

中等专业学校试用教材

# 模拟电子技术基础

工科电工类(多学时)专业通用

李采劭 主编

李采劭 刘讨米 俞雅珍 编



高等教育出版社

中国高等院校计算机专业教材

# 模拟电子技术基础

教育部高等学校计算机专业教学指导委员会

推荐教材

主编：王守志 副主编：王守志 王守志



清华大学出版社

本书是由国家教育委员会委托全国中专电子技术基础课程组组织编写的第三轮教材。

参照国家教育委员会颁发的中等专业学校工科电工类(多学时)专业通用《电子技术基础》教学大纲的要求,本书重点讲述电子电路的基本工作原理和基本分析方法。

为适应电子技术飞速发展的新形势和教学改革的需要,在保证基础的同时,精减了分立元件的内容,加强了模拟集成电路的应用。在编排体系上,将集成运放的内容提前,并在后续章节中不断引用和加深,以强化集成运放应用的概念。

为适应中专学校培养应用型人才的需要,突出中专特色,在传授基本知识的同时,注重了能力的培养,有关指导实践和应用的理论及分析方法有所加强。并安排了习题课和讨论课。全书图形符号、文字符号均采用国家标准。

本书由国家教育委员会全国中专电子技术基础课程组和浙江大学郑元耀副教授双重审稿。本书可作为中等专业学校工科电工类(电气、电子、自动化和其他相近专业)专业的理论教材,并可作为职工中专、函授中专、职业中学相同专业的师生和电子技术爱好者的入门参考书,也可供从事电子技术工作的中等专业技术人员参考。

本书责任编辑 章浩平

中等专业学校试用教材

## 模拟电子技术基础

工科电工类(多学时)专业通用

李采劭 主编

李采劭 刘讨米 俞雅珍 编

\*

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

商务印书馆上海印刷厂印装

\*

开本 850×1168 1/32 印张 22.375 字数 538,000

1990年8月第1版 1990年8月第1次印刷

印数 0.001—9.640

ISBN7-04-002997-9/TN·140

定价 4.90 元

# 前 言

本书是根据国家教育委员会1987年3月颁发的中等专业学校工科电工类(多学时)专业通用《电子技术基础教学大纲》(模拟部分)编写的第三轮统编教材。

编写一本符合教育改革精神,具有中专特色的模拟电子技术教材是我们很久以来的愿望。本书是在总结前两轮教材经验和教学实践的基础上,通过调查研究,结合培养应用型、工艺型中等专业人材的需要而编写的。编写时,在保证基本概念、基本原理、基本分析方法的前提下突出对学生能力的培养,力求避免中专教材中普遍存在的偏多偏深的现象。具体考虑如下:

一、为适应电子技术飞速发展的新形势和“教育面向现代化、面向世界、面向未来”的精神,在保证基础的同时,精简了分立元件的内容,加强了模拟集成电路的应用。在编排体系上,将集成运放的内容提前,便于在负反馈及后续章节中不断引用和加深。并引入了模拟集成组件的新内容,如双运放、四运放、集成跟随器、集成功率放大器、集成三端稳压器、集成乘法器、集成比较器、开关型稳压电路等,同时还增添了一些新器件,如发光二极管、光电二极管、变容二极管、光电半导体管、光电二极管型光耦合器、光电三极管型光耦合器、大功率场效应管(VMOS)等。

二、根据中等专业学校培养目标,为了突出其特色,在传授基本知识的同时,注重了能力的培养。如有关指导实践和应用的理论和分析方法有所加强;为提高分析问题和解决问题的能力,增写了习题课、讨论课(共十四个)、小结以及一些理论联系实际的应用实例、读图练习、例题分析。思考题、习题也有所增加。全书共有例

