

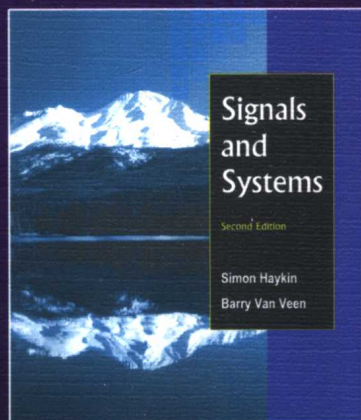
国外电子与通信教材系列

西蒙·赫金

信号与系统

(第二版)

Signals and Systems
Second Edition



[加] Simon Haykin 著
[美] Barry Van Veen

林秩盛 黄元福 林 宁 等译
林秩盛 审校



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
<http://www.phei.com.cn>

作
者
力
作
者
力
作
者
力

国外电子与通信教材系列

信号与系统

(第二版)

Signals and Systems

Second Edition

[加] Simon Haykin 著
[美] Barry Van Veen

林秩盛 黄元福 林 宁 等译

林秩盛 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了信号与系统的基本概念、理论、方法及应用。全书共分10章。第1章介绍了信号与系统的基本概念；第2章讨论了线性非时变系统的时域分析方法；第3章和第4章分别讨论了离散时间周期与非周期信号、连续时间周期与非周期信号，以及线性非时变系统的傅里叶描述以及傅里叶描述在混合信号类型中的应用；第6章和第7章分别讨论了连续时间信号与离散时间信号的复指数描述；第5章、第8章和第9章分别介绍了信号与系统在通信系统、滤波器与均衡器以及线性反馈系统中的应用；第10章为若干关于非平稳信号以及非线性与时变系统方面的课题提供了简要的说明。本书在体系和内容上独具特色。第1章包含了有关噪声的新内容，第4章特别介绍了在混合信号应用中如何在4种基本傅里叶表示方法之间建立联系。全书各章都有用MATLAB语言解题的内容、参考资料以及进一步的阅读材料，并配有相当数量的例题。通过书中大量的各类习题以及计算机实验，能够使读者开阔视野，为读者提供了足够的训练空间。

本书可作为电气工程、电子、通信、信号处理、自动控制、计算机等专业的信号与系统课程的教材或参考书，也可供从事相关领域工作的工程技术人员参考。

Simon Haykin, Barry Van Veen: **Signals and Systems, Second Edition.**

ISBN 0-471-37851-8

Copyright © 2003, John Wiley & Sons, Inc. All Rights Reserved.

AUTHORIZED TRANSLATION OF THE EDITION PUBLISHED BY JOHN WILEY & SONS NEW YORK, CHICHESTER, BRISBANE, SINGAPORE AND TORONTO. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of John Wiley & Sons, Inc.

Simplified Chinese translation edition Copyright © 2004 by John Wiley & Sons, Inc. and Publishing House of Electronics Industry.

本书中文简体字翻译版由电子工业出版社和John Wiley & Sons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。

版权贸易合同登记号 图字：01-2003-1043

图书在版编目 (CIP) 数据

信号与系统 (第二版) / (加) 赫金 (Haykin, S.) 等著; 林秩盛等译. - 北京: 电子工业出版社, 2004.8
(国外电子与通信教材系列)

书名原文: Signals and Systems, Second Edition

ISBN 7-5053-9919-5

I. 信... II. ①赫... ②林... III. 信号系统 - 教材 IV. TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 073030 号

责任编辑: 马 岚 特约编辑: 马爱文

印 刷: 北京兴华印刷厂

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: 49 字数: 1254 千字

印 次: 2004 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 58.00 元

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 zltz@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 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”。

