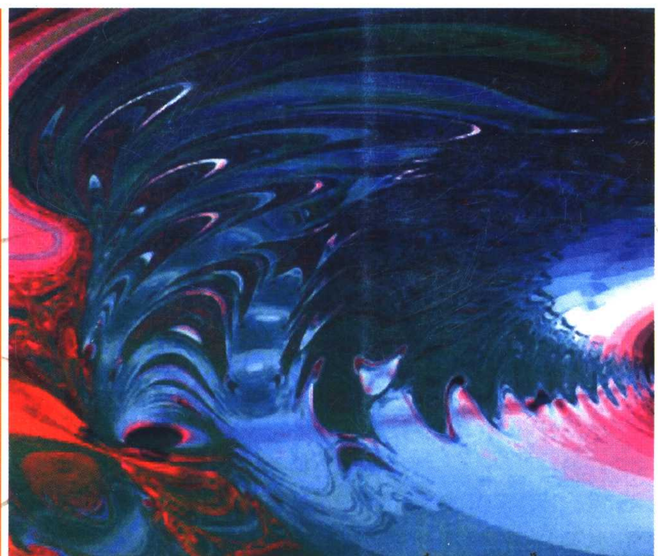
# 信号与系统教程

## （第二版）

# 学习指导

燕庆明　于凤芹　周治平



高等教育出版社

# 信号与系统教程

## （第二版）

## 学习指导

燕庆明　于凤芹　周治平

高等教育出版社

**内容提要**

本书是与燕庆明主编《信号与系统教程》(第二版)相配套的学习指导书。书中指出了各章的学习重点和重点指导,给出了全书的习题详解。为了便于学生复习和报考研究生,本书选编了期末模拟试题和部分重点高校(院所)近年来研究生入学信号与系统试题各8套。书末附有信号与系统教程(第二版)CAI课件光盘,生动、形象,便于自学。

本书不仅对于电子信息类专业本、专科学生非常有用,而且对于从事该课程教学的教师也是一本很好的教学参考书。

**图书在版编目(CIP)数据**

信号与系统教程(第二版)学习指导/燕庆明,于凤芹,周治平.—北京:高等教育出版社,2007.11
ISBN 978-7-04-022542-6

Ⅰ.信… Ⅱ.①燕…②于…③周… Ⅲ.信号系统-高等学校-教学参考资料 Ⅳ.TN911.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第146390号

**策划编辑** 韩 颖 **责任编辑** 王莉莉 **封面设计** 于文燕 **责任绘图** 吴文信
**版式设计** 马敬茹 **责任校对** 王效珍 **责任印制** 宋克学

| | | | |
|---|---|---|---|
| 出版发行 | 高等教育出版社 | 购书热线 | 010-58581118 |
| 社 址 | 北京市西城区德外大街4号 | 免费咨询 | 800-810-0598 |
| 邮政编码 | 100011 | 网 址 | http://www.hep.edu.cn |
| 总 机 | 010-58581000 | | http://www.hep.com.cn |
| | | 网上订购 | http://www.landraco.com |
| | | | http://www.landraco.com.cn |
| 经 销 | 蓝色畅想图书发行有限公司 | 畅想教育 | http://www.widedu.com |
| 印 刷 | 高等教育出版社印刷厂 | | |
| 开 本 | 787×960 1/16 | 版 次 | 2007年11月第1版 |
| 印 张 | 14.5 | 印 次 | 2007年11月第1次印刷 |
| 字 数 | 260 000 | 定 价 | 22.10元(含光盘) |

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。



物料号 22542-00

# 前　言

“信号与系统”课程是电子信息类专业一门重要的专业基础课。通过本课程的学习，可以使学生了解信号、信号处理和系统的基本概念，学会信号分析与系统分析的基本方法，理解信号处理和传输的基本过程，提高分析实际问题的能力。由于本课程的内容具有较强的理论性和实用性，不少学生在学习过程中感到比较困难，所以有必要配合教材编写一本学习指导书。本书各章指出了学习重点和重点指导，新增了一些典型例题，给出了教材中各章习题的解析。为了便于学生期末自测掌握的情况，附录 A 给出 8 套期末考试模拟试题，附录 B 汇编了部分高校(院所)近年来硕士研究生“信号与系统”入学试题(共 8 套)，并给出了解答。书末所附的信号与系统教程(第二版)CAI 课件已用于教学多年，效果很好。学生可以从中学到许多生动的知识。

