

普通高等教育电子电气信息类应用型本科系列规划教材

信号与系统

应用分析

肖尚辉 主 编
邓 凯 吴和静 刘亚娟 副主编

Application Analysis on
Signals & Systems



科学出版社

前言

普通高等教育电子电气信息类应用型

本科系列规划教材

信号与系统应用分析

Application Analysis on Signals & Systems

主 编 肖尚辉

副主编 邓 凯 吴和静 刘亚娟

本书特色如下

(1) 在编写上注重应用

(2) 体现了“信号、系统

(3) 为有利于专业英语教学的有机融合，增加了关

(4) 借助 MATLAB 工程辅助分析软件对信号与系

(5) 注重教材的适用性

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书内容包括:信号与系统基本概念,信号与系统时域应用分析方法,傅里叶变换与频域应用分析方法,拉普拉斯变换与 s 域应用分析方法, z 变换与 z 域应用分析方法,典型应用实例与 MATLAB 辅助分析。全书精简理论推导,注重面向工程应用,叙述简明易懂,内容精炼,专业英文穿插其中,每章增加与教学有关的英文资料“科学家之路”与部分英文拓展习题,以便同步融合专业英语教学。此外,书中引入了 MATLAB 辅助分析设计方法,对部分典型应用实例进行了模拟分析与设计实现,便于读者对信号、系统工程应用的理解和掌握。

本书可作为普通高等院校电子、电气信息类专业“信号与系统”课程的教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统应用分析/肖尚辉主编. —北京:科学出版社, 2015.2

普通高等教育电子电气信息类应用型本科系列规划教材

ISBN 978-7-03-043581-1

I. ①信… II. ①肖… 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 (2015) 第 042714 号

责任编辑:李小锐 杨 岭/责任校对:韩雨舟

责任印制:余少力/封面设计:墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 2 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2015 年 2 月第一次印刷 印张: 14 3/4

字数: 340 000

定价: 36.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

“信号与系统”是高等院校电子科学与技术、通信工程、电子信息工程、自动化、信息工程、生物医学工程等专业一门非常重要的专业核心基础课程。该课程涉及的信号、系统分析方法应用领域非常广泛，几乎遍及电类和非电类的各个工程技术领域，对信号特征在不同域的应用分析显得尤为重要。但目前大多数教材都偏重于对信号与系统理论知识的阐述和复杂数学知识的推导，增加了学生学习的难度，进而影响了学生学习的积极性。鉴于此，编者结合多位一线教师的教学经验，以及多年来专业建设改革的成果，编写了这本既理论知识够用，又突出工程应用，而且让学生好学、易学的教材。

本书属于工程应用型教材，在编写过程中，只包含读者应该掌握的信号与系统基本知识和不同域的基本分析方法，并力求在对信号与系统基本原理、基本概念、基本方法的融会贯通、深入理解基础上，将这些知识与工程应用分析有机结合起来，做到有理、有据、有条理，逻辑关系清楚，使读者容易理解，不会感到学习信号与系统是一件困难的事情。结构安排上注重重点突出、难点分散，强调数学表达与物理概念并重，力求实现原理、方法与应用的有机结合。同时，本书还精心选编了大量的例题和习题（包括拓展英文习题），并配备了部分参考答案，有利于培养学生分析问题和解决问题的能力，也为进一步学习后续数字信号处理的内容奠定了坚实的基础。

本书特色如下。

(1) 在编写上注重实用性，突出教学实践环节及特点，可把学生引入实际的工程应用环境，强化学生实践能力。

(2) 体现了“信号、系统不同域应用分析有机融合”的教学思想，融入了操作性强、贴近实践的应用实例，便于教师授课和启发学生思考。

(3) 为有利于专业英语教学的有机融合，增加了关键术语的专业英语注释、一些扩展英文习题以及相关的著名科学家英文资料等。

(4) 借助 MATLAB 工程辅助分析软件对信号与系统不同域分析中涉及的典型应用实例进行分析与设计实现，实现了分析方法与工程实际的结合，从而为有效的学习和理解分析方法提供了新的手段。

(5) 注重教材的适用性，在总体结构上力求简明，章节内容安排上既注重了课程体系的连贯性，又保持了一定的独立性，以适应不同的教学要求和教学计划。

本书由肖尚辉编写了第 1 章、第 5 章，刘亚娟编写了第 2 章、第 4 章，邓凯编写了第 3 章、第 6 章。全书由肖尚辉提出编写思路 and 大纲，并进行了内容的集成、整理和编辑。吴和静对全书的专业英文注释和英文资料进行了补充和完善，并对全书进行了校对。本书可作为高等院校，特别是普通新建本科院校、高职高专院校电子类应用专业“信号与系统”专业核心课程教材，诸如信息工程、电子信息科学与技术、电

