



工业和信息化普通高等教育“十三五”规划教材立项项目
普通高等学校电子信息与通信工程规划教材

信号与系统

Signals and Systems

 赵建新 主编

HEUP 哈尔滨工程大学出版社



工业和信息化部
普通高等教育电子信

立项项目

信号与系统

Signals and Systems

王朋 白亚梅 胡金龙 计京鸿 宋长奇 赵建新 主编
副主编

HEUP 哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书针对信号与系统的关系进行了独立分析讲解,并联系实际,强化实践能力的培养,突出应用性和针对性。本书将理论分析和实际电路与实验进行紧密结合,使学生能够较容易地接受大篇幅的理论分析,并能够将书中内容有效地运用到后续课程及生活实践中。

全书共分9章,包括概论、连续时间系统的时域分析、连续信号的频域分析、连续系统的频域分析、连续系统的复频域分析、系统函数与系统特性分析、离散系统的时域分析、离散系统的 z 域分析、离散傅里叶变换等,并且书后还配有相关实内容。

本书适用面广,可作为高等院校电子、自动化、机电一体化、测控技术与仪器等专业的本科相关专业教材,也可作为广大从事信号检测与分析及系统设计工程技术人员的自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统/赵建新主编. -- 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 2016. 7

ISBN 978 - 7 - 5661 - 1289 - 7

I. ①信… II. ①赵… III. ①信号与系统 IV. ①TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 165137 号

责任编辑 张忠远 周一瞳

封面设计 恒润设计

出版发行 哈尔滨工程大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号

邮政编码 150001

发行电话 0451 - 82519328

传 真 0451 - 82519699

经 销 新华书店

印 刷 黑龙江龙江传媒有限责任公司

开 本 787mm × 1092mm 1/16

印 张 11.75

字 数 312 千字

版 次 2016 年 7 月第 1 版

印 次 2016 年 7 月第 1 次印刷

定 价 28.00 元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前言

PREFACE

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几乎毫无例外地进入了电子科学技术领域,包括网络理论、通信工程、信息工程、自动控制以及计算机科学技术等学科。不同学科之间相互影响、相互渗透、相互促进、共同发展是现代科学技术发展的重要特点。实际上,系统理论的引入已经使上述学科发生深刻的变化。新概念、新理论、新方法和新技术的大量涌现,推动了电子科学技术的巨大发展。信号与系统技术是在上述学科基础上建立起来的一门理论课程,目前已成为电子科学技术领域各学科共同的理论基础课程。

本课程主要研究信号与系统理论的基本概念和基本分析方法。初步让学生建立信号与系统的数学模型,用适当的数学分析方法求解,对所得结果给出物理解释。

学习本教材,读者应有一定的数学基础和电路基础。教材中涉及的数学内容主要包括微分方程、复变函数、线性代数等。本课程与先修课程电路分析联系密切,虽然有一些重复,但是分析问题的重点不同。

通过本课程的学习,希望能够激发学生对信号与系统学科方面的学习兴趣,使学生有信心适应这一领域日新月异发展的需求。本课程先修课程有模拟电子技术、电路分析、通信原理、自动控制、数字信号处理等。

全书共包括九章。其中第1章讲述信号和系统的概念和分类,第2章讲述连续时间系统的时域分析,第3章、第4章讲述连续信号和连续系统的频域分析,第5章讲述连续系统的复频域分析,第6章讲述系统函数域系统特性分析,第7章讲述离散系统的时域分析,第8章讲述离散系统在 z 域分析,第9章讲述离散傅里叶变换。

本书附录附有信号与系统实验内容,可以根据所学理论知识做相关的实验巩固理论。

本书由赵建新主编并统稿。第1章和第2章由王朋编写,第3章和第4章由胡金龙编写,第5章和第6章由赵建新编写,第7章由计京鸿编写,第8章和第9章由宋长奇编写,实验及附录由白亚梅编写。

由于编写水平有限,错误和疏漏之处在所难免,希望各位专家、读者批评指正。

编者

2016年7月

目 录

第1章 概论	1
1.1 引言	1
1.2 信号的基本概念	2
1.3 信号的基本运算	7
1.4 系统的基本概念	10
1.5 线性时不变系统的性质	13
第2章 连续时间系统的时域分析	15
2.1 引言	15
2.2 微分方程的建立与求解	15
2.3 起始点的跳变——从 0_- 到 0_+ 的转换	19
2.4 零输入响应和零状态响应	23
2.5 冲激响应与阶跃响应	27
2.6 卷积	32
2.7 卷积的性质	34
2.8 用算子符号表示微分方程	36
2.9 以分配函数的概念认识冲激函数 $\delta(t)$	38
第3章 连续信号的频域分析	40
3.1 信号的正交函数表示法	40
3.2 傅里叶级数	44
3.3 周期信号的频谱分析	48
3.4 非周期信号的频谱分析——傅里叶变换	53
3.5 傅里叶变换的基本性质	61
3.6 周期信号的傅里叶变换	70
第4章 连续系统的频域分析	74
4.1 引言	74
4.2 周期信号激励下系统的响应	74
4.3 非周期信号激励下系统的响应	77
4.4 系统函数	78
4.5 无失真传输及其条件	80
4.6 理想低通滤波器	82
4.7 抽样信号与抽样定理	86

