



高等院校电子信息与电气学科特色教材

模拟电子技术基础

吴友宇 主 编
伍时和 凌 玲 副主编

清华大学出版社



高等院校电子信息与电气学科特色教材

模拟电子技术基础

吴友宇 主 编
伍时和 凌 玲 副主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要介绍模拟电子电路的基本理论、基本分析方法和基本设计步骤与方法。全书共有 10 章,包括半导体基础知识、半导体二极管及其电路、双极型三极管及其放大电路、单极型场效应管及其放大电路、功率放大电路、集成运算放大电路、负反馈放大电路、信号的运算与处理电路、正弦信号产生电路和直流稳压电源。全书编写遵从循序渐进的思维方式,章节安排合理,有利于教与学。

本书可作为高等学校电子信息类专业和电气工程、自动化、计算机应用等相关专业的本科教材,也可供相关工程技术人员学习参考。

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

模拟电子技术基础/吴友宇主编. —北京:清华大学出版社,2009.5

(高等院校电子信息与电气学科特色教材)

ISBN 978-7-302-18702-8

I. 模… II. 吴… 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(2008)第 154732 号

责任编辑:陈国新

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:北京鑫海金澳胶印有限公司

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:26 字 数:627 千字

版 次:2009 年 5 月第 1 版 印 次:2009 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:36.00 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:018568-01

出版说明

随着我国高等教育逐步实现大众化以及产业结构的进一步调整,社会对人才的需求出现了层次化和多样化的变化,这反映到高等学校的定位与教学要求中,必然带来教学内容的差异化和教学方式的多样性。而电子信息与电气学科作为当今发展最快的学科之一,突出办学特色,培养有竞争力、有适应性的人才很多是高等院校的迫切任务。高等教育如何不断适应现代电子信息与电气技术的发展,培养合格的电子信息与电气学科人才,已成为教育改革中的热点问题之一。

目前我国电类学科高等教育的教学中仍然存在很多问题,例如在课程设置和教学实践中,学科分立,缺乏和谐与连通;局部知识过深、过细、过难,缺乏整体性、前沿性和发展性;教学内容与学生的背景知识相比显得过于陈旧;教学与实践环节脱节,知识型教学多于研究型教学,所培养的电子信息与电气学科人才还不能很好地满足社会的需求等。为了适应 21 世纪人才培养的需要,很多高校在电子信息与电气学科专业建设和课程建设方面都做了大量工作,包括国家级、省级、校级精品课的建设等,充分体现了各个高校重点专业的特色,也同时体现了地域差异对人才培养所产生的影响,从而形成各校自身的特色。许多一线教师在多年教学与科研方面已经积累了大量的经验,将他们的成果转化为教材的形式,向全国其他院校推广,对于深化我国高等学校的教学改革是一件非常有意义的事。

为了配合全国高校培育有特色的精品课程和教材,清华大学出版社在大量调查研究的基础之上,在教育部相关教学指导委员会的指导下,决定规划、出版一套“高等院校电子信息与电气学科特色教材”,系列教材将涵盖通信工程、电子信息工程、电子科学与技术、自动化、电气工程、光电信息工程、微电子学、信息安全等电子信息与电气学科,包括基础课程、专业主干课程、专业课程、实验实践类课程等多个方面。本套教材注重立体化配套,除主教材之外,还将配套教师用 CAI 课件、习题及习题解答、实验指导等辅助教学资源。

由于各地区、各学校的办学特色、培养目标和教学要求均有不同,所以对特色教材的理解也不尽一致,我们恳切希望大家在使用本套教材的过程中,及时给我们提出批评和改进意见,以便我们做好教材的修订改版工作,使其日趋完善。相信经过大家的共同努力,这套教材一定能成

为特色鲜明、质量上乘的优秀教材,同时,我们也欢迎有丰富教学和创新实践经验的优秀教师能够加入到本丛书的编写工作中来!

