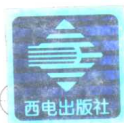
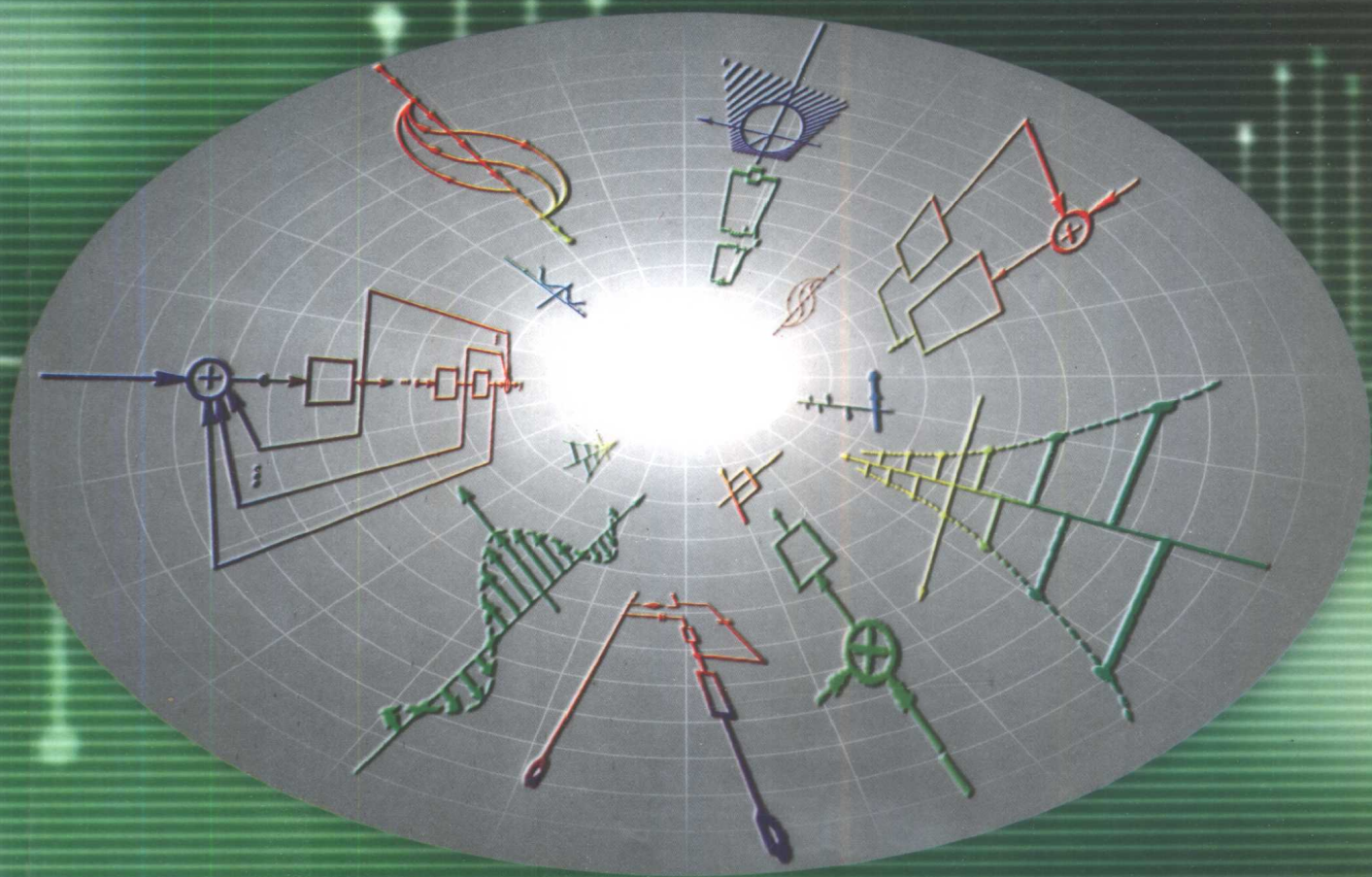


21世纪

高等学校电子信息类系列教材

信号与系统 (第二版)

■ 陈生潭 郭宝龙 李学武 冯宗哲 编著



西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

★ 21 世纪高等学校电子信息类系列教材

信号与系统

(第二版)

陈生潭 郭宝龙 编著
李学武 冯宗哲

西安电子科技大学出版社

2001

内 容 简 介

本书全面系统地论述了信号与线性系统分析的基本理论和方法。强调了信号的分解特性和系统的线性时不变特性，并建立了两者之间的逻辑联系。全书共分9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S域分析；离散信号与系统的时域、频域和Z域分析；系统的状态空间分析和随机信号通过线性系统分析。

