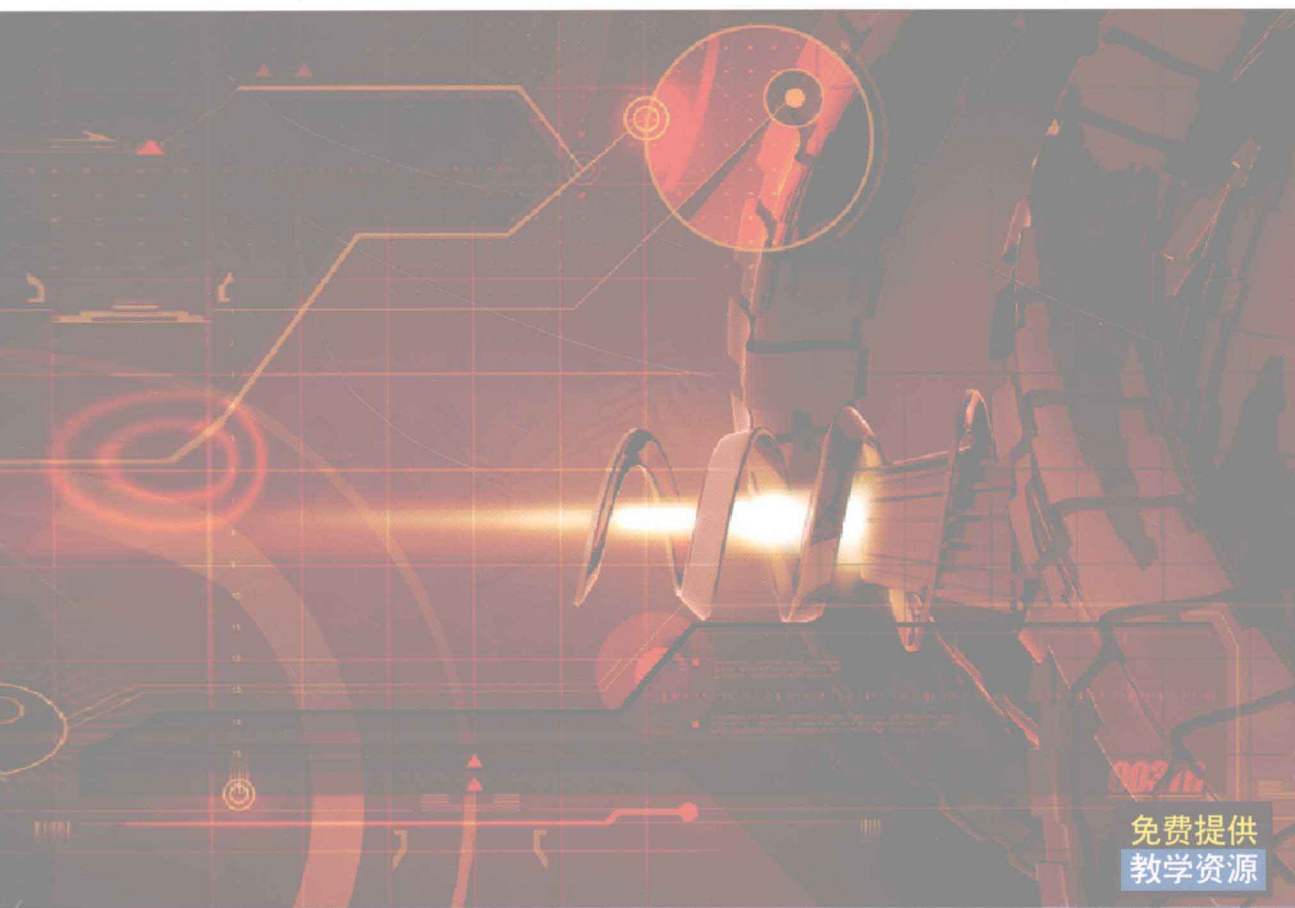




普通高等教育“十二五”规划教材  
信息与电子技术类系列教材

# 模拟电子技术基础

廖惜春 主编



免费提供  
教学资源



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材·信息与电子技术类系列教材

# 模拟电子技术基础

廖惜春 主编

项华珍 黄培先 张启英 参编

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

“模拟电子技术基础”是电气、电子信息类和部分非电类专业本科生在电子技术方面入门性质的技术基础课，也是一门工程应用性很强的课程。本书始终贯穿理论与实际相结合的思想，以“教学基本要求”为依据，以工程应用为目标，力求突出基本概念、基本电路的原理和基本分析方法，强调理论联系实际，注重培养学生的创新意识、工程应用能力。

本书每一章均列出了基本要求、基础知识，重点难点，以大量例题详细叙述了分析问题和解决问题的思想和方法，并结合理论分析和实际应用，介绍了模拟电子线路的一些应用示例，以利于自学。

