



新坐标大学本科电子信息类专业系列教材

模拟电路分析与设计

王 骥 王立臣 杜 爽 编著

清华大学出版社





新坐标大学本科电子信息类专业系列教材

模拟电路分析与设计

王骥 王立臣 杜爽 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统论述了模拟电子技术的基本原理和设计方法。全书包括 12 章：半导体基础知识，半导体晶体管及其基本电路，场效应管与特殊三极管基本应用电路，集成运算放大器，放大电路的频率响应，负反馈放大器，集成运算放大器组成的运算电路，低频功率放大器，信号检测与处理电路，波形发生电路，直流电源，模拟电子线路读图与设计方法。

书中习题多改编自高校研究生入学考试题，针对性极强；全书配有精心制作的教学课件，便于教师参考使用。本书适合作为普通高等院校电子信息类与电气信息类的本科生教学用书，也可作为相关工程技术人员的参考图书。

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

模拟电路分析与设计/王骥,王立臣,杜爽编著. —北京:清华大学出版社,2012.7

(新坐标大学本科电子信息类专业系列教材)

ISBN 978-7-302-28426-0

I. ①模… II. ①王… ②王… ③杜… III. ①模拟电路—电路分析—高等学校—教材 ②模拟电路—电路设计—高等学校—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 056492 号

责任编辑：盛东亮

封面设计：常雪影

责任校对：焦丽丽

责任印制：何 芊

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 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

课 件 下 载：<http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者：清华大学印刷厂

装 订 者：三河市新茂装订有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×260mm 印 张：33.25 字 数：811 千字

版 次：2012 年 7 月第 1 版 印 次：2012 年 7 月第 1 次印刷

印 数：1~3000

定 价：49.50 元



编委会名单

顾问(按姓氏音节顺序):

- | | |
|-----|---------------|
| 李衍达 | 清华大学信息科学技术学院 |
| 邬贺铨 | 中国工程院 |
| 姚建铨 | 天津大学激光与光电子研究所 |

主任:

- | | |
|-----|-----------|
| 董在望 | 清华大学电子工程系 |
|-----|-----------|

编委会委员(按姓氏音节顺序):

- | | |
|-----|-------------------|
| 鲍长春 | 北京工业大学电子信息与控制工程学院 |
| 陈怡 | 东南大学高教所 |
| 戴瑜兴 | 湖南大学电气与信息工程学院 |
| 方达伟 | 中国计量学院信息工程学院 |
| 甘良才 | 武汉大学电子信息学院通信工程系 |
| 郭树旭 | 吉林大学电子科学与工程学院 |
| 胡学钢 | 合肥工业大学计算机与信息学院 |
| 金伟其 | 北京理工大学信息科技学院光电工程系 |
| 孔力 | 华中科技大学控制系 |
| 刘振安 | 中国科学技术大学自动化系 |
| 陆大绘 | 清华大学电子工程系 |
| 马建国 | 西南科技大学信息与控制工程学院 |
| 彭启琮 | 成都电子科技大学通信与信息工程学院 |
| 仇佩亮 | 浙江大学信电系 |
| 沈伯弘 | 北京大学电子学系 |

- | | |
|--------|---------------------|
| 童家榕 | 复旦大学信息科学与技术学院微电子研究院 |
| 汪一鸣(女) | 苏州大学电子信息学院 |
| 王福源 | 郑州大学信息工程学院 |
| 王华奎 | 太原理工大学信息与通信工程系 |
| 王 瑶(女) | 美国纽约 Polytechnic 大学 |
| 王毓银 | 北京联合大学 |
| 王子华 | 上海大学通信学院 |
| 吴建华 | 南昌大学电子信息工程学院 |
| 徐金平 | 东南大学无线电系 |
| 阎鸿森 | 西安交通大学电子与信息工程学院 |
| 袁占亭 | 甘肃工业大学 |
| 乐光新 | 北京邮电大学电信工程学院 |
| 翟建设 | 解放军理工大学气象学院 4 系 |
| 赵圣之 | 山东大学信息科学与工程学院 |
| 张邦宁 | 解放军理工大学通信工程学院无线通信系 |
| 张宏科 | 北京交通大学电子信息工程学院 |
| 张 泽 | 内蒙古大学自动化系 |
| 郑宝玉 | 南京邮电学院 |
| 郑继禹 | 桂林电子工业学院二系 |
| 周 杰 | 清华大学自动化系 |
| 朱茂镒 | 北京信息工程学院 |



