创新型人才培养“十二五”规划教材

信号与系统分析
学习指导与习题详解

◆ 赵泓扬　主编

電子工業出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
http://www.phei.com.cn

创新型人才培养"十二五"规划教材

信号与系统分析
学习指导与习题详解

主　编　赵泓扬
副主编　张美凤　何　松
杜玉华　邹　全

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是《信号与系统分析》的辅导用书。全书共 8 章：信号与系统的基本知识、连续时间系统的时域分析、离散时间系统的时域分析、傅里叶变换及系统的频域分析、离散时间信号的傅里叶变换、拉普拉斯变换及系统的 s 域分析、Z 变换及离散系统的 z 域分析、系统的状态变量分析。每章由 4 部分组成：基本要求、知识点概括、习题详解、补充习题。

本书可以作为学习及考研辅导用书，也可以供教师教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统分析学习指导与习题详解/赵泓扬主编．—北京：电子工业出版社，2014.6
创新型人才培养“十二五”规划教材
ISBN 978-7-121-22879-7

Ⅰ．①信…　Ⅱ．①赵…　Ⅲ．①信号分析－高等学校－教学参考资料　②信号系统－系统分析－高等学校－教学参考资料　Ⅳ．①TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 066371 号

策划编辑：柴　燕
责任编辑：周宏敏　　文字编辑：张　迪
印　　刷：三河市双峰印刷装订有限公司
装　　订：三河市双峰印刷装订有限公司
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：787×1092　1/16　印张：14.75　字数：377.6 千字
印　　次：2014 年 6 月第 1 次印刷
印　　数：3 000 册　　定价：45.00 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。

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。

服务热线：(010)88258888。

前　言

信号与系统课程作为一门理论基础课程，地位非常重要，它广泛应用于通信、信息、电子工程、自控和计算机等专业。通过本课程的学习，学生将学习线性时不变系统的基本概念、信号分析、系统的基本概念及分析方法，为后续专业课的学习打下基础。因此，很多专业的研究生入学考试将信号与系统课程列入考试要求。

本书为《信号与系统分析》的辅助教学用书，也可作为学生自学和考研的参考书。全书分为8章，每章都对知识点做了概括，给出了习题详解，并补充了一定数量的精选题。信号与系统课程公式繁多，在学习时只有通过做习题，才能牢固掌握理论知识。本书精选的习题大部分来自各高校的考研真题，作者对每题都做了详细的解答，并且有的题目给出了多种解题方法。

本书配套的教材《信号与系统分析》(第2版)已由电子工业出版社出版，ISBN：978-7-121-22878-0。

全书由赵泓扬主编及统稿。其中，基本要求部分由杜玉华整理；知识点概括部分由张美凤、何松整理；习题详解部分由赵泓扬整理；补充习题部分由邹全整理。陈磊、施杨、阮晶晶等参与了编写并提出了许多宝贵的意见，电子工业出版社的柴燕编辑为本书的出版做了大量的工作，在此一并表示衷心的感谢。

限于作者水平有限及时间仓促，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编　者
2014年5月

目　录

第 1 章　信号与系统的基本知识

1.1　基本要求

（1）理解信号的基本描述方法、分类及其基本运算。

（2）掌握几种常用的连续信号和离散信号的定义、波形及性质。

（3）重点掌握冲激信号和阶跃信号的物理意义及性质。

（4）深刻理解信号的时域运算和波形变换方法。

（5）掌握卷积积分、卷积和的定义、性质及求解。

（6）理解系统的基本概念和描述方法，掌握 LTI 系统的概念。

（7）掌握系统的线性、时不变、因果和稳定特性。

1.2　知识点概括

一、信号的定义

信号是消息的载体，消息则是信号的具体内容。信号常可以表示为时间函数（或序列），该函数（或序列）的图像称为信号的波形。本课程主要讨论电信号，即随时间变化的电压或电流。

二、信号的分类

信号的形式多种多样，可以从不同的角度进行分类。常用的几种分类为：确定信号与随机信号、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、实信号和复信号等。

1. 确定信号与随机信号

若信号可以由一确定的数学表达式表示，或者信号的波形是唯一确定的，这种信号就是确定信号。本书只分析确定信号。

如果信号不能用确定的图形、曲线或函数式来准确描述时，其具有不可预知的不确定性，则称为随机信号或不确定信号。

2. 连续时间信号与离散时间信号

连续时间信号（简称连续信号）是指在某一时间间隔内，对于任意时刻（除若干不连续点外）都可以给出确定的函数值。在本书中，连续信号一般用 $f(t)$ 表示，t 为自变量。

