

新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材



电子·教育

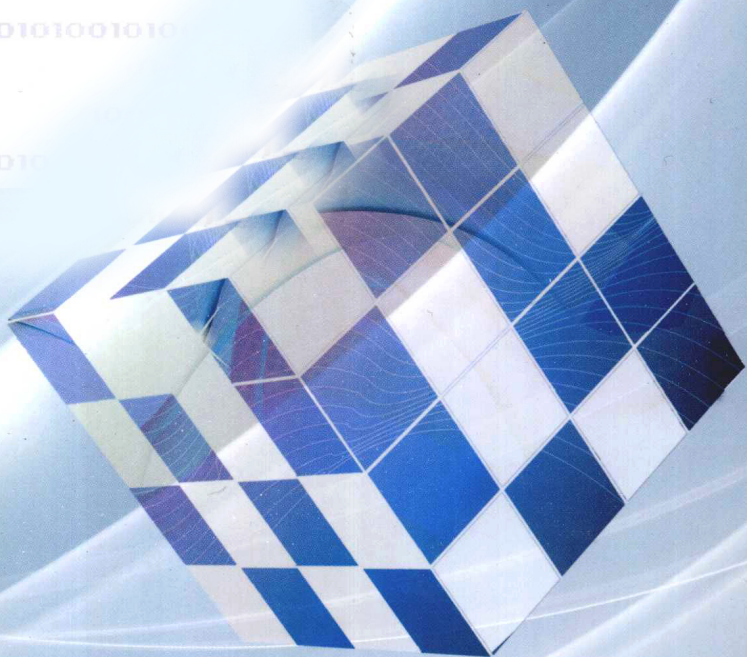
通信技术专业

信号与系统 (第2版)

(MATLAB版)

刘俊主编

010101001
010101001010010101010010100101010
01010100101001010101
0101010010100101010100101001010100101001
01010100101
010101001010010101010010100
0101010010100101010100010100101010
01010100101001010101
01010100101001010101000101001010101001
01010100101
010101001010010101010010100
010101001
0101010010100101010010100101010
01010100101001010101000101001010101001
010101001010010101010010100101010010101001010
01010100101
010101001010010101010010100
010101001
0101010010100101010100101010100101010
010101001010010101010
010101001010010101010100101001010101001010010100
01010100101
010101001



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·通信技术专业

信号与系统(第 2 版)

(MATLAB 版)

刘俊主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书针对高等职业教育的特点,根据教育部制定的《高职高专教育专门课课程基本要求》及高等职业教育电子信息类教材编审委员会制定的教学计划,结合多年来高等职业教育的实践经验编写而成。本书内容包括:信号与系统概述、连续时间信号分析、连续时间系统分析、离散时间信号分析、离散时间系统分析,并基于 MATLAB 工具软件对每部分内容进行详细、深入的探讨。

本书在结构编排上自成一体,精选内容,加强基础,适当淡化理论,尤其是试图引导读者借助 MATLAB 工具软件理解信号与系统的抽象概念,强调信号与系统相关理论的应用。

本书可作为高职高专电子信息类相关专业“信号与系统”课程的教材,也可作为相关专业工程技术人员的自学参考书。

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:MATLAB 版/刘俊主编. —2 版. —北京:电子工业出版社,2011.1

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材. 通信技术专业

ISBN 978-7-121-12097-8

I. ①信… II. ①刘… III. ①信号系统—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 207874 号

策 划: 陈晓明

责任编辑: 赵云峰 特约编辑: 张晓雪

印 刷: 北京建筑工业印刷厂

装 订:

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: 787×1092 1/16 印张: 15 字数: 384 千字

印 次: 2011 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 25.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,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。

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

服务热线:(010) 88258888。

前 言

信息时代的基本特征是在生产、生活等社会活动中，人们离不开对信息的获取、处理、传输和识别。信息的载体是信号，系统是对信号进行综合处理的有机总体，它可实现人们对信息的需求。

信号与系统这门课程的任务是研究信号、系统的基本概念和基本分析方法，学习如何建立信号与系统的数学模型，通过数学的方法进行系统响应的求解，并将数学解与物理意义进行合理的联系。无疑，这门课程是学习电子信息类相关专业的必修主干课程之一。

本课程是电子信息类学科的专业基础课程。首先，学习这门课程必须具备一定的数学基础和电路分析基础。此外，学习这门课程是学习通信原理、控制理论、数字信号处理、计算机网络等后续专业课程的前提。

本书针对高等职业教育的特点，根据教育部制定的《高职高专教育专门课课程基本要求》及高等职业教育电子信息类教材编审委员会制定的教学计划，结合多年来高等职业教育的实践经验编写而成。本书内容包括：信号与系统概述、连续时间信号分析、连续时间系统分析、离散时间信号分析、离散时间系统分析，并基于 MATLAB 工具软件对每部分内容进行较详细、深入的探讨。

