



高等学校教材经典同步辅导丛书电学类
配高教社《信号与系统》第二版 上册 郑君里等编

SIGNALS & SYSTEM

信号与系统

郑君里 第二版

上册

同步辅导及习题全解

华腾教育教学与研究中心

丛书主编 清华大学 李 丰

本书主编 清华大学 曾 捷

◆ 紧扣教材 ◆ 知识精讲 ◆ 习题全解
◆ 应试必备 ◆ 联系考研 ◆ 网络增值

中国矿业大学出版社

TN911.6
44/-2:1(4)

高等学校教材经典同步辅导

信号与系统

同步辅导及习题全解

华腾教育教学与研究中心
丛书主编 清华大学 李 丰
本书主编 清华大学 曾 捷

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书是高等教育出版社出版,郑君里、应启珩、杨为里编著的《信号与系统》(第二版上册)教材的配套辅导书。全书由课程学习指南、知识点归纳、典型例题与解题技巧、历年考研真题评析、课后习题全解及考研考试指导等部分组成,旨在帮助读者掌握知识要点,学会分析问题和解决问题的方法技巧,并且提高学习能力及应试能力。

本书可供高等院校信号与系统课程的同步辅导使用,也可作为研究生入学考试的复习资料,同时可供本专业教师及相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统(上册)同步辅导及习题全解/曾捷主编.

徐州:中国矿业大学出版社,2006.8

(高等学校教材经典同步辅导丛书)

ISBN 7 - 81107 - 398 - 6

I. 信… II. 曾… 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 (2006) 第 086939 号

书 名 信号与系统(上册)同步辅导及习题全解

主 编 曾 捷

责任编辑 罗 浩

选题策划 孙怀东

特约编辑 王丽娜

出版发行 中国矿业大学出版社

印 刷 北京市昌平百善印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 本册印张 18.00 本册字数 457 千字

印 次 2007 年 8 月第 1 版第 2 次印刷

总 定 价 251.60 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

高等学校教材

经典同步辅导丛书编委会

主任：清华大学 王 飞

副主任：清华大学 夏应龙

清华大学 倪铭辰

中国矿业大学 李瑞华

编 委 (按姓氏笔画排序):

于志慧	王丽娜	王 焯	甘 露
-----	-----	-----	-----

师文玉	吕现杰	朱凤琴	刘胜志
-----	-----	-----	-----

刘淑红	孙怀东	严奇荣	杨 涛
-----	-----	-----	-----

李 丰	李凤军	李 冰	李 波
-----	-----	-----	-----

李南木	李炳颖	李 娜	李晓光
-----	-----	-----	-----

李晓炜	李 娟	李雅平	李燕平
-----	-----	-----	-----

时虎平	何联毅	邹绍荣	宋 波
-----	-----	-----	-----

张旭东	张守臣	张鹏林	张 慧
-----	-----	-----	-----

陈晓东	范亮宇	孟庆芬	涂兰敬
-----	-----	-----	-----

前言

PREFACE

《信号与系统》是通信、电力、电子、自动化等专业重要的课程之一，也是报考上述专业硕士研究生的考试课程。

郑君里、应启珩、杨为理编著的《信号与系统》(第二版)以体系完整、结构严谨、层次清晰、深入浅出的特点成为这门课程的经典教材，被全国许多院校采用。

为了帮助读者更好地学习这门课程，掌握更多的知识，我们根据多年的教学经验编写了这本与此教材配套的《信号与系统同步辅导及习题全解》(第二版上册)。本书旨在使广大读者理解基本概念，掌握基本知识，学会基本解题方法与解题技巧，进而提高应试能力。本书作为一种辅助性的教材，具有较强的针对性、启发性、指导性和补充性的特点。

考虑到《信号与系统》这门课程的特点，我们在内容上作了以下安排：

1. 课程学习指南 从该课程的知识体系出发，对各个章节在全书中的位置，以及与其他章节的联系作了简明扼要的阐述，使学习更有重点。

2. 知识点归纳 串讲概念，总结性质和定理，使知识全面系统，便于掌握。

3. 典型例题与解题技巧 精选各类题型，涵盖本章所有重要知识点，对题目进行深入、详细地讨论和分析，并引导学生思考问题，能够举一反三、拓展思路。

4. 历年考研真题评析 精选历年名校考研真题并进行深入地讲解。

5. 课后习题全解 给出了郑君里、应启珩、杨为理编著的《信号与系统》(第二版上册)各章习题的答案。我们不仅给出了详细的解题过程，而且对有难度或综合性较强的习题做了分析和小结，从而更好地

