

国外电子与通信教材系列

# 应用Web和MATLAB的 信号与系统基础 (第二版)

Fundamentals of Signals and Systems  
Using the Web and MATLAB  
Second Edition

[美] Edward W. Kamen 著  
Bonnie S. Heck  
高强 戚银城 杨志 等译

Prentice  
Hall



电子工业出版社  
Publishing House of Electronics Industry  
www.phei.com.cn

国外电子与通信教材系列

# 应用 Web 和 MATLAB 的信号与系统基础 (第二版)

Fundamentals of Signals and Systems  
Using the Web and MATLAB  
Second Edition

[美] Edward W. Kamen 著  
Bonnie S. Heck

高 强 戚银城 杨 志 等译

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

圣者

各而丝

E大册

E子与

马爱文

高 册

段洪

高 引

周 丁

郑宝

阮秋

侯正

沈连

彭启

朱世

高会

沈连

薛荣

罗毅

李王

袁超

姚

侯正

徐

## 内 容 简 介

本书讨论了信号与系统的基本理论、基本分析方法及其应用,从输入输出描述到状态描述;从连续到离散;从时域到变换域等内容。全书共有13章的内容。第1章至第5章、第7章至第9章、第11章分别并行讨论了连续和离散信号与系统,第13章讨论了系统状态变量分析,第6章、第10章和第12章分别讨论了这些理论在通信、控制、数字滤波器设计和数字控制器设计等方面的应用。另外,本书还给出了大量的MATLAB仿真实例,提供了MATLAB实用程序及网上在线演示。

Simplified Chinese edition Copyright © 2002 by PEARSON EDUCATION NORTH ASIA LIMITED and Publishing House of Electronics Industry.

Fundamentals of Signals and Systems: Using the Web and MATLAB, Second Edition by Edward W. Kamen, Bonnie S. Heck. Copyright © 2000.

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 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培生教育出版北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:01-2002-1402

### 图书在版编目(CIP)数据

应用Web和MATLAB的信号与系统基础(第二版)/(美)卡曼(Kamen, E. W.)著;高强等译.

-北京:电子工业出版社,2002.5

(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Fundamentals of Signals and Systems: Using the Web and MATLAB, Second Edition

ISBN 7-5053-7589-X

I. 应... II. ①卡... ②高... III. 信号系统-计算机辅助计算-软件包, MATLAB IV. TN911.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第029120号

责任编辑:李秦华

印刷者:北京牛山世兴印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

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:37.5 字数:960千字

版 次:2002年5月第1版 2002年5月第1次印刷

定 价:54.00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

## 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。

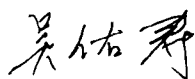
我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版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

## 译者序

在现代社会高新技术快速发展的过程中,信号与系统理论涉及到通信、控制、电子、军事、工业、化工、机械、医学、金融和产品制造等各领域,极大地促进了各个领域的技术进步。在面向 21 世纪的教学改革中,加强素质教育、拓宽专业基础、提倡不同领域的交叉与渗透已成为趋势。信号与系统正是一门交叉和渗透各学科的基础理论,原则上,任何事物都可以看做一个系统,对其定量的分析,依赖于系统模型的建立和系统分析的理论。清华大学和西安交通大学等学校,都在所有电类各专业中开设了信号与系统课程。

本书采用深入浅出的方法,研究了常用系统的数学模型及其分析方法。结合 MATLAB 软件和网页在线演示手段,系统地研究了信号与系统的特性和性能。为了使读者能够更好、更全面地掌握这门课的内容,本书提供了以下多种手段:利用 MATLAB 软件作为分析工具,在网上提供了书中所有的 MATLAB 程序,并配合网上在线演示,读者可以在网上直接运行这些程序与演示,直观地观察到结果;书中共有 222 个例题,445 道习题(在网站上附有解答),涉及了许多领域,如贷款差额系统、倒立摆、腮鼠繁殖、人体药物吸收代谢、汽车运动、自动跟踪系统、电机控制系统等,以帮助理解和掌握基本知识,开阅读者的视野,而不仅仅局限于电信号和电子系统。有些系统和分析方法可以用于工程实践中。因此,本书是一本很好的教材或教学参考书,也很适合于读者自学。

