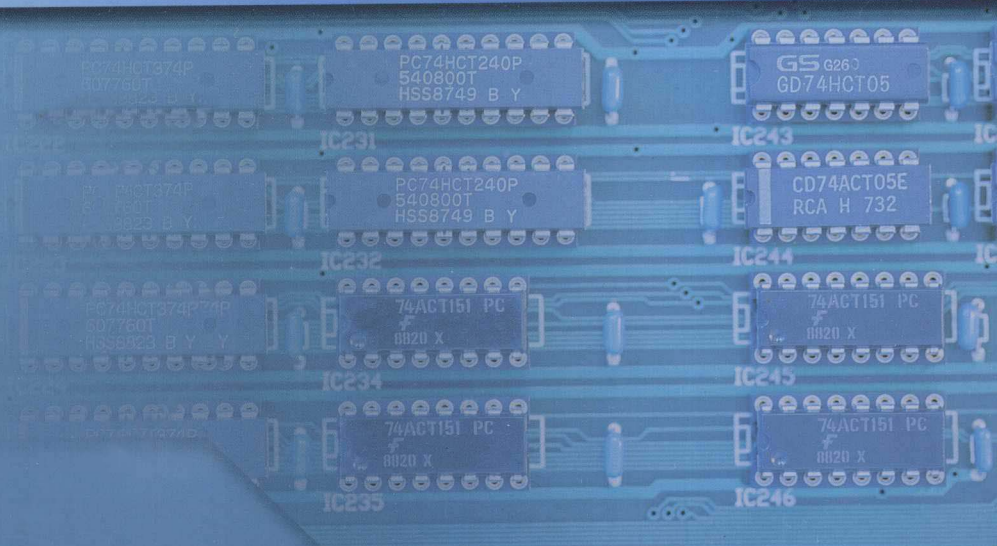


高等学校教材

电路分析 与电子线路基础

上册

■ 陈抗生



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校教材

电路分析与电子线路基础

Dianlu Fenxi yu Dianzi Xianlu Jichu



上册

■ 陈抗生

 高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书将传统的“电路原理”课程、“模拟电子技术基础”课程以及“数字电子技术基础”课程的电路级内容有机整合在一起,内容选择上把最新的集成电路设计知识融入到电路基础课程中,反映了电路技术发展的方向。

本书将模拟集成电路的基本单元电路、反馈放大器电路、差分放大器电路、互连线、运算放大器、电流差分缓冲放大器、电流差分跨导放大器、滤波器、振荡器、正弦交流电路、三相电路、开关电容电路、CMOS 逻辑门电路、脉冲波形的产生与处理电路以及模数转换与数模转换等电路有机融入到直流稳态电路分析、正弦交流稳态电路分析、电路瞬态特性的时域分析以及交流小信号电路的复频域分析等有关章节中,使电路分析方法的阐述以实际电路为载体,而对实际电路的分析又得到规范的电路分析方法的指导。

全书共 6 章,上册包含前 4 章内容。第一章讨论电路分析的模型;第二章给出电路分析的基本定理并对直流稳态电路进行分析;第三章对正弦交流稳态电路进行分析;第四章在时域中对线性瞬态电路进行分析,给出电路的时域响应。

本书可供高等学校本科电子信息类、电气类、自动化类专业作为“电路”课程教材使用,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析与电子线路基础. 上册 / 陈抗生编著.
—北京: 高等教育出版社, 2012.8

ISBN 978-7-04-034999-3

I. ①电… II. ①陈… III. ①电路分析-高等学校-教材 ②电子电路-高等学校-教材 IV. ①TM133
②TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 159722 号

策划编辑 杜 炜
责任校对 刁丽丽

责任编辑 杨 希
责任印制 韩 刚

封面设计 李卫青

版式设计 范晓红

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 高教社(天津)印务有限公司
开 本 787mm × 960mm 1/16
印 张 30
字 数 660 千字
书 号 ISBN 978-7-04-034999-3

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2012 年 8 月第 1 版
印 次 2012 年 8 月第 1 次印刷
定 价 43.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 34999-00

