

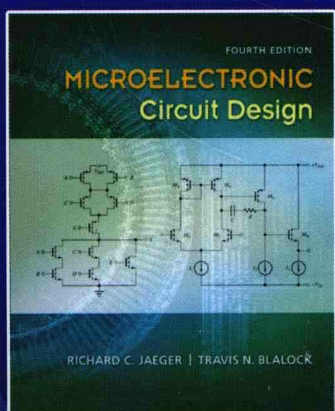
国外电子与通信教材系列

Mc
Graw
Hill

Education

微电子电路设计 (第四版)

Microelectronic Circuit Design
Fourth Edition



[美] Richard C. Jaeger 著
Travis N. Blalock

张 为 等译
刘艳艳 审校



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

国外电子与通信教材系列

微电子电路设计

(第四版)

Microelectronic Circuit Design

Fourth Edition

[美] Richard C. Jaeger 著
Travis N. Blalock

张 为 等译
刘艳艳 审校



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书涵盖了微电子电路设计所需基础知识,主要由三个部分组成。第一部分介绍固态电子学与器件,讨论了电子学的发展与电路分析方法和微电子器件的工作原理、 I - V 特性及 SPICE 模型等。第二部分为数字电路,包括数字电路的基本概念和 CMOS 电路、存储电路、ECL 与 TTL 等双极型逻辑电路以及 BiCMOS 电路。第三部分为模拟电路,以理想运算放大器和 SPICE 仿真为基础介绍了不同结构运算放大器的相关特性、小信号模型、具体分析方法和集成设计技术,最后讨论了放大器的频率响应、反馈和振荡器等问题。

通过学习本书可以了解现代微电子电路设计,包括模拟与数字,分立与集成,了解内部结构也有利于系统设计中集成电路的适当选择。

本书可作为电子与信息类各专业本科生基础课的教材或参考书,也可作为相关领域工程技术人员的参考资料。

Richard C. Jaeger, Travis N. Blalock

Microelectronic Circuit Design, Fourth Edition

ISBN: 978-0-07-338045-8

Copyright ©2010 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education(Asia) and Publishing House of Electronics Industry. This edition is authorized for sale in China Mainland.

Copyright ©2013 by McGraw-Hill Education(Asia), a division of the Singapore Branch of The McGraw-Hill Companies, Inc. and Publishing House of Electronics Industry.

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方式或途径复制传播,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。

本书中文简体字翻译版由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司和电子工业出版社合作出版。此版本经授权仅限在中国大陆销售。

版权©2013 由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司与电子工业出版社所有。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2011-7921

图书在版编目(CIP)数据

微电子电路设计/(美)耶格(Jaeger, R. C.), (美)布莱洛克(Blalock, T. N.) 著;张为等译.—4 版.

北京:电子工业出版社,2013.2

书名原文:Microelectronic Circuit Design, Fourth Edition

国外电子与通信教材系列

ISBN 978-7-121-19438-2

I. ①微… II. ①耶… ②布… ③张… III. ①超大规模集成电路-电路设计-高等学校-教材 IV. ①TN470.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 009956 号

策划编辑:马 岚

责任编辑:李秦华

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:66.75 字数:2359 千字

印 次:2013 年 2 月第 1 次印刷

定 价:138.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

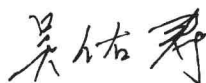
我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授
“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

出版说明

进入21世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入WTO后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在2000年至2001年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了40余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为作好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、南京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学、中山大学、哈尔滨工业大学、西南交通大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过与作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