子信息工程、通信工程、自动化、生物医学工程、电子信息工程技术、应用电子技术、通信技术等专业，也可供从事相关专业的科技工作者参考。本书的出版得到了四川省专业综合改革立项项目和卓越工程师教育培养计划项目建设经费的大力支持，在此特表示感谢！

由于作者水平有限，书中难免存在疏漏，恳请广大读者批评指正。

编者

2014年12月

目 录

第 1 章 信号与系统基本概念	1
1.1 信号的定义与分类	1
1.1.1 信号的定义	1
1.1.2 信号的分类	1
1.2 常见典型信号	4
1.2.1 阶跃信号与冲激信号	4
1.2.2 常见信号	9
1.2.3 常见序列	11
1.3 信号的基本运算	13
1.3.1 信号相加与相乘	13
1.3.2 信号平移、反褶与尺度变换	14
1.3.3 信号的时域分解	16
1.4 系统的描述与分类	17
1.4.1 系统的描述	17
1.4.2 系统的分类	20
1.5 LTI 系统的分析方法	23
1.5.1 连续时间系统	23
1.5.2 离散时间系统	24
1.6 本章小结	26
习题	28
第 2 章 信号与系统时域应用分析方法	32
2.1 连续时间系统的描述	32
2.1.1 微分方程的建立与求解	32
2.1.2 连续时间系统的响应	34
2.2 零输入响应和零状态响应	37
2.3 冲激响应与阶跃响应	38
2.3.1 冲激响应	38
2.3.2 阶跃响应	40
2.4 连续时间系统的卷积分析方法	41
2.4.1 连续信号的卷积积分及其性质	41
2.4.2 连续系统的卷积分析方法	44
2.5 离散时间系统的描述	45
2.5.1 差分方程的建立与求解	45

2.5.2 离散时间系统的连接	47
2.6 离散系统冲激响应与阶跃响应	48
2.7 离散系统的卷积和分析方法	50
2.7.1 离散信号的卷积和及其性质	50
2.7.2 离散系统的卷积分析方法	53
2.8 本章小结	56
习题	58
第3章 傅里叶变换与频域应用分析方法	64
3.1 傅里叶级数分析方法	64
3.1.1 周期信号的傅里叶级数分解	64
3.1.2 周期信号的频谱	70
3.2 傅里叶变换分析方法	74
3.2.1 傅里叶变换	74
3.2.2 典型信号的频谱	76
3.3 傅里叶变换的性质	80
3.4 傅里叶变换在通信系统中应用分析	89
3.4.1 LTI 系统的频域分析	89
3.4.2 无失真传输	91
3.4.3 理想低通滤波器	92
3.4.4 调制与解调	93
3.4.5 抽样	96
3.5 本章小结	102
习题	104
第4章 拉普拉斯变换与 s 域应用分析方法	108
4.1 拉普拉斯变换的定义	108
4.1.1 从傅里叶变换到拉普拉斯变换	108
4.1.2 收敛域的概念	109
4.1.3 常用函数的拉普拉斯变换	111
4.2 拉普拉斯变换的基本性质	112
4.3 拉普拉斯逆变换的求解方法	117
4.4 连续 LTI 系统的 s 域分析	121
4.4.1 微分方程的 s 域分析	121
4.4.2 电路的 s 域模型	123
4.5 复频域的系统函数	125
4.5.1 系统函数及其零、极点	125
4.5.2 系统函数 $H(s)$ 与系统时域特性	129
4.5.3 系统函数 $H(s)$ 与系统频域特性	131

4.5.4 LTI 系统的稳定性	133
4.6 拉普拉斯变换与傅里叶变换的关系	136
4.7 本章小结	140
习题	143
第 5 章 z 变换与 z 域应用分析方法	148
5.1 离散时间信号及系统简介	148
5.2 z 变换	149
5.2.1 z 变换的定义	149
5.2.2 典型序列的 z 变换	151
5.2.3 序列的形式与 z 变换收敛域之间的关系	153
5.2.4 一些常用序列 z 变换	157
5.3 z 变换基本性质	158
5.4 z 逆变换	163
5.4.1 幂级数展开法 (长除法)	163
5.4.2 部分分式展开法	164
5.5 离散时间系统的系统函数	168
5.5.1 系统函数	168
5.5.2 系统函数零、极点分布对系统特性的影响	169
5.6 离散时间系统的频率响应特性	171
5.6.1 离散系统频响特性定义	171
5.6.2 频响特性的几何确定方法	173
5.7 离散时间系统的 z 域分析	174
5.8 z 平面与 s 平面、 z 变换与拉氏变换的关系	175
5.8.1 z 变换与拉氏变换的关系	175
5.8.2 z 平面与 s 平面的映射关系	176
5.9 z 变换与傅里叶变换的关系	177
5.9.1 z 变换与离散时间傅里叶变换的关系	177
5.9.2 z 变换与离散傅里叶变换的关系	177
5.10 本章小结	178
习题	179
第 6 章 典型应用实例与 MATLAB 辅助分析	182
6.1 基于 MATLAB 的信号与系统时域分析	182
6.1.1 信号的时域分析	182
6.1.2 LTI 系统的时域分析	189
6.2 基于 MATLAB 的信号与系统频域分析	191
6.2.1 信号的频域分析	191
6.2.2 系统的频域分析	192

