



普通高等教育仪器类“十三五”规划教材



信号与系统

付 华 王雨虹 高 楠 主 编
李 楠 高 姬 卢万杰 副主编

 中国工信出版集团

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育仪器类“十三五”规划教材

信号与系统

主 编 付 华 王雨虹 高 楠

副主编 李 楠 高 姬 卢万杰

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书介绍了信号与系统的理论、方法及其实际应用，是一部反映信号与系统新理论和新技术的实用教程。全书共分 10 章，介绍了信号与系统的基本概念、连续时间信号的基本概念和分析方法、连续时间系统的时域分析方法、连续信号的频域分析方法、连续时间系统的频域分析方法、连续时间信号与系统的复频域分析方法、离散信号与系统的时域分析方法、离散信号与系统的 z 域分析、系统分析的状态变量法以及 MATLAB 在信号与系统分析中的实现方法。书中采用二维码技术，实现知识点的扩展，方便采用更多方式进行学习。

本书可作为电子信息工程、通信工程、自动化、测控技术与仪器、计算机等相关专业的本科生教材，也可作为从事信息获取、信息转换、信息传输及信息处理工作的其他专业研究生、教师和广大科技工作者的参考用书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统/付华，王雨虹，高楠主编. —北京：电子工业出版社，2017.6

普通高等教育仪器类“十三五”规划教材

ISBN 978-7-121-31593-0

I. ①信… II. ①付… ②王… ③高… 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 (2017) 第 116747 号

策划编辑：赵玉山

责任编辑：刘真平

印 刷：北京中新伟业印刷有限公司

装 订：北京中新伟业印刷有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1 092 1/16 印张：14.5 字数：371.2 千字

版 次：2017 年 6 月第 1 版

印 次：2017 年 6 月第 1 次印刷

定 价：35.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：zhaoy@phei.com.cn。

普通高等教育仪器类“十三五”规划教材

编委会

主 任：丁天怀（清华大学）

委 员：陈祥光（北京理工大学）

王 祁（哈尔滨工业大学）

王建林（北京化工大学）

曾周末（天津大学）

余晓芬（合肥工业大学）

侯培国（燕山大学）

前 言

近年来,随着信息技术的迅猛发展,信号与系统的基本概念、基本分析方法已经渗透到了许多重要学科和技术领域。信号处理基础知识已成为自动化、测控技术与仪器、通信工程、电子信息、计算机科学等专业学生必须掌握的专业基础知识和必修课程。

本书是注重信号与系统理论和方法的具体应用,反映信号与系统新理论和新技术的实用教程。在内容上体现经典和现代的传承、连续和离散的类比、三大变换域的逻辑关系,注重信号与系统理论和方法的具体应用,注重理论与工程实践的紧密结合。在体系结构设计上采用先信号再系统、先连续后离散、先时域后变换域,从输入/输出描述到状态变量描述的顺序和结构,利用类比的方法,循序渐进、深入浅出地介绍信号与系统的基本理论和分析方法。本书注重重点和重点的解释和分析,在保证知识结构完整和内容全面的基础上,尽可能减少公式、性质的推导,避免了一些复杂而烦琐的计算,重在培养学生应用信号与系统分析、处理方法解决实际问题的能力。为了培养学生具备计算机辅助分析能力,书中加入了 MATLAB 实践部分。

本书突出工程特色,以培养应用创新型工程人才为出发点,注重培养学生分析和解决实际问题的能力,将测控技术与仪器专业工程人才培养模式和“信号与系统”课程改革成果体现在教材中,旨在通过科学规范的工程人才教材建设促进专业建设和工程人才培养质量的提高,以适应社会经济对创新人才的需求。

全书共分 10 章。第 1 章介绍了信号与系统的基本概念,第 2 章介绍了连续时间信号的基本概念和分析方法,第 3 章介绍了连续时间系统的时域分析方法,第 4 章介绍了连续信号的频域分析方法,第 5 章介绍了连续时间系统的频域分析方法,第 6 章介绍了连续时间信号与系统的复频域分析方法,第 7 章介绍了离散信号与系统的时域分析方法,第 8 章介绍了离散信号与系统的 z 域分析,第 9 章介绍了系统分析的状态变量法,第 10 章介绍了 MATLAB 在信号与系统分析中的实现。每章都精选了大量的例题和习题,可以帮助学生理解、领会教学内容,增强分析问题和解决问题的能力。此外,为了对相关知识进行扩充,本书在一些重要知识点处引入了二维码技术,通过扫描二维码,可以获取相关知识点的更多参考资料。