本书对于教师也是一本很好的教学参考书。它有利于对课程内容的整体把握，有助于备课和批改作业。

由于水平有限，书中可能有不妥之处，敬请指正。

编　者

2007 年 7 月

# 目　录

# 第1章　导　　论

## 1.1　学习重点

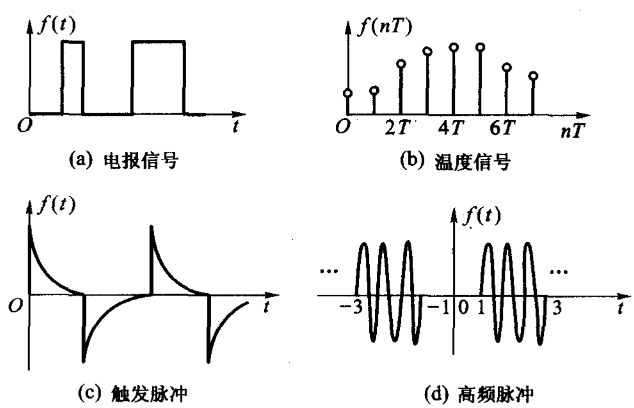
1. 信号、消息和信息的区别与联系。

2. 弄清周期信号与非周期信号、连续信号与离散信号、因果信号与非因果信号的概念；掌握系统分类的方法及各类系统的特点。

3. 掌握线性系统的基本特性，如线性、微分特性、积分特性和频率保持性。

## 1.2　习题解析

**1－1**　题1－1图所示信号中，哪些是连续信号？哪些是离散信号？哪些是周期信号？哪些是非周期信号？哪些是有始信号？




题1－1图

**解**　图(a)、(c)、(d)为连续信号；图(b)为离散信号；图(d)为周期信号；其余为非周期信号；图(a)、(b)、(c)为有始(因果)信号。

**1－2** 已知某系统的输入$f(t)$与输出$y(t)$的关系为

$$y(t)=\left|f(t)\right|$$

试判定该系统是否为线性时不变系统？

**解** 设$T$为系统的运算子，则$y(t)$可以表示为

$$y(t)=T[f(t)]=\left|f(t)\right|$$

不失一般性，设$f(t)=f_1(t)+f_2(t)$，则

$$T[f_1(t)]=\left|f_1(t)\right|=y_1(t)$$

$$T[f_2(t)]=\left|f_2(t)\right|=y_2(t)$$

故有

$$T[f(t)]=\left|f_1(t)+f_2(t)\right|=y(t)$$

显然

$$\left|f_1(t)+f_2(t)\right|\neq\left|f_1(t)\right|+\left|f_2(t)\right|$$

即不满足可加性，故为非线性时不变系统。

**1－3** 判断下列方程所表示系统的性质：

(a) $y(t)=\dfrac{\mathrm{d}f(t)}{\mathrm{d}t}+\int_0^t f(x)\,\mathrm{d}x$

(b) $y''(t)+2y'(t)+3y(t)=f'(t)+f(t-2)$

(c) $y''(t)+2ty'(t)+2y(t)=3f(t)$

(d) $[y'(t)]^2+y(t)=f(t)$

**解** (a) 线性；(b) 线性时不变；(c) 线性时变；(d) 非线性时不变。

**1－4** 试证明方程

$$y'(t)+ay(t)=f(t)$$

所描述的系统为线性系统。式中，$a$为常数。[提示：根据线性的定义，证明满足可加性和齐次性。]

**证明** 不失一般性，设输入有两个分量，且

$$f_1(t)\to y_1(t),\ f_2(t)\to y_2(t)$$

则有

$$y_1'(t)+ay_1(t)=f_1(t)$$

$$y_2'(t)+ay_2(t)=f_2(t)$$

相加得

$$y_1'(t)+ay_1(t)+y_2'(t)+ay_2(t)=f_1(t)+f_2(t)$$

即

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}[y_1(t)+y_2(t)]+a[y_1(t)+y_2(t)]=f_1(t)+f_2(t)$$

