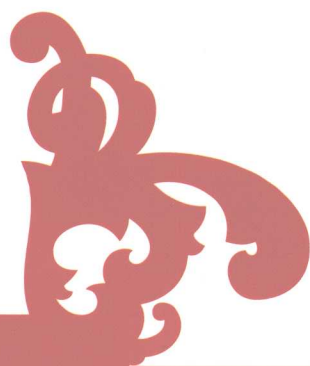




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材  
电子信息学科基础课程系列教材



# 电子线路基础

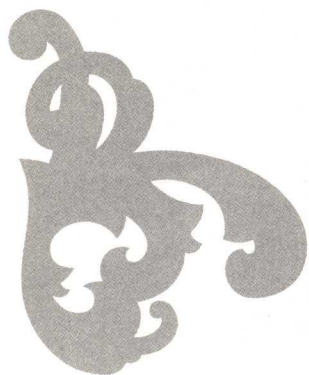
王成华 王友仁 胡志忠 邵杰 编著

清华大学出版社





普通高等教育“十一五”国家级规划教材



教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材  
电子信息学科基础课程系列教材

# 电子线路基础



王成华 王友仁 胡志忠 邵杰 编著

清华大学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书适应现代电子技术的飞速发展,对传统教学内容进行了较大幅度的更新,引入了电流模电路、模拟可编程器件、电子设计自动化等内容,并引入了逻辑门电路和模数、数模转换电路。全书共分为12章,内容包括:电子线路元器件、放大器基础、放大器的频率响应、集成运算放大器与模拟乘法器、反馈放大器、模拟信号运算与处理电路、功率电路、逻辑门电路、波形产生与变换电路、模数和数模转换电路、电流模电路、可编程模拟器件原理与应用。

本书可作为高等院校电子信息、电气工程、自动控制和计算机等各专业的教材,也可作为相关工程技术人员的参考书。

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

电子线路基础/王成华等编著. —北京:清华大学出版社,2008.11

(电子信息学科基础课程系列教材)

ISBN 978-7-302-18318-1

I. 电… II. 王… III. 电子电路—高等学校—教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 117941 号

责任编辑:王一玲 陈志辉

责任校对:时翠兰

责任印制:孟凡玉

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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 刷 者:北京密云胶印厂

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:35.25 字 数:805 千字

版 次:2008 年 11 月第 1 版 印 次:2008 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:49.00 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:023852-01

# 《电子信息学科基础课程系列教材》

## 编 审 委 员 会

### 主任委员

王志功(东南大学)

### 委员 (按姓氏笔画)

马旭东(东南大学)

王小海(浙江大学)

王 萍(天津大学)

刘宗行(重庆大学)

刘新元(北京大学)

张晓林(北京航空航天大学)

陈后金(北京交通大学)

郭宝龙(西安电子科技大学)

高上凯(清华大学)

徐淑华(青岛大学)

崔 翔(华北电力大学)

董在望(清华大学)

蒋宗礼(北京工业大学)

邓建国(西安交通大学)

王诗宓(清华大学)

王福昌(华中科技大学)

刘润华(中国石油大学)

张 石(东北大学)

沈连丰(东南大学)

郑宝玉(南京邮电大学)

柯亨玉(武汉大学)

高小榕(清华大学)

袁建生(清华大学)

傅丰林(西安电子科技大学)

曾孝平(重庆大学)

## 《电子信息学科基础课程系列教材》

### 丛书序

电子信息学科是当今世界上发展最快的学科,作为众多应用技术的理论基础,对人类文明的发展起着重要的作用。它包含诸如电子科学与技术、电子信息工程、通信工程和微波工程等一系列子学科,同时涉及计算机、自动化和生物电子等众多相关学科。对于这样一个庞大的体系,想要在学校将所有知识教给学生已不可能。以专业教育为主要目的的大学教育,必须对自己的学科知识体系进行必要的梳理。本系列丛书就是试图搭建一个电子信息学科的基础知识体系平台。

目前,中国电子信息类学科高等教育的教学中存在着如下问题:

- (1) 在课程设置和教学实践中,学科分立,课程分立,缺乏集成和贯通;
- (2) 部分知识缺乏前沿性,局部知识过细、过难,缺乏整体性和纲领性;
- (3) 教学与实践环节脱节,知识型教学多于研究型教学,所培养的电子信息学科人才不能很好地满足社会的需求。

在新世纪之初,积极总结我国电子信息类学科高等教育的经验,分析发展趋势,研究教学与实践模式,从而制定出一个完整的电子信息学科基础教程体系,是非常有意义的。

根据教育部高教司 2003 年 8 月 28 日发出的[2003]141 号文件,教育部高等学校电子信息与电气信息类基础课程教学指导分委员会(基础课分教指委)在 2004—2005 两年期间制定了“电路分析”、“信号与系统”、“电磁场”、“电子技术”和“电工学”5 个方向电子信息科学与电气信息类基础课程的教学基本要求。然而,这些教学要求基本上是按方向独立开展工作的,没有深入开展整个课程体系的研究,并且提出的是各课程最基本的教学要求,针对的是“2+X+Y”或者“211 工程”和“985 工程”之外的大学。

同一时期,清华大学出版社成立了“电子信息学科基础教程研究组”,历时 3 年,组织了各类教学研讨会,以各种方式和渠道对国内外一些大学的 EE(电子电气)专业的课程体系进行收集和研究,并在国内率先推出了关于电子信息学科基础课程的体系研究报告《电子信息学科基础教程 2004》。该成果得到教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会的高度评价,认为该成果“适应我国电子信息学科基础教学的需要,有较好的指导意义,达到了国内领先水平”,“对不同类型院校构建相关学科基础教学平台均有较好的参考价值”。

在此基础上,由我担任主编,筹建了“电子信息学科基础课程系列教材”编委会。编委会多次组织部分高校的教学名师、主讲教师和教育部高等学校教学指导委员会委员,进一步探讨和完善《电子信息学科基础教程 2004》研究成果,并组织编写了这套“电子信息学科基础课程系列教材”。

在教材的编写过程中,我们强调了“基础性、系统性、集成性、可行性”的编写原则,突出了以下特点:

(1) 体现科学技术领域已经确立的新知识和新成果。

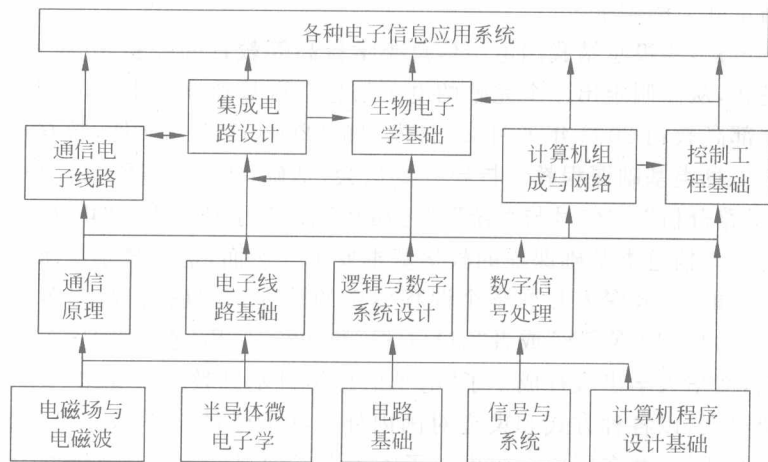
(2) 学习国外先进教学经验,汇集国内最先进的教学成果。

(3) 定位于国内重点院校,着重于理工结合。

(4) 建立在对教学计划和课程体系的研究基础之上,尽可能覆盖电子信息学科的全部基础。本丛书规划的 14 门课程,覆盖了电气信息类如下全部 7 个本科专业:

- 电子信息工程
- 通信工程
- 信息工程
- 计算机科学与技术
- 自动化
- 电气工程与自动化
- 生物医学工程

(5) 课程体系整体设计,各课程知识点合理划分,前后衔接,避免各课程内容之间交叉重复,目标是使各门课程的知识点形成有机的整体,使学生能够在规定的课时数内,掌握必需的知识和技术。各课程之间的知识点关联如下图所示:



即力争将本科生的课程限定在有限的与精选的一套核心概念上,强调知识的广度。

(6) 以主教材为核心,配套出版习题解答、实验指导书、多媒体课件,提供全面的教学解决方案,实现多角度、多层面的人才培养模式。

(7) 由国内重点大学的精品课主讲教师、教学名师和教指委委员担任相关课程的设计和教材的编写,力争反映国内最先进的教改成果。

我国高等学校电子信息类专业的办学背景各不相同,教学和科研水平相差较大。本系列教材广泛听取了各方面的意见,汲取了国内优秀的教学成果,希望能为电子信息学科教学提供一份精心配备的搭配科学、营养全面的“套餐”,能为国内高等学校教学内容

和课程体系的改革发挥积极的作用。

然而,对于高等院校如何培养出既具有扎实的基本功,又富有挑战精神和创造意识的社会栋梁,以满足科学技术发展和国家建设发展的需要,还有许多值得思考和探索的问题。比如,如何为学生营造一个宽松的学习氛围?如何引导学生主动学习,超越自己?如何为学生打下宽厚的知识基础和培养某一领域的研究能力?如何增加工程方法训练,将扎实的基础和宽广的领域才能转化为工程实践中的创造力?如何激发学生深入探索的勇气?这些都需要我们教育工作者进行更深入的研究。

提高教学质量,深化教学改革,始终是高等学校的工作重点,需要所有关心我国高等教育事业人士的热心支持。在此,谨向所有参与本系列教材建设工作的同仁致以衷心的感谢!

本套教材可能会存在一些不当甚至谬误之处,欢迎广大的使用者提出批评和意见,以促进教材的进一步完善。



2008年1月



电子技术是 20 世纪发展最为迅速的领域之一。1947 年,在美国贝尔实验室工作的物理学家 Willam Shockley、Walter Brattain 和 John Bardeen 成功地创造出第一个晶体管。1958 年,美国德州仪器公司(TI)的 Jack Kilby 成功地将五个元件的移相振荡器制作在同一片半导体上,这标志着集成电路时代的到来。1962 年,Steven Hofstein 和 Fredric Heiman 在新泽西州普林斯顿的 RCA 实验室发明了金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)。1965 年 Intel 公司创始人 Gorden Moore 提出了著名的摩尔定律:集成电路的集成度,即芯片上晶体管的数目,每隔 18 个月增加一倍或每三年翻两番。40 多年来,集成电路的规模几乎都是按照摩尔定律发展。1971 年 Intel 公司开发了世界上第一个微处理器 4004,含有大约 2300 个晶体管,每秒可以执行 60000 次操作。目前,世界集成电路技术已经进入纳米时代,全球多条 90 纳米线宽/12 英寸晶片直径的生产线用于规模化生产,基于 70~65 纳米线宽的生产技术已基本成形,Intel 公司的 CPU 芯片已经采用 45 纳米的生产工艺,世界最高水平的单片集成电路芯片上所容纳的元器件数量已经达到 80 多亿个。

在电子系统中,模拟电路执行着与现实世界中的声、光、电、力等物理信号相对应的模拟电信号的产生、变换、放大、运算和处理功能,并常常将它们转换为可供数字电路处理的数字信号,再将经过处理的数字信号转换为能够被现实世界中的用户接受和理解的模拟信号。按照美国半导体行业协会(SIA)旗下的世界半导体贸易统计数字专刊(WSTS)的分类,模拟芯片主要分为两大类,一类是标准线性模拟芯片,其中主要包括放大器、接口电路、数据转换器、电源管理芯片以及射频芯片等;另一类是专用模拟芯片,亦即面向消费、计算机及外设、通信、汽车以及医疗等专门应用领域的芯片。

根据市场研究公司 Gartner Dataquest 对 2005 年全球标准模拟 IC 市场的统计,在标准模拟 IC 排行榜中,TI 市场占有率高居榜首,份额是 15%。从技术发展的趋势看,模拟器件的发展方向可归纳为“三升三降”,即速度、精度和效率的上升,功耗、尺寸和外围元件数的下降。

电子线路课程是电子信息、电气工程、自动控制和计算机等各专业的一门十分重要的专业基础课,主要研究与讨论:电子元器件的工作原理,集成电路的基本工艺与集成运算放大器基本原理,模拟信号的产生、放大与变换,放大器的频率响应,反馈对放大器性能的影响,直流电源的基本原理,模拟可编程器件与电流模电路等。通过该课程的学习,使学生掌握电子线路的分析与设计方法,培养学生研究与开发电子系统的能力。