本书可作为通信工程、电子信息、自动化、测控技术与仪器、计算机科学等专业的教材。具体实施可根据专业要求对内容进行取舍,建议学时数为 40~72。本书也可作为相关专业工程技术人员参考书。

本书 1.1 节由付华执笔;1.2 节、1.3 节、第 2 章、4.3 节、4.6 节由卢万杰执笔;第 3 章和 4.1 节、4.2 节、4.4 节、4.5 节由高姬执笔;第 5~7 章由王雨虹执笔;第 8、10 章由高楠执笔;第 9 章由李楠执笔。全书写作思路由付华教授提出,付华、王雨虹和李楠负责统稿。此外,初淑香、刘宏志、孙滨、马玉芳、李猛、任仁、司南楠、程诚、刘雨竹、汤月、王庆贵、曹庆春、范国霞、王治国等也参加了本书的编写。在此,向对本书的完成给予了热情帮助的同行人表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,请广大读者批评指正。

编 者

2017 年 2 月

目 录

第 1 章 信号与系统的基本概念	(1)
1.1 信号的定义与分类	(1)
1.1.1 信号的定义	(2)
1.1.2 信号的分类	(2)
1.1.3 信号的基本特性	(6)
1.2 系统的描述及分类	(6)
1.2.1 系统的描述	(7)
1.2.2 系统的分类	(8)
1.3 信号与系统分析概述	(10)
1.3.1 信号分析的主要内容	(10)
1.3.2 系统分析的主要内容	(11)
1.3.3 信号与系统的应用	(11)
习题	(12)
第 2 章 连续时间信号的时域分析	(13)
2.1 典型信号	(13)
2.1.1 常见的基本信号	(14)
2.1.2 奇异信号	(16)
2.2 信号的基本运算	(22)
2.2.1 信号的加、减和乘法运算	(23)
2.2.2 信号的微分和积分	(23)
2.3 信号的变换	(25)
2.3.1 信号的移位	(25)
2.3.2 信号的反转	(25)
2.3.3 信号的展缩	(25)
2.4 信号的分解	(27)
2.4.1 直流分量和交流分量的分解	(27)
2.4.2 偶分量和奇分量的分解	(27)
2.4.3 实部分量和虚部分量的分解	(28)
2.4.4 连续信号分解为冲激信号的线性组合	(28)
习题	(29)
第 3 章 连续时间系统的时域分析法	(33)
3.1 线性连续系统的描述及其响应	(34)
3.1.1 连续时间系统的微分方程及其经典解	(34)
3.1.2 零输入响应与零状态响应	(35)
3.2 冲激响应和阶跃响应	(37)

3.2.1	单位冲激响应	(37)
3.2.2	单位阶跃响应	(38)
3.3	卷积积分及其应用	(39)
3.3.1	卷积积分的定义	(39)
3.3.2	卷积积分的计算	(39)
3.3.3	卷积积分的性质	(41)
	习题	(43)
第 4 章	连续时间信号的频域分析	(45)
4.1	连续周期信号的傅里叶级数	(46)
4.1.1	三角函数形式的傅里叶级数	(46)
4.1.2	指数形式的傅里叶级数	(46)
4.1.3	函数的对称性与傅里叶系数的关系	(47)
4.2	周期信号的频谱与功率谱	(51)
4.2.1	周期信号频谱的特点	(51)
4.2.2	周期信号的功率谱	(53)
4.3	非周期信号的频谱分析	(54)
4.3.1	非周期信号的频谱函数	(54)
4.3.2	典型非周期信号的频谱	(55)
4.4	傅里叶变换的主要性质	(58)
4.5	周期信号的傅里叶变换	(65)
4.5.1	复指数信号的傅里叶变换	(65)
4.5.2	余弦、正弦信号的傅里叶变换	(65)
4.5.3	单位冲激序列 $\delta_T(t)$ 的傅里叶变换	(66)
4.5.4	一般周期信号的傅里叶变换	(67)
4.6	信号的抽样与重构	(68)
4.6.1	时域抽样	(68)
4.6.2	信号重构	(72)
4.6.3	频域抽样	(73)
	习题	(73)
第 5 章	连续时间系统的频域分析	(77)
5.1	连续时间系统的频域分析简介	(77)
5.1.1	连续时间系统的频率响应	(77)
5.1.2	非周期信号激励下的系统响应	(80)
5.1.3	周期信号激励下的系统响应	(81)
5.2	无失真传输和理想滤波器	(82)
5.2.1	无失真传输系统	(82)
5.2.2	理想低通滤波器	(84)
	习题	(88)
第 6 章	连续时间信号与系统的复频域分析	(90)
6.1	拉普拉斯变换	(91)
6.1.1	从傅里叶变换到双边拉普拉斯变换	(91)

