快乐大本·优秀教材辅导
KUAILE DABEN
YOUXIUJIAOCAIFUDAO

信号与系统

学习指导

主 编 张尤赛

● 课后习题 精析 精解

● 同步训练 勤学 勤练

XUEXI ZHIDAO

HEUP 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

快乐大本·优秀教材辅导
KUAILE DABEN
YOUXIUJIAOCAIFUDAO

信号与系统学习指导

主 编 张尤赛

HEUP 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

内 容 简 介

本书是“信号与系统”课程的学习辅导教材。全书包括信号与系统、连续系统的时域分析、离散系统的时域分析、连续系统的频域分析、连续系统的复频域分析、离散系统的z域分析等章节的知识点、重要公式、例题分析、测试题及其参考答案，并附有3份硕士研究生入学试题。本书内容按照先连续后离散、先时域后变换的体系结构进行编写。

本书可作为高等院校“信号与系统”课程的辅导教材，也可作为研究生入学考试的复习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统学习指导/张尤赛主编. —哈尔滨：哈尔滨工程大学出版社，2011.8
ISBN 978-7-5661-0208-9

Ⅰ.①信… Ⅱ.①张… Ⅲ.①信号系统-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164835号

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 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂
开　　本 787mm×1 092mm 1/16
印　　张 7
字　　数 172千字
版　　次 2011年8月第1次版
印　　次 2011年8月第1次印刷
定　　价 15.00元
http://press.hrbeu.edu.cn
E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

前　　言

信号与系统课程是电气信息类专业的一门重要专业基础课，主要研究信号与线性系统分析的基本理论、基本原理、基本分析方法及其工程应用。由于该课程具有内容多、理论性强、工程应用广的特点，学生在学习过程中经常表现出较难掌握该课程的关键知识点，一些理论和方法似乎懂了，但是一遇到具体的工程应用或习题，却又感到似是而非、无从入手。为此，我们编写了本书，以帮助学生深入理解和掌握该课程的基本理论、基本原理、基本分析方法，提高工程应用能力和解题能力。

全书共分6章，包括信号与系统、连续系统的时域分析、离散系统的时域分析、连续系统的频域分析、连续系统的复频域分析和离散系统的 z 域分析。本书采用"基本要求、知识点归纳、重要公式、例题分析、测试题"的组织结构，主要特点是：

（1）明确教学要求　每一章节均给出了"基本要求"，明确教学的深度和广度；

（2）突出教学重点　运用"知识点归纳"、"重要公式"来点明教学重点内容；

（3）强调解题过程　概念清楚，步骤完整，数据准确，图文并茂；

（4）启迪分析思路　强调概念、理论、方法应用的灵活性、技巧性和综合性，提高学生的工程应用和解题能力；

（5）结合工程应用　增加部分工程应用的例题分析和测试题；

（6）具有自测功能　每章附有测试题和测试题参考答案，可以全面测试对该课程的掌握程度。

（7）考研辅导功能　书末附有近年来几所高等院校的硕士学位研究生的入学试题，可供考研学生练习。

本书是江苏科技大学精品课程"信号与系统"建设项目的配套教材，该课程的课件荣获第八届全国多媒体课件大赛三等奖，网络课程获江苏科技大学优秀教学成果二等奖，课程相关教学资源见课程网站：http://ecsi.js.nclass.org/ec-webpage-show/checkCourseNumber.do?courseNumber=03040059a

本书由江苏科技大学张尤赛主编，并编写了第四章；马国军编写了第一、二章；黄炜嘉编写了第三、六章；周稳兰编写了第五章。

本书在编写和出版过程中得到了学校、学院领导和同仁的大力支持，他们为本书提出了许多宝贵的意见，在次表示衷心的感谢。本书的编写参考了有关作者的书籍，在此表示谢意。

限于编者的水平有限，加上时间仓促，疏漏与不当之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编　者

2011年1月

目　　录

第1章　信号与系统

1.1　基本要求

1. 了解信号的基本概念与分类；
2. 能够对连续信号与离散信号进行常用的运算；
3. 掌握阶跃函数和冲激函数的定义和性质；
4. 熟悉系统的微分方程和框图的描述方法；
5. 掌握系统的性质。