全书共9章，包括绪论、半导体器件基础、放大电路基础、功率放大电路、集成运算放大器，负反馈放大电路、波形产生电路、直流稳压电源和电子电路EDA技术简介。

本书可作为普通高等院校电子信息工程、通信工程、电气工程及自动化、自动化、计算机应用、电子信息科学等电气信息与电子技术类及其他相关本科专业的“模拟电子技术基础”、“低频电子线路”等课程的教材和教学参考书，也可作为相关工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础/廖惜春主编. —北京:科学出版社, 2011

ISBN 978-7-03-032813-7

I. ①模… II. ①廖… 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(2011)第 237018 号

责任编辑: 李 伟 赵丽欣 / 责任校对: 耿 耘  
责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 东方人华平面设计部

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2011年11月第一版 开本: 787×1092 1/16

2011年11月第一次印刷 印张: 24

印数: 1—3 000 字数: 568 320

定价: 39.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换<路通>)

销售部电话 010-62142126 编辑部电话 010-62134021

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

# 普通高等教育“十二五”规划教材

## 信息与电子技术类系列教材

### 编 委 会

主 任 吴黎明（广东工业大学）

副主任 贺前华（华南理工大学）

委 员（按姓氏笔画排序）

马文华（广东外语外贸大学）

汤 庸（华南师范大学）

杨振野（广东技术师范学院）

洪添胜（华南农业大学）

徐 杜（广东工业大学）

曹建忠（惠州学院）

曾 辉（嘉应学院）

谢仕义（广东海洋大学）

廖惜春（五邑大学）

颜国政（上海交通大学）

## 前 言

为落实教育部、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》精神,培养学生自主学习能力、创新精神、实践能力和工程应用能力,本书依据国家教育部高等学校电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会制定的“模拟电子技术基础课程教学基本要求”的内容,结合作者多年的教学经验,本着对电气信息与电子技术类课程进行教学改革的思路编写而成。

“模拟电子技术基础”是电气、电子信息类和部分非电类专业本科生在电子技术方面入门性质的技术基础课,也是一门工程应用性很强的课程,具有自身的体系和很强的实践性。本课程中的许多重要概念,对后续课程的学习乃至工程应用都具有深远的影响。因此,本书始终贯穿理论与实际相结合的思想,以“教学基本要求”为依据,以工程应用为目标,在内容编排上力求突出基本概念、基本电路的原理和基本分析方法,引导学生抓住重点、突破难点、掌握分析方法,强调理论联系实际,注重培养学生的创新意识、工程应用和解决实际问题的能力。其目的是使学生既获得模拟电子技术方面的基本知识、基本理论和基本技能,熟悉常用电子器件的特性,又具备一定的工程应用能力,为深入学习电子技术以及专业应用打好基础。

书中每章均列出了基本要求、基础知识,让学生明确重点,把握难点,深入理解。全书以大量例题详细叙述了分析问题和解决问题的思路和方法,并结合理论分析和实际应用,介绍了模拟电子线路的一些应用示例,以利于学生自学。每个重要知识点都配有相当数量的习题,使学生可以举一反三,逐步提高分析问题和解决问题的能力。书中还介绍了常用 EDA 技术,以便初学者在学习本书期间能自行设计制作电子电路。

全书内容共分 9 章,其中第 1、2、3 章由廖惜春执笔,第 4、5、7 章由项华珍执笔,第 6、8 章由张启英执笔,第 9 章由黄培先执笔。廖惜春任主编,负责全书统稿和定稿。

本书可作为普通高等学校电子信息工程、通信工程、电气工程及自动化、自动化、计算机应用、电子信息科学等电气信息与电子技术类及其他相关专业本科生“模拟电子技术基础”、“低频电子线路”等课程的教材和教学参考书,也可作为相关工程技术人员的参考书。

在本书编写过程中得到了五邑大学主管领导和信息工程学院领导的大力支持,吴今培教授(博导)和甘俊英教授为本书的编写工作给予了帮助,周开利、杨芷华、徐秀平、何文丰、陈鹏、王玉青、张京玲等老师对本书提出了许多宝贵的修改意见和建议;参考文献中提到的各位作者为本书提供了丰富的资料,在此一并表示衷心感谢!