6.1.2	双边拉普拉斯变换的收敛域	(92)
6.1.3	单边拉普拉斯变换	(93)
6.1.4	典型信号的拉普拉斯变换	(94)
6.2	拉普拉斯变换的基本性质	(95)
6.3	拉普拉斯反变换	(101)
6.3.1	部分分式展开法	(101)
6.3.2	留数法	(103)
6.4	连续时间系统的复频域分析	(104)
6.4.1	系统微分方程的复频域求解	(104)
6.4.2	电路的复频域求解	(105)
6.5	系统函数与系统特性	(106)
6.5.1	系统函数	(106)
6.5.2	系统函数 $H(s)$ 的零、极点	(107)
6.5.3	系统函数的零、极点分布与系统的时域特性	(107)
6.5.4	系统函数的零、极点分布与系统的频域响应特性	(110)
6.5.5	系统稳定性分析	(114)
6.5.6	$H(s)$ 与 $H(j\omega)$ 的关系	(115)
6.6	连续时间系统的模拟	(116)
	习题	(119)
第7章	离散时间系统的时域分析	(123)
7.1	离散时间信号	(124)
7.1.1	离散时间信号的时域描述	(124)
7.1.2	常用的离散信号	(124)
7.1.3	离散信号的基本运算	(126)
7.2	离散时间系统的数学模型	(129)
7.2.1	离散系统的数学模型——差分方程	(129)
7.2.2	离散时间系统的模拟	(130)
7.3	线性时不变离散系统的响应	(131)
7.3.1	时域经典法	(131)
7.3.2	零输入响应与零状态响应	(132)
7.3.3	用卷积和求零状态响应	(133)
	习题	(137)
第8章	离散信号与系统的 z 域分析	(139)
8.1	离散时间信号的 z 变换	(140)
8.1.1	z 变换的定义	(140)
8.1.2	z 变换的收敛域	(140)
8.1.3	常用序列的 z 变换	(143)
8.1.4	z 反变换	(145)
8.1.5	z 变换的基本性质	(149)
8.2	离散系统的 z 域分析	(154)
8.2.1	利用 z 变换求解差分方程	(154)

8.2.2	离散系统的系统函数	(156)
8.2.3	$H(z)$ 的零、极点分布与时域特性	(157)
8.2.4	系统的因果稳定性	(158)
8.3	离散系统的模拟	(159)
8.3.1	离散时间系统的联结	(159)
8.3.2	离散时间系统的模拟	(164)
	习题	(169)
第 9 章	系统的状态变量分析法	(171)
9.1	状态和状态空间	(172)
9.2	连续时间系统状态方程的建立	(173)
9.2.1	连续系统状态方程的一般形式	(173)
9.2.2	由电路图直接列写状态方程	(175)
9.2.3	从输入/输出方程导出状态方程	(176)
9.2.4	从模拟图建立状态方程	(177)
9.3	连续系统状态方程的解	(179)
9.3.1	状态方程的复频域求解	(179)
9.3.2	状态方程的时域求解	(181)
9.4	离散时间系统状态方程的建立	(182)
9.4.1	状态方程的一般形式	(182)
9.4.2	由系统的差分方程或模拟图列写状态方程	(183)
9.5	离散时间系统状态方程的求解	(184)
9.5.1	离散时间系统状态方程的时域求解	(184)
9.5.2	离散时间系统状态方程的 z 域求解	(185)
	习题	(187)
第 10 章	MATLAB 在信号与系统中的实现	(189)
10.1	基于 MATLAB 表示信号	(189)
10.1.1	连续信号的 MATLAB 表示	(189)
10.1.2	离散信号的 MATLAB 表示	(193)
10.1.3	利用 MATLAB 实现信号的基本运算	(194)
10.2	基于 MATLAB 的信号与系统的时域分析	(198)
10.2.1	信号的时域分析	(198)
10.2.2	LTI 系统的时域分析	(200)
10.3	基于 MATLAB 的信号与系统的频域分析	(204)
10.3.1	信号的频域分析	(204)
10.3.2	系统的频域分析	(209)
10.4	基于 MATLAB 的信号与系统的复频域分析	(210)
10.4.1	信号的复频域分析	(210)
10.4.2	系统的复频域分析	(212)
10.5	系统状态变量分析法的 MATLAB 实现	(214)
10.5.1	系统状态方程的 MATLAB 实现	(214)
10.5.2	连续时间系统状态方程和输出方程求解	(216)