离散时间信号（简称离散信号）是指仅在某些不连续的瞬间有定义，在其他时间没有定义的信号。在本书中，离散信号一般用 $f(k)$ 表示，k 为自变量，且 $k=0,\pm1,\pm2,\cdots$。

对于时间和幅值都连续的信号又称为模拟信号。如果离散信号的幅值只能取某些规定的数值，则又称为数字信号。

3. 周期信号与非周期信号

一个连续信号 $f(t)$，若对所有的 t 均满足

$$f(t)=f(t+mT),m=0,\pm1,\pm2,\cdots$$

则称 $f(t)$为连续周期信号,满足上式条件的最小的 T 值称为 $f(t)$的周期。

一个离散信号 $f(k)$,若对所有的 k 均满足

$$f(k)=f(k+mN),m=0,\pm1,\pm2,\cdots$$

则称 $f(k)$为连续周期信号,满足上式条件的最小的 N 值称为 $f(k)$的周期。

不具备周期性的信号称为非周期信号。

4. 能量信号与功率信号

将信号 $f(t)$ 施加于 1Ω 的电阻上,它所消耗的能量 $E=\lim\limits_{a\to\infty}\int_{-a}^{a}|f(t)|^2\mathrm{d}t$,它所消耗的功率 $P=\lim\limits_{a\to\infty}\frac{1}{2a}\int_{-a}^{a}|f(t)|^2\mathrm{d}t$,分别定义为该信号的能量和功率。

如果信号 $f(t)$的能量 E 满足:$0<E<\infty$(此时信号功率 $P=0$),则称 $f(t)$为能量有限信号,简称能量信号。

如果信号 $f(t)$的功率 P 满足:$0<P<\infty$(此时信号能量 $E=0$),则称 $f(t)$为功率有限信号,简称功率信号。

注:任何时限有界信号都属于能量信号;任何有界的周期信号都属于功率信号。

相应地,对于离散信号,也有能量信号和功率信号之分。

满足 $E=\lim\limits_{N\to\infty}\sum\limits_{k=-N}^{N}|f(k)|^2<\infty$ 的离散信号,称为能量信号。

满足 $P=\lim\limits_{N\to\infty}\frac{1}{2N+1}\sum\limits_{k=-N}^{N}|f(k)|^2<\infty$ 的离散信号,称为功率信号。

5. 实信号和复信号

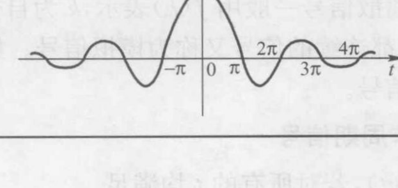
实信号是指物理上可以实现的,取值是实数的信号。其常为时间 t(或 k)的实函数(或序列),实信号的共轭对称信号是它本身。

复信号指取值为复数的信号。虽然实际上不会产生复信号,但为了理论分析的需要,常常引用数值为复数的复信号。最常用的是复指数信号。

三、常用的基本信号

单位阶跃信号 $u(t)$和单位冲激信号 $\delta(t)$是连续信号中两个最基本的信号。单位阶跃序列 $u(k)$和单位序列 $\delta(k)$是离散信号中两个最基本的信号。表 1-1 和表 1-2 分别为常用连续信号和常用离散信号。表 1-3 为 $\delta(t)$与 $\delta(k)$的重要性质。

表 1-1 常用连续信号

名　称	定　义	波　形	备　注
抽样信号 $Sa(t)$	$Sa(t)=\frac{\sin t}{t}$		$\int_0^\infty Sa(t)\mathrm{d}t=\frac{\pi}{2}$