清华大学出版社

高等院校电子信息与电气学科特色教材编委会

联系人:王敏稚 wangmz@tup.tsinghua.edu.cn

前言

模拟电子技术基础是一门专业基础课,是高等工业学校本科电子信息类专业、计算机及其应用专业、电气工程类专业、自动控制类专业、机电类专业的一门必修的专业基础课程。

在数字化和集成化的应用时代,虽然使用二极管、双极型三极管、场效应管器件组成电路系统的情况已经十分少见,但是这些器件仍然是构成各种集成电子器件的基本单元。通过对这些器件的特性和使用这些器件组成单元电路的了解,将会为更好地了解集成器件的特性和应用打下良好的基础。因此,本书仍然在前5章介绍二极管、双极型三极管、场效应管器件的特性和使用这些器件组成的电路的基本分析和计算方法,包括基本放大电路和功率放大电路。

集成放大器件是集成化应用时代常用的模拟信号放大器件,本书从介绍模拟集成放大器——运算放大器的典型电路及其外部电气特性入手,介绍集成运算放大器在信号运算和信号处理方面的各种应用电路的构成和分析方法,通过对这部分内容的了解和掌握,将会为构建各种小信号的放大和处理电路培养很好的技能。

负反馈是改善和稳定放大器性能的常用途径和方法,即使使用集成放大器构成放大电路,也同样需要这些改善。本书主要介绍负反馈放大器的分析方法,重点介绍负反馈对放大器的性能改善和稳定达到的程度,如何根据要求引入负反馈,以及引入负反馈以后可能带来的自激现象和克服的方法。在章节安排上,负反馈的内容安排在集成运算放大器之后介绍,可以更加容易地建立以集成放大器件构成模拟放大电路的概念。

稳定的直流电源是电子电路必须的要件,将交流电源转变成直流电源是获得直流电源的基本方法。本书主要介绍单相半波整流和桥式全波整流电路的基本原理和分析方法。主要以集成稳压器的应用电路,介绍获得稳定直流电源的途径和方法。

通过本课程的学习,可以掌握模拟电子电路的基本概念、基本理论和基本分析方法,对半导体器件、集成模拟电路器件以及由它们构成的常用模拟电子线路有较全面和系统的认识,结合本课程相关的实验教学,可以进一步培养学生的基本实验技能、工程计算能力和分析问题、解决问题的能力。

本课程的主要教学任务是通过讲授电路理论和电路分析方法、电子电路的分析和初步设计方法,使学生获得必要的模拟电子电路分析和模拟电子技术的基本理论、基本方法和基本技能,了解模拟电子技术发展

的概况,掌握集成模拟电路器件构成的模拟电子电路的分析、设计方法,为学习后续课程奠定基础。

在编写过程中,编者参考了不少相关课程教材、集成电路器件产品生产厂家的相关技术资料,受益匪浅。在此,谨对相关课程教材作者、产品生产厂家表示深切的敬意和诚恳的致谢!书中的不足和不完善之处,敬请读者给予体谅和指正。

本书由吴友字主编,伍时和、凌玲负责审定工作。参与本书编写工作的其他人员有刘文(编写第1章)、王林涛(编写第2章)、许菲(编写第5章)、曾刚(编写第6章)、卢钰(编写第7章)、周鹏(编写第9章)和孟哲(编写第10章)。

