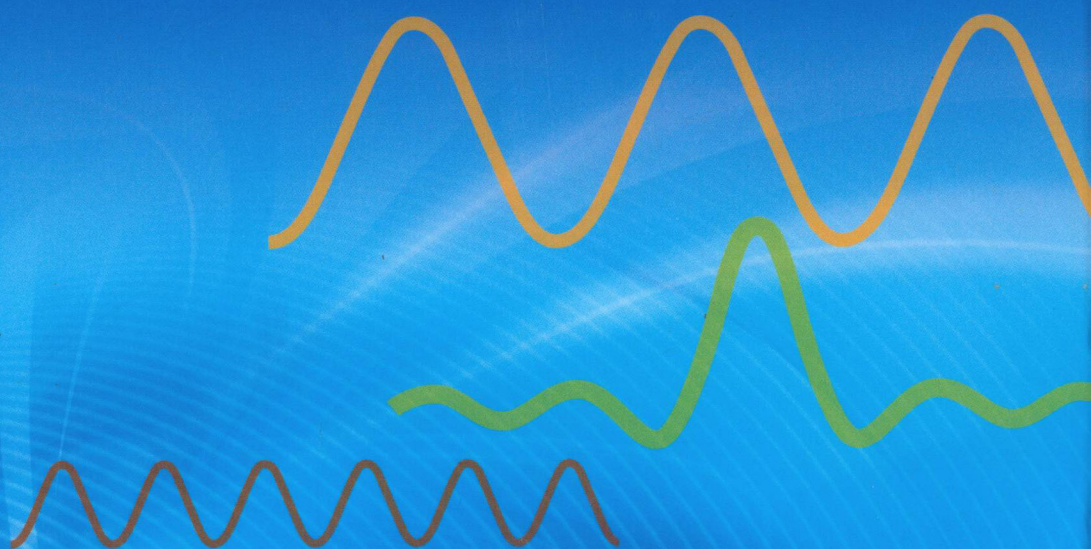


信号与系统

XINHAO YU XITONG

(第二版)

胡光锐



上海交通大学出版社

信号与系统

(第二版)

胡光锐 主编



上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书论述信号与系统的基本理论与分析方法。全书共分10章,内容包括:信号的函数表示与系统分析方法,连续系统的时域分析,连续信号的傅里叶分析,连续系统的频域分析,拉普拉斯变换,连续系统的 s 域分析,离散系统的时域分析、频域分析与 z 域分析,以及状态方程与状态变量分析法等。

本书选材得当、编排合理、论述严谨、条理清楚。每章都附有大量精选的习题,书末附有答案与上机实验程序。

本书按照高等院校信号与系统课程教学基本要求编写而成,可供通信及电子类专业的大学生作为信号与系统课程的教材使用,也可供有关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统/胡光锐主编. —2版. —上海:上海交通大学出版社,2009

ISBN978-7-313-01459-7

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(2008)第 059860 号

信号与系统

(第二版)

胡光锐 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

常熟文化印刷有限公司 印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:28.5 字数:702千字

1995年10月第1版 2009年1月第2版 2009年1月第11次印刷

印数:1~3050

ISBN978-7-313-01459-7/TN·061 定价:48.00元

版权所有 侵权必究

再版前言

“信号与系统”是通信与电子类专业的一门重要的专业基础课,也是国内各院校相应专业的主干课程。它主要讨论确定信号的特性,研究线性非时变系统的基本理论和线性系统的基本分析方法。

本书是根据《信号与系统课程教学基本要求》编写的。全书共分 10 章,内容包括:信号的函数表示与系统分析方法,连续系统时域分析,连续信号傅里叶分析,连续系统频域分析,拉普拉斯变换,连续系统 s 域分析,离散时间系统的时域分析、频域分析与 z 域分析,以及状态方程与状态变量分析法等。

由于计算机与大规模集成电路技术的高速发展,连续时间同离散时间信号与系统之间的关系日益密切,同两者有关的概念与方法间的联系日益紧密,因此本书将连续部分同离散部分综合地对照进行讨论。本书第 2 章与第 7 章,第 3、4 章与第 8 章,第 5、6 章与第 9 章都成对应关系。考虑到当前离散信号与系统技术的飞速发展,因此本书将离散系统的频域分析方法编成一章,这样也便于和连续系统的频域分析方法进行比较,使初学者更容易领会和接受,使全书体系更加合理。本书在内容选取上充实了非因果信号与系统的分析讨论,加强了双边变换的内容,基本概念和理论阐述更加严密,以符合后续专业课程的需要。