续表

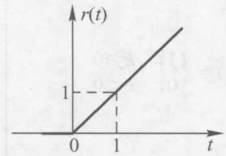
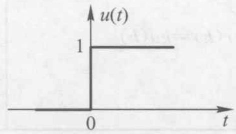
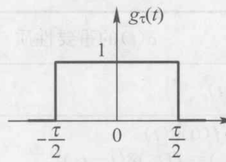
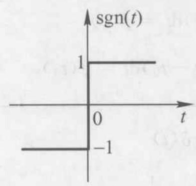
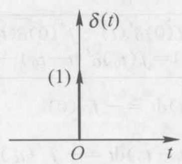
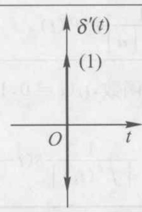
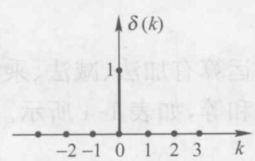
名　称	定　义	波　形	备　注
单位斜坡信号 $r(t)$	$r(t)=\begin{cases}0, & t<0\\ t, & t\geqslant 0\end{cases}$		$r(t)=\int_{-\infty}^{t}u(x)\mathrm{d}x$
单位阶跃信号 $u(t)$	$u(t)=\begin{cases}0, & t<0\\ 1, & t>0\end{cases}$		$u(t)=\frac{\mathrm{d}r(t)}{\mathrm{d}t}$ $u(t)=\int_{-\infty}^{t}\delta(x)\mathrm{d}x$
门函数 $g_\tau(t)$	$g_\tau(t)=u\left(t+\frac{\tau}{2}\right)-u\left(t-\frac{\tau}{2}\right)$		利用阶跃函数的截取特性，可以写出分段函数的闭合表达式
符号函数 $\mathrm{sgn}(t)$	$\mathrm{sgn}(t)=\begin{cases}1, & t>0\\ -1, & t<0\end{cases}$		$\mathrm{sgn}(t)=u(t)-u(-t)$ $\mathrm{sgn}(t)=2u(t)-1$
单位冲激信号 $\delta(t)$	$\begin{cases}\delta(t)=0, t\neq 0\\ \int_{-\infty}^{\infty}\delta(t)\mathrm{d}t=1\end{cases}$		$\delta(t)=\frac{\mathrm{d}u(t)}{\mathrm{d}t}$
单位冲激偶信号 $\delta'(t)$	$\delta'(t)=\frac{\mathrm{d}\delta(t)}{\mathrm{d}t}$		$\int_{-\infty}^{\infty}\delta'(t)\mathrm{d}t=0$

表 1-2　常用离散信号

名　称	定　义	波　形	备　注
单位序列 $\delta(k)$	$\delta(k)=\begin{cases}1, & k=0\\ 0, & k\neq 0\end{cases}$		$\delta(k)=u(k)-u(k-1)$

续表

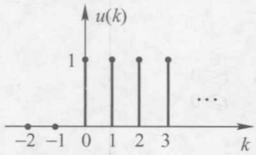
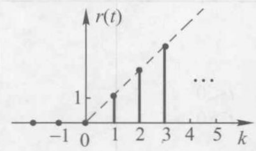
名　称	定　义	波　形	备　注
单位阶跃序列 $u(k)$	$u(k)=\begin{cases}1, & k\geqslant 0\\ 0, & k<0\end{cases}$		$u(k)=\sum_{i=-\infty}^{k}\delta(i)$ $u(k)=\sum_{j=0}^{\infty}\delta(k-j)$
斜坡序列 $r(k)$	$r(k)=ku(k)$		$r(k+1)-r(k)=u(k)$

表 1-3　$\delta(t)$与$\delta(k)$的重要性质

序　号	$\delta(t)$的重要性质	$\delta(k)$的重要性质
1	$\delta(-t)=\delta(t)$	$\delta(-k)=\delta(k)$
2	$f(t)\delta(t)=f(0)\delta(t)$ $f(t)\delta(t-t_0)=f(t_0)\delta(t-t_0)$	$f(k)\delta(k)=f(0)\delta(k)$ $f(k)\delta(k-i)=f(i)\delta(k-i)$
3	$\int_{-\infty}^{\infty}f(t)\delta(t)\mathrm{d}t=f(0)$ $\int_{-\infty}^{\infty}f(t)\delta(t-t_0)\mathrm{d}t=f(t_0)$	$\sum_{k=-\infty}^{\infty}f(k)\delta(k)=f(0)$ $\sum_{k=-\infty}^{\infty}f(k)\delta(k-i)=f(i)$
4	$\delta(at)=\frac{1}{\lvert a\rvert}\delta(t)$ $\delta[a(t-t_0)]=\frac{1}{\lvert a\rvert}\delta(t-t_0)$	$\delta(ak)=\delta(k)$
5	$f(t)\delta'(t)=f(0)\delta'(t)-f'(0)\delta(t)$ $f(t)\delta'(t-t_0)=f(t_0)\delta'(t-t_0)-f'(t_0)\delta(t-t_0)$	—
6	$\int_{-\infty}^{\infty}f(t)\delta'(t)\mathrm{d}t=-f'(0)$ $\int_{-\infty}^{\infty}f(t)\delta'(t-t_0)\mathrm{d}t=-f'(t_0)$	—
7	$\delta^{(n)}(at)=\frac{1}{a^n\cdot\lvert a\rvert}\delta^{(n)}(t)$	—
8	若 $f(t)$ 为普通函数，$t_i(i=0,1,2,\cdots,n)$ 为 $f(t)=0$ 的 n 个不相等实根 $\delta[f(t)]=\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{\lvert f'(t_i)\rvert}\delta(t-t_i)$	—