本书在结构编排上自成一体，精选内容，加强基础，适当淡化理论，尤其是试图引导读者借助 MATLAB 工具软件理解信号与系统的抽象概念，强调信号与系统相关理论的应用。

本书可作为高职高专电子信息类相关专业“信号与系统”课程的教材，也可作为相关专业工程技术人员的自学参考书。

本书由刘俊担任主编和统稿工作。廖继红参与编写第 1 章、第 4 章部分内容，李新参与编写部分 MATLAB 应用内容，其余部分由刘俊编写。

限于编者水平有限与经验不足，书中缺点和错误难免，恳请批评指正。

编 者
2010.7

参加“新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材”

编写的院校名单(排名不分先后)

桂林工学院南宁分院	江西工业工程职业技术学院
江西信息应用职业技术学院	四川工程职业技术学院
江西蓝天职业技术学院	广东轻工职业技术学院
吉林电子信息职业技术学院	广东技术师范职业技术学院
保定职业技术学院	西安理工大学
安徽职业技术学院	辽宁大学高职学院
杭州中策职业学校	天津职业大学
黄石高等专科学校	天津大学机械电子学院
天津职业技术师范学院	九江职业技术学院
福建工程学院	包头职业技术学院
湖北汽车工业学院	北京轻工职业技术学院
广州铁路职业技术学院	黄冈职业技术学院
台州职业技术学院	郑州工业高等专科学校
重庆科技学院	泉州黎明职业大学
济宁职业技术学院	浙江财经学院信息学院
四川工商职业技术学院	南京理工大学高等职业技术学院
吉林交通职业技术学院	南京金陵科技学院
连云港职业技术学院	无锡职业技术学院
天津滨海职业技术学院	西安科技学院
杭州职业技术学院	西安电子科技大学
重庆电子工程职业学院	河北化工医药职业技术学院
重庆工业职业技术学院	石家庄信息工程职业学院
重庆工程职业技术学院	三峡大学职业技术学院
广州大学科技贸易技术学院	桂林电子工业学院高职学院
湖北孝感职业技术学院	桂林工学院

南京化工职业技术学院
湛江海洋大学海滨学院
江西工业职业技术学院
江西渝州科技职业学院
柳州职业技术学院
邢台职业技术学院
漯河职业技术学院
太原电力高等专科学校
苏州经贸职业技术学院
金华职业技术学院
河南职业技术师范学院
新乡师范高等专科学校
绵阳职业技术学院
成都电子机械高等专科学校
河北师范大学职业技术学院
常州轻工职业技术学院
常州机电职业技术学院
无锡商业职业技术学院
河北工业职业技术学院
天津中德职业技术学院
安徽电子信息职业技术学院
合肥通用职业技术学院
安徽职业技术学院
上海电子信息职业技术学院
上海天华学院
浙江工商职业技术学院
河南机电高等专科学校
深圳信息职业技术学院
河北工业职业技术学院

湖南信息职业技术学院
江西交通职业技术学院
沈阳电力高等专科学校
温州职业技术学院
温州大学
广东肇庆学院
湖南铁道职业技术学院
宁波高等专科学校
南京工业职业技术学院
浙江水利水电专科学校
成都航空职业技术学院
吉林工业职业技术学院
上海新侨职业技术学院
天津渤海职业技术学院
驻马店师范专科学校
郑州华信职业技术学院
浙江交通职业技术学院
江门职业技术学院
广西工业职业技术学院
广州市今明科技公司
无锡工艺职业技术学院
江阴职业技术学院
南通航运职业技术学院
山东电子职业技术学院
潍坊学院
广州轻工高级技工学校
江苏工业学院
长春职业技术学院
广东松山职业技术学院

目 录

第 1 章 信号与系统概述	(1)
1.1 信号	(1)
1.1.1 信号的描述及分类	(2)
1.1.2 信号的基本运算与变换	(5)
1.2 系统	(8)
1.2.1 系统的数学模型及其分类	(8)
1.2.2 系统的模拟	(14)
1.3 信号与系统分析概述	(16)
1.3.1 信号分析	(16)
1.3.2 系统分析	(16)
1.3.3 系统模型求解	(17)
1.4 基于 MATLAB 的信号表示与运算	(18)
1.4.1 MATLAB 中的信号表示	(18)
1.4.2 信号基本运算的 MATLAB 实现	(20)
本章小结	(23)
习题 1	(23)
第 2 章 连续时间信号分析	(26)
2.1 连续时间信号	(26)
2.1.1 常用的连续时间信号	(26)
2.1.2 奇异信号	(29)
2.2 卷积积分	(35)
2.2.1 信号的时域分解	(35)
2.2.2 卷积积分性质	(36)
2.2.3 卷积积分的运算	(38)
2.3 信号的正交分解与傅里叶级数	(42)
2.3.1 信号的正交分解	(42)
2.3.2 傅里叶级数	(43)
2.3.3 周期信号的傅里叶级数正交分解	(47)
2.3.4 基于 MATLAB 的傅里叶级数分析	(48)
2.4 信号的频谱分析	(52)
2.4.1 信号的频谱	(52)
2.4.2 周期信号的频谱分析	(52)
2.4.3 非周期信号的频谱分析	(55)
2.4.4 典型信号的频谱	(56)
2.4.5 基于 MATLAB 的信号频谱分析	(63)