教材出版委员会

主 任	吴佑寿	中国工程院院士、清华大学教授
副主任	林金桐	北京邮电大学校长、教授、博士生导师
	杨千里	总参通信部副部长，中国电子学会会士、副理事长 中国通信学会常务理事、博士生导师
委 员	林孝康	清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	徐安士	北京大学教授、博士生导师、电子学系主任
	樊昌信	西安电子科技大学教授、博士生导师 中国通信学会理事、IEEE 会士
	程时昕	东南大学教授、博士生导师
	郁道银	天津大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	阮秋琦	北京交通大学教授、博士生导师 计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长 国务院学位委员会学科评议组成员
	张晓林	北京航空航天大学教授、博士生导师、电子信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会副主任委员 中国电子学会常务理事
	郑宝玉	南京邮电大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	朱世华	西安交通大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会副主任委员
	彭启琮	电子科技大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员
	毛军发	上海交通大学教授、博士生导师、电子信息与电气工程学院副院长 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	赵尔沅	北京邮电大学教授、《中国邮电高校学报（英文版）》编委会主任
	钟允若	原邮电科学研究院副院长、总工程师
	刘 彩	中国通信学会副理事长兼秘书长，教授级高工 信息产业部通信科技委副主任
	杜振民	电子工业出版社原副社长
	王志功	东南大学教授、博士生导师、射频与光电集成电路研究所所长 教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会主任委员
	张中兆	哈尔滨工业大学教授、博士生导师、电子与信息技术研究院院长
	范平志	西南交通大学教授、博士生导师、信息科学与技术学院院长

译者序

集成电路是信息社会发展的基础,培养更多高水平集成电路设计人才是目前高校微电子学科的一项重要任务。通过本书的学习,读者可以对现代集成电路技术建立较为全面的概念。尽管绝大多数读者最终可能并不从事集成电路设计工作,但是如果能对半导体器件原理、基本数字和模拟单元结构,以及集成电路分析方法等微电子科学基础知识有所认识,亦将有助于在电子系统设计中消除诸多隐患,从而使集成电路的应用变得更加高效、可靠。

本书是电路设计领域的一部力作,自第一版正式出版以来一直受到广大读者的普遍欢迎,这也是促成后续版本及中译本出现的主要原因。书中凝结了作者多年来在数字和模拟设计领域业界工作与课堂教学的宝贵经验,从基础到前沿,由浅入深,结构合理,特色鲜明。全书内容分为固体电子学与器件、数字电子学和模拟电子学三大部分。由于涉猎范围广泛,不同专业的学生也可根据需要选择适合的内容作为教材或者参考资料使用。

书中所有的设计实例均采用统一的结构化求解方法,可大大加深学生对与设计中相关问题的理解,有助于对设计流程的掌握。每章的“电子应用”可令读者对电路设计与应用有更加深刻的体会,书中给出的设计要点则强调了电路设计者应牢记的重要概念。全书充分利用计算机在运算与分析,以及 EDA 软件,例如 MATLAB、SPICE 等在电路设计与分析中的应用,并在实例和章后习题中提供了许多实践机会。此外,本书还在 McGraw-Hill 的网站(www.mhhe.com/jaeger)上给出了大量辅助材料和资源的链接与更新^①,便于读者参考。

进入 21 世纪后,中国的集成电路产业如雨后春笋般迅猛发展,集成电路人才炙手可热。引进这样一部权威著作,无疑会对在国内培养更多高水平电路设计人才起到重要的推动作用。

本书由张为主持翻译工作,刘艳艳审校。参加翻译工作和初校工作的还有张亮、宋博、姜喆、王猛、潘博阳、王菁、彭彦豪、张旭、陈曙光等。电子工业出版社马岚编辑为本书中译本的出版提供了大力的支持。在此,对所有为本书翻译和出版提供了帮助的人们表示诚挚的谢意!

需要指出的是,一些有关集成电路,特别是版图和工艺词汇的翻译目前尚无统一标准,译者力图深入浅出、翔实准确,但由于水平有限,译文中难免有不妥之处,敬请读者不吝指正。另外,在本书出版之际,我们得到了原作者提供的勘误表并对书中的一些错误进行了逐一订正。

^① 有关本书的辅助材料和教学资源的获取可参阅书后所附的“教学支持说明”——编者注。

前 言

通过本书的学习,读者可以对现代电路设计的基本技术、模拟与数字、分立与集成有较为全面的了解。尽管绝大多数读者最终可能不会从事集成电路设计本身,但是如果对集成电路的内部电路结构有较为通透的了解,可以在系统设计中消除诸多隐患,从而让集成电路的应用变得高效而可靠。