“电路原理”是电子科学技术及通信、计算机和控制等学科领域的核心基础课程，对本科教学有十分重要的作用。

目前，国内多数高等院校“电路原理”教材的主要内容，总体上还是依据20多年前拟定的“电路原理”教学大纲。而近20年来，电路发展极为迅速，尤其是指导集成电路发展的摩尔定律一直起作用，无线通信每6~8年就更新一代。电路技术的重大变革与进步，深深触动“电路原理”这门课的教学。近年来国内各高等院校都在对“电路原理”课程进行不同程度的改革，并出版了不同风格的“电路原理”教材，以适应市场对电路人才培养的需求。

陈抗生老师从事电子科学与技术教书育人工作近五十年，具有丰富的教学实践经验。浙江大学信息与电子工程学系，从2008年起组建电路类课程改革小组，他们从电路类课程重新设计这个高度着手对“电路原理”课程进行改革试验。方案之一，将现行电路原理课提升为模拟电路与数字电路并重的电路入门基础课，并将课程名称更名为“电路分析原理”，后又更名为“电路分析与电子线路基础”。据此方案编写的讲义先后经4次修改，并为四届同学试用，才总结本教材出版。本人以为这是一本深入浅出、触类旁通、适用于电子信息类大学本科教学的优秀教材。

本教材以下几方面的改革对“电路原理”课程的教学是很有启发的：

以当今商用电路分析软件广为采用的电路分析方法为主线，安排教学内容，使电路分析方法的教学以实际电路为载体，而对具体电路的教学，又有规范的电路分析方法指导，并将现行“电路原理”与“模拟电子技术基础”两门课，以及“数字电子技术基础”课电路级内容有机组合到一门课程中。这种课程整合的思路有利于精简电路类课程的教学时数，并提高后继课程的起点。

教材内容的选择，重点关注集成电路及其应用系统中的电路问题，强调数值分析方法在现代电路分析中的应用，课程一开始就将晶体管、运算放大器等作为电路基本元件介绍给读者以提高课程的起点，互连线作为一个电路元件处理，反映电流模电路的发展与应用，将模数转换、数模转换作为课程的一个重要知识点。教材内容的这种选择较好地反映了现代电路的发展。

强调对现代电路分析能力的培养，除了课堂教学、作业、考试等常规教学

环节外，还通过开展专题研究，培养学生的研究能力。教材编写考虑到专题研究这一教学环节，值得尝试。

实践证明，此书对“电路原理”课程的改革的确具有促进作用。《电路分析与电子线路基础》的出版，在“电路原理”教材的百花园中增添了一朵创新之花。

衷心希望有更多的不同风格的“电路原理”教材在“电路原理”教材的百花园中盛开。

教育部高等学校电子科学与技术专业教学指导分委员会副主任委员

浙江大学教授

2011年12月17日

通信系统、计算机系统、控制系统、电力系统、信号处理系统都是实际电气系统的重要分支。电路是这些系统的基础。工科,尤其电子信息类专业本科生要具备分析、研究、开发、应用、维护这些系统的能力。因此,在电子信息类专业本科教学中,电路类课程占有十分重要的地位。

目前国内与电子信息相关的专业,普遍设置“电路原理”、“模拟电子技术基础”与“数字电子技术基础”三门课。教材的主要内容是依据十几年前、甚至二十几年前拟定的教学大纲安排的。期间课程教学大纲也经几度修订,但就基本框架而言,实质性的变化不多。这些大纲纳入了近代电路的某些内容,对电路类课程教学起到了促进作用,得到广大教师和学生的欢迎。

这些年电路发展极为迅速,电路新思想、新技术不断涌现。指导集成电路发展的摩尔定律(每18个月电路的运算速度、存储密度翻一番)一直起作用,无线通信每6~8年就更新一代。这就要求电路类课程教学随电路技术的发展不断更新提高,以适应市场对电路人才培养的需求。因此目前国内各高等院校都在对电路类课程进行不同程度的改革。

对电路类课程教学的改革,一是在原有电路课程设置的框架下进行,二是进行课程的重新设计。本书编写者觉得,对课程的重新设计将使改革的步子迈得更大一些。

在浙江大学教务处、信息与电子工程学系以及竺可桢学院的关心支持下,根据对电路类课程进行重新设计的这一改革设想,浙江大学信息与电子工程学系于2008年成立了电路类课程改革小组,提出了对电路类课程进行重新设计的改革方案。方案之一,将现行的“电路原理”提升为模拟电路与数字电路并重的电路入门课,其内容涵盖现行“电路原理”与“模拟电子技术基础”两门课,以及“数字电子技术基础”课电路级的内容(如基本逻辑门电路、波形产生与整形电路、模数与数模变换电路),并将课程名称更名为“电路分析与电子线路基础”。鉴于“模拟电子技术基础”已融入到“电路分析与电子线路基础”课程中,将现行“模拟电子技术基础”提升为“射频与微波通信电路”课,以当今正在发展的第三代(甚至后三代)无线移动通信用户端(俗称手机)射频前端电路为主要内容组织教学。将“数字电子技术基础”提升为“数字电路与数