本书的译者从事了多年的通信和计算机课程的教学和科研工作,取得过国家级优秀教学成果奖、省部级科技进步奖,并发表多篇被三大检索刊物收录的文章,对本书的内容有较深入的了解与研究。在本书的翻译过程中,余萍翻译了其中部分章节,毛婕、胡威、付尧、郭春波和王朝硕等也做了部分翻译工作。

信号与系统的理论涉及的专业面很广,由于译者水平和学识有限,翻译中难免有错误或不妥之处,希望同行专家和广大读者批评指正。

## 前 言

本书全面地介绍了连续和离散时间信号与系统的分析方法,并由大量的网上演示和 MATLAB 实例贯穿全书。在第二版中,为了更好地说明问题,对第一版的内容做了修改,增加了说明性实例和习题,并新增了一章关于通信系统的内容,以及许多用来进一步说明本书提到的概念和方法的在线演示。这些演示可以从本书作者的网站(<http://users.ece.gatech.edu/~bonnie/book>)上得到。关于通信的一章包括了模拟和数字调制两部分,但重点是数字部分,涉及到相移键控、频移键控、正交幅度调制和通/断键控。阅读本书需要学过大学本科一二年级的微积分和基本的微分方程的知识。了解一些物理学知识(但不是必须的)有助于阅读本书。本书也适合于自学。两位作者使用本书已给电子工程专业三年级学生授课多年,Bonnie Heck 还积极地致力于用互联网来促进信号、系统和控制领域的教学。

本书的一个主要特点是使用了网上在线演示。在很多这样的演示中,学生可以改变参数以便观察得到的结果。例如,可以改变信号的频率成分来观察对所演示信号的影响;可改变系统频率响应函数(或传输函数)的参数,来观察其对系统性能的影响。在有些演示中,学生甚至可以听到所研究信号的声音。网上还有一个关于物体-弹簧-阻尼器系统的在线演示实例,用动画表现了各种输入的输出响应。通过该演示,学生确实能够看到冲激输入、阶跃输入和正弦输入时的响应特性。

本书的另一个主要特点是,全书都使用 MATLAB(版本为 5.0 或更高)工具,以得到信号和系统分析与设计方法的计算机实现。MATLAB 实现和在线演示给读者提供了一个机会,以验证理论的正确性,并将所学方法应用于实验中。本书在大量的实例中说明了各种 MATLAB 命令的用法,如第 1 章中关于用 MATLAB 绘制信号波形的讨论。大量的课外习题也使用了 MATLAB。实例中使用的所有 MATLAB 程序和 M 文件,都可从本书作者的网站上得到。

本书的实例和习题包括的范围很宽,涉及电子电路、机械系统和生物系统等不同的工程领域。本书的其他特点是:并行分析了连续时间和离散时间的信号与系统。可供相关专业的高年级学生选修的有通信系统、数字滤波和反馈控制等三章,以及关于系统的状态空间方程的一章。

本书的第 1 章至第 3 章,首先在时域中讨论了信号与系统各方面的特性,包括信号与系统的基本特性、输入/输出微分方程模型、输入/输出差分方程模型和卷积模型。第 4 章从频域的观点分析了信号与系统,首先从正弦信号的叠加开始分析,然后讨论周期信号的傅里叶级数表示,并引伸到非周期信号的傅里叶变换。第 5 章讨论了通过傅里叶变换对连续时间系统进行分析,及其在信号抽样与恢复中的应用。在第 6 章中,利用傅里叶变换研究了通信系统中信号的发送与接收。在第 7 章,对离散时间信号与系统的傅里叶分析进行了研究,并对快速傅里叶变换(FFT)做了简单的介绍。

本书的后半部分,首先在第 8 章研究了拉普拉斯变换,及线性时不变连续时间系统的传输函数表示。在第 9 章中,利用传输函数表示法,来研究系统对特定输入信号的响应,如单位阶