为做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、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 杨千里	北京邮电大学校长、教授、博士生导师 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委员会委员
	徐安士	北京大学教授、博士生导师、电子学系副主任 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委员会委员
	阮秋琦	北方交通大学教授、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、电子工程系主任 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导委员会委员
	郑宝玉	南京邮电学院副院长、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委员会委员
	徐重阳	华中科技大学教授、博士生导师、电子科学与技术系主任 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员
	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、教材建设委员会主任
	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	电子工业出版社副社长

译者序

人类社会正在经历一场史无前例的科技大变革,作为其中最活跃的领域之一,信息科学与技术正以惊人的速度迅猛发展。信息产业尤如旭日当空,信息事业日新月异,其飞速发展必将对整个国民经济和社会主义建设产生深刻的影响。有关信息的产生与获取、信息的可靠传输和交换、信息的加工处理和重现等基本理论与技术,已经成为信息学科中的重要而必备的知识。关于信号的各种特征、频谱结构、变化规律,以及系统的特征与性能的分析研究也已成为信息学科中十分重要的工作。随着电子信息科技的迅速发展和计算机的广泛应用,信号与系统的基本概念和分析方法已被广泛地引进到各个学科,信号与系统作为信息科学、电气工程、电子学与技术、通信工程、生物医学工程、自动化及计算机类等有关专业中一门重要的理论基础课程,其重要性与作用日益提高。在这种环境下,引进具有各种特色的国外著作作为国内高等学校的教材和广大科技人员的参考书,鉴赏外国著作的风采,汲取外国教材的精华、优点和长处,了解国外科技发展的情况,是培养适应 21 世纪科技发展和我国市场经济发展的科技人才的需要。

本书是信号与系统方面的知名专家 Simon Haykin 和 Barry Van Veen 的近作。它在第一版的基础上增加了不少新内容,并在材料和内容的组织和编排上,在提高概念与原理的完整性和课程的应用性方面做了较大的改进。本书具有如下几个主要优点:

- 增加了混合信号类型中傅里叶描述应用的内容。
- 增加了 6 个主题范例和关于电子噪声的内容,介绍了通信系统、滤波器设计和控制系统等领域中的应用,充分说明了信号与系统广泛的应用范围。
- 每章中都有大量的例子来说明概念以及相关理论的应用,并强调了正确运用理论所需的数学步骤,分析和论证的过程清晰、严谨而易懂。
- 书中在每个重要的概念之后都提供了大量的习题和答案,在每章结束之后还提供了有一定难度和特色的补充题和思考题。
- 每章都介绍了如何使用 MATLAB 来探究概念,还提供了一定数量的上机实验题。通过大量的各类习题以及计算机实验,使读者开阔视野,为读者提供足够的训练空间。

我们希望本书出版后对广大读者学习信号与系统,掌握信号与系统的基本概念、基本理论和应用能起到应有的作用。

本书的第 1 章和第 2 章由黄元福翻译,第 4 章、第 5 章、第 8 章和第 9 章由林秩盛翻译,前言、第 6 章、第 10 章及附录由林宁翻译,第 3 章和第 7 章由硕士研究生陆南昌、王仁发和熊燕合译并由林秩盛修改。全书的审校工作由林秩盛负责。由于译者水平和时间有限,译文中错误或不妥之处在所难免,恳请读者给予批评指正。

前 言

“信号与系统”在大学电气工程专业课程中的重要性

在构成千变万化、日新月异的电气工程学科的许多领域的学习中,“信号与系统”是一门基础课程,并且也是学习通信、信号处理和控制等课程的先修课程。从信号与系统中得到的计算的普遍性质和概念,例如抽样,在几乎所有的电气工程领域中都占据了重要位置。尽管不同领域中的信号与系统在它们的物理组成和应用方面存在着固有的差别,但是信号与系统的原理和工具在这些领域中都是适用的。

“信号与系统”课程的讲授通常以两种形式进行:

- 如果授课时间为一个学期,则重点在于确定信号的分析 and 线性非时变(LTI)系统的讲解,辅以通信和控制系统的实际范例。
- 如果授课时间为两个学期,则在第一学期课程的基础上加上信号处理、通信与控制系统的详细内容。

