

信号与系统分析

胡钊 主编

胡钊 秦亮 韩谷静 编著

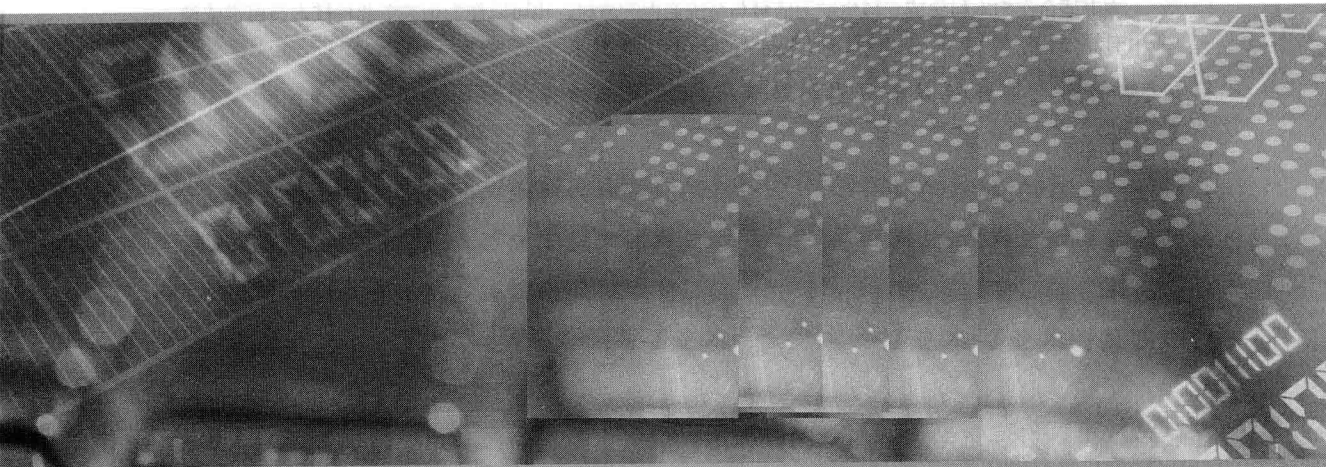
Signal and
System Analysis



机械工业出版社
China Machine Press

高等院校电子信息与电气学科系列规划教材

信号与系统分析



胡钊 主编

胡钊 秦亮 韩谷静 编著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

信号与系统分析 / 胡钊主编. —北京: 机械工业出版社, 2015.8
(高等院校电子信息与电气学科系列规划教材)

ISBN 978-7-111-51221-9

I. 信… II. 胡… III. 信号系统 – 高等学校 – 教材 IV. TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 199218 号

本书深入且系统地介绍了信号与系统的基本概念、基本理论和基本分析方法。全书共 10 章, 主要内容包括信号与系统的基本概念, 连续信号与系统的时域、频域和复频域 (s 域) 分析, 离散信号与系统的时域、频域和复频域 (z 域) 分析, 以及离散时间傅里叶变换及其快速傅里叶变换 (FFT)。本书的数学推导过程严谨、细致、明晰, 逻辑承接顺畅, 表述深入浅出, 内容全面系统, 十分有利于读者理解和掌握所学内容, 因而非常便于自学。

本书适合作为本科生或专科生学习信号与系统课程的教材, 也可以作为相关专业科技人员自学或参考用书。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 张梦玲	责任校对: 殷 虹
印 刷: 北京诚信伟业印刷有限公司	版 次: 2015 年 9 月第 1 版第 1 次印刷
开 本: 185mm × 260mm 1/16	印 张: 37
书 号: ISBN 978-7-111-51221-9	定 价: 69.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066	投稿热线: (010) 88379604
购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259	读者信箱: hzjsj@hzbook.com

版权所有 · 侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

前 言

“信号与系统分析”课程是通信、电子、电气工程与自动化等众多电气与电子信息专业的一门核心基础课程，其主要内容涉及信号与系统的基本概念、基本理论和基本分析方法，研究方法包括信号与系统的时域、频域和复频域分析。

近年来，随着现代科学技术的飞速发展，以及跟信号与系统相关的高新技术的大量涌现，信号与系统的理论和方法也在快速更新，同时，应用领域也在不断扩充与深化，这些富有时代性的突出特点对该课程的教材体系和内容变革提出了全新的要求，也使得“信号与系统分析”这门课程的重要性日益为人们所认识。

编者在不断追踪、研习国内外“信号与系统分析”教材体系与内容变化的基础上，结合自己长期从事该课程中文与全英文教学的实践体会，并针对我国教学体系与教学实践改革的现状和要求，以及学生的具体情况，本着知识体系完备、例题典型丰富、强化基础、贴近实际、叙述简洁、讲解透彻、便于读者自学的编写原则，精心编写了这本可反映现代“信号与系统分析”基本原理、教学体系和内容的教材。