跃函数和正弦函数,并引入了第5章中讨论过的频率响应函数的概念。在第10章中,研究了传输函数的思想在控制问题中的应用。在第11章中,讨论了 $z$ 变换和线性时不变离散时间系统的传输函数表示,并在第12章中,将该思想用于数字滤波器和控制器的设计。最后,在第13章中,介绍了对连续时间和离散时间系统进行状态描述的基本理论。

可将本书第1章至第7章的内容(或其中的一部分)涵盖在一门课程中,第8章至第13章的内容(或其中的一部分)涵盖在另一门课程中,并可安排在一个学期或一个学年中讲授。教师也可从本书中选择适当的章节,把连续时间部分作为一门课,离散时间部分作为另一门课。在一个学期讲完本书的主要内容还是可能的,下表给出了一个学期中各章节的课时分配情况,共42课时(每课时50分钟):

一学期内开课时各章课时的分配

课程内容	课时(讲座)分配
第1章:全部	4
第2章:2.1~2.3节	4
第3章:3.1~3.4节	4
第4章:全部	5
第5章:全部	5
第7章:7.1,7.2,7.4节	4
第8章:8.1~8.5节	6
第9章:9.1,9.4,9.5节	4
第11章:全部	6
	42

作者的同事 Jim McClellan 对本书前一版进行了通篇审阅,并提出了大量的建设性意见,作者表示衷心的感谢。我们也感谢加利福尼亚大学 Davis 分校的 Gary E. Ford 对前一稿提出的宝贵意见,同时感谢 Tom Robbins 对前一版和本版提出的宝贵意见。我们特别感激佐治亚理工大学电子与计算机工程系的 Steve McLaughlin 和 John Barry,在编写第6章时,他们提供了很多帮助。本书第二作者也非常感谢她以前的学生 John Finney 和 Jams Moan,他们撰写了网站上的 MATLAB 指导书初稿,同时还要感谢 Darren Garner, James Ho, Jason Meeks, Johnny Wang 和 Brian Wilson 对制作网上演示所做出的努力。



