全国教育科学"十一五"规划课题研究成果

教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材

信号与系统教程(第3版)
学习指导与题解

燕庆明　主编

高等教育出版社

全国教育科学"十一五"规划课题研究成果

教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材

信号与系统教程(第3版)
学习指导与题解

Xinhao yu Xitong Jiaocheng Xuexi Zhidao yu Tijie

燕庆明　主编

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是与燕庆明主编《信号与系统教程》（第3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（10套）和部分重点高校（院所）近年来研究生入学信号与系统试题（12套）。

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3版）学习指导与题解／燕庆明主编．--北京：高等教育出版社，2014.9

ISBN 978-7-04-040755-6

Ⅰ．①信… Ⅱ．①燕… 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（2014）第 178963 号

策划编辑 袁 坤　　责任编辑 欧阳舟　　封面设计 赵 阳　　版式设计 于 婕
插图绘制 邓 超　　责任校对 刘娟娟　　责任印制 张泽业

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 北京市四季青双青印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 17.5
字 数 390千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 http://www.hep.edu.cn
http://www.hep.com.cn
网上订购 http://www.landraco.com
http://www.landraco.com.cn
版 次 2014年9月第1版
印 次 2014年9月第1次印刷
定 价 25.80元

物 料 号 40755-00

前　　言

“信号与系统”课程是电子电气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。本书各章给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10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12套），并给出了解答。师生使用多年，效果很好。学生可以从中学到许多有用的知识。

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。

鲁纯熙、何育参加了修订工作。由于水平有限，书中可能有不妥之处，敬请指正。

E-mail：ellenyx_2003@163.com。

编　者

2014年3月

目　　录

第 1 章　信号与系统导论 ……………………… 1
1.1　学习重点 ……………………………… 1
1.2　重点指导 ……………………………… 1
1.3　习题解析 ……………………………… 2
第 2 章　连续系统的时域分析 ……………… 12
2.1　学习重点 ……………………………… 12
2.2　重点指导 ……………………………… 12
2.3　习题解析 ……………………………… 21
第 3 章　信号与系统的频域分析 …………… 33
3.1　学习重点 ……………………………… 33
3.2　重点指导 ……………………………… 33
3.3　习题解析 ……………………………… 44
第 4 章　连续系统的复频域分析 …………… 63
4.1　学习重点 ……………………………… 63
4.2　重点指导 ……………………………… 63
4.3　习题解析 ……………………………… 69
第 5 章　系统函数与零、极点分析 ………… 84
5.1　学习重点 ……………………………… 84
5.2　重点指导 ……………………………… 84
5.3　习题解析 ……………………………… 89
第 6 章　离散系统的时域分析 ……………… 101
6.1　学习重点 ……………………………… 101
6.2　重点指导 ……………………………… 101
6.3　习题解析 ……………………………… 104
第 7 章　离散系统的 z 域分析 ……………… 110
7.1　学习重点 ……………………………… 110
7.2　重点指导 ……………………………… 110
7.3　习题解析 ……………………………… 114
第 8 章　连续和离散系统的状态变量分析 ……………………………… 127
8.1　学习重点 ……………………………… 127
8.2　重点指导 ……………………………… 127
8.3　习题解析 ……………………………… 133
附录 A　信号与系统模拟试题 ……………… 146
A.1　试题一 ………………………………… 146
A.2　试题二 ………………………………… 149
A.3　试题三 ………………………………… 152
A.4　试题四 ………………………………… 154
A.5　试题五 ………………………………… 156
A.6　试题六 ………………………………… 158
A.7　试题七 ………………………………… 161
A.8　试题八 ………………………………… 164
A.9　试题九 ………………………………… 166
A.10　试题十 ……………………………… 173
附录 B　部分高校、院所近年硕士研究生入学考试信号与系统试题 …… 185
B.1　西安电子科技大学：入学试题及解答 … 185
B.2　华中科技大学：入学试题及解答 …… 192
B.3　浙江大学：入学试题及解答 ………… 196
B.4　上海交通大学：入学试题及解答 …… 202
B.5　(成都)电子科技大学：入学试题及解答 ……………………………… 205
B.6　邮电科学研究院：入学试题及解答 … 212
B.7　中国科学院电子学研究所：入学试题及解答 ……………………………… 218
B.8　北京交通大学：入学试题及解答 …… 224
B.9　江南大学：入学试题及解答 ………… 231