本课程的适用对象为本科二年级或三年级的学生,要求他们已学过微积分和基础物理知识。

本书如何满足课程的基本需要

由于“信号与系统”课程是一门基础课程,具有广泛的介绍性和应用性,所以本书必须是易读和准确的;书中包括大量的例题、习题和计算机实验题,使人以一种高效方式迅速掌握信号与系统的基本知识。在撰写本书时,我们已经考虑到以上的这些特点。

第二版在第一版的基础上,为信号与系统的连续时间和离散时间形式提供了完整的、有条不紊的解决方法。这种方法对于引导学生区分信号与系统的连续时间和离散时间形式的异同点有明显帮助,并且能够反映当前工程实践中的连续时间和离散时间概念的完整性。第一版和第二版的读者的一致评价是,第4章中的处理问题方法有着许多显著的、引人注目的特色。这一章包括:连续时间信号的抽样,从样本中重构连续时间信号以及包括不同的混合类型信号的其他应用。综合解题方法贯穿于“信号与系统”课程中的大量典型论题。例如,第3章介绍了4种傅里叶表示的全部特征,特别注重对于加深理解和避免混乱的综合解题方法的描述。例如,第3章提到的4种傅里叶表示和应用于不同信号类型的表示既相似又有区别。只有当学生能够完全掌握这些内容以后,才有可能运用傅里叶表示来分析第4章所引入的不同类型的信号。

由于信号表示和系统分析的数学特点,读者容易忽视它们的实际应用,所以本书的第5章、第8章和第9章着重介绍了通信系统、滤波器设计和控制系统等领域的应用,激励读者向这些方面思考。此外,在本书的第二版中投入大量的精力,通过许多面向应用的例子使读者将应用的焦点放在面向工具的章节中。第1章介绍的6个主题范例,在后续的章节中会再次回顾,这6个主题范例说明了对于同样的一个问题,如何使用不同的信号表示和系统分析工具展示不同的观点。这些主题范例经过了精心筛选,以说明信号与系统概念的广泛应用。

编写本书的目的是希望能够从知识覆盖面和表达的次序上提供最大的教学灵活性,并且真正遵循完整的连续和离散时间概念。当依次介绍连续和离散时间概念的时候,例如第2章中的卷积和第3章中的傅里叶表示,必须在这些章节之前首先介绍连续或离散时间的观点。类似地,第6章和第7章的顺序也可以互换。如果课程安排了两个学期的时间,可以将本书中的大部分内容讲授完。如果只安排一个学期的时间,选讲的内容由授课教师决定。

为强化与促进学习而设计的结构

本书加入了一系列能够强化与促进学习过程的具有特色的素材,尽量用清晰、易懂而又严谨的方式进行写作。并且,本书采用了能够突出重点的版面编排和格局,例如,重要的公式和步骤都放在方框里面,所有的例子都做了标识。图例的选择和编排为信号与系统的重要概念做了形象的说明,能够加深对文字和公式的理解。

每一章都使用了大量的例子来说明相应理论的应用。书中的概念都用例题来说明,并强调了正确运用理论所需的数学步骤,通过例子说明了从理论到实践的应用。

大量的实践练习是掌握信号与系统工具所必需的。因此,对于每个重要的概念都在其后提供了大量的习题和答案,在每一章结束之后也提供了不少习题。这些题目使学生能够在学完一个概念后马上得到练习的机会,并检验他们所掌握的原理。每章后面的习题有一定的难度和特色,提供了进一步的练习机会,巩固了基本概念,并且将理论扩展到新的应用范围中去。每一章还介绍了如何使用 MATLAB(MATrix LABoratory 的缩写,是用于数学计算的高级语言)对“软件实验”进行原理探究和系统设计测试。每章结束后还提供了一定数量的上机实验题。

