

应用型本科“十二五”规划教材 | 电子信息类

信号与系统

李实秋 李文娟 主编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

应用型本科“十二五”规划教材 | 电子信息类

信号与系统

李实秋 李文娟 主编

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书按照高等工科院校“信号与系统”课程教学基本要求编写而成。全书共7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分析、频域分析和复频域分析;离散信号与系统的时域分析和 z 域分析;系统的状态变量分析等。

每章均附有与内容密切配合的习题,书末附有习题答案。

本书可作为高等工科院校通信工程、电子信息工程、自动化、计算机科学与技术等专业“信号与系统”课程的教材,也可供本学科及其相近学科的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统/李实秋,李文娟主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2015.1

应用型本科“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3535 - 4

I. ① 信… II. ① 李… ② 李… III. ① 信号系统—高等学校—教材
IV. ① TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 004022 号

策划编辑 陈 婷

责任编辑 陈 婷

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)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2015年1月第1版 2015年1月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 17

字 数 412千字

印 数 1~3000册

定 价 32.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3535 - 4/TN

XDUP 3827001 - 1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

“信号与系统”课程是高等工科院校通信与电子信息类专业本科生必修的专业基础课之一。它的任务是研究信号与线性系统理论的基本概念和基本分析方法，为学生学习专业课奠定基础。

近年来，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已渗透到电子科学技术领域的各个学科。为了适应新的发展，各院校依据教育部《关于组织实施“高等工程教育教学内容和课程体系改革计划”的通知》，相继修订了新一轮的教学计划，调整了教材内容，以适应迅速发展的现代社会对通用型人才培养的需求。鉴于此，编者根据多年来长期从事“电路分析基础”、“信号与系统”、“电子电路基础”和“数字电路与逻辑设计”等课程的教学经验及体会，编写了本书。

本书在内容选材上立足于“强化基础，精选内容”的原则，在内容组织上按先“连续”后“离散”的方式进行讨论，尽量做到由浅入深，循序渐进，重点突出；在内容编写和文字叙述上力求做到基本概念讲述清晰，语言流畅易懂，例题讲解透彻。本书各章结合知识点均配有典型例题和大量的精选习题，旨在帮助读者在巩固基础知识的同时有效地拓宽思路，提高分析问题和解决问题的能力。

本书共7章，着重讲述信号与线性时不变系统的基本概念、基本理论和基本分析方法。其中，第1~4章为连续信号与系统的基本概念和基本分析方法，主要讲述了信号和系统的描述及其分类，信号的基本运算，连续系统的时域模拟，连续信号与系统的时域分析、频域分析和复频域分析；第5~6章为离散信号与系统的基本概念和基本分析方法，主要讨论了离散信号及基本运算，离散系统的数学模型，模拟、离散系统的时域分析和 z 域分析；第7章为系统的状态变量分析，讲述了状态和状态变量的概念、连续系统和离散系统状态方程的建立和求解。

本书第1章、第2章、第4章和第7章由李实秋老师执笔，第3章、第5章和第6章由李文娟老师执笔。本书的参考教学时数为64学时。各院校可根据各专业不同的教学要求作适当取舍。

本书在编写过程中得到重庆邮电大学移通学院领导的极大鼓励和支持，在此表示感谢。与此同时，本书的编写也融入了本校从事信号与系统课程教学的各位老师多年的教学实践成果，在此致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请广大同行和读者批评指正。

编 者

2014年8月

目 录

第 1 章 信号与系统的基本概念	(1)
1.1 绪言	(1)
1.2 信号的描述及其分类	(2)
1.2.1 信号的描述	(2)
1.2.2 信号的分类	(2)
1.3 信号的基本运算	(5)
1.3.1 信号的相加与相乘	(5)
1.3.2 信号的时移、反折和尺度变换	(6)
1.3.3 信号的微分与积分	(8)
1.4 系统的描述及其分类	(9)
1.4.1 系统的概念	(9)
1.4.2 系统的数学模型	(9)
1.4.3 系统的分类	(10)
1.5 连续系统的时域模拟	(14)
1.5.1 基本运算器	(15)
1.5.2 连续系统的模拟框图	(15)
1.6 线性非时变系统分析方法概述	(18)
习题 1	(19)
第 2 章 连续信号与系统的时域分析	(22)
2.1 冲激函数及其性质	(22)
2.1.1 阶跃函数和冲激函数	(22)
2.1.2 冲激函数的性质	(24)
2.1.3 冲激偶及其性质	(26)
2.2 系统的冲激响应	(29)
2.3 信号的时域分解和卷积积分	(32)
2.3.1 信号的时域分解	(32)
2.3.2 时域卷积分析法	(33)
2.4 卷积的基本计算方法	(33)
2.4.1 卷积的函数式算法	(33)
2.4.2 卷积的图解法	(34)
2.5 卷积的性质	(38)
2.5.1 卷积的运算性质	(38)
2.5.2 与冲激函数或阶跃函数的卷积	(40)