编者寄语

本书是为高等院校电类及其相近专业所开设的“模拟电子技术”课程而编著的教材,编写过程严格按照教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委会出版的《电子电气基础课程教学基本要求》,在内容选材方面考虑了高等院校信息类学科的教育改革要求。

模拟电子技术在学科领域的地位

电子信息工程是一门应用现代化电子技术与网络技术进行电子信息控制和处理的学科,主要研究信息的获取与处理方法以及电子系统与设备的设计、开发、应用和集成的通用技术。现在,电子信息工程已经涵盖了社会的诸多方面,像电视机怎么处理各种电视音视频信号,手机是怎样传递我们的声音甚至图像的,互联网络怎样传递数据,甚至信息化时代军队信息传递中如何保密等都要涉及电子信息工程的应用技术。可以说,电子信息工程专业是集现代电子技术、信息技术、通信技术于一体的专业。本书主要通过一些电子技术知识的学习引导读者分析电子信息系统,使读者能够应用先进的电子系统设计技术进行新产品研究和开发。

本书主要讲述模拟电子系统处理信息的方法与知识。因此,课程的学习首先要有扎实的数学基础;对物理学的要求也很高,并且主要是电学理论方面;同时,更主要的是要学习许多电路、信号与系统的基本知识。学习过程学生自己还要动手设计、连接一些电路并结合计算机进行实验。同时,对动手操作和使用工具也有非常高的要求。譬如自己设计传感器信息处理与获取的电路;用计算机软件仿真分析语音通信系统线路;参观一些大公司的电子和信息处理设备,理解手机信号、网络信号是如何传输的等,并能有机会在老师指导下参与接近工程实际的课程设计等。学习模拟电子线路理论,要喜欢钻研思考,并善于开动脑筋发现新问题。

随着社会信息化的深入,各行业大都需要电子信息工程专业人才,而且薪金很高。学生毕业后可以从事电子设备和信息系统的设计、应用开发以及技术管理等相关工作。比如,做电子工程师,设计开

发一些电子、通信设备；做软件工程师，设计开发与硬件相关的各种软件；做项目主管，策划一些大的系统，这些对经验、知识要求很高；还可以继续进修成为教师，从事科研工作……这一切，都要从本课程开始。

本书主要研究现代模拟电子技术理论、探讨电子系统设计原理与方法，为培养面向电子技术、自动控制 and 智能控制、计算机与网络技术 etc 电子、信息、通信领域的宽口径、高素质、德智体全面发展的具有创新能力的工程技术人才打下扎实的专业知识基础。

本书内容简介

模拟电子线路包括“线性”和“非线性”（“低频”和“高频”）两部分内容，一般分为两门课程讲授。本书研究低频电路的分析与设计方法。

本书在阐述模拟电子线路基本理论和技术的基础上，融入了大量当代模拟集成电子学的研究新成果。全书分为 12 章：半导体基础知识，半导体晶体管及其基本电路，场效应管与特殊三极管基本应用电路，集成运算放大器，放大电路的频率响应，负反馈放大器，集成运算放大器组成的运算电路，低频功率放大器，信号检测与处理电路，波形发生电路，直流电源，模拟电子线路读图与设计方法。

本书中通过对各种半导体分立器件、集成组件特性及其电路的分析，阐述了模拟电子技术的基本概念与基本原理；研究了模拟电子线路基本形式、分析与应用方法；同时介绍了 VMOSFET、IGBT 等新功率器件及其应用电路；探讨了集成开关电容电路、集成开关稳压电路等新理论、新技术、新集成组件及其应用新方法。

本书理论教学建议安排 60 学时，实验教学建议安排 10 学时。各专业可以参照这个标准根据教学要求微调。

本书习题许多改编自部分高校研究生试题，数量少而有代表性，建议读者全部完成。

教材编写特点

本课程是电类专业学生接触实际电路工程的第一门专业基础课程，内容抽象，教学任务重，而且又有其本身不同于先修课程的特点和规律。因此，在教学实践中反映出的问题是教师“难教”，学生“难学”。问题的关键还是对这门课“教学内容”和“教学方法”认识不足。对于一门课程的教学内容应满足两方面：一要反映科学的基本事实与规律，体现本学科最新成就并密切联系实际；二要符合培养目标和符合教学计划对本课程的基本要求，能体现本课程在教学体系中地位和作用。为配合教与学的关系，本书编写过程注意加强了以下方面的分析。