# 国外电子与通信教材系列

类别	中文书名	英文书名	作者	译者	版别
电路理论与应用	电路 (第六版)	Electric Circuits, 6e	James W. Nilsson	路而红	中文版
	工程电路分析 (第六版)	Engineering Circuit Analysis, 6e	William H. Hayt, Jr.	王大鹏	中文版 英文原版
	射频电路设计——理论与应用	RF Circuit Design: Theory and Applications	Reinhold Ludwig	王子宇	中文版
	电子学原理	Electronic Concepts: An Introduction	Jerrold H. Krenz	马爱文	中文版
	数字电路简明教程	Digital Electronics: A Simplified Approach	Robert D. Thompson	高鹏	中文版
	逻辑电路设计基础	Introduction to Logic Design	Alan B. Marcovitz	殷洪玺	中文版
信号与系统	信号与系统 (第二版)	Signals and Systems, 2e	Alan V. Oppenheim		英文原版
	应用 Web 和 MATLAB 的信号与系统基础 (第二版)	Fundamentals of Signals and Systems Using the Web and MATLAB, 2e	Edward W. Kamen	高强	中文版
	统计与自适应信号处理	Statistical and Adaptive Signal Processing	Dimitris G. Manolakis	周正	中文版
	自适应滤波器原理 (第四版)	Adaptive Filter Theory, 4e	Simon Haykin	郑宝玉	中文版 英文原版
数字信号处理	数字图像处理 (第二版)	Digital Image Processing, 2e	Rafael C. Gonzalez	阮秋琦	中文版 英文原版
	数字信号处理基础	Fundamentals of Digital Signal Processing	Joyce Van de Vegte	侯正信	中文版
	数字通信——基础与应用 (第二版)	Digital Communications: Fundamentals and Applications, 2e	Bernard Sklar	沈连丰	中文版 英文原版
	实时信号处理——信号处理系统的设计与实现	Real-Time Signal Processing: Design and Implementation of Signal Processing Systems	John G. Ackenhusem	彭启琮	中文版
	小波与傅里叶分析基础	A First Course in Wavelets with Fourier Analysis	Albert Boggess		英文原版
	信号处理滤波器设计——基于 MATLAB 和 Mathematica 的设计方法	Filter Design for Signal Processing Using MATLAB and Mathematica	Miroslav D. Lutovac		英文原版
	LabVIEW 6i 实用教程	LabVIEW 6i Student Edition	Robert H. Bishop	朱世华	中文版
微电子	MATLAB 原理与工程应用	An Engineer's Guide to MATLAB	Edward B. Magrab	高会生	中文版
	CMOS 射频集成电路设计	The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits	Thomas H. Lee		英文原版
通信系统	通信系统工程 (第二版)	Communication Systems Engineering, 2e	John G. Proakis	沈连丰	中文版 英文原版
	电子通信系统 (第四版)	Electronic Communications Systems: Fundamentals through Advanced, 4e	Wayne Tomasi	薛荣华	中文版 英文原版
	数字与模拟通信系统 (第六版)	Digital and Analog Communication Systems, 6e	Leon W. Couch, II	罗新民	中文版 英文原版
	光纤通信 (第三版)	Optical Fiber Communications, 3e	Gerd Keiser	李玉权	中文版
	CDMA 蜂窝移动通信与网络安全	CDMA Cellular Mobile Communications and Network Security	Man Young Rhee	袁超伟	中文版
	宽带无线数字通信	Wideband Wireless Digital Communications	Andreas Molisch	姚彦	中文版 英文原版
	第三代移动通信系统原理与工程设计——IS-95 CDMA 和 cdma 2000	IS-95 CDMA and cdma2000: Cellular/PCS Systems Implementation	Vijay K. Garg		英文原版
	视频处理与通信	Video Processing and Communications	Yao Wang	侯正信	中文版
电磁场与微波	射频与微波电子学	Radio Frequency and Microwave Electronics Illustrated	Matthew M. Radmanesh		英文原版
	现代无线通信系统电波传播	Radio Propagation for Modern Wireless Systems	Henry L. Bertoni	徐承和	中文版 英文原版



# 国外计算机科学教材系列

## 网络与通信

- ◆ 用 TCP/IP 进行网际互联第一卷: 原理、协议与结构 (第四版) Douglas E. Comer
- ◆ 用 TCP/IP 进行网际互联第二卷: 设计、实现与内核 (第三版) Douglas E. Comer
- ◆ 用 TCP/IP 进行网际互联第三卷: 客户-服务器编程与应用 (Linux/POSIX 套接字版) Douglas E. Comer
- ◆ 计算机网络与互联网 Douglas E. Comer
- ◆ 数据与计算机通信 (第六版) William Stallings
- ◆ 局域网与城域网 (第六版) William Stallings
- ◆ 高速网络与 Internet——性能与服务质量 (第二版) William Stallings
- ◆ 因特网高级技术 Uyles Black
- ◆ 通信系统与网络 (第二版) Ray Horak

## 操作系统

- ◆ 操作系统——内核与设计原理 (第四版) William Stallings
- ◆ 操作系统: 设计与实现 (第二版) (上册/下册) Andrew Tanenbaum
- ◆ UNIX 初级教程 (第三版) Amir Afzal
- ◆ UNIX 系统进程间通信 John Shapley Gray
- ◆ UNIX 系统编程 (第二版) Keith Haviland

## 计算机组织与结构

- ◆ 计算机组织与结构——性能设计 (第五版) William Stallings
- ◆ Intel 微处理器全系列: 结构、编程与接口 (第五版) Barry B. Brey
- ◆ 高性能集群计算: 结构与系统 (第一卷) Rajkumar Buyya
- ◆ 高性能集群计算: 编程与应用 (第二卷) Rajkumar Buyya