字系统设计”，且以数字系统设计为重点，从系统角度论述数字系统技术的方方面面，从数字系统技术体系的高度把握各种数字系统设计技术。在这个方案中最富有挑战性的是“电路分析与电子线路基础”课程改革的实施。

从2008年起，“电路分析与电子线路基础”课先后在浙江大学竺可桢学院混合班、信息与电子工程学系普通班四届同学中进行改革试验，取得较好的教学效果。“电路分析与电子线路基础”教材就是在四届同学所应用的讲义基础上修改而成的。

“电路分析与电子线路基础”教材的编写过程中着重考虑了以下几个问题。

1. 教材体系的确定

现行“电路原理”教材主要是从所分析电路的类型、采用的分析方法来组织的，教材的理论性、系统性较易体现，但处理不好，使读者感到电路很抽象，不好学。“模拟电路”、“数字电路”类教材则是按电路实现的应用功能组织的。理论结合实际较易解决，但处理不好，会使读者感到分析处理电路的技巧不易把握，难学。

本书以当今商用电路分析软件广为采用的电路分析方法，如修正节点分析（Modified Nodal Analysis, MNA）方法等为主线，安排教学内容。这就是说，教材的框架按电路分析采用的方法来构建，而将具体的模拟电路、数字电路有机融入到各类电路分析方法中。这种安排的好处是，使电路分析的教学以实际电路为载体，不抽象，好理解。而对具体电路的教学，在规范的电路分析方法指导下，容易掌握。

2. 学生能力培养的定位

通过“电路分析与电子线路基础”课程学习，从能力培养角度看，其定位是：培养学生初步具有作为一个电路工程师必须具备的对现代电路进行分析与研究的能力。可从两个方面检测：

从电路分析方法的角度看，具有线性时不变直流电路（或直流稳态电路）的分析、研究能力；正弦稳态情况下，线性时不变电路的分析、研究能力，尤其是频率响应与功率、能量的分析能力；线性电路时域瞬态分析的能力，即在不同输入波形作用下，在时域中确定线性电路响应的能力；交流小信号情况下，复频域中线性电路的分析能力，尤其是关于用系统函数分析、研究电路频率响应与稳定性的能力；非线性电路的分析能力，主要限于确定晶体管直流工作点的能力，交流大信号情况下非线性电路的分析能力。

从所分析电路的功能角度看，具有对模拟集成电路的基本单元电路、反馈放大器电路、差分放大器电路，以及互连线的分析能力；对运算放大器、电流

差分缓冲放大器、电流差分跨导放大器及其基本应用电路的分析能力；对滤波器电路、振荡器电路分析的能力；对正弦交流稳态电路、三相电路的分析能力；对开关电容滤波电路、CMOS 逻辑门电路、脉冲波形的产生与处理电路、模数转换与数模转换电路的分析能力。

3. 教材内容具体选择的依据

(1) 近 40 年推动电路理论与应用研究的主要动力源自集成电路发展的需要，集成电路广泛应用于电气系统的各个方面，集成电路及其应用系统中的电路问题应当成为“电路分析与电子线路基础”课程关注的重点。

(2) 业已发展了多种电路分析方法，电路分析软件 Spice、ADS，无论在科学研究、还是在电路产品开发中都得到广泛应用，这类商品电路软件中应用的电路分析方法应当在“电路分析与电子线路基础”课程中得到优先推荐。这些软件都是基于数值分析的，电路的数值分析方法在电路分析中应当得到充分的反映。

