



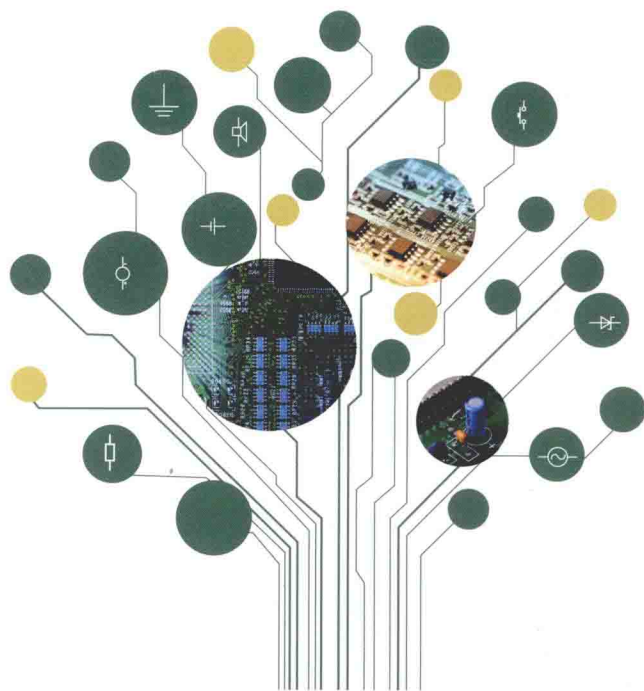
教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材  
高等学校电子信息类专业系列教材  
兰州大学教材建设基金资助教材

电工电子基础

**A** nalog Electronic Circuits

# 模拟电子线路

杨凌 主编 阎石 高晖 参编  
Yang Ling Yan Shi Gao Hui



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  
高等学校电子信息类专业系列教材

Analog Electronic Circuits

# 模拟电子线路

杨凌 主编 阎石 高晖 参编

Yang Ling

Yan Shi

Gao Hui

清华大学出版社



## 内 容 简 介

本书较为全面、系统地介绍了模拟电子线路的基本内容,主要包括:绪论、晶体二极管及其基本应用电路、晶体三极管及其基本放大电路、场效应管及其基本放大电路、放大电路的频率响应、低频功率放大电路、集成运算放大器、负反馈及其稳定性、信号的运算和处理电路、信号的产生电路、直流稳压电源、在系统可编程模拟器件及其开发平台。

本书体系结构新颖,内容系统完整,知识过渡平滑,符合认知规律,文字简练流畅,叙述深入浅出。书中每章以讨论的问题开始,以小结结束,章末均配备了丰富的习题(包括仿真习题),附录提供了大部分习题的参考答案,利于读者自学。

本书可作为高等学校电子信息类、电气类、自动化类专业本科生学习“模拟电子技术基础”、“模拟电子线路”、“低频电子线路”等课程的教材,也可供从事电子技术工作的工程技术人员作参考。

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

模拟电子线路/杨凌主编.—北京:清华大学出版社,2015

高等学校电子信息类专业系列教材

ISBN 978-7-302-40320-3

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(2015)第 113329 号

责任编辑:盛东亮

封面设计:李召霞

责任校对:白 蕾

责任印制:沈 露

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:三河市君旺印务有限公司

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:26.75

字 数:647千字

版 次:2015年9月第1版

印 次:2015年9月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:49.00元

# 高等学校电子信息类专业系列教材

## 一 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)

## 一 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	张伟刚	南开大学
	刘铁根	天津大学	宋 峰	南开大学
	王艳芬	中国矿业大学	靳 伟	香港理工大学
	苑立波	哈尔滨工程大学		
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

“模拟电子线路”课程是电子信息类、电气类、自动化类等专业的基础平台课程，其内容庞杂、概念性强、分析方法多、重点和难点集中，是一门教与学都有困难的课程。如何编写一本比较符合读者认知规律、体系结构合理、内容取舍恰当、适宜于教学的教材是作者多年来的追求。

本书是作者多年教学经验的总结，在编写时遵循“精选内容、优化体系，体现先进、引导创新，联系实际、突出应用”的编写原则，力图使本书内容更全面，体系更合理，方法更简洁，启发性、创新性和工程性更突出。

本书的主要特点有如下几点。

- 内容选取兼顾“经典与现代”，保证基本内容的同时，引导先进技术。

虽然电子技术发展迅速，知识容量急速膨胀，但其核心的基本理论和方法具有相对的经典性。本书在保证基础内容完整性的基础上，较为系统地阐述了电子技术领域的基本知识，如“半导体器件基本知识”、“分立元件电路理论”、“集成电路理论”、“负反馈”和“正反馈”理论等。同时，兼顾技术发展的先进性，如第12章简要介绍了模拟可编程器件及开发平台，使读者能领略现代模拟集成电路技术的发展态势，进一步拓宽读者的视野。