编者力求通过深入浅出、透彻清楚、逻辑关系明晰的叙述和数学推导过程简单的分析将信号与系统的基本原理、具体知识有条理地介绍给读者，以使他们能够在融会贯通、深刻理解所学内容的基础上进一步学好后续课程或者能够将所掌握的知识灵活、有机地应用于实践中。

本书由胡钊教授、秦亮、韩谷静副教授共同撰写，胡钊任主编并负责统稿和审校全书。本书第1、2章由韩谷静编写，第3、4章由秦亮编写，第5~10章由胡钊编写。刘开培教授审阅了全书内容并提出了许多宝贵意见，在此谨表诚挚的谢意。

在本书的编写过程中，武汉大学电气工程学院“信号与系统分析”课程组的全体教师，以及唐炬、刘开培、查晓明、刘涤尘、阮江军、常湧等有关专家提出了很多有益的建议，在此向他们一并表示衷心感谢。另外，本书的编写出版得到了机械工业出版社华章公司王颖副总编的鼓励、指导和帮助，在此也表示感谢。

限于编者的水平，书中恐有疏误之处，热切期望读者批评指正。

编者

教学建议

本书适用于“信号与系统”“信号与线性系统”或“信号与系统分析”等本科生或研究生相关课程的教学，它较为深刻、系统地介绍了信号与系统分析的基本概念、基本理论和基本分析方法，主要内容包括信号与系统的基本概念，连续信号与系统的时域、频域和复频域(s 域)分析，离散信号与系统的时域、频域和复频域(z 域)分析以及离散时间傅里叶变换及其快速算法(FFT)。全书各章节之间逻辑连贯、条理分明，各章节自身也深入浅出、自成体系，便于教师根据相关专业特点和课时安排对本书内容进行合理组合并有所侧重。

与本书有关课程的教学目的、教学目标以及教学建议等分述如下。

1. 教学目的

1)掌握信号、系统的基本概念、描述方法、分类及其特点；了解信号与系统课程的基本任务。

2)掌握连续信号的基本运算，几种典型的连续信号的表达及其特性，用常系数微分方程描述连续系统的方法及其解法，以及系统全响应、零输入响应和零状态响应的基本概念与求解方法。了解用线性常系数微分方程描述的系统为线性时不变因果系统的条件；掌握冲激响应与阶跃响应的基本概念和求解方法，卷积的概念、性质和求解方法，以及系统零状态响应的卷积求解方法；了解微分方程的算子表示方法及“广义函数”意义下的冲激信号。

3)了解用完备正交函数集表示连续信号的方法；掌握连续周期信号傅里叶级数的概念和表示方法，傅里叶变换的基本概念和性质，几种典型非周期信号傅里叶变换及其性质和周期信号的傅里叶变换及抽样定理；了解能量谱和功率谱的概念。

4)掌握连续系统频率特性的概念，无失真传输的基本概念和条件，以及理想低通滤波器的频率特性与冲激响应，了解其阶跃响应和矩形脉冲响应。了解系统物理可实现的概念和条件，希尔伯特变换及其应用，调制与解调的概念及其应用和多路复用技术。

5)掌握几种典型信号的双边拉氏变换及其性质，拉氏变换的零、极点及其性质，拉氏变换收敛域的基本性质及其与连续信号特征的对应关系，单边拉氏变换的定义及其收敛

域；了解拉氏反变换、拉氏变换与傅里叶变换的关系。

6) 掌握线性时不变系统的系统函数的概念，在 s 域中求解连续系统的零状态响应和零输入响应，利用系统函数的零、极点分布对连续系统特性进行分析与求解，以及线性时不变系统的模拟与表示方法。

7) 掌握离散时间信号(序列)描述方法、基本运算及特性，用常系数差分方程描述离散系统的方法及其求解；了解用常系数线性差分方程描述的系统为线性移不变因果系统的条件；掌握离散系统的单位样值响应与单位阶跃响应，线性移不变系统的卷积和以及用单位样值响应表征线性移不变系统的特性；了解反卷积的概念。

8) 掌握线性移不变系统对复指数输入序列的响应，周期序列的离散时间傅里叶级数、离散时间傅里叶变换、离散傅里叶变换的概念、变换方法及其基本性质；了解序列分段卷积的概念和方法，利用离散傅里叶变换分析连续非周期信号频谱的方法和快速傅里叶反变换方法；掌握利用傅里叶方法对线性移不变系统进行频域分析。

9) 掌握单、双边 z 变换的概念及相互关系， z 变换的零、极点定义与性质，双边 z 变换收敛域的基本性质及与序列特征的对应关系，单边 z 变换收敛域的基本性质；了解 z 反变换；了解 z 变换与拉氏变换的关系。