2.5	傅里叶变换	(69)
2.5.1	奇异信号的傅里叶变换	(69)
2.5.2	傅里叶变换的基本性质	(70)
2.5.3	卷积定理	(75)
2.6	拉普拉斯变换	(77)
2.6.1	从傅里叶变换到拉普拉斯变换	(77)
2.6.2	拉普拉斯变换的收敛域	(77)
2.6.3	常用信号的拉普拉斯变换	(80)
2.6.4	拉普拉斯变换的基本性质	(81)
2.6.5	卷积定理	(86)
2.6.6	拉普拉斯逆变换	(86)
2.6.7	基于 MATLAB 的拉普拉斯变换分析	(92)
	本章小结	(96)
	习题 2	(96)
第 3 章	连续时间系统分析	(100)
3.1	线性连续系统的描述及响应	(100)
3.1.1	系统的描述	(100)
3.1.2	微分方程的经典解	(102)
3.1.3	零输入响应和零状态响应	(106)
3.1.4	冲激响应和阶跃响应	(108)
3.1.5	零状态响应的卷积积分求解法	(113)
3.1.6	基于 MATLAB 的连续时间系统响应	(113)
3.2	线性非时变系统的频域分析	(120)
3.2.1	系统的频率响应特性概念	(120)
3.2.2	无失真传输系统的频域分析	(123)
3.2.3	理想低通滤波器的频域分析	(124)
3.2.4	基于 MATLAB 的连续系统频域分析	(125)
3.3	线性连续系统的复频域分析	(127)
3.3.1	微分方程的拉普拉斯变换求解法	(127)
3.3.2	电路的 s 域模型	(130)
3.3.3	系统函数与 s 域分析法	(134)
3.3.4	系统函数的零、极点与系统特性	(135)
3.3.5	系统的稳定性判断	(138)
3.3.6	信号流图及系统的模拟	(139)
3.3.7	基于 MATLAB 的连续系统复频域分析	(142)
	本章小结	(146)
	习题 3	(147)
第 4 章	离散时间信号分析	(149)
4.1	连续时间信号离散化	(149)

4.1.1	信号的取样	(149)
4.1.2	取样定理	(149)
4.1.3	基于 MATLAB 的信号取样分析	(151)
4.2	离散时间信号的表示	(153)
4.2.1	序列	(153)
4.2.2	常用的典型序列	(153)
4.2.3	序列的运算	(156)
4.2.4	基于 MATLAB 的序列表示与运算	(159)
4.3	Z 变换	(164)
4.3.1	Z 变换的收敛域	(165)
4.3.2	Z 变换与拉普拉斯变换的关系	(166)
4.3.3	常用序列的 Z 变换	(167)
4.3.4	Z 变换的性质	(168)
4.3.5	Z 逆变换	(172)
4.3.6	基于 MATLAB 的 Z 变换分析	(174)
	本章小结	(176)
	习题 4	(177)
第 5 章	离散时间系统分析	(179)
5.1	离散时间系统的描述及其响应	(179)
5.1.1	离散时间系统的描述	(180)
5.1.2	线性常系数差分方程的求解方法	(183)
5.1.3	线性常系数差分方程的经典解	(184)
5.1.4	零输入响应及零状态响应	(187)
5.2	卷积和应用	(190)
5.2.1	卷积和与零状态响应	(190)
5.2.2	单位响应	(191)
5.2.3	卷积和求零状态响应	(192)
5.2.4	基于 MATLAB 的离散系统时域分析	(193)
5.3	离散系统的 z 域分析	(199)
5.3.1	差分方程的 Z 变换求解方法	(199)
5.3.2	单位响应和系统函数	(201)
5.3.3	系统函数的零、极点与系统特性	(203)
5.3.4	数字滤波器简述	(206)
5.3.5	基于 MATLAB 的离散系统 z 域分析	(208)
	本章小结	(213)
	习题 5	(214)
附录 A	MATLAB 操作与使用	(216)
参考文献		(229)