在电路设计中数字电路已然成为非常重要的一个领域,但是在许多电子学入门书籍中几乎都将其作为补充内容。在本书中我们对模拟和数字电路做了更为均衡的介绍。本书的写作集成了作者在精密模拟和数字设计领域的资深业界背景及多年的课堂经验。书中涉猎范围甚广,读者可随意从中选择合适的内容作为两学期或三个连续学期的电子学教材。

本版说明

这一版本中继续对材料做了更新,更利于学生阅读和掌握。除了常规的材料更新外,在第一部分和第二部分,即固体电子学与器件以及数字电子电路中还做了大量修改。在二极管 Q 点分析中介绍了一种更好的分析方法,同时还介绍了一种新型的四电阻 MOS 管偏置解决方案。在模拟设计中结型场效应管器件同样重要,在第 4 章末尾再次对其进行了介绍。在 MOS 逻辑章节中介绍了基于仿真的逻辑门器件按比例缩小,在新的应用电子(EIA)特别报道中加大了噪声容限的讨论篇幅。在高性能 SiGe 集成电路中电流模式逻辑(CML)是一股生力军,故在双极型逻辑电路这一章中增加了 CML 章节。

这次修订对书中的模拟部分(第三部分)进行了大幅结构重组和修订。放大器的入门简介(原来的第 10 章)现在只是作为“刚好及时”的基础知识穿插在 3 章运算放大器的内容中。书中添加了有关基本运算放大器和每种结构晶体管放大器以及晶体管自身的工作原理定性描述的特殊章节。

在第 18 章中删除了采用二端口进行反馈分析的内容,而是自运算放大器章节开始一贯采用回路增益分析法来分析所有的反馈结构。求解回路增益的重要方法,即持续电压和电流注入技术现在改在了第 11 章介绍,并采用 Blackman 理论来求解闭环放大器的输入和输出电阻。SPICE 实例中现在改成采用三端或五端的运算放大器模型。

第 10 章,即模拟系统和理想运算放大器中给出了放大器的入门知识,并介绍了基本的理想运算放大器电路。

第 11 章,即运算放大器的特性和限制中对非理想运算放大器的限制进行了介绍,包括频率响应和稳定性,介绍了四种经典反馈电路,包括串并反馈放大器、并并反馈放大器、并串反馈放大器和串串反馈放大器。

第 12 章,即运算放大器应用中汇集了所有运算放大器的应用,包括多级放大器、滤波器、A/D 和 D/A 转换器、正弦振荡器和多谐振荡器。

对有关晶体管放大器的第 13 章和第 14 章中的多余内容进行了合并和删除。有关模拟材料的其余新增内容包括 MOS 逻辑反相器和共源极放大器之间关系的讨论、通过反馈降低失真、阶跃响应和相位裕度之间的关系、带 NMOS 负载晶体管的 NMOS 差分放大器、可调共源共栅电流源以及 Gilbert 乘法器。

由于射频电路的复兴和广泛应用,有关射频放大器介绍的章节现在安排在了第 17 章,已扩展成包含并联峰化和调谐放大器以及共源放大器中电感负反馈的采用。新的混频器内容中包含无源混频器、有源混频器、单平衡混频器、双平衡混频器和广泛采用的 Gilbert 混频器。

第 18 章,即晶体管放大器和振荡器中给出了晶体管反馈放大器和晶体管振荡器实现的实例。晶体管振荡器章节中已扩展成涵盖了对振荡器中的负阻和负 G_m 振荡器单元的讨论。

其他几个增加的重要内容包括:

- 现在网站上的 SPICE 支持中除了 PSpice 外还包括了 NI Multisim 的示例。

- 至少修订或新增了 35% 的习题。
- 现在可从 McGraw-Hill 获得新的 PowerPoint 幻灯片。
- 同时还提供一组经测试的设计问题。

所有的实例继续采用结构性问题求解方法。书中进一步扩充了流行的应用电子特别报道, 新增内容有用做调幅解调的二极管整流器; 高性能 CMOS 工艺; 噪声容限回顾(图形翻滚方式); 失调电压、偏置电流和 CMRR 测量; 采样保持电路; 串联传输晶体管的稳压器; 噪声系数、噪声特性和最小可检测信号; 串并和并串网络变换; 以及无源二极管环形混频器。

在每一章的开头加深了读者对电子学历史发展进程的了解。设计要点强调了电路设计者应牢记的重要概念。本书还结合万维网(WWW), 在 McGraw-Hill 的网站(www.mhhe.com/jaeger)上给出了大量辅助材料和资源的链接与更新。

本书的特点简述如下:

所有实例均采用结构性问题求解方法。
 每一章都提供了应用电子特别报道。
 每章开头给出了电子学领域的重要进展。
 设计要点以及实际电路设计重点。
 在正文以及实例中广泛利用 SPICE 仿真软件。
 在 SPICE 中整合了器件模型。
 大量练习、例子以及设计实例。
 大量新的习题。
 结合网站材料。
 持续更新的网站资源和链接。

书中先介绍数字部分内容还便于非电子工程专业学生的学习, 尤其是计算机工程或计算机科学专业的学生, 他们往往在连续的电子学课程中只学习第一门课程。

第二部分的内容主要介绍的是逻辑门和存储元件的内部设计。第 6 章和第 7 章对 NMOS 和 PMOS 逻辑设计进行了全面探讨, 而第 8 章讨论的是存储器单元及周边电路。在第 9 章有关双极型逻辑设计的介绍中包含了对 ECL、CML 和 TTL 的讨论。不过基于 MOS 工艺的重要性, 书中有关双极型逻辑的内容做了删减。本书中没有涉及任何有关逻辑模块层的实质设计内容, 因为在数字设计课程中会对此进行全面介绍。

本书的第一和第二部分关注的仅仅是晶体管的大信号特性。这可以使得读者在不得不学会将电路拆分成不同模块(可能是不同结构)以进行直流和交流小信号分析之前, 对器件特性和电流-电压特性不那么头疼(小信号概念在第三部分的第 13 章中正式给出)。

尽管本书涉及数字电路的篇幅比大多数书籍都要多, 不过还是有超过 50% 的内容, 即第三部分介绍的是传统模拟电路。模拟部分从第 10 章开始, 在第 10 章中介绍的是放大器概念和经典的理想运算放大器电路。第 11 章对非理想运算放大器进行了详细讨论, 第 12 章给出了大量运算放大器应用。第 13 章全面介绍了二极管、双极型晶体管和 FET(场效应管)的小信号模型研究。书中的双极型晶体管和 FET 都是混合 π 模型和 π 模型。

第 14 章对单级放大器设计和多级交流耦合放大器进行了深入讨论。其中还介绍了耦合电容和旁路电容的设计。第 15 章讨论了直流耦合多级放大器, 并介绍了运算放大器原型电路。第 16 章继续介绍集成电路设计中的重要结束, 并学习了经典 741 运算放大器。

第 17 章研究了晶体管的高频模型, 对高频电路特性的分析进行了细致讨论。最后一章给出了晶体管反馈放大器的实例。同时还对反馈放大器的稳定性和振荡器进行了讨论。

设计

设计在工程师培训中仍然是一个较难的课题。利用本书中定义非常清晰的问题求解方法可大大加深学生对与设计相关问题的理解能力。设计实例有助于建立对设计流程的了解。

本书的第二部分直接切入到与 NMOS 和 CMOS 逻辑门设计相关的问题当中。在整本书中都讨论了器件和无源元件容限的影响。在当今世界中,通常由电池供电的低功耗、低电压设计变得越发重要。逻辑设计实例已经从 5 V 电源降至了更低的电源电压。同时本书中一直贯穿着计算机的利用,包括利用 MATLAB、电子表格或标准高级语言来探索更佳的设计选项。

