

国外电子与通信教材系列



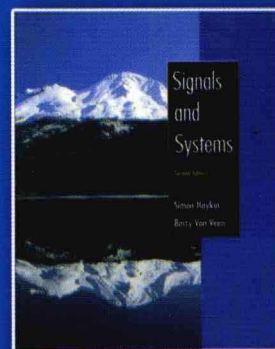
西蒙·赫金

Signals and Systems, Second Edition

信号与系统 (第二版)

[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>

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章讨论了线性时不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，线性时不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、滤波器与均衡器及线性反馈系统中的应用；第10章简要讨论了非平稳信号及非线性与时变系统方面的课题。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和计算机实验，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 978-0-471-16474-6

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

AUTHORIZED TRANSLATION OF THE EDITION PUBLISHED BY JOHN WILEY & SONS. 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 © 2013 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, Inc. 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2版/(加)赫金(Haykin, S.), (美)范维恩(Veen, B. V.)著；林秩盛等译。

北京：电子工业出版社，2013.1

书名原文：Signals and Systems, Second Edition

国外电子与通信教材系列

ISBN 978-7-121-18665-3

I. ①信… II. ①赫… ②范… ③林… III. ①信号系统-高等学校-教材 IV. ①TN911.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第237953号

策划编辑：马 岚

责任编辑：马 岚

印 刷：涿州市京南印刷厂

装 订：涿州市京南印刷厂

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

开 本：787×1092 1/16 印张：39.5 字数：1062千字

印 次：2013年1月第1次印刷

定 价：75.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，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 zltts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010)88258888。

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 and 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入各个学科，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 的著作。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和计算机实验，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 章由中山大学的黄元福老师翻译，第 4 章、第 5 章、第 8 章和第 9 章由中山大学的林秩盛老师翻译，前言、第 6 章、第 10 章和所有附录由广州大学的李宁老师翻译，第 3 章和第 7 章由中山大学的硕士研究生陆南昌、王仁发和熊燕合译并由林秩盛老师修改。全书的审校工作由林秩盛老师负责。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和线性时不变(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,使读者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。再如,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。每一章具体的改进之处概括如下:

- 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,而关于线性时不变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。线性时不变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章中关于伯德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详细内容。
- 附录F介绍如何使用 MATLAB。

补充资源^①

采用本书作为教材的老师可获得相关教辅资料(详见书末所附“教学支持说明”),包括 PPT

^① 本书在2013年1月付印之前,北京邮电大学电子工程学院尹霄丽副教授对其进行了全文审阅,并提出许多勘误和改进建议,在此表示感谢!——编者注

文件、习题解答和 MATLAB 源程序(例子和实验用 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

在撰写本书的第二版时,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 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

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
1.3.1 通信系统	2
1.3.2 控制系统	5
1.3.3 微电子机械系统	6
1.3.4 遥感系统	8
1.3.5 生物医学信号处理系统	9
1.3.6 听觉系统	11
1.3.7 模拟与数字信号处理	12
1.4 信号的分类	13
1.5 信号的基本运算	19
1.5.1 对因变量进行的运算	19
1.5.2 对自变量进行的运算	20
1.5.3 既有时移又有时间变换时的先后顺序	23
1.6 基本信号	25
1.6.1 指数信号	26
1.6.2 正弦信号	27
1.6.3 正弦信号与复指数信号的关系	30
1.6.4 指数衰减的正弦信号	31
1.6.5 阶跃信号	33
1.6.6 冲激信号	34
1.6.7 冲激信号的导数	38
1.6.8 斜升信号	39
1.7 将系统看成一种互联运算	40
1.8 系统的特性	41
1.8.1 稳定性	42
1.8.2 记忆性	44
1.8.3 因果性	44
1.8.4 可逆性	45
1.8.5 时不变性	46
1.8.6 线性	48
1.9 噪声	52
1.9.1 热噪声	53
1.9.2 其他电噪声源	54