分立元器件与集成的关系

一般来说，作为专业基础课，本课程教学内容应相对稳定，但这门课的特点注定它要

加快新陈代谢。因为器件是电子线路的基石,从电子管到晶体管,再到集成电路的电子器件发展过程代表了电子技术的发展和几次大的变革,同时也说明了半导体器件制造核心技术发展日新月异。当前由于IC产业特别是EDA技术的长足进展,已经彻底打破了器件、电路和系统的界限,从根本上改变了电子技术和信息科学的领域传统思维。同时也对电子线路的教学提出更新更高的要求。为了避免与工程实践脱节,本教材教学内容选材以当代电子技术发展水平为背景,以器件为主线加速由“分立”向“集成”的转化的原则。

在教学实践中,虽然“重在集成”的观点已经被大家所接受,但集成电路的内部单元实际上是由分立元件构成的。如果忽视内部单元电路的原理,只掌握外特性和工作参数,但是这种教法的结果势必造成学生只知IC的管脚排列与外围连接,而对集成电路的内部结构以及工作原理完全不理解。从而导致课程知识结构的“分立”,使学生“知其然而不知其所以然”,难以使学生达到知识结构的“集成”。为了解决这个矛盾,在教学中要坚持“强调集成电路外特性和应用,兼顾内部单元电路原理分析”的内外兼修原则。终极目标是使传教者感到“言之有物”,受教者也感到“学有所获”。

本教材教学上明确要求学生过好“器件关”,对典型电子器件(有源器件)掌握要求做到“分析、选择、应用”一体化,关键是要掌握这些器件的外部特性,时刻注意“器件为路用”的教学原则。特别是通过分析元器件及其系统特性曲线往往有利于掌握器件与系统的模型、参数和工作原理。要懂得学习器件目的“重在应用”。要熟悉和掌握各种模拟集成电路的应用,诸如集成运放、集成功放、集成稳压器以及锁相环、乘法器等,才不至于与当代科技脱轨。实际集成电路可以宏观上把握“掌握两种集成电路”的教学理念,即线性电路——重点掌握运算放大器;非线性电路——重点掌握模拟乘法器与集成比较器。这两类芯片都属于通用型IC,几乎可以实现线性和非线性领域的绝大部分应用电路的设计。在教学实践中对于这两种芯片要讲深讲透,要详细分析其电路结构、工作原理、参数特征以及典型应用。教师如果把握了教材处理方法和教材内容“粗讲、细讲”的分寸,可大大便于学生对于这门课程的学习。

“工程”思维与“理论”思维的关系

就分析方法而言,从过去的理想数学模型精密计算转换到本课程采用电子线路近似工程分析是本课程的核心思路与课程思维。本课程教与学中遇到的困难,究其原因往往是没有正确把握这门课的性质和分析方法。

本教材强调模拟电子技术是一门“工程应用性”课程。因此,其教学重点是掌握电子线路工程分析的方法,即“近似估算法”。实践证明,学生对于从基础课到专业基础课的过渡往往不适应。合理估算与恰当近似是要重点解决的问题。过去其他课程计算时可能得到唯一的正确答案,而在本课程只能计算某个值,其理论计算结果以及该结果相近的值都算正确。也就是近似结果的标准是“一个数量级”而不是“一个值”。

先修课“电路分析”与本课程虽然同为专业基础课,但在采用的数学模型和分析方法上都有所不同。“电路分析”采用理想模型和严格计算的方法,而本课程采用近似模型和工程估算的方法。在“电路分析”教材中,可以出现像“法拉级”量纲的脱离现实的电容元