第二版在继承原书编写思想的基础上，对全书内容进行了重新编写和全面修订。本书内容丰富，方法科学，论述清楚，便于教学和学生自学。

本书可作为高等学校电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、测控技术与仪器、光信息科学与技术、电气工程及自动化等专业“信号与系统”课程的教材，也可供相关专业科技工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统/陈生潭等编著. —西安:西安电子科技大学出版社, 2001.8

21世纪高等学校电子信息类系列教材

ISBN 7-5606-0982-1

I. 信… II. 陈… 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(2001)第045236号

责任编辑 李纪澄 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)8227828 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印 刷 陕西画报社印刷厂

版 次 1990年8月第1版 2001年8月第2版 2001年8月第3次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 29

字 数 687千字

印 数 5 001~9 000册

定 价 29.00元

ISBN 7-5606-0982-1/TN·0172

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本书封面贴有西安电子科技大学出版社的激光防伪标志，无标志者不得销售。

第二版前言

《信号与系统》一书自1990年出版以来已经使用了10年。根据教育部1998年制订的《面向21世纪教育振兴行动计划》的基本精神,结合多年来本课程的教学实践和改革成果,我们对原书进行了全面修订。

关于第二版《信号与系统》的修订和编写工作,有以下几点说明:

1. 本版继承了原书的编写思想和体系结构。继续强调信号与线性系统分析的理论核心是信号的分解特性和系统的线性特性。同时,建立了两者之间的逻辑联系。这种编写特点可以清晰地揭示出不同系统分析方法的基本思想和内在联系,有利于学生综合分析能力的培养与科学方法论的掌握。

2. 继续将主体内容分为“连续”和“离散”两部分,并按先“连续”后“离散”的方式进行讨论。既体现两者在理论上相对独立,内容上相互并行的特点,又遵循了先易后难、循序渐进的教学法原则。实践表明,这样处理,有利于增强学生对离散篇内容的理解,以及对连续篇内容的回顾和深化认识。

3. 在系统的时域分析中,强调系统解法,削弱经典解法。采用算子和传输算子概念描述时域分析法,使时域分析法与变换域分析法之间建立起一定的对应关系,以体现现代系统分析理论的规范性和一致性。

4. 根据已往的教学经验,删去了原书第四章“广义函数”一节中部分偏深偏难的内容。原第十四章(抽样数据系统)中关于信号抽样与抽样信号恢复部分内容安排在新版第3章(连续信号与系统的频域分析)中介绍。此外,考虑到有的专业没有开设“数字信号处理”和“随机信号处理”课程的实际情况,新版教材中补充编入了“离散信号与系统的频域分析”和“随机信号通过线性系统”两章,教师可以根据实际需要灵活选用。这样,全书在编排体系上更加完整和系统,体现了三个层次的对应关系:连续信号和系统分析与离散信号和系统分析相对应,输入输出分析法与状态空间分析法相对应,确定信号通过线性系统分析与随机信号通过线性系统分析相对应。

5. 配合正文选编了相当数量的例题和习题,以供选用。书末附有习题参考答案。

本书是西安电子科技大学国家电工电子教学基地规划教材之一,由陈生潭、郭宝龙主编和统稿,李学武、冯宗哲参编。具体分工是:陈生潭撰写第1、2、5、8章,李学武撰写第3、6章,冯宗哲撰写第4、7章,郭宝龙撰写第9章。书稿承蒙张永瑞教授、杨林耀教授审阅并提出了宝贵意见。本书的编写得到西安电子科技大学教务处、西安电子科技大学出版社等有关部门和领导的指导与支持。得到了西安电子科技大学电路、信号与系统教研中心老师的关心和帮助。同时,在编写过程中还参阅了国内外大量著作、文献和资料。在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,对于书中不妥和错误之处,欢迎读者批评指正。

编者

于西安电子科技大学

2001年6月

初版前言

近 30 年来,随着微电子技术的迅速发展和电子计算机的广泛应用,系统理论的基本概念和研究方法几乎毫无例外地进入了电子科学技术领域的各个学科,包括网络理论、通信工程、信息工程、自动控制以及计算机技术等学科。不同学科之间相互影响、相互渗透、相互促进、共同发展是现代科学技术发展的重要特点。实际上,系统理论的引入已经使上述学科发生了深刻的变化。新概念、新理论、新方法和新技术的大量涌现,推动了电子科学技术的巨大发展。“信号与系统”就是在上述学科发展基础上建立起来的一门新的理论课程,目前已成为电子科学技术领域各学科的共同理论基础课程。课程的主要任务是研究信号和线性系统理论的基本概念和基本分析方法。

本书的基本构思是:

(1) 全书由连续篇(连续时间信号和连续时间系统)和离散篇(离散时间信号和离散时间系统)两部分组成。每篇的主体内容按照先信号分析后系统分析,先时间域分析后变换域分析,先输入-输出分析后状态空间分析的方式进行论述。这样,连续时间系统理论与离散时间系统理论之间,既保持了体系上的相对独立,又体现了内容上的并行特点。离散篇讨论采用与连续篇对照的方法进行,以避免概念阐述上不必要的重复。同时,也有利于学生对离散篇内容的理解和掌握,以及对连续篇内容的回顾和深化认识。