四、信号的运算与波形变换

1. 信号的时域运算

连续信号常用的时域运算有加法、减法、乘法、微分、积分等；离散信号的常用时域运算有加法、减法、乘法、差分、求和等，如表 1-4 所示。

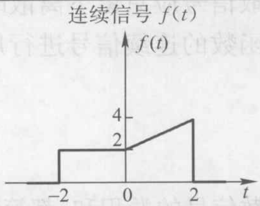
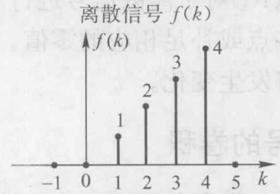
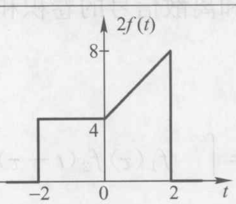
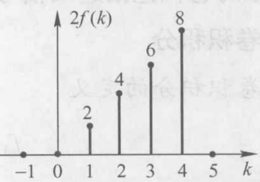
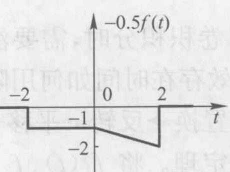
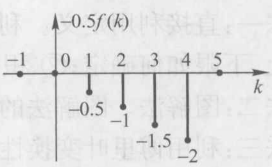
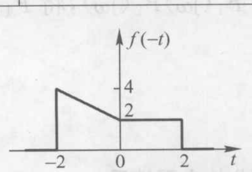
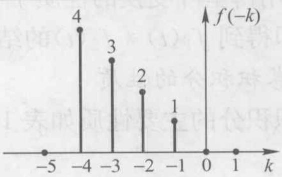
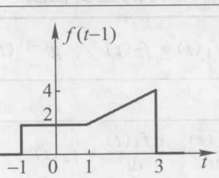
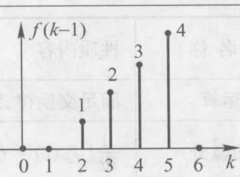
表 1-4　信号的时域运算

	连续信号	离散信号
加法、减法	设信号 $f_1(t)$、$f_2(t)$ $y(t)=f_1(t)\pm f_2(t)$	设信号 $f_1(k)$、$f_2(k)$ $y(t)=f_1(k)\pm f_2(k)$
乘法	$y(t)=f_1(t)\cdot f_2(t)$	$y(k)=f_1(k)\cdot f_2(k)$
微分/差分	$y(t)=\dfrac{\mathrm{d}f(t)}{\mathrm{d}t}$	$\Delta f(k)=f(k+1)-f(k)$　（一阶前向差分） $\nabla f(k)=f(k)-f(k-1)$　（一阶后向差分）
积分/求和	$y(t)=\int_{-\infty}^{t}f(\tau)\mathrm{d}\tau$	$y(k)=\sum_{i=-\infty}^{k}f(i)$

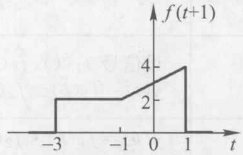
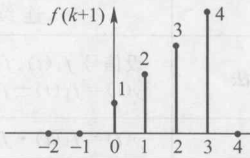
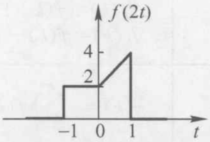
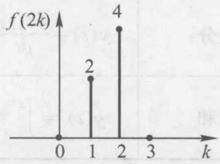
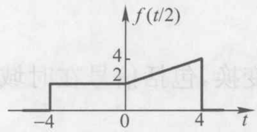
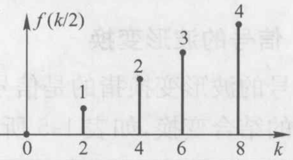
2. 信号的波形变换