第1章 信号与系统概述

内容提要

本章介绍信号的基本概念及其分类、系统的基本概念及其分类,并在此基础上讨论信号与系统的基本表示方法、基本分析方法和主要任务,并介绍信号与系统分析工具 MATLAB 的简单应用。

通过本章学习,读者能够建立信号与系统的总体概念,为后续章节的学习奠定基础。

信号与系统的概念贯穿在极为广泛的各种领域中,如音视频处理、图像处理、动态检测、通信、航天航空、生物工程等领域。尽管如此,信号与系统的核心问题是信息传递问题,它包括两个方面的内容,第一是将包含信息的信号,通过某种系统进行传送;第二是配合信息传送对信号进行变换与处理。以通信为例,从古老的通信系统(烽火、旗语、信号灯),近代通信系统(电报、电话、无线通信),到现代通信系统(计算机网络通信、视频电视传播、卫星传输、移动通信),它们都实现了信息传送的目标,但使用的手段或方法随技术的发展而日益复杂、先进,效果也日益迅捷、可靠。从广义上讲,信号是信息的载体,而系统则是信号传输与处理(亦即信息传输与处理)的过程与手段。现代信号与系统领域研究的主要内容不再是简单地传递信息,而是信息的获取、存储、传递、处理、识别与综合,其中,信号与系统的分析方法尤为重要,并随着信息技术的飞速发展在不断演变、发展与完善。

本章讨论信号与线性系统的基本概念和基本分析方法,着重引入信号与系统的数学描述及表示方法,为后续章节的学习奠定基础。

1.1 信号

所谓信息(Information)是指有待传递、交换、提取或存储的书面或口头内容,对获取者来说,这些内容是预先未知的。但纯粹的信息是无法表达或传递的,它必须以某种形式表现出来才能实现交流与传递,如语言、文字、图像、数据等。一般将语言、文字、图像、数据等以约定方式组成的符号统称为消息(Message)。可见,信息是消息的度量,特指消息中有意义的部分,即“有用的消息”,而消息是信息的表现形式。

为了有效地传递和利用消息,常需将消息转换成便于传输和处理的表达形式,这种表达形式即信号(Signal),它是反映信息或消息的物理量。信号常见的形式如声、光、色、电、力、位移、温度、湿度、速度、加速度等。这些信号的性质各不相同,有些是相互关联的,有些是相互独立的。虽然信号的表现形式多种多样,但是,它们都有一个共同点,即信号所包含的信息总是寄寓于某种变化形式的波形之中。例如,实际情况下,许多物理量值都随时间而变化,若以时间为横坐标,物理量值为纵坐标,便可以得到一种随时间变化的图形,这就是我们所说的信号波形。物理上,信号是信息寄寓变化的形式;数学上,信号可以表示为单个自变量或多个自变量的函数;形态上,信号表现为一种波形。总之,信号是运载与传递信息的

载体和工具，通常使用数学函数表示，也用曲线、数据组等来表达。

早期人们研究信号的目的是为了传递消息，为了使消息传送得更远、更快，人们找到了使用电信号传送消息的方法。所谓电信号，通常指随时间而变化的电压或电流，也可以是电荷、磁通或电磁波等。由于电信号使用极为广泛，而且它与非电信号的转换也极为方便，因此，本书将只讨论电信号。

1.1.1 信号的描述及分类

从广义上讲，信号是随时间变化的某种物理量。研究信号的方法是：首先，以数学函数表达式的方式表征该物理量的变化规律；然后，对函数表达式进行分析（如仿真、实验等），提取相应的特征量。本书主要讨论随时间变化的电压或电流信号，该信号通常表示为时间 t 的函数 $f(t)$ ，因此，“信号”与“函数”这两个名词常常通用。函数 $f(t)$ 的图像即为信号的图形表示，称为信号的波形。函数表达式与波形是描述信号的两种直观方法，随着问题的深入，还将使用频谱分析或其他正交变换的方法来描述与研究信号。

以信号所具有的时间函数特性来分类，信号可以分为确定信号与随机信号、连续信号与离散信号、周期信号与非周期信号、能量信号与功率信号，等等。

除了时间特性，信号具有的频率特性也是非常重要的，在第2章中将要讨论的频谱分析，采用傅里叶分析的方法将复杂信号分解为许多不同频率的正弦分量，每一正弦分量以其幅度与相位表征，形成频谱与频带。信号的频谱和信号的时间函数均包含了信号所携带的全部信息，频谱分析具有信号时间函数特性分析无可比拟的优点，广泛应用在现代信号分析中。

1. 确定信号与随机信号

确定信号是指一个可以表示为确定的时间函数的信号，即在函数的定义域内，指定任一时间值，就可以确定一相应的函数值，如图1.1(a)所示。例如，我们熟知的正弦信号、各种周期性脉冲信号等。