要学好本课程必须加强习题训练与上机实验,为此,本书各章都精选了大量例题与习题,通过习题训练使初学者更好地消化本书的基本理论。在本书最后,附有各个习题的参考答案,供读者解题后查对。此外,本书还附有一组上机实验程序,以帮助初学者逐步掌握利用计算机进行信号与系统分析的基本方法。由于篇幅所限,本书不可能包括这方面的很多内容,因此编写出版了有关实验与习题的配套教材,以加强学生的能力培养、感性认识和掌握解决实际问题的方法。

在本书编写过程中,得到东南大学何振亚教授,同济大学杜廉石教授,上海交大林争辉教授、郑志航教授以及其他老师的鼓励与支持;在写作过程中,参阅了国内外作者的论文与著作,特别是本书参考书目中列出的论著,在此一并深表谢意。

由于作者水平所限,对书中的错误和不足之外,欢迎读者批评指正。

胡光锐

2007 年 5 月

目 录

绪论	1
第1章 信号的函数表示与系统分析方法	3
1.1 引言	3
1.2 信号的分类及其基本运算	4
1.2.1 信号的分类	4
1.2.2 信号的基本运算	7
1.3 连续信号的函数表示	9
1.3.1 典型连续信号	9
1.3.2 奇异信号	11
1.4 连续信号的分解	18
1.4.1 直流分量与交流分量	18
1.4.2 偶分量与奇分量	18
1.4.3 脉冲分量分解	20
1.4.4 实分量与虚分量	20
1.4.5 正交函数分量	21
1.5 系统的数学模型及其分类	21
1.5.1 系统的数学模型	21
1.5.2 系统分类	22
1.6 系统的性质	23
1.6.1 可加性与比例性	23
1.6.2 非时变特性	24
1.6.3 微分特性	25
1.6.4 因果性	25
1.6.5 稳定性	26
1.7 线性系统的模拟与方框图表示	26
1.8 系统的分析方法概述	28
小结	28
习题	29
参考书目	32
第2章 连续时间系统的时域分析	33
2.1 引言	33

2.2 连续系统的微分方程表示及其响应	33
2.2.1 微分方程的建立	33
2.2.2 微分方程的求解	35
2.2.3 初始条件的确定	40
2.2.4 零输入响应与零状态响应	41
2.3 冲激响应与阶跃响应	44
2.3.1 冲激响应	44
2.3.2 阶跃响应	46
2.4 卷积积分	48
2.4.1 利用卷积积分求系统的零状态响应	48
2.4.2 卷积积分的图形解释	50
2.5 卷积积分的性质	52
2.5.1 卷积代数	52
2.5.2 卷积的微分与积分	54
2.5.3 面积性质	55
2.5.4 尺度变换性质	55
2.5.5 复数性质	56
2.5.6 与冲激函数或阶跃函数的卷积	56
2.5.7 时移性质	57
2.6 卷积积分的数值计算	59
2.7 系统的因果性	61
小结	61
习题	62
参考书目	66
第3章 连续信号的傅里叶分析	67
3.1 引言	67
3.2 用完备正交函数集表示信号	67
3.2.1 正交函数	67
3.2.2 信号分解为完备正交函数	71
3.3 周期信号的频谱——傅里叶级数	73
3.3.1 傅里叶级数的三角形式	73
3.3.2 傅里叶级数的复指数形式	75
3.3.3 两种形式间的联系	75
3.4 具有对称性的周期信号的傅里叶系统	78
3.4.1 偶对称信号	78
3.4.2 奇对称信号	79
3.4.3 奇谐信号	81
3.5 常用周期信号的频谱	83