2.6 连续系统的时域分析	(44)
习题 2	(46)
第 3 章 连续信号与系统的频域分析	(50)
3.1 周期信号的描述	(50)
3.2 周期信号的傅里叶级数分析	(51)
3.2.1 三角函数型傅里叶级数	(51)
3.2.2 指数型傅里叶级数	(53)
3.3 周期信号的频谱和功率谱	(55)
3.3.1 周期信号的单边频谱和双边频谱	(55)
3.3.2 周期信号的平均功率和功率谱	(60)
3.4 非周期信号的频谱	(61)
3.4.1 从傅里叶级数到傅里叶变换	(61)
3.4.2 频谱函数 $F(\omega)$ 的物理意义及其特性	(62)
3.4.3 傅里叶变换的存在性	(63)
3.5 典型信号的傅里叶变换	(64)
3.6 傅里叶变换的性质	(70)
3.7 周期信号的傅里叶变换	(80)
3.8 能量谱密度与功率谱密度	(82)
3.8.1 能量谱密度	(82)
3.8.2 功率谱密度	(83)
3.9 连续系统的频域分析	(85)
3.9.1 系统函数 $H(\omega)$ 的定义和傅里叶变换分析法	(85)
3.9.2 系统函数 $H(\omega)$ 的求取	(86)
3.9.3 傅里叶变换分析法举例	(87)
3.10 信号的无失真传输和理想低通滤波器	(89)
3.10.1 无失真传输条件	(90)
3.10.2 理想低通滤波器	(91)
3.11 取样定理	(94)
3.11.1 时域取样	(94)
3.11.2 时域取样定理	(96)
3.11.3 自然取样和理想取样	(97)
习题 3	(99)
第 4 章 连续信号与系统的复频域分析法	(110)
4.1 拉普拉斯变换	(110)
4.1.1 从傅里叶变换到拉普拉斯变换	(110)
4.1.2 拉普拉斯变换的收敛域	(111)
4.2 典型信号的拉普拉斯变换	(112)
4.3 拉普拉斯变换的性质	(114)
4.4 拉普拉斯反变换	(125)

4.4.1 部分分式展开法	(125)
4.4.2 留数法	(130)
4.5 拉普拉斯变换与傅里叶变换的关系	(132)
4.6 系统函数 $H(s)$	(134)
4.6.1 系统函数 $H(s)$ 的定义	(134)
4.6.2 系统函数 $H(s)$ 的求取方法	(135)
4.6.3 系统框图化简	(136)
4.7 连续系统的复频域分析	(139)
4.7.1 微分方程的复频域解	(139)
4.7.2 电路的复频域分析	(141)
4.8 由系统函数的零、极点分布分析系统特性	(144)
4.8.1 系统函数的零点与极点概念	(144)
4.8.2 由系统函数的零、极点分布确定系统的时域特性	(145)
4.8.3 由系统函数的零、极点分布确定系统的频率响应特性	(147)
4.9 连续系统的稳定性	(151)
4.9.1 稳定系统的概念	(151)
4.9.2 连续系统的稳定准则	(152)
4.10 连续系统的信号流图	(155)
4.10.1 连续系统的信号流图表示	(155)
4.10.2 梅森公式	(158)
习题 4	(165)
第 5 章 离散信号与系统的时域分析	(165)
5.1 离散时间信号及基本运算	(165)
5.1.1 离散时间信号的描述	(165)
5.1.2 离散信号的一些基本运算	(166)
5.1.3 常见的离散信号	(168)
5.2 离散系统的数学模型和模拟	(172)
5.2.1 离散系统的数学模型——差分方程	(172)
5.2.2 离散系统的时域模拟	(173)
5.3 离散系统的零输入响应	(175)
5.4 离散系统的零状态响应	(179)
5.4.1 离散信号的时域分解与卷积和	(179)
5.4.2 卷积和的计算方法	(181)
5.4.3 利用卷积和求零状态响应	(183)
习题 5	(188)
第 6 章 离散信号与系统的 z 域分析	(193)
6.1 Z 变换	(193)
6.1.1 Z 变换的定义	(193)
6.1.2 Z 变换的收敛域	(194)