- 知识顺序合理，内容过渡平滑。

在构建教材体系结构时，尊重电子技术的发展历史，教材的主线是以半导体器件为基石，从分立走向集成，从经典跃向现代。章节安排上尽量避免内容的倒置，促进知识的正迁移，防止负迁移。

- 语言形象精练、叙述深入浅出，具有启发性。

编写时充分利用图、表等形象化的语言，使问题的叙述更为精练。此外，在介绍与电路有关的基本概念、原理和方法时，注重突出电路结构的构思方法，以使读者从中获得启发，有利于培养创新意识。

- 注重突出电路设计方法，强调工程应用。

在阐述电路分析方法的同时，注重突出电路设计方法，增加了设计类例题及习题。在处理课程“三要素”——“器件”、“电路”和“应用”三者的关系时，遵循“管为路用”、“分立为集成服务”、“电路因应用而生”的原则，使器件与电路的结合更为紧密，分立和集成的关系更为密切，工程应用性更为突出。

- 分散教学的重点和难点。

将重点和难点比较集中的知识点分散处理。例如，将“放大电路的频率响应”单独设章，不仅分散了基本放大电路的分析难点，更为重要的是强调了频率失真和频率响应的概念，扩展了改善放大电路频率响应的思路和方法；将“反馈理论”分章处理，不仅突出了“负反馈”

对电路性能的影响(第8章),同时也强调了“正反馈”在信号产生方面的应用(第10章)。

- 引入电路仿真软件,简化复杂电路分析。

附录A介绍了Multisim电路仿真软件,各章习题中均配有Multisim仿真题目,仿真题目的选取或具有研究性质,或在实际实验中难于实现,且尽量涵盖模拟电子线路的基本测试方法和仿真方法,使得复杂电路的分析方法更简洁。

书中标记为“※”的内容可供使用本教材的师生灵活选用。

本书由杨凌主编,杨凌编写第1~11章,阎石编写第12章,高晖编写附录A及附录B。

本书配有多媒体教学课件(PPT),并将免费提供给使用本书作为教材的院校。

本书的出版获得兰州大学教材建设基金资助,作者在此深表感谢。

限于作者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评和指正。

作者

2015年6月



# 本书常用符号说明

## 一、几点原则

### 1. 电流和电压(以基极电流为例,其他电流、电压可类比)

$I_B(I_{BQ})$	大写字母、大写下标,表示直流量(或静态电流)
$i_B$	小写字母、大写下标,表示交、直流量的瞬时总量
$I_b$	大写字母、小写下标,表示交流有效值
$i_b$	小写字母、小写下标,表示交流瞬时值
$\dot{I}_b$	表示交流复数值
$\Delta i_B$	表示瞬时值的变化量

### 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

## 二、基本符号

### 1. 电流和电压

$I, i$	电流通用符号
$V, v$	电压通用符号
$I_Q, V_Q$	电流、电压静态值
$V_{BB}$	基极回路电源
$V_{CC}$	集电极回路电源
$V_{EE}$	发射极回路电源
$V_{DD}$	漏极回路电源
$V_{SS}$	源极回路电源
$\dot{V}_s$	交流信号源电压
$\dot{I}_i, \dot{V}_i$	交流输入电流、电压
$\dot{I}_o, \dot{V}_o$	交流输出电流、电压
$\dot{I}_f, \dot{V}_f$	反馈电流、电压
$V_A$	厄尔利电压
$v_{ic}$	共模输入电压
$v_{id}$	差模输入电压
$i_P, v_P$	集成运放同相输入端的电流、电位
$i_N, v_N$	集成运放反相输入端的电流、电位
$V_T$	电压比较器的阈值电压