## 编程语言

- ◆ C++ 大学教程 (第二版) Deitel
- ◆ Java 大学教程 Deitel
- ◆ 高级 Java 2 大学教程 Deitel
- ◆ Visual Basic 6.0 大学教程 Deitel
- ◆ 程序设计语言: 设计与实现 (第四版) Terrence W. Pratt

## 数据库与信息处理

- ◆ 数据库处理——基础、设计与实现 (第七版) David M. Kroenke
- ◆ 数字图书馆概论 Clifford Arms

## 软件工程

- ◆ 能力成熟度模型 (CMM): 软件过程改进指南 Carnegie Mellon University
- ◆ CMM 实践应用: Infosys 公司的软件项目执行过程 Pankaj Jalote
- ◆ 净室软件工程: 技术与过程 Stacy J. Prowell
- ◆ 软件需求 Soren Lillesen

## 算法与数据结构

- ◆ 数据结构与算法分析 (C++ 版) (第二版) Clifford A. Shaffer
- ◆ 数据结构与算法分析 (Java 版) Clifford A. Shaffer
- ◆ 数值方法 (MATLAB 版) (第三版) John H. Mathews
- ◆ 科学计算引论——基于 MATLAB 的数值分析 (第二版) Shoichiro Nakamura
- ◆ 数据压缩原理与应用 Salomon Lauesen

## 图形图像与多媒体

- ◆ 计算机图形学 (C 版) (第二版) Donald Hearn
- ◆ 数字图像处理 Kenneth R. Castleman

## 计算机安全

- ◆ 密码编码学与网络安全: 原理与实践 (第二版) William Stallings
- ◆ 密码学——加密方法的 C 与 C++ 实现 Michael Welschenbach

## 英文原版

- ◆ Java How to Program, 4e Deitel
- ◆ Local and Metropolitan Area Networks, 6e William Stallings
- ◆ Logic and Computer Design Fundamentals, 2e Updated M. Morris Mano
- ◆ A Practical Introduction to Data Structures and Algorithm Analysis, 2e(C++ Edition) Clifford A. Shaffer
- ◆ A Practical Introduction to Data Structures and Algorithm Analysis, (Java Edition) Clifford A. Shaffer
- ◆ Programming with Visual Basic 6.0 Enhanced Edition Diane Zak
- ◆ Numerical Methods Using Matlab, 3e John H. Mathews

# 目 录

<b>第 1 章 基本概念</b> .....	1
1.1 信号与系统 .....	1
1.1.1 信号 .....	1
1.1.2 信号处理 .....	2
1.1.3 系统 .....	2
1.2 连续时间信号 .....	4
1.2.1 阶跃信号和斜变信号 .....	4
1.2.2 冲激信号 .....	5
1.2.3 周期信号 .....	5
1.2.4 时移信号 .....	7
1.2.5 连续和分段连续信号 .....	8
1.2.6 连续时间信号的导数 .....	9
1.2.7 时间分段定义的信号 .....	10
1.2.8 连续时间信号的 MATLAB 分析 .....	11
1.3 离散时间信号 .....	13
1.3.1 抽样 .....	14
1.3.2 阶跃函数和斜变函数 .....	15
1.3.3 单位脉冲 .....	16
1.3.4 周期的离散时间信号 .....	16
1.3.5 离散时间矩形脉冲 .....	17
1.3.6 数字信号 .....	18
1.3.7 时间平移信号 .....	18
1.3.8 分段定义的离散时间信号 .....	18
1.4 系统实例 .....	19
1.4.1 RC 电路 .....	19
1.4.2 平面上的汽车 .....	22
1.4.3 物体-弹簧-阻尼器系统 .....	24
1.4.4 单摆 .....	25
1.4.5 离散时间系统实例 .....	25
1.5 系统的基本性质 .....	28
1.5.1 因果性 .....	28
1.5.2 线性 .....	30
1.5.3 时不变性 .....	33