第二版的创新之处

总的来说,本书的新版沿用了第一版的组织结构和体系。但是,新版中增加了新的例题和习题,还做了一些重要的改动。除了改进全书的层次和格局,长的章节被分成了小的单元。以下概括每一章具体的改进之处:

- 第1章增加了两节新内容,一节是主题范例,另一节是电子噪声。6个主题范例充分说明了信号与系统的广泛应用,并且对同一个例子提出了不同的展望,为后续章节埋下伏笔。本章还增加了两个小节,一节讨论了微机电系统(MEMS),另一节讨论了单位冲激函数的微商。
- 第2章将离散和连续时间卷积用独立的、并行的几节组织起来,而关于 LTI 系统的频率响应的介绍则移至第3章。本章还使用了微分方程和差分方程来解决一些较深奥的问题。
- 第3章通过介绍一些新的例子,将重点放在信号的傅里叶表示的应用上,并结合第一版第4章中关于滤波的概念,对其中的特性进行了重新编排。例如,由于卷积特性在实践中的重要性,第二版很早就将它提了出来。对于傅里叶级数、离散时间傅里叶级数和离散时间傅里叶变换这些内容,都作为难点重新进行了组织。
- 第4章采用了新的标题,反映出本章的重点更加紧凑了。LTI 系统的频率响应的内容移到了第3章。另外,插值法、抽取法和快速卷积则作为难点重新进行了组织与安排。
- 第5章增加了一节关于科斯塔斯接收机的新内容,科斯塔斯接收机用于双边带抑制载波调制信号的解调。

- 第 6 章对单边拉普拉斯变换的定义进行了修改,包括了冲激以及在 $t = 0$ 时的不连续性;而第一版第 9 章中关于波特图的内容现在放到了对频率响应的图形分析的讨论中。
- 第 9 章引入了新的一节来讨论反馈的基本概念和“为什么要反馈”,压缩了关于反馈控制系统的处理的内容,将重点放在关于稳定性及其不同方面的基本论题上。
- 第 10 章彻底进行了重写。此外,还介绍了小波和非线性反馈系统的稳定性处理的更详细的内容。
- 附录 F 是一个全新的附录,介绍如何使用 MATLAB。

补充资源

使用本书作为教材的老师可以通过申请,从网站上获得以下补充资源(详情参见书后所附“教学支持说明”):

PowerPoint 幻灯片:书中的每个实例都做成了 PowerPoint 形式,能够使教学的准备工作变得容易。

习题解答:从网站上可以下载一份电子版的习题解答。

MATLAB 源程序:从网站上可以下载一些上机的例子和上机实验用的 M 文件。

关于本书的封面

本书英文原著的封面是美国加利福尼亚州沙斯塔山的照片。选择这幅照片作为封面是因为它象征着一种挑战,暗示着要经过努力才能到达山脉的顶峰,激励大家勇于攀登科学的高峰。我们殷切希望读者学完这本书以后,能够牢固掌握信号与系统的基本概念和知识,并且能够不断提高以获得更多的电子工程方面的知识。

第 1 章有利用合成孔径雷达(SAR)系统得到的沙斯塔山的图像。获得 SAR 图像时使用的很多概念都能够从信号与系统的学习中得到。这幅 SAR 图像代表了沙斯塔山的不同的景观,暗示了通过学习信号与系统,可以对同样的问题得到不同的观点。

致谢

在写本书的第二版时,我们从许多使用第一版的老师和学生、一些不知名的评论者以及同行那里得到了很多有益的建议。非常感谢 Portland 大学的 Aziz Inan 教授能够仔细地阅读本书的全部手稿,并且提出了许多非常有用的建议,促进了本书的提高。此外,以下的同事慷慨地为第二版的编写提供了许多详细的资料,他们是:

- 密歇根大学的 Yogesh Gianchandani 教授
- 威斯康星大学的 Dan Cobb 教授
- 威斯康星大学的 John Gubner 教授
- 威斯康星大学的 Chris Demarco 教授
- 威斯康星大学的 Leon Shohet 教授
- 威斯康星大学的 Jacob Eapen 先生
- Daniel Sebald 博士