题一百多道,思考题、习题 387 道,有利于启发思考引导创新。在内容的讲解上以定性分析为主,在叙述上力求通俗易懂,利于培养自学能力。

三、根据招收初中毕业生的需要,在分析方法上注意了循序渐进。如在半导体的基本知识论述中,以载流子为主线,以 PN 结为起点,以实现载流子的控制为目的,使这部分内容大为简化。在讲述半导体二极管、三极管器件时,以载流子的运动为主线,以实现载流子的控制为目的,使器件内部导电机理大为简化。在电路分析方法上注意了从电子电路的特点出发,由电子器件的非线性及电流、电压的交、直流并存,引出电子电路的特殊分析方法——图解法和等效电路法。在具体分析电子电路时,将直流(静态)和交流(动态)分开考虑,由直流等效电路计算静态工作点,由交流(微变)等效电路计算动态参数,使难点通俗化,以便适应非线性电路的分析方法。为了提高读图能力,引入了单管放大电路三种接法的识别、单元放大电路的分析思路和步骤、分立元件与集成运放输入、输出端子的对应关系。为了提高动手能力,指导实践的理论有所加强,引入了基本放大电路工作状态判断、分压式工作点稳定电路的稳定性检查、 $V_{om}$ 、 $V_{jm}$  的计算公式。我们希望以上努力能够体现中等专业学校特色、有利于理论联系实际。

本书可供工科电工类招收初中毕业生、学制四年的中等专业学校和其他学制的中等专业学校使用,讲授下限学时 94 学时,也可根据具体情况适当调整。第九章可供没有单独开设半导体变流技术的学校选用,单独设课的学校可不讲授。习题课和讨论课可与理论课穿插讲授,也可结合章末小结上复习课。本书内容中,注星号\*的部分为选讲内容。

本书始终是在国家教育委员会全国中等专业学校电子技术基础课程组(下称课程组)组织、指导下完成的,课程组和高等教育出

版社组织了全国性的试写稿教材评选，在五大区组织评选的基础上，多层筛选，西安航空工业技术专科学校李采劭同志被选定为多学时《电子技术基础》(模拟部分)的主编，由李采劭同志聘请杭州机械工业学校刘讨米同志，上海航空工业学校俞雅珍同志组成编写组。李采劭同志组织拟定了编写指导思想和编写大纲，并于1987年9月，由课程组在上海主持召开的编写大纲审定会上获得通过后，着手分工编写。俞雅珍同志编写一、三、八章，刘讨米同志编写四、七、九章，李采劭同志编写概述、二、五、六章，并负责组织 and 定稿。完稿后由课程组1988年8月在长春主持召开的审稿会上讨论通过。本书由浙江大学郑元耀副教授担任全书的主审，课程组成员福建机电学校高级讲师薛文同志，九江船舶学校高级讲师宗立德同志审阅了部分书稿，参加审稿的还有西安航空工业技术专科学校高级讲师喻祖安同志、上海电机制造专科学校高级讲师柯节成同志。主审和参审同志指出了书稿中存在的错误或不妥之处，并提出了修改意见。主审郑元耀副教授还对书稿的内容和文字叙述做了修改和润色，在此致以衷心的感谢。西安航空工业技术专科学校副教授裴家度同志提供了他在美国讲学期间的外文资料。泉州市农业工程学校的吕德凤同志(馆员)，杭州机械工业学校的张立新同志(讲师)、上海金融专科学校的鲁燕华同志协助做了大量的技术性工作，在此一并致谢。

由于编者水平有限，书中必然存在不少错误和不妥之处，敬请使用本书的师生和读者批评指正。

编 者

1989年7月

# 本书常用符号说明

## 一、几条原则

### 1. 电流和电压(以基极电流为例)

|              |                           |
|--------------|---------------------------|
| $I_B$        | 大写字母、大写下标,表示直流量           |
| $i_b$        | 小写字母、小写下标,表示交流瞬时值         |
| $i_B$        | 小写字母、大写下标,表示包含有直流与交流的瞬时总值 |
| $I_b$        | 大写字母、小写下标,表示交流有效值         |
| $I_{bm}$     | 表示交变分量最大值                 |
| $I_{B(AV)}$  | 表示总的平均值                   |
| $I_{BM}$     | 表示总的最大值                   |
| $I_{bav}$    | 表示交变分量平均值                 |
| $\Delta I_B$ | 表示直流变化量                   |
| $\Delta i_B$ | 表示瞬时值的变化量                 |