为了方便教师使用,本书配有免费教学资源,需要的读者可登录科学出版社网站 [www.abook.cn](http://www.abook.cn) 下载。

由于编者水平所限,书中难免存在错误与不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

## 本书符号说明

### 一、基本规则

$I_B, U_{BE}, I_C, I_E, U_{CE}$

大写字母、大写下标,表示直流电量

$I_b, U_{be}, I_c, U_{ce}$

大写字母、小写下标,表示交流电量有效值

$\dot{I}_b, \dot{U}_{be}, \dot{I}_c, \dot{I}_e, \dot{U}_o$

正弦交流电流、电压的相量表示形式

$i_B, u_{BE}, i_C, u_{CE}$

小写字母、大写下标,表示直流+交流量的总瞬时值

$i_b, u_{be}, i_c, u_{ce}, i_e, i_o$

小写字母、小写下标,表示交流分量瞬时值

### 二、基本符号

#### 1. 电流和电压

$I_i, U_i$

交流输入电流、电压的有效值

$I_{id}, U_{id}$

交流净输入电流、电压的有效值

$I_o, U_o$

交流输出电流、电压的有效值

$\dot{I}_f, \dot{U}_f$

反馈电流,反馈电压

$I_Q, U_Q$

静态电流,静态电压

$I_R$

二极管的反向电流

$U_{REF}$

参考电压

$U_{BR}$

二极管的反向击穿压

$I_+, U_+$

集成运放同相输入端的电流、电压

$I_-, U_-$

集成运放反相输入端的电流、电压

$U_T$

温度的电压当量

$U_{om}$

输出电压最大值

$U_{pp}$

输出电压峰-峰值

$U_{CC}$

集电极回路或集成运放正电源电压

$U_{EE}$

发射极回路电压或集成运放的负电源( $-U$ )电压

$U_{BB}$

基极回路对地的电压

$U_{DD}$

场效应管漏极回路对地的电压

$U_{SS}$

场效应管源极回路对地的电压

$U_{GG}$

场效应管栅极回路对地的电压

$U_{GS(off)}$

FET 夹断电压

$U_{GS(th)}$

FET 开启电压

## 2. 功率

|          |           |
|----------|-----------|
| $P$      | 功率的通用符号   |
| $p$      | 瞬时功率      |
| $P_o$    | 交流输出功率    |
| $P_{om}$ | 交流输出功率最大值 |
| $P_C$    | 集电极损耗功率   |
| $P_E$    | 电源提供的直流功率 |

## 3. 频率

|            |                 |
|------------|-----------------|
| $f$        | 频率的通用符号         |
| $\omega$   | 角频率             |
| $BW_{0.7}$ | 3dB 处通频带        |
| $f_0$      | 谐振频率, 中心频率      |
| $f_H$      | 放大电路的上限(-3dB)频率 |
| $f_L$      | 放大电路的下限(-3dB)频率 |

## 4. 电阻、电容、电感、阻抗

|                  |                  |
|------------------|------------------|
| $R$              | (直流或静态)电阻        |
| $r$              | 小写字母表示微变(交流动态)电阻 |
| $G$              | 电导的通用符号          |
| $g$              | 微变电导             |
| $R_i, R_o$       | 电路的输入、输出电阻       |
| $R_{if}, R_{of}$ | 有反馈时, 电路的输入、输出电阻 |
| $R_L$            | 负载电阻             |
| $R_s$            | 信号源内阻            |
| $R_f$            | 反馈电阻             |
| $r_{be}$         | BJT 输入电阻         |
| $r_{ce}$         | BJT 输出电阻         |
| $r_d$            | 二极管输入电阻          |
| $r_{ds}$         | FET 的输出电阻        |
| $C$              | 电容的通用符号          |
| $C_B$            | 隔直流(耦合)电容器       |
| $C_e$            | 交流旁路电容器          |
| $C_{b'c}$        | 基极-集电极电容器        |
| $C_{b'e}$        | 基极-发射极电容器        |
| $C_j$            | 结电容器             |
| $C_L$            | 负载电容             |
| $L$              | 电感的通用符号          |
| $Z$              | 复阻抗通用符号          |



|                                              |                    |
|----------------------------------------------|--------------------|
| 5. 增益或放大倍数、反馈系数                              |                    |
| $A$                                          | 增益或放大倍数的通用符号       |
| $\dot{A}_u, \dot{A}_i, \dot{A}_P$            | 分别为电压、电流和功率增益      |
| $\dot{A}_{ud}$                               | 差模电压增益             |
| $\dot{A}_{uc}$                               | 共模电压增益             |
| $\dot{A}_{uo}$                               | 理想运放开环差模电压增益       |
| $\dot{A}_r, \dot{A}_g$                       | 分别为互阻、互导增益         |
| $\dot{A}_{uf}$                               | 闭环电压增益             |
| $\dot{A}_{us}$                               | 考虑信号源内阻时的源电压增益     |
| $\dot{F}$                                    | 反馈系数的通用符号          |
| $\dot{F}_u, \dot{F}_i, \dot{F}_r, \dot{F}_g$ | 分别为电压、电流、互阻、互导反馈系数 |