件数值,而模拟电子技术课程中电路元件要采用与实际标称值相符的结果。在“电路分析”课上学生用计算器得出一个值可以有任意多位小数,而本课程的计算结果却要结合实际仪表量程与误差要求对结果进行取舍。从实际电子测量和误差分析的角度看,电子元件和测量仪器都是有误差的,保留如此多的有效数字仅仅说明是“算”出来的数,完全脱离实际。通过以上分析可以看出,“电路分析”偏重理论,而“模拟电路”更偏重实际应用,所以只有正确把握“模拟电路”的课程性质才能掌握正确的分析方法。基于此,本教材从数学模型建立到分析计算充满了“近似和估算”;从分立放大器晶体管 h 参数模型建立与简化过程到运放放大器两条基本运算法则“虚短、虚断”的应用等都反映了这一思维。可以说“近似估算法是本书的灵魂”。

实践与理论关系的合理化思维方法

本教材的鲜明特点是强调实践性教学,注重工程素质培养和专业基本训练。因此加强实践环节改革,是课程建设的重要任务之一。实践环节就本课程而言包括课程设计与实验课环节。实验课程应该贯穿与配合理论教学全过程。实验是对理论学习的强化和补充。国外许多学校电子线路的教学重点在实验室而不在教室,国内许多学校加强实验而采取实验单独开课,如果合理设计,这些做法都是有益的。

检验学校培养学生质量的唯一标准是社会实践。电子线路课程的基本要求是培养“硬件能力”。硬件是电子线路的基础,硬件能力是电子工程师的基本能力。从产业界反馈的需求信息来看,硬件工程师严重缺乏;当前学校对学生硬件能力的培养普遍不足,所谓“硬件不硬”,这个问题已经引起了学校和产业界的普遍重视。课程实践教学加强对培养学生硬件能力的培养可以分为“基本能力”和“工程能力”两个阶段和要求。“基本能力”是对基本电路的分析和应用能力,归结为“懂、算、选、用”。“懂”指能读懂电路图,能够看懂电路图是工程技术人员的一项基本功。“算”指能够计算电路设计时所需的元件参数。“选”指在实际应用中能够根据设计需要正确选用元器件(首先是有源器件)和相关的电路形式,要会查阅和借助技术手册和工具书进行工作。“用”可以泛指会“应用”,包括使用各种电子设备和仪器,具备安装、焊接、调整、测试、修理这些基本实验技能。

电子设计的工程能力是电子工程师的高级能力。具有电子设计和产品开发能力的工程师受到社会的欢迎和产业界的青睐。因此加强电子设计工程级能力的培养也成为本课程教学的高级要求。完成这个教学环节往往需要循序渐进,从“模拟电路”起打好基础,通过“实验课—课程设计—毕业设计”顺延配合实现。

本书注重电子线路设计分析的数学过程,提出了与传统教材互补的新的分析方法,如负反馈、集成运放分析方法等,可以说本书是一本具有专著特色的教材。

综上所述,当前深化教学改革和课程建设必须做到联系实际和注重实效。教材改革也要紧跟这个方向。学生毕业后面对社会现实,起码要具备“专业素质”和“综合素质”两个方面。综合素质是多方面的,而一个人的“核心竞争力”往往是其“专业素质”,用人单位首先考虑的也是学生的专业素质。本书核心思想是提高学生的“专业素质”,它也是我们教学改革和课程建设的指导思想。这个问题实际上就是“学以致用”。希望本书能够在培养学生专业素质方面起到启蒙的作用。

本书汇集了多位一线教师及科研人员的教学经验与研究成果。本书第4、6、8、9、10、12章及各章“科技前沿”部分由王骥执笔；第1、2、5章由杜爽执笔；第3、7章及附录B由王立臣执笔；第11章及附录A由张冰执笔；林景东、周蔚、徐国保对书中部分实例做了仿真验证工作；全书由王骥负责统稿工作。此外，魏武老师对本书的编写提供了宝贵建议。为了便于广大读者使用，编著者开了CAI教学课件（详情见<http://www.xiezhuhui.com/xxxy/dzsjc>）。

由于模拟电路知识面广，新器件、新技术不断涌现，加上作者水平、时间所限，书中定有不少疏漏，望广大读者不吝赐教（编著者邮箱 zjouwangji@163.com）。

编著者



常用符号说明

使用原则：小写字母(u, i, r)带小写下标表示交流动态量；大写字母带大(小)写角标表示直流量或有效值(平均值)；小写字母带大写下标表示含有直流、交流成分的全量；两个下标一般第一个为输出量(反馈量)，第二个为输入量。