(2) 采用统一观点和方法阐述课程内容。我们认为,线性系统分析的理论依据是信号的分解特性和系统的线性特性。实现线性系统分析的统一观点和方法是:任何实际信号都可以分解成众多基本信号分量的线性组合;线性系统对任一输入信号的响应可以看成是系统对众多基本信号分量分别作用时响应的叠加;不同的信号分解方式将导致不同的系统分析方法。由此可见,无论是连续时间系统的时间域、频率域和 S 域分析法,还是离散时间系统的时间域和 Z 域分析法,它们在本质上都是“时间域”的,从而不难驱除关于变换域分析的神秘感。实践表明,这种统一观点的处理方法,使学生对本课程中许多抽象概念的理解和分析方法的掌握变得规范化和简单化了。

(3) 鉴于冲激函数、阶跃函数等广义函数在本课程中的重要地位,因此给以严格的数学定义是必要的。书中对分配函数的概念和性质作了简要介绍,并从分配函数观点出发讨论了冲激函数及其性质。此外,在状态空间分析中引入了状态模型概念,以便使状态空间方程一般形式的引出更为合理。

全书共十四章。第一章是绪论,介绍了信号与系统的一般概念和特性;第二至第六章集中讨论了连续时间信号的分解理论,将传统的卷积积分、傅里叶变换、拉普拉斯变换统一归结为实现信号分解的数学工具;第七至第十章给出了连续时间系统传统的和近代的分析方法,其中第七至第九章内容是与第三至第六章内容相对应的,以便把信号分解方式与系统分析方法之间的关系清楚地展现在读者面前。第十一至第十三章讨论了离散时间信号的分析理论和离散时间系统的分析方法;第十四章讲述了混合系统的分析方法,它是连续时间系统和离散时间系统的综合应用,也是为适应计算机的广泛应用而编写的内容。每章末

编有一定数量的习题，主要用以检验、理解基本概念和熟练分析方法。书末附有部分习题答案供参考。书中标有“*”号的内容为选学内容。

本书第一至第九章和第十四章由程相君同志执笔，第十至十三章和附录由陈生潭同志执笔。全书由张以杰教授主审。在本书的编写过程中张以杰教授和李纪澄副教授给予了许多有益的指导和具体的帮助，在此特向他们致以衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中有不妥甚至错误之处，敬请读者批评指正。

作 者
于西安电子科技大学
1989年9月

目 录

第 1 章 信号与系统的基本概念	1
1.0 信号与系统	1
1.1 信号的描述和分类	2
1.1.1 信号的描述	2
1.1.2 信号的分类	2
1.2 信号的基本特性	7
1.3 信号的基本运算	8
1.3.1 相加和相乘	8
1.3.2 翻转、平移和展缩	9
1.3.3 信号的导数和积分	12
1.3.4 信号的差分和迭分	13
1.4 阶跃信号和冲激信号	15
1.4.1 连续时间阶跃信号	15
1.4.2 连续时间冲激信号	17
1.4.3 广义函数和 δ 函数性质	18
1.4.4 阶跃序列和脉冲序列	23
1.5 系统的描述	24
1.5.1 系统模型	24
1.5.2 系统的输入输出描述	24
1.5.3 系统的状态空间描述	27
1.5.4 系统的框图表示	28
1.6 系统的特性和分类	32
1.6.1 线性特性	32
1.6.2 时不变特性	33
1.6.3 因果性	35
1.6.4 稳定性	36
1.6.5 系统的分类	36
1.7 信号与系统的分析方法	36
习题一	38
第 2 章 连续信号与系统的时域分析	45
2.0 引言	45
2.1 连续时间基本信号	45
2.1.1 奇异信号	45
2.1.2 正弦信号	46
2.1.3 指数信号	46
2.2 卷积积分	47
2.2.1 卷积的定义	47

2.2.2	卷积的图解机理	48
2.2.3	卷积性质	50
2.2.4	常用信号的卷积公式	56
2.3	系统的微分算子方程	57
2.3.1	微分算子和积分算子	57
2.3.2	LTI 系统的微分算子方程	58
2.3.3	电路系统算子方程的建立	60
2.4	连续系统的零输入响应	62
2.4.1	系统初始条件	62
2.4.2	零输入响应算子方程	63
2.4.3	简单系统的零输入响应	63
2.4.4	一般系统的零输入响应	64
2.5	连续系统的零状态响应	66
2.5.1	连续信号的 $\delta(t)$ 分解	66
2.5.2	基本信号 $\delta(t)$ 激励下的零状态响应	68
2.5.3	一般信号 $f(t)$ 激励下的零状态响应	71
2.5.4	零状态响应的另一个计算公式	71
2.6	系统微分方程的经典解法	77
2.6.1	齐次解和特解	77
2.6.2	响应的完全解	78
习题二	81