可见

$$f_1(t)+f_2(t)\to y_1(t)+y_1(t)$$

即满足可加性,齐次性是显然的。故系统为线性的。

**1-5** 试证明题1-4的系统满足时不变性。[提示:将方程中的$t$换为$t-t_0$,导出$f(t-t_0)$与$y(t-t_0)$对应。]

**证明** 将方程中的$t$换为$t-t_0$,$t_0$为常数。即

$$y'(t-t_0)+ay(t-t_0)=f(t-t_0)$$

由链导法则,有

$$\frac{\mathrm{d}y(t-t_0)}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}y(t-t_0)}{\mathrm{d}(t-t_0)}\cdot\frac{\mathrm{d}(t-t_0)}{\mathrm{d}t}$$

又因$t_0$为常数,故

$$\frac{\mathrm{d}(t-t_0)}{\mathrm{d}t}=1$$

从而

$$\frac{\mathrm{d}y(t-t_0)}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}y(t-t_0)}{\mathrm{d}(t-t_0)}$$

所以有

$$\frac{\mathrm{d}y(t-t_0)}{\mathrm{d}t}+ay(t-t_0)=f(t-t_0)$$

即满足时不变性

$$f(t-t_0)\to y(t-t_0)$$

**1-6** 试一般性地证明线性时不变系统具有微分特性。[提示:利用时不变性和微分的定义推导。]

**证明** 设$f(t)\to y(t)$,则

$$f(t-\Delta t)\to y(t-\Delta t)\quad(\text{时不变性})$$

又因为

$$\frac{f(t)-f(t-\Delta t)}{\Delta t}\to\frac{y(t)-y(t-t_0)}{\Delta t}\quad(\text{线性可加性})$$

所以

$$\lim_{\Delta t\to 0}\frac{f(t)-f(t-\Delta t)}{\Delta t}\to\lim_{\Delta t\to 0}\frac{y(t)-y(t-t_0)}{\Delta t}$$

即有

$$f'(t)\to y'(t)$$

**1-7** 若有线性时不变系统的方程为

$$y'(t)+ay(t)=f(t)$$

在非零$f(t)$作用下其响应$y(t)=1-\mathrm{e}^{-t}$,试求方程

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

的响应。

**解** 因为$f(t)\to y(t)=1-e^{-t}$，由线性关系，则

$$2f(t)\to 2y(t)=2(1-e^{-t})$$

由线性系统的微分特性，有

$$f'(t)\to y'(t)=e^{-t}$$

故响应

$$\begin{aligned}2f(t)+f'(t)\to y(t)&=2(1-e^{-t})+e^{-t}\\&=2-e^{-t}\end{aligned}$$

# 第 2 章　连续时间信号

## 2.1　学习重点

1. 基本信号的定义和重要特征。
2. 信号的简单处理(运算)方法。
3. 冲激信号及其性质。

## 2.2　重点指导

1. 冲激信号

$$\delta(t) = \frac{\mathrm{d}\varepsilon(t)}{\mathrm{d}t}, \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t)\,\mathrm{d}t = \int_{0_-}^{0_+} \delta(t)\,\mathrm{d}t = 1$$

$$\varepsilon(t) = \int_{-\infty}^{t} \delta(\tau)\,\mathrm{d}\tau, \int_{-\infty}^{\infty} \delta'(t)\,\mathrm{d}t = 0$$

2. 信号 $f(t)$ 与冲激信号的积分

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

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t)\delta(t)\,\mathrm{d}t = f(0)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t)\delta'(t)\,\mathrm{d}t = -f'(0)$$

