



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

基金资助教材

电
工
电
子
基
础

Fundamentals of Circuit and Analog Electronic Technology

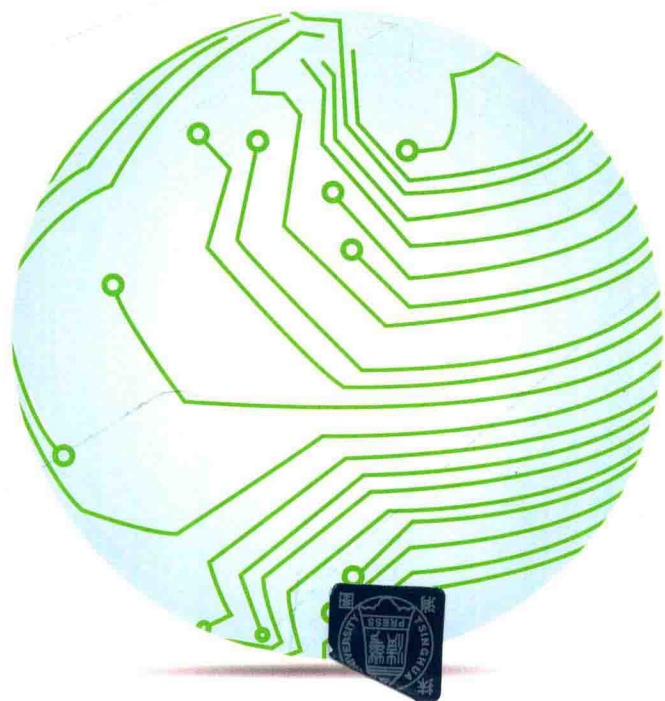
电路与模拟电子 技术基础

杨凌 主编

Yang Ling

高晖 杜娟 参编

Gao Hui Du Juan



清华大学出版社



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

Fundamentals of Circuit and Analog Electronic Technology

电路与模拟电子 技术基础

杨凌 主编

Yang Ling

高晖 杜娟 参编

Gao Hui Du Juan



清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书较为精练地整合了“电路理论”和“模拟电子技术”两门课程,内容选取上本着“电路”为“模电”服务的原则,兼顾深度和广度,力求有较宽的覆盖面以容纳较大的信息量,力求合理的深度;既注重基础理论,同时也兼顾技术的先进性;体系结构新颖,文字简练流畅;例题和习题富有思考性和启发性,并在书后附有部分习题参考答案。

本书较为简明地介绍了电路理论基础和模拟电子技术基础的主要内容,包括直流电路、正弦交流电路、常用半导体器件、放大电路基础、集成运算放大器、放大电路中的负反馈、集成运算放大器的应用、直流稳压电源、在系统可编程模拟器件及其开发平台。

本书适合作为高等学校计算机科学与技术、机电设计及其自动化等专业的“电路与模拟电子技术”课程的教材,也适合作为高等职业院校电气与电子类专业相关课程的参考教材。

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

电路与模拟电子技术基础/杨凌主编. —北京:清华大学出版社,2017

(高等学校电子信息类专业系列教材)

ISBN 978-7-302-47269-8

I. ①电… II. ①杨… 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. ①TM13 ②TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 125976 号

责任编辑:盛东亮 赵晓宁

封面设计:李召霞

责任校对:梁毅

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 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

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:16.75 字 数:404千字

版 次:2017年12月第1版 印 次:2017年12月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:49.00元

产品编号:071999-01

高等学校电子信息类专业系列教材

顾问委员会

谈振辉	北京交通大学 (教指委高级顾问)	郁道银	天津大学 (教指委高级顾问)
廖延彪	清华大学 (特约高级顾问)	胡广书	清华大学 (特约高级顾问)
华成英	清华大学 (国家级教学名师)	于洪珍	中国矿业大学 (国家级教学名师)
彭启琮	电子科技大学 (国家级教学名师)	孙肖子	西安电子科技大学 (国家级教学名师)
邹逢兴	国防科学技术大学 (国家级教学名师)	严国萍	华中科技大学 (国家级教学名师)