6.2.3	傅里叶变换在通信系统中的应用	194
6.3	基于 MATLAB 的信号与系统 s 域分析	200
6.3.1	信号的 s 域分析	200
6.3.2	系统的 s 域分析	201
6.4	基于 MATLAB 的离散信号与系统 z 域分析	205
6.4.1	离散信号的 z 变换	205
6.4.2	离散系统的 z 域分析	206
	习题	213
	习题参考答案	216
	参考文献	226

第1章 信号与系统基本概念

教学目标

通过本章的学习，理解信号与系统的基本概念，掌握 LTI 系统的性质；熟练掌握在系统分析中经常使用的两个最基本的信号——冲激信号 $\delta(t)$ 、 $\delta(n)$ 和阶跃信号 $u(t)$ 、 $u(n)$ ；掌握信号运算及其相关的波形变换；理解系统的描述与分析方法。

信号与系统是通信和电子信息专业的核心基础课，其中的概念和分析方法广泛应用于通信、自动控制、信号与信息处理、电路与系统等领域。在不同的领域，虽然它们的物理属性和表现形式各不相同，然而它们的基本含义是相同的。本章主要介绍信号与系统的基本概念及其分类，着重介绍信号与系统分析的基本内容和方法。

1.1 信号的定义与分类

1.1.1 信号的定义

信号 (signal) 是运载消息的工具，也是消息 (message) 的载体 (carrier)。

从广义上讲，信号包含光信号、声信号和电信号等。例如，古代人利用烽火台上的滚滚狼烟，向远方军队传递敌人入侵的消息，这属于光信号；当我们说话时，声波传递到他人的耳朵，使他人了解我们的意图，这属于声信号；遨游太空的各种无线电波、四通八达的电话网中的电流等，都可以用来向远方表达各种消息，这属电信号。人们通过对光、声、电信号进行接收，才知道对方要表达 (或传递) 的消息。

消息的传送一般都不是直接进行的，它必须借助一定形式的信号 (光信号、电信号、声信号等)，才能传输和进行各种处理。因而，严格地说，信号是消息的表现形式与传载体，而消息则是信号的具体内容。

在数学上，随时间或其他自变量变化的信号可以用函数的形式来表示。根据自变量个数的不同可分为：一维信号，记为 $f(x)$ (其中， x 表示自变量)，如语音信号，其声压信号是随时间 t 变化的一维信号；二维信号，记为 $f(x, y)$ (其中， x, y 表示自变量)，如黑白图像信号，其亮度信号是随空间位置变化的二维信号；多维信号，记为 $f(x, y, z, \dots)$ 。

本书主要分析随时间变化的一维信号，工程上其他非电信号可转换为电信号进行传输、处理。由于信号是随时间变化的，在数学上可以用时间 t 的函数表示，如 $f(t)$ 、 $y(t)$ 。

我们所研究的信号除了可以用函数描述外，还可以通过波形图进行描述。波形图可以直观地给出信号的变化规律和特性。

1.1.2 信号的分类

按信号的确定性划分，信号可分为确定性信号和随机信号两类。

确定性信号：可以用明确的数学关系表示或者用图表描述的信号称为确定性信号。如正弦信号、周期脉冲信号等。图 1-1 和图 1-3 给出的信号均为确定性信号。

随机信号：不能用确定的数学关系式来描述，不能预测其未来任何瞬时值，任何一次观测只代表其在变动范围中可能产生的结果之一，其值的变动服从统计规律。随机信号不是时间的确定函数，其在定义域内的任意时刻没有确定的函数值。通常这类信号只知道它取某一数值的概率，如噪声信号（图 1-2）等。