10) 掌握线性移不变系统的系统函数的概念，在 z 域中求解离散系统的零状态响应和零输入响应，利用系统函数的零、极点分布对线性移不变系统特性进行分析及求解；了解线性移不变系统的可逆性；掌握利用 z 变换方法对线性移不变系统进行频域分析，线性移不变系统的模拟和表示方法。

2. 教学目标

以连续、离散时间信号、系统的时域、频域及复频域分析为主线，培养电子信息类、电气信息类及相近专业本科生及研究生在现代信号与系统分析领域中的基本理论、基本方法以及实际应用方面的思维方式与研究方法，强调逻辑性、系统性和实用性。希望学生通过该门课程的学习，掌握基本分析方法，提高分析问题、解决问题的能力；培养他们的科研能力以及创新能力；能够在融会贯通、深刻理解的基础上进一步学好后续课程或者将所掌握的知识灵活有机地应用于实际中。

3. 教学建议

教 学 内 容	教 学 要 点	课 时 安 排	
		长学时	短学时
第1章 绪论	- 信号与系统的基本概念 - 信号的描述与分类 - 系统的描述与分类	4	4

(续)

教 学 内 容	教 学 要 点	课 时 安 排	
		长学时	短学时
第 2 章 连续信号与系统 的时域分析	• 连续信号的基本运算 • 典型连续信号及其基本特性 • 线性常系数微分方程的经典解法[*] • 零输入响应和零状态响应[*] • 用线性常系数微分方程描述的系统为线性时不变因果系统的条件 • 冲激响应和阶跃响应[*] • 卷积及其性质[*] • 零状态响应的卷积法求解[*] • 用算子表示微分方程[#] • “广义函数”意义下的冲激信号[#]	8	5
第 3 章 连续信号的频域分析	• 用完备正交函数集来表示信号 • 周期信号的傅里叶级数[*] • 傅里叶变换[*] • 典型非周期信号的傅里叶变换[*] • 周期信号的傅里叶变换[*] • 能量谱和功率谱	8	6
第 4 章 连续系统的频域分析	• 系统的频率特性[*] • 无失真传输 • 理想滤波器 • 系统的物理可实现性[*] • 希尔伯特变换及其应用[#] • 调制与解调[#] • 多路复用技术[#]	6	4
第 5 章 拉普拉斯变换	• 双边拉氏变换的定义 • 典型信号的双边拉氏变换 • 拉氏变换的零、极点定义与阶数 • 呈有理函数形式的拉氏变换式的零、极点及其性质 • 拉氏变换收敛域的基本性质[*] • 连续信号的特征与其双边拉氏变换式收敛域的对应关系[#] • 单边拉氏变换的定义 • 单边拉氏变换的收敛域[*] • 拉氏反变换[#] • 拉氏变换与傅里叶变换的关系	6	4
第 6 章 连续时间系统的 复频域分析	• 线性时不变系统的系统函数 • 用常微分方程描述的连续系统的零状态响应与零输入响应的s域求解[*] • 利用线性时不变系统的系统函数的零、极点分布确定系统的时域特性 • 利用系统函数和输入信号的零、极点分布分析自由响应和强迫响应、暂态响应和稳态响应[*] • 利用系统函数的极点分布确定线性时不变系统的因果性与稳定性[#] • 劳斯稳定性判据[#] • 利用系统函数的零、极点分布确定线性时不变系统的频率特性[#] • 连续因果时不变稳定系统的正弦稳态响应[#] • 线性时不变系统的模拟[#] • 线性时不变系统的表示[#]	6	4

(续)

教 学 内 容	教 学 要 点	课 时 安 排	
		长学时	短学时
第 7 章 离散信号与系统的 时域分析	• 离散信号——序列 • 序列的基本运算 • 典型序列及其基本特性 • 离散系统的基本概念与基本特性 • 离散系统的数学模型：差分方程* • 用常数系数线性差分方程描述的系统为线性移不变因果系统的条件# • 离散系统的单位样值响应与单位阶跃响应* • 线性移不变系统的卷积和* • 用单位样值响应表征的线性移不变系统的特性# • 反卷积#	6	4
第 8 章 离散时间傅里叶变换、 离散傅里叶变换和 快速傅里叶变换	• 线性移不变系统对复指数输入序列的响应 • 周期序列的离散时间傅里叶级数* • 非周期序列的离散时间傅里叶变换 • 典型非周期序列的离散时间傅里叶变换 • 周期序列的离散时间傅里叶变换* • 离散时间傅里叶变换的基本性质* • 离散傅里叶变换：有限长序列的傅里叶分析 • 离散傅里叶变换的性质* • 分段卷积法：短序列与长序列的线性卷积# • 利用离散傅里叶变换近似分析连续非周期信号的频谱# • 利用离散傅里叶变换分析连续信号谱时的参数选择# • 线性移不变系统的频域分析	8	6
第 9 章 z 变换	• z 变换的定义 • 双边 z 变换与单边 z 变换的关系 • z 变换的零、极点定义与阶数 • 呈有理函数形式的 z 变换式的零、极点及其性质 • z 变换收敛域的基本性质* • 序列特征与其双边 z 变换收敛域的对应关系 • 单边 z 变换的收敛域 • z 变换的基本性质* • z 反变换# • z 变换与拉氏变换的关系# • 离散时间傅里叶变换、离散傅里叶变换及 z 变换之间的关系#	6	4
第 10 章 离散时间系统的 复频域分析	• 线性移不变系统的系统函数 • 离散时间系统的零状态响应与零输入响应的 z 域求解* • 利用线性移不变系统的系统函数的零、极点分布分析系统的时域特性 • 利用系统函数的零、极点分布分析自由响应和强迫响应、暂态响应和稳态响应* • 利用系统函数的极点分布确定线性移不变系统的因果性、稳定性 • 朱里稳定性判据 • 线性移不变系统的可逆性 • 离散时间系统的频域特性# • 利用离散系统函数的零、极点分布确定系统的频率响应# • 线性移不变系统的模拟# • 线性移不变系统的表示# • 线性移不变系统的信号流图形式#	6	4
教学总 学时建议		64	45