3.5.1	周期矩形脉冲	83
3.5.2	对称方波	86
3.5.3	周期锯齿脉冲	88
3.5.4	周期三角脉冲	88
3.5.5	周期半波余弦	89
3.5.6	周期全波余弦	89
3.6	非周期信号的频谱——傅里叶变换	90
3.7	常用非周期信号的频谱	92
3.7.1	典型非周期信号的频谱	92
3.7.2	冲激信号与阶跃信号的频谱	96
3.8	傅里叶变换的性质	99
3.8.1	线性	99
3.8.2	奇偶虚实性	100
3.8.3	对称性	103
3.8.4	尺度变换	104
3.8.5	时移特性	106
3.8.6	频移特性	108
3.8.7	时域卷积定理	109
3.8.8	频域卷积定理	110
3.8.9	时域微分特性	111
3.8.10	频域微分特性	112
3.8.11	时域积分特性	113
3.8.12	频域积分特性	114
3.8.13	帕斯瓦尔定理	115
3.9	周期信号的傅里叶变换	116
3.9.1	正弦和余弦信号的傅里叶变换	116
3.9.2	一般周期信号的傅里叶变换	116
3.10	抽样定理	119
3.10.1	时域抽样	120
3.10.2	时域抽样定理	122
3.10.3	频域抽样	124
3.10.4	频域抽样定理	125
	小结	125
	习题	125
	参考书目	131

第4章 连续时间系统的频域分析 132

4.1	引言	132
4.2	线性非时变系统的频率响应	132

4.3	线性系统对激励信号的响应	135
4.3.1	非周期信号激励下系统的响应	135
4.3.2	周期信号激励下系统的响应	136
4.4	线性系统的信号失真	139
4.5	理想低通滤波器	141
4.5.1	理想低通滤波器及其冲激响应	142
4.5.2	理想低通滤波器的阶跃响应	143
4.6	连续时间频率选择性滤波器举例	145
4.7	巴特沃兹滤波器与切比雪夫滤波器	149
4.8	调制与解调	152
	小结	157
	习题	157
	参考书目	162
第5章	拉普拉斯变换	163
5.1	引言	163
5.2	拉氏变换的定义和收敛域	163
5.2.1	从傅里叶变换到拉氏变换	164
5.2.2	拉氏变换的收敛域	165
5.3	常用信号的拉氏变换	167
5.4	拉氏变换的基本性质	169
5.4.1	线性	169
5.4.2	时移(延时)特性	172
5.4.3	s 域平移特性	173
5.4.4	尺度变换	173
5.4.5	时域微分	174
5.4.6	s 域微分	175
5.4.7	时域积分	177
5.4.8	s 域积分	179
5.4.9	时域卷积定理	180
5.4.10	时域相乘(复频域卷积)	181
5.4.11	初值定理	182
5.4.12	终值定理	183
5.5	拉氏反变换	185
5.5.1	部分分式展开法	186
5.5.2	围线积分法(留数法)	192
5.6	利用拉氏变换进行电路分析	194
5.6.1	微分方程的变换解	194
5.6.2	电路元件的 s 域模型	198

5.7 系统函数与冲激响应	200
5.8 周期信号与抽样信号的拉氏变换	202
5.8.1 周期信号的拉氏变换	202
5.8.2 抽样信号的拉氏变换	203
5.9 拉氏变换与傅氏变换的关系	203
小结	206
习题	206
参考书目	209
第 6 章 连续时间系统的 s 域分析	210
6.1 引言	210
6.2 由系统函数的零极点分布确定时域特性	210
6.2.1 零极点与时域特性	212
6.2.2 自由响应与强迫响应, 暂态响应与稳态响应	215
6.3 由系统函数的零极点分布确定频率特性	220
6.3.1 一阶系统的 s 域分析	222
6.3.2 二阶谐振系统的 s 域分析	224
6.3.3 全通系统的 s 域分析	228
6.3.4 最小相移网络	229
6.4 系统的稳定性	230
6.4.1 BIBO 稳定性准则	231
6.4.2 霍尔维兹稳定性准则	235
6.4.3 罗斯阵列判别准则	237
6.5 梅逊公式与系统的信号流图表示	240
6.5.1 信号流图	240
6.5.2 流图的性质	242
6.5.3 流图简化规则	243
6.5.4 梅逊增益公式	247
小结	248
习题	248
参考书目	255
第 7 章 离散时间系统的时域分析	256
7.1 引言	256
7.2 离散时间信号——序列	257
7.3 线性非移变系统, 因果性与稳定性	262
7.4 常系数线性差分方程及其求解	265
7.5 离散时间系统的单位取样响应	270
7.6 “卷积和”的计算	271