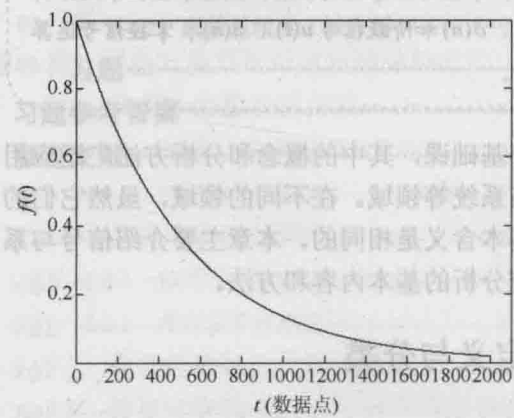


图 1-1 确定性信号

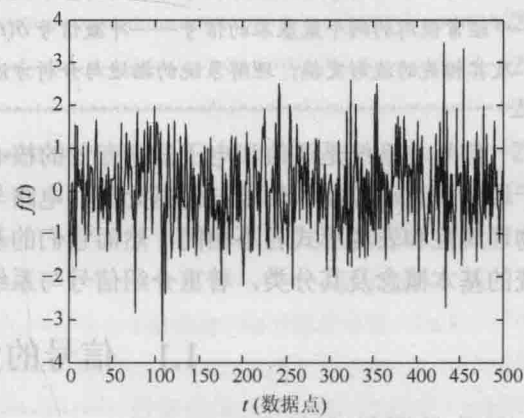


图 1-2 随机信号

通信系统中所传输的信号带都有不确定性，接收者在收到所传送的消息之前，对信息源所发出的消息是未知的，否则，接收者就不可能由它得知任何新的消息，也就失去通信的意义。另外，信号在传输过程中难免受各种干扰和噪声的影响，将使信号产生失真。所以，一般的通信信号都是随机信号。但是，在一定条件下，随机信号也表现出某些确定性，通常把在较长时间内比较确定的随机信号，近似地看做确定性信号。为使分析简化，本书只研究确定性信号。

确定性信号按不同的特征可以分为连续时间信号与离散时间信号、周期信号与非周期信号、能量信号与功率信号。

1. 连续时间信号与离散时间信号

连续时间信号 (continuous signal) 是指在所讨论的时间内，对任意时刻值除若干不连续点外都有定义的信号，也就是说在观测过程的连续时间范围内信号有确定的值，允许在其时间定义域上存在有限个间断点，通常用 $f(t)$ 表示。连续信号的幅值可以是连续的，如图 1-3 (a) 所示；也可以是离散的（只取某些规定的值），如图 1-3 (b) 所示。

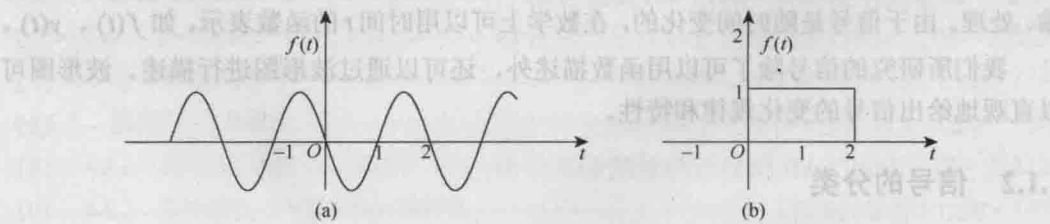


图 1-3 连续信号

离散时间信号 (discrete signal) 是指只在某些不连续规定的时刻有定义, 而在其他时刻没有定义的信号, 或者说信号仅在规定的离散时刻有定义, 通常用 $f(n)$ 表示。图 1-4 为离散信号。图 1-4 (b) 信号 $f(n)$ 只在 $n=0,1,2,3,\dots$ 等离散时刻才给出函数值。这种信号又可称为离散序列。