编者

2008年11月于武汉

模拟电子技术基础使用文字符号及其含义

符 号	含 义	符 号	含 义
$\dot{A}$	放大倍数	a	稳压管, 二极管的阳极
$\dot{A}_M$	放大电路的中频信号放大倍数	$\dot{A}_H$	放大电路上限截止频率附近的放大倍数
$\dot{A}_L$	放大电路下限截止频率附近的放大倍数	$\dot{A}_{VS}$	信号源电压放大倍数
$\dot{A}_{VD}$	差分放大电路的差模信号电压放大倍数	$\dot{A}_{VC}$	差分放大器的共模信号电压放大倍数
$\dot{A}_F$	反馈放大电路对输入信号的闭环放大倍数	$\dot{A}_{VF}$	反馈放大电路对输入信号的闭环电压放大倍数
$\dot{A}_{VSF}$	反馈放大电路对信号源的闭环电压放大倍数	$\dot{A}_{RF}$	反馈放大电路闭环互阻放大倍数
$\dot{A}_{IF}$	反馈放大电路闭环电流放大倍数	$\dot{A}_{GF}$	反馈放大电路闭环互导放大倍数
B	变压器	BW	放大器的通频带
b	双极型三极管基极	C	电容器
C'_{be}	双极型三极管集电结等效电容	C_D	PN 结的扩散电容
C'_{be}	双极型三极管发射结等效电容	C_L	放大电路负载电容
c	双极型三极管的集电极	C_e	发射极外接旁路电容
C_B	二极管 PN 结势垒电容	C_F	反馈放大器反馈网络中连接电容
C_b	基极输入端连接耦合电容	C_i	放大电路的输入电容
D	二极管	d	场效应管的漏极
E	电能	E_{CC}	集电极电源
e	电子电荷量	e	双极型三极管的发射极
$\dot{F}$	负反馈放大器的反馈系数	$\dot{F}_V$	负反馈放大器的电压反馈系数
$\dot{F}_R$	负反馈放大器的互阻反馈系数	$\dot{F}_I$	负反馈放大器的电流反馈系数
$\dot{F}_G$	负反馈放大器的互导反馈系数	f	放大器的信号频率
f_L	放大电路的下限截止频率	f_H	放大电路的上限截止频率
f_β	双极型三极管共射极组态电流放大系数的上限截止频率	f_a	双极型三极管共基极组态的电流放大系数的上限截止频率
f_T	双极型三极管共发射极组态的电流放大系数的特征频率	g	场效应管、MOS 管的栅极
G	电导	g_m	场效应管、MOS 管的微变跨导
G_m	负反馈放大器的幅度稳定裕量	g	放大电路中的微变电导

续表

符 号	含 义	符 号	含 义
h	放大电路微变等效电路的混合参数	H	电感元件的单位(亨)
h_{ic}	三极管的输入电阻	h_{fe}	三极管共射电流放大系数
h_{re}	三极管的反向电压传输比	h_{oc}	三极管的输出电导
I	变化电流有效值,直流电流量	I	变化电流有效值,直流电流量
i	变化电流的瞬时值	i	变化电流的瞬时值
$\dot{I}$	正弦波信号电流的相量	$\dot{I}$	正弦波信号电流的相量
$\dot{I}_s$	正弦波信号源电流相量	$\dot{I}_d$	场效应管漏极正弦电流相量
$\dot{I}_L$	负载正弦波电流相量	I_{DD}	场效应管漏极电源输出直流电流
I_{iB}	运算放大器的输入直流电流	I_{iO}	运算放大器的输入失调电流
I_{CM}	三极管最大集电极工作电流	I_{oM}	最大输出电流
$\dot{I}_s$	正弦波信号源电流相量	I_{oO}	运算放大器的输出失调电流
$\dot{I}_i$	放大器的正弦波输入信号电流相量	I_{os}	放大器的输出短路电流
$\dot{I}_o$	放大器的正弦波输出信号电流相量	I_{REF}	基准电源电流,电流源偏置基准电流
$\dot{I}_b$	三极管基极正弦波输入信号电流相量	I_{CEO}	三极管穿透电流
$\dot{I}_c$	三极管集电极正弦波信号电流相量	I_{CBO}	三极管集电结反向饱和电流
$\dot{I}_e$	三极管发射极正弦波信号电流相量	I_{BEO}	三极管发射结反向饱和电流
i_B	三极管基极输入电流的瞬时量	I_B	三极管基极输入直电流量
i_C	三极管集电极电流的瞬时量	I_C	三极管集电极直电流量
i_E	三极管发射极电流的瞬时量	I_E	三极管发射极直电流量
I_{EE}	三极管发射极电源输出的直流电流	I_{CQ}	三极管集电极静态电流
I_{CC}	三极管集电极电源输出的直流电流	I_{EQ}	三极管发射极静态电流
$\dot{I}_g$	场效应管栅极正弦输入电流相量	I_Z	稳压二极管稳压电流
I_Q	放大电路静态电流	I_{Zmin}	稳压二极管稳压维持电流
I_{BQ}	三极管基极静态电流	I_{Lmax}	稳压电路中最大负载电流
I_{Zmax}	稳压二极管最大工作电流	I_{Lmin}	稳压电路中最小负载电流
j	复数的虚部符号	J	电流密度、能量单位(焦)
$\dot{K}$	信号源变换系数	K_{CMR}	共模抑制比
k	波尔兹曼常数	K_r	整流电路的谐波系数
K	热力学温度单位	K	整流变压器的电压变比
L	电感元件,作为下标(正体)则表示放大电路的负载	l	长度
M	互感量,互感系数	N	线圈绕组的匝数
N	半导体多数载流子为自由电子类型的半导体	n_v	稳压电路谐波电压取样比
P	半导体多数载流子为空穴类型的半导体	P_V	电源提供给放大电路的功率
P	功率	P_T	三极管消耗的功率