10.5.3 离散时间系统状态方程和输出方程求解..... (217)

习题..... (218)

参考文献 (220)

第1章

信号与系统的基本概念

本章知识点:

- 信号的定义及基本特性
- 信号的分类
- 系统的描述及分类
- 信号与系统分析的内容
- 信号与系统的应用

基本要求:

- 了解信号的定义及其基本特性
- 掌握信号的分类方法
- 掌握系统的描述及分类方法
- 掌握信号与系统分析的主要内容及应用

能力培养目标:

通过本章的学习,首先使学生明确信号的定义及其基本特性,能够从抽象的信息中选取合理的信号类型;其次,能够运用系统输入与输出之间的关系对系统进行描述,培养学生分析、解决工程实际问题的能力,为进行信号分析及系统的建模打下基础。

1.1 信号的定义与分类

信号与系统是信号处理的两大要素,信号是被处理的客观对象,系统是信号处理的工具,二者是相互依存不可分割的。

当今社会已进入信息时代,信息对每个人来说都具有重要的意义。人们每时每刻都在不断地主动或被动地接收外界的丰富多彩的信息。实际上不仅人类社会能接收信息,其他生物和非生物也能接收信息或受到信息的作用和影响。那么信息究竟是什么?信息是指人类社会和自然界中需要传送、交换、存储和提取的有一定意义的抽象内容。

首先,信息具有客观性,事物的一切变化和运动都伴随着信息的交换和传递;同时,信息具有抽象性,只有通过一定的形式才能把它表现出来。信息总是通过某种物理量的形式表现出来,这些物理量就是信号。可见,信号是信息的载体,是信息的物理表现,而信息则是信号所载的内容。

1.1.1 信号的定义

从古至今,人类一直在寻求各种方法通过信号实现信息的传输、处理、记忆、分析和变换。从最早的驿传信件、烽火通信到19世纪初的有线电报和电话,再到19世纪末的无线电通信、20世纪的光纤通信,直到现在全球的信息高速公路,人类在信息技术领域取得了一次又一次的进步和发展。

广义地说,信号是随时间变化的某种物理量。或者说,信号总是某种物理量(如声、光、电等)的变化,可以用数学解析式表达,也可以用图形等来表示,且常以时间作为函数的自变量,如正弦函数、阶跃函数等。信号有时也采用非时间作为自变量,而且不一定只限于一个自变量。例如,电路中的电压和电流信号是随时间变化的函数;海洋观察中的压力、温度和流速是深度的函数;一张黑白照片就可以用亮度随二维变量变化的函数表示;而现实的图像场景需用三维空间和时间四个变量的函数来描述。本书讨论的信号主要是以时间为自变量的一维信号。

在表现信号的众多物理量中,电信号是应用最广泛的物理量,因为它容易产生、传输和控制,也容易实现与其他物理量的相互转换。因此,通常采用的信号是电信号。

1.1.2 信号的分类

信号的分类方法很多,可以从不同的角度进行分类。信号按属性可分为电信号与非电信号两类;按数学的对称性,可分为奇信号、偶信号、非对称性信号;从能量角度出发,可分为功率信号与能量信号;从时间自变量是否连续取值,可分为连续时间信号与离散信号等。这里仅从信号的数学描述出发,讨论带有普通意义的信号分类,介绍几种与信号的性质和特征有关的信号分类。

1. 连续时间信号与离散时间信号

对任意一个信号,如果在定义域内,除有限个间断点外均有定义,则称此信号为连续时间信号,简称为连续信号,记作 $f(t)$ 或 $x(t)$ 。连续时间信号的自变量是连续可变的(可含间断点),而函数值在值域内可以是连续的,也可以是跳变的。如图1-1所示的信号为连续时间信号。