1.5.4 有限维性 .....	34
习题 .....	37
<b>第 2 章 微分差分方程系统</b> .....	47
2.1 常系数输入/输出微分方程 .....	47
2.1.1 初始条件 .....	47
2.1.2 一阶情况 .....	48
2.1.3 二阶或高阶方程的求解 .....	49
2.2 系统建模 .....	49
2.2.1 电路 .....	50
2.2.2 机械系统 .....	52
2.3 常系数线性输入/输出差分方程 .....	54
2.3.1 递归求解 .....	54
2.3.2 完全解 .....	57
2.4 微分方程在时间上的离散化 .....	59
2.4.1 一阶情况 .....	59
2.4.2 二阶情况 .....	62
2.5 时变或非线性方程系统 .....	66
2.5.1 时变系数线性输入/输出微分方程 .....	66
2.5.2 非线性输入/输出微分方程 .....	67
2.5.3 时变非线性离散时间系统 .....	71
习题 .....	72
<b>第 3 章 卷积表示</b> .....	84
3.1 线性离散时间系统的卷积表示 .....	84
3.1.1 单位脉冲响应 .....	84
3.2 离散时间信号的卷积表示 .....	86
3.2.1 卷积运算的性质 .....	90
3.2.2 系统输出的计算 .....	92
3.3 线性时不变连续时间系统的卷积表 .....	94
3.3.1 冲激响应 .....	94
3.4 连续时间信号的卷积表示 .....	97
3.4.1 卷积的性质 .....	102
3.4.2 系统输出的计算 .....	104
3.5 数值卷积 .....	105
3.6 线性时变系统 .....	109
3.6.1 离散时间时变系统 .....	109
3.6.2 连续时间情况 .....	110
习题 .....	111

<b>第4章 傅里叶级数与傅里叶变换</b> .....	121
4.1 信号的频率成分表示法 .....	121
4.1.1 复指数形式 .....	123
4.1.2 线频谱 .....	126
4.2 周期信号的傅里叶级数 .....	127
4.2.1 三角级数 .....	129
4.2.2 Gibbs(吉布斯)现象 .....	130
4.2.3 Parseval 定理 .....	133
4.3 傅里叶变换 .....	133
4.3.1 一般情况下的傅里叶变换 .....	137
4.3.2 傅里叶变换的直角和极坐标表达式 .....	140
4.3.3 奇偶对称信号 .....	140
4.3.4 带限信号 .....	142
4.3.5 傅里叶反变换 .....	143
4.4 傅里叶变换的性质 .....	143
4.4.1 线性 .....	144
4.4.2 时移性 .....	144
4.4.3 时间尺度变换特性 .....	145
4.4.4 时域反折 .....	146
4.4.5 频域微分 .....	147
4.4.6 频移特性 .....	148
4.4.7 与正弦信号相乘 .....	149
4.4.8 时域微分 .....	150
4.4.9 时域积分 .....	150
4.4.10 时域卷积 .....	152
4.4.11 时域乘积 .....	153
4.4.12 Parseval 定理 .....	153
4.4.13 对称性 .....	154
4.5 广义傅里叶变换 .....	155
4.5.1 周期信号的傅里叶变换 .....	156
4.5.2 单位阶跃函数的傅里叶变换 .....	157
习题 .....	158
<b>第5章 系统频域分析</b> .....	166
5.1 正弦输入信号的响应 .....	166
5.2 周期输入信号的响应 .....	172
5.2.1 周期输入信号 .....	172
5.3 非周期输入信号的响应 .....	177
5.4 理想滤波器的分析 .....	182
5.4.1 相位函数 .....	184