1. 电流

I, i ——直、交流电流通用符号

i_D ——PN结或二极管电流，交、直流混合量

I_S ——PN结或二极管反向饱和电流

I_{DM} ——最大整流电流

I_{DQ}, I_D ——二极管静态电流或电流有效值

I_z ——稳压管稳定电流

I_{EN} ——三极管发射极电子电流

I_{EN} ——晶体三极管发射极空穴电流

I_B, i_b ——晶体三极管基极静态、动态电流

i_B ——晶体三极管基极静态、动态混合电流

I_{BN} ——基极电子电流

I_{CN} ——集电极电子电流

I_{CBO} ——集电区与基区反向饱和电流

I_C, i_c ——集电极静态、动态电流

i_C ——集电极静态、动态混合电流

$\Delta i_i, \Delta i_o$ ——动态输入、输出电流变化量

I_{CEO} ——晶体三极管 C-E 极间反向饱和电流

I_{CM} ——晶体三极管最大集电极电流

I_R ——PN结或二极管反向电流

i_i, \dot{I}_i ——输入电流及其对应相量

i_o, \dot{I}_o ——输出电流及其对应相量

I_D ——场效应管沟道电流

i_D ——场效应管漏极全电流

I_{DO} —— $U_{GS} = 2U_T$ 时的 I_D

I_{DSS} ——饱和漏极电流

I_{REF} ——基准电流

i_C, i_L, i_R ——电容、电感、电阻电流

i_+, i_- ——运放同相端与反相端电流

$I_{D(AV)}$ ——整流二极管平均整流电流

I_{AV} ——平均电流

I_H ——维持电流

2. 电压

U, u ——直、交流电压通用符号

u_D ——二极管端电压，交直流混合量

U_T ——温度电压当量

U_{BR} ——反向击穿电压

U_{RM} ——二极管最大反向电压

U_D ——二极管正向压降

U_{DD} ——场效应管漏极或二极管电源

U_z ——稳压管击穿电压或稳定电压

U_{CM} ——晶体三极管最大集电极电压

U_{BE}, u_{be}, u_{BE} ——晶体三极管发射结静态、动态、混合电压

U_{CE}, u_{ce}, u_{CE} ——晶体三极管集电结-发射结静态、动态、混合电压

$U_{(BR)CBO}$ ——e 开路时，c-b 之间的反向击穿电压

$U_{(BR)CEO}$ ——b 开路时，c-e 间的反向击穿电压

$U_{(BR)EBO}$ ——c 极开路时，e-b 极间的反向击穿电压

u_s, \dot{U}_s ——信号源电压及其对应相量

u_i, \dot{U}_i ——输入电压及其对应相量

$u_{b'e}, \dot{U}_{b'e}$ ——晶体三极管发射极动态电压及其对应相量

u_o, \dot{U}_o ——输出电压及其对应相量

u'_o, \dot{U}'_o ——负载开路输出电压及其对应相量

U_{omax}, I_{omax} ——放大电路的最大输出电压或电流

$\Delta u_i, \Delta u_o$ ——动态输入电压、输出电压变化量

U_{CC}, U_{BB} ——集电极电源、基极电源

$U_{(BR)DS}$ ——场效应管漏源间击穿电压

$U_{(BR)GS}$ ——场效应管栅源间击穿电压

U_G, I_G ——晶闸管触发电压和触发电流

U_{BO} ——晶闸管阳极-阴极电压

U_{DRM} ——晶闸管正向重复峰值电压

U_{RRM} ——晶闸管反向重复峰值电压

U_{GS} ——场效应管栅极和源极的外加电压

U_{DS} ——场效应管 D、S 间电压

u_{GS}, u_{gs} ——场效应管栅源全量电压、动态电压

u_{DS}, u_{ds} ——场效应管漏极全量电压与动态电压

$U_P, U_{GS(off)}$ ——场效应管夹断电压

$U_{GS(th)}, U_T$ ——场效应管开启电压

$u_P(u+), u_N(u-)$ ——运放同相端与反相端电位

U_{om} ——电压信号幅值

U_{OM} ——运放饱和输出电压

U_{REF} ——参考电压

U_{TH} ——比较器阈值电压

u_{OS} ——比较器输入失调电压

ΔU_{TH} ——门限宽度

$U_{o(av)}$ ——整流输出电压平均值

ΔU_{BE} ——三极管基-射电压差

u_{id}, u_{ic} ——差模电压信号、共模电压信号