$V_{OH}$ 、 $V_{OL}$  电压比较器的输出高电平、输出低电平

## 2. 功率和效率

$P$  功率通用符号

$p$  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

$P_D$  电源消耗的功率

## 3. 频率

$f$  频率通用符号

$BW$  通频带

$f_H$ 、 $f_L$  放大电路的上限截止频率、下限截止频率

$f_p$  滤波电路的通带截止频率

$f_0$  电路的振荡频率、中心频率、滤波电路的特征频率

$\omega$  角频率通用符号

## 4. 电阻、电导、电容、电感

$R$  电阻通用符号

$G$  电导通用符号

$C$  电容通用符号

$L$  电感通用符号

$R_B$ 、 $R_C$ 、 $R_E$  三极管的基极电阻、集电极电阻、发射极电阻

$R_G$ 、 $R_D$ 、 $R_S$  场效应管的栅极电阻、漏极电阻、源极电阻

$R_s$  信号源内阻

$R_L$  负载电阻

$R_i$ 、 $R_{if}$  放大电路的输入电阻、负反馈放大电路的输入电阻

$R_o$ 、 $R_{of}$  放大电路的输出电阻、负反馈放大电路的输出电阻

$R_N$ 、 $R_P$  集成运放反相输入端外接的等效电阻、同相输入端外接的等效电阻

## 5. 放大倍数、增益

$\dot{A}$  放大倍数或增益的通用符号

$\dot{A}_v$  电压增益

$\dot{A}_i$  电流增益

$\dot{A}_r$  互阻增益

$\dot{A}_g$  互导增益

$\dot{A}_{vs}$  源电压增益

$\dot{A}_{is}$  源电流增益

$\dot{A}_m$  中频增益的通用符号

$\dot{A}_{vH}$	高频电压增益
$\dot{A}_{vL}$	低频电压增益
$\dot{A}_{vm}$	中频电压增益
$\dot{A}_{vp}$	有源滤波电路的通带增益
$\dot{F}$	反馈系数的通用符号

### 三、半导体器件的参数符号

#### 1. P型、N型半导体和PN结

$C_B$	PN结势垒电容
$C_D$	PN结扩散电容
$C_j$	PN结电容
$V_T$	温度电压当量

#### 2. 二极管

$D$	二极管
$D_Z$	稳压二极管
$I_D$	二极管的电流
$I_F$	二极管的最大整流电流
$I_R$ 、 $I_S$	二极管的反向电流、反向饱和电流
$V_{D(on)}$	二极管的开启电压
$V_{BR}$	二极管的击穿电压
$r_d$	二极管导通时的动态电阻
$r_z$	稳压管工作在稳压状态下的动态电阻

#### 3. 三极管

$T$	三极管的通用符号
B(b)、C(c)、E(e)	三极管的基极、集电极、发射极
$V_{(BR)CBO}$	发射极开路时 B-C 间的反向击穿电压
$V_{(BR)CEO}$	基极开路时 C-E 间的反向击穿电压
$V_{(BR)EBO}$	集电极开路时 E-B 间的反向击穿电压
$V_{CE(sat)}$	三极管的饱和压降
$V_{BE(on)}$	三极管 B-E 间的开启电压
$I_{CM}$	集电极最大允许电流
$P_{CM}$	集电极最大允许耗散功率
$r_{bb'}$	基区体电阻
$r_{b'e}$	发射结的动态电阻
$r_{ce}$	c-e 间的动态电阻
$C_{b'c}$	集电结电容
$C_{b'e}$	发射结电容

$\alpha, \bar{\alpha}$	三极管共基极交流电流放大系数、共基极直流电流放大系数
$\beta, \bar{\beta}$	三极管共发射极交流电流放大系数、共发射极直流电流放大系数
$g_m$	跨导
$f_\beta$	三极管共发射极接法电流放大系数的上限截止频率
$f_\alpha$	三极管共基极接法电流放大系数的上限截止频率
$f_T$	三极管的特征频率(共发射极接法下使电流放大系数为 1 时的频率)

#### 4. 场效应管

T	场效应管通用符号
G(g)、D(d)、S(s)	场效应管的栅极、漏极、源极
$V_{GS(off)}$	耗尽型场效应管的夹断电压
$V_{GS(th)}$	增强型场效应管的开启电压
$C_{ox}$	单位面积的栅极电容量
$V_{(BR)GSO}$	漏极开路时 G-S 间的击穿电压
$V_{(BR)DSO}$	栅源电压一定, D-S 间的击穿电压
$I_{DSS}$	结型场效应管和耗尽型 MOS 管在 $V_{GS}=0$ 时的漏极电流
$P_{DM}$	漏极最大允许耗散功率
$r_{ds}$	d-s 间动态电阻
$C_{ds}$	d-s 间等效电容
$C_{gs}$	g-s 间等效电容
$C_{gd}$	g-d 间等效电容
$g_m$	跨导