1.2　知识点归纳

一、信号分析与系统分析

1. 信号分析

包括信号的描述、特性、运算与变换。

2. 系统分析

研究系统的模型、系统描述。

二、信号的分类

常用的分类方法有：连续信号和离散信号，周期信号和非周期信号，实信号和复信号，功率信号和能量信号，确定信号和随机信号。信号的分类如表1.1所示。

表1.1　信号的分类

分类	连续信号	离散信号	抽样信号	数字信号	模拟信号
时间	连续	离散	离散	离散	连续
幅度	连续/离散	连续/离散	连续	离散	连续

1. 复信号

$$\begin{aligned} f(t) &= c\mathrm{e}^{\alpha t}, c,\alpha \text{ 为复数}, c = |c|\cdot \mathrm{e}^{\mathrm{j}\theta}, \alpha = \sigma + \mathrm{j}\omega \\ &= |c|\mathrm{e}^{\mathrm{j}\theta}\cdot \mathrm{e}^{(\sigma+\mathrm{j}\omega)t} \\ &= |c|\mathrm{e}^{\sigma t}\cdot \mathrm{e}^{\mathrm{j}(\omega t+\theta)} \\ &= |c|\mathrm{e}^{\sigma t}\cos(\omega t+\theta) + \mathrm{j}|c|\mathrm{e}^{\sigma t}\sin(\omega t+\theta) \end{aligned}$$

说明：

(1) 实部和虚部均为实信号；

（2）频率相同；

（3）正弦振荡；

（4）$\begin{cases}\sigma>0,\text{增幅振荡}\\ \sigma=0,\text{等幅振荡}\\ \sigma<0,\text{衰减振荡}\end{cases}$。

2. 能量信号和功率信号

（1）能量信号：信号$f(t)$的能量$E=\lim\limits_{\tau\to 0}\int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}}|f(t)|^2\mathrm{d}t$为有限值，则该信号为能量信号，也称为能量有限信号；

（2）功率信号：信号$f(t)$的平均功率$P=\lim\limits_{\tau\to 0}\frac{1}{\tau}\int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}}|f(t)|^2\mathrm{d}t$为有限值，则该信号为功率信号，也称为功率有限信号。

三、信号的运算

信号的基本运算包括：加法、减法、乘法、反折、平移、尺度变换、微分、积分和卷积运算等。

信号的加、减法运算：$f(t)=f_1(t)\pm f_2(t)$

乘法：$f(t)=f_1(t)\cdot f_2(t)$

反折：$f(t)=f(-t)$

平移：$f(t)=f(t-t_0)$，$t_0>0$ 右移，$t_0<0$ 左移

尺度变换：$f(t)=f(at)$，波形在横坐标方向展宽或压缩为原来的$\frac{1}{a}$倍；当$a>1$，在横坐标方向压缩；当$0<a<1$，在横坐标方向展宽。

微分：$f(t)=\frac{f(t)}{\mathrm{d}t}=f'(t)$

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

卷积：$f(t)=f_1(t)*f_2(t)$

信号运算的综合同时包含反折、平移和尺度变换，即$f(t)=f(at+b)$。

对离散信号同样可以写出相应的运算表达式。

四、阶跃函数和冲激函数

1. 单位阶跃函数的定义

$$\varepsilon(t)=\begin{cases}0,\ t<0\\ 1,\ t>0\end{cases}$$

延时 t_0 的单位阶跃函数

$$\varepsilon(t-t_0)=\begin{cases}0,\ t<t_0\\ 1,\ t>t_0\end{cases}$$

阶跃函数的应用：表示区间；表示信号。

2. 单位冲激函数

狄拉克定义

$$\begin{cases}\delta(t)=0, & t\neq 0\\ \int_{-\infty}^{+\infty}\delta(t)\mathrm{d}t=1\end{cases}$$