本教材的编写,与我校“国家工科基础课程电工电子教学基地”、“国家电工电子实验教学示范中心”的建设相结合,力求站在教学内容和课程体系改革与整体优化的高度上



来组织内容,并力求教材的科学性、可读性和前瞻性。

我们编写该教材的原则是:抓住“三基”,精选内容,强调集成,注重特色。在教材内容上,具有如下特点:

(1) 正确处理分立器件与集成电路的关系。在讲述半导体器件时,强调器件的工作原理、特性曲线、性能参数、数学模型,简述器件工艺。在讲述集成电路时,讲清电路组成,强调集成电路的应用。

(2) 在分析由三极管、场效应管构成的放大电路时,强调基本概念、基本工作原理和基本分析方法,为集成电路的学习打下坚实的理论基础。

(3) 在分析负反馈放大器时,强调反馈的基本概念与深度负反馈放大器性能指标的估算,非深度负反馈放大器的计算则利用电路仿真软件完成。

(4) 正确处理与数字电路内容的衔接。模数、数模转换电路是模拟电路与数字电路的接口,而分析逻辑门内部电路原理时,需要运用模拟的分析方法,故将门内部电路、555芯片、波形变换电路等的电路级内容和模数、数模转换器归入模拟电路部分讨论,数字电路部分从布尔代数、逻辑关系开始讨论。

(5) 引入了电流模电路、在系统可编程模拟器件(ispPAC)、电路分析与设计自动化等模拟电路新技术。

(6) 以 TI 公司的模拟器件作为典型电路进行讨论与分析,同时介绍了 TI 公司的一些最新模拟技术与器件。

本书主要讨论模拟电路的基本概念、基本原理、基本电路和基本分析方法,全书共分 12 章。

第 1 章讨论二极管、三极管、场效应管等半导体元器件的工作原理、特性曲线、特性参数和等效电路。第 2 章讨论由三极管和场效应管构成的单级及多级放大器的工作原理和分析方法。第 3 章分析放大器的频率响应。第 4 章讨论集成运算放大器与模拟乘法器的内部单元电路。第 5 章讨论负反馈放大器的判断、负反馈对放大器性能的影响以及深度负反馈放大器的计算。第 6 章讨论用集成运算放大器和乘法器构成的模拟信号运算与处理电路。第 7 章包括功率放大电路、整流滤波与稳压电路、开关型直流稳压电源。第 8 章介绍逻辑门电路,包括 TTL 和 CMOS 门电路。第 9 章讨论正弦波振荡电路、非正弦波振荡电路、集成多功能信号发生器以及波形变换电路。第 10 章包括数模和模数转换电路。第 11 章介绍电流模电路。第 12 章介绍可编程模拟器件的原理及应用。

本书由王成华主编。第 1、2、11 章由王成华执笔,第 5、6、12 章由王友仁执笔,第 3、7、9 章由胡志忠执笔,第 4、8、10 章由邵杰执笔。

本书承蒙山东大学刘志军教授审阅,并提出了宝贵的修改意见,在此深表谢意。编写过程中得到了德州仪器半导体技术(上海)有限公司沈洁经理、潘亚涛工程师等的大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

2008 年 8 月于南京航空航天大学

# 常用符号说明

## 1. 基本的量和单位表

| 量的名称 | 量的符号   | 单位名称  | 单位符号     | 量的名称    | 量的符号             | 单位名称  | 单位符号                  |
|------|--------|-------|----------|---------|------------------|-------|-----------------------|
| 电流   | $I, i$ | 安[培]  | A        | 电感      | $L$              | 亨[利]  | H                     |
| 电压   | $U, u$ | 伏[特]  | V        | 电容      | $C$              | 法[拉]  | F                     |
| 功率   | $P, p$ | 瓦[特]  | W        | 放大倍数    | $A$              | 分贝    | dB                    |
| 电阻   | $R, r$ | 欧[姆]  | $\Omega$ | 时间、摄氏温度 | $t$              | 秒、摄氏度 | s, $^{\circ}\text{C}$ |
| 电导   | $G, g$ | 西[门子] | S        | 热力学温度   | $T$              | 开[尔文] | K                     |
| 电抗   | $X, x$ | 欧[姆]  | $\Omega$ | 频率      | $F, f$           | 赫[兹]  | Hz                    |
| 电纳   | $B, b$ | 西[门子] | S        | 角频率     | $\omega, \Omega$ | 弧度每秒  | rad/s                 |
| 阻抗   | $Z, z$ | 欧[姆]  | $\Omega$ | 带宽      | $BW_{0.7}$       | 赫[兹]  | Hz                    |