续表

符 号	含 义	符 号	含 义
P_o	放大电路的交流输出功率	q	电荷量
Q	谐振网络的品质因数	Q	放大器的静态工作点
R	电阻	r_d	场效应管漏极-源极等效动态电阻
R_b	三极管基极的连接电阻	r_g	场效应管共源极组态栅极等效输入电阻
R_c	三极管集电极的连接电阻	R_e	三极管发射极的连接电阻
R_G	石英晶体	R_d	场效应管漏极连接电阻
R_s	场效应管源极连接电阻	R_g	场效应管栅极连接电阻
R_s	信号源内阻	R_i	放大电路的输入电阻
R_L	放大电路的负载电阻	R_o	放大电路的输出电阻
R_w	电位器, 可调电阻	r_{oc}	双极型三极管共射极组态晶体管等效输出电阻
R_{if}	负反馈放大器的等效输入电阻	R_{of}	负反馈放大器的等效输出电阻
R_f, R_F	负反馈放大器中的反馈电阻	R_l	电流负反馈反馈网络输出等效连接电阻
R_v	电压负反馈反馈网络输出等效负载电阻	r_{be}	双极型三极管共发射极组态晶体管等效输入电阻
r_e	双极型三极管共基极组态三极管等效输入电阻	r'_{be}	双极型三极管发射结等效动态电阻
r_z	稳压管的等效动态电阻	r_{ce}	双极型三极管共射极组态晶体管集-射极等效电阻
S	开关	S	有效面积
S	电导单位(西)	S	变压器的容量
s	复数频率的拉氏变换变量	s	场效应管的源极
S_r	稳压电路的稳压系数	S_T	稳压电路的温度稳压系数
S_v	稳压电路的电压稳压系数	S_i	稳压电路的电流稳压系数
S/N	放大器的信噪比	S_{np}	稳压电路的谐波抑制比
T	三极管	T	周期信号的周期
T	温度(热力学温度单位 $^{\circ}\text{K}$)(摄氏温度单位 $^{\circ}\text{C}$)	T_r	整流用变压器
t	时间	V	电压
v	变化电压的瞬时量	V_i	放大器的输入信号电压有效值
$\dot{V}_i$	放大器的输入信号电压有效值相量	V_{BR}	二极管的反向击穿电压
V_o	放大器的输出信号电压有效值	$\dot{V}_o$	放大器的输出信号电压有效值相量
V_s	放大器的输入信号源的电压有效值	$\dot{V}_s$	放大器的输入信号源的电压有效值相量
V_D	二极管, 稳压管的正向导通电压	V_Z	稳压二极管的稳定电压
$V_{(BR)CBO}$	双极型三极管发射极开路集-基极反向击穿电压	$V_{(BR)CEO}$	双极型三极管基极开路集-射极反向击穿电压