6.1.3 典型离散信号的 Z 变换	(196)
6.2 Z 变换的性质	(197)
6.3 Z 反变换	(203)
6.4 Z 变换与拉普拉斯变换的关系	(206)
6.5 离散系统的 z 域分析	(208)
6.6 系统函数 $H(z)$ 与系统特性	(211)
6.6.1 系统函数 $H(z)$ 的定义	(211)
6.6.2 由系统函数 $H(z)$ 的极点分布确定系统的时域特性	(211)
6.6.3 离散系统稳定性判别	(213)
6.7 离散系统的频率响应特性	(215)
6.8 离散系统的 z 域模拟和信号流图	(218)
6.8.1 离散系统的 z 域模拟	(218)
6.8.2 离散系统的信号流图表示	(219)
习题 6	(220)
第 7 章 系统的状态变量分析	(225)
7.1 状态和状态变量	(225)
7.2 连续系统状态方程的建立	(227)
7.2.1 由电路图建立状态方程	(227)
7.2.2 由系统的输入—输出方程建立状态方程	(229)
7.2.3 由系统模拟框图或信号流图建立状态方程	(231)
7.3 离散系统状态方程的建立	(235)
7.4 连续系统状态方程的复频域解	(237)
7.5 离散系统状态方程的 z 域解	(241)
习题 7	(243)
部分习题答案	(248)
参考文献	(264)

第1章 信号与系统的基本概念

1.1 绪言

信号与系统的概念,几乎所有的技术领域都涉及,从家庭设备到非常尖端的工程革新。随着科学技术的发展,信号的形式不断增多(语音、图像、数据、文字等),对信号传输与处理的要求不断更新,系统的规模和功能日益庞大和复杂。

在社会活动或日常生活中,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。我们将这些具有某种内容的语言、文字、图像和数据等统称为消息。消息中有意义的内容称为信息,信息是消息的一种量度。

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。根据其物理形态的不同,信号分为电信号、声信号、光信号等。例如,钟楼的报时钟声和轮船的汽笛声是声信号,交通路口的红绿灯是光信号,无线广播电台和电视台发射的电磁波是电信号,等等。不同形态的信号之间可以相互转换,例如,以亮度和色彩变化表示的光信号可以转换成以电压或电流表示的电信号;反之,电信号也可以转换成光信号。在各种信号中,电信号是一种便于传输、控制和处理的信号。同时,在实际应用中,许多非电信号(如温度、压力、位移、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。

系统是指由若干相互联系、相互作用的事物组合而成的具有某种功能的整体,如通信系统、控制系统和计算机系统等。系统的主要任务是对输入信号进行传输和处理,将其转换成需要的信号输出。

一般说来,一个实用系统都是由若干个子系统组成的,每个子系统有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整体功能。以通信系统为例,其系统组成框图如图 1.1-1 所示。发送端信号源发出的非光电信号经过变换器转变为光信号或电信号进入信道传输,接收端的反变换器将信号还原成非光电信号,最后被信宿接收。



图 1.1-1 通信系统模型

“信号与系统”课程的主要内容包括信号分析和系统分析。信号分析侧重于讨论信号的描述、特性、运算和变换;系统分析则着眼于研究系统模型、系统描述以及在给定系统的条件下求取输入(激励)所产生的输出(响应)。

本章讨论有关信号与系统的定义、分类方法和基本特性；着重介绍信号的函数表示与波形表示；介绍系统的模型及系统的模拟；最后，对线性时不变系统的分析方法作一概述，以便为学习全书打下基础。

1.2 信号的描述及其分类

1.2.1 信号的描述

人类的社会活动离不开传递消息。现代人们利用电报、电话、无线电广播与电视，以及目前迅速发展的以因特网为代表的信息网络技术等等进行通信，其目的都是要把某些消息借助一定形式的信号传送出去，给对方以信息。

那么，什么是信号(Signal)? 广义地说，信号是随时间变化的某种物理量。在通信技术中，一般将语言、文字、图像或数据等统称为消息(Message)，在消息中包含有一定数量的信息(Information)。但是，消息的传送一般都不是直接的，它必须借助于一定形式的信号(光信号、声信号、电信号等)才能远距离地快速传输和进行各种处理。因而，信号是消息的表现形式，它是通信传输的客观对象，而消息则是信号的具体内容，它蕴藏在信号之中。本课程只讨论应用广泛的电信号，它通常是随时间变化的电压或电流，在某些情况下，也可以是电荷或磁通。由于信号是随时间而变化的，在数学上可以用时间 t 的函数 $f(t)$ 来表示，因此“信号”与“函数”两个名词常常通用。