1.10	主题范例	54
1.10.1	微分和积分: RC 电路	54
1.10.2	MEMS 加速度计	55
1.10.3	雷达测距	56
1.10.4	移动平均系统	57
1.10.5	多径传输信道	58
1.10.6	离散时间递归计算	59
1.11	利用 MATLAB 探究概念	61
1.11.1	周期信号	61
1.11.2	指数信号	62
1.11.3	正弦信号	62
1.11.4	指数衰减正弦信号	63
1.11.5	阶跃、冲激和斜升信号	64
1.11.6	自定义函数	64
1.12	小结	65
	进一步的阅读材料	65
	补充题	66
	提高题	73
	计算机实验题	75
第2章	线性时不变系统的时域描述	76
2.1	引言	76
2.2	卷积和	76
2.3	卷积和计算过程	80
2.4	卷积积分	90
2.5	卷积积分计算过程	91
2.6	线性时不变系统的互联	100
2.6.1	线性时不变系统的并联	100
2.6.2	线性时不变系统的级联	101
2.7	线性时不变系统的特性与冲激响应之间的关系	104
2.7.1	无记忆线性时不变系统	105
2.7.2	因果线性时不变系统	105
2.7.3	稳定的线性时不变系统	106
2.7.4	可逆系统和反卷积	108
2.8	阶跃响应	109
2.9	线性时不变系统的微分和差分方程描述	111
2.10	微分和差分方程的求解	115
2.10.1	齐次解	115
2.10.2	特解	117
2.10.3	完全解	119
2.11	微分和差分方程所描述的系统的特性	122
2.11.1	自然响应	122

2.11.2	强迫响应	124
2.11.3	冲激响应	125
2.11.4	线性和时不变性	125
2.11.5	特征根	125
2.12	方框图表示	126
2.13	线性时不变系统的状态变量描述	130
2.13.1	状态变量描述	130
2.13.2	状态的变换	134
2.14	利用 MATLAB 探究概念	136
2.14.1	卷积和	137
2.14.2	阶跃响应	138
2.14.3	差分方程的模拟	139
2.14.4	状态变量描述	139
2.15	小结	141
	进一步的阅读材料	142
	补充题	143
	提高题	151
	计算机实验题	154
第3章	信号与线性时不变系统的傅里叶描述	155
3.1	引言	155
3.2	复正弦信号和线性时不变系统的频率响应	155
3.3	4种信号的傅里叶表示	158
3.3.1	周期信号: 傅里叶级数表示	158
3.3.2	非周期信号: 傅里叶变换表示	159
3.4	离散时间周期信号: 离散时间傅里叶级数	160
3.5	连续时间周期信号: 傅里叶级数	170
3.6	离散时间非周期信号: 离散时间傅里叶变换	181
3.7	连续时间非周期信号: 傅里叶变换	189
3.8	傅里叶表示的特性	197
3.9	线性与对称特性	198
3.9.1	对称特性: 实信号和虚信号	199
3.9.2	对称特性: 偶信号和奇信号	201
3.10	卷积特性	202
3.10.1	非周期信号的卷积	202
3.10.2	滤波	204
3.10.3	周期信号的卷积	208
3.11	微分和积分特性	210
3.11.1	时域微分	210
3.11.2	频域微分	213
3.11.3	积分	215
3.12	时移和频移特性	217

3.12.1	时移特性	217
3.12.2	频移特性	219
3.13	利用部分分式展开法求傅里叶逆变换	221
3.13.1	傅里叶逆变换	221
3.13.2	离散时间傅里叶逆变换	223
3.14	相乘特性	224
3.15	尺度变换特性	230
3.16	帕斯瓦尔关系	232
3.17	时间-带宽积	234
3.18	对偶特性	235
3.18.1	傅里叶变换的对偶特性	236
3.18.2	离散时间傅里叶级数的对偶特性	237
3.18.3	离散时间傅里叶变换和傅里叶级数的对偶特性	238
3.19	利用 MATLAB 探究概念	239
3.19.1	由冲激响应求线性时不变系统的频率响应	239
3.19.2	离散时间傅里叶级数	242
3.19.3	傅里叶级数	244
3.19.4	微分方程或差分方程描述的线性时不变系统的频率响应	244
3.19.5	时间-带宽积	244
3.20	小结	246
	进一步的阅读材料	247
	补充题	247
	提高题	259
	计算机实验题	264
第4章	混合类型信号中傅里叶描述的应用	267
4.1	引言	267
4.2	周期信号的傅里叶变换	267
4.2.1	傅里叶变换与傅里叶级数的关系	268
4.2.2	离散时间傅里叶变换和离散时间傅里叶级数的关系	270
4.3	周期与非周期混合信号的卷积与相乘	272
4.3.1	周期与非周期信号的卷积	272
4.3.2	周期与非周期信号的相乘	274
4.4	离散时间信号的傅里叶变换	279
4.4.1	傅里叶变换与离散时间傅里叶变换的关系	280
4.4.2	傅里叶变换与离散时间傅里叶级数的关系	281
4.5	抽样	282
4.5.1	连续时间信号的抽样	283
4.5.2	次抽样: 对离散时间信号的抽样	289
4.6	由样本重构连续时间信号	291
4.6.1	抽样定理	291
4.6.2	理想重构	293