对任意一个信号,如果自变量仅在离散时间点上有定义,称为离散时间信号,简称离散信号,记作 $f(n)$ 或 $x(n)$,也可以记作 $f[k]$ 或 $x[k]$ 。即离散时间信号其定义域上是离散的,其值域可以是连续的,也可以是离散的。离散时间信号相邻离散时间点的间隔可以是相等的,也可以是不相等的,除这些离散时间点之外,信号无定义。下列函数表示的信号为一个离散时间信号。其波形如图1-2所示。

$$y(n) = \begin{cases} n & n = 1, 2, 3 \\ 1 & n = -1, -2 \end{cases}$$

在等间隔离散时间点上的称为离散时间信号,称为序列(或采样信号)。序列可以表示成函数形式,也可以直接列出序列值或写成序列值的集合。

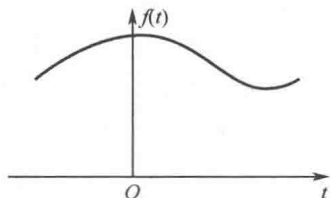


图 1-1 连续时间信号

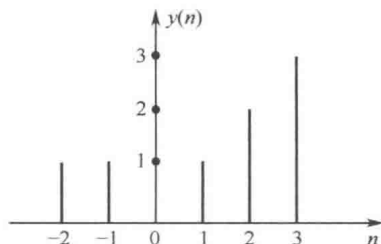


图 1-2 离散时间信号的波形

2. 确定性信号与随机信号

根据信号随时间的变化规律可分为确定性信号和非确定性信号（也称为随机信号），其详细分类如图 1-3 所示。

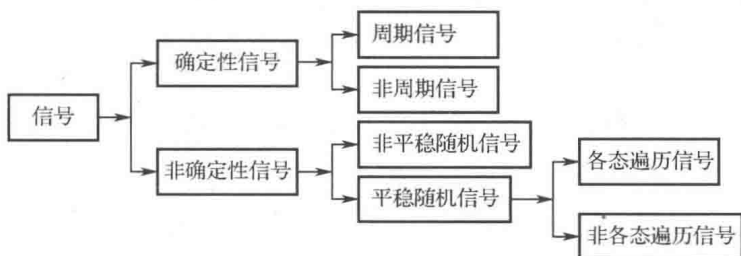


图 1-3 确定性信号和非确定性信号

1) 确定性信号

对应于某一确定时刻，就有某一确定数值与其对应的信号，即能用明确的数学关系式或图像表达的信号称为确定性信号。确定性信号可以用函数解析式、图表和波形等来表示。确定性信号可以分为周期信号和非周期信号两类。当信号按一定时间间隔周而复始重复出现时称为周期信号，否则称为非周期信号。

(1) 周期信号

周期信号的波形每经过一定时间重复一次，一旦确定了信号在一个周期内的形状，则其他任一时刻的波形就可以准确确定。周期信号有两种，一种是谐波（正弦或余弦）信号，一种是由频率不同的谐波叠加而成的复杂周期信号。

一般周期信号（如周期方波、周期三角波等）由多个乃至无穷多个频率成分（频率不同的谐波分量）叠加组成，叠加后存在公共周期。

如果一个定义在 $(-\infty, \infty)$ 区间上的连续时间信号 $f(t)$ ，对一切 t 存在某个正的非零值 T ，有

$$f(t) = f(t + kT) \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots \quad (1-1)$$

其中， k 为任意整数，则称 $f(t)$ 为周期函数，其周期为 T ，如图 1-4 (a) 所示。

同样，如果一个定义在 $(-\infty, \infty)$ 区间上的离散时间信号 $f(n)$ ，对全部 n 存在某个正的非零值 N ，有

$$f(n) = f(n + kN) \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots \quad (1-2)$$