### 三、器件参数符号

|                                      |                      |
|--------------------------------------|----------------------|
| $g_m$                                | 跨导                   |
| $\alpha$                             | 共基极电流放大系数            |
| $\beta$                              | 共射极电流放大系数            |
| $h_{ie}, h_{fe}, h_{re}, h_{oe}$     | BJT 共发射极接法 H 参数      |
| $\Omega, \omega$                     | 角频率                  |
| $f_T$                                | BJT 的特征频率            |
| $f_\beta$                            | BJT 共射截止频率           |
| $f_a$                                | BJT 共基截止频率           |
| $I_D$                                | 二极管电流                |
| $I_S$                                | 二极管反向饱和电流            |
| $I_Z$                                | 稳压管稳定电流              |
| $I_{CBO}$                            | 集电极反向饱和电流(射极开路)      |
| $I_{CEO}$                            | 集电极-发射极间穿透电流(基极开路)   |
| $I_{IB}$                             | 集成运放输入偏置电流           |
| $I_{I0}$                             | 集成运放输入失调电流           |
| $U_Z$                                | 稳压管稳定电压              |
| $U_{GS(off)}, U_{GS(th)}$            | 场效应管的夹断电压和开启电压       |
| $U_{(BR)DS}, U_{(BR)GD}, U_{(BR)GS}$ | 分别为漏源、栅漏和栅源之间的击穿电压   |
| $U_{(BR)CEO}$                        | 基极开路, 集电极-发射极间反向击穿电压 |
| $U_{(BR)CBO}$                        | 发射极开路, 集电极-基极间反向击穿电压 |
| $U_{(BR)EBO}$                        | 集电极开路, 发射极-基极间反向击穿电压 |
| $U_{CES}$                            | 集电极-发射极之间的饱和电压       |

|            |             |
|------------|-------------|
| $U_{I0}$   | 集成运放输入失调电压  |
| $P_{CM}$   | 集电极最大允许耗散功率 |
| $K_{CMRR}$ | 共模抑制比       |
| $S_R$      | 集成运放转换速率    |

#### 四、其他符号

|                |           |
|----------------|-----------|
| $X$            | 电抗通用符号    |
| $\dot{X}$      | 反馈电路中的信号量 |
| $\dot{X}_s$    | 源信号       |
| $\dot{X}_i$    | 输入信号      |
| $\dot{X}_o$    | 输出信号      |
| $\dot{X}_f$    | 反馈信号      |
| $\dot{X}_{id}$ | 净输入(差值)信号 |
| $\varphi$      | 相角        |
| $\varphi_A$    | 基本放大器相角   |
| $\varphi_F$    | 反馈网络相角    |