U_N ——等效输入噪声电压

3. 功率

P ——功率通用符号

P_{zm} ——稳压管最大额定功耗

P_{CM} ——最大集电极耗散功率

P_{om} ——放大器最大输出功率

P_T, P_D ——晶体管与场效应管上的功耗

P_S ——直流电源提供的功率

P_{DM} ——漏极最大允许耗散功率

4. 电阻、电导、阻抗

r, R ——动态、静态电阻通用符号

r_d ——PN 结或二极管动态电阻

r_z ——稳压管动态电阻

R_D ——PN 结或二极管静态电阻

R_S ——放大器信号源内阻

R_L ——放大器负载电阻

R_o ——放大器输出电阻

R_i ——放大器输入电阻

$r_{bb'}$ ——晶体三极管基区体电阻

$r_{b'e}$ ——晶体三极管发射区电阻

$r_{b'e'}$ ——晶体三极管发射结电阻

$r_{b'c}$ ——晶体三极管集电结电阻

r_{if}, r_{of} ——反馈时的输入输出电阻

r_o ——输出电阻

r_{ce} ——晶体三极管集电极-发射极动态电阻

r_c ——晶体三极管发射结引线及封装电阻

R'_E ——晶体三极管发射结外接负载电阻

R'_L ——晶体三极管集电极外接负载电阻

R_{GS} ——场效应管外接输入电阻

r_d ——场效应管动态输出电阻

R_{G1}, R_{G2}, R_{G3} ——场效应管栅极外接电阻

r_{gs} ——场效应管动态输入结电阻

r_i, r_o ——放大器动态输入、输出电阻

R_{CE}, r_{ce} ——晶体三极管 C-E 极间静态、动态等效电阻

r_{id}, r_{ic}, r_{od} ——差模输入电阻、共模输入电阻、差模输出电阻

g_m ——场效应管低频跨导

R_+, R_- ——运放同相端与反相端等效电阻

R_P ——平衡电阻

R_G ——增益控制电阻

r ——线圈电阻

r_q ——石英晶体动态电阻

R_t ——温度系数热敏电阻

G_{ic} ——晶体三极管输入电导

G_{oe} ——晶体三极管输出电导

Z ——动态元件阻抗通用符号

X ——动态元件电抗通用符号

ρ ——石英晶体特性阻抗

5. 电容、电感

C ——通用电容

C_B ——PN 结势垒电容

C_D ——PN 结扩散电容

C_j ——PN 结耗尽层电容或变容二极管电容

C_E ——旁路电容
 $C_{b'e}$ ——晶体三极管发射结电容
 $C_{b'c}$ ——晶体三极管集电结电容
 $C'_{b'e}$ 、 $C''_{b'e}$ —— $C_{b'e}$ 在晶体三极管微变等效模型中输入、输出侧等效电容
 C_{GS} 、 C_{GD} 、 C_{DS} ——场效应管栅-源极间、栅-漏极间、漏-源极间结电容
 C_{GS} 、 C_{GD} 、 C_{DS} ——场效应管极间电容
 C_A ——传感器压电元件的电容
 C_C ——电缆电容
 C_i ——放大器输入电容
 C_f ——放大器反馈电容
 C_o ——石英晶体安装电容
 C_q ——石英晶体动态电容
 L ——电感通用符号
 M ——互感系数
 L_q ——石英晶体动态电感
6. 频率(角频率)、周期(时间)
 f 、 ω ——信号频率、角频率
 f_H ——上限频率
 f_L ——下限频率
 BW ——放大器通频带、开环带宽
 BWG ——放大器单位增益带宽
 f_β ——共发射极截止频率
 f_q ——石英晶体串联谐振频率
 f_p ——石英晶体并联谐振频率
 f_N ——石英晶体标称频率
 ω_0 ——中心角频率
 τ_L 、 τ_H ——低频、高频段时间常数
 t_R ——比较器响应时间
 t_{sr} ——比较器选通脉冲释放时间
 T ——信号周期
7. 放大倍数(增益)、反馈系数、传输函数
 $\bar{\beta}$ ——晶体三极管共射直流电流放大系数
 β ——晶体三极管共射交流电流放大系数
 $\bar{\alpha}$ 、 α ——晶体三极管共基直流电流放大系数和交流电流放大系数
 A_{um} ——放大器中频增益
 A_{ii} 、 A_{uu} 、 A_{iu} 、 A_{ui} ——放大器开环电流、电压、互导、互阻增益
 \dot{A}_{ii} 、 \dot{A}_{uu} 、 \dot{A}_{iu} 、 \dot{A}_{ui} ——放大器开环电流、电压、互导、互阻增益相量