(3) 晶体管是电路中最富有活力的电路元件，从课程一开始就将晶体管、运算放大器等作为电路基本元件介绍给读者，就可以大大提高“电路分析与电子线路基础”课程的起点。

(4) 电路的互连是集成电路及其应用系统中尚未彻底解决的一个重要问题。互连线作为一个电路元件处理，对提高实际电路问题的分析研究能力很重要。

(5) 较之比较成熟的电压模电路，最近发展的电流模电路在带宽与提高电路工作频率方面有明显的优势，“电路分析与电子线路基础”对电流模电路要有充分的反映。

(6) 随着数字技术的发展，模数转换、数模转换电路的应用越来越普遍，模数转换、数模转换电路应当成为“电路分析与电子线路基础”课程的一个重要知识点。

4. 研究性的教与研究性的学，重视电路实践

电路类课程具有很强的应用性。培养学生对现代电路进行分析与研究的基本能力是“电路分析与电子线路基础”课程教学的根本。本书编写者在近四年“电路分析与电子线路基础”课程改革试验过程中，紧紧抓住“专题研究”这个牛鼻子，进行研究性的教与研究性的学，对提高同学分析研究实际工程电路问题的能力，收到了很好的效果。为适应研究性的学，教材适当“厚”了一点，同时编写了与本教材配套的电子版参考资料，供同学深入研究之用。

为减轻同学的负担，本书对具体电路的分析重在电路模型的构建，并依据电路模型列写电路方程，方程的求解鼓励学生借助 MATLAB 工具，减少学生完成课程作业方面的时间，使学生有更多的精力用于专题研究。

与“电路分析与电子线路基础”课配套的“电路分析与电子线路基础实验”

课也作了相应的改革，根据实际工程应用要求，以实际工程电路的研发为例，使学生得到从电路参数确定、方案选择、版图设计、仿真、电路制作到最终调试的全过程训练。这种训练与实际工程电路的开发接轨。

鉴于以上一些考虑，本书共设六章，分上、下两册，简要介绍如下。

第一章“电路——实际电气系统的数学模型”，在简要介绍诸多电气元件怎样互连成一个实际电气系统，以及电压、电流、能量、功率等基本概念后，就讨论了构成电路模型的“砖瓦”——理想基本电路元件，在此基础上，着重讨论电路元件的电路模型，尤其晶体管与运算放大器、电流差分缓冲放大器、电流差分跨导放大器的电路模型。

第二章“电路基本定理与直流稳态电路分析”，首先介绍了电路分析的基本方程，即基尔霍夫电压定律、基尔霍夫电流定律。在直流稳态情况下只是电阻起作用。直流稳态电路分析方法也是分析其他电路的基础，因此直流稳态电路分析在本书中占有重要地位。本章在介绍多种传统的建立电路方程方法与电路定理的基础上，重点介绍修正节点电位分析 (Modified Nodal Analysis, MNA) 建立电路方程的方法。讨论了计算机如何根据电路拓扑结构建立网表，如何根据网表列写电路方程，还简要讨论了数值计算的误差与稳定性。基于运算放大器、电流差分缓冲放大器、电流差分跨导放大器的诸多电路，如反相放大器、同相放大器、加法器、减法器、乘法器等基本电路，在本章最后作了讨论。

第三章“正弦交流稳态电路的分析”，引入相量变换以及阻抗等概念后，将直流稳态电路分析方法推广到用来分析正弦交流稳态电路。电力系统最常见的电路就工作于正弦稳态情况，本章结合正弦交流稳态电路的分析，对正弦交流电路、三相交流电路的功率与效率、变压器以及 RLC 电路的频率响应作了分析。本章还将正弦稳态电路的分析方法推广到传输线的分析，并对电路网络的基本概念以及电路的网络分析作了介绍。本章最后对回转器、负阻抗变换器以及电感模拟器作了简要介绍。

第四章“电路瞬态特性的时域分析”，在简要介绍换路定则、电路响应分解的基础上，重点讨论了以 MNA 为基础的时域瞬态分析的理论与技术。较深入地讨论了后向欧拉一步积分近似在 MNA 中的应用，讨论了它的误差与稳定性。此外本章还讨论了基于状态方程的电路分析方法，以及基于时域差分的电路瞬态分析方法。基于时域差分的电路瞬态分析方法是近十年才发展起来的。本章对电路的分析主要针对数字电路的应用。除了一般的分析在阶跃-斜坡函数作用下电路的瞬态响应外，还专门对开关电容滤波电路、CMOS 逻辑门电路、波形产生与整形电路、A/D 变换与 D/A 变换电路进行了讨论。