3. 阶跃函数和冲激函数的关系

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

即

$$\varepsilon(t)=\int_{-\infty}^{t}\delta(\tau)\mathrm{d}\tau,\qquad \delta(t)=\frac{\mathrm{d}\varepsilon(t)}{\mathrm{d}t}$$

说明:阶跃函数在间断点处有导数,其导数为冲激函数。

4. 冲激函数的性质

(1) 取样特性

$$f(t)\delta(t)=f(0)\delta(t)$$

$$f(t)\delta(t-t_0)=f(t_0)\delta(t-t_0)$$

(2) 奇偶性

$$\delta^{(n)}(-t)=(-1)^{(n)}\delta^{(n)}(t)$$

当 n 为奇数时,为奇函数;当 n 为偶数时,为偶函数。

五、系统的描述方法

1. 系统的描述方法如表 1.2 所示。

表 1.2　系统描述分类及数学模型

分　类	激　励	响　应	数学模型
连续系统	连续信号	连续信号	微分方程
离散系统	离散信号	离散信号	差分方程

根据输入-输出信号类型可以将系统分为:连续系统、离散系统、混合系统。

根据输入-输出信号的数量可以将系统分为:单输入-单输出系统,多输入-多输出系统。

2. 系统的框图表示

连续系统的基本单元有加法器、数乘器、积分器。

离散系统的基本单元有加法器、数乘器、延迟单元。

3. 分析方法

系统的框图表示与数学方程(如微分方程、差分方程)的描述方式是等效的,可以相互转换。

由框图列写(数学方程、微分方程或差分方程)的步骤为

(1) 标出中间变量;

(2) 对加法器输出列写方程;

(3) 消除中间变量,写成标准形式。

六、系统的性质

1. 线性特性

设系统激励与响应的数学关系为 $y(t)=T[f(t)]$,若系统满足下列关系:

$$T[a_1f_1(t)+a_2f_2(t)]=a_1T[f_1(t)]+a_2T[f_2(t)]$$

则该系统,满足叠加性和齐次性,系统为线性系统。

线性系统具有三大特性:分解特性、微积分特性和频率保持性。

(1) 分解特性

设 $y(t)=T[f(t)]$,则系统的全响应可以描述为:全响应 = 零输入响应 + 零状态响应,即 $y(t)=y_{zi}(t)+y_{zs}(t)$。

(2) 微分特性

已知 $y(t)=T[f(t)]$,则 $\frac{\mathrm{d}y(t)}{\mathrm{d}t}=T\left[\frac{\mathrm{d}f(t)}{\mathrm{d}t}\right]$。

(3) 积分特性

已知 $y(t)=T[f(t)]$,则 $\int_{-\infty}^{t}y(\tau)\mathrm{d}\tau=T[\int_{-\infty}^{t}x(\tau)\mathrm{d}\tau]$。

2. 时不变特性

已知连续系统有 $y(t)=T[f(t)]$,如系统满足下列关系:

$$y(t-t_0)=T[f(t-t_0)]$$

则该系统为连续时不变系统。

对离散系统有 $y(k)=T[f(k)]$,如系统满足下列关系:

$$y(k-N)=T[f(k-N)]$$

则该系统为离散时不变系统。

3. 因果性

当系统激励 $f(t)=0,(t<0)$ 时,若系统的零状态响应满足:

$$y_{zs}(t)=0,\quad (t<0)$$

则该系统为因果系统。

4. 稳定性

如系统激励 $f(t)$ 为有界时,即满足 $|f(t)|<\infty$,其零状态响应 $y_{zs}(t)$ 也是有界的 $y_{zs}(t)<\infty$,即 $y_{zs}(t)=T[f(t)]<\infty$,则该系统为稳定系统。

