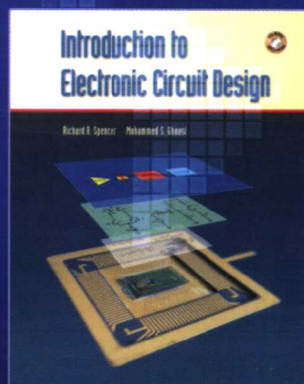


国外电子与通信教材系列

PEARSON
Prentice
Hall

电子电路设计基础

Introduction to Electronic Circuit Design



[美] Richard R. Spencer 著
Mohammed S. Ghausi

张为 关欣 刘艳艳 李锵 等译
刘开华 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

电子电路设计基础

Introduction to Electronic Circuit Design

[美] Richard R. Spencer 著
Mohammed S. Ghausi

张为 关欣 刘艳艳 李锵 等译

刘开华 审校

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

内 容 简 介

本书是按照逻辑(而不是按照顺序)组织内容的,使读者在某个设计过程中能够对不同类型的分析进行比较。本书的主要特点如下:利用一个普通的晶体管介绍多种适用于FET和BJT电路的基本原理;将复杂问题进行分解;提供全面的针对书中练习的解决方案;等等。本书的主要内容包括:电子电路设计,半导体物理与电子器件,固态器件制造,计算机辅助设计的工具与技巧,运算放大器,小信号线性与放大,直流偏置,低频小信号交流分析与放大器,放大器频率响应,反馈,滤波器与调制放大器,低频大信号交流分析,数据转换器,门级数字电路,晶体管级数字电路。全书内容全面,结构合理,并且提供了大量的练习与习题。

本书适合作为高等院校电子类及相关专业的本科生教材,也可作为该领域技术人员的参考书。

Simplified Chinese edition Copyright © 2005 by PEARSON EDUCATION ASIA LIMITED and Publishing House of Electronics Industry.

Introduction to Electronic Circuit Design, ISBN: 0201361833 by Richard R. Spencer, Mohammed S. Ghausi.

Copyright © 2003. All rights reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding Taiwan and the Special Administrative Region of Hong Kong and Macau).

本书中文简体字翻译版由电子工业出版社和Pearson Education培生教育出版亚洲有限公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有Pearson Education培生教育出版集团激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2003-3515

图书在版编目(CIP)数据

电子电路设计基础/(美)斯潘塞(Spencer, R. R.)等著;张为等译.-北京:电子工业出版社,2005.10
(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Introduction to Electronic Circuit Design

ISBN 7-121-01255-3

I.电... II.①斯... ②张... III.电子电路-电路设计-教材 IV.TN710.02

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第115930号

责任编辑:周宏敏 冯小贝

印刷:北京东光印刷厂

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

经销:各地新华书店

开本:787×1092 1/16 印张:52.5 字数:1626千字

印次:2005年10月第1次印刷

定价:88.00元(附光盘1张)

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至zlt@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

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和自由组合使用。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
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 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	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、移动通信国家重点实验室主任
	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
	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委员
	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、电子与信息工程学院院长 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
	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、秘书长
	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 教育部电子信息科学与电气信息类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、计算机与通信工程学院院长	

译者序

人类已进入建立在微电子和计算机技术基础之上的信息时代。自从1958年美国德州仪器公司(TI)的Jack Kilby博士发明了世界上第一块集成电路以来, 固态电路就成为工程技术领域最为活跃、发展速度最为迅猛的方向之一。同时, 作为固态电路基础的半导体技术、模拟电子电路和数字电子电路的理论与实践也日臻完善。

本书作者Richard R. Spencer和Mohammed S. Ghausi均为美国加利福尼亚大学戴维斯分校(UCD)电气和计算机工程系教授, 长期从事相关专业的本科教学工作, 有着渊博的理论知识和丰富的教学实践经验。全书分为三个部分共15章, 分别介绍了电子电路分析、半导体物理与器件、半导体工艺、电路设计CAD、模拟电路设计和数字电路设计等内容。本书特色鲜明, 内容丰富, 条理清晰, 深入浅出, 并附有大量实例, 既适合作为电子学各专业本科电子线路课程的教材, 对于其他相关专业的研究生、本科生和从事电路与系统设计的工程技术人员而言, 也是一本非常有价值的参考书。