5.4.2	理想线性相位低通滤波器	185
5.4.3	理想线性相位带通滤波器	188
5.5	抽样	189
5.5.1	信号恢复	190
5.5.2	内插公式	192
5.5.3	混叠	193
	习题	194
<b>第 6 章</b>	<b>傅里叶变换在通信中的应用</b>	<b>206</b>
6.1	模拟调制	206
6.1.1	普通调幅	208
6.1.2	单边带传输	209
6.1.3	角度调制	210
6.1.4	脉冲幅度调制	211
6.2	模拟信号的解调	212
6.2.1	DSB 信号的解调	214
6.2.2	SSB 信号的解调	215
6.2.3	其他类型信号的解调	215
6.3	多路信号的同时传输	215
6.3.1	FDM	216
6.3.2	TDM	217
6.4	数字调制	219
6.5	基带 PAM	221
6.6	带通 PAM	224
6.6.1	相移键控	225
6.6.2	频移键控	226
6.6.3	正交幅度调制	226
6.7	数字通信仿真	229
6.7.1	采用方波脉冲的 $M$ 元 PAM	230
6.7.2	抽样函数脉冲 $M$ 元 PAM	231
6.7.3	OOK 传输	232
6.7.4	FSK 传输	233
	习题	234
<b>第 7 章</b>	<b>离散时间信号和系统的傅里叶分析</b>	<b>241</b>
7.1	离散时间傅里叶变换	241
7.1.1	偶对称或奇对称信号	245
7.1.2	离散时间信号的频谱	246
7.1.3	DTFT 反变换	248
7.1.4	广义 DTFT	248

7.1.5	变换对	249
7.1.6	DTFT 的性质	250
7.2	离散傅里叶变换	251
7.2.1	与 DTFT 的关系	254
7.2.2	截短信号的 DFT	259
7.3	DFT 的性质	262
7.3.1	线性	262
7.3.2	循环时移	262
7.3.3	时间反折	265
7.3.4	乘以复指数	265
7.3.5	循环卷积	266
7.3.6	时域乘积	268
7.4	利用 DTFT 和 DFT 进行系统分析	268
7.4.1	正弦输入的响应	269
7.4.2	理想低通滤波器的分析	270
7.4.3	理想模拟低通滤波器的数字滤波器实现	271
7.4.4	理想低通滤波器的单位脉冲响应	272
7.4.5	因果低通滤波器	272
7.4.6	利用 DFT 进行系统分析	274
7.5	FFT 算法	275
7.6	FFT 算法的应用	278
7.6.1	利用 FFT 计算傅里叶变换	278
7.6.2	快速卷积	280
	习题	283
<b>第 8 章</b>	<b>拉普拉斯变换和传输函数表示</b>	<b>292</b>
8.1	信号的拉普拉斯变换	292
8.1.1	傅里叶变换和拉普拉斯变换的关系	295
8.2	拉普拉斯变换的性质	296
8.2.1	线性性质	296
8.2.2	时间右移性质	296
8.2.3	时间尺度变换	297
8.2.4	乘以 $t$ 的幂性质	297
8.2.5	乘以指数函数的性质	298
8.2.6	乘以正弦信号的性质	299
8.2.7	时域微分的性质	300
8.2.8	积分性质	301
8.2.9	卷积性质	302
8.2.10	初值定理	303
8.2.11	终值定理	304

8.3	拉普拉斯反变换的计算	306
8.3.1	有理拉普拉斯变换	306
8.3.2	单极点	308
8.3.3	单极点并有两个或多个复数极点	309
8.3.4	重极点	313
8.3.5	极点位置和信号的形式	316
8.3.6	拉普拉斯反变换的数值解	317
8.3.7	$M \geq N$ 的情况	319
8.3.8	变换中含有指数	320
8.4	输入/输出微分方程的拉普拉斯变换	321
8.4.1	一阶情况	321
8.4.2	二阶情况	323
8.4.3	$N$ 阶微分方程的情况	324
8.5	传输函数表示	327
8.5.1	有限维系统	329
8.5.2	传输函数的直接构造	332
8.6	方框图的传输函数	338
8.6.1	并联连接	338
8.6.2	串联连接	338
8.6.3	反馈连接	339
8.6.4	方框图化简	340
8.6.5	梅森定理	343
8.6.6	信号流图	344
	习题	344
<b>第 9 章</b>	<b>基于传输函数的系统分析</b>	<b>355</b>
9.1	稳定性和冲激响应	355
9.1.1	稳定性的其他表征方法	357
9.2	Routh-Hurwitz 稳定性判据	358
9.3	阶跃响应的分析	361
9.3.1	一阶系统	362
9.3.2	二阶系统	364
9.3.3	高阶系统	372
9.4	正弦和任意输入的响应	374
9.4.1	任意输入的响应	378
9.5	频率响应函数	379
9.5.1	一阶系统	380
9.5.2	二阶系统	382
9.5.3	利用渐近线构造波特图	387
9.6	因果滤波器	394



