

Mc  
Graw  
Hill  
Education



国外名校最新教材精选

# 模拟CMOS集成电路设计

Design of Analog CMOS Integrated Circuits

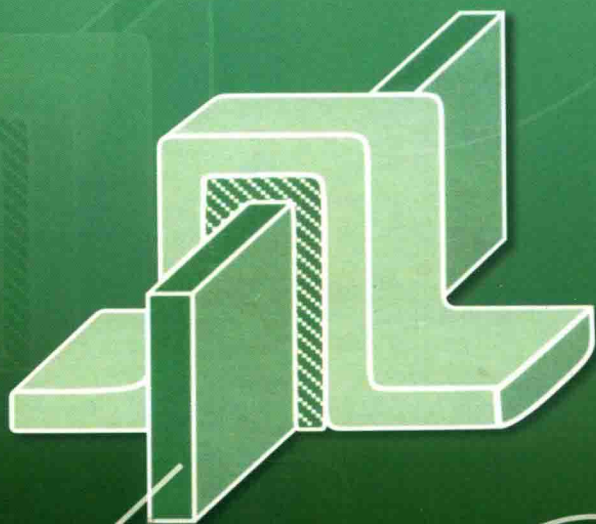
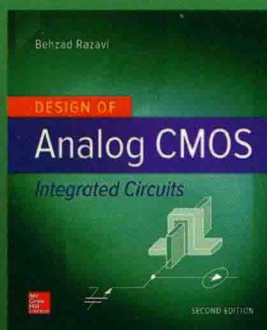
[美] 毕查德·拉扎维 (Behzad Razavi) 著

陈贵灿 程 军 张瑞智 张 鸿 译

陈贵灿 审校

第2版

Second Edition



西安交通大学出版社  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

Mc  
Graw  
Hill  
Education

 国外名校最新教材精选

Design of Analog CMOS Integrated Circuits

(Second Edition)

# 模拟 CMOS 集成电路设计

(第 2 版)

[美] 毕查德·拉扎维 著

**Behzad Razavi**

Professor of Electrical Engineering  
University of California, Los Angeles

陈贵灿 程军 张瑞智 张鸿 译

陈贵灿 审校



西安交通大学出版社

Xi'an Jiaotong University Press

**DESIGN OF ANALOG CMOS AND INTEGRATED CIRCUITS, SECOND EDITION**

By Behzad Razavi

ISBN: 978-0-07-252493-2

Copyright © 2017 by McGraw-Hill Education.

版权所有。未经出版人事先书面许可,对本出版物的任何部分不得以任何电子或机械的方式或途径复制或传播,包括但不限于复印、录制、录音,或通过任何数据库、信息或可检索的系统。

本授权中文简体字翻译版由麦格希(亚洲)教育出版公司和西安交通大学出版社合作出版。此版本经授权仅限在中华人民共和国大陆地区(不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾)销售。

版权© 2018 由麦格希(亚洲)教育出版公司与西安交通大学出版社所有。

本书封面贴有 McGraw-Hill Education 防伪标签,无标签者不得销售。

陕西省版权局著作权合同登记号:25-2017-0001

---

**图书在版编目(CIP)数据**

模拟 CMOS 集成电路设计:第 2 版/[美]毕查德·拉扎维(Behzad Razavi)著;  
陈贵灿等译.—2 版.—西安:西安交通大学出版社,2018.11

书名原文:Design of Analog CMOS Integrated Circuits(Second Edition)

ISBN 978-7-5693-0992-8

I. ① 模… II. ① 毕… ② 陈… III. ① CMOS 电路-电路设计 IV. ① TN432.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 258595 号

---

书 名 模拟 CMOS 集成电路设计(第 2 版)  
原 著 者 [美]毕查德·拉扎维(Behzad Razavi)  
译 者 陈贵灿 程 军 张瑞智 张 涛  
责任编辑 贺峰涛

---

出版发行 西安交通大学出版社  
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)

网 址 <http://www.xjtpress.com>

电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)  
(029)82668315(总编办)