# 目 录

## 前言

## 本书符号说明

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第 1 章 绪论              | 1  |
| 1.1 引言                | 1  |
| 1.2 电子技术的应用           | 2  |
| 1.2.1 信号处理            | 2  |
| 1.2.2 信号检测与控制         | 2  |
| 1.3 电子系统              | 2  |
| 1.3.1 电子系统概述          | 2  |
| 1.3.2 电子系统中的信号        | 3  |
| 1.4 本课程的特点            | 5  |
| 第 2 章 半导体器件基础         | 7  |
| 2.1 半导体基础与 PN 结       | 7  |
| 2.1.1 半导体及其特性         | 7  |
| 2.1.2 本征半导体           | 7  |
| 2.1.3 杂质半导体           | 9  |
| 2.1.4 PN 结            | 10 |
| 2.2 半导体二极管            | 12 |
| 2.2.1 二极管的结构、类型及符号    | 12 |
| 2.2.2 二极管的伏安特性及主要性能参数 | 12 |
| 2.2.3 二极管的等效模型        | 16 |
| 2.3 特殊二极管             | 19 |
| 2.3.1 稳压二极管           | 19 |
| 2.3.2* 发光二极管          | 22 |
| 2.3.3* 光电二极管          | 26 |
| 2.3.4* 变容二极管          | 27 |
| 2.3.5* 快速二极管          | 28 |
| 2.4 半导体二极管的应用示例       | 29 |
| 2.5 双极型晶体管            | 31 |
| 2.5.1 双极型晶体管的分类及结构    | 31 |
| 2.5.2 双极型晶体管的工作原理     | 32 |
| 2.5.3 晶体管的特性曲线        | 34 |
| 2.5.4 晶体管的主要参数        | 37 |
| 2.6 场效应晶体管            | 38 |
| 2.6.1 N 沟道结型场效应管      | 39 |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| 2.6.2 绝缘栅场效应晶体管 .....              | 43         |
| 2.6.3 双栅场效应管 .....                 | 48         |
| 2.7 FET 的主要参数及特点 .....             | 49         |
| 2.7.1 FET 的主要参数 .....              | 49         |
| 2.7.2 FET 的特点 .....                | 51         |
| 2.7.3 场效应管的简单测试方法 .....            | 51         |
| 2.7.4 MOS 场效应管使用注意事项 .....         | 53         |
| 自测题与习题 .....                       | 53         |
| <b>第3章 晶体管放大电路基础</b> .....         | <b>59</b>  |
| 3.1 放大电路的基本概念 .....                | 59         |
| 3.1.1 放大器的基本概念 .....               | 59         |
| 3.1.2 放大器的主要性能指标 .....             | 60         |
| 3.2 放大电路及其基本分析方法 .....             | 62         |
| 3.2.1 晶体管放大电路的3种组态 .....           | 62         |
| 3.2.2 共发射极放大电路的组成 .....            | 63         |
| 3.2.3 共发射极放大电路的分析 .....            | 65         |
| 3.3 放大电路静态工作点的稳定 .....             | 78         |
| 3.3.1 温度对放大电路静态工作点的影响 .....        | 78         |
| 3.3.2 分压偏置式共发射极放大电路 .....          | 79         |
| 3.4 共集电极和共基极放大电路 .....             | 84         |
| 3.4.1 共集电极放大电路 .....               | 84         |
| 3.4.2 共基极放大电路 .....                | 90         |
| 3.5 多级放大电路 .....                   | 92         |
| 3.5.1 多级放大电路的级间耦合 .....            | 92         |
| 3.5.2 多级放大电路的分析和计算 .....           | 96         |
| 3.6 放大电路的频率响应 .....                | 98         |
| 3.6.1 频率响应基本概念 .....               | 98         |
| 3.6.2 BJT 的高频小信号混合 $\pi$ 型模型 ..... | 100        |
| 3.6.3 单级阻容耦合放大电路的频率特性 .....        | 104        |
| 3.6.4 多级放大器的频率响应 .....             | 107        |
| 3.6.5 晶体管应用示例 .....                | 108        |
| 3.7 场效应管放大电路 .....                 | 109        |
| 3.7.1 静态分析 .....                   | 109        |
| 3.7.2 动态分析——小信号模型分析 .....          | 113        |
| 3.7.3 场效应管应用示例 .....               | 118        |
| 自测题与习题 .....                       | 119        |
| <b>第4章 功率放大电路</b> .....            | <b>128</b> |
| 4.1 功率放大电路的特殊问题 .....              | 128        |
| 4.1.1 功率放大电路的特点和要求 .....           | 129        |
| 4.1.2 提高功率放大电路效率的主要途径 .....        | 130        |

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| 4.2 乙类互补对称功率放大电路 .....              | 131        |
| 4.2.1 无输出电容的双电源互补对称功率放大电路 .....     | 131        |
| 4.2.2 功率参数分析 .....                  | 132        |
| 4.2.3 无输出变压器的单电源互补对称功率放大电路 .....    | 134        |
| 4.3 甲乙类互补对称功率放大电路 .....             | 134        |
| 4.3.1 乙类功放的交越失真 .....               | 134        |
| 4.3.2 消除交越失真的措施 .....               | 135        |
| 4.3.3 具有推动级的单电源甲乙类互补对称功率放大电路 .....  | 136        |
| 4.3.4 采用复合管的单电源甲乙类准互补对称功率放大电路 ..... | 136        |
| 4.4 集成功率放大器及其应用 .....               | 138        |
| 4.4.1 TDA2006 集成功率放大器简介 .....       | 138        |
| 4.4.2 TDA2006 集成功放的典型应用 .....       | 139        |
| 自测题与习题 .....                        | 141        |
| <b>第5章 集成运算放大器</b> .....            | <b>145</b> |
| 5.1 集成电路的特点 .....                   | 145        |
| 5.2 电流源电路 .....                     | 146        |
| 5.2.1 镜像电流源 .....                   | 146        |
| 5.2.2 比例电流源 .....                   | 147        |
| 5.2.3 微电流源 .....                    | 147        |
| 5.2.4 改进型电流源 .....                  | 148        |
| 5.3 差分放大电路 .....                    | 148        |
| 5.3.1 直接耦合多级放大电路的零点漂移问题 .....       | 148        |
| 5.3.2 差分放大电路的组成原理 .....             | 149        |
| 5.3.3 差分放大电路的静态分析 .....             | 150        |
| 5.3.4 差分放大电路动态分析 .....              | 151        |
| 5.3.5 带恒流源的差分放大电路 .....             | 157        |
| 5.3.6 差分放大电路的应用举例——感应式测厚仪 .....     | 159        |
| 5.4 集成运放的组成原理和主要技术参数 .....          | 160        |
| 5.4.1 集成运算放大器的组成 .....              | 160        |
| 5.4.2 集成运放的主要技术参数 .....             | 162        |
| 5.4.3 理想运放的特点及其分析方法 .....           | 164        |
| 5.5 模拟信号的运算电路 .....                 | 166        |
| 5.5.1 比例运算电路 .....                  | 166        |
| 5.5.2 加法运算电路 .....                  | 169        |
| 5.5.3 减法运算电路 .....                  | 170        |
| 5.5.4 积分运算电路 .....                  | 172        |
| 5.5.5 微分运算电路 .....                  | 172        |
| 5.5.6 模拟乘法器 .....                   | 174        |
| 5.5.7 集成运算放大器构成交流放大器 .....          | 176        |
| 5.6 有源滤波器 .....                     | 178        |