帮助学生理解掌握每一知识点。

6. 考研考试指导 首先归纳了本课程的考研考点,然后精选了清华大学等名校的最新考研考试试题并给出了参考答案,以帮助学生顺利通过相关考试。

本书在编写时参考了大量的优秀教材和权威考题。在此,谨向有关作者和所选考试、考研试题的命题人以及对本书的出版给予帮助和指导的所有老师、同仁表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,本书难免出现不妥之处,恳请广大读者批评指正。

联系我们

华腾教育网:

<http://www.huatengedu.com.cn>

电子邮件:

huateng@huatengedu.com

华腾教育教学与研究中心

目 录

CONTENTS

课程学习指南	1
第一章 绪论	3
知识点归纳	3
典型例题与解题技巧	5
历年考研真题评析	8
课后习题全解	11
第二章 连续时间系统的时域分析	28
知识点归纳	28
典型例题与解题技巧	30
历年考研真题评析	35
课后习题全解	36
第三章 傅里叶变换	71
知识点归纳	71
典型例题与解题技巧	76
历年考研真题评析	80
课后习题全解	82
第四章 拉普拉斯变换、连续时间系统的 s 域分析	136
知识点归纳	136
典型例题与解题技巧	139
历年考研真题评析	142
课后习题全解	145

第五章 傅里叶变换应用于通信系统——滤波、调制与抽样 202

知识点归纳 202

典型例题与解题技巧 204

历年考研真题评析 208

课后习题全解 212

第六章 信号的矢量空间分析 235

知识点归纳 235

典型例题与解题技巧 238

历年考研真题评析 240

课后习题全解 241

考研考试指导 258

考研考点归纳 258

清华大学 2007 年考研试题 258

参考答案 260

清华大学 2006 年期末试题 263

参考答案 264

期末模拟题 269

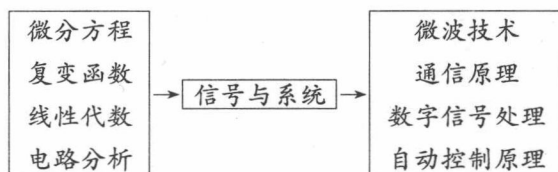
参考答案 270

课程学习指南

信号与系统课程是电子信息类专业必修的一门主干基础课程,也是自动控制、电气工程、计算机技术、生物医学工程等众多电类专业的基础课程,同时是通信、信号处理等专业研究生入学考试科目。

学习信号与系统课程的目的是掌握信号和线性系统分析的基本理论、基本原理和方法,能够在后续课程(如通信原理、通信系统等)的学习和工作中灵活应用这些方法遇到的问题。

信号与系统具有很强的理论性和逻辑性,需要有一定的数学和电路理论基础,所以在学习本课程之前应熟练掌握包括微分方程、差分方程、级数、复变函数、线性代数在内的大学数学相关课程,以及电路分析的基础知识。同时,信号与系统课程又有很强的基础性和延续性,是通信电路、通信原理、自动控制原理、数字信号处理、微波技术等课程最重要的先修课程。



信号与系统(上册)主要针对连续时间系统,共分三个部分。第一章和第二章讲述了信号与系统的基本概念以及连续时间系统的时域分析;第三章到第五章讲述了信号的变换域分析,包括傅里叶变换和拉普拉斯变换。第六章讲了信号矢量空间的一些概念。其中,第二部分是本书的重点,也是信号与系统课程的精髓,要深入理解和掌握。第一部分是基础,第三部分仅需要简单了解。

信号与系统主要研究信号以及系统对信号的响应,理论性比较强,又有很明显的物理意义和工程背景。为了学好这门课程,建议在学习过程中应按以下方法学习:

1. 记清基本概念,理解基本原理,掌握基本方法。
2. 要注意对数学表达式物理意义的理解,运用数学工具解决工程问题。
3. 要注意前后联系,融会贯通,保持知识的连贯性。
4. 培养系统分析问题的能力。

此外,为了帮助同学们在考研、期末考试中取得好成绩,我们提出以下建议:

1. 善思考、抓本质。不但要知其然,更要知其所以然,抓住数学公式和物理现象背后的一般性原理。

2. 勤动手、多练习。除了看懂书本中的基本原理外,还要研究一些重点章节的相关题目,才能深刻体会和牢固掌握要点。

3. 重系统、观全局。课程学习之后,把各个章节的知识作为一个有机整体去理解,全面的掌握对各种信号的分析、变换和处理。

第一章

绪论

III 知识点归纳

一、信号与系统的定义

信号通常可表示为时间的函数(或序列),该函数的图像称为信号的波形。在讨论有关信号问题时,“信号”与“函数(或序列)”二词互相通用。

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。

二、信号的分类和典型示例

1. 信号的分类

信号从不同的角度可分为以下几类:

(1)确定性信号与随机信号;(2)周期信号与非周期信号;(3)连续时间信号与离散时间信号;(4)一维信号与多维信号等。

2. 典型连续信号

实指数信号

$$f(t) = Ae^{\sigma t}$$

正弦信号

$$f(t) = A \sin(\omega t + \theta)$$

复指数信号

$$f(t) = Ae^{\sigma t} = Ae^{(\sigma + j\omega)t}$$

抽样函数

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

高斯函数

$$f(t) = Ee^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)^2}$$

三、信号的运算

1. 时移

① $f(t) \rightarrow f(t + t_0)$ 若 $t_0 > 0$ 则 $f(t)$ 的波形沿时间轴向左移动;反之,则向右移动。

2. 反褶

$f(t) \rightarrow f(-t)$ 把 $f(t)$ 的波形以 $t=0$ 为轴反褶过来。

3. 尺度变换

$f(t) \rightarrow f(at)$ (a 为正实系数)

若 $a > 1$, 则 $f(t)$ 的波形沿时间轴被压缩; 反之, 则扩展。

四、冲激函数和阶跃函数

单位斜变信号

$$R_1(t) = \begin{cases} t, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

单位阶跃信号

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

$$\frac{dR_1(t)}{dt} = u(t), \int_0^t u(\tau) d\tau = R_1(t)$$

矩形脉冲信号

$$G_1(t) = u(t) - u(t - t_0)$$

符号函数

$$\text{sgn}(t) = \begin{cases} 1, & t > 0 \\ -1, & t < 0 \end{cases}$$

$$\epsilon(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \text{sgn}(t), \text{sgn}(t) = 2u(t) - 1$$

掌握连续信号中阶跃函数 $u(t)$ 和冲激函数 $\delta(t)$ 的定义及它们之间的关系。

熟练掌握冲激函数及其导数的性质, 如 $\delta(t)$ 的导数与积分, $\delta(t)$ 及其导数的取样特性和奇偶性, 普通函数与 $\delta(t)$ 或 $\delta'(t)$ 的乘积、移位等。

五、线性时不变系统(简记为 LTI 系统)的特性

下图所示为系统框图。图中 $f(\cdot)$ 表示输入, $\{x(0)\}$ 表示系统的起始状态, $y(\cdot)$ 表示系统的输出。

若系统满足:



1. 可分解性[全响应 $y(\cdot)$ 可分解为零输入响应 $y_{zi}(\cdot)$ 与零状态响应 $y_{zs}(\cdot)$ 之和]

$$y(\cdot) = y_{zi}(\cdot) + y_{zs}(\cdot)$$

2. 齐次性(含零输入响应齐次性和零状态响应齐次性)

$$a\{x(0)\} \rightarrow ay_{zi}(\cdot) \quad 0 < a < \infty \quad (a+1)\delta(t) = (a+1)\delta(t) \quad ②$$

$$af(\cdot) \rightarrow ay_{zs}(\cdot) \quad (3)$$

3. 叠加性(含零输入响应叠加性和零状态响应叠加性)

$$\{x_1(0) + x_2(0)\} \rightarrow [y_{z1}(\cdot) + y_{z2}(\cdot)] \quad (4)$$

$$[f_1(t) + f_2(t)] \rightarrow [y_{zs1}(\cdot) + y_{zs2}(\cdot)] \quad (5)$$

则称该系统为线性系统。或者说,线性系统都具有叠加、齐次、可分解三个特性。

若系统满足输入延迟多少时间,其零状态响应也延迟多少时间,即

$$f(t-t_0) \rightarrow y_{zs}(t-t_0) \text{ (连续系统)} \quad (6)$$

$$f(k-k_0) \rightarrow y_{zs}(k-k_0) \text{ (离散系统)} \quad (7)$$

则称该系统为时不变系统。

若系统既满足式①~⑤的线性条件,又满足式⑥、⑦的时不变条件,则称该系统为线性时不变系统,简记为 LTI 系统。

六、系统的时域分析方法

时间域方法直接分析时间变量的函数,研究系统的时间响应特性,这种方法的优点是物理概念清楚。对于 LTI 系统,求系统的零状态响应时,重点介绍卷积(对连续系统)和卷积(对离散系统)方法。