编审委员会

主任	吕志伟	哈尔滨工业大学		
副主任	刘旭	浙江大学	王志军	北京大学
	隆克平	北京科技大学	葛宝臻	天津大学
	秦石乔	国防科学技术大学	何伟明	哈尔滨工业大学
	刘向东	浙江大学		
委员	王志华	清华大学	宋梅	北京邮电大学
	韩焱	中北大学	张雪英	太原理工大学
	殷福亮	大连理工大学	赵晓晖	吉林大学
	张朝柱	哈尔滨工程大学	刘兴钊	上海交通大学
	洪伟	东南大学	陈鹤鸣	南京邮电大学
	杨明武	合肥工业大学	袁东风	山东大学
	王忠勇	郑州大学	程文青	华中科技大学
	曾云	湖南大学	李思敏	桂林电子科技大学
	陈前斌	重庆邮电大学	张怀武	电子科技大学
	谢泉	贵州大学	卞树檀	第二炮兵工程大学
	吴瑛	解放军信息工程大学	刘纯亮	西安交通大学
	金伟其	北京理工大学	毕卫红	燕山大学
	胡秀珍	内蒙古工业大学	付跃刚	长春理工大学
	贾宏志	上海理工大学	顾济华	苏州大学
	李振华	南京理工大学	韩正甫	中国科学技术大学
	李晖	福建师范大学	何兴道	南昌航空大学
	何平安	武汉大学	张新亮	华中科技大学
	郭永彩	重庆大学	曹益平	四川大学
	刘缠牢	西安工业大学	李儒新	中科院上海光学精密机械研究所
	赵尚弘	空军工程大学	董友梅	京东方科技集团
	蒋晓瑜	装甲兵工程学院	蔡毅	中国兵器科学研究院
	仲顺安	北京理工大学	冯其波	北京交通大学
	黄翊东	清华大学	张有光	北京航空航天大学
	李勇朝	西安电子科技大学	江毅	北京理工大学
	章毓晋	清华大学	谢凯年	赛灵思公司
	刘铁根	天津大学	张伟刚	南开大学
	王艳芬	中国矿业大学	宋峰	南开大学
	苑立波	哈尔滨工程大学	靳伟	香港理工大学
丛书责任编辑	盛东亮	清华大学出版社		

序

FOREWORD

我国电子信息产业销售收入总规模在 2013 年已经突破 12 万亿元,行业收入占工业总体比重已经超过 9%。电子信息产业在工业经济中的支撑作用凸显,更加促进了信息化和工业化的高层次深度融合。随着移动互联网、云计算、物联网、大数据和石墨烯等新兴产业的爆发式增长,电子信息产业的发展呈现了新的特点,电子信息产业的人才培养面临着新的挑战。

(1) 随着控制、通信、人机交互和网络互联等新兴电子信息技术不断发展,传统工业设备融合了大量最新的电子信息技术,它们一起构成了庞大而复杂的系统,派生出大量新兴的电子信息技术应用需求。这些“系统级”的应用需求,迫切要求具有系统级设计能力的电子信息技术人才。

(2) 电子信息系统的功能越来越复杂,系统的集成度越来越高。因此,要求未来的设计者应该具备更扎实的理论基础知识和更宽广的专业视野。未来信息系统的设计越来越要求软件和硬件的协同规划、协同设计和协同调试。

(3) 新兴电子信息技术的发展依赖于半导体产业的不断推动,半导体厂商为设计者提供了越来越丰富的生态资源,系统集成厂商的全方位配合又加速了这种生态资源的进一步完善。半导体厂商和系统集成厂商所建立的这种生态系统,为未来的设计者提供了更加便捷却又必须依赖的设计资源。

教育部 2012 年颁布了新版《高等学校本科专业目录》,将电子信息类专业进行了整合,为各高校建立系统化的人才培养体系,培养具有扎实理论基础和宽广专业技能的、兼顾“基础”和“系统”的高层次电子信息人才给出了指引。