在本书的模拟部分中始终强调做出设计估算和决策的方法。在任何合适情况下,都在标准混合 π 模型表示的基础上将放大器特性表达式进行了简化。例如,在绝大多数书籍中放大器的电压增益表达式只是写为 $|A_v| = g_m R_L$ ^①,而隐藏了电源电压作为基本设计变量这一事实。本书中对此表达式进行了改写,将双极型晶体管的电压增益写为近似表达式 $g_m R_L = 10V_{CC}$,FET 的电压增益写为近似表达式 $g_m R_L = V_{DD}$,明确揭示放大器设计与电源电压选择的关系,为共发射极放大器和共源极放大器的电压增益提供了一个简单的一阶设计估算方法。双极型放大器的增益优势也显而易见。只要有可能,书中经常会给出此类性能估算的近似技巧和方法。贯穿第三部分始终都会有双极型电路和 FET 电路之间的比较和设计权衡。

在第 1 章结尾处介绍了最差情况分析和蒙特卡罗分析技术。传统上在本科生课程中并不会包含这些内容。然而,在面临较多的元件容限和差异情况下进行电路设计是电子电路设计中需要具备的一项重要技能,在书中给出的例子中对采用标准元件和给定元件容限的电路都进行了讨论,在许多习题中也包含了这一内容。

习题与指导帮助

在每一章的最后都会给出特殊设计习题、计算机习题和 SPICE 习题。设计习题用  符号表示,计算机习题用  符号表示,SPICE 习题用  符号表示。习题对书中的内容而言很重要,更难或需花费更多时间的习题用 * 和 ** 表示。可从作者处获得包含所有习题答案的指导手册。此外,书中所有图标都制成了 PowerPoint 文件,可从网站上进行检索。从中还可找到制作成 PowerPoint 幻灯片的指导性注意事项。

电子版教材选择

指导教师和学生都可从 CourseSmart 购得此书。CourseSmart 是一个在线资源,学生可以从中购买完整的电子版在线教材,而所花费的价钱几乎是传统教材的一半。购买电子教材可以让学生充分利用 CourseSmart 网络工具的优势进行学习,这些工具包括全文搜索、做笔记和高亮,以及便于同班同学之间分享笔记的 email 工具。如要了解有关 CourseSmart 的更多选择,可与销售代理联系或登录 www.CourseSmart.com。

COSMOS

完整在线解决方案指导机构系统(COSMOS)。教师们可从 McGraw-Hill 的 COSMOS 电子解决方案手册中获益。COSMOS 可让指导教师生成无数用于布置的习题,同时还可将他们自己的习题传输并集成到软件当中。更多信息请联系 McGraw-Hill 销售代理。

计算机利用和 SPICE

整本书都采用计算机作为辅助工具。作者坚信这样做绝对要比只采用 SPICE 电路分析软件更为有益。在今天的计算机世界中,相比费力地将复杂的方程组简化成某种易处理的分析形式,大家通常更愿意利用计算机来探索复杂设计空间。书中多处给出了利用计算机,采用电子表格、MATLAB 和(或)标准高级语言程序来建立迭代估算方程过程的例子。MATLAB 还可用于奈奎斯特图和伯德图的生成,同时对于蒙特卡罗分析而言非常有用。

另外,书中通篇都有 SPICE 的使用。SPICE 仿真结果也全都给出,在习题集中也包含了大量 SPICE 习

① 为配合双语教学,我们在引进本书的同时,还引进本书的英文版(ISBN 978-7-121-12712-0)。为与英文版保持一致,书中的正斜体未做调整——编者注。

题。只要有所帮助,在绝大多数例子中都采用了 SPICE 分析。这一版本仍然强调了 SPICE 中直流分析、交流分析、瞬态分析以及传输函数分析模式的区别与使用。在每种半导体器件的介绍之后都对其 SPICE 模型进行了讨论,每种模型都给出了典型的 SPICE 模型参数。