信号的波形变换指的是信号的自变量变换，包括信号在时域内进行反转、移位、尺度变换及三者的结合变换，如表 1-5 所示。

表 1-5　信号的波形变换

		连续信号 $f(t)$	离散信号 $f(k)$
变换形式			
标乘 $f(t)\to af(t)$	$a>0$		
	$a<0$		
反转 $f(t)\to f(-t)$			
平移 $f(t)\to f(t-t_0)$	$t_0>0$		

续表

平移 $f(t)\to f(t-t_0)$	$t_0<0$		
尺度变换 $f(t)\to f(at)$	$a>1$		
	$a<1$		

注意：①对于离散信号进行尺度变换时，离散信号应只留下离散时间点上的值，要按规律取出某些点或补足相应的零值。②对包含冲激函数的连续信号进行尺度变换时，冲激函数的强度也将发生变化。

五、信号的卷积

信号的卷积包括连续信号的卷积积分和离散信号的卷积和，都简称为卷积。

1. 卷积积分

1）卷积积分的定义

$$f_1(t)*f_2(t)=\int_{-\infty}^{\infty}f_1(\tau)f_2(t-\tau)\mathrm{d}\tau$$

2）卷积积分的求解

方法一：直接利用定义。利用定义计算卷积积分时，需要注意以下两点。① 积分过程中的积分上、下限如何确定；② 积分结果的有效存在时间如何用阶跃函数表示出来。

方法二：图解法。图解法的步骤为变量置换→反转→平移→相乘→积分。

方法三：利用傅里叶变换性质中的卷积定理。将 $f_1(t)$、$f_2(t)$的频谱 $F_1(\mathrm{j}\omega)$、$F_2(\mathrm{j}\omega)$分别求出，利用傅里叶变换的性质 $f_1(t)*f_2(t)\longleftrightarrow F_1(\mathrm{j}\omega)F_2(\mathrm{j}\omega)$，将 $F_1(\mathrm{j}\omega)F_2(\mathrm{j}\omega)$的傅里叶逆变换求出即得到 $f_1(t)*f_2(t)$的结果。

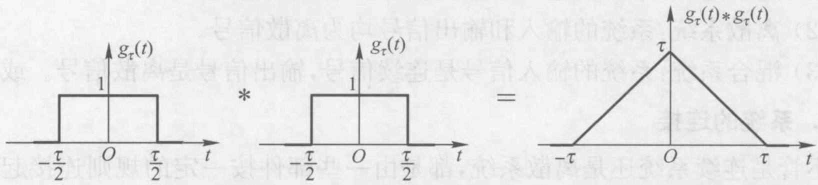
3）卷积积分的性质

卷积积分的主要性质如表 1-6 所示。

表 1-6　卷积积分的主要性质

性质名称	性质内容　　$g(t)=f_1(t)*f_2(t)$　　$g^{(-1)}(t)=\int_{-\infty}^{t}g(x)\mathrm{d}x$
代数运算	满足交换律、结合律、分配律
卷积的微分	$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}[f_1(t)*f_2(t)]=f_1(t)*\frac{\mathrm{d}f_2(t)}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}f_1(t)}{\mathrm{d}t}*f_2(t)$
卷积的积分	$g^{(-1)}(t)=f_1^{(-1)}(t)*f_2(t)=f_1(t)*f_2^{(-1)}(t)$

续表

卷积的微积分	$f_1(t)*f_2(t)=f_1'(t)*f_2^{(-1)}(t)=f_1^{(-1)}(t)*f_2'(t)$ 前提条件：$f_1(-\infty)=f_2(-\infty)=0$
卷积的延迟	$f_1(t-a)*f_2(t-b)=f_1(t-a-b)*f_2(t)=f_1(t)*f_2(t-a-b)=g(t-a-b)$
奇异信号的卷积	$f(t)*\delta(t-t_0)=f(t-t_0)$ $f(t)*u(t)=\int_{-\infty}^{t}f(\tau)\mathrm{d}\tau$ $f(t)*\delta^{(m)}(t-t_0)=f^{(m)}(t-t_0)$
常用的卷积	$u(t)*u(t)=tu(t)$ $\mathrm{e}^{at}u(t)*u(t)=\dfrac{1}{a}(\mathrm{e}^{at}-1)u(t)$ 