七、系统的分析方法概述

1. 信号与系统分析可以分为两大类:连续信号与连续系统分析,离散信号与离散系统分析。

2. 分析方法:对连续系统可以采用时域分析、频域分析和复频域分析的方法;对离散系统可以采用时域分析和 z 域分析法。

3. 分析主线

绪论	时域	频域	复频域	时域	z 域	统一
信号	$f(t)$	$F(\mathrm{j}\omega)$	$F(s)$	$f(k)$	$F(z)$	F
系统	$h(t)$	$H(\mathrm{j}\omega)$	$H(s)$	$h(k)$	$H(z)$	H
响应	$y(t)$	$Y(\mathrm{j}\omega)$	$Y(s)$	$y(k)$	$Y(z)$	Y
分类	连续系统			离散系统		连续/离散

1.3 重要公式

1. 系统的输入与输出关系

对连续系统有:

时域 $$y(t)=f(t)*h(t) \tag{1.3.1}$$

频域 $$Y(j\omega)=F(j\omega)\cdot H(j\omega) \tag{1.3.2}$$

复频域 $$Y(s)=F(s)\cdot H(s) \tag{1.3.3}$$

对离散系统有:

时域 $$y(k)=f(k)*h(k) \tag{1.3.4}$$

z 域 $$Y(z)=F(z)\cdot H(z) \tag{1.3.5}$$

2. $\varepsilon(t)$和$\delta(t)$的关系

$$\varepsilon(t)=\int_{-\infty}^{t}\delta(\tau)\mathrm{d}\tau, \tag{1.3.6}$$

$$\delta(t)=\frac{\mathrm{d}\varepsilon(t)}{\mathrm{d}t} \tag{1.3.7}$$

3. 冲激函数的取样特性

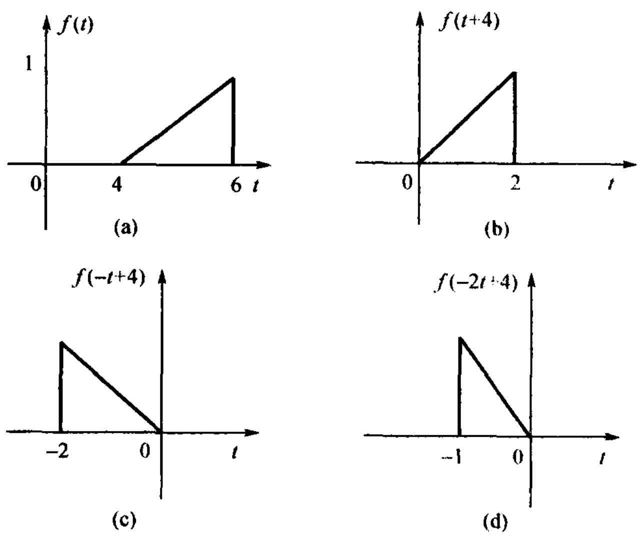
$$f(t)\delta(t)=f(0)\delta(t) \tag{1.3.8}$$

$$f(t)\delta(t-t_0)=f(t_0)\delta(t-t_0) \tag{1.3.9}$$

1.4 例题分析

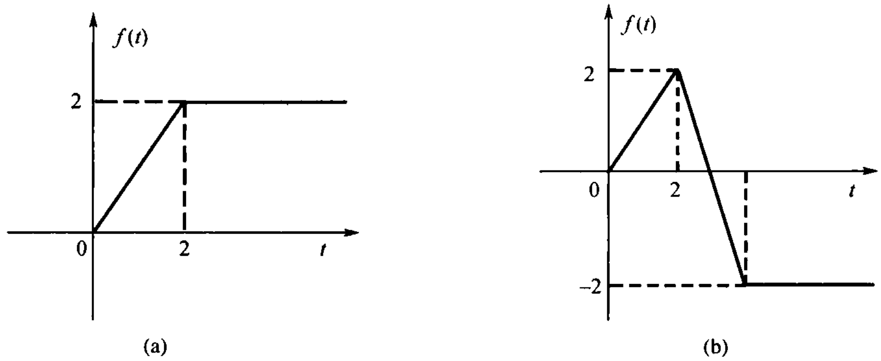
例1.1 已知信号$f(t)$如例1.1图(a)所示,试画出$f(-2t+4)$的波形。