## 2. 电压、电流的符号表示

|                  |                                                   |
|------------------|---------------------------------------------------|
| 小写 $u, i$ 和小写下标  | 交流电压(电流)瞬时值(例如, $u_{bc}$ 表示基极与发射极之间交流电压瞬时值)       |
| 小写 $u, i$ 和大写下标  | 含有直流电压(电流)的瞬时值(例如, $u_{BE}$ 表示基极与发射极之间含有直流电压的瞬时值) |
| 大写 $U, I$ 和小写下标  | 交流电压(电流)有效值(例如, $I_b$ 表示基极电流有效值)                  |
| 大写 $U, I$ 和大写下标  | 直流电压(电流)的值(例如, $U_{BE}$ 表示基极与发射极之间直流电压值)          |
| 大写 $V$ 和大写双字重复下标 | 直流供电电压(例如, $V_{CC}$ 表示集电极直流供电电压)                  |

## 3. 正弦信号作用下,复数、模、相角的符号

|                                              |         |
|----------------------------------------------|---------|
| $U(j\omega) = U(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$ | 正弦电压复数值 |
| $U(\omega), \varphi(\omega)$                 | 电压的模和相角 |
| $U(s)$                                       | 电压的拉氏变换 |

## 4. 角标含义

|       |                                             |
|-------|---------------------------------------------|
| i     | 输入量(例如, $u_i$ 为输入电压)或电流量(例如, $A_i$ 为电流放大倍数) |
| o(小写) | 输出量(例如, $u_o$ 为输出电压)                        |
| u     | 电压量(例如, $A_u$ 为电压放大倍数)                      |
| L     | 负载上的量(例如, $u_L$ 为负载上的电压)                    |
| f     | 反馈量(例如, $u_f$ 为反馈电压, $A_f$ 为加有反馈时的放大倍数)     |
| s(小写) | 信号源量(例如, $u_s$ 为信号源电压, $A_s$ 为从信号源计算的放大倍数)  |
| R     | 基准量(例如, $U_R$ 为基准电压)                        |

## 5. 功率

|       |                     |       |                      |
|-------|---------------------|-------|----------------------|
| $P_C$ | 集电极损耗功率(下角标为大写正体 C) | $P_V$ | 直流电源供给功率(下角标为大写正体 V) |
| $P_o$ | 输出功率(下角标为小写正体 o)    |       |                      |

## 6. 频率

|       |              |            |                           |
|-------|--------------|------------|---------------------------|
| $f_H$ | 3dB 上限(截止)频率 | $BW_{0.7}$ | 3dB 带宽                    |
| $f_L$ | 3dB 下限(截止)频率 | $f_o$      | 回路固有谐振频率或振荡频率(下角标为小写正体 o) |

## 7. 器件符号及参数

### (1) 二极管

|       |                   |                                     |                      |
|-------|-------------------|-------------------------------------|----------------------|
| D     | 普通二极管             | $I_S$                               | 反向饱和电流(下角标为大写正体 S)   |
| $D_Z$ | 稳压二极管(下角标为大写正体 Z) | $U_Z$                               | 稳压管的击穿电压(下角标为大写正体 Z) |
| $U_D$ | 导通电压              | $U_T \left( = \frac{kT}{q} \right)$ | 温度的电压当量              |