信号的特性可以从两个方面描述，即时间特性和频率特性。信号可写成数学表达式，即信号是时间 t 的函数，它具有一定的波形，因而表现出一定的时间特性，如出现时间的先后、持续时间的长短、重复周期的大小及随时间变化的快慢等。另一方面，通常遇到的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，即具有一定的频率成分，因而表现为一定波形的频率特性，如各频率分量的相对大小、主要频率分量占有的范围等。

信号的形式之所以不同，就在于它们各自有不同的时间特性和频率特性，而信号的时间特性和频率特性有着对应的关系，不同的时间特性将导致不同的频率特性的出现。

1.2.2 信号的分类

信号可以从不同的角度进行分类。

1. 确定信号和随机信号

按时间函数的确定性划分，信号可分为确定信号和随机信号两类。

确定信号(Determinate Signal)是指可用一确定的时间函数描述的信号，对于指定的某一时刻，有一确定的函数值。如我们熟知的正弦信号、周期脉冲信号等。

随机信号(Random Signal)则与确定信号不同，不能给出确定的时间函数表达式，只能用概率统计的方法描述，如噪音信号、干扰信号等。

实际传输的信号几乎都具有不可预知的不确定性，因而都是随机信号。例如，通信系统中传输的信号带有不确定性，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不知道的，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要受到各种干扰和噪声的影响,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,近似地看成确定信号,使分析简化,便于工程上的实际应用。本课程只讨论确定信号的分析,它也是研究随机信号特性的重要基础。

2. 连续信号和离散信号

按照函数时间取值的连续性划分,确定信号可分为连续时间信号和离散时间信号,简称连续信号和离散信号。

连续信号(Continuous Signal)是指在所讨论的时间范围内,除若干个不连续点外都有定义的信号,通常用 $f(t)$ 表示,如图 1.2-1 所示。

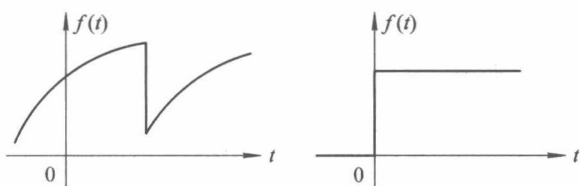


图 1.2-1 连续时间信号

离散信号(Discrete Signal)是指仅在一些离散时刻有定义,而在其它时刻没有定义的信号,通常用 $f(t_k)$ 或 $f(k)$ 表示,如图 1.2-2 所示。

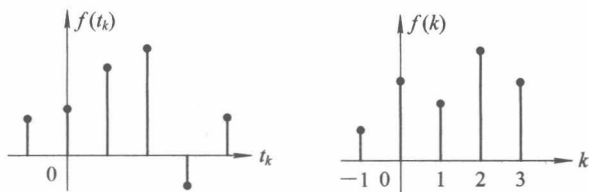


图 1.2-2 离散时间信号

3. 周期信号和非周期信号

按照信号的周期性划分,确定信号又可分为周期信号和非周期信号。

周期信号(Periodic Signal)是指每隔一定时间 T (称为周期)周而复始且无始无终的信号,如图 1.2-3 所示。它们的表达式可写为

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

满足此关系式的最小 T 值称为信号的周期。

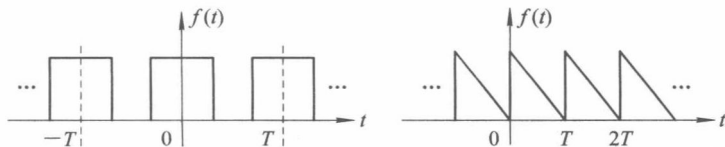


图 1.2-3 周期信号

非周期信号(Aperiodic Signal)在时间上不具有周而复始的特性,如图 1.2-4 所示。若令周期信号的周期 T 趋于无穷大,则周期信号变为非周期信号。