致谢

感谢许许多多对本书的内容以及筹备做出贡献的人们。我们的学生在对原稿的润色上提供了极大的帮助,并尽力坚持了原稿的多次修订。我们的系领导,奥本大学的 J. D. Irwin 和弗吉尼亚大学的 L. R. Harriott 一直高度支持员工努力写出更高水平的教材。

感谢所有的审阅者和审查人员:

Vijay K. Aroro, 维尔克斯大学

Kurt Behpour, 加利福尼亚理工州立大学圣路易斯奥比斯波分校

David A. Borkholder, 罗切斯特工学院

Dmitri Donetski, 斯托尼布鲁克大学

Ethan Farquhar, 田纳西大学诺克斯维尔分校

Melinda Holtzman, 波特兰州立大学

Anthony Johnson, 托莱多大学

Marian K. Kazimierczuk, 莱特州立大学

G. Roientan Lahiji 教授, 伊朗科技大学

Adjunct 教授, 密西根大学

Stanislaw F. Legowski, 怀俄明大学

Milica Markovic, 加利福尼亚州立大学萨克拉门托分校

James E. Morris, 波特兰州立大学

Maryam Moussavi, 加利福尼亚州立大学长滩镇分校

Kenneth V. Noren, 爱达何大学

John Ortiz, 得克萨斯大学圣安东尼奥分校

还要感谢 J. F. Pierce 和 T. J. Paulus 的课堂教材“电子应用”给我们带来的灵感。Blalock 教授多年前就自 Pierce 教授处学习有关电子学内容,至今仍盛赞他们早已绝版的教材中所采用的诸多分析技术。

感谢罗马尼亚 Cluj-Napoca 技术大学的 Gabriel Chindris, 帮助建立了 NI Multisim 例子中的仿真。

最后,感谢 McGraw-Hill 团队,包括环球出版社的 Raghathan Srinivasan;策划编辑 Darlene Schueller;高级市场经理 Curt Reynolds;高级项目经理 Jane Mohr;设计协调员 Brenda Rolwes;图片研究协调员 John Leland 和 LouAnn Wilson;高级制作主管 Kara Kudronowicz;高级媒介项目经理 Sandy Schnee;以及 MPS 有限公司的全服务项目经理 Dheeraj Chahal。

在本书的写作过程中,我们尽力将自身在精密模拟和数字设计领域的业界背景与多年的课堂经验融合到一起。希望至少在某种程度上获得了成功。欢迎大家提出建设性意见和建议。

Richard C. Jaeger

奥本大学

Travis N. Blalock

弗吉尼亚大学

目 录

第一部分 固态电子学与器件

第1章 电子学简介	2
1.1 电子学发展简史:真空管到甚大规模集成电路	3
1.2 电学信号分类	6
1.3 符号约定	8
1.4 问题解决方法	9
1.5 电路理论的重要概念	10
1.6 电学信号频谱	14
1.7 放大器	15
1.8 电路设计中的元器件参数值变化	17
1.9 数值精度	23
小结	23
关键词	24
参考文献	25
补充阅读	25
习题	25
第2章 固态电子学	30
2.1 固态电子材料	31
2.2 共价键模型	31
2.3 半导体中的漂移电流和迁移率	33
2.4 本征硅的电阻率	35
2.5 半导体中的杂质	36
2.6 掺杂半导体中的电子和空穴浓度	36
2.7 掺杂半导体的迁移率和电阻率	38
2.8 扩散电流	40
2.9 总电流	41
2.10 能带模型	41
2.11 集成电路制造概述	43
小结	46
关键词	46
参考文献	47
补充阅读	47
重要公式	48
习题	48
第3章 固态二极管以及二极管电路	52
3.1 PN 结二极管	53
3.2 二极管的 $i-v$ 特性	56
3.3 二极管方程:二极管的数学模型	57