|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 5.6.1 滤波器的作用和分类          | 178 |
| 5.6.2 有源低通滤波器            | 178 |
| 5.6.3 有源高通滤波器            | 180 |
| 5.6.4 有源带通滤波器            | 182 |
| 5.6.5 有源带阻滤波器            | 183 |
| 5.7 电压比较器                | 185 |
| 5.7.1 单限比较器              | 185 |
| 5.7.2 滞回比较器              | 186 |
| 5.7.3 双限比较器(窗口比较器)       | 189 |
| 5.8 集成运放的使用              | 190 |
| 5.8.1 集成运放的选用            | 190 |
| 5.8.2 集成运放的消振和调零         | 191 |
| 5.8.3 集成运放的保护            | 192 |
| 5.9 集成运放的应用示例            | 193 |
| 5.9.1 仪表放大器 INA128 构成及应用 | 193 |
| 5.9.2 温度检测电路             | 195 |
| 自测题与习题                   | 195 |
| 第6章 负反馈放大器               | 207 |
| 6.1 反馈的基本概念及分类           | 207 |
| 6.1.1 反馈的基本概念            | 207 |
| 6.1.2 负反馈放大器增益的基本表达式     | 208 |
| 6.1.3 反馈基本类型及判断          | 209 |
| 6.2 负反馈放大电路的框图           | 220 |
| 6.3 负反馈对放大器性能的影响         | 221 |
| 6.3.1 提高增益的稳定性           | 221 |
| 6.3.2 对放大器输入输出电阻的影响      | 222 |
| 6.3.3 减小非线性失真            | 222 |
| 6.3.4 扩展闭环增益的通频带         | 223 |
| 6.4 负反馈放大器的分析与计算         | 224 |
| 6.4.1 深度负反馈的计算           | 224 |
| 6.4.2 负反馈放大电路的一般分析方法     | 229 |
| 6.4.3 引入负反馈的一般原则         | 234 |
| 6.5 负反馈的稳定性问题            | 234 |
| 6.5.1 负反馈放大电路的自激及稳定工作的条件 | 235 |
| 6.5.2 消除自激的原理            | 237 |
| 自测题与习题                   | 239 |
| 第7章 波形产生电路               | 248 |
| 7.1 正弦波振荡器的振荡条件          | 248 |
| 7.1.1 振荡器的平衡振荡条件         | 248 |
| 7.1.2 振荡器的起振条件和稳幅        | 249 |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 7.1.3 振荡器的组成及其分析 .....      | 250        |
| 7.2 RC 正弦波振荡器 .....         | 251        |
| 7.2.1 文氏桥正弦波振荡器 .....       | 251        |
| 7.2.2 移相式 RC 振荡器 .....      | 255        |
| 7.2.3 双 T 选频网络 RC 振荡器 ..... | 255        |
| 7.3 LC 正弦波振荡器 .....         | 256        |
| 7.3.1 LC 并联网络的频率特性 .....    | 256        |
| 7.3.2 变压器反馈式振荡器 .....       | 258        |
| 7.3.3 电感三点式振荡器 .....        | 260        |
| 7.3.4 电容三点式振荡器 .....        | 261        |
| 7.4 石英晶体振荡器 .....           | 262        |
| 7.4.1 石英晶体的基本特性 .....       | 263        |
| 7.4.2 石英晶体的等效电路 .....       | 263        |
| 7.4.3 石英晶体振荡器 .....         | 264        |
| 7.5 非正弦波发生器 .....           | 266        |
| 7.5.1 矩形波发生器 .....          | 267        |
| 7.5.2 三角波发生器 .....          | 269        |
| 7.5.3 锯齿波发生器 .....          | 271        |
| 7.6 集成函数发生器 8038 及应用 .....  | 273        |
| 7.6.1 ICL8038 的工作原理 .....   | 273        |
| 7.6.2 ICL8038 的典型应用 .....   | 274        |
| 自测题与习题 .....                | 275        |
| <b>第 8 章 直流稳压电源</b> .....   | <b>281</b> |
| 8.1 概述 .....                | 281        |
| 8.1.1 化学电源 .....            | 282        |
| 8.1.2 线性直流稳压电源 .....        | 282        |
| 8.1.3 开关式直流稳压电源 .....       | 282        |
| 8.2 直流稳压电源的基本组成及工作原理 .....  | 283        |
| 8.2.1 直流稳压电源的组成 .....       | 283        |
| 8.2.2 单相整流电路 .....          | 284        |
| 8.3 滤波电路 .....              | 287        |
| 8.3.1 电容滤波电路 .....          | 287        |
| 8.3.2 电感滤波电路 .....          | 290        |
| 8.3.3 复式滤波器 .....           | 290        |
| 8.4 稳压电路 .....              | 292        |
| 8.4.1 并联型稳压电路 .....         | 292        |
| 8.4.2 串联反馈式稳压电路 .....       | 293        |
| 8.5 集成稳压器 .....             | 296        |
| 8.5.1 三端固定式集成稳压器 .....      | 297        |
| 8.5.2 三端可调式集成稳压器 .....      | 299        |