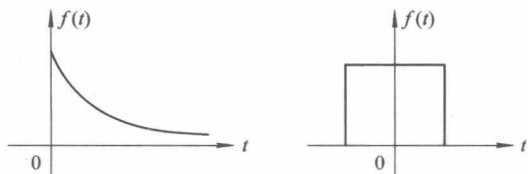


图 1.2-4 非周期信号

4. 能量信号和功率信号

信号按时间函数的可积性划分,可分为能量信号、功率信号和非功非能信号。

信号可看做是随时间变化的电压或电流。设信号电压或电流为 $f(t)$,它在 $1\ \Omega$ 电阻上的瞬间功率 $p(t) = |f^2(t)|$,在时间区间 $[-T, T]$ 消耗的能量为

$$E = \int_{-T}^T p(t) dt = \int_{-T}^T |f^2(t)| dt$$

当 $T \rightarrow \infty$ 时, $1\ \Omega$ 电阻所消耗的总能量定义为

$$E = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T |f^2(t)| dt \quad (1.2-1)$$

平均功率定义为

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T |f^2(t)| dt \quad (1.2-2)$$

基于上述定义,若信号 $f(t)$ 的总能量为有限值,即 $0 < E < \infty$,此时平均功率为零,即 $P = 0$,则称此信号为能量有限信号,简称能量信号(Energy Signal)。

若信号 $f(t)$ 的平均功率为有限值,即 $0 < P < \infty$,此时总能量为无穷大,即 $E = \infty$,则称此信号为功率有限信号,简称功率信号(Power Signal)。若信号 $f(t)$ 的平均功率为无穷大,即 $P = \infty$,总能量也为无穷大,即 $E = \infty$,则此信号为非功非能信号。

一个信号可以是既非功率信号,又非能量信号,但不可能同时既是功率信号,又是能量信号。因为根据定义能量信号平均功率为零,而功率信号总能量为无穷大。

一般说来,周期信号都是功率信号,非周期信号则可以是能量信号,也可以是功率信号,或者既非能量信号,又非功率信号。属于能量信号的非周期信号称为脉冲信号,它在有限时间范围内有一定的数值,而当 $t \rightarrow \infty$ 时,数值为 0,如图 1.2-5 所示。属于功率信号的非周期信号是 $|t| \rightarrow \infty$ 时仍然为有限值的一类信号,如图 1.2-6 所示。

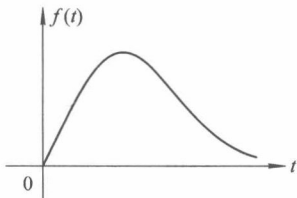


图 1.2-5 非周期能量信号

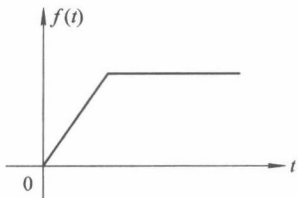


图 1.2-6 非周期功率信号

【例 1.2-1】 如图 1.2-7 所示信号,判断其是否为能量信号或功率信号。

解 图 1.2-7(a) 信号在时间区间 $[-\tau/2, \tau/2]$ 可表示为 $f_1(t) = 1$,将其代入式(1.2-1),有

$$E = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} 1^2 dt = \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\frac{\tau}{2} - \left(-\frac{\tau}{2} \right) \right] = \tau$$

所以该信号为能量信号。

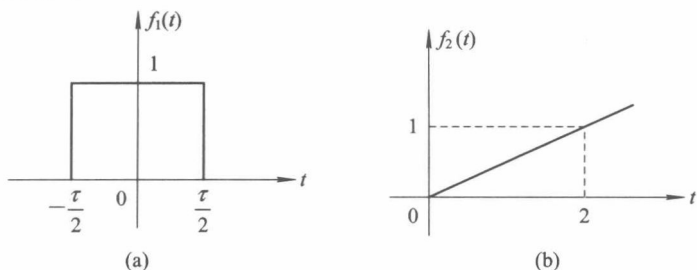


图 1.2-7 例 1.2-1 用图

图 1.2-7(b)信号在时间区间 $[0, \infty]$ 可表示为 $f_2(t) = \frac{1}{2}t$, 将其代入式(1.2-1)和式(1.2-2), 有

$$E = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_0^T \left(\frac{1}{2}t\right)^2 dt = \lim_{T \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{4} \times \frac{1}{3} T^3\right) = \infty$$

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} E = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \left(\frac{1}{12} T^3\right) = \infty$$

故信号 $f_2(t)$ 为非功非能信号。

1.3 信号的基本运算

信号的基本运算包括信号的相加、相乘、时移、反折、尺度变换以及微分与积分。

1.3.1 信号的相加与相乘

信号的相加与相乘运算是比较简单的运算。两个信号相加(或相乘)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(或积)。信号相加与相乘运算可以通过信号的波形或信号的表达式进行。