4.8 调制与解调	89
第5章 连续系统的复频域分析	92
5.1 拉普拉斯变换	92
5.2 拉普拉斯变换的性质与应用	96
5.3 拉普拉斯反变换	99
5.4 LTI 系统的 s 域分析	103
第6章 系统函数与系统特性分析	109
6.1 系统函数 $H(s)$	109
6.2 系统函数的零、极点	113
6.3 连续系统的稳定性	114
第7章 离散系统的时域分析	118
7.1 离散时间信号	118
7.2 离散时间系统	120
7.3 常系数差分方程的求解	123
7.4 离散系统单位样值响应	125
7.5 离散卷积和	126
第8章 离散系统的 z 域分析	130
8.1 引言	130
8.2 z 变换的定义	130
8.3 z 变换收敛区及典型序列 z 变换	131
8.4 z 变换的性质定理	136
8.5 逆 z 变换	140
8.6 利用 z 变换求解差分方程	143
8.7 z 变换与拉普拉斯变换的关系	145
第9章 离散傅里叶变换	147
9.1 引言	147
9.2 离散傅里叶级数(DFS)	147
9.3 离散傅里叶变换(DFT)	151
9.4 离散傅里叶变换的性质	152
9.5 离散傅里叶变换与 z 变换的关系	156
实验一 函数信号发生器	158
实验二 信号分解与合成	164
实验三 信号的采样与恢复	168
实验四 模拟滤波器分析	171
附 录	174
参考文献	179

第 1 章 概 论

1.1 引 言

人们相互问讯、发布新闻、广播图像或传输数据,其目的都是要把某些消息通过一定的形式传出去。信号是消息的表现形式,消息则是信号的具体内容。

从古至今,人们寻求各种方法实现信号的传输。我国古代利用烽火传送边疆报警。希腊人也以火炬的位置表示字母符号。这种光信号的传输构成原始的光通信系统。利用击鼓鸣金可以报送时刻或传达命令,这是声信号的传输。之后,又出现了信鸽、旗语、驿站等传送消息的方法。然而,这些方法无论在距离、速度还是可靠性与有效性方面仍然没有得到明显的改善。19 世纪初,人们开始研究如何利用电信号传送消息。1837 年,莫尔斯发明了电报,他利用“·”“-”和空适当的组合表示字母和数字,这种代码称为莫尔斯电码。1876 年,贝尔发明了电话,直接将声信号转化为电信号沿导线传送,这一时代称为有线时代。19 世纪末,人们又致力于研究电磁波传送无线电信号。开始时,传送距离仅有数百米,1901 年,马可尼成功地实现了横渡大西洋的无线电通信,从此,传输电信号的通信方式得到广泛应用和迅速发展。如今,无线电信号的传输不仅能够飞越高山海洋,而且可以遍及全球并通向宇宙。例如,以卫星通信技术为基础构成的“全球定位系统”(Global Positioning System, GPS),可以利用无线电信号的传输测定地球表面和周围空间任意目标的位置,其精度可达数十米;杨立伟乘神舟五号上天时,我们从电视上可以很清楚地看到杨立伟的实时情况;我们可以使用手机在任何时间、任何地点,都能够和世界上其他人进行语音、图像、数据等各种信号的传输;我们上网所用的 QQ 聊天工具、微信聊天工具可以不分时间、不分地点和任何人进行信息交换。

要指出的是,现代通信系统的通信方式往往不是任意两点间信号的直接传输,而是利用某些集中转换设备组成复杂的信息网络,经所谓的“交换”功能实现任意两点之间的信号传输,如图 1.1 所示。

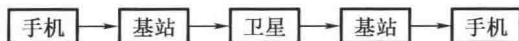


图 1.1 两点之间的信号传输结构图

信号传输、信号交换和信号处理相互密切联系(也可认为交换是属于传输的组成部分),又各自形成了相对独立的学科体系。它们共同的理论基础之一是研究信号的基本性能(进行信号分析),包括信号的描述、分解、变换、检测、特征提取以及为适应指定要求而进行信号设计。

“系统”是由若干相互作用和相互依赖的事物组合而成的具有特定功能的整体。在信息科学与技术领域中,常常利用通信系统、控制系统和计算机系统进行信号的传输、交换与处理。实际上,往往需要将多种系统共同组成一个综合性的复杂整体,例如宇宙航行系统。

通常,组成通信、控制和计算机系统的主要部件中包括大量的、多种类型的电路。电路也称作电网络或网络。

随着科学技术的发展,人工系统的规模日益庞大,内部结构也越来越复杂。人们致力于研究将系统理论用于系统工程设计,以期使较复杂的系统最佳地满足预定的要求。在此背景下,一门边缘技术科学出现了,这就是系统工程学。