第 3 章 连续信号与系统的频域分析..... 87

3.0	引言	87
3.1	信号的正交分解	87
3.1.1	矢量的正交分解	87
3.1.2	信号的正交分解	89
3.2	周期信号的连续时间傅里叶级数	92
3.2.1	三角形式的傅里叶级数	92
3.2.2	指数形式的傅里叶级数	95
3.3	周期信号的频谱	97
3.3.1	周期信号的频谱	97
3.3.2	周期信号频谱的特点	99
3.3.3	周期信号的功率	102
3.4	非周期信号的连续时间傅里叶变换	102
3.4.1	傅里叶变换	103
3.4.2	非周期信号的频谱函数	104
3.4.3	典型信号的傅里叶变换	105
3.5	傅里叶变换的性质	112
3.6	周期信号的傅里叶变换	122
3.7	连续信号的抽样定理	125
3.7.1	信号的时域抽样定理	125
3.7.2	周期脉冲抽样	130

3.7.3 频域抽样	131
3.8 连续系统的频域分析	132
3.8.1 基本信号 $e^{j\omega t}$ 激励下的零状态响应	133
3.8.2 一般信号 $f(t)$ 激励下的零状态响应	133
3.8.3 无失真传输条件	137
3.8.4 理想低通滤波器的特性	139
习题三	140
第 4 章 连续系统的复频域分析	147
4.0 引言	147
4.1 拉普拉斯变换	147
4.1.1 从傅里叶变换到拉普拉斯变换	147
4.1.2 双边拉普拉斯变换的收敛域	148
4.1.3 单边拉普拉斯变换	150
4.1.4 常用信号的单边拉普拉斯变换	151
4.2 单边拉普拉斯变换的性质	152
4.3 单边拉普拉斯逆变换	163
4.3.1 查表法	163
4.3.2 部分分式展开法	164
*4.3.3 反演积分法	169
4.4 连续系统的复频域分析	170
4.4.1 连续信号的复频域分解	171
4.4.2 基本信号 e^{st} 激励下的零状态响应	171
4.4.3 一般信号 $f(t)$ 激励下的零状态响应	171
4.5 系统微分方程的复频域解	173
4.6 RLC 系统的复频域分析	175
4.6.1 KCL、KVL 的复频域形式	176
4.6.2 系统元件的复频域模型	176
4.6.3 RLC 系统的复频域模型及分析方法	178
4.7 连续系统的表示和模拟	180
4.7.1 连续系统的方框图表示	181
4.7.2 连续系统的信号流程图表示	184
4.7.3 连续系统的模拟	188
4.8 系统函数与系统特性	191
4.8.1 $H(s)$ 的零点和极点	191
4.8.2 $H(s)$ 的零、极点与时域响应	191
4.8.3 $H(s)$ 与系统的频率特性	193
4.8.4 $H(s)$ 与系统的稳定性	195
4.8.5 拉普拉斯变换与傅里叶变换	199
习题四	201
第 5 章 离散信号与系统的时域分析	208
5.0 引言	208
5.1 离散时间基本信号	208

5.1.1	离散时间信号	208
5.1.2	离散时间基本信号	209
5.2	卷积和	214
5.2.1	卷积和的定义	214
5.2.2	卷积和的性质	217
5.2.3	常用序列的卷积和公式	219
5.3	离散系统的算子方程	219
5.3.1	LTI 离散时间系统	219
5.3.2	离散系统算子方程	221
5.4	离散系统的零输入响应	224
5.4.1	简单系统的零输入响应	224
5.4.2	一般系统的零输入响应	226
5.5	离散系统的零状态响应	228
5.5.1	离散信号的时域分解	228
5.5.2	基本信号 $\delta(k)$ 激励下的零状态响应	229
5.5.3	一般信号 $f(k)$ 激励下的零状态响应	233
5.6	系统差分方程的经典解法	236
	习题五	238
第 6 章	离散信号与系统的频域分析	244
6.0	引言	244
6.1	周期信号的离散时间傅里叶级数	244
6.1.1	离散时间傅里叶级数	245
6.1.2	离散时间周期信号的频谱	246
6.2	非周期信号的离散时间傅里叶变换	248
6.2.1	离散时间傅里叶变换	248
6.2.2	常用信号的离散时间傅里叶变换	250
6.3	周期序列的离散时间傅里叶变换	254
6.4	离散时间傅里叶变换的性质	257
6.5	离散傅里叶变换(DFT)	262
6.5.1	离散傅里叶变换的引入	263
6.5.2	DFT 的计算	266
6.6	DFT 的性质	267
6.7	快速傅里叶变换(FFT)简介	271
6.7.1	DFT 矩阵 W^N 及其因子化	272
6.7.2	基 2 FFT 概述	274
6.8	离散系统的频域分析	277
6.8.1	基本信号 $e^{j\omega k}$ 激励下的零状态响应	278
6.8.2	一般信号 $f(k)$ 激励下的零状态响应	280
	习题六	281
第 7 章	离散信号与系统的 Z 域分析	288
7.0	引言	288
7.1	Z 变换	288