4. 说明

1) 本教材为“信号与系统”、“信号与线性系统”和“信号与系统分析”等相关课程的基本教材,授课学时分长学时和短学时两种(长学时为 64 学时,短学时为 45 学时),长学时用于电子信息类或相近本科专业,短学时用于电气信息类或相近本科专业,以及专科院校相关专业。

2) “信号与系统”课程的特点之一就是教学内容涉及大量数学推导和理论分析,因此,为增强授课的趣味性和实用性,在课堂教学中,应尽量使用仿真软件进行功能性验证,增加学生的感性认识,进一步深化学生对理论知识的理解。

3) 本教材不包含实验方面的内容,“信号与系统”课程可安排有关实验,建议与长学时课程配套的实验学时数为 20 学时(以设计性实验为主),而短学时课程可安排实验学时数为 10 学时(以验证性实验为主)。

4) 表中“*”表示重点教学内容,“#”表示短学时课程不讲授的内容。

推荐阅读



数字信号处理及MATLAB仿真

作者: Dick Blandford 等 译者: 陈后金 等 书号: 978-7-111-48388-5 定价: 95.00元
中文版 出版时间: 2015年1月

本书是美国伊凡斯维尔大学电子与计算机工程专业的DSP课程教材,注重理论与应用相结合,前7章重点讲述数字信号处理基础理论和知识,包括DSP的概述、线性信号和系统概念、频率响应、抽样和重建、数字滤波器的分析和设计、多速率DSP系统;后4章侧重于DSP应用,包括数字滤波器的实现、数字音频系统、二维数字信号处理和小波分析。本书可作为电子信息、通信、控制、仪器仪表等相关专业本科生的DSP课程教材,对初级DSP工程师也是一本实用的参考书。

数字信号处理及应用

作者: Richard Newbold 等 译者: 李玉柏 等 中文版 预计出版时间: 2015年5月

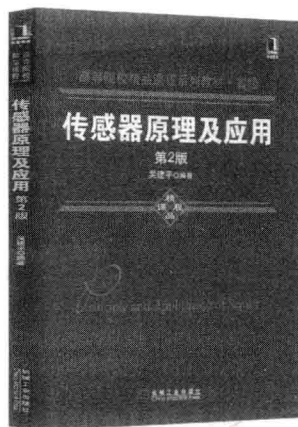
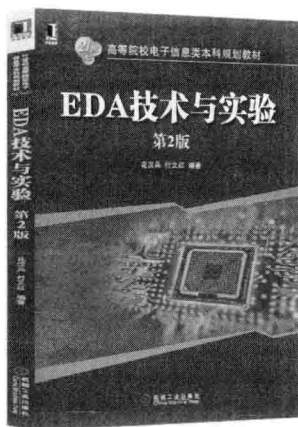
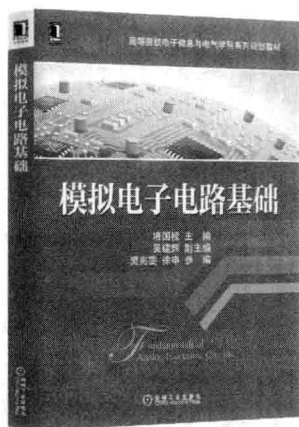
本书基于真实设备与系统,研究如何进行数字信号处理的软硬件设计与实现,详细阐述了模拟和数字信号调谐、复数到实数的变换、数字信道化器的设计以及数字频率合成技术,并重点讨论了多相滤波器 (PPF)、级联的积分梳状 (CIC) 滤波器、数字信道器等业界常用的一些的信号处理应用。本书适合即将进入信号处理领域的大学毕业生,也适合有一定DSP设计经验的业界工程师阅读。