小结	273
习题	274
参考书目	276
第8章 离散时间系统的频域分析	277
8.1 引言	277
8.2 离散时间系统的频率响应	277
8.2.1 一阶系统的频率响应	279
8.2.2 二阶系统的频率响应	280
8.3 离散信号的傅里叶变换	282
8.3.1 非周期序列的傅里叶变换	283
8.3.2 典型非周期序列的频谱	284
8.4 离散时间傅里叶变换的性质	287
8.4.1 周期性	287
8.4.2 线性	287
8.4.3 对称性	287
8.4.4 时移性	290
8.4.5 频移性	290
8.4.6 时间和频率尺度特性	290
8.4.7 频域微分性质	291
8.4.8 帕斯瓦尔定理	292
8.5 利用卷积定理和调制性质进行频域分析	294
8.5.1 卷积定理及其应用	294
8.5.2 调制性质	295
8.6 离散时间系统的频域分析	296
8.7 离散时间傅里叶变换性质及常用傅里叶变换对列表	300
小结	301
习题	301
参考书目	305
第9章 z变换与离散系统的z域分析	307
9.1 引言	307
9.2 z 变换的定义	307
9.3 z 变换的收敛域	309
9.4 基本离散信号的 z 变换	314
9.5 z 反变换	318
9.6 z 变换的基本性质	328
9.6.1 线性	328
9.6.2 时移性质	329

9.6.3 频移定理	331
9.6.4 z 域微分性质(序列线性加权)	331
9.6.5 序列指数加权(z 域尺度变化)	332
9.6.6 时间反转	333
9.6.7 初值定理	333
9.6.8 终值定理	335
9.6.9 时域卷积定理	335
9.6.10 z 域卷积定理(序列相乘)	336
9.6.11 共轭性质	338
9.6.12 帕斯瓦尔定理	338
9.7 z 变换与拉氏变换的关系	339
9.8 离散时间系统的系统函数与 z 域分析	343
9.8.1 利用 z 变换求解差分方程	343
9.8.2 系统函数零极点分布与系统特性的关系	344
9.9 求解频率响应的几何方法	348
9.10 离散时间系统的实现	350
小结	353
习题	353
参考书目	359

第 10 章 状态方程与状态变量分析法

10.1 引言	360
10.2 系统状态方程的建立	362
10.2.1 连续系统状态方程的建立	362
10.2.2 离散系统状态方程的建立	370
10.3 连续系统状态方程的求解	375
10.3.1 状态方程的拉普拉斯解法	375
10.3.2 状态方程的时域解法	378
10.4 离散系统状态方程的求解	382
10.4.1 状态差分方程的 z 变换解	382
10.4.2 状态差分方程的时域解法	384
10.5 状态方程的数值解法	386
10.6 系统的可控性与可观测性	388
10.6.1 状态矢量的线性变换	388
10.6.2 系统的可控性	392
10.6.3 系统的可观测性	395
10.6.4 系统转移函数与可控性、可观测性	397
小结	399
习题	399

参考书目	403
附录一 常用函数卷积积分表	404
附录二 常用周期信号傅里叶系数表	405
附录三 常用信号的傅里叶变换表	406
附录四 拉普拉斯反变换表	408
附录五 常用等比级数求和公式表	410
附录六 “卷积和”表	411
附录七 常用离散信号的 z 变换	411
附录八 计算机实验程序	413
习题参考答案	421
汉英名词对照表	439

绪 论

信号在人类生活和生产活动中起着重要的作用。信号由一处传送到另一处,作为提供给我们视觉、听觉以及其他知觉的基础。在工程系统中,信号通常是携带着信息或能量,例如,在雷达设备中,信号可以是高能量的微波脉冲;在工程设备中,携带能量的信号使设备按照一定方式工作;电话信号和无线电信号为我们传送各种各样的信息。

这里所说的信息通常是指各种消息的总称,信号是各种消息的表现形式,而消息则是信号的具体内容。随着信号的出现,可以引起一个事件或引起一系列活动。例如,计算机中的控制信号使计算机执行各种各样的指令。

任何一个信号可以用它的形状、幅度、时间以及其他物理量来表示。在许多情况下,信号表示为一个数学式,而在某些情况下,信号表示为一个图形、曲线或一组数据。

在电子与通信领域,所谓系统通常是指由若干元件或大量相互联系的部件组合成一个具有特定功能的整体。例如,通信系统(Communication System)、控制系统(Control System)、计算机系统(Computer System)以及指挥系统(Command System)等等。有时,又可以将几个系统组合成一个复杂的系统,例如,宇航系统就是由通信、控制、计算机与指挥系统组成的,由于这四个系统的第一个英文字母都是“C”,有时也称宇航系统为4C系统。