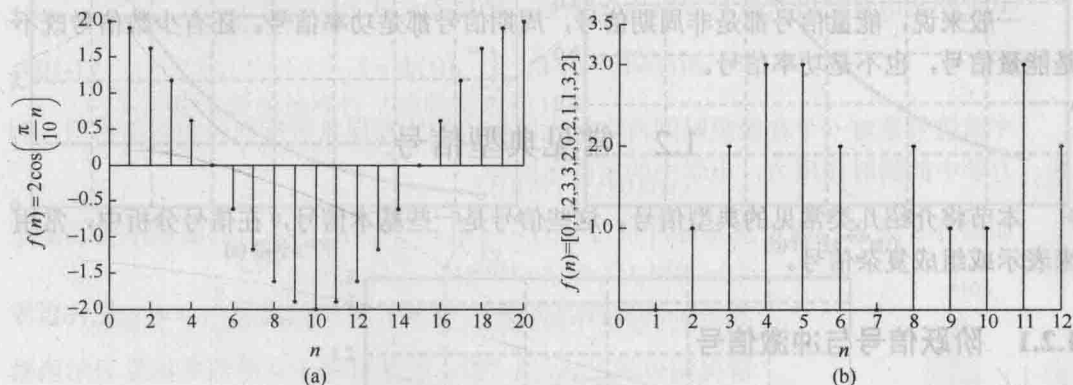


图 1-4 离散信号

模拟信号: 时间和取值都连续的信号。如图 1-1 和图 1-3 (a) 所示。

数字信号: 时间和取值都离散的信号。如图 1-4 (b) 所示。

2. 周期信号与非周期信号

周期信号 (periodic signal): 瞬时幅值随时间重复变化的信号。一般表达式为

$$f(t) = f(t + kT), \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1-1)$$

$$f(n) = f(n + kN), \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1-2)$$

满足此关系式的最小 T (或 N) 值称为信号的周期。只要给出此信号在任一周期内的变化过程, 便可确知它在任一时刻的数值。图 1-3 (a) 是连续周期信号, 图 1-4 (a) 是离散周期信号。

非周期信号 (aperiodic signal): 瞬时幅值随时间不具有周而复始特性的信号。如图 1-1 和图 1-3 (b) 所示。

3. 能量信号与功率信号

若将信号 $f(t)$ 看做电流或电压信号, 将信号在 $(-\infty, +\infty)$ 时间间隔内通过 1Ω 电阻上所消耗的能量, 称为归一化能量, 即

$$E = \int_{-\infty}^{+\infty} |f(t)|^2 dt \quad (1-3)$$

而在 1Ω 电阻上所消耗的平均功率称为归一化功率, 即

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T |f(t)|^2 dt \quad (1-4)$$

同理, 对于离散时间信号 $f(n)$, 归一化能量 E 与归一化功率 P 的定义分别为

$$E = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} |f(n)|^2 \quad (1-5)$$

$$P = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N |f(n)|^2 \quad (1-6)$$

能量信号：归一化能量为非零的有限值，且其归一化功率为零的信号。

功率信号：归一化功率为非零的有限值，且其归一化能量为无限值。

一般来说，能量信号都是非周期信号，周期信号都是功率信号。还有少数信号既不是能量信号，也不是功率信号。

1.2 常见典型信号

本节将介绍几类常见的典型信号。这些信号是一些基本信号，在信号分析中，常用来表示或组成复杂信号。

1.2.1 阶跃信号与冲激信号

这类信号又称为奇异信号。与普通信号不同，这些信号可能本身存在不连续点（跳变点）或其导数与积分有不连续点的情况，这些典型信号都是一些抽象的数学模型。阶跃信号与冲激信号是两种最重要的理想信号模型。

1. 单位阶跃（unit-step）信号

单位阶跃信号是一个具有单边特性的信号，如图 1-5 所示。函数表示为

$$u(t) = \begin{cases} 1, & t > 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (1-7)$$

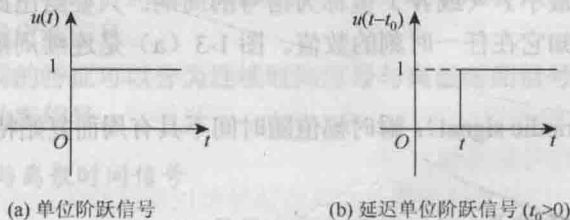


图 1-5 各类阶跃信号的波形图

从图 1-5 (a) 中可以看出，该单位阶跃信号在 $t=0$ 处发生跃变，此处的函数值一般不定义。若跃变点从 $t=0$ 改为 $t=t_0$ (图 1-5 (b))，记为 $u(t-t_0)$ ，称为延迟单位阶跃函数。

$$u(t-t_0) = \begin{cases} 1, & t > t_0 \\ 0, & t < t_0 \end{cases} \quad (1-8)$$

阶跃信号的引入表现出信号的单边特性，如图 1-6 所示。即信号在某接入时刻 t_0 以前的幅度为零。利用这一特性，可以方便地表示信号的接入特性。如 $e^{-2t}u(t)$ 表示信号 e^{-2t} 在 $t=0$ 时刻加入系统中； $e^{-2t}[u(t)-u(t-2)]$ 表示信号 e^{-2t} 作用于系统仅仅在 $0 \leq t \leq 2$ 区间内。