但是，实际的信号常常具有不可预知的不确定性，这类信号称为随机信号。随机信号不可以表示为一个确定的时间函数，当给定某一时间值时，其函数值并不确定，只能知道它取某一值的概率，如图1.1(b)所示。例如，通信信道中的干扰与噪声信号，雷达的目标反射信号等。随机信号的特征是具有“不确定性”或“事先不可预知性”。

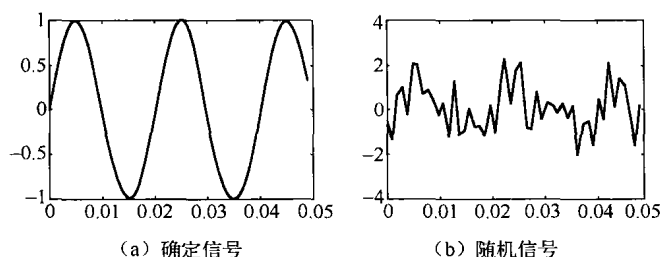


图 1.1 确定信号与随机信号

除了人为构造的规律信号之外，实际处理与传输的信号都是随机信号。例如，通信系统中传输的信号都是不确定的，一方面是信号传递过程中遭遇的干扰和噪声具有随机性，另一

方面,传递的信号本身的不可确定性是通信的意义所在。

但是,从研究信号出发,在一定条件下,可以把在较长时间内比较稳定的信号,近似地作为确定信号来分析,使分析简化,便于工程应用。确定信号是随机信号的一种抽象,只有在研究确定信号的基础上,根据随机信号的统计规律,应用概率、统计的方法和观点,才能把握和利用随机信号,本书只讨论确定信号的分析,在数字信号处理等后续课程中,将以确定信号的分析为基础,根据随机信号的统计规律进一步研究随机信号的特性。

对于确定信号,按其连续性可分为连续信号和离散信号;按其周期性可分为周期性信号和非周期性信号。

2. 连续信号与离散信号

按照时间函数取值的连续性和离散性可将信号划分为连续时间信号与离散时间信号,简称连续信号与离散信号。

连续信号是指在所讨论的时间段内,除有限个不连续点外,其余任意时刻都有确定的函数值的信号,通常用 $f(t)$ 表示,如图1.2所示。连续信号的幅值可以是连续的,如图1.2(a)所示,也可以是离散的,如图1.2(b)所示。只要时间变量 t 是连续的信号均可称为连续信号。

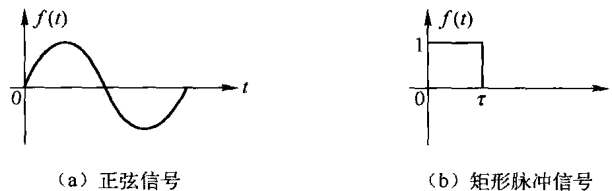


图 1.2 连续信号

与连续信号对应,代表离散信号的时间函数只能定义在一组离散的规定值上,如整数值,而不能在其定义域内取任意值,如图1.3所示。在规定值以外的数值上自变量是没有意义的,此时信号的时间函数没有定义。离散信号的自变量一般都取整数值,这种信号也常以序列相称,通常,将离散信号自变量的取值时刻称为样点,而将离散信号的函数值称为样值。

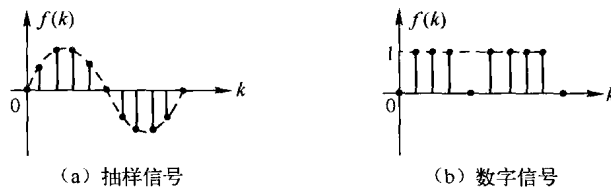


图 1.3 离散信号

给出函数值的离散时刻间隔可以是均匀的,也可以是不均匀的。本书讨论均匀间隔的离散信号,通常用 $f(t_k)$ 表示,简写为 $f(k)$ (k 取整数值,即 $k=0, \pm 1, \pm 2, \dots$)。

如果离散信号的幅值是连续的,则又可取名为抽样信号,如图1.3(a)所示。若离散信号的幅值也被量化为某些规定的离散值,这种信号又称为数字信号,如图1.3(b)所示。在数字通信和计算机系统中传输和处理的就是数字信号。

3. 周期信号与非周期信号

确定信号又分为周期信号与非周期信号。所谓周期信号就是其变化规律依一定时间间隔周而复始且无始无终的信号，如图 1.4(a) 所示。时间间隔的最小值称为周期信号的周期 T 。周期信号的表示式可以写为：

