电阻和输出电阻	210
7.3.3	减小非线性失真和抑制干扰、噪声	212
7.3.4	扩展频带	213
7.4	深度负反馈放大电路的分析计算	214
7.4.1	深度负反馈放大电路放大倍数的近似估算	214
7.4.2	电压串联负反馈电路	214
7.4.3	电压并联负反馈电路	215
7.4.4	电流串联负反馈电路	216
7.4.5	电流并联负反馈电路	217
7.5	PSpice 仿真分析	219
7.6	本章小结	221
	习题7	222
第8章	集成运算放大器及其应用	226
8.1	差动放大电路	226
8.1.1	基本差动放大电路	226
8.1.2	差动放大电路的输入、输出方式	229
8.1.3	恒流源差动放大电路	231
8.2	理想集成运算放大器	233
8.2.1	理想集成运放的电路模型	233
8.2.2	理想集成运放的特点	234
8.3	运算电路	234
8.3.1	比例运算电路	235
8.3.2	加减运算电路	237
8.3.3	积分和微分运算电路	239
8.4	有源滤波器	241
8.4.1	滤波器的分类	241
8.4.2	低通滤波器	242
8.4.3	高通滤波器	243
8.4.4	带通滤波器和带阻滤波器	243

8.5	电压比较器	244
8.5.1	简单的电压比较器	245
8.5.2	滞回电压比较器	246
8.6	PSpice 仿真分析	248
8.7	本章小结	249
	习题 8	250
第 9 章	波形产生电路	254
9.1	正弦波产生电路	254
9.1.1	产生正弦波振荡的条件	254
9.1.2	正弦波振荡电路的组成	255
9.1.3	RC 正弦波振荡电路	256
9.1.4	LC 正弦波振荡电路	259
9.2	非正弦波产生电路	264
9.2.1	矩形波产生电路	264
9.2.2	三角波产生电路	266
9.2.3	锯齿波产生电路	267
9.3	PSpice 仿真分析	268
9.4	本章小结	269
	习题 9	270
第 10 章	直流稳压电源	274
10.1	单相整流电路	274
10.1.1	单相半波整流电路	274
10.1.2	单相桥式整流电路	276
10.2	滤波电路	278
10.2.1	电容滤波电路	278
10.2.2	其他形式的滤波电路	279
10.3	稳压电路	281
10.3.1	稳压电路的性能指标	281
10.3.2	硅稳压管稳压电路	282
10.3.3	串联型稳压电路	285
10.4	集成稳压电路	286
10.4.1	集成稳压器的基本应用电路	286
10.4.2	扩大输出电流的电路	287
10.4.3	输出电压可调的电路	287
10.5	PSpice 仿真分析	288
10.6	本章小结	290
	习题 10	290
	参考文献	293