2. 卷积和

1) 卷积和的定义

$$f_1(k)*f_2(k)=\sum_{i=-\infty}^{\infty}f_1(i)f_2(k-i)$$

2) 卷积和的计算

方法一：直接利用定义和性质。注意正确地选取求和的上、下限。

方法二：图解法。图解法的步骤为变量置换→反转→平移→相乘→求和。

方法三：列表法（适应于有限长序列）。

3) 卷积和的性质

卷积和的主要性质如表 1-7 所示。

表 1-7　卷积和的主要性质

性 质 名 称	性质内容 $f(k)=f_1(k)*f_2(k)$
代数运算	满足交换律、结合律、分配律
卷积和的差分	$\nabla[f_1(k)*f_2(k)]=f_1(k)*[\nabla f_2(k)]=[\nabla f_1(k)]*f_2(k)$
卷积和的累加求和	$\sum_{i=-\infty}^{k}[f_1(i)*f_2(i)]=\sum_{i=-\infty}^{k}[f_1(i)]*f_2(k)=f_1(k)*\sum_{i=-\infty}^{k}[f_2(i)]$
卷积和的差分、累加求和	$f_1(k)*f_2(k)=\left[\sum_{i=-\infty}^{k}f_1(i)\right]*\nabla f_2(k)=\nabla f_1(k)*\left[\sum_{i=-\infty}^{k}f_2(i)\right]$ 前提条件：$f_1(-\infty)=f_2(-\infty)=0$
卷积和的延迟	$f_1(k-m)*f_2(k-n)=f_1(k-m-n)*f_2(k)=f_1(k)*f_2(k-m-n)$ $=f(k-m-n)$
奇异信号卷积和	$f(k)*\delta(k-m)=f(k-m)$ $f(k)*u(k)=\sum_{i=-\infty}^{k}f_1(i)$
常用的卷积和	$u(k)*u(k)=(k+1)u(k)$

六、系统的基本知识

1. 系统的定义

广义地说，系统就是由一些相互作用和相互依赖的事物组成的具有特定功能的整体。对电信号而言，系统可看作是对信号进行存储、转换、传输和处理的物理装置。

2. 系统的分类

常用的分类方法是按系统的输入信号和输出信号是否连续来划分的。

(1) 连续系统：系统的输入和输出信号均为连续信号。

(2) 离散系统：系统的输入和输出信号均为离散信号。

(3) 混合系统：系统的输入信号是连续信号，输出信号是离散信号。或者反之。

3. 系统的连接

不管是连续系统还是离散系统，都是由一些部件按一定的规则连接起来的。一个复杂的系统也可以分解成一些简单的系统相互连接。

系统的连接方式主要有：级联(串联)、并联、混联。

4. 系统的描述

系统的描述方法有多种形式，如表 1-8 所示。

表 1-8　系统的各种描述形式

		连续系统	离散系统
方程描述	输入/输出方程	$\sum_{j=0}^{n} a_j y^{(j)}(t) = \sum_{i=0}^{m} b_i f^{(i)}(t)$ (第 2 章讲述)	$\sum_{j=0}^{n} a_{n-j} y(k-j) = \sum_{i=0}^{m} b_{m-i} f(k-i)$ (第 3 章讲述)
	动态方程	$x(t) = Ax(t) + Bf(t)$ $y(t) = Cx(t) + Df(t)$ (第 8 章讲述)	$x(k+1) = Ax(k) + Bf(k)$ $y(k) = Cx(k) + Df(k)$ (第 8 章讲述)
系统框图描述	用 $\boxed{\int}$、Σ、a 组合连接来描述系统		用 $\boxed{D}$ 、Σ、a 组合连接来描述系统
信号流图描述	信号流图描述是系统框图描述的简化形式 (第 6 章讲述)		
冲激响应描述	时域	$h(t)$	$h(k)$
系统函数描述	频域	$H(\mathrm{j}\omega)$　(第 4 章讲述)	$H(\mathrm{e}^{\mathrm{j}\theta})$　(第 5 章讲述)
	复频域	$H(s)$　(第 6 章讲述)	$H(z)$　(第 7 章讲述)