#### 5. 集成运放

$A_{od}$	开环差模电压增益
$K_{CMR}$	共模抑制比
$I_{IB}$	输入偏置电流
$I_{IO}, dI_{IO}/dT$	输入失调电流、输入失调电流的温漂
$V_{IO}, dV_{IO}/dT$	输入失调电压、输入失调电压的温漂
$R_{id}$	差模输入电阻
$R_{ic}$	共模输入电阻
$V_{Idmax}$	最大差模输入电压
$V_{Icmax}$	最大共模输入电压
$BW(f_H)$	开环带宽(-3dB 带宽)
$BW_G(f_T)$	单位增益带宽
$S_R$	转换速率(压摆率)

#### 四、其他符号

THD	非线性失真系数
K	热力学温度的单位
Q	静态工作点

$T$	温度, 周期
$\eta$	效率(交流输出功率与电源提供的功率之比)
$\tau$	时间常数
$\varphi$	相位角
$D_n$	电子扩散系数
$D_p$	空穴扩散系数
$\mu_n$	电子迁移率
$\mu_p$	空穴迁移率

# 目录

## CONTENTS

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 电子科学技术发展概述 .....	1
1.1.1 电子管时代 .....	1
1.1.2 晶体管时代 .....	2
1.1.3 集成电路时代 .....	2
1.1.4 SOC 时代 .....	3
1.2 模拟电子电路与数字电子电路 .....	3
1.3 模拟电子线路课程的特点和学习方法 .....	4
1.3.1 模拟电子线路课程的特点 .....	4
1.3.2 模拟电子线路课程的学习方法 .....	5
<b>第 2 章 晶体二极管及其基本应用电路</b> .....	6
2.1 半导体物理基础知识 .....	6
2.1.1 半导体的共价键结构 .....	6
2.1.2 本征半导体 .....	7
2.1.3 杂质半导体 .....	8
2.1.4 半导体的导电机理 .....	10
2.2 PN 结 .....	11
2.2.1 PN 结的形成 .....	11
2.2.2 PN 结的伏安特性 .....	13
2.2.3 PN 结的击穿特性 .....	15
2.2.4 PN 结的温度特性 .....	16
2.2.5 PN 结的电容特性 .....	16
2.3 晶体二极管 .....	17
2.3.1 二极管的结构、符号 .....	17
2.3.2 二极管的伏安特性 .....	18
2.3.3 二极管的主要参数 .....	19
2.3.4 几种特殊的二极管 .....	20
2.3.5 二极管的模型 .....	23
2.4 二极管的基本应用电路 .....	25
2.4.1 整流电路 .....	25
2.4.2 稳压电路 .....	26
2.4.3 限幅电路 .....	28
2.4.4 开关电路 .....	29

小结 .....	29
习题 .....	30
Multisim 仿真习题 .....	32
<b>第 3 章 晶体三极管及其基本放大电路</b> .....	<b>34</b>
3.1 晶体三极管 .....	34
3.1.1 三极管的分类、结构及符号 .....	34
3.1.2 三极管的电流分配与放大作用 .....	35
3.1.3 三极管的伏安特性曲线 .....	38
3.1.4 三极管的主要参数 .....	40
3.1.5 三极管的模型 .....	43
3.2 放大电路概述 .....	47
3.2.1 放大电路的基本概念 .....	47
3.2.2 放大电路的主要性能指标 .....	49
3.3 基本放大电路的工作原理 .....	53
3.3.1 基本共发射极放大电路的组成 .....	53
3.3.2 放大电路的直流通路和交流通路 .....	54
3.3.3 基本共发射极放大电路的工作原理 .....	55
*3.3.4 基本共发射极放大电路的功率分析 .....	56
3.4 放大电路的图解分析方法 .....	56
3.4.1 静态图解分析方法 .....	57
3.4.2 动态图解分析方法 .....	57
3.4.3 静态工作点与放大电路非线性失真的关系 .....	59
3.5 放大电路的等效电路分析方法 .....	60
3.5.1 静态分析方法 .....	60
3.5.2 动态分析方法 .....	61
3.6 放大电路静态工作点的稳定 .....	62
3.6.1 温度对静态工作点的影响 .....	63
3.6.2 分压式偏置 Q 点稳定电路 .....	63
3.7 放大电路的三种基本组态 .....	67
3.7.1 共集电极放大电路——射极输出器 .....	68
3.7.2 共基极放大电路 .....	70
3.7.3 三种基本放大电路的比较 .....	72
3.8 多级放大电路 .....	73
3.8.1 多级放大电路的级间耦合方式 .....	73
3.8.2 多级放大电路的分析 .....	76
3.8.3 常用组合放大电路 .....	77
小结 .....	79
习题 .....	80
Multisim 仿真习题 .....	89
<b>第 4 章 场效应管及其基本放大电路</b> .....	<b>91</b>
4.1 场效应管 .....	91
4.1.1 结型场效应管 .....	91
4.1.2 金属-氧化物-半导体场效应管 .....	95