3. 基本信号在时域内的运算很重要。要掌握信号的相加与相乘、反转与延时、压缩与扩展、微分与积分的方法。

4. 一个重要的连续信号——取样函数

$$\mathrm{Sa}(t) = \frac{\sin t}{t}$$

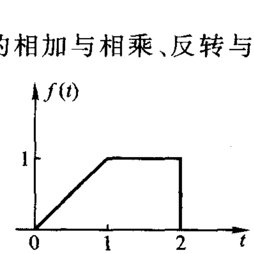



图 2－1

**例 2－1**　如图 2－1 所示信号 $f(t)$，试画出 $f(2t)$、$f(t+2)$、$f(2t+2)$ 和 $f(-2t+2)$ 的各波形。

**解** 将$f(t)$压缩得$f(2t)$，平移得$f(t+2)$，再压缩得$f(2t+2)$，再反转得$f(-2t+2)$，如图 2-2 所示。

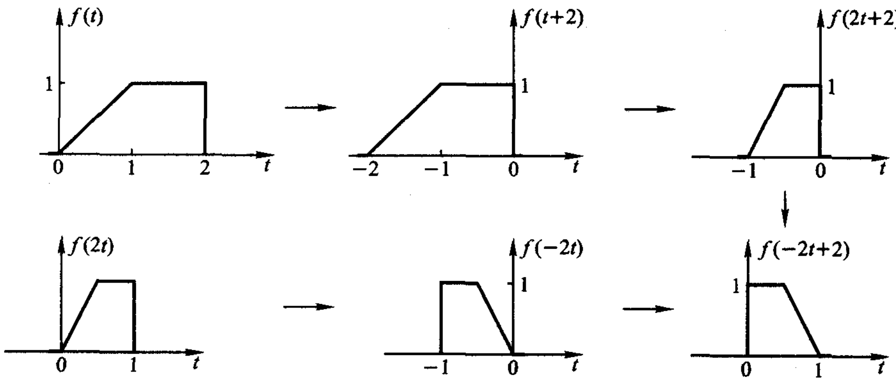



图 2-2

**例 2-2** 试求下列各积分值。

(a) $\int_{-\infty}^{\infty}\delta(t-3)\varepsilon(t-2)\mathrm{d}t$

(b) $\int_{-\infty}^{\infty}\mathrm{e}^{-3t}\delta(t-2)\mathrm{d}t$

(c) $\int_{-\infty}^{\infty}\mathrm{Sa}(t)\delta(t)\mathrm{d}t$

(d) $\int_{-\infty}^{\infty}\delta'(t)\cos t\mathrm{d}t$

**解** (a) $\int_{-\infty}^{\infty}\delta(t-3)\varepsilon(t-2)\mathrm{d}t=\varepsilon(t-2)\Big|_{t=3}=1$

(b) $\int_{-\infty}^{\infty}\mathrm{e}^{-3t}\delta(t-2)\mathrm{d}t=\mathrm{e}^{-6}$

(c) $\int_{-\infty}^{\infty}\mathrm{Sa}(t)\delta(t)\mathrm{d}t=\mathrm{Sa}(t)\Big|_{t=0}=1$

(d) $\int_{-\infty}^{\infty}\delta'(t)\cos t\mathrm{d}t=-\sin t\Big|_{t=0}=0$

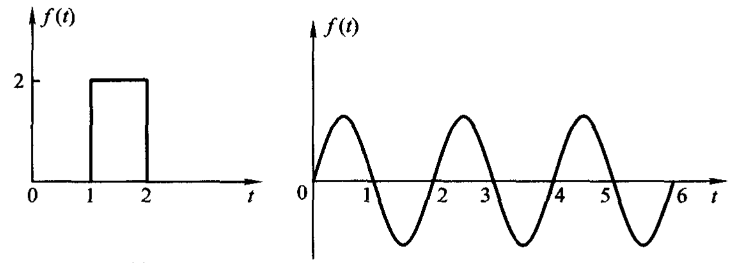
## 2.3 习 题 解 析

**2-1** 设有如下函数$f(t)$，试分别画出它们的波形。

(a) $f(t)=2\varepsilon(t-1)-2\varepsilon(t-2)$

(b) $f(t)=\sin\pi t\cdot[\varepsilon(t)-\varepsilon(t-6)]$

**解** (a)和(b)的波形如图 p2－1 所示。



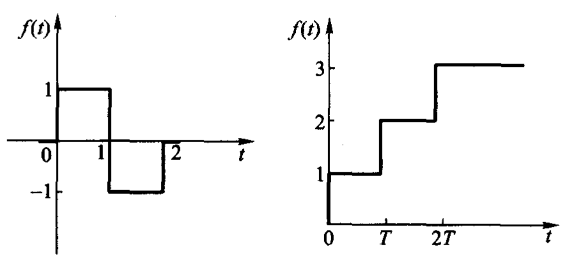

(a) (b)