备注：① 系统的各种描述形式之间可以相互转换。② 对于一个确定的系统，输入/输出方程形式唯一，系统函数唯一，但是状态方程、框图、信号流图均可有多种形式。

七、系统的特性

1. 线性与非线性

若系统满足以下特性，则称该系统是线性系统(以连续系统为例)。

1) 分解性

全响应 $y(t)$ 可以分解为零输入响应 $y_{zi}(t)$ 和零状态响应 $y_{zs}(t)$，即

$$y(t)=y_{zi}(t)+y_{zs}(t)$$

2）齐次性

包括零输入响应齐次性和零状态响应齐次性，即

$$若\ x(0)\to y_{zi}(t),有\ ax(0)\to ay_{zi}(t)$$

$$若\ f(t)\to y_{zs}(t),有\ af(t)\to ay_{zs}(t)$$

3）可加性

包括零输入响应可加性和零状态响应可加性，即

若 $x_1(0)\to y_{zi1}(t)$、$x_2(0)\to y_{zi2}(t)$，有 $x_1(0)+x_2(0)\to y_{zi1}(t)+y_{zi2}(t)$

若 $f_1(t)\to y_{zs1}(t)$、$f_2(t)\to y_{zs2}(t)$，有 $f_1(t)+f_2(t)\to y_{zs1}(t)+y_{zs2}(t)$

2. 时不变与时变

时不变性指系统的零状态输出波形仅取决于输入波形与系统特性，而与输入信号接入系统的时间无关，即

若 $f(t)\to y_{zs}(t)$，则 $f(t-t_d)\to y_{zs}(t-t_d)$

3. 因果与非因果

系统的输出是由输入引起的，它的输出不能领先输入，这种性质称为因果性。因果系统在任何时刻的输出仅取决于现在与过去的输入，而与将来的输入无关。

对任意时刻 t_0 或（一般可选 $t_0=0$）和任意输入 $f(t)$，如果 $f(t)=0,t<t_0$，若有其零状态响应 $y_{zs}(t)=0,t<t_0$，则称该系统为因果系统；否则，称其为非因果系统。

4. 稳定与不稳定

系统的输入有界（即幅值为有限值），零状态响应也有界，这一性质称为稳定性。具有这一性质的系统称为稳定系统。反之，系统的输入有界，输出无界（无限值），这种系统为不稳定系统。

若系统的激励 $|f(t)|<\infty$ 时，其零状态响应 $|y_{zs}(t)|<\infty$，则称该系统是稳定的。

5. 即时系统与动态系统

如果系统在任意时刻的响应仅取决于该时刻的激励，而与它过去的工作状态无关，则称为即时系统（或无记忆系统）。

如果系统在任意时刻的响应，不仅与该时刻的激励有关，而且与它过去的工作状态有关，则称为动态系统（或记忆系统）。

1.3 习题详解

1-1 画出下列各信号的波形。

(1) $f(t)=u(\sin t)$

解：$f(t)=\begin{cases}1, & \sin t>0\\ 0, & \sin t<0\end{cases}$

$f(t)$的波形如图1-1所示。

(2) $f(t)=\text{sgn}(\sin\pi t)$

解：$f(t)=\begin{cases}1, & \sin\pi t>0\\ -1, & \sin\pi t<0\end{cases}$

$f(t)$的波形如图1-2所示。

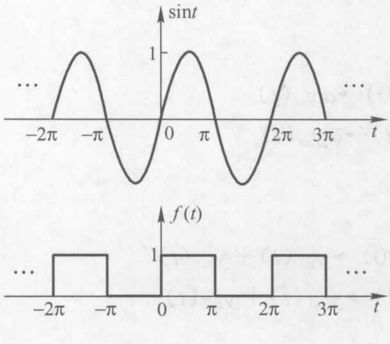


图 1-1

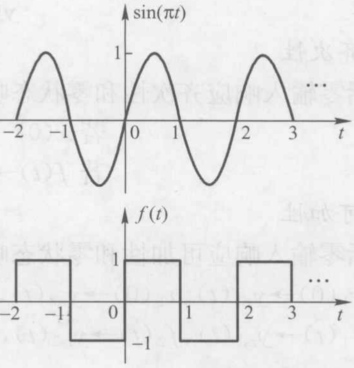


图 1-2

(3) $f(t)=r(\sin t)$

解：$f(t)=r(\sin t)=\sin t\cdot u(\sin t)=\begin{cases}\sin t, & \sin t>0\\ 0, & \sin t<0\end{cases}$