组成系统的主要部件通常包括各种类型的电路,当讨论一般性的抽象规律时,电路可以笼统地称为电网络或网络,当讨论特定的具体问题时则称为电路。随着大规模集成电路技术的发展,在一个芯片上集集成千上万个晶体管已成为可能,这使得电路、网络与系统这些名词术语包含了新的意义,在本书中没有严格地划分它们的含义。

通常,信号是一个或几个独立变量的函数,这些函数包含了关于某个现象的信息,而系统对于某一信号作出响应而产生另外的信号。例如,一个电路可以作为一个系统的例子,电路中的电压和电流则可以作为信号的例子,该电路对外加电压和电流作出响应;一个自动诊断心电图仪也是一个系统,其输入是数字化的心电图数据,而输出则是一组参数估值。

在信号与系统中有很多问题需要研究。例如,对某个具体系统常常需要知道该系统对输入的响应,或者是预测该系统对于未来输入的响应,经济预测就是这个意思,有一组过去的经济数据,要从过去的数据中预测将来的趋势,这就需要从过去数据出发,建立系统模型用特定的方式来处理信号。第二个例子是信号增强,语音信号常受到背景噪声的影响,有时信号处在强噪声环境下,需要设计一种语音增强系统提取有用信号,滤除噪声信号。

在上面提到的例子中,有些信号是随时间连续变化的,如语音信号等,而有些信号则是离散时间的函数,例如每日商品市场的收盘价就是一个在离散时间上变化的信号。对于连续信号与系统,有些读者已有一定的了解。实际上,无论是连续时间信号与系统,还是离散时间信号与系统,其概念和方法都有着悠久的历史。然而由于两者的应用背景有所不同,因而它们的研究工作是各自进行的。连续时间信号与系统在物理学以及近代电路理论方面有很深的基础,而离散时间信号与系统在数值分析和统计学方面得到长足的发展。然而,在近几十年内,由于高速数字计算机、大规模集成电路技术的高速发展,使得一个连续时间信号可以用它的采

样值表示的离散时间信号来代替。连续时间信号与系统同离散时间信号与系统之间的相互关系日益密切,同两者有关的概念与方法之间的联系日益紧密,因此,本书将连续信号与系统同离散信号与系统的理论综合地对照进行讨论。综合地展开讨论可以做到在概念和观点上两者互相补充,更加突出地研究两者之间的相同点与不同点。连续系统被理解之后,就可较容易地将某些概念推广到离散系统;而对于离散系统的学习又可以加深对连续系统的理解。

信号与系统是一个普遍的概念,广义地说,系统是指具有某种功能由相互联系的事物组成的一个整体,它所涉及的范围十分广泛,其中包括各种物理系统与非物理系统,人工系统与自然系统。例如,通信系统和自动控制系统都是物理系统,而经济组织和生产管理系统则属于非物理系统;高速信息网和人工神经网络等都属于人工系统,而生物神经网络(ANN)是生物神经网络(BNN)的模拟。在这样广泛的背景下,本书对信号与系统的性质仅能作一些基本的介绍,本书的重点是讨论线性非时变系统或线性非移变系统。此外,在系统与网络理论研究中,包括系统分析和系统综合两个方面。系统分析讨论系统对于输入信号所产生的响应,而系统综合则讨论根据给定要求来设计一个系统。本书主要讨论系统分析,着重研究信号传输与处理的一般方法。

信号与系统理论有着悠久的历史,以应用为目标形成一系列基本方法和理论。随着近代计算技术、计算方法和大规模集成电路技术的发展,信号与系统的研究工作者经受着各种新问题、新技术和新机遇的挑战,信号与系统的分析方法和概念能够应用到更广泛的领域中去,在分析和解决许多复杂问题中显示出它的重要意义。

第1章 信号的函数表示与系统分析方法

1.1 引言

在这一章中,将讨论信号的函数表示与系统分析方法,建立一些直观概念,并引入数学表示,以便对信号与系统的特性有一个深入的理解。

信号是传递信息的工具。在许多情况下,信号可以用一个数学函数式表示,在不能用数学式表示时,可以用图形来表示,信号的图形有时也称为信号的波形。在信号的数学表示时,信号可以是一个或多个自变量的函数。例如,语音信号可以表示为信号振幅随时间变化的单变量函数,也可表示为信号振幅随时间和三维空间变量变化的多变量函数。本书的讨论范围只限于单变量函数,而且一般总是用时间来表示自变量。当然,在应用中遇到的信号,自变量不一定是时间,例如空间变量、高度或深度等。