数字信号处理: 系统分析与设计 (原书第2版)

作者: Paulo S. R. Diniz 等 译者: 张太镒 等 ISBN: 978-7-111-41475-9 定价: 85.00元
英文版 ISBN: 978-7-111-38253-9 定价: 79.00元

本书全面、系统地阐述了数字信号处理的基本理论和分析方法,详细介绍了离散时间信号及系统、傅里叶变换、z变换、小波分析和数字滤波器设计的确定性数字信号处理,以及多重速率数字信号处理系统、线性预测、时频分析和谱估计等随机数字信号处理,使读者深刻理解数字信号处理的理论和设计方法。本书不仅可以作为高等院校电子、通信、电气工程与自动化、机械电子工程和机电一体化等专业本科生或研究生教材,还可作为工程技术人员DSP设计方面的参考书。

推荐阅读



模拟电子电路基础

作者：堵国樑 吴建辉 等 ISBN：978-7-111-45504-2 出版时间：2014年1月 定价：45.00元

本书是在多年教学改革的基础上编写而成的，其基本原则为“以电路分析为主线，以设计应用为目的”。编写思路采用了从宏观到微观，从对集成器件外特性的了解、应用，引导到对内电路研究学习的兴趣；以单元电路的分析为铺垫，强调电子系统设计的思路；以工程教育理念为导向，理论联系实际，教材内容落实到具体的工程项目应用中。本书主要从应用角度介绍器件、集成电路以及电子电路的基本概念、基本原理、性质与特点，通过电子电路具体分析方法的介绍，培养电子电路的设计能力。本书共分11章，内容包括：绪论，运算放大器及其线性应用，运算放大器的非线性应用，半导体器件概述，基本放大电路，负反馈放大电路，集成运算放大器，正弦波产生电路，功率电路，应用电路设计分析，门电路。

EDA技术与实验（第2版）

作者：花汉兵 付文红 ISBN：978-7-111-42654-7 出版时间：2013年8月 定价：35.00元

为适应教学改革的需要，培养学生能力的循序渐进的过程，对第1版内容进行了修订，从而实现了从基础电路设计、综合电路设计再到创新型设计的教学模式，有利于在培养学生基本实践能力的基础上，培养了他们的创新意识和创新能力。该第2版精心构建基础与前沿、经典与现代有机结合的实践教材内容，结合大学生电子设计竞赛，修订EDA技术与实验内容，使学生掌握现代电子设计方法，实现教材内容与科研、工程、社会应用实践密切联系。本着与时俱进的原则，采用了一些在技术上更为先进的软件和设备。如可编程器件由原来的Cyclone系列更新为CycloneIII系列，并介绍了QuartusII软件的使用。

传感器原理及应用（第2版）

作者：吴建平 等 ISBN：978-7-111-36554-9 出版时间：2012年2月 定价：36.00元

本书第1版自2009年1月面世以来，得到广大同行、专家和读者的支持和肯定，并先后4次重印。为提高教材的可读性和实用性，本书对上一版中的部分章节进行了调整：将“超声波传感器”归入第7章；将“热电式红外传感器”并入第12章；第11章为射线传感器，主要讨论核辐射探测器的原理和应用；本书还特别增加了第13章集成智能传感器，主要讨论现代新型的集成器件。另外，本书还增加了部分传感器的应用实例。

读者可以在本书配套的精品课程网站中找到更多的资料。本书同时为教师提供教学课件及配套习题答案。

目 录

前 言 教学建议

第 1 章 绪论	1
1.1 信号与系统的基本概念	1
1.2 信号的函数描述	3
1.3 信号的分类	3
1.4 系统的描述和模型求解	10
1.5 系统的分类	13
1.6 信号与系统分析的任务	18
习题	18

第 2 章 连续信号与系统的时域分析	21
2.1 连续信号的基本运算	21
2.2 典型连续信号及其基本特性	25
2.3 连续系统的数学模型: 微分方程	37
2.4 零输入响应和零状态响应	41
2.5 用线性常系数微分方程描述的系统为线性时不变因果系统的条件	43
2.6 冲激响应和阶跃响应	46
2.7 卷积及其性质	50
2.8 零状态响应的卷积法求解	55
2.9 用算子表示微分方程	57

2.10 “广义函数”意义下的冲激信号	60
习题	65

第 3 章 连续信号的频域分析	69
3.1 用完备正交函数集来表示信号	69
3.2 周期信号的傅里叶级数	72
3.3 傅里叶变换	80
3.4 典型非周期信号的傅里叶变换	91
3.5 周期信号的傅里叶变换	102
3.6 能量谱和功率谱	113
习题	114

第 4 章 连续系统的频域分析	119
4.1 系统的频率特性	119
4.2 无失真传输	125
4.3 理想滤波器	126
4.4 系统的物理可实现性	130
4.5 希尔伯特变换及其应用	133
4.6 调制与解调	137
4.7 多路复用技术	143
习题	148