七、系统的变换域分析方法

分析 LTI 系统时,引入三种变换:即拉氏变换(s 域)、傅里叶变换(ω 域)和 z 变换(z 域)。将它们用于 LTI 系统分析时,其理论基础是卷积定理(对连续系统)和卷和定理(对离散系统),即

$$y(\cdot) = f(\cdot) * h(\cdot)$$

$$Y(s) = F(s) \cdot H(s)$$

$$Y(j\omega) = F(j\omega) \cdot H(j\omega)$$

$$Y(z) = F(z) \cdot H(z)$$

将变换域的响应函数 $Y(s)$ 、 $Y(j\omega)$ 、 $Y(z)$ 取相应的反变换,可得时域的零状态响应。

典型例题与解题技巧

例 1 绘出下列各时间函数的波形图,注意它们的区别:

$$(1) f_1(t) = \sin(\omega t) \cdot u(t);$$

$$(2) f_2(t) = \sin[\omega(t-t_0)] \cdot u(t);$$

$$(3) f_3(t) = \sin(\omega t) \cdot u(t-t_0);$$

$$(4) f_4(t) = \sin[\omega(t-t_0)] \cdot u(t-t_0)。$$

【分析】 根据信号的时移、反转、叠加等性质解题。

解 各波形如图 1-1 所示。

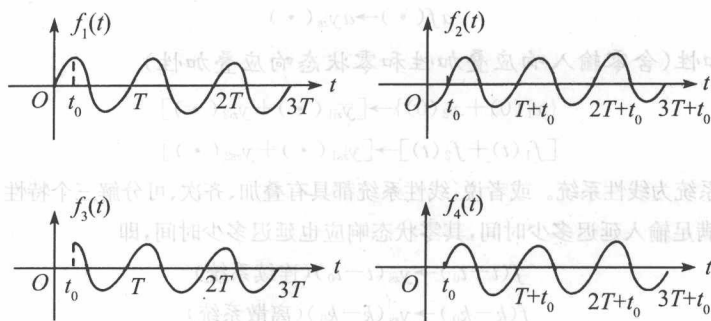


图 1-1

例 2 若 $h(t)$ 的波形如图 1-2(a) 所示, $f(t)$ 的波形如图 1-2(b) 所示, 试概略画出下述信号的波形图, 并加以标注:

- (a) $h(t)f(t+1)$; (b) $h(t)f(-t)$; (c) $h(t-1)f(1-t)$; (d) $h(1-t)f(t-1)$.