4.1.3	场效应管的主要参数	99
4.1.4	各种类型场效应管的符号及特性比较	101
4.1.5	放大状态下场效应管的模型	101
4.1.6	场效应管与三极管的比较	103
4.2	场效应管放大电路	103
4.2.1	场效应管的直流偏置电路	103
4.2.2	三种基本的场效应管放大电路	105
4.2.3	场效应管与三极管放大电路的比较	109
	小结	110
	习题	111
	Multisim 仿真习题	117
<b>第 5 章</b>	<b>放大电路的频率响应</b>	<b>119</b>
5.1	频率响应概述	119
5.1.1	频率响应的基本概念	119
5.1.2	频率响应的分析	121
5.2	三极管放大电路的高频响应	127
5.2.1	三极管的频率参数	127
5.2.2	共发射极放大电路的高频响应	129
5.2.3	共集电极放大电路的高频响应	132
5.2.4	共基极放大电路的高频响应	133
5.3	三极管放大电路的低频响应	134
5.4	场效应管放大电路的频率响应	137
5.4.1	场效应管的高频小信号等效电路	137
5.4.2	场效应管放大电路的高频响应	137
5.5	多级放大电路的频率响应	139
5.5.1	多级放大电路的上限截止频率	139
5.5.2	多级放大电路的下限截止频率	140
5.6	宽带放大电路的实现思想	141
*5.7	放大电路的瞬态响应	142
5.7.1	上升时间 $t_r$	142
5.7.2	平顶降落 $\delta$	143
	小结	144
	习题	145
	Multisim 仿真习题	147
<b>第 6 章</b>	<b>低频功率放大电路</b>	<b>149</b>
6.1	功率放大电路概述	149
6.1.1	功率放大电路的特点和主要研究问题	149
6.1.2	功率放大电路的分类	150
6.2	甲类功率放大电路	150
6.3	乙类功率放大电路	153
6.3.1	电路组成及工作原理	153
6.3.2	电路性能分析	154
6.3.3	功率三极管的选择	155



6.4	甲乙类功率放大电路 .....	156
6.4.1	甲乙类双电源功率放大电路 .....	156
6.4.2	甲乙类单电源功率放大电路 .....	158
6.5	桥式功率放大电路 .....	159
*6.6	集成功率放大电路 .....	160
6.6.1	BJT 集成功率放大器 LM386 .....	160
6.6.2	BiMOS 集成功率放大器 SHM1150 II .....	161
6.7	功率器件 .....	162
6.7.1	功率三极管 .....	162
*6.7.2	功率 MOS 场效应管 .....	164
*6.7.3	功率模块 .....	165
	小结 .....	166
	习题 .....	167
	Multisim 仿真习题 .....	171
<b>第 7 章</b>	<b>集成运算放大器</b> .....	<b>174</b>
7.1	集成运放概述 .....	174
7.1.1	集成运放的组成 .....	174
7.1.2	集成运放的结构特点 .....	175
7.2	电流源电路 .....	175
7.2.1	三极管电流源电路 .....	175
7.2.2	场效应管电流源电路 .....	179
7.2.3	电流源电路用作有源负载 .....	180
7.3	差分放大电路 .....	180
7.3.1	差分放大电路的组成 .....	180
7.3.2	差分放大电路的工作原理 .....	181
7.3.3	有源负载差分放大电路 .....	188
7.3.4	差分放大电路的传输特性 .....	191
7.3.5	场效应管差分放大电路 .....	192
7.3.6	差分放大电路的失调及其温漂 .....	193
7.4	集成运算放大器 .....	197
7.4.1	双极型集成运放—— $\mu$ A741 .....	197
7.4.2	单极型集成运放——MC14573 .....	200
7.4.3	集成运放的主要参数 .....	201
*7.5	电流模运算放大器 .....	204
7.5.1	电流模电路基础 .....	204
7.5.2	电流模运算放大器 .....	205
	小结 .....	207
	习题 .....	207
	Multisim 仿真习题 .....	217
<b>第 8 章</b>	<b>负反馈及其稳定性</b> .....	<b>219</b>
8.1	反馈的基本概念及反馈放大电路的一般框图 .....	219
8.1.1	反馈的基本概念 .....	219
8.1.2	反馈放大电路的一般框图 .....	220