### 2. 电阻

|     |                  |
|-----|------------------|
| $R$ | 大写字母表示电路的电阻或等效电阻 |
| $r$ | 小写字母表示器件内部的等效电阻  |

## 二、基本符号

### 1. 电流和电压

|            |              |
|------------|--------------|
| $I, i$     | 电流的通用符号      |
| $V, v$     | 电压的通用符号      |
| $I_Q, V_Q$ | 电流、电压静态值     |
| $I_L$      | 负载电流         |
| $I_1, V_1$ | 交流输入电流、电压有效值 |
| $I_o, V_o$ | 交流输出电流、电压有效值 |
| $I_s, V_s$ | 信号源电流、电压有效值  |
| $V_{CC}$   | 集电极回路电源对地电压  |
| $V_{EE}$   | 负电源电压        |

|                  |               |
|------------------|---------------|
| $V_{DD}$         | 漏极直流电源电压      |
| $V_{GG}$         | 栅极直流电源电压      |
| $I_f, V_f$       | 反馈电流、电压有效值    |
| $V_{Ic}$         | 共模输入电压有效值     |
| $V_{Id}$         | 差模输入电压有效值     |
| $V_{Oc}$         | 共模输出电压有效值     |
| $V_{Od}$         | 差模输出电压有效值     |
| $I_P, V_P$       | 集成运放同相输入电流、电压 |
| $I_N, V_N$       | 集成运放反相输入电流、电压 |
| $I_R, V_R$       | 参考电流、电压       |
| $I_{I0}, V_{I0}$ | 输入失调电流、电压     |

## 2. 功率

|        |          |
|--------|----------|
| $P, p$ | 功率通用符号   |
| $P_o$  | 输出功率     |
| $P_T$  | 三极管消耗的功率 |
| $P_V$  | 电源消耗的功率  |

## 3. 频率

|          |             |
|----------|-------------|
| $f$      | 频率通用符号      |
| $\omega$ | 角频率通用符号     |
| $f_{bw}$ | 通频带         |
| $f_H$    | 放大电路的上限截止频率 |
| $f_L$    | 放大电路的下限截止频率 |
| $f_0$    | 振荡频率、中心频率   |

## 4. 电阻、电导、电容、电感

|          |             |
|----------|-------------|
| $R_i$    | 电路的输入电阻     |
| $R_{if}$ | 有反馈时电路的输入电阻 |
| $R_L$    | 负载电阻        |
| $R_o$    | 电路的输出电阻     |
| $R_{of}$ | 有反馈时电路的输出电阻 |
| $R_s$    | 信号源内阻       |
| $R_{id}$ | 差模输入电阻      |
| $R_{ic}$ | 共模输入电阻      |

|        |         |
|--------|---------|
| $R_b$  | 偏置电阻    |
| $R_f$  | 反馈电阻    |
| $G, g$ | 电导的通用符号 |
| $C$    | 电容的通用符号 |
| $L$    | 电感的通用符号 |

### 5. 增益或放大倍数

|          |                                         |
|----------|-----------------------------------------|
| $A$      | 放大倍数的通用符号                               |
| $G$      | 增益                                      |
| $A_v$    | 电压放大倍数的通用符号 即 $A_v = V_o / V_i$         |
| $A_{vo}$ | 开环电压放大倍数                                |
| $A_{vf}$ | 闭环电压放大倍数                                |
| $A_{vm}$ | 中频电压放大倍数                                |
| $A_{vs}$ | 考虑信号源内阻时的电压放大倍数, 即 $A_{vs} = V_o / V_s$ |
| $F$      | 反馈系数通用符号                                |