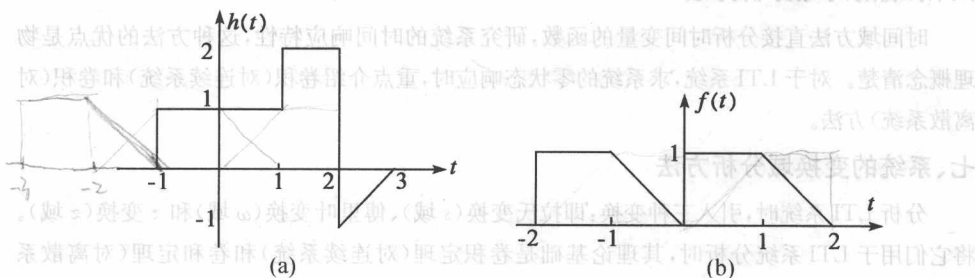


图 1-2

【分析】 考查了信号的平移、反转和两信号相乘的性质。

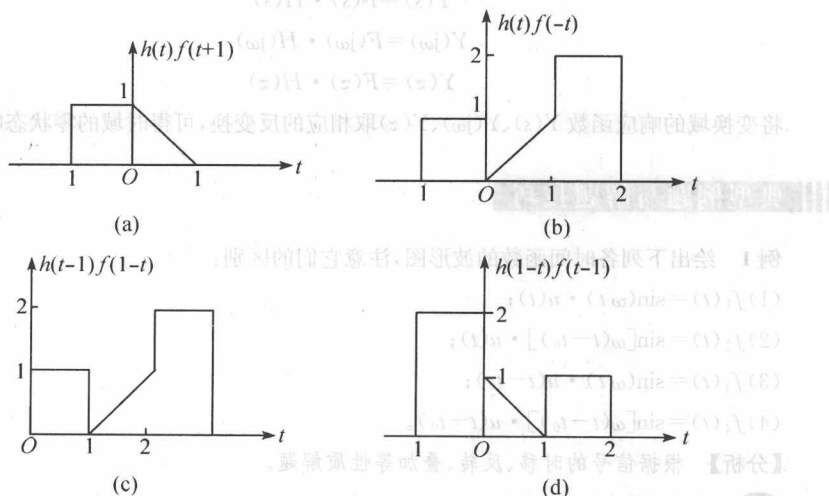


图 1-3

解 (a) $h(t)f(t+1)$ 的波形图如图 1-3(a) 所示;

(b) $h(t)f(-t)$ 的波形图如图 1-3(b) 所示;

(c) $h(t-1)f(1-t)$ 的波形图如图 1-3(c) 所示;

(d) $h(1-t)f(t-1)$ 的波形图如图 1-3(d) 所示。

例 3 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。

【分析】 线性系统都具有齐次、叠加、可分解三个特性, 从这几个方面入手证明即可。

证 不失一般性, 设输入有两个分量, 且

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

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

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

可见

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

即满足可加性, 齐次性是显然的。故系统为线性的。

例 4 已知 $f(5-2t)$ 的波形图如图 1-4(a) 所示, 画出 $f(t)$ 的波形图。

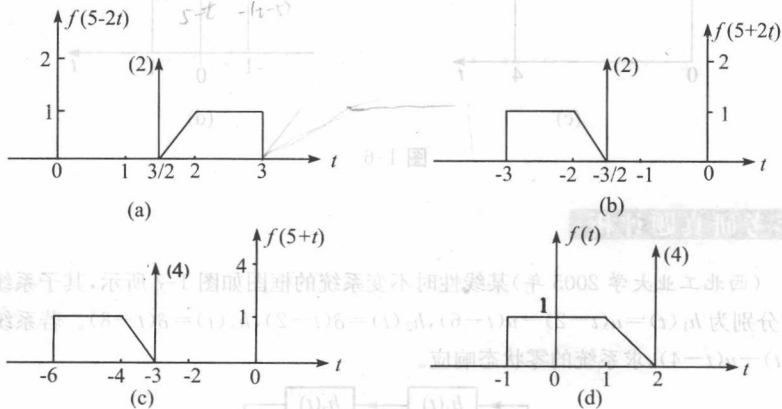


图 1-4

【分析】 $f(5-2t)$ 是 $f(t)$ 经过反转、时移、尺度变换后得到的, 依不同的次序可有 6 种途径。在求解过程中要注意冲激函数的尺度变换。

解 $f(5-2t) \xrightarrow{\text{反转}} f(5+2t) \xrightarrow{\text{尺度变换}} f(5+t) \xrightarrow{\text{平移}} f(t)$ 其波形依次如图 1-4(b), (c),