传 真 (029)82668280

印 刷 陕西宝石兰印务有限责任公司

---

开 本 787 mm×1092 mm 1/16 印 张 47 字 数 1131 千字

版次印次 2018 年 12 月第 2 版 2018 年 12 月第 1 次印刷(总第 22 次印刷)

书 号 ISBN 978-7-5693-0992-8

定 价 138.00 元

---

读者购书、书店订货或发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82668357 82667874

投稿电话:(029)82665380

读者信箱:banquan1809@126.com

版权所有 侵权必究

## 第 2 版译者序

---

本书第 1 版的中文翻译,在过去的 14 年中,进行了 20 次印刷,共发行了 7 万多册。该书在学生、工程师和教师中产生了强烈的反响,他们从该经典教材中受益,对该书给予了很高的评价。该书的显著特点是,以直观和易懂的语言逐步地使读者理解模拟设计中许多重要的和难以理解的概念。

本书的第 2 版增加了一些新的专题。例如:低电压纳米 CMOS 设计(新的一章),纳米设计中需注意的侧边栏小贴士,采用波特和米德布鲁克的技术对反馈系统的分析,关于奈奎斯特稳定性理论及其应用和低压带隙电路等。此外,作者对第 1 版的内容全面地进行了认真修改和大量补充,使其更加全面、充实与完善。尤其是前 11 章中,每一页几乎都进行了内容方面的补充和修改。增加了许多论题和数学表达式的推导,以及直观分析的物理意义和结论,增加了 100 多道例题。同时,增加了许多关于模拟电路分析与设计的新鲜观点,例如晶体管可以变换电阻。新增内容所包含的中文字数约 25 万字。

在第 1 版翻译的基础上,本书第 2 版的翻译工作分工如下:张瑞智,第 1~5 章;陈贵灿,第 6~9 章、索引和前言等;张鸿,第 10~13 章;程军,第 14~19 章。全书由陈贵灿组织翻译和审校。参与第 1 版翻译的各位同事曾做了大量工作。原书作者拉扎维对本书的翻译给予了帮助,书中“译者注”的修改意见均得到了他的同意。西安交通大学出版社贺峰涛副编审为本书的出版付出了辛勤的劳动。在此对他们表示衷心的感谢。

由于译者水平所限,译文中难免有错误和不当之处,敬请读者批评指出。

译者

于西安交通大学微电子学院

2017 年 7 月

# 第 1 版译者序

---

集成电路已发展到系统级芯片(SoC)的阶段。随着 CMOS 工艺的进步,由于 CMOS 电路的低成本、低功耗以及速度的不断提高,由于 CMOS 模拟电路设计技术的不断进步,CMOS 技术已被证明是实现 SoC 的最好选择。模拟电路是 SOC 中不可缺少的部分。由于器件尺寸不断缩小和低电源电压、低功耗等要求,模拟 CMOS 集成电路设计在不断地发展,在 SoC 中变得越来越重要。

本书是加州大学洛杉矶分校(UCLA)的新教材。该书组织严谨,内容丰富,循序渐进。在阐述原理和概念时,由浅入深、逐步分析。模拟电路设计需要直观、严密和创新。在阐述各种模拟电路的改进和新电路结构的产生时,着重观察和分析,不断地提出问题和解决问题,重视这三方面素质的培养。

本书由陈贵灿组织翻译和审校。参加本书翻译工作的有:陈贵灿、张瑞智、程军、李恩玲、潘锐、张凌云、杨抗、宁勃、宋红花、王金富、郝大明、刘劫。王法祥和李宁参与了部分整理工作。在本书的翻译工作中,周光父教授给予了许多帮助,西安交通大学出版社赵丽萍编审和白居宪编审在组织出版和编辑工作中给以了很大的支持,对他们表示衷心的感谢。

原书作者在本书的翻译过程中给予了支持和帮助,并专门为中译本写了前言。在此,对拉扎维教授表示衷心的感谢。

译者

于西安交通大学微电子研究所

2002 年 10 月

## 第 2 版前言

---

当我向出版社提交本书第 1 版的出版申请时,他们曾向我提出两个问题:(1)在数字世界中,模拟书籍的未来需求会怎样;(2)出版一本只研究 CMOS 的书是明智的吗?书名中的“模拟”和“CMOS”均有问题。