下册第五章“交流小信号电路的复频域分析”，从拉普拉斯变换与 z 变换引入电路的复频域分析，以及用系统函数分析电路的基本概念。本章针对模拟电

路的应用,从晶体管的偏置电路开始,围绕系统函数,重点讨论了单级放大器、反馈放大器、差分放大器、运算放大器、电流差分缓冲放大器、电流差分跨导放大器、滤波器、振荡器,以及过取样级的数据转换等电路。

下册第六章“非线性电路分析”,主要针对直流与交流大信号两种情况下的非线性电路。对于交流大信号情况下的非线性电路重点介绍了谐波平衡分析法。这种分析方法在具体电路分析中的应用本章没有展开,留到后继课程中进行。

作为本书(含上、下册)的基础,“电路分析与电子线路基础”讲义在试用的过程中,无论是混合班同学,还是普通班同学,对“电路分析与电子线路基础”课程改革都很理解、支持,学习积极性高。编写者以每周4学时,共计64学时讲完此稿,收到较好的教学效果,但学生的自学时间比一般课程要多一些。如果课时安排容许,能增加16到32学时,使学生有更多时间进行专题研究,对研究能力的培养更有利。

PPT形式的电子教案,Matlab解题指导,以及其他辅助阅读资料可从浙江大学课程网站下载。

本书承浙江大学严晓浪教授作序,在此对严老师多年来对“电路分析与电子线路基础”课程改革的大力支持深致敬意。

本书承浙江大学倪光正教授、华南理工大学殷瑞祥教授审阅,他们对本书初稿提出了许多重要的修改意见。在此向他们深致谢忱与敬意。

高等教育出版社刘激扬、吴陈滨、杜炜等一直关心“电路分析与电子线路基础”课程的改革与教材建设,在此也致以深深的谢意。

本书编写过程中得到浙江大学信息工程学院王慧教授、谢依玲科长,信息与电子工程学系章献民教授、杨冬晓教授、杨建义教授,吴叶飞科长,电子信息技术与系统研究所金晓锋教授、沈会良教授,李志能教授,微电子与光电子研究所江晓清教授,超大规模集成电路设计研究所何乐年教授,电气学院王小海教授,竺可桢学院周永明科长,教务处谢桂红副处长等的大力支持,在此表示真诚的谢意。感谢王勇、周金芳、史治国、吴锡东博士,银芳高级工程师,以及顾为民对本书撰写过程中给予的帮助与支持。感谢洪少华、陈俊丰、鲍迎、金梦珺、任晓祎、王先锋等研究生对本书撰写的关心,感谢赵鲁豫、赵聪、刘子辉、沈鑫、熊东亮、姚天晟、刘胡世阳、戴萧荷等同学对本书初稿提出的意见和建议。本书大部分例题的数值计算由研究生王先锋完成,本书初稿的打印、编排由王锴波完成,在此一并表示谢意。

最后感谢我的家人对本书撰写的支持。

编者

2012年3月于浙江大学

一、电压和电流符号规则，以漏极电流为例

1. i_D 小写字母，大写下标，表示漏极电流含有直流的总瞬时值
2. I_D 大写字母，大写下标，表示漏极直流电流
3. i_d 小写字母，小写下标，表示漏极电流交流分量
4. \dot{I}_d 正弦漏极电流的相量表示

二、常用基本符号

1. 电压

V, v	电压通用符号
v_s, v_i, v_{in}	信号源电压，输入信号电压
v_o, v_{out}	输出信号电压
V_{DD}, V_{CC}	正电源电压
V_{SS}, V_{EE}	负电源电压
V_{GG}, V_{BB}	栅极、基极偏置电压
V_{Th}	戴维宁电压
v_d	差模电压
v_{cm}	共模电压
v_p, v_n	集成运放同相、反相输入电压

2. 电流

I, i	电流通用符号
i_s, i_i, i_{in}	信号源电流，输入信号电流
i_o, i_{out}	输出信号电流
I_{DD}, I_{CC}	正电源静态电流
I_{SS}, I_{EE}	负电源静态电流
I_L, i_L	负载电流
i_F, i_f	反馈电流