|                                               |            |
|-----------------------------------------------|------------|
| 8.5.3 基准电压源 .....                             | 303        |
| 8.6 开关式稳压电源 .....                             | 305        |
| 8.6.1 开关式稳压电源的特点及分类 .....                     | 306        |
| 8.6.2 开关式稳压电源的基本工作原理 .....                    | 306        |
| 8.6.3 采用集成脉宽调制器电路的开关电源 .....                  | 310        |
| 自测题与习题 .....                                  | 314        |
| <b>第9章 电子电路 EDA 技术简介 .....</b>                | <b>320</b> |
| 9.1 Protel 99 SE 简介 .....                     | 320        |
| 9.2 Protel 99 SE 设计原理图的主要步骤 .....             | 320        |
| 9.2.1 建立 Protel 设计项目 .....                    | 320        |
| 9.2.2 Protel 原理图编辑器及基本设置 .....                | 321        |
| 9.2.3 Protel 原理图的编辑 .....                     | 324        |
| 9.3 使用 Protel 99 SE 设计 PCB 的主要步骤 .....        | 328        |
| 9.3.1 PCB 设计的基础知识 .....                       | 328        |
| 9.3.2 Protel 99 SE PCB 设计环境介绍及设置 .....        | 329        |
| 9.3.3 Protel 单面电路板的编辑 .....                   | 333        |
| 9.4 Proteus 简介 .....                          | 335        |
| 9.5 Proteus 的设计主窗口 .....                      | 336        |
| 9.5.1 Proteus 的三大窗口 .....                     | 336        |
| 9.5.2 Proteus 的主菜单 .....                      | 336        |
| 9.5.3 Proteus 的主工具栏 .....                     | 337        |
| 9.5.4 Proteus 的专用工具栏 .....                    | 337        |
| 9.6 Proteus 中原理图的编辑 .....                     | 338        |
| 9.6.1 新建 Proteus 设计项目文件 .....                 | 338        |
| 9.6.2 添加 Proteus 器件 .....                     | 339        |
| 9.6.3 Proteus 原理图中的器件及电源端口 .....              | 340        |
| 9.6.4 Proteus 原理图中的连接导线 .....                 | 341        |
| 9.6.5 Proteus 原理图编辑的其他基本操作 .....              | 342        |
| 9.7 Proteus 的仿真分析 .....                       | 344        |
| 9.7.1 Proteus 的交互式仿真 .....                    | 344        |
| 9.7.2 Proteus 的图表分析仿真 .....                   | 348        |
| 9.8 应用举例——音调控制器电路的幅频特性分析 .....                | 352        |
| 9.8.1 Proteus 的频率特性图表仿真分析 .....               | 352        |
| 9.8.2 频率特性计算分析 .....                          | 355        |
| <b>附录 A 电阻器(电位器、电容器)标称值系列 .....</b>           | <b>357</b> |
| <b>附录 B 常用电子元件主要参数表 .....</b>                 | <b>359</b> |
| <b>附录 C Protel 99 SE 常用电子元件电器符号和封装图 .....</b> | <b>364</b> |
| <b>参考文献 .....</b>                             | <b>367</b> |

# 第 1 章 绪 论

本章结合本书的特点以及后续章节的内容,主要介绍电子系统中的信号、频谱以及放大器的基本知识等。

## 1.1 引 言

电子技术是 19 世纪末、20 世纪初开始发展起来的新兴技术,在 20 世纪得以迅速发展并广泛应用,成为近代科学技术发展的一个重要标志。电子技术的基本任务是信号的产生、传输和处理,目的是满足人们生产生活中的各种需要。