我们非常感谢他们,感谢他们帮我们以独特的方法塑造出本书第二版的最终形式。

Barry Van Veen 要感谢他在威斯康星大学的同事们给他机会,让他能够长期讲授信号与系统的课程。Simon Haykin 要感谢他的过去和现在的学生,能够教导他们并指导他们的研究是他的荣幸。

我们还要感谢 McMaster 大学和威斯康星大学的许多学生,他们提出来的建议和问题使我们重新考虑了书中的一些材料。此外,我们要感谢 Chris Swickhamer 和 Kris Huber,他们帮助准备了本书的一些计算机实验、MATLAB 的介绍、解题指南,并校对了本书的纸样。

Bill Zobrist, 电子工程类教材的优秀编辑,很有经验地指导了本书第二版的构思和实现。非常感谢他对我们的大力支持和鼓励,并提出了很多富有建设性的意见。感谢 Caroline Sieg 能够在很短的时间里组织好出版的工作;感谢 Katherine Hepburn(高级市场经理)对本书有创造力的销售。

非常感谢 Fran Daniele 和她的 Preparé 公司的全体员工,感谢他们对本书的成功出版所做的极出色的工作。能够和他们一起工作是一件令人愉快的事情。

最后,Simon Haykin 要感谢他的妻子 Nancy; Barry Van Veen 要感谢他的妻子 Kathy 和孩子 Emily, David 和 Jonathan 在撰写该书的很长一段时间里对他的支持和理解。