第 5 章 拉普拉斯变换	153
5.1 双边拉氏变换的定义	153
5.2 典型信号的双边拉氏变换	155

5.3	拉氏变换的零、极点定义与阶数	158
5.4	呈有理函数形式的拉氏变换式的零、极点及其性质	160
5.5	拉氏变换收敛域的基本性质	161
5.6	连续信号的特征与其双边拉氏变换式收敛域的对应关系	162
5.7	单边拉氏变换的定义	169
5.8	单边拉氏变换的收敛域	170
5.9	拉氏反变换	187
5.10	拉氏变换与傅里叶变换的关系	195
	习题	198

第6章 连续时间系统的复频域分析

	分析	200
6.1	线性时不变系统的系统函数	200
6.2	用常微分方程描述的连续系统的零状态响应与零输入响应的 s 域求解	205
6.3	利用线性时不变系统的系统函数的零、极点分布确定系统的时域特性	207
6.4	利用系统函数和输入信号的极点分布分析自由响应和强迫响应、暂态响应和稳态响应	211
6.5	利用系统函数的极点分布确定线性时不变系统的因果性与稳定性	215
6.6	劳斯稳定性判据	221
6.7	利用系统函数的零、极点分布确定线性时不变系统的频率特性	226
6.8	连续因果时不变稳定系统的正弦稳态响应	238

6.9	线性时不变系统的模拟	240
6.10	线性时不变系统的表示	251
	习题	277

第7章 离散信号与系统的时域分析

	时域分析	280
7.1	离散信号——序列	281
7.2	序列的基本运算	282
7.3	典型序列及其基本特性	287
7.4	离散系统的基本概念与基本特性	297
7.5	离散系统的数学模型：差分方程	302
7.6	用常系数线性差分方程描述的系统为线性移不变因果系统的条件	326
7.7	线性常系数差分方程的建立与主要应用	331
7.8	离散系统的单位样值响应与单位阶跃响应	336
7.9	线性移不变系统的卷积和	340
7.10	用单位样值响应表征的线性移不变系统的特性	350
7.11	反卷积	355
	习题	356

第8章 离散时间傅里叶变换、离散傅里叶变换和快速傅里叶变换

8.1	线性移不变系统对复指数输入序列的响应	359
8.2	周期序列的离散时间傅里叶级数	360
8.3	非周期序列的离散时间傅里叶变换	366
8.4	离散时间傅里叶变换与连续时间傅里叶变换之间的关系	370

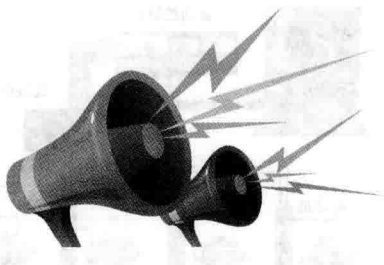
8.5	典型非周期序列的离散时间傅里叶变换	372	9.11	z 变换与拉氏变换的关系 ..	516
8.6	周期序列的离散时间傅里叶变换	376	9.12	离散时间傅里叶变换、离散傅里叶变换及 z 变换之间的关系	521
8.7	离散时间傅里叶变换的基本性质	379	习题	525	
8.8	离散傅里叶变换：有限长序列的傅里叶分析	386	第 10 章	离散时间系统的复频域分析	529
8.9	离散傅里叶变换的性质	391	10.1	线性移不变系统的系统函数	529
8.10	分段卷积法：短序列与长序列的线性卷积	413	10.2	离散时间系统的零状态响应与零输入响应的 z 域求解 ..	531
8.11	利用离散傅里叶变换近似分析连续非周期信号的频谱	418	10.3	利用线性移不变系统的系统函数的零、极点分布分析系统的时域特性	535
8.12	利用离散傅里叶变换分析连续信号谱时的参数选择 ..	427	10.4	利用系统函数的零、极点分布分析自由响应和强迫响应、暂态响应和稳态响应	539
8.13	FFT 算法	428	10.5	利用系统函数的极点分布确定线性移不变系统的因果性、稳定性	541
8.14	快速傅里叶反变换	453	10.6	朱里稳定性判据	546
习题	456	10.7	线性移不变系统的可逆性 ..	551	
第 9 章	z 变换	461	10.8	离散时间系统的频域特性 ..	551
9.1	z 变换的定义	461	10.9	利用离散系统函数的零、极点分布确定系统的频率响应 ..	557
9.2	双边 z 变换与单边 z 变换的关系	463	10.10	连续系统与离散系统之间的相互转换	563
9.3	z 变换的零、极点定义与阶数	463	10.11	线性移不变系统的模拟 ..	565
9.4	呈有理函数形式的 z 变换式的零、极点及其性质	464	10.12	线性移不变系统的表示 ..	570
9.5	双边 z 变换的收敛域与 z 变换收敛域的基本性质	465	10.13	线性移不变系统的信号流图形式	573
9.6	序列特征与其双边 z 变换收敛域的对应关系	468	习题	575	
9.7	单边 z 变换的收敛域	476	参考文献	580	
9.8	常用序列的 z 变换	477			
9.9	z 变换的基本性质	480			
9.10	z 反变换	502			