9.6.1	巴特沃思滤波器(Butterworth)	395
9.6.2	切比雪夫滤波器(Chebyshev)	398
9.6.3	频率变换	401
习题		406
<b>第 10 章</b>	<b>传输函数在控制中的应用</b>	416
10.1	控制问题简介	416
10.2	跟踪控制	421
10.2.1	阶跃参考信号的跟踪	423
10.3	根轨迹法	430
10.3.1	根轨迹绘制	433
10.4	根轨迹法在控制系统设计中的应用	436
习题		444
<b>第 11 章</b>	<b><math>z</math> 变换与离散时间系统</b>	454
11.1	离散时间信号的 $z$ 变换	454
11.1.1	DTFT 与 $z$ 变换之间的关系	457
11.2	$z$ 变换的性质	457
11.2.1	线性性质	458
11.2.2	$x[n]u[n]$ 序列右移	458
11.2.3	$x[n]$ 序列右移	459
11.2.4	$x[n]$ 序列左移	459
11.2.5	与 $n$ 或 $n^2$ 相乘	460
11.2.6	与 $a^n$ 相乘	461
11.2.7	与 $\cos \Omega n$ 或 $\sin \Omega n$ 相乘	462
11.2.8	部分和	463
11.2.9	卷积	464
11.2.10	初值定理	464
11.2.11	终值定理	465
11.3	$z$ 反变换的计算	466
11.3.1	长除展开法	467
11.3.2	用部分分式展开法计算 $z$ 反变换	469
11.4	系统的传输函数表示	474
11.4.1	一阶情况	474
11.4.2	二阶情况	476
11.4.3	$N$ 阶情况	478
11.4.4	输入/输出卷积和 $z$ 变换	478
11.4.5	互联系统的传输函数	481
11.5	离散时间系统的稳定性	484
11.5.1	Jury 稳定判据	485

11.6	离散时间系统的频率响应 .....	487
11.6.1	频率响应曲线的计算 .....	489
	习题 .....	490
<b>第 12 章</b>	<b>数字滤波器和控制器的设计</b> .....	<b>500</b>
12.1	连续时间信号与系统的离散化 .....	500
12.1.1	保持法 .....	501
12.1.2	系统的离散化 .....	503
12.2	IIR 滤波器的设计 .....	504
12.3	利用 MATLAB 设计 IIR 滤波器 .....	508
12.4	FIR 滤波器的设计 .....	514
12.4.1	窗函数 .....	521
12.5	数字控制器的设计 .....	524
	习题 .....	529
<b>第 13 章</b>	<b>系统的状态变量分析</b> .....	<b>534</b>
13.1	状态模型 .....	534
13.1.1	状态方程 .....	535
13.2	状态模型的建立 .....	537
13.2.1	用积分器实现状态模型 .....	539
13.2.2	多输入多输出系统 .....	541
13.3	状态方程的求解 .....	543
13.3.1	强制性方程的求解 .....	544
13.3.2	输出响应 .....	544
13.3.3	利用拉普拉斯变换求解状态方程 .....	545
13.4	离散时间系统 .....	550
13.4.1	状态模型的建立 .....	551
13.4.2	利用单位延时单元实现系统 .....	551
13.4.3	状态方程的解法 .....	552
13.4.4	利用 Z 变换求解状态方程 .....	553
13.5	等效状态表示 .....	555
13.5.1	对角线形式举例 .....	558
13.6	状态模型的离散化 .....	560
	习题 .....	563
<b>附录 A</b>	<b>复数变量的基本知识</b> .....	<b>573</b>
<b>附录 B</b>	<b>矩阵及运算的基本知识</b> .....	<b>576</b>
	<b>参考文献</b> .....	<b>581</b>