### 三、器件及参数符号

|           |                               |
|-----------|-------------------------------|
| $A$       | 放大器、晶闸管阳极                     |
| $A_{od}$  | 集成运放的开环放大倍数                   |
| $a$       | 二极管阳极                         |
| $B$       | 场效应管的衬底                       |
| $b$       | 基极                            |
| $C_j$     | 结电容                           |
| $C_{GS}$  | 场效应管栅-源间的等效电容                 |
| $C_{DS}$  | 场效应管漏-源间的等效电容                 |
| $C_{GD}$  | 场效应管栅-漏间的等效电容                 |
| $c$       | 集电极                           |
| $D$       | 二极管、场效应管的漏极                   |
| $D_s$     | 稳压管                           |
| $dQ/dt$   | 断态电压上升率                       |
| $e$       | 发射极                           |
| $f_a$     | 共基极截止频率                       |
| $f_\beta$ | 共射接法下三极管电流放大系数的上限频率           |
| $f_T$     | 三极管的特征频率, 即共射接法下电流放大系数为 1 的频率 |

|                  |                               |
|------------------|-------------------------------|
| $f_M$            | 三极管的最高频率                      |
| G                | 场效应管的栅极、晶闸管控制极                |
| $g_m$            | 跨导                            |
| $I_{CBO}$        | 发射极开路时集-基间的反向电流               |
| $I_{CEO(p)}$     | 基极开路时集-射间的穿透电流                |
| $I_{CM}$         | 集电极最大允许电流                     |
| $I_D$            | 二极管电流、漏极电流                    |
| $I_{D(AV)}$      | 整流管整流电流平均值                    |
| $I_{DSS}$        | 耗尽型场效应管 $V_{GS}=0$ 时 $I_D$ 的值 |
| $I_F, V_F$       | 二极管的正向电流、电压                   |
| $I_{IB}, V_{IB}$ | 集成运放输入偏置电流、电压                 |
| $I_R$            | 二极管的反向电流                      |
| $I_S$            | 二极管的反向饱和电流、场效应管源极直流电流         |
| $I_{F(AV)}$      | 额定电流                          |
| $I_H$            | 维持电流                          |
| $I_{Ls}$         | 掣住电流                          |
| $I_{FSM}$        | 浪涌电流                          |
| $I_G$            | 触发电流                          |
| $I_Z, V_Z$       | 稳压管的稳定电流、电压                   |
| K                | 晶闸管阴极                         |
| k                | 二极管阴极                         |
| $P_{OM}$         | 集电极最大允许耗散功率                   |
| $P_{DM}$         | 漏极最大允许耗散功率                    |
| $r_{bb'}$        | 基区体电阻                         |
| $r_{b'e}$        | 发射结的微变等效电阻                    |
| $r_{be}$         | 共射接法下基-射间的微变等效电阻(输出交流短路)      |
| $r_{DS}$         | 场效应管漏-源间的等效电阻(压控电阻)           |
| S                | 场效应管的源极、开关                    |
| T                | 半导体三极管、场效应管、晶闸管               |
| $T_r$            | 变压器                           |
| $T_1, T_2$       | 双向晶闸管主电极                      |
| $V_{(BR)}$       | 反向击穿电压                        |

|                |                                                          |
|----------------|----------------------------------------------------------|
| $V_{(BR)CBO}$  | 射极开路时集-基间的击穿电压                                           |
| $V_{(BR)CEO}$  | 基极开路时集-射间的击穿电压                                           |
| $V_{(BR)CER}$  | 基-射间接入电阻时集-射间的击穿电压                                       |
| $V_{(BR)CES}$  | 基-射间短路时集-射间的击穿电压                                         |
| $V_{(BR)DS}$   | 漏-源间的击穿电压                                                |
| $V_{GS(off)}$  | 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                                             |
| $V_{DS}$       | 漏-源直流电压                                                  |
| $V_{GS}$       | 栅-源直流电压                                                  |
| $V_{GD}$       | 栅-漏直流电压                                                  |
| $V_{OES}$      | 集-射间饱和压降                                                 |
| $V_T$          | 温度的电压当量                                                  |
| $V_{BO}$       | 正向转折电压                                                   |
| $V_{DRM}$      | 断态重复峰值电压                                                 |
| $V_{RRM}$      | 反向重复峰值电压                                                 |
| $V_D$          | 额定电压                                                     |
| $V_G$          | 触发电压                                                     |
| $V_{on}$       | 二极管、三极管的导通电压                                             |
| $V_{T(AV)}$    | 管压降                                                      |
| $V_P$          | 峰点电压                                                     |
| $V_V$          | 谷点电压                                                     |
| $\alpha$       | 共基接法交流放大系数, 即 $\alpha = \Delta I_O / \Delta I_E$ 、控制角    |
| $\bar{\alpha}$ | 共基接法直流放大系数                                               |
| $\beta$        | 共射接法交流放大系数, 即 $\beta = \Delta I_O / \Delta I_B$ (输出交流短路) |
| $\bar{\beta}$  | 共射接法直流放大系数                                               |
| $\eta$         | 分压比                                                      |
| $\theta$       | 导通角                                                      |