1.1 信号与系统的基本概念

1.1.1 信号的基本概念

人类通过获得、识别自然界和社会的不同信息来区别不同事物,得以认识和改造世界。当今时代更是信息时代,信息对人们愈来愈重要。可以说人类获取、利用信息的方式和成效反映了人类社会的文明程度。而信号是信息的载体,它以各种不同的形式来传达信息的内容。例如,声音是一种信号,谈话者通过语音信号传达要表达的信息;图像是一种信号,数码照片或电视画面使用图像信号来传递景物信息;记录人体脉搏、血压等生理特征的数据或曲线是一种信号,它能向医者传达病人健康状况的信息。此外,反映电力系统电能质量的电压、频率和波形;用来预报天气的大气温度、湿度、风力、风向;作为金融投资决策参考的商品和股票波动等等都是某种形式的信号,它们均承载着某种相关信息。一些信号的示例如图 1-1 所示。

按照物理属性,信号可以分为磁信号、声信号、光信号、电信号等。在实际应用中,常常将非电信号转变为电信号以便于传输、采集、分析和处理。



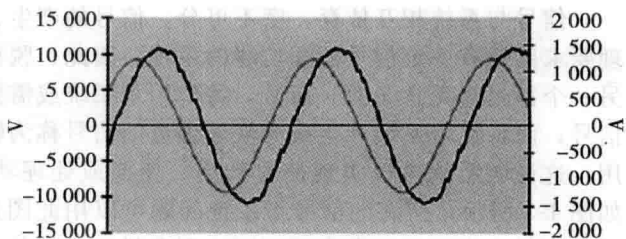
a) 语音



b) 图像



c) 股票数据



d) 电网电压、电流波形

图 1-1 信号示例

1.1.2 系统的基本概念

各种具体的信号并不是孤立存在的。信号的产生和发挥效用总是与一个或若干对象或功能部件相联系，通常将这些对象或功能部件的部分、整体或集合称为某个系统。因此，系统可定义为对信号进行作用以实现某种功能的一个整体。显然，所谓整体是一个相对的概念，因为某一个整体可以是更大整体的一个组成部分。例如，一个复杂系统通常由若干部分组成。在对一个系统对象进行研究时，可以先分析各个子系统的特性，然后再通过它们之间的联结关系得到整个系统的特性。同理，在设计一个系统时，也可先设计出若干相对简单的基本子系统单元，再将这些子系统单元进行有效联结，最后得到整个相对复杂的系统。系统基本的联结形式有级联、并联和反馈三种。

系统广泛存在于自然界和人类社会中，如通信系统、计算机系统、自动控制系统、电力系统、生态系统、循环系统等。它们都由相互联系的若干部分组成，并具有特定的功能。图 1-2 为几类典型系统的示例。