系统或网络理论研究包括系统分析与系统综合(网络分析与网络综合)两个方面。在给定系统的条件下,研究系统对于输入激励信号所产生的输出响应,这是系统分析问题。系统综合则是按某种需要先提出对于给定激励的响应,而后根据此要求设计(综合)系统。分析与综合二者关系密切,但又有各自的体系和研究方法。一般来说,学习分析是学习综合的基础。

本书的讨论范围着重系统分析。我们以通信系统和控制系统的基本问题为主要背景,研究信号经系统传输或处理的一般规律,着重基本概念和基本分析方法。

1.2 信号的基本概念

1.2.1 信号的定义及分类

1. 信号的定义

按照《现代汉语词典》的定义,信号是“用来传递信息或命令的光、电波、声音、动作等”。也就是说,信号是运载与传递信息的载体与工具。物质的一切运动或形态的变化,广义地说都是一种信号,即信号是物质运动的表现形式。例如,我国古代用烽火台上的烽火与狼烟传递敌军入侵的消息即是信号。

广泛地说,信号是物质运动的表现形式,在通信系统中,信号是传送各种消息的工具。例如:钟摆在运动时产生了力信号、位移信号和噪声信号;我们的大脑和心脏会产生脑电信号和心电信号,当我们在思考问题时,脑电波就会杂乱无章,且波形频率非常高,而当我们睡觉时,我们的脑电波就会呈现周期变化,且频率较低(不包括做梦时)。信号的定义又引出了消息,消息是通过某种方式传递的声音、图像等信息。一般来说,信息是指具有新知识、新内容的消息,是排除消息中那些不确定性的东西。概括地说,信息与消息概念相同,但信息更抽象化。

在通信过程中,信号就是传送各种消息的工具。所谓消息,就是通过某种方式传送的声音、文字、图像、符号等。例如:电话中传送的声音是消息,电报中传送的电文是消息,电视系统中传送的图像是消息,雷达测出目标的距离、方位、速度等数据也是消息。通过各种消息的传递,受信者可以获取各种不同的信息。一般来说,信息是指具有新内容、新知识的消息,是排除消息中那些不确定性的东西,它既不是物质也不是能量,但它必须依附于物质和能量。

一般来说,传送消息的信号形式都是随时间变化的,如温度信号、压力信号、光信号、电信号等,它们反映事物在不同时刻的变化状态。由于电信号处理起来比较方便,所以工程上常把非电信号转化为电信号进行传输。本门课程中只研究电信号。

2. 信号的分类

(1) 确定性信号与随机信号

若信号被表示为一确定的时间函数,对于指定的某一时刻,可确定一个相应的函数值,这种信号我们称为确定性信号或规则信号,如矩形波函数、指数函数、余弦函数等。但是,在实际的通信系统中传输的信号如果都是确定的时间函数,接收者就不可能由它得知任何新的消息,这样就失去了通信的意义。所以,实际传输的信号往往具有不可预知的不确定性,这种信号称为不确定信号或随机信号。对于接收者而言,他所接收到的有用信号都是不确定信号。

例如,对于一个正弦信号来说,只要给出一个确定的时间 t_0 ,就可以得到一个确定的函数值 $\sin \omega t_0$ 。可见,正弦信号是一个确定信号。

此外,在信号的传输过程中,不可避免地要受到各种干扰和噪声的影响,这些干扰和噪声都具有随机特性。可见,严格意义上的确定信号实际上是不存在的,因此,随机信号的研究具有极为重要的实际意义。

对于随机信号,不能用确定的实际函数加以描述,只可能知道其在某一时刻取某一函数值的概率。

本书只讨论确定信号,但应该指出的是,随机信号及其通过系统的研究是以本书所讨论的确定信号通过系统的理论为基础的,图 1.2 给出了几种信号波形,其中图 1.2(a)~(e)所示为确定信号,图 1.2(f)为随机信号。