庆幸的是,该书在学生、教师和工程师中产生了强烈的反响,已被全世界几千所大学采用,被翻译成 5 种语言,被引用 6500 次。

本书第 1 版问世以来,尽管模拟设计的许多基本原理并没有变化,但以下原因要求出版第 2 版:CMOS 技术向更精细的尺寸和更低的电源电压转移;分析与设计的一些新方法;某些专题需要更详细地进行讨论。本书第 2 版提供以下新内容:

- 更强调现代 CMOS 技术,最终形成了新的一章(第 11 章)。更注重在纳米工艺条件下的设计方法,并逐步地进行运算放大器设计。
- 通过波特(Bode)方法和米德布鲁克(Middlebrook)方法对反馈进行扩展学习。
- 增加了采用奈奎斯特方法分析稳定性的一节。因为在某些普通系统中,常采用的波特方法有所欠缺。
- 鳍栅场效应晶体管(FinFETs)的分析。
- 增加了许多侧栏小贴士,强调纳米设计中的重点。
- 增加了关于偏置技术的一节。
- 低压带隙电路的学习。
- 增加了 100 多道例题。

一些教师提问,本书的叙述为什么以平方律的器件开始。这两个原因:(1)这种方式可作为直观切入点,依据允许的电压摆幅对放大器的分析具有极大的价值;(2)16 nm 及更低的工艺节点中所采用的鳍栅场效应晶体管,尽管其沟道长度很短,呈现出的特性仍接近平方律。

本书附有解答手册和一组新的 PPT 幻灯片,可访问 [www.mhhe.com/razavi](http://www.mhhe.com/razavi)。

毕查德·拉扎维  
2015 年 7 月

# 第 1 版前言

---

在过去的 20 年间,CMOS 技术已经迅速地包括了模拟集成电路,因而提供了低成本、高性能的 CMOS 产品,这些产品已一跃而主宰了市场。尽管硅的双极器件和 III-V 族化合物器件仍然找到了适合它们的应用范围,但对于今天的复杂的混合信号系统,CMOS 技术已经表现出是最好的选择。如果沟道长度能缩小到  $0.03\ \mu\text{m}$ ,那么对于电路设计,CMOS 技术也许还有 20 年的工作寿命。

模拟电路设计本身也在技术上得到了发展。包含几十个晶体管、处理小的连续时间信号的高电压、大功耗的模拟电路,已经逐渐被低电压、低功耗的系统替代,而这些系统由几千个器件组成,且能处理大的、多数是离散时间的信号。例如,十年前采用的许多模拟技术,由于不能在低电压下工作已经被淘汰。

本书讨论模拟 CMOS 集成电路的分析与设计,既着重基本原理,也着重于学生和工程师需要掌握的现代工业中新的范例,由于模拟(电路)设计既需要直觉又要求严密,每个概念首先从直观开始引入,然后逐步地进行仔细分析。其目的是,既要建立坚实的基础,又要通过观察来逐步掌握分析电路的方法,使读者学习到:在哪些电路中,能使用的什么样的近似方法;在每种近似方法中有多大的预期误差。这种方法也可使读者毫不费力地把这些概念运用到双极电路中。

在加州大学洛杉矶分校(ULCA)和工业界的教学中,我已讲授了本书的大部分内容,并在每次讲授中,对讲授的顺序、形式和内容均进行了加工整理。读者在全书中将可以看到,我在写书(以及授课)中遵循 4 条“金科玉律”:(1) 我要说明:读者为什么要懂得所学习的概念;(2) 设身处地地为读者设想,他们第一次读到这些内容时,可能会遇到什么问题;(3) 考虑到第二条规则,设想自己与初学者处于同一认识水平,并与他们一起,逐步由浅入深地分析、“增长”知识,因而在学习过程中与他们有同样的体验;(4) 以通俗(甚至是不精确的)的语言从基础的概念开始,然后逐渐增加必要的修改,得到最终的(精确的)概念。最后一条规则在