此外,有两类基本信号:一类是连续时间的函数,称为连续时间信号,简称连续信号;另一类是离散时间的函数,称为离散时间信号,简称离散信号。对于连续信号,读者已比较熟悉。实际上,离散信号在生活中经常遇到,例如医院中病人体温的定时记录就是随离散时间变化的信号。每日股票市场股指指数值也是离散信号的例子。图 1.1 表示连续信号的例子:音节“地”(di)的波形图^[1],图 1.2 表示离散信号的例子:某病人脉搏每隔 1 小时的记录。



图 1.1 连续信号的例子:语音“地”的波形

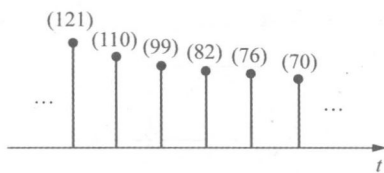


图 1.2 离散信号的例子:病人脉搏记录

许多离散信号是连续信号离散化的结果,通常采用模拟-数字转换器(A/D)来实现连续信号的离散化。除了将信号分成连续信号与离散信号之外,还可从各种不同的角度进行信号的分类。本章讨论信号的各种分类方法,信号的基本运算,如加法、乘法、反折、平移与尺度变化等,在此基础上将讨论信号的函数表示法。本章在讨论这些问题时,将以我们比较熟悉的连续信号作为例子展开讨论。对于离散信号的基本运算和函数表示,将在第 7 章中详细讨论。

在本章中,还将引入“系统”这一概念。本书中讨论的“系统”是指具有某种功能的若干部件组成的一个整体。这一概念包括了比较广泛的内容,它可以大到通信系统、控制系统与计算机系统,也可以小到由若干个元件组成的电路。在电子与信息科学领域中,信号、网络与系统三者有着非常密切的联系,离开了信号,网络与系统也就失去了存在的意义。

对于系统,主要研究的问题是:在已知输入的情况下可以得到怎样的输出响应(系统分析);或者是要求达到某种输出或传输特性如何设计所需的系统(系统综合)。本书主要讨论系

统的分析方法。

由于大规模集成电路技术的发展,制成了具有复杂功能的电路芯片,这使得系统、网络、电路三者的范围很难区分,因此,在本书中这三者可以通用。

在本章中,还将讨论系统的数学模型及其分类,然后重点介绍线性非时变系统的基本概念,本书中讨论的连续系统在没有特别指出的情况下都是指的线性非时变系统。本章最后介绍线性连续系统的模拟与方框图表示方法,并对线性系统的分析方法作简单介绍。

1.2 信号的分类及其基本运算

为了传送信息(语音、文字、图像或数据等),需要通过适当的设备将信息转换为电信号,简称信号。它的基本形式是随时间变化的电流或电压信号。信号的形式是多种多样的,但描述信号的直观方法有两种,即函数表示式与波形。本节主要讨论信号的分类及其基本运算。

1.2.1 信号的分类

由于信号形式多样化,因此其分类方法也有好几种。下面讨论信号的几种主要分类:

(1) 连续信号与离散信号

由于信号为时间 t 的函数,故按照 t 的连续或离散,将信号分为连续信号与离散信号。连续信号是在连续时间 t 内定义的函数 $f(t)$,它允许存在有限个不连续点,在这些点上,函数值发生跳变,而在不连续点以外的其他时间 t ,函数值均是确定的。例如,图 1.3(a) 示出的矩形脉冲在 $t=0$ 与 T 时 $f(t)$ 值发生跳变,但它是一种连续信号。此外,正弦波与三角波等都是连续信号的例子,如图 1.3(b)(c) 所示。

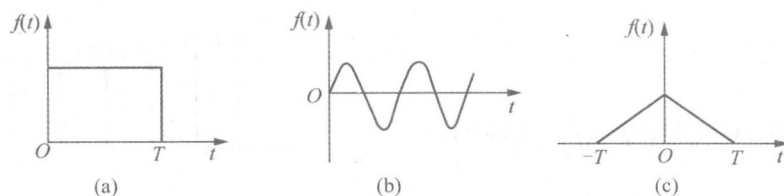


图 1.3 连续信号

(a) 矩形脉冲; (b) 正弦波; (c) 三角波

应当指出,连续信号的函数值 $f(t)$ 可以是连续的,也可以是离散的。对于时间 t 和函数值 $f(t)$ 都为连续的信号称为模拟信号。如果时间 t 连续,但函数值 $f(t)$ 离散(只取某些规定值),