B.10 东南大学:入学试题及解答 …………… 237

B.11 上海大学:入学试题及解答 …………… 243

B.12 国防科技大学(长沙):入学试题及解答 …………… 251

附录 C 矩阵和矩阵函数 …………… 261

附录 D 三角公式和级数求和公式 …………… 271

D.1 三角公式 …………… 271

D.2 几何级数求和公式 …………… 271

参考书目 …………… 273

第 1 章

信号与系统导论

1.1 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。

1.2 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(降正弦函数)

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

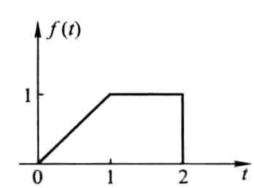


图 1-1

例 1-1 如图 1-1 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 1-2 所示。

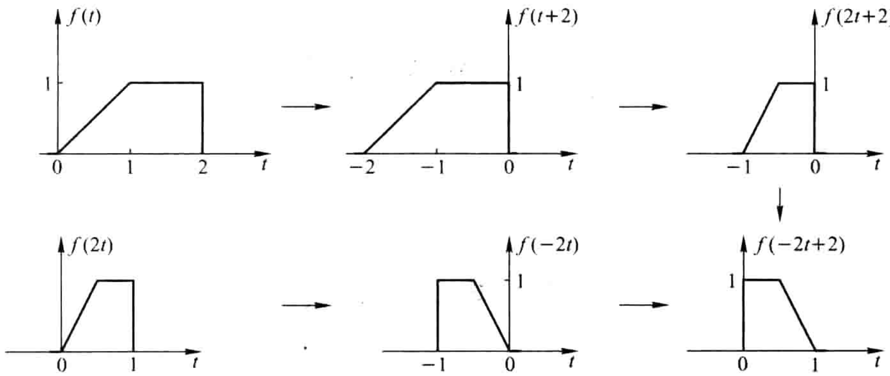


图 1-2

例 1-2 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) $\int_{-\infty}^{\infty} \mathrm{e}^{-3t}\delta(t-2)\mathrm{d}t = \mathrm{e}^{-6}$

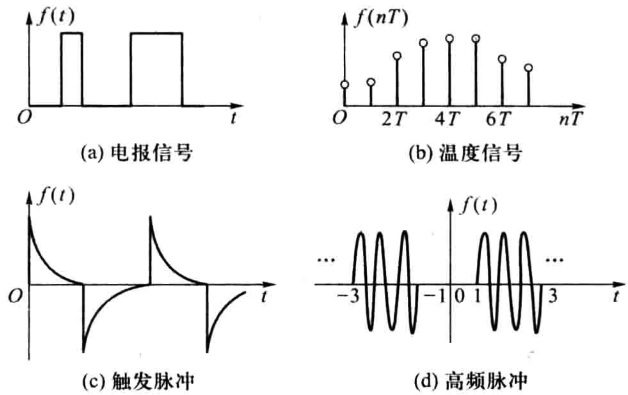
(c) $\int_{-\infty}^{\infty} \mathrm{Sa}(t)\delta(t)\mathrm{d}t = \mathrm{Sa}(t)\Big|_{t=0} = 1$

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

1.3 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？

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。



题 1-1 图

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

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

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 $y(t)=1-e^{-t}$，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