A_u 、 A_{us} ——放大器电压增益、源电压增益
 A_i ——放大器电流增益
 CTR ——光电耦合电流传输比
 A_{ud} 、 A_{uc} ——放大器差模电压放大倍数、共模电压放大倍数
 $A(j\omega)$ 、 $A(s)$ ——传输频率、复频域增益函数
 A_{uH} ——放大器高频区电压增益的幅值
 A_{uL} ——放大器低频区电压增益的幅值
 A_f ——放大电路的闭环放大倍数
 A_{uuf} 、 A_{uif} 、 A_{iuf} 、 A_{iif} ——放大器闭环电压增益、互阻增益、互导增益、电流增益
 A_{uuo} ——放大器去掉负载的电压增益
 A_{od} ——放大器差模开环放大倍数
 A_{uP} ——滤波器的中频传输增益
 $|\dot{K}|$ ——晶体管 c-e 与 b-e 极间电压放大倍数
 T 、 \dot{T} ——环路增益及其相量
 $H(z)$ ——系统函数
 $H(e^{j\omega})$ ——频率响应
 $H_d(e^{j\omega})$ 、 $H_d(n)$ ——理想频率响应、单位脉冲响应

8. 器件相关名称符号

D ——二极管
 D_z ——稳压二极管
 T ——晶体三极管
 $b(B)$ 、 $c(C)$ 、 $e(E)$ ——晶体管基极、集电极、发射极
 Tr ——耦合变压器
 $G(g)$ 、 $S(s)$ 、 $D(d)$ ——场效应管栅极、源极、漏极
 FET ——场效应管
 $MOSFET$ ——金属-氧化物-半导体场效应管
 $JFET$ ——结型场效应管
 $IGBT$ ——绝缘栅双极型晶体管
 IOA ——集成运放
 PC ——光电耦合
 PGA ——可编程增益放大器
 LPF ——低通滤波电路
 HPF ——高通滤波电路
 BPF ——带通滤波电路
 BEF ——带阻滤波电路
 APF ——全通滤波电路
 K ——开关

9. 其他物理量符号、名称

K——波尔兹曼常数

T——热力学温度

W——耗尽层厚度、禁带宽度

 n ——杂质浓度 n ——变压器的匝数比 x_i 、 \dot{X}_i ——输入量及其对应相量 x_o 、 \dot{X}_o ——输出量及其对应相量 x_i 、 x_f 、 x_{id} ——输入信号、反馈信号、净输入信号

D——失真系数

 η ——电路能量转换效率 h_{11e} 、 h_{12e} 、 h_{21e} 、 h_{22e} ——晶体管 h 参数 S_E ——晶体三极管发射区面积 K_{CMRR} ——差放共模抑制比

F——反馈系数通用符号

SR——电压转换率

 φ_H ——高频区相角 φ_L ——低频区相角 q ——压电传感器产生的电荷

Q——品质因数

 p ——折合接入系数

S——整流输出电压的脉动系数

 S_γ ——稳压系数 S_U ——电压调整率 S_I ——电流调整率 S_{rip} ——纹波抑制比 S_T ——输出电压的温度系数



目 录

第 1 章 半导体基础知识	1
科技前沿——PN 结在太阳能电池技术领域的应用	1
1.1 电子信息系统	2
1.1.1 电信号	2
1.1.2 模拟信号的概念	3
1.1.3 电子信息系统组成	6
1.2 半导体的基础知识	8
1.2.1 半导体材料分类	9
1.2.2 本征半导体	9
1.2.3 杂质半导体	11
1.3 PN 结	13
1.3.1 PN 结形成过程	13
1.3.2 PN 结及其特性	14
1.3.3 PN 结的电容效应	16
1.3.4 PN 结的击穿特性	18
1.3.5 PN 结的应用	19
1.4 太阳能发电系统简介	19
本章小结	21
习题	21
第 2 章 半导体晶体管及其基本电路	23
科技前沿——3D 晶体三极管制造技术延伸摩尔定律	23
2.1 半导体二极管	24
2.1.1 半导体二极管的结构和类型	24
2.1.2 半导体二极管的伏安特性	25
2.1.3 温度对二极管伏安特性的影响	26
2.1.4 半导体二极管的主要参数与型号	26
2.1.5 二极管电路的分析方法	29
2.1.6 半导体二极管的应用	32