3.4	反偏、零偏、正偏下的二极管特性	59
3.5	二极管的温度系数	62
3.6	反偏下的二极管	63
3.7	PN 结电容	64
3.8	肖特基势垒二极管	65
3.9	二极管的 SPICE 模型及版图	66
3.10	二极管电路分析	67
3.11	多二极管电路	74
3.12	二极管处于击穿区的工作情况分析	77
3.13	半波整流电路	79
3.14	全波整流电路	87
3.15	全波桥式整流	88
3.16	整流器比较及设计折中	89
3.17	二极管的动态开关行为	91
3.18	光电二极管, 太阳能电池和发光二极管	92
	小结	94
	关键词	95
	参考文献	96
	补充阅读	96
	习题	96
第 4 章	场效应晶体管	105
4.1	MOS 电容特性	106
4.2	NMOS 晶体管	107
4.3	PMOS 晶体管	116
4.4	MOSFET 电路模型	118
4.5	MOS 晶体管的电容	119
4.6	MOSFET 的 SPICE 模型	121
4.7	MOS 晶体管按比例缩小	122
4.8	MOS 晶体管的制作及版图设计规则	125
4.9	NMOS 场效应晶体管的偏置	128
4.10	PMOS 场效应晶体管的偏置	136
4.11	结型场效应管(JFET)	137
4.12	JFET 的 SPICE 模型	143
4.13	JFET 和耗尽型 MOSFET 的偏置	144
	小结	145
	关键词	146
	参考文献	147
	习题	147
第 5 章	双极结型晶体管	160
5.1	双极型晶体管的物理结构	161
5.2	NPN 晶体管的传输模型	162
5.3	PNP 晶体管	166
5.4	晶体管模型的等效电路	167
5.5	双极型晶体管的 $i-v$ 特性	168

5.6 双极型晶体管的工作区	170
5.7 简化传输模型	171
5.8 双极型晶体管的非线性行为	181
5.9 跨导	186
5.10 双极工艺和 SPICE 模型	186
5.11 BJT 的实际偏置电路	189
5.12 偏置电路的容差	196
小结	200
关键词	201
参考文献	202
习题	202

第二部分 数字电子电路

第 6 章 数字电子电路简介	212
6.1 理想逻辑门	213
6.2 逻辑电平定义和噪声容限	214
6.3 逻辑门的动态响应	216
6.4 复习布尔代数	218
6.5 NMOS 逻辑设计	220
6.6 晶体管替代负载电阻方案	226
6.7 NMOS 反相器小结与比较	240
6.8 NMOS 与非门及或非门	241
6.9 复杂 NMOS 逻辑设计	244
6.10 功耗	249
6.11 MOS 逻辑门的动态特性	251
6.12 PMOS 逻辑	262
小结	264
关键词	265
参考文献	266
补充阅读	266
习题	266
第 7 章 CMOS 逻辑电路设计	278
7.1 CMOS 反相器工艺	278
7.2 CMOS 反相器的静态特性	280
7.3 CMOS 反相器的动态特性	285
7.4 CMOS 中的功耗和功耗-延迟积	289
7.5 CMOS 或非门和与非门	292
7.6 CMOS 中复杂门的设计	296
7.7 最小尺寸逻辑门的设计及性能	299
7.8 动态多米诺 CMOS 逻辑	301
7.9 级联缓冲器	303
7.10 CMOS 传输门	305
7.11 CMOS 闩锁	306
小结	309

关键词	310
参考文献	310
习题	311
第 8 章 MOS 存储器及存储电路	320
8.1 随机存取存储器	320
8.2 静态存储器单元	323
8.3 动态存储单元	330
8.4 敏感放大器	335
8.5 地址译码器	340
8.6 只读存储器(ROM)	344
8.7 触发器	347
小结	350
关键词	351
参考文献	351
习题	352
第 9 章 双极型逻辑电路	359
9.1 电流开关(发射极耦合对)	360
9.2 发射极耦合逻辑(ECL)门	363
9.3 ECL 门的噪声容限分析	365
9.4 电流源的实现	366
9.5 ECL 或-或非门	369
9.6 射极跟随器	370
9.7 “射极点”或“线或”逻辑	373
9.8 ECL 功耗-延迟特性	374
9.9 电流模式逻辑(CML)	378
9.10 饱和双极型反相器	382
9.11 晶体管-晶体管逻辑(TTL)逻辑	388
9.12 标准 7400 系列 TTL 反相器	393
9.13 TTL 中的逻辑函数	397
9.14 肖特基钳位 TTL	399
9.15 ECL 和 TTL 的功耗-延迟对比	400
9.16 BiCMOS 逻辑	401
小结	404
关键词	406
参考文献	406
补充阅读	406
习题	406