图 p2－1

**2－2** 试用阶跃函数的组合表示题 2－2 图所示信号。

**解** (a) $f(t)=\varepsilon(t)-2\varepsilon(t-1)+\varepsilon(t-2)$

(b) $f(t)=\varepsilon(t)+\varepsilon(t-T)+\varepsilon(t-2T)$




(a) (b)

题 2－2 图

**2－3** 如题 2－3 图所示 $f(t)$，试画出如下信号的波形。

(a) $f(-t)$

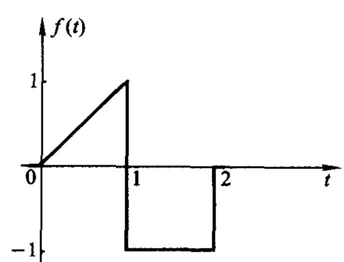
(b) $f(t-1)$

(c) $f(t+1)$

(d) $f(2t)$

(e) $f\left(\frac{t}{2}\right)$

(f) $f(2t-2)$




题 2－3 图

**解** 各信号波形如图 p2－3 所示。

**2－4** 试计算题 2－4 图所示信号的导数 $f'(t)$，并分别画出它们的波形。

**解** (a) $f'(t)=\begin{cases}\dfrac{1}{2}, & 0\leqslant t\leqslant 2\\ -\delta(t-2), & t=2\end{cases}$

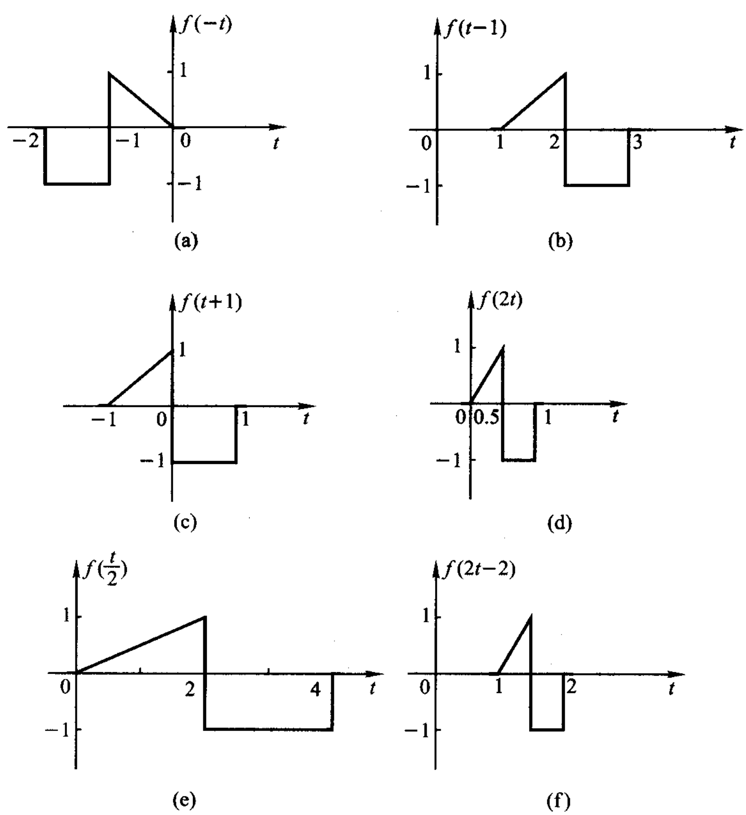
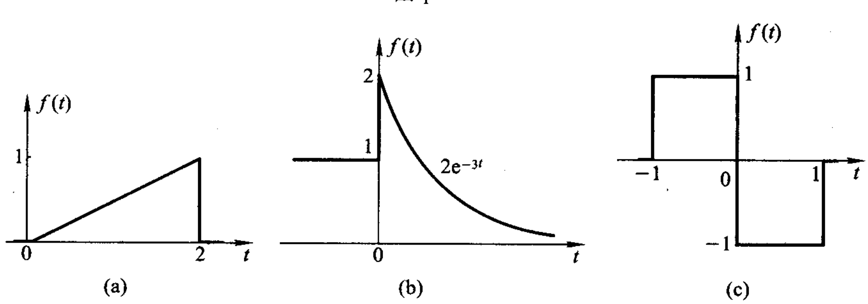