解: $f(-2t+4)$包含平移、反折和尺度变换三种运算,并按照以下顺序进行处理,$f(t)\to f(t+4)\to f(-t+4)\to f(-2t+4)$。$f(t+4)$,$f(-t+4)$,$f(-2t+4)$的波形分别如例1.1图(b),(c),(d)所示。



例1.1图

例 1.2 写出例 1.2 图信号的时域表达式。



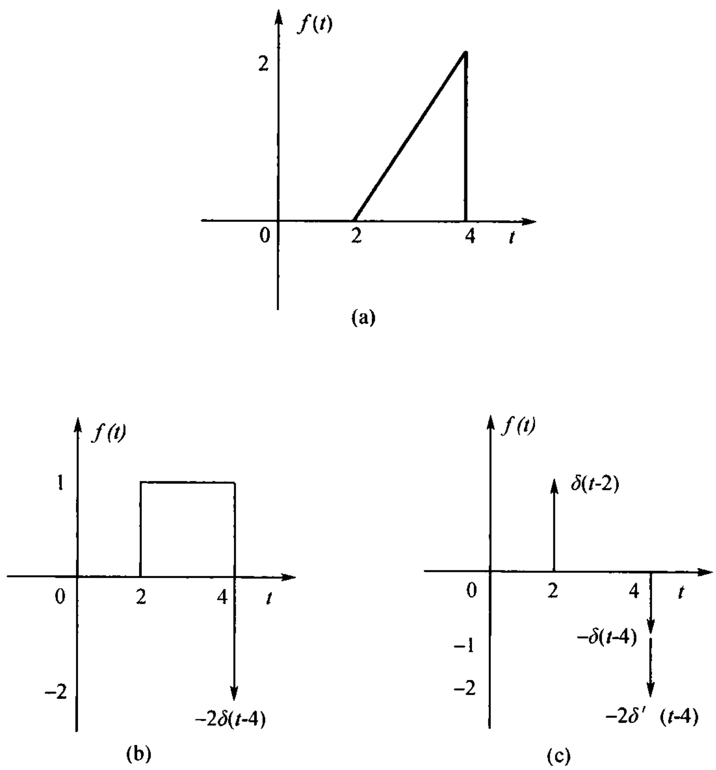
例 1.2 图

解: 阶跃函数可以用来表示信号和信号的区间

(a) $f(t)=t[\varepsilon(t)-\varepsilon(t-2)]+2\varepsilon(t-2)$

(b) $f(t)=t[\varepsilon(t)-\varepsilon(t-2)]+(-2t+6)[\varepsilon(t-2)-\varepsilon(t-4)]-2\varepsilon(t-4)$

例 1.3 已知$f(t)$的波形如例 1.3 图(a)所示,试画出$f'(t)$和$f''(t)$的波形。



例 1.3 图

解: 函数在间断点处有导数,其导数为冲激函数,其强度为间断点处的右极限与左极限之差。由例 1.3 图(a)得到

$$f(t)=(t-2)[\varepsilon(t-2)-\varepsilon(t-4)]$$

则
$$\begin{aligned}f'(t)&=(t-2)'[\varepsilon(t-2)-\varepsilon(t-4)]+(t-2)[\delta(t-2)-\delta(t-4)]\\&=[\varepsilon(t-2)-\varepsilon(t-4)]+(t-2)\delta(t-2)-(t-2)\delta(t-4)\\&=[\varepsilon(t-2)-\varepsilon(t-4)]-2\delta(t-4)\\f''(t)&=[\varepsilon(t-2)-\varepsilon(t-4)]'-2\delta'(t-4)\\&=\delta(t-2)-\delta(t-4)-2\delta'(t-4)\end{aligned}$$