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

1-8 （略）

1-9 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 p1-9 所示。

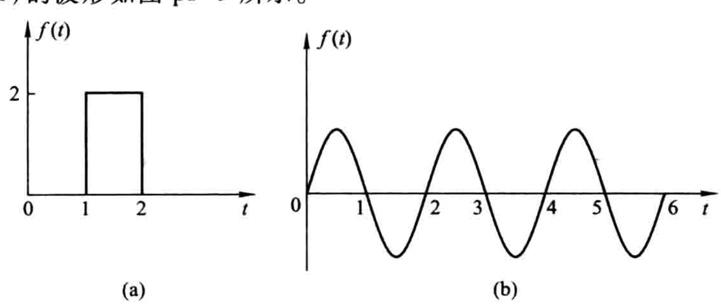
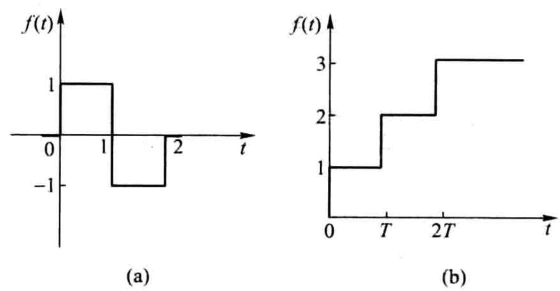


图 p1-9

1-10　试用阶跃函数的组合表示题 1-10 图所示信号。

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

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



题 1-10 图

1-11　如题 1-11 图所示 $f(t)$，试画出如下信号的波形。

(a) $f(-t)$

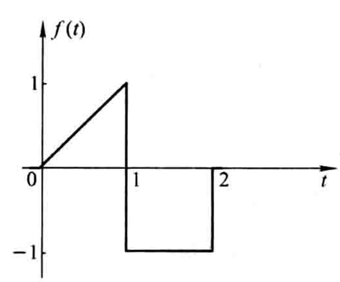
(b) $f(t-1)$

(c) $f(t+1)$

(d) $f(2t)$

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

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



题 1-11 图

解　各信号波形如图 p1-11 所示。

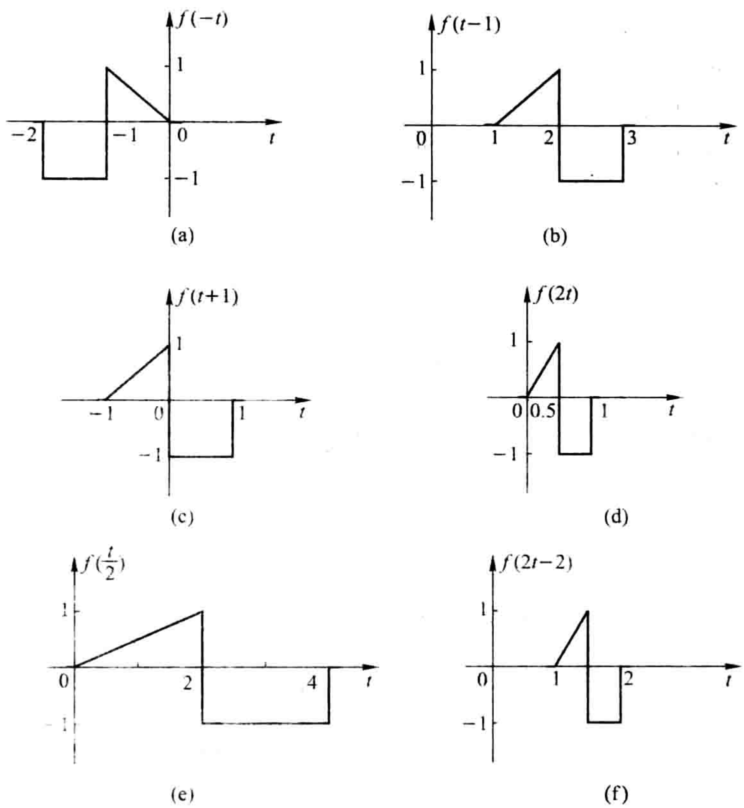
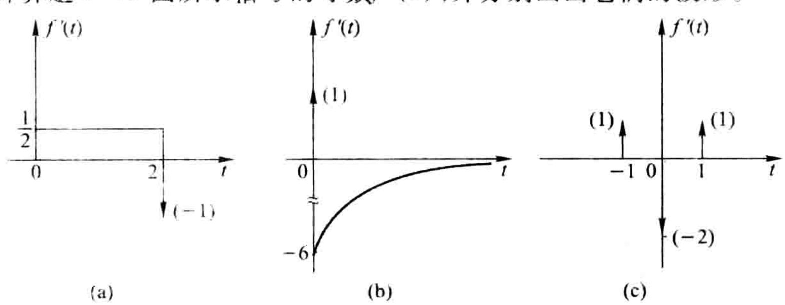