7.1.1	从拉普拉斯变换到 Z 变换	288
7.1.2	双边 Z 变换的定义和收敛域	289
7.1.3	常用序列的双边 Z 变换	291
7.2	双边 Z 变换的性质	292
7.3	Z 逆变换	300
7.3.1	双边 Z 逆变换的定义	300
7.3.2	双边 Z 逆变换的计算	301
7.4	单边 Z 变换	309
7.4.1	单边 Z 变换的定义和收敛域	310
7.4.2	常用序列的单边 Z 变换	310
7.4.3	单边 Z 变换的性质	311
7.4.4	单边 Z 逆变换的计算	314
7.5	离散系统的 Z 域分析	317
7.5.1	离散信号的 Z 域分解	317
7.5.2	基本信号 z^k 激励下的零状态响应	317
7.5.3	一般信号 $f(k)$ 激励下的零状态响应	317
7.6	离散系统差分方程的 Z 域解	319
7.6.1	差分方程的 Z 域解	319
7.6.2	离散系统的频率响应	322
7.7	离散系统的表示和模拟	325
7.7.1	离散系统的方框图表示	325
7.7.2	离散系统的信号流图表示	328
7.7.3	离散系统的模拟	329
7.8	系统函数与系统特性	332
7.8.1	$H(z)$ 的零点和极点	332
7.8.2	$H(z)$ 的零、极点与时域响应	332
7.8.3	$H(z)$ 与离散系统频率响应	333
7.8.4	$H(z)$ 与离散系统的稳定性	335
7.8.5	Z 域与 S 域的关系	338
习题七		339

第 8 章 系统的状态空间分析 345

8.0	引言	345
8.1	状态空间描述	345
8.1.1	状态变量和状态空间	345
8.1.2	状态模型和状态空间方程	347
8.2	连续系统状态空间方程的建立	351
8.2.1	直接编写法	351
8.2.2	由微分方程建立状态空间方程	354
8.2.3	由系统函数建立状态空间方程	360
8.3	连续系统状态空间方程的求解	362
8.3.1	状态空间方程的时域解法	362
8.3.2	e^{At} 的计算	366

8.3.3 状态空间方程的 S 域解法	369
8.4 离散系统的状态空间分析	373
8.4.1 状态空间方程的建立	374
8.4.2 状态空间方程的时域解法	376
8.4.3 状态空间方程的 Z 域解法	380
8.5 系统函数矩阵与系统稳定性	382
习题八	384
第 9 章 随机信号通过线性系统	392
9.0 引言	392
9.1 随机信号的概念	392
9.1.1 随机过程和随机信号的概念	392
9.1.2 随机信号的分布函数和概率密度	393
9.2 连续随机信号的统计特征	394
9.2.1 均值	394
9.2.2 方差	394
9.2.3 自相关函数和自协方差函数	395
9.2.4 互相关函数和互协方差函数	396
9.2.5 功率密度谱 $S_x(j\omega)$ 和互谱密度 $S_{xy}(j\omega)$	397
9.3 离散随机信号的统计特征	398
9.3.1 均值、均方差和方差	399
9.3.2 相关函数和协方差函数	399
9.3.3 功率密度谱和互谱密度	400
9.4 线性连续系统分析	401
9.4.1 时域分析	401
9.4.2 频域分析	403
9.5 线性离散系统分析	404
9.5.1 时域分析	404
9.5.2 Z 域分析和频域分析	405
9.6 白噪声通过线性系统分析	407
习题九	408
附录	410
附录 A 部分分式展开	410
附录 B 矩阵函数	414
附录 C 周期信号的傅里叶级数表	425
附录 D 傅里叶变换表	426
附录 E 序列的离散时间傅里叶变换表	429
附录 F 单边拉普拉斯变换表	430
附录 G Z 变换表	431
各章习题参考答案	433
参考文献	452

第 1 章 信号与系统的基本概念

1.0 信号与系统

在社会活动和日常生活中，人们常常使用语言、文字、图像和数据等媒体来表达感觉、交流思想和发表意见。我们将这些通过一定媒体表达的感觉、思想、意见等统称为**消息**。显然，同一消息可以用不同媒体来表达。

为了有效地传播和利用消息，常常需要将消息转换成便于传输和处理的信号。**信号**是消息的载体，一般表现为随时间变化的某种物理量。根据物理量的不同特性，可对信号进行分类。例如，钟楼的报时钟声和轮船的汽笛声是声信号，交通路口的红绿灯和光纤通信中的激光是光信号，无线电广播电台和电视台发射的电磁波是电信号，等等。在各种信号中，电信号是一种最便于传输、控制与处理的信号。同时，在实际应用中，许多非电信号(如温度、压力、位移、转矩、流量等)都可以通过适当的传感器变换成电信号。因此，研究电信号具有重要意义。在本书中，若无特殊说明“信号”一词均指电信号。