第三部分 模拟电子电路

第 10 章 模拟系统和理想运算放大器	418
10.1 一个模拟电子系统实例	419
10.2 放大作用	420
10.3 放大器的二端口模型	424
10.4 失配的源和负载电阻	427

10.5	运算放大器简介	428
10.6	放大器的失真	431
10.7	差分放大器模型	432
10.8	理想差分放大器和运算放大器	434
10.9	理想集成运算放大器分析	435
10.10	反馈的频率特性	446
	小结	460
	关键词	461
	参考文献	462
	补充阅读	462
	习题	462
第 11 章	非线性运算放大器和反馈放大器的稳定性	474
11.1	经典的反馈系统	475
11.2	对包含非理想运算放大器电路的分析	476
11.3	串联和并联反馈电路	484
11.4	反馈放大器增益计算的统一方法	486
11.5	电压串联反馈——电压放大器	487
11.6	电压并联反馈放大器——跨阻放大器	491
11.7	跨导放大器——电流串联反馈放大器	495
11.8	电流放大器——电流并联反馈放大器	498
11.9	使用持续电压电流注入法计算回路增益	502
11.10	利用反馈减小失真	505
11.11	直流误差源和输出摆幅限制	506
11.12	共模抑制比和输入电阻	510
11.13	运算放大器的频率响应和带宽	517
11.14	反馈放大器的稳定性	526
	小结	535
	关键词	536
	参考文献	536
	习题	537
第 12 章	运算放大器应用	548
12.1	级联放大器	548
12.2	仪表放大器	559
12.3	有源滤波器	561
12.4	开关电容电路	572
12.5	数/模转换	577
12.6	模/数转换	583
12.7	振荡器	593
12.8	非线性电路应用	598
12.9	含正反馈的电路	601
	小结	606
	关键词	607
	参考文献	608
	习题	609

第 13 章 小信号建模与线性放大	621
13.1 晶体管放大器	622
13.2 耦合电容和旁路电容	624
13.3 用直流和交流等效电路进行电路分析	625
13.4 小信号模型简介	628
13.5 双极型晶体管的小信号模型	631
13.6 共射极放大器	637
13.7 重要限制及模型简化	639
13.8 场效应晶体管的小信号模型	642
13.9 BJT 和 FET 小信号模型的小结与对比	648
13.10 共源极放大器	650
13.11 共射极放大器和共源极放大器小结	660
13.12 放大器功率和信号范围	661
小结	664
关键词	665
习题	665
第 14 章 单晶体管放大器	677
14.1 放大器类型	678
14.2 反相放大器——共发射极和共源极电路	683
14.3 跟随器电路——共集电极和共漏极放大器	698
14.4 同相放大器——共基极和共栅极电路	705
14.5 放大器原型回顾和比较	712
14.6 采用 MOS 反相器的共源极放大器	715
14.7 耦合和旁路电容设计	720
14.8 放大器设计实例	728
14.9 多级交流耦合放大器	739
小结	748
关键词	749
参考文献	749
习题	749
第 15 章 差分放大器和运算放大器设计	765
15.1 差分放大器	766
15.2 基本运算放大器的进化	783
15.3 输出级	794
15.4 电子电流源	803
小结	810
关键词	811
参考文献	812
补充阅读	812
习题	812
第 16 章 模拟集成电路设计技术	828
16.1 电路元件匹配	829
16.2 电流镜	830
16.3 高输出电阻电流镜	840