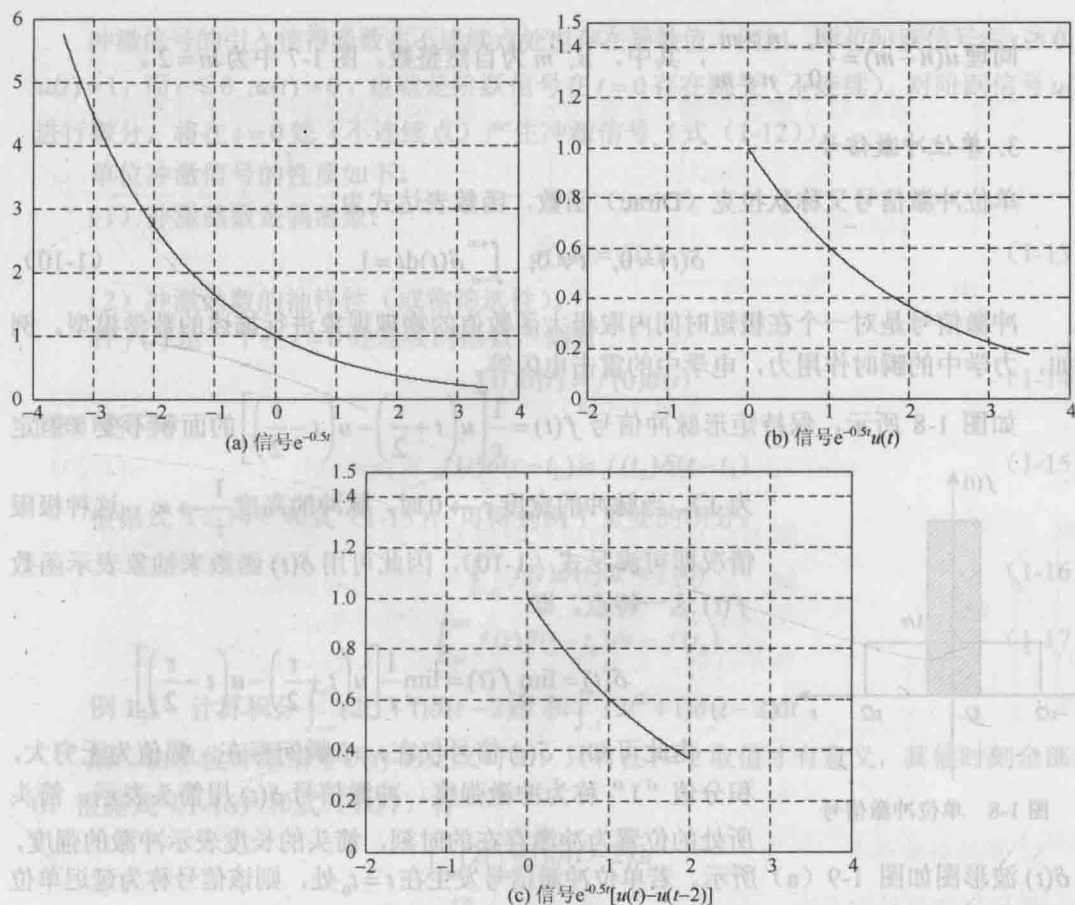


图 1-6 阶跃信号的单边性

2. 离散单位阶跃信号 (discrete-time unit-step)

如图 1-7 所示, 离散单位阶跃信号的函数表达式为

$$u(n) = \begin{cases} 1, & n = 0, 1, 2, \dots \\ 0, & n = -1, -2, \dots \end{cases} \quad (1-9)$$

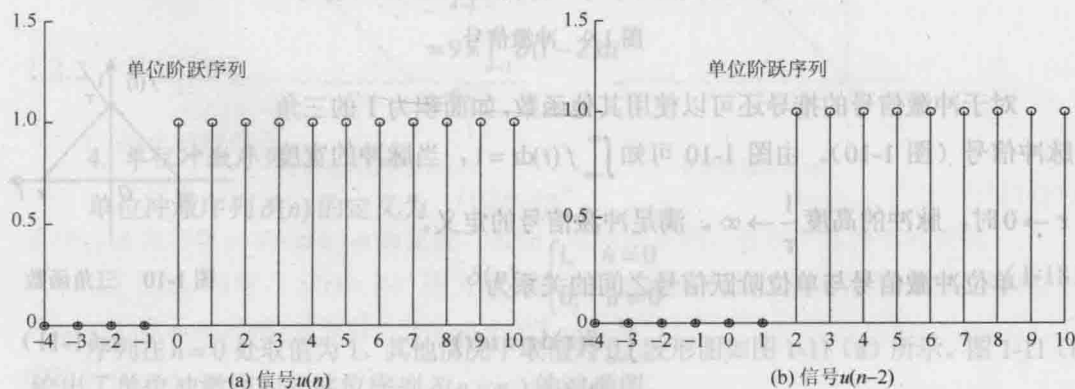


图 1-7 离散单位阶跃信号

同理 $u(n-m) = \begin{cases} 1, & n > m \\ 0, & n < m \end{cases}$, 其中, n, m 为自然整数。图 1-7 中为 $m=2$ 。