【例 1.3-1】 信号 $f_1(t)$ 和 $f_2(t)$ 的波形如图 1.3-1(a)所示, 试画出 $f_1(t) + f_2(t)$ 和 $f_1(t) \cdot f_2(t)$ 的波形, 并写出其表达式。

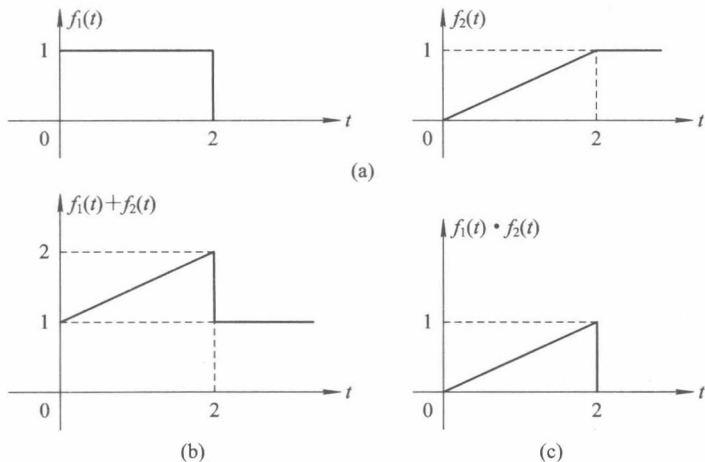


图 1.3-1 信号的相加与相乘

解 信号 $f_1(t) + f_2(t)$ 和 $f_1(t) \cdot f_2(t)$ 的波形分别如图 1.3-1(b) 和 (c) 所示。

$f_1(t)$ 和 $f_2(t)$ 的表达式为

$$f_1(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 & 0 < t < 2 \\ 0 & t > 2 \end{cases}$$

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

它们的和为

$$f_1(t) + f_2(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ \frac{1}{2}(t+2) & 0 < t < 2 \\ 1 & t > 2 \end{cases}$$

它们的积为

$$f_1(t) \cdot f_2(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ \frac{1}{2}t & 0 \leq t < 2 \\ 0 & t > 2 \end{cases}$$

1.3.2 信号的时移、反折和尺度变换

1. 信号的时移

将信号 $f(t)$ 的自变量 t 用 $t \pm t_0$ 替换, 成为 $f(t \pm t_0)$, 称这种变换为信号的时移或移位。从波形上看, 时移信号 $f(t - t_0)$ 的波形可通过将 $f(t)$ 的波形沿时间轴正方向(向右)移动 t_0 来确定; 而 $f(t + t_0)$ 的波形可通过将 $f(t)$ 的波形沿时间轴负方向(向左)移动来确定。图 1.3-2 分别给出了时移信号 $f(t+2)$ 和 $f(t-2)$ 的波形。

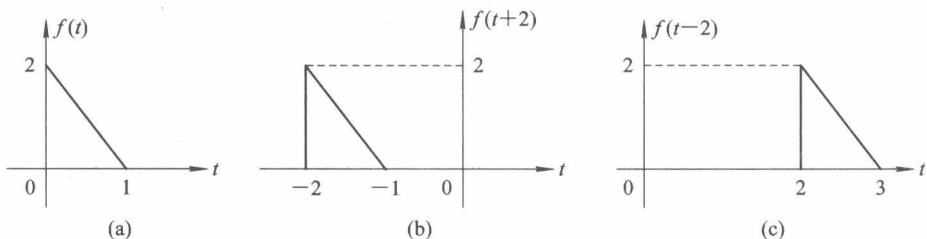


图 1.3-2 信号的时移

2. 信号反折(折叠)

将信号 $f(t)$ 的自变量 t 用 $-t$ 替换, 成为 $f(-t)$, 称这种变换为信号的反折。从波形上看, $f(-t)$ 的波形是 $f(t)$ 的波形相对于纵轴的镜像, 如图 1.3-3 所示。

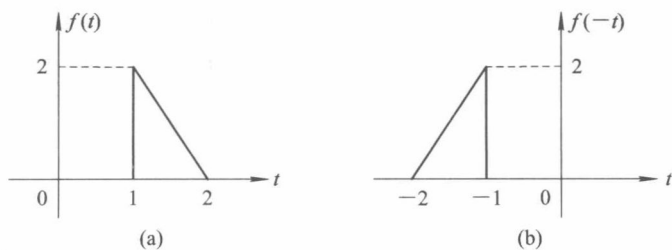


图 1.3-3 信号的反折

3. 信号的尺度变换

如果将信号 $f(t)$ 的自变量 t 乘以正实系数 a , 那么, 当 $a > 1$ 时, 信号 $f(at)$ 表示将 $f(t)$ 波形沿时间轴压缩为原来的 $\frac{1}{a}$; 当 $0 < a < 1$ 时, 信号 $f(at)$ 表示将 $f(t)$ 波形沿时间轴扩展 $\frac{1}{a}$ 倍。图 1.3-4 分别给出了 $a=2$ 和 $a=\frac{1}{2}$ 时 $f(t)$ 波形的压扩情况。