#### 四、其他符号

|           |                  |
|-----------|------------------|
| $D$       | 非线性失真系数          |
| $F_n$     | 噪声系数             |
| $K_{OMR}$ | 共模抑制比            |
| $Q$       | 静态工作点、LC 回路的品质因数 |

|                |            |
|----------------|------------|
| $S_T$          | 稳压电路中的稳压系数 |
| $S_V$          | 电压调整率      |
| $S/N$          | 信号噪声比      |
| $T$            | 周期、温度      |
| $N$            | 绕组匝数       |
| $\Delta f/f_0$ | 频率稳定度      |
| $\eta$         | 效率         |
| $\tau$         | 时间常数       |
| $\phi$         | 相位角        |

# 目 录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 概述 .....                    | 1  |
| 第一章 半导体二极管及其在整流电路中的应用 ..... | 9  |
| 1.1 PN 结 .....              | 9  |
| 1.1.1 本征半导体中的两种载流子 .....    | 9  |
| 1.1.2 杂质半导体中的载流子 .....      | 13 |
| 1.1.3 PN 结的导电特性 .....       | 16 |
| 1.2 半导体二极管 .....            | 21 |
| 1.2.1 二极管的结构和符号 .....       | 21 |
| 1.2.2 二极管的特性与参数 .....       | 22 |
| 1.2.3 二极管的等效电路 .....        | 31 |
| 1.2.4 二极管的直流电阻和交流电阻 .....   | 35 |
| 1.3 二极管整流电路 .....           | 40 |
| 1.3.1 纯阻负载的单相整流电路 .....     | 40 |
| 1.3.2 接滤波器的单相整流电路 .....     | 50 |
| *1.3.3 倍压整流电路 .....         | 58 |
| 1.3.4 例题分析 .....            | 60 |
| *1.4 特种二极管简介 .....          | 64 |
| 1.4.1 硅稳压二极管 .....          | 64 |
| 1.4.2 发光二极管 .....           | 67 |
| 1.4.3 光电二极管 .....           | 68 |
| 1.4.4 变容二极管 .....           | 69 |
| 1.4.5 隧道二极管 .....           | 70 |
| 1.5 讨论课: 整流电路应用中有关问题 .....  | 70 |
| 本章小结 .....                  | 75 |
| 思考题 .....                   | 77 |
| 习题 .....                    | 78 |
| 第二章 半导体三极管及基本放大电路 .....     | 86 |
| 2.1 半导体三极管 .....            | 86 |