则称 $x(n)$ 为周期序列，其周期为 N ，如图 1-4 (b) 所示。

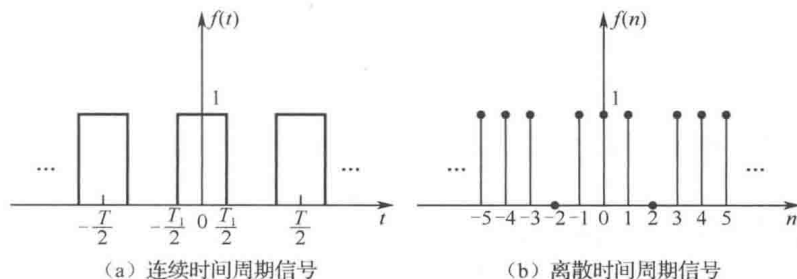


图 1-4 周期信号

连续正弦信号一定是周期信号，而正弦序列不一定是周期序列。两个连续周期信号之和不

一定是周期信号，而两个周期序列之和一定是周期序列。

(2) 非周期信号

非周期信号不具有重复性，其波形在有限时间内不会重复出现，也可把非周期信号看成周期为无穷大的周期信号。非周期信号包括瞬变信号和准周期信号。

瞬变信号是在有限时间范围内存在，或随着时间增加而幅值衰减至零的信号，如图 1-5 (a) 所示。

准周期信号也由多个频率成分叠加的信号组成，但叠加后各个频率成分不存在公共周期，如图 1-5 (b) 所示。

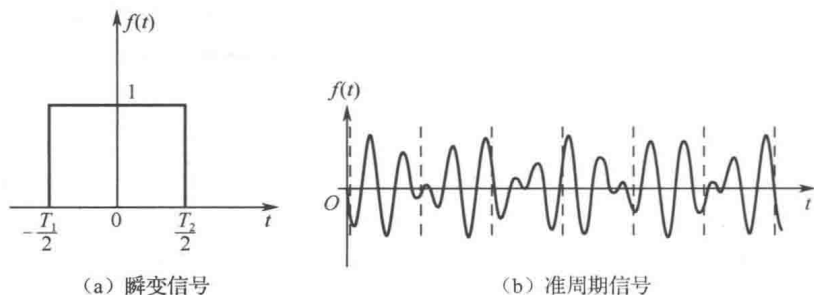


图 1-5 非周期信号

2) 随机信号

如果一个信号事先无法预测它的变化趋势，也无法预先知道其变化规律，则该信号称为随机信号，又称为非确定性信号，是无法用数学关系式表达的信号，即取值具有不确定性的信号，如电子系统中的起伏热噪声、雷电干扰信号、加工零件的尺寸、机械振动、环境的噪声等。随机信号在任一时刻的幅值都是随机的，其波形在无限长时间内不会重复，如图 1-6 (b) 所示。在实际工作中，系统总会受到各种干扰信号的影响，这些干扰信号不仅在不同时刻的信号值是互不相关的，而且在任一时刻信号的幅值和相位都是在不断变化的。因此，从严格意义上讲，绝大多数信号都是随机信号。在研究信号与系统时，常常忽略一些次要的干扰信号，主要研究占统治地位的信号的性质和变化趋势。本书主要研究确定性信号。

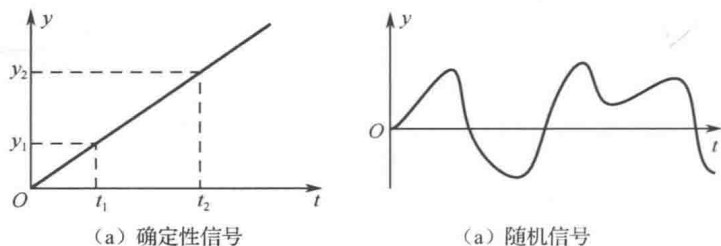


图 1-6 确定性信号和随机信号

随机信号服从统计规律，因此可以用概率和统计的方法进行研究，其特性可以用统计特征参数进行描述。

根据是否满足平稳随机过程的条件，又可以分成平稳随机信号和非平稳随机信号。平稳随机信号的统计特征参数不随时间变化。如统计特征参数随时间变化，则为非平稳随机信号。正常工作的设备，其信号是平稳的；处于过渡状态和异常状态的设备，其信号往往是非平稳的。

3. 模拟信号与数字信号

模拟信号是指在连续时间范围内,其幅值连续的信号,即模拟信号是指定义域和值域均连续的信号,如三相交流电压、交流电流都是模拟信号。值得指出的是,模拟信号常可以看作是连续时间信号的一个特例,因而一般模拟信号也称为连续时间信号。但在谈及数字信号时,往往采用模拟信号这个称谓。