4.6.3 实际的重构:零阶保持	294
4.7 连续时间信号的离散时间处理	298
4.7.1 基本的离散时间信号处理系统	298
4.7.2 过抽样	299
4.7.3 抽取	300
4.7.4 插值	302
4.8 有限持续时间非周期信号的傅里叶级数表示	304
4.8.1 离散时间傅里叶级数与离散时间傅里叶变换的关系	304
4.8.2 傅里叶级数与傅里叶变换的关系	308
4.9 用离散时间傅里叶级数近似傅里叶变换	308
4.10 求离散时间傅里叶级数的有效算法	314
4.11 用 MATLAB 探究概念	317
4.11.1 抽取与插值	317
4.11.2 离散时间傅里叶级数与离散时间傅里叶变换的关系	318
4.11.3 离散时间傅里叶级数的计算应用	319
4.12 小结	320
进一步的阅读材料	320
补充题	321
提高题	326
计算机实验题	331
第5章 通信系统中的应用	334
5.1 引言	334
5.2 调制类型	334
5.3 调制的好处	337
5.4 全调幅	338
5.4.1 百分比调制	338
5.4.2 调幅波的产生	338
5.4.3 可能的调幅波形	339
5.4.4 全调幅是否满足线性特性	339
5.4.5 调幅的频域描述	340
5.4.6 频谱交叠	343
5.4.7 调幅波的解调	343
5.5 双边带抑制载波调制	344
5.5.1 频域描述	345
5.5.2 相干检波	346
5.5.3 科恩特斯接收机	348
5.6 正交载波多路调制	349
5.7 其他调幅方式	350
5.7.1 单边带调制的频域描述	350
5.7.2 单边带调制的时域描述	351
5.7.3 残留边带调制	352

5.8	脉冲调幅	353
5.8.1	重述抽样	353
5.8.2	脉冲调幅的数学描述	354
5.8.3	脉冲调幅信号的解调	355
5.9	多路复用	356
5.9.1	频分复用	357
5.9.2	时分复用	358
5.10	相时延和群时延	360
5.10.1	若干实际的考虑	362
5.11	用 MATLAB 探究概念	363
5.11.1	全调幅	363
5.11.2	双边带抑制载波调制	366
5.11.3	相延迟和群延迟	370
5.12	小结	371
	进一步的阅读材料	371
	补充题	372
	提高题	375
	计算机实验题	377
第6章	信号的连续时间复指数描述: 拉普拉斯变换	379
6.1	引言	379
6.2	拉普拉斯变换	379
6.2.1	e^s 的本征函数的特性	379
6.2.2	拉普拉斯变换描述	380
6.2.3	收敛	381
6.2.4	s 平面	381
6.2.5	极点与零点	382
6.3	单边拉普拉斯变换	384
6.4	单边拉普拉斯变换的特性	385
6.5	单边拉普拉斯逆变换	389
6.6	求解具有初始条件的微分方程	392
6.7	电路分析中的拉普拉斯变换法	396
6.8	双边拉普拉斯变换的特性	398
6.9	收敛域特性	400
6.10	双边拉普拉斯逆变换	403
6.11	传递函数	406
6.11.1	传递函数和微分方程的系统描述	407
6.12	因果性与稳定性	409
6.12.1	逆系统	411
6.13	通过极点和零点确定频率响应	412
6.13.1	频率响应的图解	413
6.13.2	伯德图	416

6.14 用 MATLAB 探究概念	421
6.14.1 极点与零点	421
6.14.2 部分分式展开法	422
6.14.3 相关系统的描述	422
6.15 小结	424
进一步的阅读材料	425
补充题	426
提高题	430
计算机实验题	431
第 7 章 信号的离散时间复指数描述: z 变换	433
7.1 引言	433
7.2 z 变换	433
7.2.1 收敛性	435
7.2.2 z 平面	435
7.2.3 极点和零点	436
7.3 收敛域的特性	438
7.4 z 变换的特性	441
7.5 z 逆变换	445
7.5.1 部分分式展开法	446
7.5.2 幂级数展开法	449
7.6 传递函数	450
7.6.1 传递函数和差分方程的关系	451
7.7 因果性和稳定性	453
7.7.1 逆系统	455
7.8 由极点和零点求频率响应	457
7.9 实现离散时间线性时不变系统的计算结构	461
7.10 单边 z 变换	464
7.10.1 定义和特性	464
7.10.2 利用初始条件解差分方程	465
7.11 利用 MATLAB 探究概念	467
7.11.1 极点和零点	467
7.11.2 逆 z 变换	467
7.11.3 线性时不变系统的转换分析	468
7.11.4 实现离散时间线性时不变系统的计算结构	469
7.12 小结	470
进一步的阅读材料	470
补充题	470
提高题	474
计算机实验题	477