|        |                     |     |
|--------|---------------------|-----|
| 2.1.1  | 三极管的结构与符号           | 86  |
| 2.1.2  | 三极管的放大作用            | 88  |
| 2.1.3  | 三极管的特性曲线            | 97  |
| 2.1.4  | 三极管的主要参数            | 101 |
| *2.1.5 | 光电半导体管和光电耦合器        | 106 |
| 2.1.6  | 小结与例题分析             | 108 |
| 2.2    | 放大电路的基本概念           | 112 |
| 2.2.1  | 放大电路的性能指标           | 113 |
| 2.2.2  | 基本放大电路的组成和元件作用      | 118 |
| 2.2.3  | 基本放大电路的工作情况         | 123 |
| 2.2.4  | 交流通路和直流通路           | 130 |
| 2.3    | 基本放大电路的分析方法(一)图解法   | 136 |
| 2.3.1  | 静态分析                | 136 |
| 2.3.2  | 动态分析                | 139 |
| 2.4    | 基本放大电路的分析方法(二)等效电路法 | 151 |
| 2.4.1  | 静态分析                | 152 |
| 2.4.2  | 动态分析                | 159 |
| 2.4.3  | 用等效电路法分析共集电极基本放大电路  | 171 |
| 2.4.4  | 用等效电路法分析共基极基本放大电路   | 175 |
| 2.4.5  | 三种基本放大电路的比较         | 180 |
| 2.4.6  | 单管放大电路三种接法的识别       | 181 |
| 2.5    | 分压式工作点稳定电路          | 183 |
| 2.5.1  | 工作点不稳定的原因           | 183 |
| 2.5.2  | 分压式工作点稳定电路          | 185 |
| 2.6    | 习题课                 | 192 |
| 2.7    | 讨论课,单元电路的分析思路及步骤    | 200 |
|        | 本章小结                | 207 |
|        | 思考题                 | 212 |
|        | 习题                  | 214 |
| 第三章    | 场效应管及其基本放大电路        | 234 |
| 3.1    | 结型场效应管              | 234 |
| 3.1.1  | 结型场效应管的结构、符号和工作原理   | 234 |
| 3.1.2  | 结型场效应管的伏安特性曲线       | 240 |

|            |                             |            |
|------------|-----------------------------|------------|
| 3.1.3      | 结型场效应管的主要参数 .....           | 246        |
| 3.1.4      | 例题分析 .....                  | 247        |
| 3.2        | 绝缘栅场效应管 .....               | 249        |
| 3.2.1      | 增强型绝缘栅场效应管的结构、符号和工作原理 ..... | 250        |
| 3.2.2      | 增强型绝缘栅场效应管的伏安特性曲线 .....     | 254        |
| 3.2.3      | 增强型绝缘栅场效应管的主要参数 .....       | 257        |
| 3.2.4      | 耗尽型绝缘栅场效应管 .....            | 258        |
| 3.2.5      | 例题分析 .....                  | 260        |
| 3.3        | 单极型管与双极型管的比较 .....          | 266        |
| 3.4        | 场效应管放大电路 .....              | 268        |
| 3.4.1      | 场效应管的直流偏置电路及静态分析 .....      | 269        |
| 3.4.2      | 场效应管放大电路的微变等效电路及动态分析 .....  | 272        |
| 3.4.3      | 例题分析 .....                  | 274        |
| *3.5       | 功率场效应管(VMOS) .....          | 277        |
|            | 本章小结 .....                  | 278        |
|            | 思考题 .....                   | 281        |
|            | 习题 .....                    | 282        |
| <b>第四章</b> | <b>多级放大电路及集成运算放大器 .....</b> | <b>290</b> |
| 4.1        | 多级放大电路 .....                | 290        |
| 4.1.1      | 级间耦合方式 .....                | 290        |
| 4.1.2      | 耦合对信号传输的影响 .....            | 298        |
| 4.2        | 习题课 .....                   | 307        |
| 4.3        | 放大电路的频率响应 .....             | 312        |
| 4.4        | 讨论课: 多级放大电路的耦合及配合 .....     | 317        |
| 4.5        | 集成运算放大器 .....               | 319        |
| 4.5.1      | 差动放大电路 .....                | 321        |
| 4.5.2      | 带公共射极电阻的差动放大电路 .....        | 326        |
| 4.5.3      | 具有恒流源的差动放大电路 .....          | 332        |
| 4.5.4      | 差动放大电路输入、输出方式 .....         | 334        |
| *4.5.5     | 共模抑制比的进一步讨论 .....           | 335        |
| 4.5.6      | 集成运放简介 .....                | 341        |
| 4.5.7      | 集成运放的主要参数 .....             | 346        |
| 4.5.8      | 集成运放的选择与分类 .....            | 352        |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 本章小结                        | 354        |
| 思考题                         | 356        |
| 习题                          | 857        |
| <b>第五章 负反馈放大电路</b>          | <b>363</b> |
| 5.1 反馈的基本概念                 | 363        |
| 5.1.1 什么是反馈                 | 363        |
| 5.1.2 负反馈放大电路的一般关系式         | 366        |
| 5.1.3 反馈分类法                 | 369        |
| 5.2 四种反馈组态的识别与特点            | 380        |
| 5.2.1 电压串联负反馈(SP组态)         | 381        |
| 5.2.2 电流并联负反馈(PS组态)         | 384        |
| 5.2.3 电流串联负反馈(SS组态)         | 388        |
| 5.2.4 电压并联负反馈(PP组态)         | 389        |
| 5.3 负反馈对放大性能的影响             | 392        |
| 5.3.1 提高放大倍数的稳定性            | 392        |
| 5.3.2 展宽频带                  | 394        |
| 5.3.3 减小非线性失真               | 396        |
| 5.3.4 减小内部噪声                | 396        |
| 5.4 负反馈引入法                  | 399        |
| 5.4.1 为改善性能引入负反馈的基本法则       | 399        |
| 5.4.2 负反馈引入法例题分析            | 400        |
| 5.4.3 引入负反馈应注意的问题           | 404        |
| 5.5 深度负反馈电压放大倍数的近似估算        | 405        |
| 5.5.1 深度负反馈的基本概念            | 405        |
| 5.5.2 计算举例                  | 411        |
| 5.6 习题课                     | 420        |
| 5.7 讨论课: 由电路结构识别反馈类型        | 426        |
| 5.7.1 由电路结构特点识别反馈类型的一般规律    | 427        |
| 5.7.2 分立元件与集成运放输入、输出端子的对应关系 | 428        |
| 5.7.3 分析举例                  | 430        |
| 本章小结                        | 434        |
| 思考题                         | 437        |
| 习题                          | 439        |