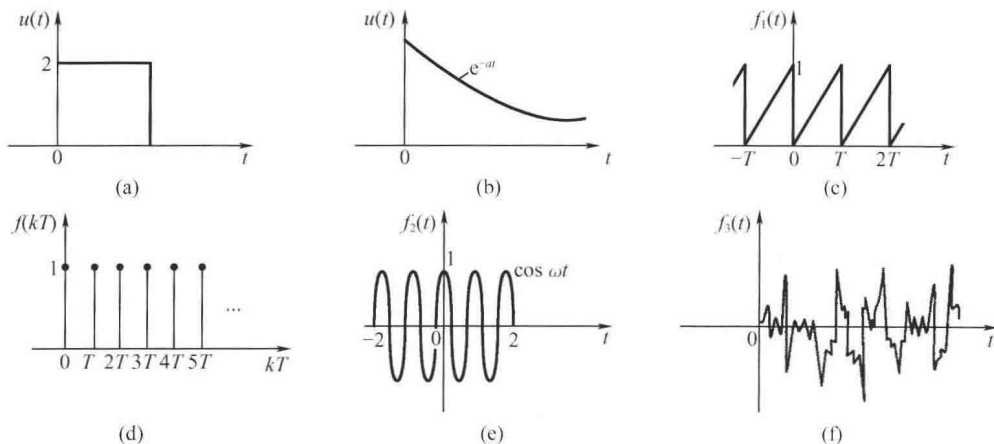


图 1.2 几种信号的波形

(2) 周期信号与非周期信号

确定信号又可分为周期信号与非周期信号。依一定时间间隔周而复始,而且无始无终的信号称为周期信号,可写为

$$f(t) = f(t + nT), \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1.1)$$

满足此关系的最小 T 值称为信号的周期。对于周期信号,只要给出此信号在任一周期内的变化过程,便可确定它在任意时刻的数值。

如图 1.3 所示,已知 $f(t)$ 的一个周期为 4,即 $T=4$,又知道 $f(t)$ 在 $[0, 2]$ 为 1,在 $(2, 4)$ 为 0,求 $f(5)$ 的值。

由以上条件可知

$$f(5) = f(1+4) = f(1) = 1 \quad (1.2)$$

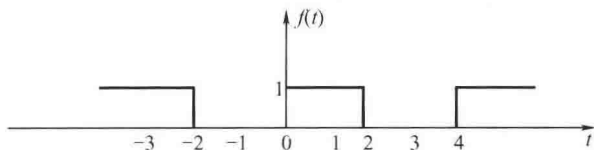


图 1.3 周期信号

非周期信号在时间上不具有周而复始的特性,若令周期信号的周期 T 趋于无限大,则称该信号为非周期信号。

(3) 连续时间信号与离散时间信号

若信号在所有连续时间值上均有定义,则称为连续时间信号,简称为连续信号或模拟信号。反之,若信号的取值仅在一些离散时间点上才有意义,则称为离散时间信号,简称为离散信号。

我们所熟悉的正弦信号,其表达式为

$$f(t) = \sin \omega t \quad (1.3)$$

显然,在时间 $-\infty < t < +\infty$ 内,它没有任何间断点,且在任意的确定时刻 t_0 都有确定的函数值 $\sin \omega t_0$ 。可见,正弦信号满足上述定义,因此是一个连续信号。

如图 1.4 所示,将上述正弦信号通过一个开关,这个开关每隔时间 T 就合上,瞬间后又断开,就得到一个离散信号,即

$$f(k) = f(kT) = \sin \omega kT, \quad k=0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1.4)$$

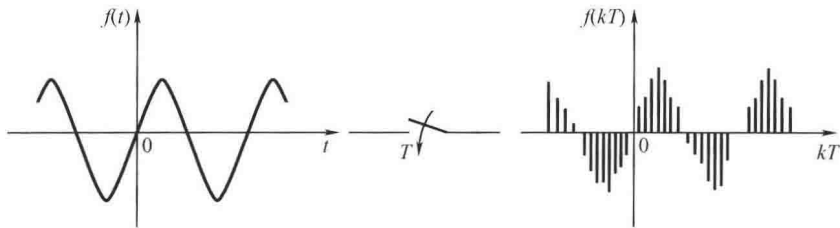


图 1.4 连续信号与离散信号

随着电子计算机的飞速发展与普及应用,以及对连续时间信号进行采样的各种技术与器件的发展,离散信号与系统的分析具有越来越重要的地位。

应该指出的是,尽管连续信号的自变量是连续变化的,而离散信号的自变量是离散取值的,但它们的函数值都是连续变化的。我们称自变量与函数值都连续变化的信号为模拟信号。

1.2.2 阶跃信号与冲激信号

在信号与系统分析中,经常要遇到函数本身有不连续点(跳变点)或其导数与积分有不连续点的情况,这类函数统称为奇异函数或奇异信号。

通常,我们研究的典型信号都是一些抽象的数学模型,这些信号与实际信号可能有差

距。然而,只要把实际信号按某种条件理想化,即可运用理想模型进行分析。本节将要介绍的奇异信号包括斜变、阶跃、冲激三种信号。其中,阶跃信号与冲激信号是两种最重要的理想信号模型。

1. 单位斜变信号

斜变信号也称斜坡信号或斜升信号,是指从某一时刻开始随时间正比例增长的信号。如果增长的变化率是1,就称作单位斜变信号,其波形图如图1.5所示,表示式为

$$f(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ t, & t > 0 \end{cases} \quad (1.5)$$

如果将起始点移至 t_0 ,则应写作

$$f(t-t_0) = \begin{cases} 0, & t < t_0 \\ t-t_0, & t > t_0 \end{cases} \quad (1.6)$$