图 p1-11

1-12 试计算题 1-12 图所示信号的导数$f'(t)$，并分别画出它们的波形。



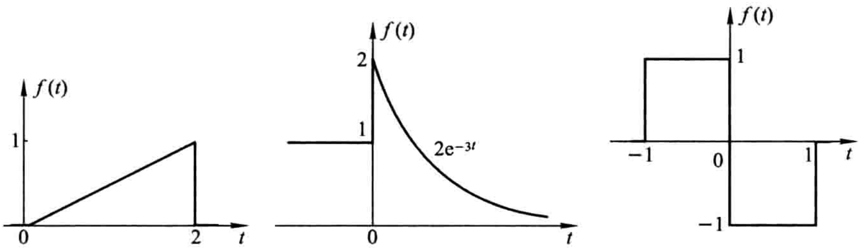
题 1-12 图

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

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

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

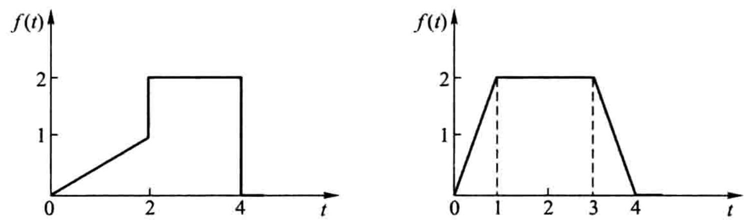
波形如图 p1-12 所示。



(a) (b) (c)

图 p1-12

1-13 设有题 1-13 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。



(a) (b)

题 1-13 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 p1-13 所示。

1-14 试化简下列信号。

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

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

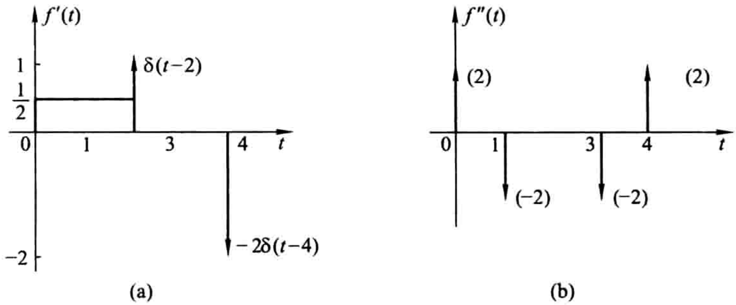


图 p1-13

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

1-15 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) $2\int_{-\infty}^{t} \delta(\tau)\,d\tau=2\,\varepsilon(t)$

1-16 试一般地证明

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

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

又因

$$\begin{aligned}\int_{-\infty}^{\infty} f(t)\frac{\mathrm{d}\,\varepsilon(t)}{\mathrm{d}t}\mathrm{d}t&=f(t)\,\varepsilon(t)\;-\int_{-\infty}^{\infty}\varepsilon(t)f'(t)\,\mathrm{d}t\\&=f(\infty)\;-\int_{0}^{\infty}f'(t)\,\mathrm{d}t\\&=f(\infty)\;-[f(\infty)\;-f(0)]=f(0)\end{aligned}$$

比较可得

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

1-17 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) $\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}[1-\mathrm{e}^{-2t}]\varepsilon(t)=\frac{\mathrm{d}\,\varepsilon(t)}{\mathrm{d}t}-\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}[\mathrm{e}^{-2t}\varepsilon(t)]$

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

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

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

1-18 试证明

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

式中 $a>1$。

证明 设信号 $f(t)$ 在 $t=0$ 连续，则有

$$\begin{aligned}\int_{-\infty}^{\infty} f(t)\delta(at)\,\mathrm{d}t&=\int_{-\infty}^{\infty} f\left(\frac{x}{a}\right)\delta(x)\,\mathrm{d}\,\frac{x}{a}\\&=\frac{1}{a}\int_{-\infty}^{\infty} f\left(\frac{x}{a}\right)\delta(x)\,\mathrm{d}x\\&=\frac{1}{a}f(0)\end{aligned}$$

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

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