第 8 章 滤波器和均衡器中的应用	478
8.1 引言	478
8.2 无失真传输的条件	478
8.3 理想低通滤波器	480
8.3.1 矩形脉冲通过理想低通滤波器的传输	481
8.4 滤波器的设计	484
8.5 近似函数	485
8.5.1 巴特沃思滤波器	486
8.5.2 切比雪夫滤波器	488
8.6 频率变换	489
8.6.1 低通到高通的变换	489
8.6.2 低通到带通的变换	490
8.7 无源滤波器	491
8.8 数字滤波器	491
8.9 有限冲激响应数字滤波器	492
8.9.1 语音信号的滤波	497
8.10 无限冲激响应数字滤波器	499
8.11 线性失真	502
8.12 均衡	503
8.13 利用 MATLAB 探究概念	505
8.13.1 矩形脉冲通过理想低通滤波器的传输	506
8.13.2 有限冲激响应数字滤波器	506
8.13.3 语音信号处理	507
8.13.4 无限冲激响应数字滤波器	508
8.13.5 均衡	508
8.14 小结	509
进一步的阅读材料	510
补充题	510
提高题	512
计算机实验题	513
第 9 章 线性反馈系统中的应用	514
9.1 引言	514
9.2 反馈定义	514
9.3 反馈的基本概念	515
9.3.1 负反馈与正反馈	517
9.4 灵敏度分析	517
9.5 反馈对干扰或噪声的影响	518
9.6 失真分析	519
9.7 关于反馈的小结	520
9.7.1 反馈的好处	520
9.7.2 反馈的代价	520

9.8	运算放大器	521
9.8.1	有源滤波器	524
9.9	控制系统	524
9.9.1	开环控制	524
9.9.2	闭环控制	525
9.10	低阶系统的瞬态响应	526
9.10.1	一阶系统	526
9.10.2	二阶系统	527
9.11	稳定性问题	529
9.11.1	一阶反馈系统	529
9.11.2	二阶反馈系统	529
9.11.3	三阶反馈系统	530
9.12	劳斯-赫尔维茨判据	531
9.12.1	正弦振荡器	533
9.13	根轨迹法	533
9.13.1	根轨迹判据	534
9.13.2	根轨迹的性质	535
9.14	奈奎斯特稳定判据	539
9.14.1	包围与环绕	540
9.14.2	宗量原理	541
9.14.3	奈奎斯特围线	542
9.15	伯德图	544
9.15.1	反馈系统的相对稳定性	546
9.15.2	伯德图和奈奎斯特判据的关系	547
9.16	数据抽样系统	548
9.16.1	系统描述	548
9.16.2	抽样信号的拉普拉斯变换特性	549
9.16.3	闭环传递函数	551
9.16.4	稳定性	553
9.17	用 MATLAB 探究概念	555
9.17.1	反馈系统的闭环极点	555
9.17.2	根轨迹图	555
9.17.3	奈奎斯特稳定判据	556
9.17.4	伯德图	557
9.18	小结	557
	进一步的阅读材料	558
	补充题	559
	提高题	562
	计算机实验题	566
第10章	尾声	568
10.1	引言	568

10.2 语音信号：一个非平稳信号的例子 568

10.3 时频分析 569

10.3.1 函数的标准正交基础 569

10.3.2 短时傅里叶变换 570

10.3.3 语音信号的谱图 572

10.3.4 小波变换 573

10.3.5 利用小波变换进行图像压缩 577

10.4 非线性系统 578

10.4.1 相空间分析 579

10.4.2 描述函数分析 580

10.4.3 李雅普诺夫间接法：平衡点的稳定性 580

10.4.4 李雅普诺夫直接法 581

10.5 自适应滤波器 583

10.6 结束语 585

进一步的阅读材料 586

附录 A 选用的数学公式 588

附录 B 部分分式展开式 592

附录 C 傅里叶表示与特性表 596

附录 D 拉普拉斯变换与特性表 603

附录 E z 变换及特性表 606

附录 F MATLAB 介绍 608