数字信号通常是指将模拟信号在时间上和幅值上都经过量化后得到的信号,也就是说,数字信号是指定义域和值域均离散的信号。所谓量化,是利用一组数值来表示变量的过程。所以,数字信号可以用一系列的数(序列)来表示。

4. 能量信号和功率信号

1) 能量信号

将一个电压或电流信号 $f(t)$ 加到单位电阻上,则在该电阻上产生的瞬时功率为 $|f(t)|^2$,在一段时间 $\left(-\frac{\tau}{2}, \frac{\tau}{2}\right)$ 内消耗一定的能量。把该能量对时间区域取平均,即得信号在此区间内的平均功率。若将时间区域无限扩展,相应的连续信号 $f(t)$ 和离散信号 $f(n)$ 的能量满足条件

$$E = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} |f(t)|^2 dt < \infty \quad (1-3)$$

$$E_n = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |f(n)|^2 < \infty \quad (1-4)$$

则称其为能量信号。即如果一个信号在无限大时间区域内信号的能量为有限值,则称该信号为能量有限信号或能量信号,如各类瞬变信号。

2) 功率信号

若信号 $f(t)$ 或 $f(n)$ 在区间 $(-\infty, \infty)$ 的能量无限,不满足式(1-3)、式(1-4)的条件,但在有限区间 $\left(-\frac{\tau}{2}, \frac{\tau}{2}\right)$ 内满足平均功率有限的条件,即

$$P = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{1}{\tau} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} |f(t)|^2 dt = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{1}{\tau} E < \infty \quad (1-5)$$

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

则称其为功率信号。如果在无限大时间区域内信号的功率为有限值,则称该信号为功率有限信号或功率信号,如各种周期信号、常值信号、阶跃信号等。

根据能量信号和功率信号的定义,可以得出:时限信号(在有限时间区域内存在非零值的信号)是能量信号,周期信号是功率信号,非周期信号可能是能量信号,也可能是功率信号。

5. 实信号和复信号

物理上可实现的,取值为实数的信号称为实值信号,简称为实信号。实信号的共轭对称信号是它本身。取值为复数的信号称为复值信号,简称为复信号。虽然实际上不会产生复信号,

但为了理论分析的需要,常常引用取值为复数的复信号,如复指数信号。

1.1.3 信号的基本特性

广义上讲,信号是某种随时间变化的物理量。其基本特性如下:

1) 信号的时(域)间特性

任何信号都是随着自变量时间变化而发生变化的物理量,可以表示为时间的函数或描绘成随时间变化的波形。从时域特性中可以直接看出系统是否稳定。信号在某一时刻的大小、出现时间的先后、持续时间的长短、重复周期的长短及变化的快慢等都可以从波形上反映出来,这一特性称为信号的时(域)间特性,此时信号用函数 $x(t)$ 、 $f(t)$ 、 $y(t)$ 等来表示。

2) 信号的频(域)率特性

任意信号在一定条件下总可以分解为许多不同频率的正弦分量。频率特性主要包括信号带宽、各频率分量的振幅、相位随频率的分布情况。信号的频谱分析就是研究信号的频率特性,此时信号用 $X(\omega)$ 、 $F(\omega)$ 、 $Y(\omega)$ 等表示。

3) 信号的信息特性

信息具有客观性和抽象性,只有通过一定的形式才能把它表现出来,那就是信号。可见,信号是信息的载体和物理表现,而信息则是信号所载的内容。

1.2 系统的描述及分类

为了充分地从信号中获取有用信息,最大限度地利用信息以及有效地传输、交换、存储信息,必须对信号进行加工和变换,即对信号实现有目的的加工。将一个信号变换为另一个信号的过程就是信号处理。信号处理的任务由具有一定功能的器件、装置、设备及其组合完成。例如,放大器将微弱信号变换成所需强度的可用信号;滤波器按一定要求尽可能多地剔除混在有用信号中的无用信号,并尽量完整地获取有用信号;自动控制系统在一定输入信号作用下,获得满足实际要求的输出信号。将为了达到传输和利用信息的目的而对信号进行处理的器件、装置、设备及其组合称为系统。从这一意义上说,系统是为了处理信号,使之达到特定目的而设置的。放大器、滤波器、自动控制系统等都可以看作系统。