本书的翻译得到了电子工业出版社的大力支持, 还得到了天津大学电子信息工程学院的领导和许多教师的关心与帮助。参加本书翻译工作的有张为、李镛、关欣、刘艳艳、刘航、崔志刚、饶中洋、杜倩、庞科、具丽洁等。全书由刘开华审校。

由于译者水平有限, 书中难免有不当乃至错误之处, 敬请广大读者批评指正。

前 言

在1966年9月发行的第一期IEEE固态电路杂志 (*IEEE Journal of Solid-State Circuits*) 的序言中, James D. Meindl 博士写道:

“在过去的20多年里,也许电子学任何一个领域的发展速度都比不上固态电路。这一发展的实质在于:如果要想设计好一个电路,必须具有宽广的知识面。最近,在大规模集成中相互依赖的材料、器件、电路和系统设计的考虑再一次扩展了电路设计问题的范畴。”

值得人们注意的是,这段写于30多年前的概括性叙述在今天仍然是非常准确的。鉴于当今集成电路的复杂程度,电路设计者需要掌握的知识面比以前更宽。本书的目的是为这个重要的、快速变化的学科提供一本入门教材。

许多从不进行电子电路设计的工程师由于要制造、测试或使用这些电路,或者他们设计的系统最终要用这些电路来实现,所以也需要对电子电路的特性有一个基本了解。另外,电子电路设计中采用的许多技术和原理在其他学科也有广泛的应用(例如小信号线性化与反馈)。因此,对于那些将来不会成为电路设计工程师的读者来说,本书仍然会提供许多对你今后的职业非常有帮助的重要内容。

电子信息领域的变化极为迅速,你希望从本书学到哪些在10年或20年后仍然有用的东西呢?我希望能学到很多!虽然器件和你所偏爱的元件的经济性(例如过去的电阻要比晶体管价格便宜,但在集成电路中晶体管却比电阻便宜)以及计算机辅助设计工具必将发生变化,但仍然有很多保持不变的东西。我不能准确预测哪些内容仍然有用,但如何分析电路从而得出如何改进电路的基本概念似乎是不会改变的,小信号线性化的概念也不会变得没有用处,而你在解决问题的过程中所培养的能力总是非常有用,毕竟这就是工程师应该做的。

我试图尽我所能帮助读者掌握本书中的概念。要想精通电路设计以及其他许多工程学科需要有一定的悟性。即使你掌握了如何写出节点方程以及如何求解,但没有人会花钱请你做这件事,因为你不可能比计算机做得更好。对任何工程领域,只要我们充分理解,就可以写出严格的程序从而确保得到正确的答案,计算机程序会完成接下来的工作。因此,你总是在应付那些没有完全搞明白的系统以及不能够进行精确分析的系统。设计就是要求具有对实际系统进行建模的能力,所建立的模型既要足够简单以便使你可以“看到”系统的运行情况进而思考改进系统性能的方法,又要足够全面以充分体现系统的突出特征。另外,设计还要求我们以不同的方式进行分析,设计者不仅要找到问题的答案,而且要明白如何修改系统以及/或者如何选择元件值来得到所期望的结果。这就是设计所要做的,至少是其中的一部分。

因此,本书旨在给出不同电路如何工作的解释和实例以及基本原理,而不是给出“经验法则”或设计程序,当然本书也会提供一些这方面的内容。如果你想找到的一本详细的设计流程说明,那将不会在本书中找到。然而,应该记住没有人会因为你知道固定的规程给你付钱。即使没有现成的“规程”,只要对问题有一个很好的理解并能提出有效的解决方案就是有价值的设计师。

当本书的第二作者想找一位合作伙伴以对现有教材进行修订时,遇到了正在考虑写一本新书的本书的第一作者,这样就促成了这本教材的出现。经过讨论,双方一致同意应该写一本新书,同时