续表

符 号	含 义	符 号	含 义
$V_{(BR)CEO}$	双极型三极管集电极开路基-射极反向击穿电压	V_{ON}	双极型三极管发射极-基极正向导通电压
V_{th}	二极管、双极型三极管导通开启电压	$V_{CC}, +V_{CC}$	双极型三极管放大电路集电极连接正电源
$V_{DD}, +V_{DD}$	场效应管放大电路漏极连接正电源	$-V_{CC}$	双极型三极管放大电路集电极连接负电源
$-V_{DD}$	场效应管放大电路漏极连接负电源	$-V_{EE}$	双极型三极管放大电路发射极连接负电源
V_{REF}	放大器电路、稳压电路中的基准电压	$V_{EE}, +V_{EE}$	双极型三极管放大电路发射极连接正电源
u_{BE}	双极型三极管放大电路基极-发射极总的电压	u_{CE}	双极型三极管放大电路集电极-发射极总的电压
u_{GS}	场效应管放大电路栅极-源极总的电压	u_{DS}	场效应管放大电路漏极-源极总的电压
u_{gs}	场效应管放大电路栅极-源极交流电压	u_{ds}	场效应管放大电路栅极-源极交流电压
V_T	增强型场效应管的开启电压或温度电压当量	V_P	耗尽型场效应管的夹断电压
V_F	反馈放大器的直流反馈电压, 滤波电路的输出电压	V_i	反馈放大器的交流反馈电压
ΔV_{io}	差分放大器的输入失调电压	ΔV_{oo}	差分放大器的输入失调电流
V_R	整流电路的输出电压	V_{RM}	整流电路中二极管承受的反向电压
X	复数阻抗中的电抗	X_i	反馈电路中的输入信号
X_{id}	负反馈放大电路中放大器的净输入信号	X_f	反馈放大电路中反馈信号
X_o	反馈放大电路中放大器的净输出信号	X_a	振荡电路中放大器的净输入信号
Y	电路中的复数电导	Z	电路中的复数阻抗
α	双极型三极管共基极电流放大系数	β	双极型三极管共发射极电流放大系数
γ	稳压管稳定系数	δ	微小变化量
η	放大器的效率	θ	三极管、二极管的导通角
π	半个周期变化的弧度数	μ	磁导率或双极型三极管的内部电压反馈系数
φ	信号的相位角	ρ	导体的电阻率
ω	角频率(单位: 弧度/秒)	σ	导体的电导率
τ	时间常数	Δ	符号前缀(加在符号之前)表示变化量
Ω	电阻的单位(欧)	φ_m	负反馈放大器的相位稳定裕量

说明: $\dot{I}$ 表示正弦信号的电流相量, $\dot{V}$ 表示正弦信号的电压相量, 正弦交流电压信号中加相应下标则表示对应电压的相量。 Δv 表示非正弦电压信号的瞬时变化量, Δi 表示非正弦电流信号的瞬时变化量, ΔI 表示电流的变化量, ΔV 表示电压的变化量, $|\dot{A}|$ 放大倍数的模, $\dot{A}$ 放大倍数的复数形式, $|\dot{F}|$ 反馈系数的模, $\dot{F}$ 反馈系数的复数形式。表中使用符号, 当作为文字格式描述或者仅仅表示直流量、有效值时, 可以不用倾斜字体。