$f(t)$的波形如图 1-3 所示。

(4) $f(k)=2^k u(k)$

解：$f(k)$的波形如图 1-4 所示。

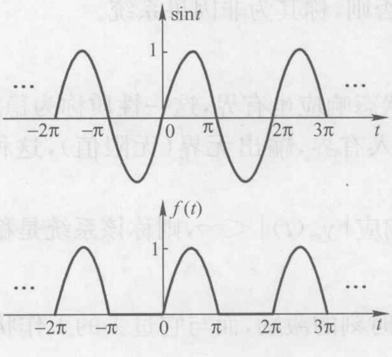


图 1-3

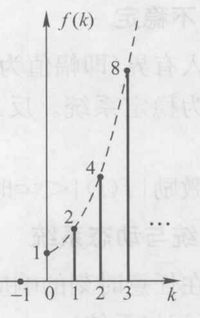


图 1-4

(5) $f(t)=\cos t\cdot \mathrm{sgn}t$

解：$f(t)=\cos t\cdot \mathrm{sgn}t=\begin{cases}\cos t, & t>0\\ -\cos t, & t<0\end{cases}$

$f(t)$的波形如图 1-5 所示。

(6) $f(k)=\sin\left(\dfrac{k\pi}{4}\right)u(k)$

解：$f(k)$的波形如图 1-6 所示。

1-2 画出下列各信号的波形。

(1) $f(t)=2u(t+1)-3u(t-1)+u(t-2)$

解：$f(t)$的波形如图 1-7 所示。

(2) $f(t)=r(t)-2r(t-1)+r(t-2)$

解：$f(t)=tu(t)-2(t-1)u(t-1)+(t-2)u(t-2)$

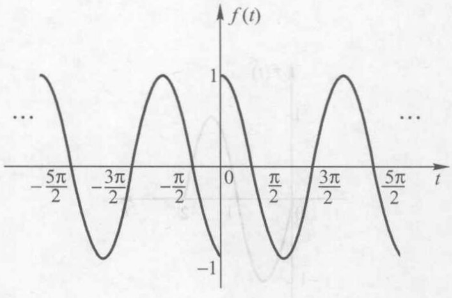


图 1-5

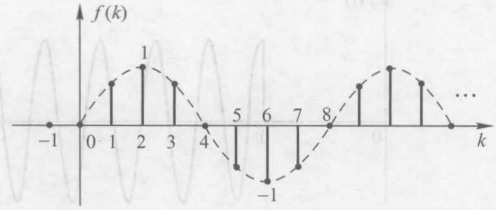


图 1-6

$f(t)$的波形如图 1-8 所示。

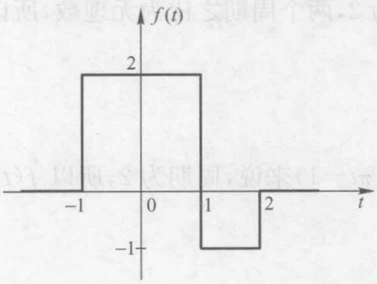


图 1-7

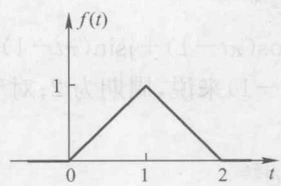


图 1-8

(3) $f(t)=u(t)r(2-t)$

解：$f(t)=(2-t)u(t)u(2-t)$

$f(t)$的波形如图 1-9 所示。

(4) $f(t)=r(t)u(2-t)$

解：$f(t)=tu(t)\cdot u(2-t)$

$f(t)$的波形如图 1-10 所示。

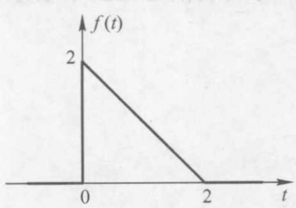


图 1-9

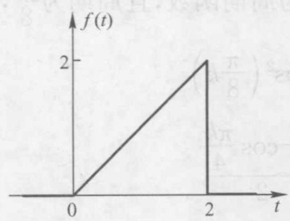


图 1-10

(5) $f(t)=\cos(10\pi t)[u(t-1)-u(t-2)]$

解：$f(t)$的波形如图 1-11 所示。

(6) $f(t)=\sin\pi(t-1)[u(2-t)-u(-t)]$

解：$f(t)$的波形如图 1-12 所示。

1-3 判断下列信号是否为周期信号，若是周期信号，确定信号的周期。

(1) $f(t)=a\cos t+b\sin 2t$

解：由于 $\cos t$ 的周期为 2π，$\sin 2t$ 的周期为 π，两个周期之比为有理数，所以 $f(t)$为周期信