1642 年,世界上出现了第一台机械式加法计算机,1674 年出现了乘法计算机。1837 年,美国人莫尔斯(S. F. B. Morse)发明了电报,揭开了电子技术应用的序幕。经过 300 多年的努力,1946 年 2 月 14 日,世界上第一台电子计算机 ENICA 终于研制成功。它的体积约  $90\text{m}^3$ ,占地面积  $170\text{m}^2$ ,使用了 18 000 个电子管,1500 个继电器,功率 150kW,每秒运算 5000 次,比机械式计算机的运算速度快几百到一千倍,且计算过程是按照预先编写的程序自动运行的,在当时这是史无前例的创举,也是电子技术发展的一个里程碑。

电子技术的发展主要经历了 4 个阶段:第一阶段,20 世纪 20 年代开始出现的以电子管为核心的第一代电子产品;第二阶段,1947 年,贝尔实验室的布拉丁等人发明了世界上第一只点接触半导体三极管,因其小巧、轻便、省电、寿命长等特点,很快便广泛应用,在很大范围内取代了电子管;第三阶段,1958 年,世界上利用单晶硅材料做成的第一块集成电路(Integrated Circuit, IC)在美国诞生,1961 年福查德公司生产了第一片商用集成电路,它把许多晶体管等电子器件集成在一块硅芯片上,使电子产品向更小型化发展;第四阶段,20 世纪 70 年代开始,集成电路从小规模集成电路(Small Scale Integrated, SSI)迅速发展到大规模集成电路(Larger Scale Integrated, LSI)和超大规模集成电路(Very Larger Scale Integrated, VLSI),从而使电子产品向着高效能、低功耗、高精度、高稳定、智能化的方向发展。例如,由中国科学院计算技术研究所研制的“龙芯 2 号”增强型处理器芯片(即龙芯 2E),是一种通用 64 位处理器。它在面积约  $6.8\text{mm}\times 5.2\text{mm}$  的芯片上集成了 4700 万个晶体管,其功耗在 3~8W。该处理器最高主频达到 1.0GHz,峰值运算速度达到每秒 40 亿次双精度浮点运算。

由于集成电路的制作工艺越来越先进,体积越来越小,使其成本不断降低,电气性能、可靠性以及信号处理能力等不断提高。因此,集成电路已广泛应用于工业、农业、国防等各个领域。智能芯片的出现更引发了控制系统、通信系统、测控系统、计算机系统、生物医学以及生命科学等领域的革命性发展。

## 1.2 电子技术的应用

### 1.2.1 信号处理

如前所述,电子技术的基本任务是信号的产生、传输和处理。例如,为了使一个人的声音信号传播得更远,人们往往需要使用扬声器,将声音信号进行放大,满足驱动扬声器的需要,以便让更多的人听到。图 1-1 所示为扬声器系统框图,该系统通过传声器将声音转换成电信号,由放大器对代表声音的电信号进行放大并激励扬声器,发出声音。

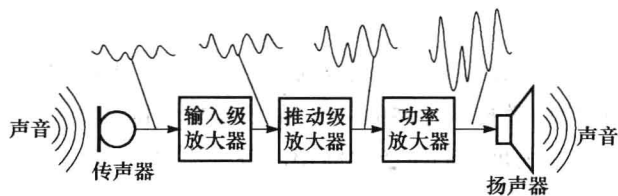


图 1-1 扬声器系统框图

### 1.2.2 信号检测与控制

信号检测与控制电路普遍应用于工业、农业、国防、医学、科学研究以及日常生活等领域。例如,家用电冰箱中,由温度传感器检测冷藏箱内的温度,经放大器放大后由信号处理电路对温度信号进行处理,一方面显示检测到的温度值;另一方面通过控制电路可以控制冷藏箱内的温度,使其保持在用户设定的温度值。图 1-2 所示是一个典型的温度检测与控制系统。

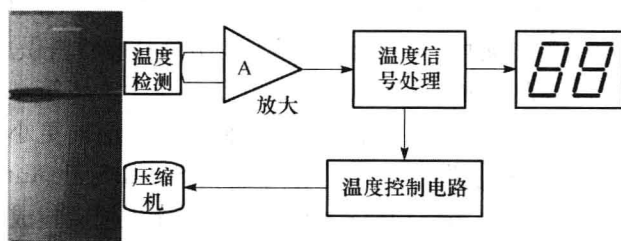


图 1-2 家用电冰箱温度检测与控制系统

## 1.3 电子系统

### 1.3.1 电子系统概述

电子系统通常是指由若干相互连接、相互作用的基本电路组成的具有特定功能的电路整体。电子系统在绝大多数情况下必须和物理系统相结合才能构成完整的实用系统,如图 1-3 所示。物理系统中的非电量信号(如温度、湿度、压力、流量、速度、位移、亮度、烟