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

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

式(1-1)为连续周期信号，式(1-2)为离散周期信号

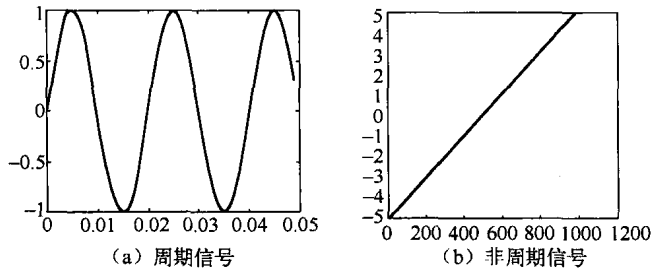


图 1.4 周期信号与非周期信号

只要给出周期信号在任一周期内的变化过程，便可知道该信号在任意时刻的数值。周期信号的基本特点有两个，即重复性与无限性。在实际工作中，这样严格的周期信号是不存在的，只要在较长时间内按照某一规律重复变化的信号均可看做周期信号。

如果信号不同时具有重复性和无限性，则为非周期信号，如图 1.4(b) 所示。实际信号大多是非周期信号。非周期信号也可以看做是周期 T 趋于无穷大的周期信号。

4. 能量信号与功率信号

按照信号的能量特性或时间信号的可积性可以将信号分为能量信号、功率信号、非能量信号、非功率信号。

如果将信号 $f(t)$ 看做是随时间变化的电压或电流， $f(t)$ 在 1Ω 电阻上的瞬时功率为 $f^2(t)$ 。在时间区间 $(-\infty, +\infty)$ 内，信号在 1Ω 电阻上所消耗的总能量为：

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

平均功率为：

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

从式(1-3)和式(1-4)可看出，若信号 $f(t)$ 的能量 E 为有限值，平均功率 P 必为零，无法从平均功率去考察该信号，此信号称为能量有限信号，简称能量信号；若信号 $f(t)$ 的能量 E 为无穷大，平均功率 P 必为有限值，无法从总能量进行考察，此信号称为功率有限信号，简称功率信号；若信号 $f(t)$ 的能量 E 和平均功率 P 均为无穷大，则此信号既非能量信号也非功率信号。一个信号不可能既是能量信号又是功率信号。

显然，周期信号都是功率信号；而非周期信号可以是能量信号或功率信号，也可以是既非

能量信号也非功率信号，这取决于信号的具体函数表达。对于只存在于有限时间内的非周期信号必定为能量信号，它在有限时间范围内有一定的数值，而当 $t \rightarrow \infty$ 时，信号 $f(t) \rightarrow 0$ ，如图 1.5(a) 所示；属于功率信号的非周期信号是持续时间无限而幅度有限的信号，如图 1.5(b) 所示；持续时间无限，幅度也无限的非周期信号则既非能量信号也非功率信号，如图 1.5(c) 所示的单位斜坡信号 $f(t) = t \cdot U(t)$ 。

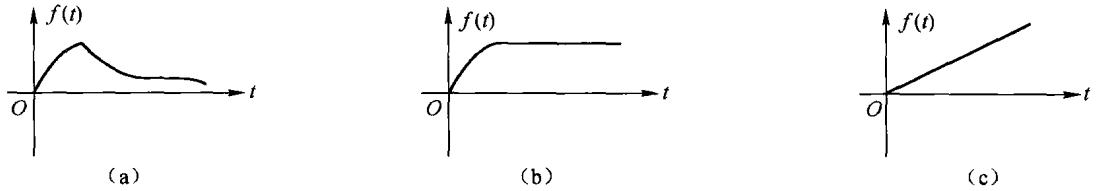


图 1.5 三种非周期信号

1.1.2 信号的基本运算与变换

信号在系统中传输与处理的过程就是进行信号变换与运算的过程。信号通过系统各部件时，会进行相应的运算和变换组成，系统的功能部件通常包括加法器、乘法器、放大器、积分器、微分器和延时器等。因此，掌握信号的各种基本运算及其对应的波形变化是非常重要的。

1. 信号的相加与相乘

两个信号相加(相乘)可得到一个新的信号，它在任意时刻的值等于两个信号在该时刻的值之和(积)。信号的相加与相乘运算可通过信号的表达式或信号的波形进行。

信号相加与相乘的框图如图 1.6 所示。

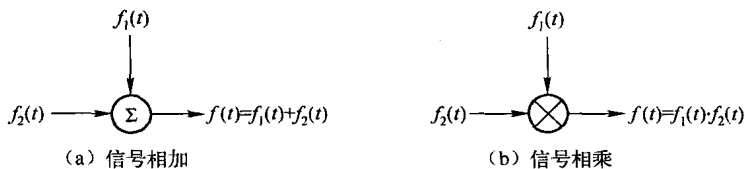


图 1.6 信号相加与相乘框图

图 1.7 所示是一个通信系统模型。在通信系统中，一个无线信道通常就可以看成是一个加法器，通信系统的收端得到的是传输信号与噪声信号的叠加。通信系统的变换器/反变换器在对信号进行的调制、解调及信号的取样过程中，就经常遇到两信号的相乘运算。