图 p2-3




题 2-4 图

$$(b)\ f'(t)=\begin{cases}\delta(t), & t=0\\ -6e^{-3t}, & t\geqslant 0\end{cases}$$

$$(c)\ f'(t)=\begin{cases}\delta(t+1), & t=-1\\ \delta(t-1), & t=1\\ -2\delta(t), & t=0\end{cases}$$

如图 p2-4 所示。

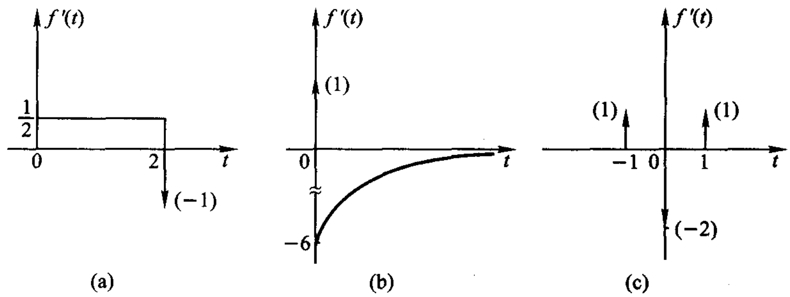
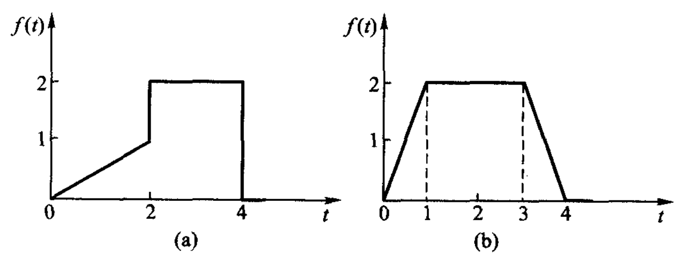



图 p2-4

**2-5** 设有题 2-5 图所示信号 $f(t)$，对图(a)写出 $f'(t)$ 的表达式，对图(b)写出 $f''(t)$ 的表达式，并分别画出它们的波形。




题 2-5 图

**解** (a)

$$f'(t)=\begin{cases}\dfrac{1}{2}, & 0\leqslant t\leqslant 2\\ \delta(t-2), & t=2\\ -2\delta(t-4), & t=4\end{cases}$$