其波形图如图1.6所示。

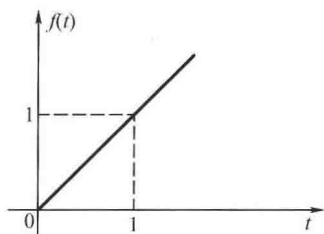


图 1.5 单位斜变信号

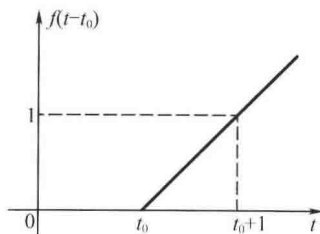


图 1.6 延迟的斜变信号

2. 单位阶跃信号

单位阶跃信号的波形图如图1.7所示,通常以符号 $u(t)$ 表示,表示式为

$$u(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t > 0 \end{cases} \quad (1.7)$$

在跳变点 $t=0$ 处函数值未定义,或在 $t=0$ 处规定函数值 $u(0) = \frac{1}{2}$ 。

对于这样的阶跃信号,当 $t < 0$ 时函数值为零则称之为因果信号,否则称为非因果信号。任何实际的物理信号都可以表示为一个因果信号,因为实际的信号总会有一个起始时间,如果把它的起始时间定为时间轴的零点,则它就是个因果信号。

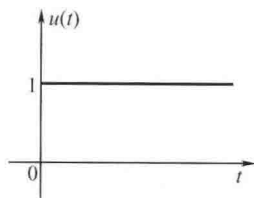


图 1.7 单位阶跃信号

任何非因果信号都可以乘以一个单位阶跃信号变成一个因果信号。当 $t > 0$ 时,不改变信号原有的任何特性;当 $t < 0$ 时,将原信号置为0,可以使其成为一个因果信号。按照周期信号的定义,因果信号不可能是周期的,因为因果信号都是有始的,而不像周期信号定义所要求的那样无始无终。图1.8(a)所示的周期正弦信号就是一个非因果信号,乘以单位阶跃信号之后,转变成图1.8(b)中的因果信号。

3. 单位冲激信号

冲激函数的提出有着广泛的物理基础。例如,怎样描述钉子在一瞬间受到的加大作用力的过程? 打乒乓球时,如何描述运动员发球瞬间的作用力? 如何描述在极短时间内给电

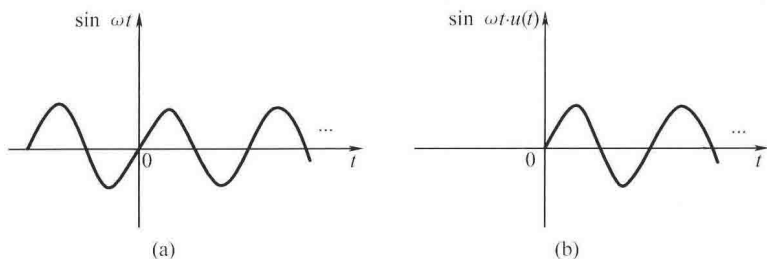


图 1.8 非因果信号与因果信号

(a)非因果信号;(b)因果信号

容以极大的电流充电情形? 如此等等,都需要定义一个理想函数以满足各种应用。冲激函数的概念就是以这类实际问题为背景而引出的。

冲激函数可由不同的方式定义。首先分析矩形脉冲如何演变为冲激函数。图 1.9(b) 表示宽为 τ , 高为 $\frac{1}{\tau}$ 的矩形脉冲, 当保持矩形脉冲面积 $\tau \cdot \frac{1}{\tau} = 1$ 不变, 而使脉宽 τ 趋近于 0 时, 脉冲幅度 $\frac{1}{\tau}$ 必趋于无穷大, 此极限情况即为单位冲激函数, 常记为 $\delta(t)$, 又称为 δ 函数。

$$\delta(t) = \lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{1}{\tau} \left(u\left(t + \frac{\tau}{2}\right) - u\left(t - \frac{\tau}{2}\right) \right) \quad (1.8)$$

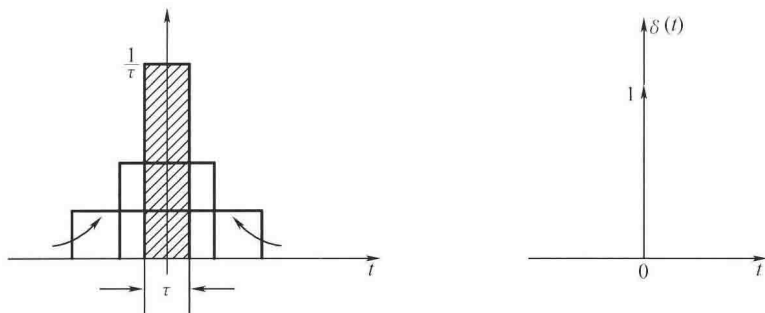


图 1.9 矩形脉冲变为冲激函数

(a)矩形脉冲;(b)冲激函数

冲激函数用箭头表示,如图 1.9(b)所示,它表明 $\delta(t)$ 只在 $t=0$ 点有一个“冲激”,在 $t=0$ 点以外各处,函数值都是零。

如果单位冲激信号 $\delta(t)$ 与一个在 $t=0$ 点连续的信号 $f(t)$ 相乘,则其乘积仅在 $t=0$ 处得到 $f(0) \cdot \delta(t)$,其余各点的乘积均为 0,得到冲激函数有如下的性质,即