讲授电路中特别重要,因为它能使读者观察到一种电路结构的改进,因而既可学习分析,又可学习综合。

本书包含 18 章,其内容和顺序经过认真选择和安排,衔接自然,适于自学和短学期(季度)或长学期(半年)的课堂教学。与一些其它的模拟设计的书不同,本书在开始时仅包括了起码的最少量的 MOS 器件物理,而更多的高阶特性和制造细节留到了后面的各章。对专家而言,这简单的器件物理处理也许显得过于简单,但我的经验表明以下三点:(a) 初学者在学习电路之前,难以吸收器件的高阶效应和制造技术的内容,因为他们不会注意电路与这些内容之间的关联;(b) 如果适当地对它们作一点介绍,即使是简单处理也被证明是适用于大范围的基本电路;(c) 读者在学习了大量的电路分析和设计之后,再学习高阶现象和工艺步骤会容易得多。

第 1 章向读者介绍学习本书的意义。

第 2 章阐述 MOS 器件的基本物理原理和工作原理。

第 3 章至第 5 章分别讨论单级和差动级放大器以及电流镜。通过观察对基本电路性能的量化建立有效的分析工具。

第 6、7 章介绍电路的二个非理想性,即频率响应和噪声。噪声在输入的第一级就进行处理,使读者在考虑噪声在后续级的影响时,“容易理解”。

第 8 章至第 10 章分别阐述反馈、运放和反馈系统中的稳定性。利用所分析的反馈的有益特性,读者可以设计出高性能、稳定的运放,并学会在速度、精度和功耗之间进行折衷考虑。

第 11 章至第 13 章讨论更高级的课题:带隙基准、初级开关电容电路以及非线性和失配的影响。这里研究这三个课题,是因为在现代的大多数模拟系统和混合信号系统中,它们被证明是基本的内容。

第 14 章和第 15 章集中研究振荡器和锁相环的设计。由于这些电路的广泛应用,这里提供了关于它们性能的详细研究和它们的工作原理的许多实例。

第 16 章涉及 MOS 器件的高阶效应及其模型,侧重有关电路设计的结论。如果读者愿意,也可以在第 2 章之后直接学习这一章。第 17 章阐述 CMOS 制造工艺并对版图设计规则进行了简述。

第 18 章介绍模拟电路和混合信号电路的版图和封装。阐述了许多直接影响电路性能的实际问题,介绍了许多解决这些问题的不同的技术。

本书的读者,应具备电路和器件的基础知识,例如,pn 结、小信号工作的概念、等效电路和简单的偏置。对于高年级的选修课程,在短学期中可讲授第 1 章至第 8 章;在长学期中可讲授第 1 章至第 10 章。对于一年级的研究生课程,一季度可讲授第 1 章至第 11 章,外加第 12 章至第 15 中的一章;半年可讲授前 16 章。

每章后面的习题用来扩展读者对内容的理解以及以附加的实际问题对内容进行补充。

毕查德·拉扎维

2000 年 7 月



## 第 2 版致谢

---

本书的第 2 版接受了学术界和工业界的大量个人的热情和细致的审阅。我很高兴地感谢他们对本书的贡献。他们是：

Saheed Adeolu Tijani (意大利帕维亚大学)  
Firooz Aflatouni (美国宾夕法尼亚大学)  
Pietro Andreani (瑞典隆德大学)  
Emily Allstot (美国华盛顿大学)  
Tejasvi Anand (美国伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校)  
Afshin Babveyh (美国斯坦福大学)  
Nima Baniasadi (美国加州大学伯克利分校)  
Sun Yong Cho (韩国首尔国立大学)  
Min Sung Chu (韩国首尔国立大学)  
Yi-Ying Cheng (美国加州大学洛杉矶分校)  
Jeny Chu (美国加州大学洛杉矶分校)  
Milad Darvishi (美国高通公司)  
Luis Fei (美国英特尔公司)  
Andrea Ghilioni (意大利帕维亚大学)  
Chengkai Gu (美国加州大学洛杉矶分校)  
Payam Heydari (美国加州大学欧文分校)  
Cheng-En Hsieh (中国台湾大学)  
Po-Chiun Huang (中国台湾清华大学)  
Deog-Kyoon Jeong (韩国首尔国立大学)  
Nader Kalantari (美国博通公司)  
Alireza Karimi (美国加州大学欧文分校)  
Ehsan Kargarán (意大利帕维亚大学)  
Sotirios Limotyrakis (美国高通创锐讯公司)  
Xiaodong Liu (瑞典隆德大学)  
Nima Maghari (美国佛罗里达大学)  
Shahriar Mirabbasi (加拿大不列颠哥伦比亚大学)  
Hossein Mohammadnezhad (美国加州大学欧文分校)  
Amir Nikpaik (加拿大不列颠哥伦比亚大学)