$f'(t)$和$f''(t)$的图形分别如例1.3图(b),(c)所示。

例1.4　计算下列各式:

(1) $\int_{-\infty}^{+\infty}5\delta(t)\dfrac{\sin3t}{t}\mathrm{d}t$　　　(2) $\int_{-\infty}^{+\infty}(t^3+2t^2+5)\delta(1-t)\mathrm{d}t$

解: 利用$\delta(t)$的取样性质。

(1) $\int_{-\infty}^{+\infty}5\delta(t)\dfrac{\sin3t}{t}\mathrm{d}t=\int_{-\infty}^{+\infty}5\delta(t)\times3\times\dfrac{\sin3t}{3t}\mathrm{d}t=15$

(2) $\int_{-\infty}^{+\infty}(t^3+2t^2+5)\delta(1-t)\mathrm{d}t=\int_{-\infty}^{+\infty}(1^3+2\times1^2+5)\delta[-(t-1)]\mathrm{d}t=8$

例1.5　某一线性时不变系统,其初始状态一定,已知当激励为$f(t)$时,其全响应为$y_1(t)=2e^{-3t}+\cos(5t),t\geqslant0$,若初始状态保持不变,当激励为$3f(t)$时,其全响应为$y_2(t)=e^{-3t}+3\cos(5t),t\geqslant0$,试计算当初始状态不变时,而激励为$4f(t)$时系统的全响应。

解: 由于全响应可以分解为零输入响应和零状态响应之和,即

全响应=零输入响应+零状态响应,$y(t)=y_{zi}(t)+y_{zs}(t)$

由题意可知:$y_1(t)=2e^{-3t}+\cos(5t)=y_{zi}(t)+y_{zs}(t)$

$y_2(t)=e^{-3t}+3\cos(5t)=y_{zi}(t)+3y_{zs}(t)$

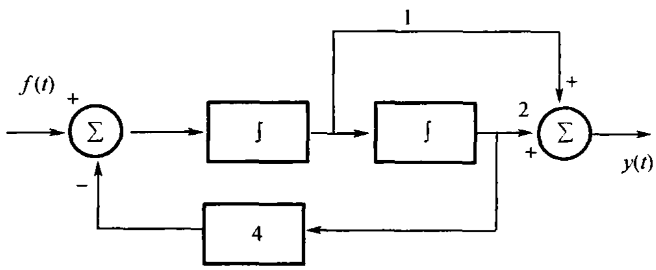
所以,零状态响应$y_{zs}(t)=\cos(5t)-0.5e^{-3t}$

零输入响应$y_{zi}(t)=2.5e^{-3t}$

当激励为$4f(t)$时,$y_3(t)=y_{zi}(t)+4y_{zs}(t)$

$$\begin{aligned}&=2.5e^{-3t}+4[\cos(5t)-0.5e^{-3t}]\\&=0.5e^{-3t}+4\cos(5t)\end{aligned}$$

例1.6　已知描述某系统的框图如例1.6图所示,试列写其微分方程。



例1.6图

解: 设第二个积分器的输出为$x(t)$,则第一个积分器的输出为$x'(t)$,输入为$x''(t)$,对加法器列写方程:

$$x''(t)=f(t)-4x(t)$$

$$y(t) = x'(t) + 2x(t)$$

消除中间变量 $x(t)$,可得

$$y''(t) + 4y(t) = f'(t) = 2f(t)$$

例 1.7 设系统的激励为 $f(t)$,响应为 $y(t)$,试判断下列系统的稳定性。

(1) $y(t) = (t-1)f(t)$

(2) $y(t) = e^{3f(t)}$

解:(1) 当 $f(t)$ 为有限值,即 $|f(t)| < \infty$ 时,随着时间 t 的增加,$(t-1)f(t) \to \infty$,所以,该系统为不稳定系统。