Simon Haykin

Barry Van Veen

记号表示

[·] 标记离散值自变量,例如 $x[n]$

(·) 标记连续值自变量,例如 $x(t)$

● 复数

$|c|$ 复量 c 的大小

$\arg\{c\}$ 复量 c 的相角

$\text{Re}\{c\}$ c 的实部

$\text{Im}\{c\}$ c 的虚部

c^* c 的复共轭

● 小写函数表示时域量,例如 $x(t), w[n]$

● 大写函数表示频域或变换域的量

$X[k]$ $x[n]$ 的离散时间傅里叶级数的系数

$X[k]$ $x(t)$ 的傅里叶级数的系数

$X(e^{j\Omega})$ $x[n]$ 的离散时间傅里叶变换

$X(j\omega)$ $x(t)$ 的傅里叶变换

$X(s)$ $x(t)$ 的拉普拉斯变换

$X(z)$ $x[n]$ 的 z 变换

● 黑体小写符号表示矢量,例如 $\mathbf{q}$

● 黑体大写符号表示矩阵量,例如 $\mathbf{A}$

● 下标 δ 标志离散时间信号的连续时间表示

$x_\delta(t)$ $x[n]$ 的连续时间表示

$X_\delta(j\omega)$ $x_\delta(t)$ 的傅里叶变换

● Sans Serif 字体标记 MATLAB 变量或命令,例如 $\mathbf{x} = \text{fft}(\mathbf{x}, n)$

● 为方便起见,规定 0^0 为 1

● $\arctan$ 表示四象限反正切函数,并产生一个介于 $-\pi \sim \pi$ 弧度之间的值

重要符号

j -1 的平方根

$\mathbf{i}$ MATLAB 所使用的 -1 的平方根

T_s 抽样间隔,以秒为单位

T 连续时间信号的基本周期,以秒为单位

N 通过抽样而获得的离散时间信号的基本周期

ω 连续时间信号的(角)频率,单位:弧度/秒

Ω 离散时间信号的(角)频率,以弧度为单位

ω_o 连续时间周期信号的基本(角)频率,单位:弧度/秒

Ω_o 离散时间周期信号的基本(角)频率,以弧度为单位

$u(t), u[n]$	单位幅度的阶跃函数
$\delta[n], \delta(t)$	单位冲激
$H\{\cdot\}$	将一个系统作为运算符 H 来表示
$S^\tau\{\cdot\}$	时移 τ 单位
$H^{\text{inv}}, h^{\text{inv}}$	上标 inv 表示逆系统
$*$	表示卷积运算
$\otimes$	两周期信号的周期卷积
$H(e^{j\Omega})$	离散时间系统的频率响应
$H(j\omega)$	连续时间系统的频率响应
$h[n]$	离散时间系统的冲激响应
$h(t)$	连续时间系统的冲激响应
$y^{(h)}$	上标 (h) 表示齐次解
$y^{(n)}$	上标 (n) 表示自然响应
$y^{(f)}$	上标 (f) 表示强迫响应
$y^{(p)}$	上标 (p) 表示特解
$\longleftrightarrow_{\text{DTFS}; \Omega_0}$	基本频率为 Ω_0 的离散时间傅里叶级数对
$\longleftrightarrow_{\text{FS}; \omega_0}$	基本频率为 ω_0 的傅里叶级数对
$\longleftrightarrow_{\text{DTFT}}$	离散时间傅里叶变换对
$\longleftrightarrow_{\text{FT}}$	傅里叶变换对
$\longleftrightarrow_{\mathcal{L}}$	拉普拉斯变换对
$\longleftrightarrow_{\mathcal{L}_u}$	单边拉普拉斯变换对
$\longleftrightarrow_z$	z 变换对
$\longleftrightarrow_{z_u}$	单边 z 变换对
$\text{sinc}(u)$	$\frac{\sin(\pi u)}{\pi u}$
$\cap$	相交
$T(s)$	闭环传递函数
$F(s)$	回差 (return difference)
$L(s)$	环路传递函数

缩写

A	amperes (units for electric current)	安培 (电流单位)
A/D	analog-to-digital (converter)	模拟 - 数字 (转换器)
AM	amplitude modulation	调幅
BIBO	bounded input-bounded output	有界输入 - 有界输出
BPSK	binary phase-shift keying	二进制移相键控
CD	compact disc	只读光盘

CW	continuous wave	连续波
D/A	digital-to-analog(converter)	数字 - 模拟(转换器)
dB	decibel	分贝
DSB-SC	double-sideband suppressed carrier	双边带抑制载波
DTFS	discrete-time Fourier series	离散时间傅里叶级数
DTFT	discrete-time Fourier transform	离散时间傅里叶变换
ECG	electrocardiogram	心电图
F	Farads (units for capacitance)	法拉(电容单位)
FDM	frequency-division multiplexing	频分复用
FFT	fast Fourier transform	快速傅里叶变换
FIR	finite-duration impulse response	有限持续时间冲激响应
FM	frequency modulation	调频
FS	Fourier series	傅里叶级数
FT	Fourier transform	傅里叶变换
H	Henries(units for inductance)	亨利(电感单位)
Hz	Hertz	赫兹
IIR	infinite-duration impulse response	无限持续时间冲激响应
LTI	linear time-invariant(system)	线性非时变(系统)
MEMS	microelectricalmechanical system	微机电系统
MSE	mean squared error	均方误差
PAM	pulse-amplitude modulation	脉冲调幅
PCM	pulse-code modulation	脉冲编码调制
PM	phase modulation	调相
QAM	quadrature-amplitude modulation	正交调幅
RF	radio frequency	射频
ROC	region of convergence	收敛域
rad	radian(s)	弧度
s	second(s)	秒
SSB	single sideband modulation	单边带(调制)
STFT	short-time Fourier transform	短时傅里叶变换
TDM	time-division multiplexing	时分复用
V	volts(units for electric potential)	伏特(电位的单位)
VLSI	very large scale integration	超大规模集成电路
VSB	vestigial sideband modulation	残留边带调制
WT	wavelet transform	小波变换