仍可使用旧教材中的内容。于是就产生了你手上拿的这本书。该书的大部分内容是全新的,并由第一作者执笔完成,但有些内容是取自 Mohammed S. Ghauri 所著的《电子器件与电路:分立与集成》(“*Electronic Devices and Circuits: Discrete and Integrated*”)一书。

本书的组织结构与特点

本书的内容是按照主题的逻辑性而不是按照授课的顺序进行编排的。因此,我并不希望读者按顺序阅读本书,而是略有跳跃地进行阅读。以这种方式编排本书有两个优点:首先,不必规定授课的顺序;其次,可以着重强调设计过程中必须使用的不同类型的分析方法。

不规定授课顺序是非常重要的,因为这样可以使每位教师在选择授课主题及其深度方面变得更加灵活。例如,教师可以先介绍场效应晶体管(FET)电路,也可以先介绍双极型晶体管(BJT)电路。这种灵活性一部分体现在将小信号线性化的内容分散在不同章节进行介绍,一部分体现在采用通用晶体管描述FET和BJT共有的某些信息。

强调在设计过程中使用的不同类型的分析方法也是非常重要的,因为学生经常会搞不清楚什么时候以及为什么要采用特定的分析方法或模型。例如,在某些分析中建模时电容为什么要视为一个开路或者短路电路,而在其他分析中又保持不变呢?如何知道在电路中应该使用晶体管的哪种模型呢?通过在不同的章节介绍直流偏置点分析、小信号中频交流分析、频率响应、大信号交流性能以及数字电路,本书所强调的是模型、方法以及各类分析方法的出发点。只要可能,本书都会在不同的章中采用同一个例题,例如,读者可以借助一个例子电路学习共发射极放大器的直流偏置、中频增益、频率响应以及大信号摆幅。然而,各类分析方法的区别在不同的章节予以了着重说明。

本书的一个特点是采用通用晶体管来说明FET和BJT电路共同的基本原理。虽然这个晶体管是虚构的,但所采用的符号名称将注意力集中在器件的功能上,并且采用的模型与真实的晶体管相同。采用虚构晶体管的好处是:

1. 有助于建立对给定电路类型工作情况的直观认识,而不涉及所采用的有源器件(例如共射极BJT放大器、共源极FET放大器以及共阴极真空管放大器就具有很多共同的特性)。
2. 共同特点可以只讲述一次,不必规定先讲哪种类型的晶体管。
3. 有助于培养读者用与器件无关的现代方式考虑电路问题。

采用这种思考问题的方式,设计者首先考虑的是电路的功能,之后再考虑哪种类型的器件最适合特定的应用场合。

本书的另一个特点是经常将复杂的主题分解为不同的层次,使教师能够决定在特定时间就某个主题讲到哪种程度。例如,在介绍固态器件工作的第2章中,大部分章节都包含一个直观的描述,之后才是更为详细的公式推导。已经学过或者即将学习器件物理学方面的更详细课程的学生可以选用直观描述的内容,而只有一门课程涉及电子电路与器件的学生则可以选用详细推导这部分内容来学习。再举一个例子,频率响应一章介绍了估算简单电路带宽的一阶方法(例如米勒效应)以及更通用的零值时间常数方法。在一般电气与计算机工程专业学生的入门课程中可以先不讲更复杂的零值时间常数方法,而在第二学期为电路专业学生开设的课程中再予以介绍。

本书还有一个特点是提供了所有习题的详细解答过程,而不仅仅是数值答案。我认为对学生来说,如果一道习题与实际应用非常接近,那么仅给出简单的数值答案是不够的。

本书最后一个主要特点是采用了补充说明。这样做有两个目的。其一,可用于提供一些最基本的材料,学生可能在必修课程中已经学过,或者也可以在以后作为参考。使用与正文相分离的补充说明有助于学生快速浏览,同时也便于今后查阅。其二,利用补充说明提供选学材料,这部分内容可以扩展或进一步解释本书介绍的知识。