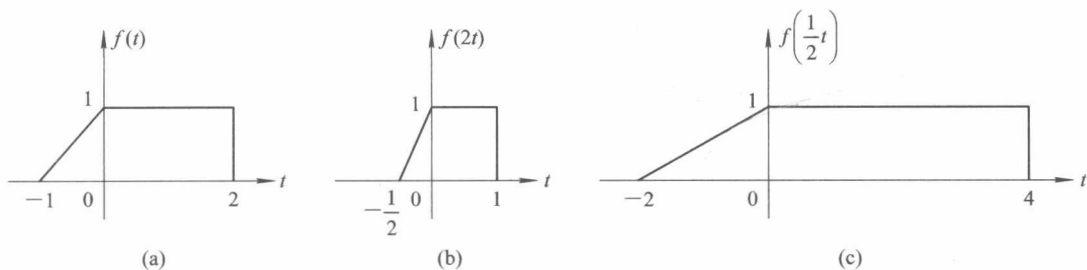


图 1.3-4 信号的尺度变换

【例 1.3-2】 已知信号 $f(t)$ 的波形如图 1.3-5(a) 所示, 试画出 $f(-2t+1)$ 的波形。

解 一般说来, 在时间轴尺度保持不变的情况下, 信号 $f(at+b)$ 的波形可以通过对信号 $f(t)$ 波形的时移、反折和压扩变换得到, 如图 1.3-5(b)、(c)、(d) 所示。

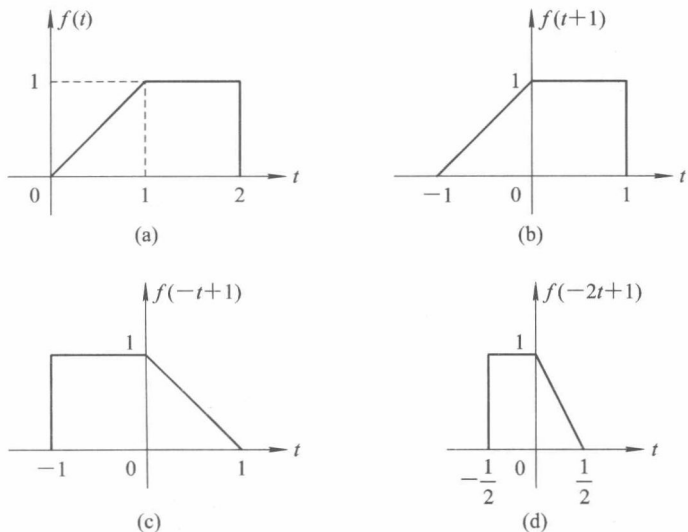


图 1.3-5 例 1.3-2 用图

当然，根据变换操作顺序不同，可用多种方法由 $f(t)$ 波形画出 $f(at+b)$ 的波形。此处，对信号进行时移、反折、压扩均采用是对变量 t 的代换。

1.3.3 信号的微分与积分

1. 信号的微分

信号 $f(t)$ 的微分运算是指 $f(t)$ 对时间 t 取导数，即

$$f'(t) = \frac{df(t)}{dt}$$

信号 $f(t)$ 经微分后突出显示了它的变化部分，如图 1.3-6 所示。尤其是 $f(t)$ 如果有跃变，微分后会出现冲激(第 2 章第 2.2 节介绍)，跃变的幅度值就是冲激的强度值，如图 1.3-7 所示。

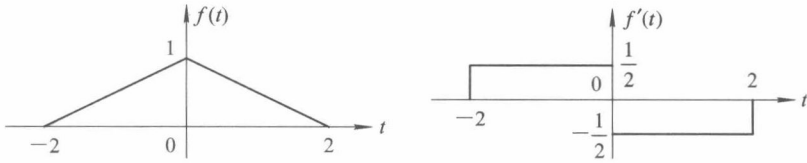


图 1.3-6 信号的微分用图(一)