### (2) 三极管

|                |                        |               |                         |
|----------------|------------------------|---------------|-------------------------|
| T              | 三极管                    | $P_{CM}$      | 集电极最大允许功耗               |
| $I_{CBO}$      | 发射极开路时的集电极反向饱和电流       | $g_m$         | 跨导                      |
| $I_{CEO}$      | 基极开路时集电极与发射极间的电流(穿透电流) | $\alpha$ (斜体) | 共基电流放大系数                |
| $I_{CM}$       | 集电极最大允许电流              | $\beta$       | 共射电流放大系数                |
| $U_{CE(sat)}$  | 集电极与发射极的饱和压降           | $f_o$         | 共基电流放大系数的截止频率           |
| $U_{(BR)CBO}$  | 发射极开路时的集电结击穿电压         | $f_\beta$     | 共射电流放大系数的截止频率           |
| $U_{(BR)CEO}$  | 基极开路时集电极与发射极间的击穿电压     | $f_T$         | 特征频率( $\beta$ 降至 1 的频率) |
| $r_b(r_{bb'})$ | 基区体电阻                  |               |                         |

### (3) 场效应管

|               |         |           |                                              |
|---------------|---------|-----------|----------------------------------------------|
| $U_{GS(off)}$ | 夹断电压    | $I_{DSS}$ | $U_{GS}=0$ 时的恒流区漏极饱和电流                       |
| $U_{GS(th)}$  | 开启电压    | $f_c$     | 特征频率(输出负载电阻趋于无限大、电压放大倍数等于 1 时的频率,下角标为小写正体 c) |
| $U_{(BR)DS}$  | 漏源间击穿电压 |           |                                              |

## 8. 差动放大电路及运算放大器

|          |        |           |           |
|----------|--------|-----------|-----------|
| $U_{IO}$ | 输入失调电压 | $A_d$     | 差模增益      |
| $I_{IO}$ | 输入失调电流 | $A_c$     | 共模增益      |
| $u_{id}$ | 差模输入电压 | $K_{CMR}$ | 共模抑制比     |
| $u_{ic}$ | 共模输入电压 | $S_R$     | 转换速率(压摆率) |

## 9. 其他符号

|         |         |         |                    |
|---------|---------|---------|--------------------|
| $D$     | 非线性失真系数 | $A$     | 放大倍数               |
| $\eta$  | 效率      | $F$     | 反馈系数               |
| $\tau$  | 时间常数    | $AF$    | 环路增益               |
| $n$     | 变压器变比   | $1+AF$  | 反馈深度               |
| $Q$     | 静态工作点   | $K_M$   | 乘法器的相乘增益           |
| $D_n$   | 电子扩散系数  | $D_p$   | 空穴扩散系数(下角标为小写正体 p) |
| $\mu_n$ | 电子迁移率   | $\mu_p$ | 空穴迁移率(下角标为小写正体 p)  |

## 教师反馈表

感谢您购买本书！清华大学出版社计算机与信息分社专心致力于为广大院校电子信息类及相关专业师生提供优质的教学用书及辅助教学资源。

我们十分重视对广大教师的服务，如果您确认将本书作为指定教材，请您务必填好以下表格并经系主任签字盖章后寄回我们的联系地址，我们将免费向您提供有关本书的其他教学资源。

|             |                                                  |                                                 |  |
|-------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--|
| 您需要教辅的教材：   |                                                  |                                                 |  |
| 您的姓名：       |                                                  |                                                 |  |
| 院系：         |                                                  |                                                 |  |
| 院/校：        |                                                  |                                                 |  |
| 您所教的课程名称：   |                                                  |                                                 |  |
| 学生人数/所在年级：  | _____人/     1   2   3   4   硕士   博士 <sup>1</sup> |                                                 |  |
| 学时/学期       | _____学时/_____学期                                  |                                                 |  |
| 您目前采用的教材：   | 作者： _____<br>书名： _____<br>出版社： _____             |                                                 |  |
| 您准备何时用此书授课： |                                                  |                                                 |  |
| 通信地址：       |                                                  |                                                 |  |
| 邮政编码：       |                                                  | 联系电话                                            |  |
| E-mail：     |                                                  |                                                 |  |
| 您对本书的意见/建议： |                                                  | 系主任签字<br><br><br><br><br><br><br><br><br><br>盖章 |  |