与本书配套的 CD 也非常重要。除了包括 MicroSim DesignLab 8 软件 [含 PSPICE、后处理器 (PROBE) 以及原理图获取程序] 的评估版外, 还包括本书中 100 多个习题、例题、图形及注释的所有仿真文件。该 CD 还提供了这些文件的索引, 有助于读者方便地找到相应的文件, 例如如何用 PSPICE 求解放大器输入输出阻抗的仿真文件。此外, 这张 CD 还包括本书中没有印出的内容 (包括两个附录), 有些学生会需要这些材料的。

本书的内容可供电子电路设计这门课程两学期或三学期的授课之用。加州大学戴维斯分校的几位教师多年使用本书的手稿作为两学期课程的内容。

第一学期的课程是所有电气与计算机工程专业学生的必修课, 包括第 1 章至第 6 章, 第 2、7、8 章的部分内容, 第 9 章的基础内容, 第 14 章以及第 15 章的部分内容。第二学期课程涉及第 9 章的零值时间常数方法, 第 10 章以及第 4、12 和 13 章的部分内容。第 5 章和第 11 章的内容可作为其他课程的参考资料, 第 3 章则留给感兴趣的学生阅读。

致谢

本书的写作经历了漫长的过程, 有太多的人需要感谢, 如果在这里忘记提到谁, 敬请原谅。首先我要感谢我的妻子 Patti 和我的孩子 David, Andrew 和 Elizabeth, 他们总是不厌其烦地听我说“这本书什么时候才能写完呀”这句话。接下来, 我要感谢以极大的耐心采用本书初稿作为教材的学生。我非常感激我曾有幸聆听过其教诲的优秀老师们, 尤其要感谢圣何塞州立大学的 Artice M. Davis 教授和斯坦福大学的 James D. Plummer 教授, 他们是我做学生时最好的两位老师, 我也非常荣幸地把他们当做我的朋友。我还要感谢 IBM 公司的 Bruce M. Fleischer 博士和萨克拉门多州立大学的 Thomas W. Matthews 教授, 他们作为我的学生和朋友, 增进了我对电子电路的理解。与加州大学戴维斯分校的 Stephen H. Lewis 教授和 Paul J. Hurst 教授一起工作是非常令人愉快的, 在他们两位的帮助下, 在固态电路研究实验室形成了一个工作和学习的良好氛围。此外还要感谢国家半导体公司的 Dave Crook, Graham Baskerville, John Steininger 以及惠普公司的 Ron Guly, 他们在为本书提供数据、照片以及其他信息方面给予了很大的帮助。Dwight Morejohn 在封面设计上做出了很大努力, Zoe Marlowe 拍摄了第 4 章开始处的照片。James D. Plummer 教授、Michael D. Deal 博士和 Peter B. Griffin 博士非常友好地允许我从他们的著作《硅超大规模集成电路工艺技术: 理论、实践与模型》(“*Silicon VLSI Technology: Fundamentals, Practice, and Modeling*”) 中抽取本书第 3 章所需的材料, 在此表示衷心的感谢! Venkatesh Akella 教授为本书第 4 章提供了关于数字 CAD 工具方面的信息, Charles Blas 编写了本书配套 CD 的安装程序。许多学生在习题解答方面给予了很多帮助并阅读了全书, 他们是 Salma Begum, Stephen Bruss, Efram Burlingame, Nick Chang, Chieu Yin Chia, Michael Collins, Ozan Erdogan, Alex Gros-Balthazard, Royce Higashi, Tunde Gyurics, Chris Holm, Yardley Ip, Jessi Johnson, Frank Lau, Tom McDonald 和 Sophia Tang。另外, Thomas Matthews 教授也为本书提供了一些习题和相应的解答。我也非常感谢那些花时间评阅本书并提出许多建设性意见的审阅人, 他们是佐治亚梅森大学的 Alok K. Berry, 东北大学的 Amir Farhat, 南佛罗里达大学的 Samuel J. Garret, 杜克大学的 Rhett T. George, 乔治华盛顿大学的 Can E. Korman, 佛罗里达工学院的 Sam Kozaitis, 加州州立大学萨克拉门多分校的 Thomas Matthews, 佐治亚梅森大学的 Venkata Rao Mulpuri, 明尼苏达大学的 Dennis Polla, 圣何塞州立大学的 B. Song, 华盛顿大学的 Karl A. Spuhl 以及佐治亚工学院的 John Uyemura。最后, 要向培生出版公司的 Tom Robins, Scott Disanno 及各位同仁表示感谢, 他们既要忍受我的啰嗦, 还要保持一份幽默, 并努力将这本书做到最好。