则称为量化信号,例如数字电压表中经过量化的信号就是这种信号,如图 1.4(b) 所示。在实际应用中,模拟信号和连续信号常不加区分。

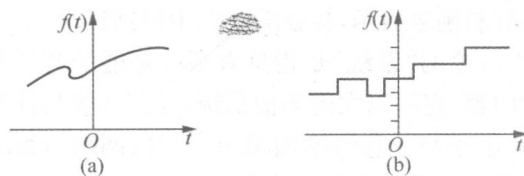


图 1.4 两种连续信号

(a) 模拟信号; (b) 量化信号

在一些离散时间瞬间才有定义的信号称为离散信号。此处“离散”是指在某些不连续的时间瞬间 $t_k (k=0, \pm 1, \dots)$ 给出函数值,在其他时间函数没有定义。 t_k 与 t_{k+1} 之间的间

隔 $T_k = T_{k+1} - T_k$ 可以是相等的,也可以是不等间隔。我们一般只讨论 T_k 等于常数的情况。若令 $T_k = T$, T 为常数,则离散信号只在 $t = nT$ (n 称为离散时刻序号, $n = 0, \pm 1, \dots$) 时才有定义,它可以表示为 $f(nT)$,简记为 $f(n)$ 。离散信号也常称为序列。图 1.5 示出离散信号的三个例子。

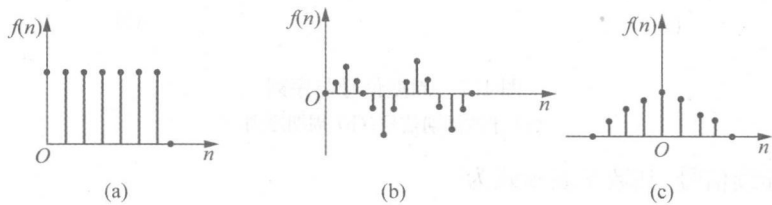


图 1.5 离散信号

(a) 矩形序列; (b) 正弦序列; (c) 三角序列

离散信号的函数值 $f(n)$ 可以是连续的,也可以是离散的。如果离散信号的函数值是连续的,则称为抽样信号或取样信号,如图 1.6(a) 所示。离散信号的另一种情况是其幅值被限定为某些离散值,即时间与函数值均为离散,这种信号称为数字信号。图 1.6(b) 所示为一种信号函数值只能取“0”或“1”两者之一的数字信号。当然,也有函数值可取多种离散值的多电平数字信号。

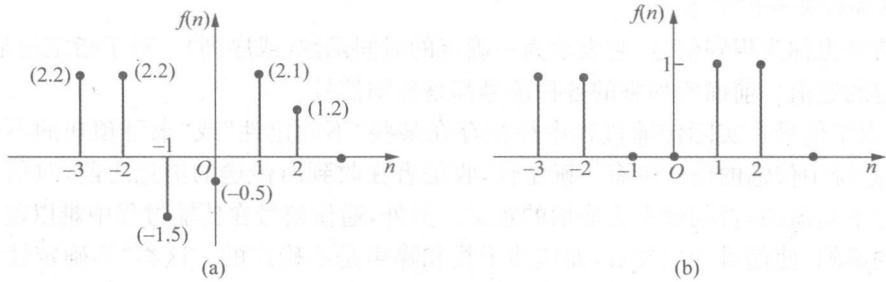


图 1.6 两种离散信号

(a) 抽样信号; (b) 数字信号(2 电平)

综上所述,连续信号 $f(t)$ 的自变量为连续时间 t ,而离散信号 $f(n)$ 的自变量是离散时刻的序号 n 。按照函数值 $f(t)$ 的连续或离散,连续信号又分为模拟信号或量化信号,而按照函数值 $f(n)$ 的连续或离散,离散信号又分为抽样信号或数字信号,如表 1.1 所示。

表 1.1 信号的一种分类

分 类	t 连续	t 离散
$f(t)$ 连续	模拟信号	抽样信号
$f(t)$ 离散	量化信号	数字信号
统 称	连续信号	离散信号

(2) 周期信号与非周期信号

周期信号是每隔一定时间 T ,周而复始而且无始无终的信号,其波形如图 1.7 所示。