(b) $f''(t)=2\delta(t)-2\delta(t-1)-2\delta(t-3)+2\delta(t-4)$

波形如图 p2-5 所示。

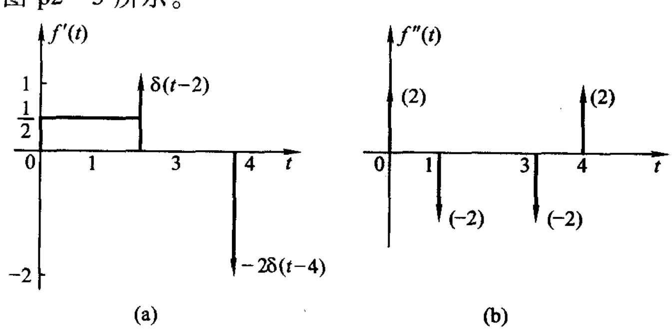



图 p2-5

**2-6** 试化简下列信号。

(a) $f(t)\delta(t-3)$

(b) $\delta(t)+\sin t\cdot\delta(t)$

(c) $2e^{-2t}\delta(t)$

(d) $\cos t\cdot\delta(t)$

**解** (a) $f(t)\delta(t-3)=f(3)\delta(t-3)$

(b) $\delta(t)+\sin t\cdot\delta(t)=\delta(t)$

(c) $2e^{-2t}\delta(t)=2\delta(t)$

(d) $\cos t\cdot\delta(t)=\delta(t)$

**2-7** 试计算下列结果。

(a) $\int_{-\infty}^{\infty} t\delta(t-1)\,dt$

(b) $\int_{0_-}^{\infty}\cos\left(\omega t-\frac{\pi}{3}\right)\delta(t)\,dt$

(c) $\int_{-1}^{2}(t^2+t)\delta(t-3)\,dt$

(d) $\int_{0_-}^{0_+}e^{-3t}\delta(-t)\,dt$

(e) $2\int_{-\infty}^{t}\delta(\tau)\,d\tau$

**解** (a) $\int_{-\infty}^{\infty} t\delta(t-1)\,dt=\int_{-\infty}^{\infty}\delta(t-1)\,dt=1$

(b) $\int_{0_-}^{\infty}\cos\left(\omega t-\frac{\pi}{3}\right)\delta(t)\,dt=\int_{0_-}^{\infty}\cos\left(-\frac{\pi}{3}\right)\delta(t)\,dt=\frac{1}{2}$

(c) $\int_{-1}^{2}(t^2+t)\delta(t-3)\,dt=0$

(d) $\int_{0_-}^{0_+}e^{-3t}\delta(-t)\,dt=\int_{0_-}^{0_+}e^{-3t}\delta(t)\,dt=1$

(e) $2\int_{-\infty}^{t}\delta(\tau)\,d\tau=2\varepsilon(t)$

**2-8** 试一般地证明

$$\delta(t)=\frac{d\varepsilon(t)}{dt}$$

**证明**:因 $\int_{-\infty}^{\infty}f(t)\delta(t)\,dt=f(0)$

又因

$$\int_{-\infty}^{\infty}f(t)\frac{d\varepsilon(t)}{dt}dt=f(t)\varepsilon(t)-\int_{-\infty}^{\infty}\varepsilon(t)f'(t)\,dt$$

$$= f(\infty) - \int_0^{\infty} f'(t)\,\mathrm{d}t$$

$$= f(\infty) - [f(\infty) - f(0)] = f(0)$$

比较可得

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

**2-9** 计算下列各式。

(a) $\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}[1 - \mathrm{e}^{-2t}]\varepsilon(t)$

(b) $\int_{-\infty}^{\infty} \mathrm{e}^{-t}[\delta(t) + \delta'(t)]\mathrm{d}t$

**解** (a) $\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}[1 - \mathrm{e}^{-2t}]\varepsilon(t) = \frac{\mathrm{d}\varepsilon(t)}{\mathrm{d}t} - \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}[\mathrm{e}^{-2t}\varepsilon(t)]$

$$= \delta(t) - \delta(t) + 2\mathrm{e}^{-2t}\varepsilon(t)$$

$$= 2\mathrm{e}^{-2t}\varepsilon(t)$$

(b) $\int_{-\infty}^{\infty} \mathrm{e}^{-t}[\delta(t) + \delta'(t)]\mathrm{d}t = \int_{-\infty}^{\infty} \mathrm{e}^{-t}\delta(t)\mathrm{d}t + \int_{-\infty}^{\infty} \mathrm{e}^{-t}\delta'(t)\mathrm{d}t$

$$= 1 + (-1) = 0$$

**2-10** 试证明

$$\delta(at) = \frac{1}{a}\delta(t)\text{，式中 } a > 1\text{。}$$

**证明**：设信号 $f(t)$ 在 $t = 0$ 连续，则有

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t)\delta(at)\,\mathrm{d}t = \int_{-\infty}^{\infty} f\left(\frac{x}{a}\right)\delta(x)\,\mathrm{d}\,\frac{x}{a}$$

$$= \frac{1}{a}\int_{-\infty}^{\infty} f\left(\frac{x}{a}\right)\delta(x)\,\mathrm{d}x$$

$$= \frac{1}{a}f(0)$$

而

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t)\delta(t)\,\mathrm{d}t = f(0)$$

$$\frac{1}{a}\int_{-\infty}^{\infty} f(t)\delta(t)\,\mathrm{d}t = \frac{1}{a}f(0)$$

所以

$$\delta(at) = \frac{1}{a}\delta(t)$$