Richard Spencer
于加州大学戴维斯分校

目 录

第 1 章 电子电路设计	1
引言	1
1.1 设计步骤	2
1.2 设计分析	3
1.3 电子系统	15
1.4 符号	24
练习答案	25
本章小结	26
参考文献	27
习题	27
第 2 章 半导体物理与电子器件	33
引言	33
2.1 材料性质	33
2.2 导电机理	36
2.3 导体 - 半导体接触	39
2.4 pn 结二极管	45
2.5 双极型晶体管	61
2.6 金属 - 氧化物半导体场效应晶体管	71
2.7 结型场效应晶体管	86
2.8 金属 - 半导体场效应晶体管	92
2.9 硅控整流器和功率控制器件	93
2.10 器件比较	95
练习答案	96
本章小结	97
参考文献	98
习题	99
第 3 章 固态器件制造介绍	103
引言	103
3.1 CMOS 技术	103
3.2 二极管技术	121
本章小结	122
参考文献	122
习题	122

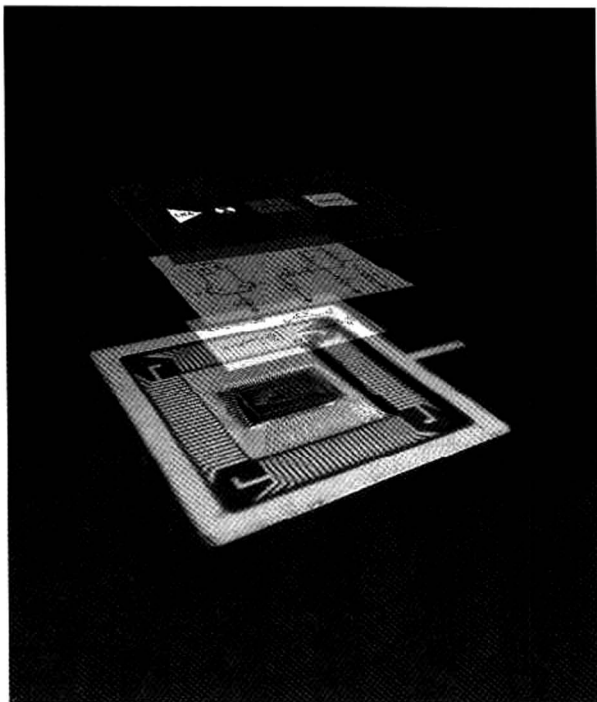
第4章 计算机辅助设计：工具与技巧	124
引言	124
4.1 模拟技巧概述	125
4.2 利用 SPICE 进行电路模拟	126
4.3 SPICE 电路元件及模型	131
4.4 SPICE 中的宏模型	144
练习答案	145
本章小结	148
参考文献	149
习题	149
第5章 运算放大器	153
引言	153
5.1 基本运算放大器电路	153
5.2 与频率相关的运算放大器电路	166
5.3 非线性运算放大器电路	171
5.4 运算放大器的非理想特性	175
练习答案	188
本章小结	189
参考文献	189
习题	190
第6章 小信号线性化和放大	199
引言	199
6.1 线性时不变网络	199
6.2 非线性电路分析	200
6.3 小信号分析	202
6.4 小信号放大器	208
6.5 放大器的类型	212
练习答案	216
本章小结	218
参考文献	218
习题	218
第7章 直流偏置	223
引言	223
7.1 直流大信号低频模型设计	224
7.2 单级放大器的偏置	241
7.3 多级放大器的偏置	252
7.4 集成电路的偏置	253
7.5 差分放大器的偏置	259