在实际应用中，除了使用消息和信号之外，还常常用到“**信息**”一词，它是信息论中的一个术语，是消息的一种量度，特指消息中有意义的内容。在本书中对信息、消息两词未加严格区分。

在系统理论中，**系统**是指由若干相互间有联系的事物组合而成并且具有特定功能的整体。组成系统的事物可以是电子、机械、控制等方面的物理实体；也可以是社会、经济、管理等方面的非物理实体。前一类系统称为物理系统，后一类系统称为非物理系统。

系统的基本作用是对输入信号进行加工和处理，将其转换成需要的输出信号，如图 1.0-1 所示，图中的方框表示系统。输入信号常称为**激励**，输出信号常称为**响应**。激励代表外界对系统的作用。响应是激励和系统共同作用的结果。如果说激励是引起响应的外部因素，那么系统特性则是产生响应的内部原因。

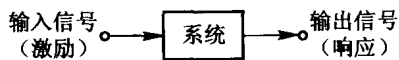


图 1.0-1 激励、系统与响应

一般说来，一个实用系统都是由若干个子系统组成的，每个子系统完成相对独立的一部分功能，通过所有子系统的共同作用来完成系统的整体功能。以无线电广播系统为例，其系统组成如图 1.0-2 所示，图中每个方框表示一个子系统。系统工作时，首先将要传送的广播节目(语音、声响、音乐等)经话筒(转换器 I)转换为音频信号，然后送至发射机将

它转变成便于传播的高频信号，由天线以电磁波的形式发射出去。接收天线接收到在空间传播的电磁波后，将其转换为高频信号，经过接收机电路的处理，恢复输出音频信号。最后，将音频信号送至扬声器(转换器Ⅱ)，接收者便听到了由广播电台播送的各种节目。

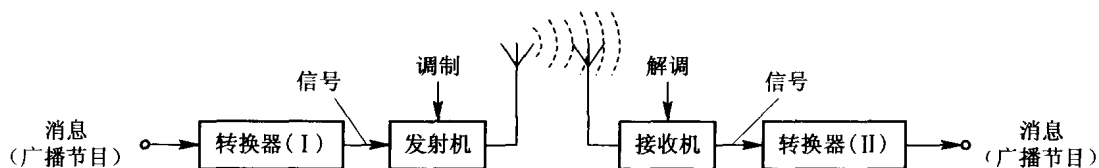


图 1.0-2 无线电广播系统的组成

“信号与系统”课程的主要内容包括信号分析和系统分析。信号分析部分讨论信号的描述、特性、运算和变换；系统分析部分研究系统模型、系统描述以及给定系统在激励作用下产生的响应。信号与系统分析的概念和方法是继续深入研究信号处理、信号设计和系统综合的基础，同样也是进一步学习通信工程、自动控制、信息工程、电子工程、信号检测等专业的重要理论基础。

1.1 信号的描述和分类

1.1.1 信号的描述

信号是消息的表现形式，通常体现为随若干变量而变化的某种物理量。在数学上，可以描述为一个或多个独立变量的函数。例如，在电子信息系统中，常用的电压、电流、电荷或磁通等电信号可以理解为是时间 t 或其他变量的函数；在气象观测中，由探空气球携带仪器测量得到的温度、气压等数据信号，可看成是随海拔高度 h 变化的函数；又如在图像处理系统中，描述平面黑白图像像素灰度变化情况的图像信号，可以表示为平面坐标位置 (x, y) 的函数，等等。

如果信号是单个独立变量的函数，称这种信号为**一维信号**。一般情况下，信号为 n 个独立变量的函数时，就称为 **n 维信号**。本书只讨论一维信号。并且，为了方便起见，一般都将信号的自变量设为时间 t 或序号 k 。

与函数一样，一个确定的信号除用解析式描述外，还可用图形、测量数据或统计数据描述。通常，将信号的图形表示称为**波形或波形图**。

1.1.2 信号的分类

根据信号的不同函数关系和是否具有随机特性，对常用信号可按下面四种方式分类。

1. 确定信号与随机信号

任一由确定时间函数描述的信号，称为**确定信号或规则信号**。对于这种信号，给定某一时刻后，就能确定一个相应的信号值。

如果信号是时间的随机函数，事先将无法预知它的变化规律，这种信号称为**不确定信**

号或随机信号。通常，实际系统工作时，总会受到来自系统内部或周围环境的各种噪声和干扰的影响。如图 1.1 - 1 所示，噪声信号 $n(t)$ 或干扰信号 $\eta(t)$ 都是不能用解析式表示的，不仅不同时刻的信号值是互不相关的，而且任一时刻信号的方向和幅值都是随机的，因此，它们都是随机信号。严格地说，由于噪声和干扰的影响，任一实际系统的输出信号都不可能是确定信号。研究随机信号要用到概率统计的方法。尽管如此，研究确定信号仍是十分重要的，因为它不仅广泛应用于系统分析设计中，同时也是进一步研究随机信号的基础。