Aria Samiei (美国南加州大学)

Kia Salimi (比利时微电子研究中心)

Alireza Sharif-Bakhtiar (加拿大多伦多大学)

Guanghua Shu (美国伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校)

David Su (美国高通创锐讯公司)

Siyu Tan (瑞典隆德大学)

Jeffrey Wang (加拿大多伦多大学)

Tzu-Chao Yan (中国台湾交通大学)

Ehzan Zhian Tabasy (美国德州 A&M 大学)

此外,我的同事 Jason Woo 向我解释了关于纳米器件及其物理的许多问题。我要感谢以上所有的人。

我要感谢麦格劳-希尔出版公司(McGraw-Mill)的 Heather Ervolino 和 Vincent Bradshaw,在六个月的编辑中,他们不辞辛劳地注意书中的每一个细节。

最后,我要感谢我的夫人 Angelina,她不断地帮助我键入文字和组织各章节的内容。

# 第 1 版致谢

---

写书伊始的心情是非常兴奋的。然而经历了两年不懈的写作、绘图和修改之后,当全书超过 600 页,并且几乎不可能使书的最后 1 章和第一章的公式、下标、上标达到一致时,作者本人开始感到近乎有些疯狂,因此认识到,若没有众多其他人士的支持,此书将永远无法完成。

此书得益于许多人的帮助。加州大学洛杉矶分校的许多同学逐字逐句地阅读了手稿和试用版。特别是 Alireza Zolfaghari、Ellie Cijvat,以及 Hamid Rafati 仔细地阅读了此书并发现了许多错误(有些是难以捉摸的)。并且,Emad Hegazi,Dawei Guo,Alireza Razzaghi,Jafar Savoj,Jing Tian 对许多章节提出了有益的建议。我向他们表示感谢。

学术界和工业界的很多专家阅读了此书的诸多章节,提出了宝贵的反馈意见。这其中包括 Brian Brandt(美国国家半导体公司),Matt Corey(美国国家半导体公司),Terri Fiez(美国俄勒冈州立大学),Ian Galton(美国加州大学圣地亚哥分校),Ali Hajimiri(美国加州理工学院),Stacy Ho(美国模拟器件公司),Yin Hu(美国德州仪器公司),Shen-Iuan Liu(中国台湾大学),Joe Lutsky(美国国家半导体公司),Amit Mehrotra(美国伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校),David Robertson(美国模拟器件公司),David Su(T-Span 公司),Tao Sun(美国国家半导体公司),Robert Taft(美国国家半导体公司),Masoud Zargari(T-Span 公司)。Jason Woo(美国加州大学洛杉矶分校)耐心地回答了我关于器件物理方面的问题。向他们表示诚挚的谢意。

Ramesh Harjani(美国明尼苏达大学),John Nyenhius(美国普渡大学),Norman Tien(美国康奈尔大学)和 Mahmoud Wagdy(美国加州州立大学长滩分校)审阅了本书的提案并提出了许多宝贵意见。向他们谨表谢意。

我的夫人 Angelina,从各章的键入到发现为数众多的错误,再到提出问题使我再次审视自己的理解,都为此书做出了很大的贡献。我很感谢她。

本书能够及时出版离不开麦格劳-希尔出版公司(McGraw-Hill)全体人员的辛勤工作,尤其是 Catherine Fields, Michelle Flomenhoft, Heather Burbridge, Denise Santor-Mitzit 以及 Jim Labeots。在此向他们表示感谢。