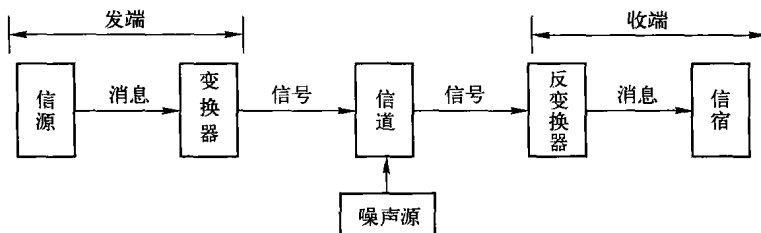


图 1.7 通信系统模型

2. 信号的微分与积分

信号 $f(t)$ 的微分是指 $f(t)$ 对时间 t 的导数, 记为 $f'(t)$, 即

$$f'(t) = \frac{d}{dt} f(t) \quad (1-5)$$

从波形上看, 信号的微分表示信号值随时间变化的变化率。

信号 $f(t)$ 的积分是指 $f(t)$ 在时间区间 $(-\infty, t)$ 内的定积分, 记为 $f^{(-1)}(t)$, 即

$$f^{(-1)}(t) = \int_{-\infty}^t f(\tau) d\tau \quad (1-6)$$

从波形上看, 信号在 $f(t)$ 时刻的积分表示在时间区间 $(-\infty, t)$ 内, 信号 $f(t)$ 与时间轴所包围的面积。

图 1.8 和图 1.9 分别示出信号微分与积分运算的例子。由这两个例子可见, 信号经微分运算后突出显示了它的变化部分, 而信号经积分运算后, 突变部分可变平滑。



图 1.8 信号的微分



图 1.9 信号的积分

3. 信号的时移

信号 $f(t)$ 时移 $\pm t_0$ ($t_0 > 0$), 就是将 $f(t)$ 表达式中所有自变量 t 用 $t \pm t_0$ 替换, 成为 $f(t \pm t_0)$ 。从波形上看, 时移信号 $f(t + t_0)$ 的波形比 $f(t)$ 的波形在时间上超前 t_0 , 即 $f(t + t_0)$ 的波形是 $f(t)$ 的波形沿时间轴向左移动 t_0 ; $f(t - t_0)$ 的波形比 $f(t)$ 的波形在时间上滞后 t_0 , 即 $f(t - t_0)$ 的波形是 $f(t)$ 的波形沿时间轴向右移动 t_0 。

图 1.10 表示一个正弦信号的时移。信号的时移在雷达、声纳和地震信号处理中经常遇到。

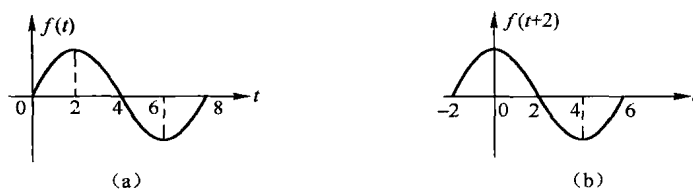


图 1.10 信号的时移

4. 信号的反转

信号 $f(t)$ 的反转, 就是将 $f(t)$ 表达式中的自变量 t 用 $-t$ 替换, 成为 $f(-t)$ 。从波形上看, 反转信号 $f(-t)$ 的波形相当于将 $f(t)$ 的波形以 $t=0$ 为轴反转 180° 得到, 即 $f(-t)$ 的波形是 $f(t)$ 的波形相对于纵轴的镜像。

图 1.11 示出了一个正弦信号的反转。

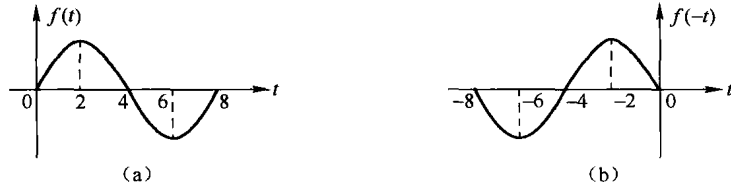


图 1.11 信号的反转

5. 信号的尺度变换

信号的尺度变换就是把信号 $f(t)$ 中的自变量 t 用 at 替换, 成为 $f(at)$ 。其中 a 是正实系数, 称为尺度变换系数。信号 $f(at)$ 的波形是 $f(t)$ 波形的压缩 ($a > 1$) 或扩展 ($a < 1$)。