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t)f(t)dt = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t)f(0)dt = f(0) \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t)dt = f(0) \quad (1.9)$$

对于延迟 t_0 的单位冲击信号有

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t - t_0)f(t)dt = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t - t_0)f(t_0)dt = f(t_0) \quad (1.10)$$

以上两式表明了冲激函数的抽样特性(或称筛选特性)。连续时间信号 $f(t)$ 与单位冲激信号 $\delta(t)$ 相乘并在 $-\infty$ 到 ∞ 时间内取积分,可以得到 $f(t)$ 在 $t=0$ 点(抽样时刻)的函数

值 $f(0)$,也即“筛选”出 $f(0)$ 。若将单位冲激移到 t_0 时刻,则抽样值取 $f(t_0)$ 。

冲激函数还具有以下的性质,即

$$\delta(t) = \delta(-t) \quad (1.11)$$

δ 函数是偶函数,可利用下式证明,即

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} \delta(-t)f(t)dt &= \int_{-\infty}^{\infty} \delta(\tau)f(-\tau)d(-\tau) \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \delta(\tau)f(0)d\tau = f(0) \end{aligned} \quad (1.12)$$

冲激函数的积分等于阶跃函数,即

$$\begin{cases} \int_{-\infty}^t \delta(\tau)d\tau = 1, & t > 0 \\ \int_{-\infty}^t \delta(\tau)d\tau = 0, & t < 0 \end{cases} \quad (1.13)$$

将式(1.13)与 $u(t)$ 的定义式比较,就可得出

$$\int_{-\infty}^t \delta(t)dt = u(t) \quad (1.14)$$

反之,阶跃函数的微分应等于冲激函数,即

$$\frac{d}{dt}u(t) = \delta(t) \quad (1.15)$$

阶跃函数在除 $t=0$ 以外的各点都取固定值,其变化率都等于零。而在 $t=0$ 有不连续点,此跳变的微分对应零点的冲激。

1.3 信号的基本运算

1.3.1 信号的加法运算

信号的加法运算如图 1.10 所示。由图 1.10 可知

$$f(t) = f_1(t) + f_2(t) \quad (1.16)$$

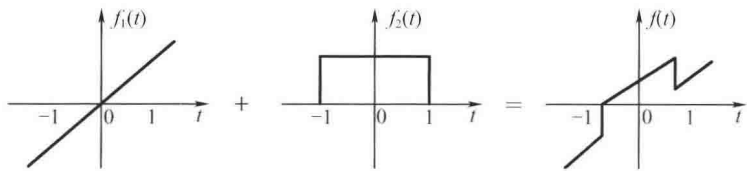


图 1.10 信号的加法运算

1.3.2 信号的减法运算

信号的减法运算如图 1.11 所示。由图 1.11 可知

$$f(t) = f_1(t) - f_2(t) \quad (1.17)$$

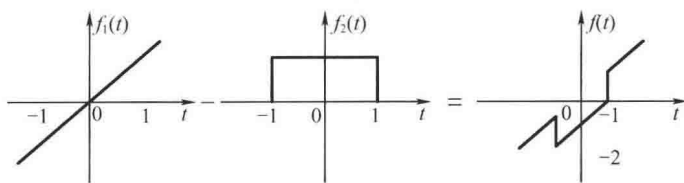


图 1.11 信号的减法运算

1.3.3 信号的乘法运算

信号的乘法运算如图 1.12 所示。由图 1.12 可知

$$f(t) = f_1(t) \cdot f_2(t) \quad (1.18)$$

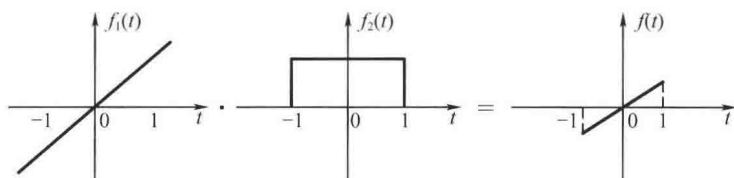


图 1.12 信号的乘法运算

1.3.4 信号的平移与翻转

如图 1.13 所示为信号的平移过程。

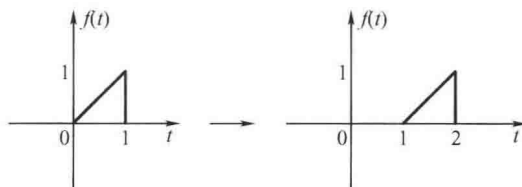


图 1.13 信号的平移

如图 1.14 所示为信号的翻转过程。

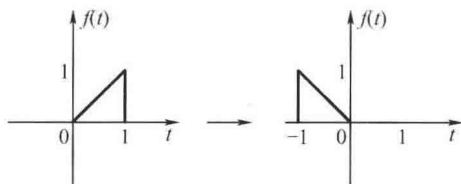
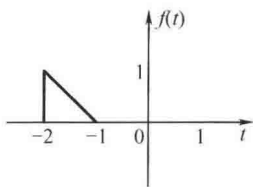