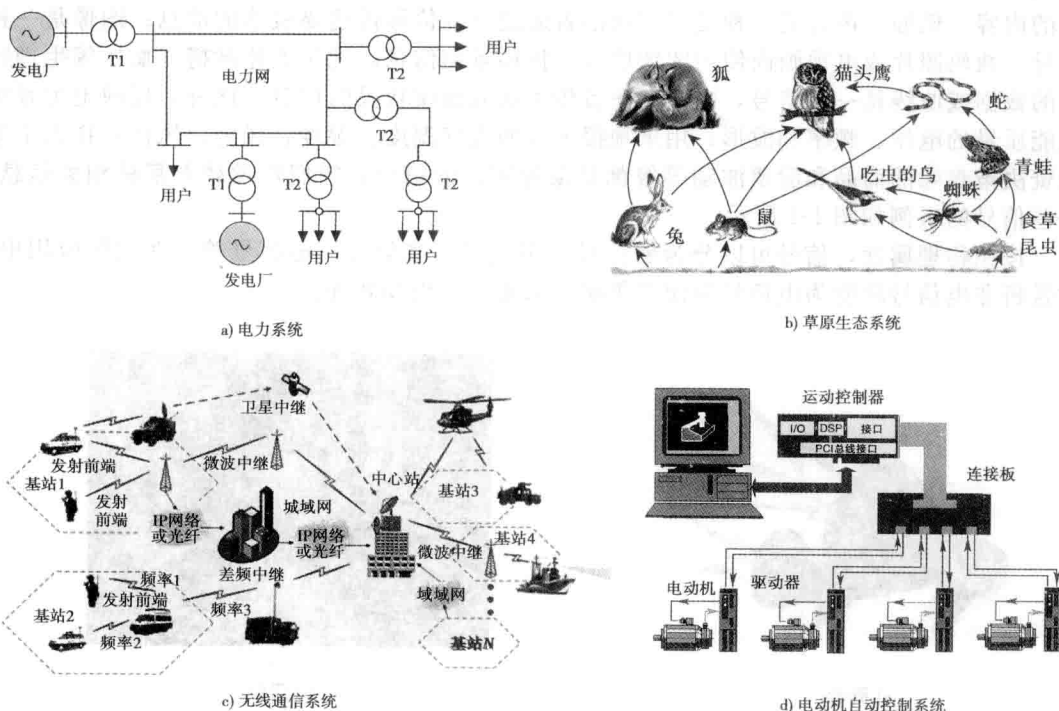


图 1-2 典型系统示例

信号与系统相互依存，密不可分。信号的产生、传输和处理都依赖于满足相关信号处理要求以及有一定信号处理功能的系统。因此，脱离信号与系统两者中的任何一个去讨论另一个都是毫无意义的。通常，将作用于系统或需要系统进行变换、处理的信号称为输入信号，而将经由系统产生或变换处理过的信号称为输出信号，人们可以对其进行研究和利用。这说明系统可以实现信号产生、变换或处理功能，如图 1-3 所示，所有的信号与系统问题可以用此图加以抽象表示。由于广泛存在于不同工程和科学领域的信号与系统问题有着各自的特殊性，所以各自有着专门的研究和分析方法。计算机、通信和控制是信号与系统理论应用的主要领域。本书所举实例大多涉及上述领域，但

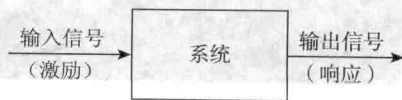


图 1-3 可以实现信号产生、变换或处理功能的系统

本书所阐述的有关信号与系统的基本理论普遍适用于各种信号与系统问题。

1.2 信号的函数描述

描述信号有多种方法。在数学上,通常将各种具体的信号描述为单个或多个变量的函数。因此,信号也可定义为传达某种物理现象特性的信息的一个函数。可以说,从数学的角度研究信号时,信号和函数是同义词。

如果描述信号的函数只依赖于单个变量,则称该信号为一维信号。例如, $x(t)$ 表示依赖于单变量时间 t 的一维信号。

如果描述信号的函数依赖于两个及以上变量,则称该信号为多维信号。如图像信号依赖于空间中水平和垂直两个方向的坐标变量。

本书重点研究以时间为自变量的一维信号。除了用解析函数来表示外,信号还可以用图形、数据等来描述,如图 1-1c 和 d 所示。

1.3 信号的分类

为简单起见,本书重点讨论以时间为自变量(设为 t 或 n)的单值函数(设为 $x(t)$ 或 $x(n)$)一维信号。“单值”是指在任意时刻函数只取单一数值。该值可以是实数,也可以是复数。

按照信号的不同特点,通常有下列 6 种分类方法。

1.3.1 连续时间信号和离散时间信号

1. 连续时间信号

如果一个信号在一段连续时间区间内的所有时刻都有定义(除有限个间断点外),称该信号在此区间内为**连续时间信号**,简称连续信号。在该时间区间内,信号的幅度可以是连续的,如图 1-4a 所示,也可以是不连续的,如图 1-4b 所示。通常把幅度可连续取值的信号称为**模拟信号**,连续时间信号可以是模拟信号。图 1-4a 中的正弦信号显然为模拟信号,而在图 1-4b 中,当阶跃信号的阶跃幅度 A 为非量化值时,才为**模拟信号**。

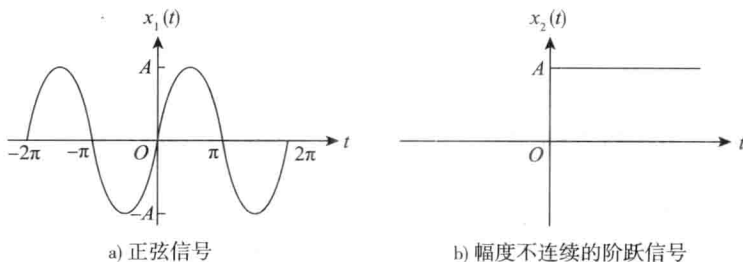


图 1-4 连续时间信号

2. 离散时间信号

仅在某些离散的时刻有定义的信号称为**离散时间信号**,简称离散信号。在这里,“离散”表示信号的时间自变量只取一些离散的值,这些离散的时间点可以是等间隔的,也可以是不等间隔的。在离散的时间点之外,信号没有定义。通常,用恒定的速率对一个连续信号进行抽样就可以得到一个离散信号。离散信号的幅度可以是原连续信号在抽样时刻的幅度(一般称此幅度为连续的),如图 1-5b 所示,也可以是原连续信号在抽样时刻的幅度