3. 功率

P, p	功率通用符号
P_i, P_{in}	输入信号功率
P_o, P_{out}	输出信号功率
P	平均功率，实功率

Q	无功功率, 虚功率
S	视在功率
\bar{S}	复功率
4. 电阻、电容、电压及阻抗	
R, r	电阻通用符号
G, g	电导通用符号
R_s, R_i, R_{in}	信号源内阻、输入电阻
R_o, R_{out}	输出电阻
R_L	负载电阻
R_{Th}	戴维宁电阻
5. 增益	
G, A, μ	通用增益符号
G_v, G_i	电压、电流增益
G_r, G_g	互阻、互导增益
G_f	反馈放大电路的增益
β	反馈系数
6. 频率	
f, ω	频率、角频率通用符号
f_H, f_L	放大电路的上限、下限截止频率
BW	通频带
$BW _{3\text{dB}}$	3 dB 带宽
f_p, f_z	极点, 零点频率
f_s	采样频率
f_o	振荡频率, 中心频率
三、器件参数符号	
D, D_Z	二极管, 稳压二极管
M	MOS 场效应管
T	BJT 晶体管
V_{BR}	二极管反向击穿电压
V_T	热电压
V_{TN}, V_{TP}	N 沟道、P 沟道场效应管阈值电压
V_A	厄尔利电压
λ	波长, 基区宽度调制系数, 沟道长度调制系数
I_S	二极管反向饱和电流

I_{ES}	晶体管发射结反向饱和电流
r_{be}	BJT 输入电阻
$r_{bb'}$	BJT 基区体电阻
$r_{b'e}$	BJT 发射结反映到输入端电阻
r_{ce}	BJT 的输出电阻
r_{ds}	场效应管的输出电阻
c_{bc}, c_{be}	BJT 混合 π 等效电路中集电结、发射结等效电容
c_{gs}, c_{gd}, c_{ds}	场效应管栅源、栅漏、漏源间的等效电容
C_B, C_D	势垒电容与扩散电容
C_j	结电容
C_{ox}	单位面积的栅极电容量
α	BJT 共基极电流放大系数
β	BJT 共发射极电流放大系数
n, p	电子浓度, 空穴浓度
W, L	沟道宽度、长度
N_a, N_d	受主、施主杂质浓度
μ_n, μ_p	电子、空穴的迁移率
D_n, D_p	电子、空穴的扩散系数
K_n	场效应管导电因子
g_m	跨导

四、其他符号

D/A, DAC	数模转换器
A/D, ADC	模数转换器
T	温度、周期
t	时间
j	电流密度
Φ, φ	电位, 相位角
Q	静态工作点
Q, q	电荷量
τ	时间常数
S	面积
θ	相角, 导通角
k	玻尔兹曼常数
K	热力学温度的单位 (开尔文)

第一章 电路——实际电气系统的数学模型	1
1.1 电气元件的互连方式	3
1.2 电压和电流	9
1.2.1 电压与电流, 能量与功率	9
1.2.2 电压、电流在时域与频域中的表示	12
1.3 理想基本电路元件	16
1.3.1 理想基本电路元件的定义	17
1.3.2 理想基本电路元件的数学表示及其特性	19
1.4 实际电阻、电容、电感、电源与互连线的电路模型	28
1.4.1 实际电阻、电容、电感与电源的电路模型	28
1.4.2 互连线的电路模型	34
1.5 PN 结及 PN 结二极管的等效电路模型	39
1.5.1 PN 结与 PN 结二极管	39
1.5.2 PN 结与 PN 结二极管的等效电路模型	48
1.6 场效应晶体管及其等效电路模型	50
1.6.1 N 沟道增强型 MOSFET 的结构及其工作特性	50
1.6.2 N 沟道增强型 MOSFET 的电路模型	56
1.6.3 N 沟道耗尽型、P 沟道增强型与 P 沟道耗尽型 MOSFET 简介	65
1.7 双极型晶体管及其等效电路模型	67
1.7.1 NPN 型晶体管结构及其工作特性	67
1.7.2 NPN 型晶体管的电路模型	74
1.8 运算放大器 (Op Amps)、电流差分缓冲放大器 (CDBA) 与电 流差分跨导放大器 (CDTA) 的电路模型	82
1.8.1 运算放大器及其等效电路模型	83
1.8.2 电流差分缓冲放大器及其等效电路模型	85
1.8.3 电流差分跨导放大器及其等效电路模型	86
1.9 受控电压源与受控电流源	88
习题一	89