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 信号	1
1.2 系统	1
1.3 系统举例	2
1.4 信号的分类	13
1.5 信号的基本运算	21
1.6 基本信号	28
1.7 将系统看成是一种互联运算	45
1.8 系统的特性	46
1.9 噪声	59
1.10 主题范例	61
1.11 利用 MATLAB 探究概念	69
1.12 小结	74
进一步的阅读材料	74
补充题	76
提高题	83
计算机实验题	87
第 2 章 线性非时变系统的时域描述	88
2.1 引言	88
2.2 卷积和	89
2.3 卷积和计算过程	92
2.4 卷积积分	104
2.5 卷积积分计算过程	105
2.6 LTI 系统的互联	116
2.7 LTI 系统的特性与冲激响应之间的关系	121
2.8 阶跃响应	127
2.9 LTI 系统的微分和差分方程描述	129
2.10 微分和差分方程的求解	134
2.11 微分和差分方程所描述的系统的特性	143
2.12 方框图表示	147
2.13 LTI 系统的状态变量描述	152
2.14 利用 MATLAB 探究概念	160
2.15 小结	165

进一步的阅读材料	166
补充题	167
提高题	178
计算机实验题	181
第 3 章 信号与线性非时变系统的傅里叶描述	183
3.1 引言	183
3.2 复正弦信号和 LTI 系统的频率响应	183
3.3 4 种信号的傅里叶表示	186
3.4 离散时间周期信号:离散时间傅里叶级数	189
3.5 连续时间周期信号:傅里叶级数	200
3.6 离散时间非周期信号:离散时间傅里叶变换	214
3.7 连续时间非周期信号:傅里叶变换	224
3.8 傅里叶表示的特性	235
3.9 线性与对称特性	236
3.10 卷积特性	241
3.11 微分和积分特性	251
3.12 时移和频移特性	259
3.13 利用部分分式展开法求傅里叶逆变换	264
3.14 相乘特性	270
3.15 尺度变换特性	277
3.16 帕斯瓦尔关系	281
3.17 时间-带宽乘积	283
3.18 对偶特性	284
3.19 利用 MATLAB 探究概念	289
3.20 小结	297
进一步的阅读材料	298
补充题	298
提高题	315
计算机实验题	322
第 4 章 混合类型信号中傅里叶描述的应用	326
4.1 引言	326
4.2 周期信号的傅里叶变换	327
4.3 周期与非周期混合信号的卷积与相乘	331
4.4 离散时间信号的傅里叶变换	341
4.5 抽样	345
4.6 由样本重构连续时间信号	353
4.7 连续时间信号的离散时间处理	364

4.8 有限持续时间非周期信号的傅里叶级数表示	371
4.9 用离散时间傅里叶级数近似傅里叶变换	376
4.10 求 DTFS 的有效算法	383
4.11 用 MATLAB 探究概念	386
4.12 小结	390
进一步的阅读材料	390
补充题	391
提高题	399
计算机实验题	406
第 5 章 通信系统中的应用	410
5.1 引言	410
5.2 调制类型	410
5.3 调制的好处	413
5.4 全调幅	414
5.5 双边带抑制载波调制	423
5.6 正交载波多路调制	428
5.7 其他调幅方式	429
5.8 脉冲调幅	432
5.9 多路复用	437
5.10 相时延和群时延	440
5.11 用 MATLAB 探究概念	444
5.12 小结	453
进一步的阅读材料	454
补充题	455
提高题	459
计算机实验题	462
第 6 章 信号的连续时间复指数描述:拉普拉斯变换	463
6.1 引言	463
6.2 拉普拉斯变换	463
6.3 单边拉氏变换	469
6.4 单边拉氏变换的特性	470
6.5 单边拉氏逆变换	476
6.6 求解具有初始条件的微分方程	480
6.7 电路分析中的拉氏变换法	485
6.8 双边拉氏变换的特性	487
6.9 收敛域特性	490
6.10 双边拉氏逆变换	494