目录

第1章 半导体基础知识

1.1 电子技术发展简史

1.2 电子技术的应用

1.2.1 电子技术的高速发展推动计算机技术的进步

1.2.2 电子技术的高速发展推动通信技术的繁荣

1.2.3 现代电子技术的高速发展促使广播电视业走向产业化

1.2.4 现代电子技术的高速发展推动汽车电子化的发展

1.2.5 电子技术在工业上的应用催生了电力电子技术

1.3 电子电路及其工作信号

1.3.1 模拟电路与模拟信号

1.3.2 电子电路的学习方法

1.4 半导体基础知识

1.4.1 本征半导体

1.4.2 杂质半导体

1.4.3 载流子的漂移运动和扩散运动

1.5 PN结

1.5.1 PN结的形成

1.5.2 PN结单向导电性

1.5.3 PN结的击穿和电容效应

本章小结

习题1

第2章 半导体二极管及其电路

2.1 半导体二极管

2.1.1 二极管的结构

2.1.2 二极管的伏安特性

2.1.3 二极管的主要参数

2.1.4 二极管的等效模型

2.1.5 二极管应用电路

2.2 稳压二极管

2.2.1 稳压管的伏安特性	27
2.2.2 稳压管的主要参数	27
2.3 其他类型二极管	28
2.3.1 发光二极管	28
2.3.2 光电二极管	29
2.3.3 变容二极管	29
2.3.4 肖特基二极管	30
本章小结	30
习题 2	30
第 3 章 双极型三极管及其放大电路	34
3.1 双极型三极管(BJT)	34
3.1.1 BJT 的结构简介	34
3.1.2 BJT 的电流分配与放大原理	35
3.1.3 BJT 的特性曲线	36
3.1.4 BJT 的主要参数	38
3.1.5 BJT 的选型	39
3.2 放大电路的信号及放大电路的基本形式	41
3.2.1 放大电路的信号	41
3.2.2 放大电路的基本形式和放大作用	41
3.2.3 三极管放大电路的三种组态	42
3.2.4 放大电路的分类和性能指标	43
3.3 基本放大电路的组成及工作原理	43
3.3.1 基本共射放大电路的组成	43
3.3.2 放大电路的两点规定	44
3.3.3 交变信号的传输	45
3.3.4 放大电路的两种工作状态	45
3.3.5 两种工作状态的分析思路	46
3.3.6 三极管放大电路的特点	47
3.4 基本共射极放大电路的图解分析法	47
3.4.1 静态工作点估算法	47
3.4.2 静态工作点的图解法	48
3.4.3 动态工作的图解法	50
3.4.4 静态工作点与失真	53
3.4.5 图解分析法的应用范围	55
3.5 小信号模型分析法	56
3.5.1 指导思想	56
3.5.2 三极管的 h 参数及其等效电路	56
3.5.3 用 h 参数等效电路分析基本共射极放大电路	58

3.6 射极偏置放大电路	63
3.6.1 温度对工作点的影响	63
3.6.2 发射极偏置电路直流工作状况分析	64
3.6.3 射极偏置电路交流工作状况分析	66
3.7 共集电极电路	69
3.7.1 电路组成	69
3.7.2 静态分析	69
3.7.3 动态分析	69
3.7.4 自举放大电路	71
3.8 共基极放大电路	72
3.8.1 电路组成	72
3.8.2 静态分析	72
3.8.3 动态分析	72
3.8.4 三种组态放大电路的比较	73
3.9 放大电路的频率响应	75
3.9.1 频率响应的基本概念	76
3.9.2 对数频率响应——折线波特图	77
3.9.3 RC 电路的频率响应	79
3.9.4 单级放大器的高频响应	83
3.9.5 单级放大器的低频响应	87
3.9.6 多级放大器的频率响应	90
本章小结	92
习题 3	93
第 4 章 单极型场效应管及其放大电路	107
4.1 单极型晶体管概述	107
4.2 结型场效应管(JFET)	107
4.2.1 JFET 的结构	107
4.2.2 JFET 的工作原理	108
4.2.3 JFET 的特性曲线	110
4.2.4 JFET 的主要参数	111
4.3 绝缘栅场效应管	112
4.3.1 N 沟道增强型 MOSFET 的结构	112
4.3.2 N 沟道增强型 MOS 管的工作原理	112
4.3.3 N 沟道增强型 MOS 管的特性曲线和电流方程	114
4.3.4 参数	115
4.4 N 沟道耗尽型 MOS 管	115
4.4.1 基本结构	115
4.4.2 工作特性	115

4.5	各种场效应管特性比较及注意事项	116
4.5.1	各类 FET 的特性	116
4.5.2	使用场效应管的注意事项	117
4.5.3	场效应管与三极管的性能比较	117
4.6	场效应管放大器及其静态分析	118
4.6.1	场效应管放大电路的三种组态	118
4.6.2	场效应管的直流通路及静态估算分析	119
4.6.3	场效应管的静态图解分析	121
4.7	场效应管的微变等效电路分析法	122
4.7.1	场效应管的微变等效电路	122
4.7.2	场效应管放大电路微变等效电路分析	123
	本章小结	127
	习题 4	128
第 5 章	功率放大电路	133
5.1	功率放大电路概述	133
5.1.1	功率放大电路的主要特点和指标参数	133
5.1.2	功率放大电路的类型	134
5.2	乙类互补对称功率放大电路	137
5.2.1	电路及工作原理	137
5.2.2	参数计算	138
5.3	甲乙类互补对称功率放大电路	141
5.3.1	利用二极管提供偏置的互补对称电路	142
5.3.2	采用 V_{BE} 扩大电路	142
5.4	其他类型互补对称功率放大电路	142
5.4.1	单电源互补功率放大电路	143
5.4.2	采用复合管(达林顿管)的互补功率放大电路	144
5.4.3	桥式推挽功率放大电路	145
5.5	功率器件及其选用	146
5.5.1	分立器件的选用	146
5.5.2	功率 MOSFET	148
5.5.3	功率模块	149
5.6	常用集成功率放大器	149
5.6.1	TDA2030A 简介	149
5.6.2	TDA2030A 的典型应用电路	150
	本章小结	151
	习题 5	152