(2) 如 $|f(t)| < C$,C 为常数,则 $|y(t) = e^{3f(t)}| < e^{C}$,也为有限值,所以该系统为稳定系统。

例 1.8 判断下列系统的时不变特性。

(1) $y(t) = \cos[4f(t)]$

(2) $y(t) = f(6t)$

解:(1) 由时不变的定义,输入为 $f_1(t)$ 时,有

$$y_1(t) = \cos[4f_1(t)]$$

当输入为 $f_2(t) = f_1(t-t_0)$ 时,有

$$y_2(t) = \cos[4f_2(t)] = \cos[4f_1(t-t_0)]$$

所以该系统为时不变系统;

(2) 由时不变的定义,输入 $f_1(t)$ 时,有

$$y_1(t) = f_1(6t)$$

当输入为 $f_2(t) = f_1(t-t_0)$ 时,有

$$y_2(t) = f_1(6t-t_0) \neq y_1(t-t_0)$$

所以,该系统为时变系统。

例 1.9 判断下列系统是否为线性系统。

(1) $y(t) = tf(t)$

(2) $y(t) = f^2(t)$

解:(1) 由 $f_1(t) \to y_1(t) = tf_1(t)$,$f_2(t) \to y_2(t) = tf_2(t)$,设 $f_3(t)$ 为 $f_1(t)$ 和 $f_2(t)$ 的线性组合

$$f_3(t) = af_1(t) + bf_2(t)$$

其中,a,b 为常数,当 $f_3(t)$ 作为系统输入时,其输出为

$$\begin{aligned} y_3(t) &= tf_3(t) \\ &= t[af_1(t) + bf_2(t)] \\ &= atf_1(t) + btf_2(t) \\ &= ay_1(t) + by_2(t) \end{aligned}$$

所以该系统为线性系统。

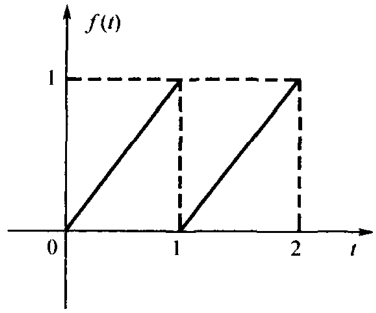
(2) 由 $f_1(t) \to y_1(t) = f_1^2(t)$,$f_2(t) \to y_2(t) = f_2^2(t)$

$$\begin{aligned} f(t) \to y_3(t) &= f_3^2(t) \\ &= [af_1(t) + bf_2(t)]^2 \\ &= a^2 f_1^2(t) + b^2 f_2^2(t) + 2abf_1(t)f_2(t) \\ &\neq a^2 f_1^2(t) + b^2 f_2^2(t) \end{aligned}$$

所以,该系统为非线性系统。

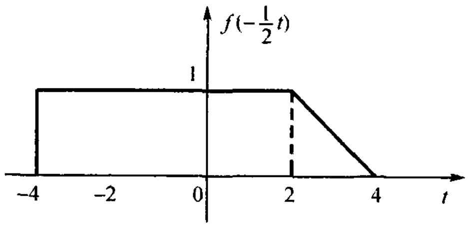
1.5 测 试 题

1.1 写出题1.1图$f(t)$的时域表达式，并计算$f'(t)$，画出图形。



题1.1图

1.2 已知信号$f\left(-\frac{1}{2}t\right)$的波形如题1.2图所示，试画出$f(t+1)\varepsilon(-t)$的波形。



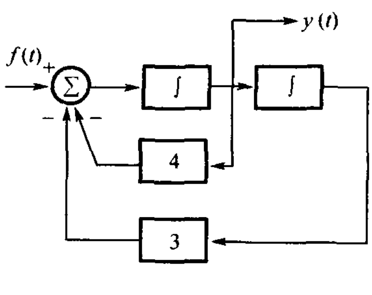
题1.2图

1.3 某线性时不变系统，在相同的初始状态下，输入为$f(t)$时，响应为$y_1(t)=(2e^{-3t}+\sin 2t)\varepsilon(t)$，输入为$2f(t)$时，响应为$y_2(t)=(e^{-3t}+2\sin 2t)\varepsilon(t)$。