(d)所示。

例 5 给定 1-5 图示信号 $f(t)$, 试画出下列信号的波形

(a) $2f(t-2)$; (b) $f(2t)$; (c) $f(\frac{1}{2}t)$; (d) $f(-t+1)$ 。

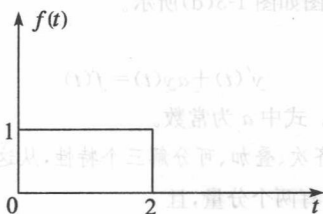


图 1-5

【分析】 $f(2t)$ 表示将 $f(t)$ 波形压缩, $f(\frac{t}{2})$ 表示将 $f(t)$ 波形扩展。

【解】 以上各函数的波形如图 1-6 所示。

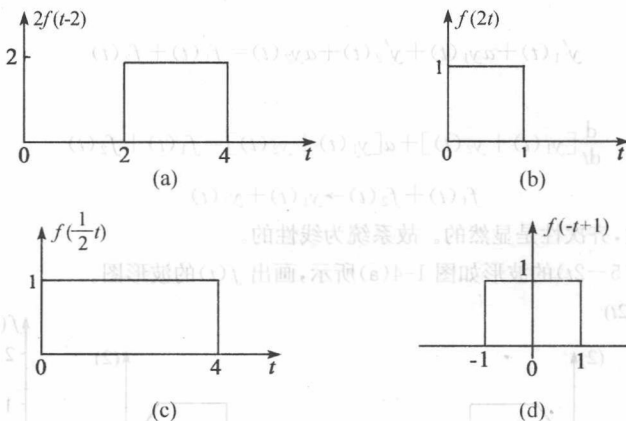


图 1-6

历年考研真题评析

题 1 (西北工业大学 2005 年) 某线性时不变系统的框图如图 1-7 所示, 其子系统的单位冲激响应分别为 $h_1(t) = u(t-2) - u(t-6)$, $h_2(t) = \delta(t-2)$, $h_3(t) = \delta(t-8)$ 。若系统的输入 $f(t) = u(t) - u(t-4)$, 求系统的零状态响应。

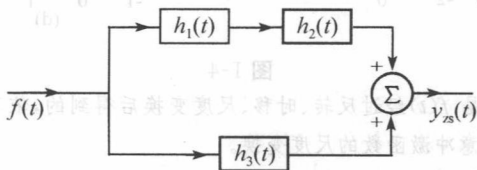


图 1-7

【分析】 利用线性时不变系统的各种性质解题。

解 系统的单位冲激响应为

$$h(t) = h_1(t) * h_2(t) + h_3(t) = u(t-4) - u(t-8) + \delta(t-8)$$

$$\begin{aligned} y_{zs}(t) &= f(t) * h(t) = [u(t) - u(t-4)] * [u(t-4) - u(t-8) + \delta(t-8)] \\ &= [u(t) - u(t-4)] * [u(t-4) - u(t-8)] + u(t-8) - u(t-12) \end{aligned}$$

其中 $[u(t) - u(t-4)] * [u(t-4) - u(t-8)]$ 可用解析法、图解法、卷积分、微积分性质计算,在前面题中已有三种计算方法的介绍,这里用另一种方法来计算。

$$\begin{aligned} y_{zs}(t) &= u(t) * u(t-4) - u(t) * u(t-8) - u(t-4) * u(t-4) + u(t-4) * u(t-8) + \\ &\quad u(t-8) - u(t-12) \\ &= u(t) * u(t) * \delta(t-4) - u(t) * u(t) * \delta(t-8) - u(t) * u(t) * \delta(t-8) + u(t) * u(t) * \\ &\quad \delta(t-12) + u(t-8) - u(t-12) \end{aligned}$$

$$u(t) * u(t) = \int_{-\infty}^{\infty} u(\tau) u(t-\tau) d\tau = \int_0^t 1 \times 1 d\tau = tu(t)$$

故零状态响应为

$$\begin{aligned} y_{zs}(t) &= tu(t) * \delta(t-4) - 2tu(t) * \delta(t-8) + tu(t) * \delta(t-12) + u(t-8) - u(t-12) \\ &= (t-4)u(t-4) - 2(t-8)u(t-8) + (t-12)u(t-12) + u(t-8) - u(t-12) \end{aligned}$$

题2 (清华大学2005年)试求下列函数值:

(a) $f_1(t) = 2u(2t+4)\delta(t+2)$;

(b) $f_2(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t^2 - 4t + 3) dt$;

(c) $f_3(t) = \int_{-2}^2 \delta(t^2 - 4t + 3) dt$;

(d) $f_4(t) = \frac{d}{dt} [e^{-t} u(t)]$ 。

【分析】 利用函数的相乘、积分、微分性质求解。

解 (a) 可以求得

$$\begin{aligned} f_1(t) &= 2u(2t+4)\delta(t+2) \\ &= 2u[2(-2)+4]\delta(t+2) \\ &= 2u(0)\delta(t+2) \end{aligned}$$

注意到 $u(0)=0.5$, 故 $f_1(t) = \delta(t+2)$ 。

(b) 解此题要注意单位冲激信号 $\delta(t^2 - 4t + 3)$ 的性质, 由于

$$t^2 - 4t + 3 = (t-1)(t-3)$$

故当 $t=1$ 及 $t=3$ 时, $\delta(t^2 - 4t + 3)$ 存在二个冲激, 而当 t 为其他值时, $\delta(t^2 - 4t + 3) = 0$, 因此

$$f_2(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t^2 - 4t + 3) dt = \int_{-\infty}^{\infty} [\delta(t-1) + \delta(t-3)] dt = 2$$

(c) 按照(b)的分析, 可得

$$f_3(t) = \int_{-2}^2 \delta(t^2 - 4t + 3) dt$$