3. 单位冲激信号

单位冲激信号又称狄拉克 (Dirac) 函数, 函数表达式为

$$\delta(t) = 0, \quad t \neq 0, \quad \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1 \quad (1-10)$$

冲激信号是对一个在极短时间内取极大函数值的物理现象进行描述的数学模型。例如, 力学中的瞬时作用力, 电学中的雷击电闪等。

如图 1-8 所示, 保持矩形脉冲信号 $f(t) = \frac{1}{\tau} \left[u\left(t + \frac{\tau}{2}\right) - u\left(t - \frac{\tau}{2}\right) \right]$ 的面积不变 (恒定

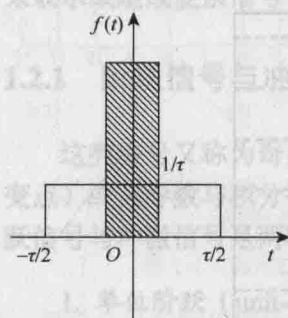


图 1-8 单位冲激信号

为 1)。当脉冲的宽度 $\tau \rightarrow 0$ 时, 脉冲的高度 $\frac{1}{\tau} \rightarrow \infty$ 。这种极限情况即可满足式 (1-10), 因此可用 $\delta(t)$ 函数来抽象表示函数 $f(t)$ 这一特点。即

$$\delta(t) = \lim_{\tau \rightarrow 0} f(t) = \lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{1}{\tau} \left[u\left(t + \frac{\tau}{2}\right) - u\left(t - \frac{\tau}{2}\right) \right]$$

由此可知: $\delta(t)$ 信号仅在 $t=0$ 瞬间存在, 幅值为无穷大, 积分值“1”称为冲激强度。冲激信号 $\delta(t)$ 用箭头表示, 箭头所处的位置为冲激存在的时刻, 箭头的长度表示冲激的强度, $\delta(t)$ 波形图如图 1-9 (a) 所示。若单位冲激信号发生在 $t=t_0$ 处, 则该信号称为延迟单位冲激信号, 记为 $\delta(t-t_0)$ 。图 1-9 (b) 给出了 $t_0 > 0$ 的延迟单位冲激信号。

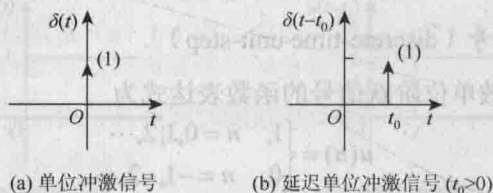


图 1-9 冲激信号

对于冲激信号的推导还可以使用其他函数, 如面积为 1 的三角脉冲信号 (图 1-10)。由图 1-10 可知 $\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt = 1$, 当脉冲的宽度 $\tau \rightarrow 0$ 时, 脉冲的高度 $\frac{1}{\tau} \rightarrow \infty$ 。满足冲激信号的定义。

单位冲激信号与单位阶跃信号之间的关系为

$$\int_{-\infty}^t \delta(\tau) d\tau = u(t) \quad (1-11)$$

$$\frac{du(t)}{dt} = \delta(t) \quad (1-12)$$

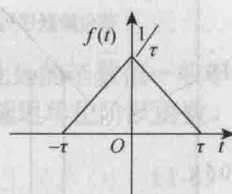


图 1-10 三角函数

冲激信号的引入使得函数在不连续点处也存在导数值,例如,单位阶跃信号在 $t \geq 0$, $u(t)=1$, 而 $t \leq 0$, $u(t)=0$, 也就是阶跃信号在 $t=0$ 存在跳变(不连续)。对阶跃信号 $u(t)$ 进行微分,将在 $t=0$ 处(不连续点)产生冲激信号(式(1-12))。

单位冲激信号的性质如下。

(1) 冲激函数是偶函数:

$$\delta(-t) = \delta(t) \quad (1-13)$$

(2) 冲激函数的抽样性(或称筛选性)。

若 $f(t)$ 是一个在 $t=0$ 处连续的函数,则有

$$f(t)\delta(t) = f(0)\delta(t) \quad (1-14)$$

同理可得到

$$f(t)\delta(t-t_0) = f(t_0)\delta(t-t_0) \quad (1-15)$$

根据式(1-14)和式(1-15),可得到两个重要的积分:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\delta(t)dt = f(0) \quad (1-16)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\delta(t-t_0)dt = f(t_0) \quad (1-17)$$