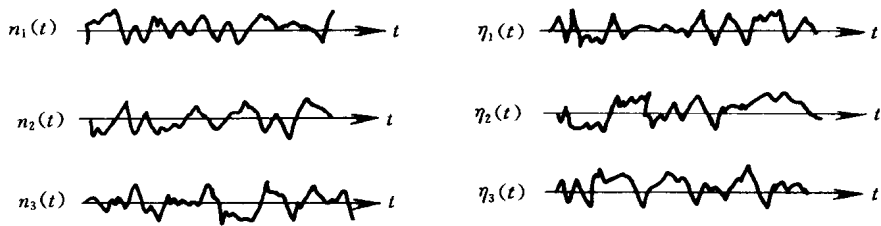


图 1.1 - 1 噪声和干扰信号

本书第 1~8 章内容涉及确定信号及确定信号通过线性系统；第 9 章内容涉及随机信号及随机信号通过线性系统。

2. 连续信号与离散信号

一个信号，如果在某个时间区间内除有限个间断点外都有定义，就称该信号在此区间内为连续时间信号，简称连续信号。这里“连续”一词是指在定义域内(除有限个间断点外)信号变量是连续可变的。至于信号的取值，在值域内可以是连续的，也可以是跳变的。图 1.1 - 2(a)是正弦信号，其表达式为

$$f_1(t) = A \sin(\pi t) \quad (1.1 - 1)$$

式中， A 是常数。其自变量 t 在定义域 $(-\infty, \infty)$ 内连续变化，信号在值域 $[-A, A]$ 上连续取值。为了简便起见，若信号表达式中的定义域为 $(-\infty, \infty)$ 时，则可省去不写。也就是说，凡没有标明时间区间时，均默认其定义域为 $(-\infty, \infty)$ 。

图 1.1 - 2(b)是单位阶跃信号，通常记为 $\epsilon(t)$ ，其表达式为

$$f_2(t) = \epsilon(t) = \begin{cases} 1 & t > 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases} \quad (1.1 - 2)$$

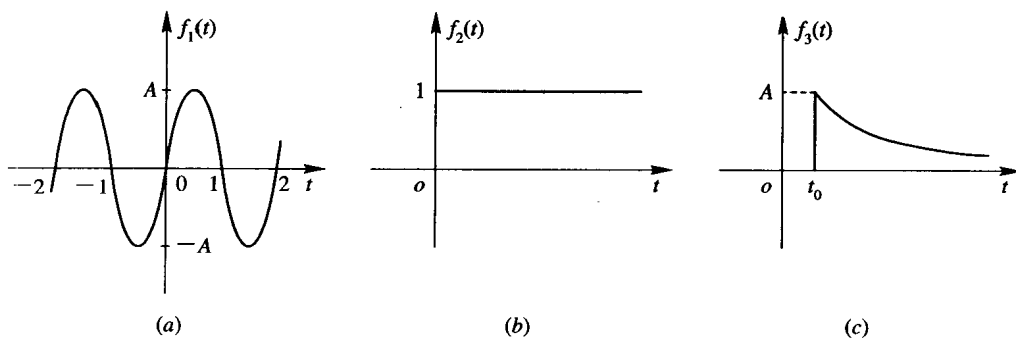


图 1.1 - 2 连续信号

信号定义域为 $(-\infty, \infty)$, 信号值只取 0 或 1。信号在 $t=0$ 处有间断点。

图 1.1 - 2(c) 表示一个延时的单边指数信号, 其表达式为

$$f_3(t) = \begin{cases} Ae^{-\alpha(t-t_0)} & t > t_0 \\ 0 & \text{其他 } t \end{cases} \quad (1.1-3)$$

式中, A 是常数, $\alpha > 0$ 。信号变量 t 在定义域 $(-\infty, \infty)$ 内连续变化, 信号 $f_3(t)$ 在值域 $[0, A)$ 上连续取值。注意, $f_3(t)$ 在 $t=t_0$ 处有间断点。

对于间断点处的信号值一般不作定义, 这样做不会影响分析结果。如有必要, 也可按高等数学规定, 定义信号 $f(t)$ 在间断点 t_0 处的信号值等于其左极限 $f(t_0^-)$ 与右极限 $f(t_0^+)$ 的算术平均值, 即

$$f(t_0) = \frac{1}{2}[f(t_0^-) + f(t_0^+)] \quad (1.1-4)$$

式中:

$$f(t_0^-) \triangleq \lim_{\xi \rightarrow 0} f(t_0 - \xi) \textcircled{1}$$

$$f(t_0^+) \triangleq \lim_{\xi \rightarrow 0} f(t_0 + \xi)$$

这样, 图 1.1 - 2 中的信号 $f_2(t)$ 和 $f_3(t)$ 也可表示为

$$f_2(t) = \epsilon(t) = \begin{cases} 1 & t > 0 \\ \frac{1}{2} & t = 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$

$$f_3(t) = \begin{cases} Ae^{-\alpha(t-t_0)} & t > t_0 \\ \frac{A}{2} & t = t_0 \\ 0 & t < t_0 \end{cases}$$