2.1.7	特殊二极管	34
2.2	晶体三极管及其基本放大电路	39
2.2.1	晶体三极管的结构、类型与三种连接方式	39
2.2.2	晶体三极管的工作状态及电流放大作用、伏安特性曲线	40
2.2.3	晶体三极管的主要参数以及温度对晶体三极管参数的影响	44
2.2.4	晶体三极管的型号与选用原则	47
2.3	放大的概念及放大电路的性能指标	48
2.3.1	放大的基本概念与放大电路的主要性能指标	48
2.3.2	共发射极放大电路的组成及工作原理	52
2.3.3	放大电路的直流通路与图解分析法	55
2.4	放大电路的微变等效电路分析法	60
2.4.1	晶体三极管的低频小信号微变等效模型	61
2.4.2	共发射极放大电路的分析	64
2.5	分压式稳定静态工作点电路	66
2.5.1	温度对静态工作点的影响	67
2.5.2	分压式射极偏置稳定电路	68
2.5.3	带旁路电容的射极偏置稳定电路	70
2.6	共集电极放大电路	72
2.6.1	基本共集电极放大电路分析	72
2.6.2	自举式射极输出器	75
2.7	共基极放大电路	76
2.7.1	共基极放大电路分析	76
2.7.2	三种基本组态放大电路的比较	79
2.7.3	共射放大器仿真分析	80
	本章小结	83
	习题	84
第3章 场效应管与特殊三极管基本应用电路		88
科技前沿——功率模块与功率集成电路		88
3.1	结型场效应管	89
3.1.1	结型场效应管的结构及类型	89
3.1.2	结型场效应管的工作原理	90
3.1.3	结型场效应管的伏安特性	91
3.2	绝缘栅场效应管	93
3.2.1	N沟道增强型MOS管的结构	93
3.2.2	耗尽型MOS管	95
3.2.3	场效应管的主要参数	96
3.2.4	场效应管与晶体三极管的性能比较	98
3.2.5	MOS场效应晶体管使用注意事项	98

3.3	场效应管放大电路	99
3.3.1	场效应管放大电路的直流偏置与静态分析	99
3.3.2	场效应管放大电路的动态分析	101
3.4	特殊场效应三极管与应用电路	106
3.4.1	绝缘栅双极型晶体管	107
3.4.2	光电三极管及其应用电路	109
3.4.3	单结晶体管及其应用电路	110
3.4.4	晶闸管及其应用电路	112
	本章小结	115
	习题	116
第4章	集成运算放大器	119
	科技前沿——集成电路高新制造技术领域焦点	119
4.1	多级放大电路	120
4.1.1	多级放大电路级间耦合方式	120
4.1.2	多级放大电路的分析方法	123
4.1.3	组合多级放大电路	127
4.2	集成运放中的电流源	129
4.2.1	镜像电流源	129
4.2.2	微电流源	135
4.2.3	多路输出电流源	136
4.2.4	电流源用作有源负载	137
4.3	差动放大电路	138
4.3.1	差分式放大电路基本概念	139
4.3.2	基本差分式放大电路	141
4.3.3	射极耦合差动放大电路分析	143
4.3.4	差分式放大电路的传输特性	150
4.4	集成运算放大器原理与应用分析	151
4.4.1	集成运算放大器概述	151
4.4.2	IOA 典型结构的内部电路	152
4.4.3	IOA 使用注意事项	159
4.5	长尾式差分放大电路仿真分析	165
4.5.1	静态工作点仿真	165
4.5.2	动态性能仿真	166
	本章小结	167
	习题	168
第5章	放大电路的频率响应	172
	科技前沿——窗函数频响法设计 FIR 滤波器	172