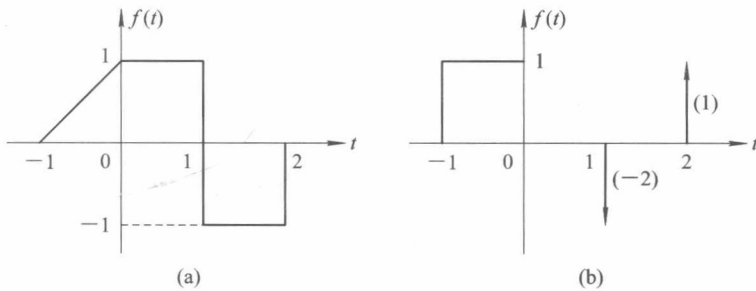


图 1.3-7 信号的微分用图(二)

2. 信号的积分

信号 $f(t)$ 的积分运算是指在 $(-\infty, t)$ 区间内的定积分，其表达式为

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

信号 $f^{(-1)}(t)$ 任意时刻的值为 $f(t)$ 波形在 $(-\infty, t)$ 区间上与时间轴所包围的面积。图 1.3-8 给出了信号 $f(t)$ 的积分运算波形。

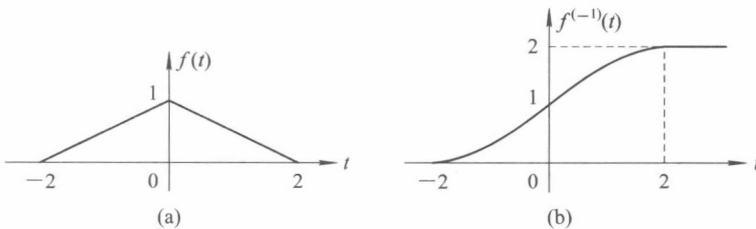


图 1.3-8 信号的积分

由波形可见, 信号经积分运算后其效果与微分相反, 信号的轮廓变得平缓, 利用这一作用可削弱信号中混入的毛刺(噪声)的影响。

1.4 系统的描述及其分类

1.4.1 系统的概念

什么是系统(System)? 广义地说, 系统是由一些“单元”按一定规则相互连接而组成的具有一定功能的整体。例如, 通信系统、自动控制系统、计算机系统、电力系统等。通常把系统的操作对象称为系统的输入或激励, 而把经过处理的结果称为系统的输出或响应。

例如, 通信系统的功能是传送消息, 它可抽象为由7个子系统依次连接而成的模型, 如图1.4-1所示。

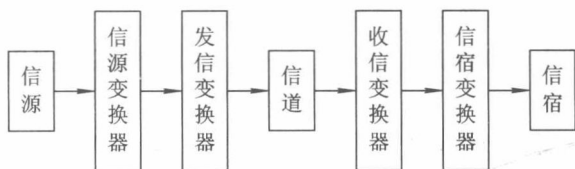


图 1.4-1 通信系统的组成

(1) 信源: 即消息源, 是消息传输系统的起点, 产生语言、文字、图像、数据等消息的人或设备。

(2) 信源变换器: 把消息转换为电信号的装置。但这样的信号还不完全适合于传输, 这个信号称为基带信号。

(3) 发信变换器: 为了使基带信号能有效地在相应的传输媒质(信道)中传输, 需要通过发信变换器, 将低频信号调制变换为高频信号才能通过空间传输, 这个信号称为调制信号。

(4) 信道: 信号传输的通道。

(5) 收信变换器: 信号经过信道, 由发信端传送到受信端, 为了得到它所携带的信息, 受信端必须将信号恢复成消息, 然后从消息中获知信息。这个变换是发信端变换的逆过程, 收信变换器将调制信号变换成基带信号。这个过程通常称为解调。

(6) 信宿变换器: 将基带信号变换成消息。

(7) 信宿: 即收信者, 是消息传送的终点。

1.4.2 系统的数学模型

分析一个实际系统, 首先要建立该系统的数学模型, 然后根据系统的初始状态和输入激励, 运用数学方法求出它的解答, 最后又回到实际系统, 对结果作出物理解释, 并赋予物理意义。所谓系统的模型是指对实际系统基本特性的一种抽象描述。它以数学表达式或具有理想特性的符号图形来表征系统的特性。

例如, 由电阻、电容和电感组成的串联回路, 可抽象表示为如图1.4-2所示的模型。若激励信号是电压源 $u_s(t)$,

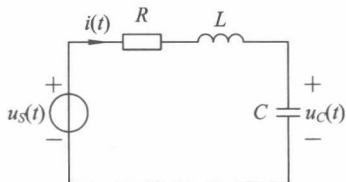


图 1.4-2 RLC 串联回路