试求：(1) 初始状态增大一倍，输入为$\frac{1}{2}f(t)$时的系统响应；

(2) 初始状态保持不变，输入为$f(t-t_0)$时的系统响应。

1.4 已知描述某线性时不变系统的框图如题1.4图所示，试求当输入$f(t)=\delta(t-2)$时系统的零状态响应。



题1.4图

1.5 判断下列方程所描述的系统是否为线性系统。

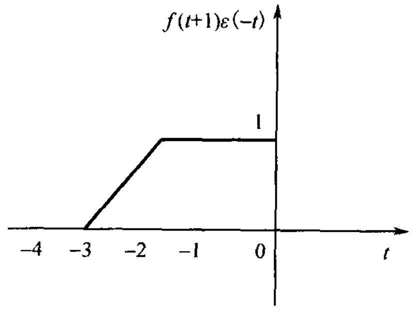
(1) $y(t)=3f^2(t)+10$

(2) $y''(t)+3y'(t)+2=5f'(t)+6f(t)$

测试题参考答案

1.1　$t\varepsilon(t)-\varepsilon(t-1)-(t-1)\varepsilon(t-2)$

1.2



1.3　$5.5(e^{-3t}+0.5\sin 2t)\varepsilon(t)$　$3e^{-3t}+[-e^{-3(t-t_0)}+2\sin 2(t-t_0)]\varepsilon(t-t_0)$

1.4　$[\frac{-e^{-(t-2)}}{2}+\frac{3}{2}e^{-3(t-2)}]\varepsilon(t-2)$

1.5 (1)非线性系统　(2)线性系统

第 2 章　连续系统的时域分析

2.1　基 本 要 求

1. 了解微分方程的经典解法。
2. 理解零输入响应、零状态响应和全响应的概念。
3. 理解阶跃响应和冲激响应的概念。
4. 掌握系统的零输入响应、零状态响应和全响应的求解方法。
5. 掌握系统的冲激响应和阶跃响应的求解方法。
6. 掌握卷积积分的计算法和图解法。
7. 掌握卷积积分的性质。

2.2　知识点归纳

一、微分方程的经典解法

1. 微分方程的求解

线性常系数微分方程的标准形式为

$$\begin{aligned} &y^{(n)}(t)+a_{n-1}y^{n-1}(t)+\cdots+a_1y'(t)+a_0y(t) \\ &=b_mf^{(m)}(t)+b_{m-1}f^{(m-1)}(t)+\cdots+b_1f'(t)+b_0f(t) \end{aligned}$$

其解可以分解为

$$y(t)=y_h(t)+y_p(t)$$

其中，$y(t)$为全解；$y_h(t)$为齐次解；$y_p(t)$为特解。

齐次解的形式与方程的根的形式紧密相关，根的形式不同，齐次通解的形式也不同；特解的形式与激励信号的形式一致。齐次解与特解中的系数由初始条件来确定。

2. 自由响应、强迫响应

微分方程的齐次解即为自由响应，与微分方程的特征根有关，即与系统有关，也称为固有响应；微分方程的特解为强迫响应，与激励信号有关。

3. 关于0^-与0^+值

在系统分析时，为便于表述系统在$t=0^-$和$t=0^+$时刻的状态，将系统在$t=0^-$时刻的状态称为起始状态，系统在$t=0^+$时刻的状态称为初始状态。

4. 零输入响应、零状态响应和全响应

零输入响应是指在激励为零时，由起始状态引起的响应；零状态响应是指系统起始状态为零时，由激励引起的响应。全响应可分解为零输入响应和零状态响应之和。

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

注意：自由响应不等于零输入响应，强迫响应不等于零状态响应。