传统的电子信息学科专业课程体系呈现“自底向上”的特点,这种课程体系偏重对底层元器件的分析与设计,较少涉及系统级的集成与设计。近年来,国内很多高校对电子信息类专业课程体系进行了大力度的改革,这些改革顺应时代潮流,从系统集成的角度,更加科学合理地构建了课程体系。

为了进一步提高普通高校电子信息类专业教育与教学质量,贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》和《教育部关于全面提高高等教育质量若干意见》(教高[2012]4 号)的精神,教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会开展了“高等学校电子信息类专业课程体系”的立项研究工作,并于 2014 年 5 月启动了《高等学校电子信息类专业系列教材》(教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材)的建设工作。其目的是为推进高等教育内涵式发展,提高教学水平,满足高等学校对电子信息类专业人才培养、教学改革与课程改革的需要。

本系列教材定位于高等学校电子信息类专业的专业课程,适用于电子信息类的电子信

息工程、电子科学与技术、通信工程、微电子科学与工程、光电信息科学与工程、信息工程及其相近专业。经过编审委员会与众多高校多次沟通,初步拟定分批次(2014—2017年)建设约100门课程教材。本系列教材将力求在保证基础的前提下,突出技术的先进性和科学的前沿性,体现创新教学和工程实践教学;将重视系统集成思想在教学中的体现,鼓励推陈出新,采用“自顶向下”的方法编写教材;将注重反映优秀的教学改革成果,推广优秀的教学经验与理念。

为了保证本系列教材的科学性、系统性及编写质量,本系列教材设立顾问委员会及编审委员会。顾问委员会由教指委高级顾问、特约高级顾问和国家级教学名师担任,编审委员会由教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会委员和一线教学名师组成。同时,清华大学出版社为本系列教材配置优秀的编辑团队,力求高水准出版。本系列教材的建设,不仅有众多高校教师参与,也有大量知名的电子信息类企业支持。在此,谨向参与本系列教材策划、组织、编写与出版的广大教师、企业代表及出版人员致以诚挚的感谢,并殷切希望本系列教材在我国高等学校电子信息类专业人才培养与课程体系建设中发挥切实的作用。

吕志伟 教授

前言

PREFACE

“电路与模拟电子技术基础”是计算机科学与技术专业的一门重要的技术基础课程,通过本课程的学习,使学生掌握电路和模拟电子技术方面的基础理论、基本电路和基本的分析和设计方法,为进一步学习“数字电路”“计算机组成原理”等课程打下良好的基础。

“电路与模拟电子技术基础”课程的内容包括电路理论基础和模拟电子技术基础两部分,内容庞杂,涉及面广。在教与学两方面都有很大的难度。充分考虑到“电路与模拟电子技术”课程的基本教学目标以及“内容多与学时少”的矛盾,本着“以模拟电子技术基础为主,电路理论为模拟电子技术服务”的原则,大幅度删减了“电路理论基础”课程的内容,同时精简了“模拟电子技术基础”课程的内容,并大胆改革了经典内容的传统写法,力求使教材更适应于少学时的教学需求。

本书是根据作者长期从事“电路与模拟电子技术基础”课程教学的经验编写而成的,主要特点如下:

(1) 内容精练,体系新颖。

对原属于“电路理论基础”和“模拟电子技术基础”两门课程的内容进行优化组合,遵循“必需”和“够用”的宗旨精选内容,凝练章节,构建新的教材体系。

(2) 强化电路基本概念,突出集成电路应用。

在电路理论基础部分,强调“直流电路”和“正弦交流电路”的分析方法,删除了“动态电路分析”的相关内容;在模拟电子技术基础部分,精写分立元件电路的内容,突出集成电路及其应用。

(3) 语言形象精练,叙述深入浅出。

在编写分立元件电路时,充分利用图、表等形象化的语言,并通过例题讲解经典电路的分析方法,使问题的叙述更为精练。此外,在介绍电路的基本原理时,注重突出电路结构的构思方法,以使读者从中获得启发。