我是向两位大师学习模拟设计的:Mehrdad Sharif-Bakhtiar(伊朗沙里夫理工大学)以及 Bruce Wooley(美国斯坦福大学),向他们谨表谢意。我从他们那里所继承的将会使多代学子受益匪浅。

## 作者简介

---

毕查德·拉扎维(Behzad Razavi)于1985年在伊朗沙里夫理工大学的电气工程系获得理学学士学位,并分别于1988年和1992年在美国斯坦福大学电气工程系获得理学硕士和博士学位。他曾在AT&T贝尔实验室工作,随后又受聘于惠普公司(Hewlett-Packard)实验室,直到1996年。1996年9月,他成为加州大学洛杉矶分校的电气工程系副教授,随后晋升为教授。目前他从事的研究包括无线收发、频率综合器、高速数据通信及数据转换的锁相和时钟恢复。

拉扎维教授曾分别在普林斯顿大学(1992—1994年)和斯坦福大学(1995年)任副教授。他曾在国际固态电路会议(ISSCC)(1993—2002年)和VLSI电路专题讨论会(1998—2002年)的技术程序委员会担任工作。此外,他还分别担任《IEEE固态电路杂志》、《IEEE电路与系统杂志》,以及《高速电子学国际杂志》的特邀编辑和副主编。

拉扎维教授于1994年因为卓越的编辑能力获ISSCC的Beatrice奖,1994年在欧洲固态电路会议上获最佳论文奖,1995年和1997年获得ISSCC的最佳专题小组奖,1997年获TRW创新教学奖,1998年获IEEE定制集成电路会议最佳论文奖,2001年获麦格劳-希尔的首版年度奖。在2001年的ISSCC会议上,他获得优秀编辑Beatrice奖,并与学生获得Jack Kilby优秀学生论文奖。他于2006年获得Lockheed Martin卓越教学奖,2007年获得加州大学洛杉矶分校教学奖。2009年和2012年他获得CICC公司的最佳邀请论文奖。在2012年VLSI电路专题研讨会上,他与学生获得最佳学生论文奖,2013年他又获得CICC公司最佳论文奖。他被公认为ISSCC在50年的历史中位居前10名的作者之一。2012年他荣获固态电路Donald Pederson奖,2014年他获美国工程教育学会PSW教学奖。

拉扎维教授是 IEEE 杰出讲师 (IEEE Distinguished Lecturer), 也是 IEEE 会士 (IEEE Fellow)。他是《数据转换系统设计的原理》《射频微电子》《模拟 CMOS 集成电路的设计》《光通信集成电路的设计》《微电子基础》等书的作者, 也是《单片锁相环和时钟恢复电路》和《高性能系统的相位锁定》等书的编者。

# 目 录

第 2 版译者序

第 1 版译者序

第 2 版前言

第 1 版前言

第 2 版致谢

第 1 版致谢

作者简介

## 第 1 章 模拟电路设计绪论

1.1 模拟电路的重要性 .....	(1)
1.1.1 信号的检测与处理 .....	(1)
1.1.2 数字信号传输中的模拟设计 .....	(2)
1.1.3 需求旺盛的模拟设计 .....	(3)
1.1.4 模拟设计的挑战 .....	(4)
1.2 研究模拟集成电路的重要性 .....	(4)
1.3 研究 CMOS 模拟集成电路的重要性 .....	(5)
1.4 本书的特点 .....	(5)
1.5 电路设计的抽象级别 .....	(6)

## 第 2 章 MOS 器件物理基础

2.1 基本概念 .....	(7)
2.1.1 MOSFET 开关 .....	(7)
2.1.2 MOSFET 的结构 .....	(8)
2.1.3 MOS 符号 .....	(10)
2.2 MOS 的 $I-V$ 特性 .....	(10)
2.2.1 阈值电压 .....	(10)
2.2.2 $I-V$ 特性的推导 .....	(12)
2.2.3 MOSFET 的跨导 .....	(17)
2.3 二级效应 .....	(19)
2.4 MOS 器件模型 .....	(24)
2.4.1 MOS 器件版图 .....	(24)
2.4.2 MOS 器件电容 .....	(25)