我们的联系地址：

清华大学出版社 学研大厦 A602, A604 室

邮编：100084

Tel: 010-62770175-4409, 3208

Fax: 010-62770278

E-mail: liuli@tup.tsinghua.edu.cn; hanbh@tup.tsinghua.edu.cn

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 第 1 章 电子线路元器件 .....            | 1  |
| 1.1 基础知识 .....                 | 2  |
| 1.1.1 导体、绝缘体和半导体 .....         | 2  |
| 1.1.2 本征半导体 .....              | 2  |
| 1.1.3 杂质半导体 .....              | 4  |
| 1.2 PN 结与半导体二极管 .....          | 5  |
| 1.2.1 PN 结的形成 .....            | 5  |
| 1.2.2 PN 结的单向导电性 .....         | 7  |
| 1.2.3 PN 结的电容特性 .....          | 10 |
| 1.2.4 半导体二极管及其参数 .....         | 11 |
| 1.2.5 二极管的电路模型 .....           | 13 |
| 1.2.6 稳压二极管 .....              | 16 |
| 1.2.7 变容二极管 .....              | 17 |
| 1.2.8 发光二极管 .....              | 18 |
| 1.2.9 光电二极管 .....              | 18 |
| 1.3 半导体三极管 .....               | 19 |
| 1.3.1 三极管的结构 .....             | 19 |
| 1.3.2 三极管的工作原理 .....           | 20 |
| 1.3.3 三极管的特性曲线 .....           | 22 |
| 1.3.4 三极管的主要参数 .....           | 24 |
| 1.3.5 三极管的小信号模型 .....          | 26 |
| 1.3.6 三极管的 Ebers-Moll 模型 ..... | 29 |
| 1.4 场效应晶体管 .....               | 30 |
| 1.4.1 结型场效应管 .....             | 30 |
| 1.4.2 绝缘栅场效应管 .....            | 33 |
| 1.4.3 场效应管的小信号模型 .....         | 38 |
| 1.4.4 场效应管的主要参数 .....          | 38 |
| 1.4.5 场效应管与晶体三极管的比较 .....      | 39 |
| 1.5 集成化器件及其特点 .....            | 39 |
| 1.5.1 集成电路工艺简介 .....           | 40 |
| 1.5.2 集成化元器件的特点 .....          | 42 |
| 本章小结 .....                     | 42 |

# 目录

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 思考题 .....                     | 43 |
| 习题 .....                      | 43 |
| <br>                          |    |
| 第 2 章 放大器基础 .....             | 48 |
| 2.1 放大器的基本概念与技术指标 .....       | 49 |
| 2.1.1 放大器的基本概念 .....          | 49 |
| 2.1.2 放大器的主要技术指标 .....        | 50 |
| 2.2 共射放大器的工作原理与分析方法 .....     | 52 |
| 2.2.1 共射放大器的工作原理 .....        | 52 |
| 2.2.2 分析方法 .....              | 53 |
| 2.2.3 温度对工作点的影响与分压式偏置电路 ..... | 58 |
| 2.3 三种组态三极管放大器的分析与比较 .....    | 60 |
| 2.3.1 共基放大器 .....             | 60 |
| 2.3.2 共集放大器 .....             | 62 |
| 2.3.3 三极管放大器三种组态的比较 .....     | 63 |
| 2.4 场效应管放大器 .....             | 65 |
| 2.4.1 场效应管放大器偏置电路与直流分析 .....  | 65 |
| 2.4.2 场效应管共源放大器交流分析 .....     | 66 |
| 2.4.3 场效应管放大器三种组态的比较 .....    | 67 |
| 2.4.4 场效应管放大器的设计 .....        | 69 |
| 2.5 多级放大器 .....               | 71 |
| 2.5.1 级间耦合方式 .....            | 71 |
| 2.5.2 多级放大器的分析 .....          | 74 |
| 2.6 用 PSpice 分析放大器 .....      | 76 |
| 本章小结 .....                    | 79 |
| 思考题 .....                     | 80 |
| 习题 .....                      | 80 |
| <br>                          |    |
| 第 3 章 放大器的频率响应 .....          | 89 |
| 3.1 频率响应概述 .....              | 90 |
| 3.1.1 研究放大器频率响应的必要性 .....     | 90 |
| 3.1.2 波特图及简单 RC 电路的频率响应 ..... | 91 |