(4) 引入 EDA 软件和可编程器件,引导先进分析设计方法。

在模拟电子技术基础的章节,每章均针对相应的重点或难点设置了 Multisim 仿真内容;同时在教材最后一章引入了模拟可编程器件的原理及其应用,旨在引导学生熟悉和了解电子技术领域先进的分析和设计方法。

本书的教学时数为 54 学时左右,打“※”的内容可根据需要取舍。

本书由杨凌主编,高晖、杜娟参编。杨凌编写第 1、2、4、5、6、7 章并统稿,高晖编写第 3、8 章,杜娟编写第 9 章及全部附录。

本书内容已制作成用于多媒体教学的 PowerPoint 课件,并将免费提供给采用本书作为教材的院校使用。

由于编者的能力和水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请使用本书的师生和读者不吝批评指正。

编 者

2017 年 10 月

本书常用符号说明

一、电压和电流符号的规定

U_C, I_C	大写字母, 大写下标, 表示直流量
u_c, i_c	小写字母, 小写下标, 表示交流量瞬时值
u_C, i_C	小写字母, 大写下标, 表示瞬时值
U_c, I_c	大写字母, 小写下标, 表示交流量有效值
U_{cm}, I_{cm}	大写字母, 小写下标, 表示电压和电流交流分量幅值
\dot{U}_c, \dot{I}_c	大写字母上面加点, 小写下标, 表示正弦相量
$\Delta U_C, \Delta I_C$	表示直流电压和电流的变化量
$\Delta u_C, \Delta i_C$	表示瞬时电压和电流的变化量

二、基本符号

\dot{A}_u	电压放大倍数
\dot{A}_{us}	源电压放大倍数
\dot{A}_i	电流放大倍数
\dot{A}_{is}	源电流放大倍数
\dot{A}_r	互阻放大倍数
\dot{A}_g	互导放大倍数
$\dot{A}_{uf}, \dot{A}_{if}, \dot{A}_{rf}, \dot{A}_{gf}$	分别表示反馈放大电路的电压、电流、互阻、互导放大倍数
A_{ud}	差模电压放大倍数
A_{uc}	共模电压放大倍数
B	三极管的基极
BW	通频带(3dB 带宽)
BW_G	单位增益带宽
C	三极管的集电极
C	电容
C_B, C_D, C_J	分别指 PN 结的势垒电容、扩散电容和结电容
$C_{b'e}, C_{b'c}$	三极管的发射结电容、集电结电容
D	二极管, 场效应管的漏极

D_Z	稳压管
E	三极管的发射极
E	能量
$E_{\text{r}0}$	禁带宽度
\dot{F}	反馈系数
f, f_0	频率、谐振频率
f_L	下限截止(-3dB)频率
f_H	上限截止(-3dB)频率
G	场效应管的栅极
G	电导
g_m	低频跨导
I	直流电流或正弦电流的有效值
\dot{I}	正弦电流有效值相量
i	交流电流, 正弦交流电流瞬时值
I_m	正弦电流最大值
\dot{I}_m	正弦电流最大值相量
$I_{\text{BQ}}, I_{\text{CQ}}, I_{\text{EQ}}$	分别指三极管的基极、集电极、发射极的直流工作点电流
I_{DQ}	场效应管的漏极直流工作点电流
$i_{\text{B}}, i_{\text{C}}, i_{\text{E}}$	分别指三极管的基极、集电极、发射极的总瞬时值电流
i_{D}	场效应管的漏极总瞬时值电流
i_s	信号源电流, 交流电流源电流
I_{IB}	输入偏置电流
I_{IO}	输入失调电流
I_L	三相电路线电流
I_P	三相电路相电流
I_S	PN结的反向饱和电流, 直流电流源电流
I_{DSS}	结型、耗尽型场效应管在 $u_{\text{GS}}=0$ 时的 I_{D} 值
I_{D}	二极管电流, 场效应管的漏极电流
$I_{\text{F}}, I_{\text{R}}$	分别表示正向电流、反向电流
I_Z	稳压管正常工作时的参考电流
I_{ZM}	稳压管的最大允许工作电流
I_{CBO}	发射极开路时的集电结反向饱和电流
I_{CEO}	基极开路时的穿透电流
I_{CM}	集电极最大允许电流
K_{CMR}	共模抑制比
L	电感
N	电子型半导体
P	空穴型半导体