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| <b>第六章 正弦波振荡电路</b>      | <b>451</b> |
| 6.1 正弦波振荡电路的基本概念        | 451        |
| 6.1.1 产生正弦波振荡的条件        | 451        |
| 6.1.2 振荡电路的组成           | 452        |
| 6.1.3 正弦波振荡电路的分析方法      | 454        |
| 6.1.4 自激振荡的建立和幅度稳定      | 455        |
| 6.2 $RC$ 桥式振荡电路         | 455        |
| 6.2.1 $RC$ 串并联网络的选频特性   | 455        |
| 6.2.2 振荡频率和起振条件         | 458        |
| 6.2.3 稳幅措施              | 460        |
| 6.2.4 频率的调节             | 461        |
| 6.3 $LC$ 正弦波振荡电路        | 462        |
| 6.3.1 $LC$ 并联网络的选频特性    | 462        |
| 6.3.2 变压器反馈式振荡电路        | 464        |
| 6.3.3 电感三点式振荡电路         | 467        |
| 6.3.4 电容三点式振荡电路         | 470        |
| 6.4 石英晶体振荡电路            | 473        |
| 6.4.1 石英晶体谐振器           | 473        |
| 6.4.2 典型电路              | 476        |
| 6.4.3 实用电路              | 478        |
| 6.5 例题分析                | 478        |
| 本章小结                    | 481        |
| 思考题                     | 483        |
| 习题                      | 484        |
| <b>第七章 集成运算放大器的应用电路</b> | <b>490</b> |
| 7.1 集成运算放大器的基本电路        | 490        |
| 7.1.1 负反馈是运放线性应用的必要条件   | 490        |
| 7.1.2 运放的三种基本电路         | 492        |
| 7.2 习题课                 | 500        |
| 7.3 讨论课: 输入方式选择         | 504        |
| 7.4 信号运算电路              | 512        |
| 7.4.1 比例运算              | 512        |
| 7.4.2 求和运算              | 512        |