2.4.3	MOS 小信号模型 .....	(29)
2.4.4	MOS SPICE 模型 .....	(32)
2.4.5	NMOS 与 PMOS 器件的比较 .....	(33)
2.4.6	长沟道器件与短沟道器件的比较 .....	(33)
2.5	附录 A: 鳍式场效应晶体管(FinFET) .....	(34)
2.6	附录 B: 用作电容器的 MOS 器件的特性 .....	(35)
	参考文献 .....	(35)
	习题 .....	(35)
<b>第 3 章 单级放大器</b>		
3.1	应用 .....	(42)
3.2	概述 .....	(42)
3.3	共源级 .....	(44)
3.3.1	采用电阻作负载的共源级 .....	(44)
3.3.2	采用二极管连接型器件作负载的共源级 .....	(49)
3.3.3	采用电流源作负载的共源级 .....	(53)
3.3.4	有源负载的共源级 .....	(55)
3.3.5	工作在线性区的 MOS 为负载的共源级 .....	(56)
3.3.6	带源极负反馈的共源级 .....	(57)
3.4	源跟随器 .....	(63)
3.5	共栅级 .....	(69)
3.6	共源共栅级 .....	(75)
3.6.1	折叠式共源共栅 .....	(81)
3.7	器件模型的选择 .....	(84)
	习题 .....	(84)
<b>第 4 章 差动放大器</b>		
4.1	单端与差动的工作方式 .....	(91)
4.2	基本差动对 .....	(93)
4.2.1	定性分析 .....	(94)
4.2.2	定量分析 .....	(97)
4.2.3	带源极负反馈的差动对 .....	(106)
4.3	共模响应 .....	(107)
4.4	MOS 为负载的差动对 .....	(112)
4.5	吉尔伯特单元 .....	(115)
	参考文献 .....	(117)
	习题 .....	(117)
<b>第 5 章 电流镜与偏置技术</b>		
5.1	基本电流镜 .....	(122)
5.2	共源共栅电流镜 .....	(126)



5.3 有源电流镜 .....	(133)
5.3.1 大信号分析 .....	(135)
5.3.2 小信号分析 .....	(138)
5.3.3 共模特性 .....	(141)
5.3.4 五管 OTA 的其它特性 .....	(144)
5.4 偏置技术 .....	(145)
5.4.1 共源级的偏置 .....	(145)
5.4.2 共栅级的偏置 .....	(149)
5.4.3 源跟随器的偏置 .....	(150)
5.4.4 差动对的偏置 .....	(151)
习题 .....	(151)

## 第 6 章 放大器的频率特性

6.1 概述 .....	(157)
6.1.1 密勒效应 .....	(158)
6.1.2 极点与结点的关联 .....	(162)
6.2 共源级 .....	(164)
6.3 源跟随器 .....	(170)
6.4 共栅级 .....	(175)
6.5 共源共栅级 .....	(177)
6.6 差动对 .....	(179)
6.6.1 无源负载的差动对 .....	(179)
6.6.2 有源负载的差动对 .....	(181)
6.7 增益-带宽的折中 .....	(183)
6.7.1 单极点电路 .....	(184)
6.7.2 多极点电路 .....	(184)
6.8 附录 A: 额外的元定理 .....	(185)
6.9 附录 B: 零值时间常数方法 .....	(188)
6.10 附录 C: 密勒定理的对偶 .....	(191)
参考文献 .....	(192)
习题 .....	(193)

## 第 7 章 噪声

7.1 噪声的统计特性 .....	(197)
7.1.1 噪声谱 .....	(199)
7.1.2 幅值分布 .....	(202)
7.1.3 相关噪声源和非相关噪声源 .....	(203)
7.1.4 信噪比 .....	(203)
7.1.5 噪声分析步骤 .....	(204)
7.2 噪声类型 .....	(205)