P	直流功率, 正弦交流平均功率(有功功率)
P_{\max}	最大平均功率
p	瞬时功率
P_C	集电极耗散功率
P_{CM}	集电极最大允许功耗
P_V	直流电源供给的功率
P_{om}	最大输出功率
q	电荷量
Q	静态工作点, 品质因数, 无功功率
R, R_s, R_L	电阻、信号源内阻、负载电阻
R_i	放大电路的交流输入电阻
R_o	放大电路的交流输出电阻
R_{id}	差模输入电阻
R_{ic}	共模输入电阻
R_{od}	差模输出电阻
R_{oc}	共模输出电阻
R_f	反馈电阻
R_{if}	反馈电路的闭环输入电阻
R_{of}	反馈电路的闭环输出电阻
$r_{bb'}$	三极管的基区体电阻
r_{be}	三极管的输入电阻
r_z	稳压管的动态电阻
S	视在功率
S_R	运算放大器的转换速率
T	晶体三极管的符号
T	温度, 周期
T_r	变压器
t	时间
U	直流电压, 正弦电压有效值
u	交流电压, 正弦交流电压瞬时值
\dot{U}	正弦电压有效值相量
\dot{U}_m	正弦电压最大值
\dot{U}_m	正弦电压最大值相量
U_S	直流电压源电压
u_s	交流电压源电压
\dot{U}_s	正弦交流电源有效值相量
U_L	三相电路线电压
U_P	三相电路相电压

U_{BQ}, U_{CQ}, U_{EQ}	分别指三极管的基极、集电极、发射极直流工作点电位
U_{GQ}, U_{DQ}, U_{SQ}	分别指场效应管的栅极、漏极、源极直流工作点电位
U_T	热力学电压
U_Z	稳压管的稳压值
u_i, u_o	分别指交流输入、输出电压
u_{BE}, u_{CE}	分别指三极管的基-射、集-射极间总瞬时值电压
u_{be}, u_{ce}	分别指三极管的基-射、集-射极间交流电压分量
u_{GS}, u_{DS}	分别指场效应管的栅-源、漏-源极间总瞬时值电压
u_{gs}, u_{ds}	分别指场效应管的栅-源、漏-源极间交流电压分量
\dot{U}_i, \dot{U}_o	分别指交流输入、输出电压的有效值相量
$\dot{U}_{be}, \dot{U}_{ce}$	分别指三极管基-射、集-射极间交流电压的有效值相量
$\dot{U}_{gs}, \dot{U}_{ds}$	分别指场效应管栅-源、漏-源极间交流电压的有效值相量
$U_{(BR)CEO}$	基极开路时,集电极-发射极之间的反向击穿电压
$U_{(BR)CBO}$	发射极开路时,集电结的反向击穿电压
$U_{(BR)EBO}$	集电极开路时,发射结的反向击穿电压
$U_{CE(sat)}$	三极管的饱和压降
$U_{GS(th)}$	增强型 MOSFET 的开启(阈值)电压
$U_{GS(off)}$	结型 FET 或耗尽型 MOSFET 的夹断电压
$U_{(BR)GSO}$	漏极开路,栅-源之间的反向击穿电压
u_{id}	差模输入电压
u_{ie}	共模输入电压
U_{IO}	输入失调电压
X, X_L, X_C	电抗、感抗、容抗
$Z, Z $	阻抗、阻抗的模

三、其他符号

$\alpha, \bar{\alpha}$	三极管的共基极电流增益(传输系数)
$\beta, \bar{\beta}$	三极管的共发射极电流增益(放大系数)
μ	磁导率
ϵ	介电常数
φ, φ_0	相位差、初相位
ω	角频率
rad	弧度
Φ	磁通
Ψ	磁链
η	效率