第二章 电路基本定理与直流稳态电路分析	94
2.1 基尔霍夫电压、电流定律	95
2.1.1 基尔霍夫电流定律 (KCL)	96
2.1.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)	97
2.1.3 电路可以列写的独立方程数目与支路电流法	100
2.2 电阻电路的简化	102
2.2.1 电阻的串联与并联	102
2.2.2 Δ -Y 变换 (或 π -T 变换)	109
2.2.3 实际电源两种模型的等效变换	112
2.3 网孔电流法和结点电压法	114
2.3.1 网孔电流法	114
2.3.2 结点电压法	119
2.3.3 回路电流法与结点电压法比较	129
2.4 基于修正结点分析 (MNA) 列写包含受控源的电路方程	131
2.4.1 受控源列写电路方程的矩阵模板	131
2.4.2 运算放大器、电流差分缓冲放大器与电流差分跨导放大器列写 电路方程的矩阵模板	137
2.4.3 电阻电路方程的一般形式	143
2.5 电阻电路的数值分析	145
2.5.1 高斯消元法	145
2.5.2 LU 分解法	149
2.5.3 数值计算中应注意的几个问题	153
2.6 叠加定理、特勒根定理与互易定理	157
2.6.1 叠加定理	158
2.6.2 特勒根定理与互易定理	162
2.7 替代定理、戴维宁定理与诺顿定理	166
2.8 基于运算放大器、电流差分缓冲放大器与电流差分跨导放大器的 部分应用电路举例	174
2.8.1 基于运算放大器的应用电路举例	174
2.8.2 基于电流差分缓冲放大器与电流差分跨导放大器的乘法/除法 运算电路	190
习题二	193
第三章 正弦交流稳态电路的分析	204
3.1 正弦交流稳态电路的特点	204
3.2 相量与相量变换	207

3.3	正弦激励下电路稳态响应的相量分析	212
3.4	正弦稳态电路的功率	223
3.5	三相电路	234
3.6	<i>RLC</i> 电路的频率响应	244
3.7	互感与变压器	258
3.7.1	互感与互感电路的分析	258
3.7.2	变压器	269
3.7.3	集成式变压器	274
3.8	传输线的频域分析	276
3.8.1	传输线的等效电路模型、传输线方程及其解	277
3.8.2	负载的影响	286
3.9	电路特性的网络分析	294
3.9.1	电路网络特性的矩阵表示	295
3.9.2	网络的互连	301
3.10	回转器、负阻抗变换器与电感模拟器	311
3.10.1	回转器	311
3.10.2	负阻抗变换器	314
3.10.3	基于电流控制电流差分跨导放大器的电感模拟器	317
	习题三	319
第四章	电路瞬态特性的时域分析	328
4.1	换路定则与初始条件	330
4.2	电路时域响应的分解与卷积积分	335
4.2.1	电路的零输入响应与零状态响应	335
4.2.2	任意输入下的零状态响应(卷积积分)	342
4.3	基于修正结点分析法在时域中列写电路方程	344
4.3.1	按修正结点分析法在时域中列写电路方程	344
4.3.2	基于运算放大器的积分与微分电路	351
4.4	时域中按修正结点分析法列写的电路方程的数值分析	356
4.4.1	一步积分近似	356
4.4.2	由前一时刻电压、电流确定后一时刻电压、电流的电路方程	359
4.4.3	微带结构互连线的瞬态响应	363
4.4.4	一步积分近似的误差与稳定性	369
4.5	状态方程及其时域分析	373
4.5.1	状态方程的标准形式及列写状态方程的方法	373
4.5.2	从修正结点分析方程到状态方程	379

4.5.3	状态方程的解	381
4.6	基于时域有限差分的电路分析方法	383
4.6.1	延迟插入法 (LIM)	383
4.6.2	延迟插入法与修正结点分析法相结合的方法	388
4.7	开关电容电路	392
4.7.1	开关电容等效电阻	393
4.7.2	开关电容积分器的输入-输出关系	396
4.7.3	基于 MNA 分析开关电容电路	401
4.8	CMOS 逻辑门电路	406
4.8.1	逻辑门电路基本概念	406
4.8.2	CMOS 反相器	408
4.8.3	基于 CMOS 反相器的逻辑门电路	418
4.8.4	锁存器	421
4.9	基于 555 定时器的脉冲波形产生与整形	425
4.10	数模转换器 (DAC) 和模数转换器 (ADC)	432
4.10.1	数模转换器 (DAC)	433
4.10.2	模数转换器 (ADC)	436
	习题四	444
	部分习题参考答案	451
	参考文献	458