|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 3.2 单级共射放大器的频率响应 .....         | 94         |
| 3.2.1 共射基本放大器全频段微变等效电路 .....   | 94         |
| 3.2.2 三极管的频率参数 .....           | 95         |
| 3.2.3 共射基本放大器频率响应分析 .....      | 97         |
| 3.3 其他放大器的频率响应 .....           | 105        |
| 3.3.1 共集放大器的高频响应 .....         | 105        |
| 3.3.2 共基放大器的高频响应 .....         | 106        |
| 3.3.3 组合电路宽带放大器 .....          | 107        |
| 3.4 多级放大器的频率特性 .....           | 108        |
| 3.5 频率响应与阶跃响应 .....            | 111        |
| 3.5.1 阶跃信号与阶跃响应 .....          | 111        |
| 3.5.2 频率响应与阶跃响应的关系 .....       | 111        |
| 3.6 用 PSpice 分析放大器频率响应实例 ..... | 113        |
| 本章小结 .....                     | 116        |
| 思考题 .....                      | 117        |
| 习题 .....                       | 117        |
| <br>第 4 章 集成运算放大器与模拟乘法器 .....  | <b>122</b> |
| 4.1 电流源电路 .....                | 123        |
| 4.2 差分放大电路 .....               | 129        |
| 4.2.1 双极型三极管差分放大电路 .....       | 129        |
| 4.2.2 场效应管差分放大电路 .....         | 137        |
| 4.2.3 差分放大电路的传输特性 .....        | 139        |
| 4.3 双极型集成运算放大器 .....           | 142        |
| 4.3.1 集成运算放大器的基本组成 .....       | 142        |
| 4.3.2 典型集成运算放大器电路分析 .....      | 143        |
| 4.4 场效应管集成运算放大器 .....          | 145        |
| 4.4.1 JFET 输入的集成运算放大器 .....    | 145        |
| 4.4.2 CMOS 集成运算放大器 .....       | 146        |
| 4.5 集成运算放大器的主要技术参数 .....       | 147        |
| 4.6 理想集成运算放大器 .....            | 151        |
| 4.7 模拟乘法器原理 .....              | 153        |

# 目录

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| 本章小结 .....                         | 158        |
| 思考题 .....                          | 158        |
| 习题 .....                           | 159        |
| <br>                               |            |
| 第 5 章 反馈放大器 .....                  | <b>166</b> |
| 5.1 反馈的基本概念与分类 .....               | 167        |
| 5.1.1 反馈的基本概念 .....                | 167        |
| 5.1.2 反馈的分类与判断 .....               | 168        |
| 5.1.3 反馈放大电路的方框图表示及放大倍数一般表达式 ..... | 176        |
| 5.2 负反馈对放大电路性能的影响 .....            | 178        |
| 5.2.1 提高放大倍数的稳定性 .....             | 178        |
| 5.2.2 减小非线性失真 .....                | 179        |
| 5.2.3 扩展通频带 .....                  | 180        |
| 5.2.4 抑制内部噪声与干扰 .....              | 181        |
| 5.2.5 对输入电阻和输出电阻的影响 .....          | 182        |
| 5.2.6 负反馈的正确引入原则 .....             | 185        |
| 5.3 深度负反馈放大电路的分析计算 .....           | 186        |
| 5.3.1 深度负反馈的特点 .....               | 186        |
| 5.3.2 深度负反馈放大电路的计算 .....           | 187        |
| 5.4 负反馈放大电路的稳定性分析 .....            | 192        |
| 5.4.1 负反馈放大电路的自激振荡与稳定工作条件分析 .....  | 192        |
| 5.4.2 常用的频率补偿方法 .....              | 194        |
| 5.5 用 PSpice 分析反馈放大器 .....         | 198        |
| 本章小结 .....                         | 200        |
| 思考题 .....                          | 200        |
| 习题 .....                           | 201        |
| <br>                               |            |
| 第 6 章 模拟信号运算与处理电路 .....            | <b>211</b> |
| 6.1 基本运算电路 .....                   | 212        |
| 6.1.1 比例运算电路 .....                 | 212        |
| 6.1.2 求和运算电路 .....                 | 215        |
| 6.1.3 积分和微分运算电路 .....              | 219        |