目录

CONTENTS

第 1 章 直流电路	1
1.1 电路的基本概念	1
1.1.1 电路的组成.....	1
1.1.2 实际电路和电路模型.....	2
1.1.3 电路中的基本物理量及参考方向.....	2
1.2 电路的基本定律	4
1.2.1 欧姆定律.....	4
1.2.2 基尔霍夫定律.....	4
1.3 电源的工作状态	7
1.3.1 带载工作状态.....	7
1.3.2 开路(空载)状态.....	8
1.3.3 短路状态.....	8
1.4 受控源	9
1.5 电路中电位的计算.....	10
1.6 复杂电路的基本分析方法.....	11
1.6.1 叠加原理	12
1.6.2 等效电源定理	12
1.6.3 含受控源电阻电路的分析	15
※1.6.4 非线性电阻电路的分析	18
思考题与习题	20
第 2 章 正弦交流电路	23
2.1 交流电的基本概念.....	23
2.1.1 正弦交流电的三要素	24
2.1.2 正弦交流电的相位差	25
2.1.3 正弦交流电的有效值	26
2.2 正弦量的相量表示方法.....	27
2.2.1 用旋转相量表示正弦量	27
2.2.2 相量图	28
2.2.3 正弦交流电路的相量分析方法	28
2.3 交流电路中的基本元件.....	29
2.3.1 电阻元件	29
2.3.2 电感元件	29
2.3.3 电容元件	30

2.4	单一参数的正弦交流电路	33
2.4.1	纯电阻电路	33
2.4.2	纯电感电路	34
2.4.3	纯电容电路	36
2.5	RLC 串联电路	38
2.6	正弦交流电路中的谐振	41
2.6.1	串联电路的谐振	41
2.6.2	并联电路的谐振	42
※2.7	三相交流电路	43
2.7.1	三相交流电源	43
2.7.2	三相负载的连接	45
2.7.3	三相电路的功率	47
	思考题与习题	48
第3章	常用半导体器件	51
3.1	半导体基础知识	51
3.1.1	本征半导体	51
3.1.2	杂质半导体	53
3.1.3	PN 结的形成及特性	54
3.2	晶体二极管	57
3.2.1	二极管的分类、结构和符号	57
3.2.2	二极管的特性和主要参数	57
3.2.3	几种特殊的二极管	59
3.3	晶体三极管	60
3.3.1	三极管的分类、结构和符号	60
3.3.2	三极管的电流分配与放大作用	61
3.3.3	三极管的特性曲线和工作状态	64
3.3.4	三极管的主要参数	65
3.3.5	温度对三极管参数的影响	66
3.4	场效应管	66
3.4.1	场效应管的分类、结构、符号和特性曲线	66
3.4.2	场效应管的主要参数	68
3.4.3	场效应管与三极管的比较	70
3.5	用 Multisim 分析晶体管的特性	70
	思考题与习题	72
第4章	放大电路基础	74
4.1	放大电路概述	74
4.1.1	放大的概念	74
4.1.2	放大电路的主要性能指标	74
4.2	放大电路的构成原则和工作原理	77
4.2.1	放大电路的构成原则	77
4.2.2	放大电路的工作原理	79
4.3	三种基本的三极管放大电路	82
4.3.1	分压偏置 Q 点稳定电路	82