第 6 章 集成运算放大电路	157
6.1 多级放大电路及其耦合方式	157
6.1.1 直接耦合	157
6.1.2 阻容耦合	161
6.1.3 变压器耦合	162
6.2 差分放大电路	163
6.2.1 差模信号和共模信号	163
6.2.2 射极偏置差分放大电路	165
6.2.3 基本差分放大电路交流性能指标分析	166
6.2.4 改进的差分放大电路	170
6.2.5 差分放大电路的电压传输特性	171
6.3 集成运算放大器中的恒流源	172
6.3.1 基本镜像恒流源	172
6.3.2 带缓冲级的镜像恒流源	173
6.3.3 比例恒流源	173
6.3.4 微恒流源	174
6.3.5 威尔逊恒流源	174
6.3.6 多路恒流源	175
6.3.7 使用恒流源作为有源负载	175
6.4 集成运算放大器	177
6.4.1 概述	177
6.4.2 集成运算放大器的性能参数	179
6.4.3 集成运算放大器的种类及使用	181
6.4.4 典型集成运算放大器器件 HA741 分析	182
6.4.5 集成运算放大器的外围电路	184
本章小结	185
习题 6	186
第 7 章 负反馈放大电路	191
7.1 反馈的基本概念	191
7.1.1 什么是反馈	191
7.1.2 反馈网络的判断	191
7.1.3 直流反馈和交流反馈的判断	192
7.1.4 正反馈和负反馈的判断	193
7.2 负反馈放大电路的四种基本组态	195
7.2.1 电压串联负反馈放大电路	196
7.2.2 电压并联负反馈放大电路	197
7.2.3 电流串联负反馈放大电路	198

7.2.4	电流并联负反馈放大电路	199
7.3	负反馈放大电路增益的一般表达式	201
7.3.1	负反馈放大电路的方框图	201
7.3.2	负反馈放大电路增益的一般表达式	202
7.4	负反馈对放大电路性能的改善	204
7.4.1	提高增益的稳定性	204
7.4.2	减少非线性失真	205
7.4.3	负反馈对放大器频率响应的影响	206
7.4.4	负反馈对输入电阻输出电阻的影响	207
7.4.5	引入负反馈的原则	210
7.5	负反馈放大电路的分析计算	211
7.5.1	利用 $\dot{X}_i \approx \dot{X}_f$ 的关系式进行近似估算	211
7.5.2	利用 $\dot{A}_F \approx 1/\dot{F}$ 进行近似估算	212
7.6	负反馈放大电路产生自激振荡的原因及条件	215
7.6.1	自激振荡产生的原因	216
7.6.2	产生自激振荡的相位条件和幅值条件	216
7.6.3	负反馈放大电路稳定性的定性分析	216
7.6.4	负反馈放大电路中自激振荡的消除方法	218
	本章小结	221
	习题 7	223

第 8 章 信号的运算与处理电路

8.1	概述	231
8.1.1	理想运算放大器的参数	231
8.1.2	运算放大器的线性工作状态——虚短和虚断	232
8.1.3	运算放大器的非线性工作状态	233
8.2	运算电路	233
8.2.1	运算放大器的三种输入方式	233
8.2.2	基本运算电路	236
8.2.3	对数与指数运算电路	243
8.3	模拟乘法器	245
8.3.1	对数指数型模拟乘法器	245
8.3.2	变跨导型模拟乘法器	246
8.3.3	模拟乘法器的应用	247
8.4	集成运算放大器在信号检测中的应用	250
8.4.1	仪表放大器	250
8.4.2	电流-电压变换器和电压-电流变换器	251
8.4.3	电表测量电路	252