图 1.14 信号的翻转

$f(-t-1)$ 的信号波形图如图 1.15 所示。

图 1.15 $f(-t-1)$ 的信号波形图

1.3.5 信号的尺度变换

定义 信号 $f(t)$ 如图 1.16(a) 所示:

(1) 信号 $f(at)$ 在当 $a > 1$ 时, 图形压缩为原来的 $\frac{1}{a}$ (如图 1.16(b) 所示为 $f(t)$ 压缩为原来的 $\frac{1}{2}$);

(2) 信号 $f(at)$ 在当 $0 < a < 1$ 时, 图形扩大为原来的 $\frac{1}{a}$ 倍 (如图 1.16(c) 所示为 $f(t)$ 扩大为原来的 2 倍)。

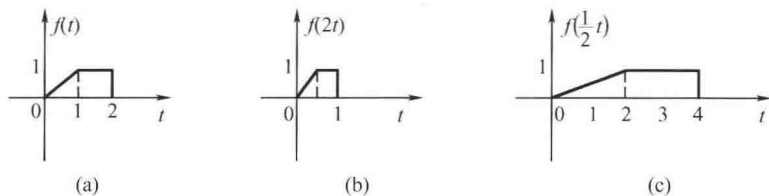


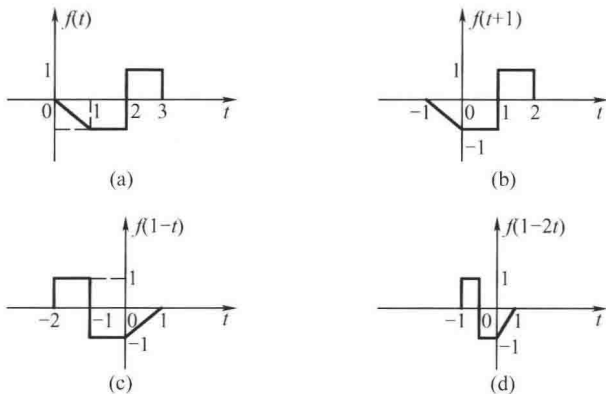
图 1.16 信号的尺度变换

(a) $f(t)$ 的波形图; (b) $f(2t)$ 的波形图; (c) $f\left(\frac{1}{2}t\right)$ 的波形图

注意 压缩或扩大时一定要以 y 轴为中心。

【例 1.1】 已知 $f(t)$ 的波形如图 1.17(a) 所示, 求 $f(1-2t)$ 的波形。

解 波形的转化过程如图 1.17 所示。

图 1.17 $f(t)$ 转化为 $f(1-2t)$ 的过程图

(a) $f(t)$ 的波形图; (b) $f(t+1)$ 的波形图; (c) $f(1-t)$ 的波形图; (d) $f(1-2t)$ 的波形图

注意 先平移或翻转,最后再进行尺度变换。若先进行尺度变换,则平移的量就会改变。

【例 1.2】 已知 $f(5-t)$ 的波形如图 1.18(a) 所示,试画出 $f(2t+4)$ 的波形。

解 波形的转化过程如图 1.18 所示。

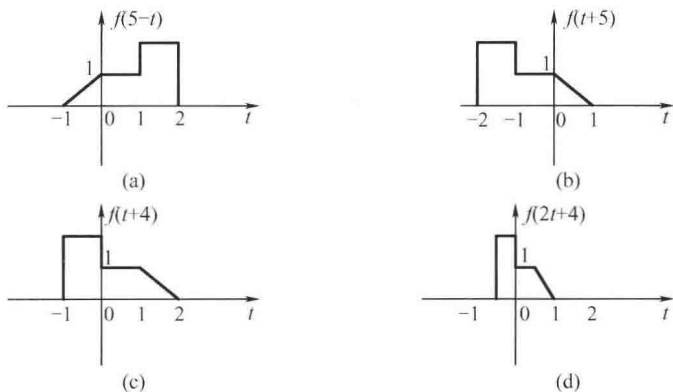


图 1.18 $f(5-t)$ 转化为 $f(2t+4)$ 的过程图

(a) $f(5-t)$ 的波形图; (b) $f(t+5)$ 的波形图; (c) $f(t+4)$ 的波形图; (d) $f(2t+4)$ 的波形图

1.4 系统的基本概念

1.4.1 系统的定义

“系统”是由若干相互作用和相互依赖的事物组合而成的具有特定功能的整体。

在信息科学与技术领域中,常常利用通信系统、控制系统和计算机系统进行信号的传输、交换与处理。实际上,往往需要将多种系统共同组成一个综合性的复杂整体,例如宇宙航行系统。