4.3.2	三种基本的三极管放大电路	83
4.4	场效应管放大电路	85
4.4.1	场效应管的微变等效电路	85
4.4.2	三种基本的场效应管放大电路	85
4.5	多级放大电路	88
4.5.1	多级放大电路的组成	88
4.5.2	多级放大电路的级间耦合方式	88
4.5.3	多级放大电路的分析计算	89
4.6	低频功率放大电路	91
4.6.1	功率放大电路的特点和分类	92
4.6.2	乙类互补对称功率放大电路	92
4.6.3	甲乙类互补对称功率放大电路	95
4.6.4	功放管的散热问题	96
4.7	放大电路的频率响应	96
4.7.1	频率响应的一般概念	97
4.7.2	三极管的频率特性参数及其混合 π 型等效电路	98
4.7.3	单管放大电路的频率响应	102
4.7.4	多级放大电路的频率响应	107
4.8	用 Multisim 分析放大电路	107
	思考题与习题	109
第 5 章	集成运算放大器	116
5.1	集成运算放大器的组成	116
5.2	电流源电路	116
5.2.1	电流源电路	117
5.2.2	电流源电路作为有源负载	118
5.3	差动放大电路	118
5.3.1	直接耦合放大电路的主要问题	118
5.3.2	差动放大电路的组成	119
5.3.3	差动放大电路的工作原理	119
5.3.4	差动放大电路的分析计算	120
5.3.5	恒流源差动放大电路	125
5.4	集成运算放大器	126
5.4.1	集成运算放大器的结构、符号及封装形式	126
5.4.2	集成运算放大器的主要参数	128
5.4.3	理想运算放大器的概念及其特点	129
5.4.4	集成运算放大器的使用注意事项	130
5.5	用 Multisim 分析差动放大电路	131
	思考题与习题	135
第 6 章	放大电路中的负反馈	139
6.1	反馈的基本概念及反馈放大电路的一般框图	139
6.1.1	反馈的基本概念	139
6.1.2	反馈放大电路的一般框图	140
6.2	反馈的分类及判别方法	140

6.3	负反馈放大电路的一般表达式及四种基本组态	146
6.3.1	负反馈放大电路的一般表达式	146
6.3.2	负反馈放大电路的四种组态	147
6.4	负反馈对放大电路性能的影响	148
6.4.1	提高放大倍数的稳定性	148
6.4.2	减小非线性失真	149
6.4.3	扩展通频带	150
6.4.4	对输入电阻和输出电阻的影响	151
6.5	深度负反馈放大电路的近似估算	154
6.6	用 Multisim 分析负反馈放大电路	159
	思考题与习题	160
第7章	集成运算放大器的应用	165
7.1	基本的信号运算电路	165
7.1.1	比例运算电路	165
7.1.2	求和运算电路	168
7.1.3	积分和微分运算电路	171
7.1.4	对数和指数运算电路	173
7.1.5	乘法和除法运算电路	174
7.1.6	电压-电流(V/I)和电流-电压(I/V)变换电路	175
7.2	有源滤波电路	176
7.2.1	有源滤波器的分类	176
7.2.2	有源低通滤波器	177
7.2.3	有源高通滤波器	178
7.2.4	带通滤波器	179
7.2.5	带阻滤波器	180
7.3	电压比较器	181
7.3.1	单限电压比较器	181
7.3.2	滞回电压比较器	183
7.3.3	窗口电压比较器	185
7.4	波形产生电路	186
7.4.1	正弦波产生电路	186
7.4.2	非正弦波产生电路	189
7.5	用 Multisim 分析集成运放的应用电路	193
	思考题与习题	195
第8章	直流稳压电源	203
8.1	直流稳压电源的组成	203
8.2	单相桥式整流电路	204
8.2.1	电路组成及工作原理	204
8.2.2	整流二极管的选择	205
8.3	滤波电路	205
8.3.1	电容滤波电路	205
8.3.2	电感滤波电路	207
8.3.3	复式滤波电路	207

8.4 稳压电路	208
8.4.1 硅稳压管稳压电路	208
8.4.2 串联反馈式稳压电路	209
8.4.3 线性集成稳压电路	210
※8.4.4 开关型稳压电路	213
8.5 用 Multisim 分析直流电源电路	213
思考题与习题	215
※第9章 在系统可编程模拟器件及其开发平台	218
9.1 引言	218
9.2 主要 ispPAC 器件的特性及应用	218
9.2.1 ispPAC10	219
9.2.2 ispPAC20	220
9.2.3 ispPAC30	222
9.2.4 ispPAC80/81	222
9.3 PAC-Designer 软件及开发实例	222
9.3.1 PAC-Designer 的基本用法	223
9.3.2 设计实例	225
附录 A 电路仿真软件——Multisim 软件简介	229
A.1 Multisim 集成环境	229
A.2 元器件及虚拟仪器	230
A.3 Multisim 仿真功能简介	239
附录 B 部分习题参考答案	242
参考文献	247