一个电路中的电压和电流作为时间的函数,是信号的一个例子,而这一电路本身则是系统的一个例子,在这种情况下,系统对所施加的电压和电流产生响应。另一个例子,当驾驶员压下加速踏板时,汽车以增加车速为响应,在这种情况下,系统就是汽车,加速踏板上的压力则是系统的输入,汽车的速度是响应。一个心电图计算机自动诊断程序,也可看成一个系统,它以数字化的心电图作为其输入,而产生如心率这样的一些参数的估计值作为系统的输出。

通过以上介绍可以看出,信号和系统是信号处理的两大要素,信号与系统是密不可分的。信号是信息的载体,是系统传输和处理的客观对象。信号的产生、传输、加工处理和储存等都离不开系统,离开了信号,系统也将失去意义,二者相辅相成,作为一个整体存在。广义而言,



图 1-7 系统的框图

系统是一个由若干相互关联的一类事物组成的具有某种特定功能的有机整体。系统通常表示为方框图形式,如图 1-7 所示。

电信号是最常用的信号形式,所以电路(或称为电系统)也

是常见的系统之一。电系统是对电信号进行产生、传输、加工处理和储存的电路（网络）或设备（包括软硬件设备），在一定意义上也可称为系统。如由 R、C 组成的积分器、微分器；由 R、L、C 组成的振荡器、滤波器；由晶体管等组成的放大器、检波器、混频器、分频器、直流稳压电源，以及交流发电供电设备、雷达等。

1.2.1 系统的描述

系统是一个极具广泛性的概念，除了通信、自动化、机械等工程领域的系统外，还可以包括经济、管理、社会等系统，甚至各种生理、生态系统。凡是具有信息加工和交换的场所，都是系统存在的地方。系统可以小到一个电阻或一个细胞，甚至基本粒子，也可以复杂到诸如人体、全球通信网，乃至整个宇宙。它们可以是自然的，也可以是人为的，众多领域各不相同的系统都对施加于它的信号做出响应，产生出另外的信号。把施加于系统的信号称为系统的输入信号 $f(t)$ ，由此产生出来的信号称为系统的输出信号 $y(t)$ ，如图 1-7 所示。同时也表明了信号和系统之间的紧密关系，一方面任何系统都要接收输入信号，产生输出信号，系统的特定功能就体现在系统接收一定输入信号情况下产生什么样的输出信号；另一方面，任何信号的改变（包括物理形态及所包含的信息内容）都是通过某种系统实现的，系统是信号处理的工具。

所谓系统的描述，就是对系统的输入（激励）信号与输出（响应）信号之间的关系如何进行描述，这是系统分析的第一步。系统输入与输出之间的关系常用以下几种方法表示。

1) 箭头表示

将系统的输入与输出信号之间的关系用一个箭头表示出来，如：

$$f(t) \rightarrow y(t) \quad \text{或} \quad f(n) \rightarrow y(n)$$

其意义为，如果将 $f(t)$ 或 $f(n)$ 作为系统的输入（激励）信号，与其对应的 $y(t)$ 或 $y(n)$ 就是系统的输出（响应）信号。这种表示方法很直观。

2) 框图表示

将系统的输入与输出信号之间的关系用框图表示，如图 1-7 所示。框中系统表示不同的系统，包括连续时间系统和离散时间系统。

3) 算子表示

将系统的输入与输出信号之间的关系表示成函数的形式：

$$y(t) = T[f(t)] \quad \text{或} \quad y(n) = T[f(n)] \quad (1-7)$$

$T[\cdot]$ 可以看作一个算子，即输出信号 $y(t)$ 或 $y(n)$ 可以看作是对输入信号 $f(t)$ 或 $f(n)$ 进行某种运算、处理或加工而得到的。

4) 数学模型表示

人们在研究系统时往往注重它在实现信号加工和处理过程中所表现出来的属性，而不去关心它的具体物理组成，通过对系统进行抽象化，用能表达信号加工或变换关系的数学式子来描述系统，这就是系统的数学模型。如连续时间系统一般采用微分、积分方程表示，离散时间系统一般采用差分方程表示。

系统的数学模型通常可以分为两大类：一类是只反映系统输入和输出之间的关系，或者说只反映系统的外特性，称为输入/输出模型，通常由包含输入量和输出量的方程描述；另一类不仅反映系统的外特性，而且更着重描述系统的内部状态，称为状态空间模型，通常由状态方程和输出方程描述。