仅在离散时刻点上有定义的信号称为**离散时间信号**, 简称**离散信号**。这里“离散”一词表示自变量只取离散的数值, 相邻离散时刻点的间隔可以是相等的, 也可以是不相等的。在这些离散时刻点以外, 信号无定义。信号的值域可以是连续的, 也可以是不连续的。

定义在等间隔离散时刻点上的离散信号也称为**序列**, 通常记为 $f(k)$, 其中 k 称为**序号**。与序号 m 相应的序列值 $f(m)$ 称为信号的**第 m 个样值**。序列 $f(k)$ 的数学表示式可以写成闭式, 也可以直接列出序列值或者写成序列值的集合。例如, 图 1.1 - 3(a) 所示的正弦序列可表示为

$$f_1(k) = A \sin\left(\frac{\pi}{4}k\right) \quad (1.1-5)$$

随 k 的变化, 序列值在值域 $[-A, A]$ 上连续取值。对于图 1.1 - 3(b) 所示的序列则可表示为

① 符号“ \triangleq ”读作“定义为”。

$$f_2(k) = \begin{cases} 2 & k = -1, 0 \\ 1 & k = 1 \\ -1 & k = 2 \\ 0 & \text{其他 } k \end{cases}$$

或者

$$f_2(k) = \{\dots, 0, 2, 2, 1, -1, 0, \dots\}$$

↑
 $k = 0$

式中, 箭头指明 $k=0$ 的位置。同理, 图 1.1-3(c) 信号可表示为

$$f_3(k) = \{\dots, 0, A, A, A, A, 0, \dots\}$$

↑
 $k = 0$

该序列值域只取 0、A 两个数值。

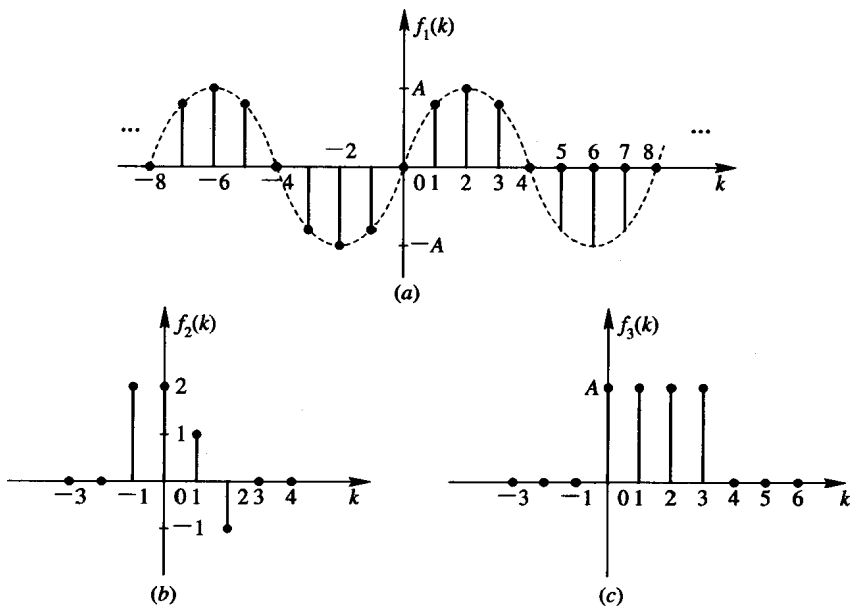


图 1.1-3 离散信号

在工程应用中, 常常把幅值可连续取值的连续信号称为**模拟信号**(如图 1.1-2(a)); 把幅值可连续取值的离散信号称为**抽样信号**(如图 1.1-3(a)); 而把幅值只能取某些规定数值的离散信号称为**数字信号**(如图 1.1-3(c))。

为方便起见, 有时将信号 $f(t)$ 或 $f(k)$ 的自变量省略, 简记为 $f(\cdot)$, 表示信号变量允许取连续变量或者离散变量, 即用 $f(\cdot)$ 统一表示连续信号和离散信号。

3. 周期信号与非周期信号

一个连续信号 $f(t)$, 若对所有 t 均有

$$f(t) = f(t + mT) \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1.1-6)$$

则称 $f(t)$ 为**连续周期信号**, 满足上式的最小 T 值称为 $f(t)$ 的**周期**。

一个离散信号 $f(k)$, 若对所有 k 均有