图 1.12 给出了一个正弦信号波形的压缩和扩展的例子。

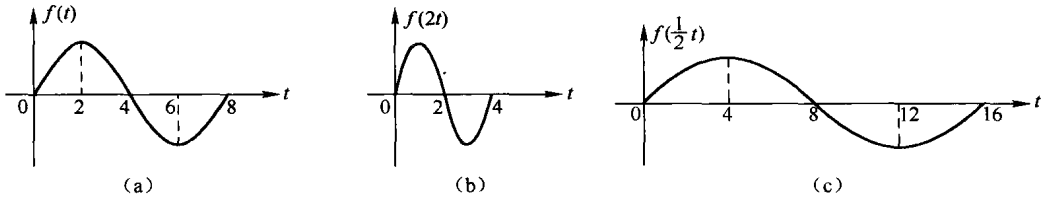


图 1.12 信号的尺度变换

以上讨论的信号变换都是针对自变量 t 而言的, 变换后信号波形的基本形状并没有改变。然而, 信号自变量的变化常常是一个综合过程, 如把信号 $f(t)$ 中的自变量 t 用 $at + b$ 代替得到信号 $f(at + b)$ 。普通信号综合变换的一般步骤:

- (1) 若 $f(t)$ 变换为 $f(at + b)$, 则先反转, 后展缩, 再平移。
- (2) 若 $f(at + b)$ 变换为 $f(t)$, 则先平移, 后展缩, 再反转。
- (3) 若 $f(mt + n)$ 变换为 $f(at + b)$, 则先将 $f(mt + n)$ 变换为 $f(t)$, 再进行 $f(t)$ 变换为 $f(at + b)$ 的工作。

例 1.1 已知信号 $f(t)$ 的波形如图 1.13 所示, 试画出 $f(0.5t - 1)$ 和 $f(-2t + 2)$ 的波形。

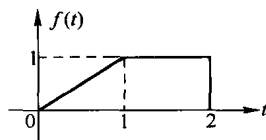


图 1.13 例 1.1 图

解：信号变换的过程如图 1.14 和图 1.15 所示。

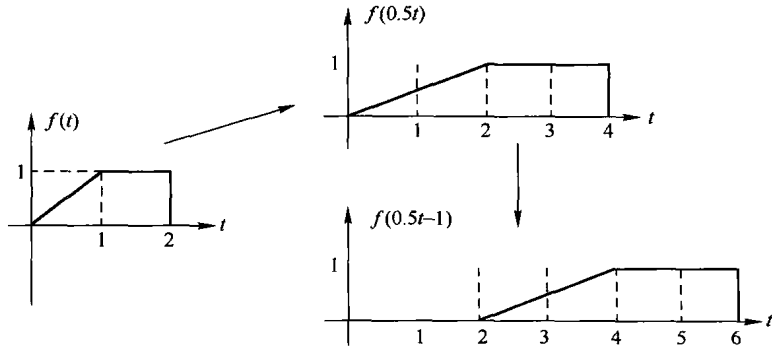


图 1.14 $f(0.5t-1)$ 信号的波形变化过程

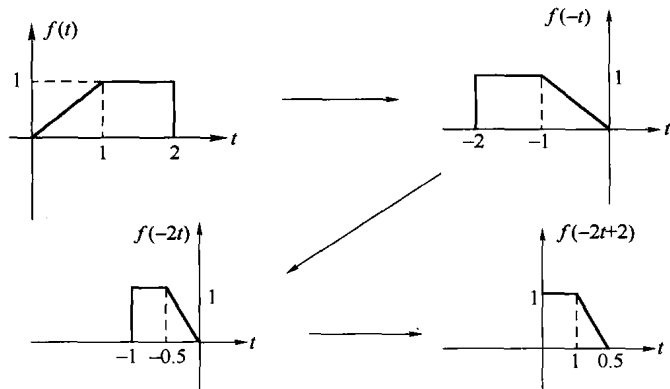


图 1.15 $f(-2t+2)$ 信号的波形变化过程

1.2 系统

广义地说，系统是由若干相互作用和相互依赖的单元组合而成的具有特定功能的整体，例如，通信系统、自动控制系统、计算机网络系统、电力系统、水利灌溉系统等。图 1.7 所示就是一个通信系统模型，它概括地反映了各种不同信号形式的消息传输系统的共性。

在各种系统中，电系统具有特殊的重要作用。这是因为电路元件便于安装，易于测量和成本低廉，更重要的是大多数的非电系统可以用电系统来模拟和仿真。因此，我们主要分析电系统。

系统有线性和非线性两类，本书仅分析线性系统。

1.2.1 系统的数学模型及其分类

研究系统的重点在于研究功能单元的输入与输出的关系，通常将施加于系统的作用称为系统的输入激励，而将要求系统完成的功能称为系统的输出响应。系统输入和输出之间的关系可采用框图、列表、数学方程或它们之间的不同组合来表达，所有这些表达手段都可称之