7.6 最坏情况分析和参数变化	261
练习答案	263
本章小结	265
参考文献	265
习题	265
第 8 章 低频交流小信号分析与放大器	277
引言	277
8.1 低频小信号模型	277
8.2 多级电压和电流增益	291
8.3 电压缓冲器	309
8.4 电流缓冲器	318
8.5 集成放大器	322
8.6 差分放大器	330
8.7 多级放大器	345
8.8 BJT 和 FET 放大器的比较	351
练习答案	352
本章小结	356
参考文献	356
习题	356
第 9 章 放大器的频率响应	374
引言	374
9.1 用于设计的高频小信号模型	375
9.2 同时具有电压和电流增益的放大器	384
9.3 电压缓冲器	409
9.4 电流缓冲器	418
9.5 单级放大器的比较	422
9.6 多级放大器	423
9.7 差分放大器	440
练习答案	452
本章小结	457
参考文献	458
习题	458
第 10 章 反馈	475
引言	475
10.1 负反馈	475
10.2 正反馈和振荡器	536
练习答案	546
本章小结	555

参考文献	556
习题	557
第 11 章 滤波器和调谐放大器	578
引言	578
11.1 滤波器	578
11.2 调谐放大器	601
11.3 锁相环	611
练习答案	616
本章小结	617
参考文献	618
习题	618
第 12 章 低频大信号交流分析	626
引言	626
12.1 二极管电路	626
12.2 放大器	635
12.3 输出级	660
练习答案	671
本章小结	673
参考文献	674
习题	674
第 13 章 数据转换器	683
引言	683
13.1 概要	683
13.2 数/模转换器	689
13.3 模/数转换器	694
练习答案	697
本章小结	698
参考文献	698
习题	698
第 14 章 门级数字电路	702
引言	702
14.1 背景与二进制逻辑	703
14.2 触发器	707
14.3 移位寄存器和计数器	712
14.4 传输线的反射	714
练习答案	718
本章小结	719

参考文献	719
习题	719
第 15 章 晶体管级数字电路	722
引言	722
15.1 数字电路的器件模型	722
15.2 逻辑门的说明	736
15.3 MOS 数字电路	740
15.4 双极型逻辑电路	761
练习答案	778
本章小结	781
参考文献	782
习题	783
附录 A SPICE 的相关说明	791
附录 B 器件模型示例	804
参考文献	807
部分习题答案	808
缩略术语表	815
电路符号	820

第1章 电子电路设计



此图说明了电子电路分析与设计的不同层次所用的抽象概念。从真实电路开始，逐步过渡到器件方程，然后是晶体管级电路图，最后是模块级电路图。

引言

本章是基于读者以前从没有过任何系统设计经验但曾学过一门或多门电路分析课程的假设而编写的。编写这一章的目的之一就是解释分析与设计的区别。虽然设计步骤因人而异，但总有一些经验和技巧几乎人人适用。另外，虽然设计过程中包含很多的分析，但是当目的是为了设计具有可行性而不是直接得出答案时，这些分析所用的理念及方法是不一样的。

虽然本书最终是寻求系统的处理方法，但是设计中所做的分析通常不会遵循任何一套处处皆宜的既定程序。当一套程序可以被描述出来时，人们会将程序编入计算机让计算机去完成工作，而不会花钱请别人做。所以，虽然可能很多时候发现每个问题之间略有不同会让人心情沮丧，但这就是现实工程的真实写照。

在描述设计步骤时，阐明了模拟与数字系统的区分，讨论了模块图和各级抽象的概念，并例举了两个复杂的电子系统。另外还在补充说明中推导出了几个有用结论，以供读者参考。本章最后一节列举了将在全书中使用的符号。

希望通过这个引言能够激发读者深入学习的欲望，同时也希望能够有助于读者从分析电子电路与系统性能到设计电子电路与系统所必需的心理意识转变。即使不会成为一名电路设计人员，你也会在学习本书时发掘出一些有用的解决问题的技巧。电路设计领域中存在的许多问题在所有工程领域中几乎都存在。例如，我们需要为给定的任务选定合适的物理系统模型级别。