例 1-1 计算积分 $\int_{-\infty}^{+\infty} (2t^2+1)\delta(t-2)dt$ 和 $\int_{-1}^1 (2t^2+1)\delta(t-2)dt$ 。

解 由单位冲激信号 $\delta(t)$ 的定义可知,只有在 $t=2$ 取值才有意义,其他时刻全部为0。根据式(1-16)和式(1-17)有

$$\begin{aligned} & \int_{-\infty}^{+\infty} (2t^2+1)\delta(t-2)dt \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} (2 \times 2^2 + 1)\delta(t-2)dt \\ &= 9 \times \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t-2)dt \\ &= 9 \\ & \int_{-1}^1 (2t^2+1)\delta(t-2)dt \\ &= \int_{-1}^1 (2 \times 2^2 + 1)\delta(t-2)dt \\ &= 9 \times \int_{-1}^1 \delta(t-2)dt \\ &= 0 \end{aligned}$$

4. 单位冲激序列

单位冲激序列 $\delta(n)$ 的定义为

$$\delta(n) = \begin{cases} 1, & n=0 \\ 0, & n \neq 0 \end{cases} \quad (1-18)$$

序列在 $n=0$ 处取值为1,其他情况下取值为0。波形图如图1-11(a)所示。图1-11(b)给出了单位冲激序列的移位序列 $\delta(n-n_0)$ 的波形图。

与冲激信号 $\delta(t)$ 不同的是, $\delta(n)$ 在 $n=0$ 处有确定取值,而 $\delta(t)$ 是奇异函数,无具

体的定义。从图 1-7 和图 1-11 中分析可得 $\delta(n)$ 与 $u(n)$ 之间的关系。

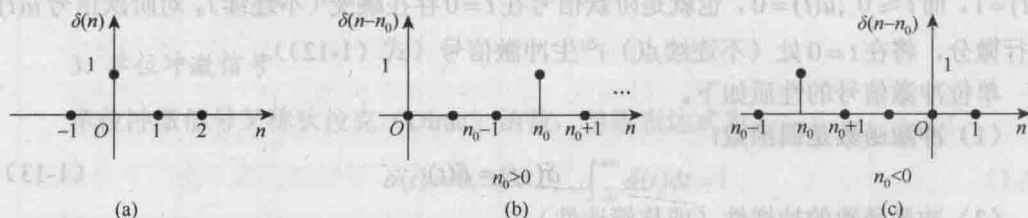


图 1-11 单位冲激序列

$$\delta(n) = u(n) - u(n-1) \quad (1-19)$$

$$u(n) = \delta(n) + \delta(n-1) + \delta(n-2) + \cdots = \sum_{k=0}^{+\infty} \delta(n-k) \quad (1-20)$$

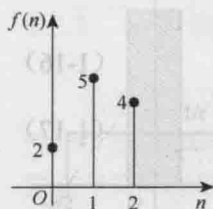


图 1-12 例 1-2 图

例 1-2 已知离散信号如图 1-12 所示, 给出 $f(n)$ 的表达式。

解 可以将每个离散量用单位冲激序列表示。

当 $n=0$ 时, 信号幅值为 2, 表示为 $2\delta(n)$ 。

当 $n=1$ 时, 信号幅值为 5, 表示为 $5\delta(n-1)$ 。

当 $n=2$ 时, 信号幅值为 4, 表示为 $4\delta(n-2)$ 。

所以

$$f(n) = 2\delta(n) + 5\delta(n-1) + 4\delta(n-2)$$

5. 单位斜坡信号

单位斜坡信号定义为

$$R(t) = \begin{cases} t, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (1-21)$$

信号的波形如图 1-13 所示。

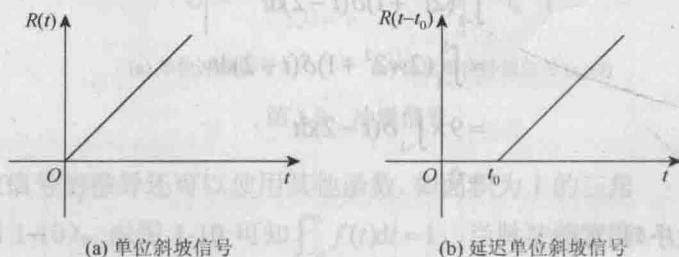


图 1-13 斜坡信号

单位斜坡信号与单位阶跃信号的关系为

$$\int_{-\infty}^t u(\tau) d\tau = R(t) \quad (1-22)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = u(t) \quad (1-23)$$