通常,组成通信、控制和计算机系统的主要部件中包括大量的、多种类型的电路。电路也称作电网络或网络。

在电路中传送的电信号一般指随时间变化的电压或电流,也可以是电容的电荷、线圈的磁通以及空间的电磁波等。电信号与非电信号容易相互转换。在许多实际系统中常利用各种传感器将其他物理量(如声波动、光强度、机械运动的位移或速度等)转变为电信号,以利传输与处理。根据需要可将转换后的电信号还原为原有的物理量。

广义来讲,系统的概念不仅限于电路、通信和控制方面,它涉及的范围十分广泛,应当包括各种物理系统、非物理系统、人工系统以及自然系统。

物理系统是将某些元件或部件以特定方式连接而成的整体。每个物理系统都能在某个或多个信号的作用下,完成某些要求的功能。一般我们将输入系统的信号称为激励,而将系统完成某些要求功能的输出称为响应。

各种变化着的信号从来不是孤立存在的,信号总是在系统中产生又在系统中按照要求进行处理和不断传递。

信号与系统之间有怎样的关系呢? 我们这里说的系统通常由大量的、多种类型的电路组成。所以,我们在讨论信号与系统的关系时直接说信号与电路的关系更直观。

信号、电路与系统之间有着十分密切的联系。离开了信号,电路与系统将失去意义。信号作为待传输消息的表现形式,可以看作运载消息的工具,而电路或系统则是为传送信号或对信号进行加工处理而构成的某种组合。研究系统主要关心其应具有怎样的功能和特性,而研究电路问题则主要关心为实现系统功能与特性应具有怎样的功能和参数。

系统的功能随其构成形式而定,有的可完成对信号的加工处理,如放大、滤波、延迟、积分等;有的可完成对运动物体的遥测与控制,如雷达、卫星遥测遥控系统等;有的可完成工业过程中各种物理量(如温度、压力、流量、速度等)的自动检测。系统的功能虽然不尽相同,但其输入与输出的对应关系却可以简单地用框图表示出来。若系统的输入(激励)信号 $f(t)$ 和输出(响应)信号 $y(t)$ 均为一个,这样的系统称为单输入单输出系统,表示方法如图 1.19(a)所示;若系统的输入信号有多个,如 $f_1(t), f_2(t), f_3(t), \dots, f_n(t)$, 输出信号也有多个,如 $y_1(t), y_2(t), y_3(t), \dots, y_n(t)$, 则称之为多输入多输出系统,表示方法如图 1.19(b)所示,这种系统用得最多。

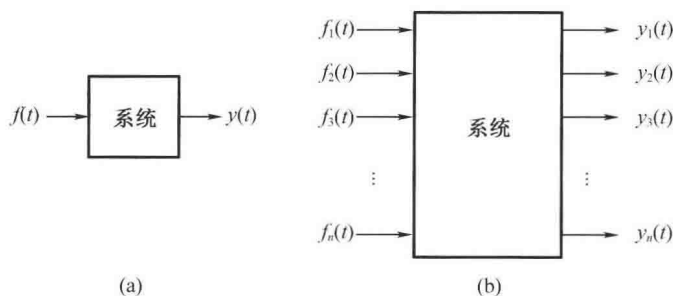


图 1.19 单输入单输出系统与多输入多输出系统的概念框图

(a) 单输入单输出系统的概念框图; (b) 多输入多输出系统的概念框图

1.4.2 系统的分类与描述

系统的种类很多,如通信系统、计算机系统、自动控制系统、生态系统、经济系统和社会系统等,而且从不同的角度又有不同的分类方式。

根据系统处理的信号形式的不同,系统可分为三大类:连续时间系统(简称连续系统)、离散时间系统(简称离散系统)和混合系统。若系统中各个子系统的输入信号和输出信号均为连续信号,则称为连续系统;若系统的各个子系统的输入信号和输出信号均为离散信号,则称之为离散系统;若系统中有的子系统为连续系统,有的子系统为离散系统,这样的系统称为混合系统。

系统除了分成上述三大类外,根据系统本身的特点又可分成动态系统与非动态系统、线性系统与非线性系统、因果系统与非因果系统、时变系统与时不变系统等。下面分别介绍它们的含义。

1. 动态系统与非动态系统

若系统在时刻 t_0 的响应 $y(t_0)$ 不仅与该时刻输入 $f(t_0)$ 有关,而且与 t_0 以前,即 $(-\infty, t_0)$ 区间的输入有关,则这种系统称为动态系统(或称为记忆系统)。在电路课程中,我们知道电路的状态(或称为系统的状态)实际上是 $(-\infty, t_0)$ 区间的一切外因共同作用于系统的结果。从能量的角度讲,就是系统中储能元件(例如电路的电容 C 和电感 L) 在时刻