1.1 设计步骤

设计步骤通常始于问题报告书。例如，假如欲设计一款新的电动车，要求它同现有的产品比较可以在一次充电之后能走得更远的同时生产成本更低。根据设计要求写出一份清晰的报告书并不总是那么简单。有些时候必须在这一步骤中投入大量的工作。在设计意图没有被充分理解之前开始设计工作绝非明智之举。

一旦一份清晰的问题报告书完成之后，设计团队必须准备一份行动计划。通常第一步会详细核算项目的各项指标，可能包括各种指标的优先级，这样就可以后必须要做的权衡中做出更合理的评估（例如，一次充电量的大小对成本来说有多重要）。下一步就是确认达到报告书中所述指标的可能方案。这一步通常借助于“脑力激荡”完成^①。

将可能方案列出之后，再对每种方案进行严格复审，检查是否有任何明显理由将其排除出进一步考虑的范围之列。复审结果（通常会更短）的清单还要进行更详细的审核。此时，设计工作通常需要被分割成若干个不同的子系统（如发动机、车身等），各小组的设计师针对每个子系统重复该方案审核工作。而每个子系统还有可能再细分。

每一步工作都要分为如下四步：

- 首先，设计指标要核算，而且可能还要建立优先级。
- 第二，需要列出一份包含尽可能多的能够完成所列指标的方案清单。
- 第三，这份初始清单中的每个方案都要进行严格复审，筛选出可行的选择方案。
- 第四，对剩余的选择需要进行更长、更周密的分析：注意此时设计工作可能被分成若干个小的子系统。

这个过程可能会随着各个小组的整合以及分割方式的改变或者各种不同组合方式的权衡处理（例如，假如车身能更有效地借助空气动力学，那么发动机就不需要太强大）而重复多遍。最终会有一个或两个方案被选定，工作便可在一定的保证中展开。然而至此为止，各个小组已经做了大量的设计工作，因为设计在很大程度上就是各种选择方案的探索，然后是分析，最终选定一套适合于相应任务的最佳方案。很多时候设计过程包括一项当提到设计时大多数人都会想到的步骤，那就是综合。

综合就是创造新事物的过程，至少对创造它的人来说是如此。虽然通过实践和严格测验，所用的设计步骤总能在综合中得到更好的结果，但是并没有太多东西能直接教你如何去综合一个全新的电子电路。一般来说这与设计中将各种可能方案列举出来然后进行各种级别的分析是类似的。然而两者的区别在于各种可能方案的列举。它不仅仅只是核算出你所知道的能够实现某项功能的所有方法，使我们更感兴趣的是找到一种实现某项功能的全新方法，或者是因为目前根本不存在这样的方法或者由于某种原因现有的技术方法不能完全胜任这项任务。

虽然综合的系统性不如设计^②那么强，而且似乎没有什么东西可以拿来直接使用，但是所学的有关设计步骤的许多内容同样有助于综合的学习，要想学好综合，必须先尽可能多地熟悉电路及其功能，同时还必须学会以多种不同级别的抽象概念来考虑电路，这样才能提高或改变它们的性能。通过对本书中所讲述的有关电路设计知识的学习，应该能获得对于综合与设计同样有用的知识和技巧。

最后要指出的是，综合很可能需要花费更多的时间来完成，而且比采用已知方法的风险性更大，因为你的新的绝妙设想可能根本不能工作！因此，一个好的设计师会仔细研究以前解决同样或类似问题所用的方法从而发现尽可能多的解决方法。从商业的角度来说，重复别人的工作通常并不是一个好主意。

① “脑力激荡”是指将你认为所有可能解决给定问题的不同方案都列出来，而不考虑这些方案是否切实可行。针对新提议的解决方案的严格复审工作应推迟到后面的步骤进行。

② 目前已经有了可对希望有传输函数的网络进行综合的系统化方法，但是此处所描述的是对范围更广的函数的综合，甚至于其基本的布局可能都是全新的。