

高校经典教材同步辅导丛书
配套高教版·郑君里主编

九章丛书

SIGNALS & SYSTEMS

信号与系统

第三版
上册

同步辅导及习题全解

主 编 孙雨雷

- ◆ 知识点窍 ◆ 逻辑推理 ◆ 习题全解
- ◆ 全真考题 ◆ 名师执笔 ◆ 题型归类



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

新版

高校经典教材同步辅导丛书

信号与系统（第三版·上册）

同步辅导及习题全解

主 编 孙雨雷



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内容提要

本书是与高等教育出版社出版的、郑君里等主编的《信号与系统》(第三版·上册)一书配套的同步辅导和习题解答参考书。

本书共有6章,分别介绍绪论、连续时间系统的时域分析、傅里叶变换、拉普拉斯变换、连续时间系统的s域分析、傅里叶变换应用于通信系统——滤波、调制与抽样、信号的矢量空间分析。本书按教材内容安排全书结构,各章均包括考试要求、知识点归纳、经典考题解析、历年考研真题评析、教材同步习题全解五部分内容,并针对各章节习题给出详细解答,思路清晰、逻辑性强,循序渐进地帮助读者分析并解决问题,内容详尽、简明易懂。

本书可作为高等院校学生学习信号与系统课程的辅导教材,也可作为考研人员复习备考的辅导教材,同时可供教师备课命题作为参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统(第三版·上册)同步辅导及习题全解 /
孙雨雷主编. — 北京:中国水利水电出版社, 2012.6
(高校经典教材同步辅导丛书)
ISBN 978-7-5084-9871-3

I. ①信… II. ①孙… 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(2012)第123582号

策划编辑:杨庆川 责任编辑:张玉玲 封面设计:李 佳

书 名	高校经典教材同步辅导丛书
作 者	信号与系统(第三版·上册)同步辅导及习题全解
出版发行	主 编 孙雨雷 中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net(万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658(发行部)、82562819(万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	航远印刷有限公司
规 格	170mm×227mm 16开本 16印张 375千字
版 次	2012年8月第1版 2012年8月第1次印刷
印 数	0001—7000册
定 价	22.80元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

POSTSCRIPT

郑君里等主编的《信号与系统》(第三版·上册)以体系完整、结构严谨、层次清晰、深入浅出等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(第三版·上册)同步辅导及习题全解》。本书旨在帮助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。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)考试要求。根据教学大纲要求,总结学习的重点和需要掌握的知识。

(2)知识点归纳。对每章知识点做了简练概括,梳理了各知识点之间的脉络联系,突出各章主要定理及重要公式,使读者在各章学习过程中目标明确,有的放矢。

(3)经典考题解析。该部分选取了一些具有启发性或综合性较强的经典例题,对所给例题先进行分析,再给出详细解答,意在抛砖引玉。

(4)历年考研真题评析。精选历年研究生入学考试中具有代表性的试题进行详细解答,开阔学生的解题思路,使其能更好地掌握该课程的基本内容和解题方法。

(5)教材同步习题全解。教材中课后习题丰富、层次多样,许多基础性问题从多个角度帮助学生理解基本概念和基本理论,促其掌握基本解题方法。我们对教材的课后习题给出了详细的解答。

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中难免有疏漏之处,敬请各位同行和读者给予批评指正。

编者

2012年8月

前言

第一章 绪论	1
考试要求	1
知识点归纳	1
经典考题解析	3
历年考研真题评析	6
教材同步习题全解	8
第二章 连续时间系统的时域分析	27
考试要求	27
知识点归纳	27
经典考题解析	29
历年考研真题评析	33
教材同步习题全解	35
第三章 傅里叶变换	62
考试要求	62
知识点归纳	62
经典考题解析	64
历年考研真题评析	69
教材同步习题全解	71
第四章 拉普拉斯变换、连续时间系统的 s 域分析	121
考试要求	121
知识点归纳	121

目录

contents

经典考题解析	123
历年考研真题评析	127
教材同步习题全解	129

第五章 傅里叶变换应用于通信系统——滤波、调制与抽样

187

考试要求	187
知识点归纳	187
经典考题解析	189
历年考研真题评析	193
教材同步习题全解	195

第六章 信号的矢量空间分析

219

考试要求	219
知识点归纳	219
经典考题解析	222
历年考研真题评析	224
教材同步习题全解	226

第一章

绪 论

考试要求

要求掌握信号和系统的概念及分类,能够熟练地进行信号时域运算,并且了解一些典型信号的定义及其特殊性质,同时要求能够从不同角度对信号进行分解。

知识点归纳

1 信号的定义

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。

2 信号的描述与运算

(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) 信号的运算。

时移:

$f(t) \rightarrow f(t+t_0)$ 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。

反褶:

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

尺度变换:

$f(t) \rightarrow f(at)$ (a 为正实系数)

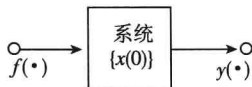
若 $a > 1$, 则 $f(t)$ 的波形沿时间轴被压缩;反之,则扩展。

3 冲激函数和阶跃函数

- (1) 掌握连续信号中阶跃函数 $\epsilon(t)$ 和冲激函数 $\delta(t)$ 的定义及它们之间的关系。
- (2) 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。

4 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),即

$$y(\cdot) = y_{zi}(\cdot) + y_{zs}(\cdot) \quad ①$$

- (2) 齐次性(含零输入响应齐次性和零状态响应齐次性),即

$$a\{x(0)\} \rightarrow ay_{zi}(\cdot) \quad ②$$

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

- (3) 叠加性(含零输入响应叠加性和零状态响应叠加性),即

$$[x_1(0)] + [x_2(0)] \rightarrow [y_{zi1}(\cdot) + y_{zi2}(\cdot)] \quad ④$$

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

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。

5 系统的时域分析方法

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)和卷和(对离散系统)方法,归纳如下:

$$\text{以 } h(t) \text{ 为桥梁: } y(t) = f(t) * h(t)$$

$$\text{以 } g_n(t) \text{ 为桥梁: } y(t) = f(t) * g_n(t)$$

$$\text{以 } s(t) \text{ 为桥梁: } y(t) = f(t) * s(t)$$

$$\text{以 } h(n) \text{ 为桥梁: } y(n) = f(n) * h(n)$$

6 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。

7 典型连续信号

实指数信号

$$f(t) = Ae^{at}$$

正弦信号

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

复指数信号

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

抽样函数

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

高斯函数

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

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

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

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

矩形脉冲信号

$$G_1(t) = \epsilon(t) - \epsilon(t - t_0)$$

符号函数

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

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

经典考题解析

例 1 绘出下列各时间函数的波形图,注意它们的区别:

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

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

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

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

逻辑推理 根据信号的时移、反转、叠加等性质解题。

解题过程 各波形如图 1-1 所示。

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) $h(1-t)f(t-1)$ 。

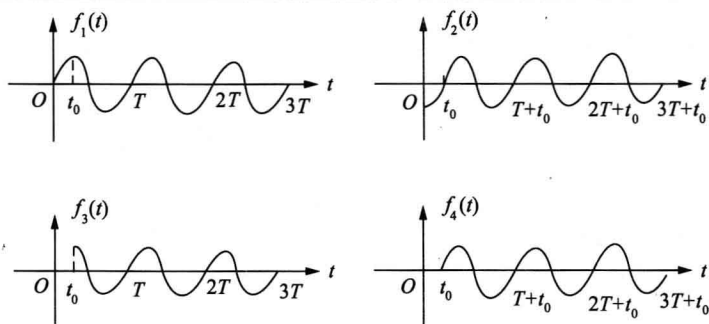


图 1-1

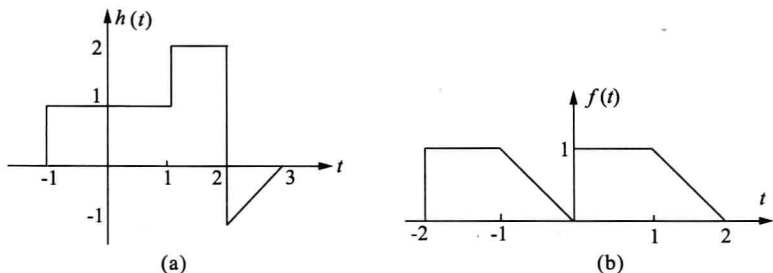


图 1-2

逻辑推理 考查了信号的平移、反转和两信号相乘的性质。

解题过程 (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

$$y'(t) + \alpha y(t) = f(t)$$

所描述的系统为线性系统。式中 α 为常数。

逻辑推理 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。

证明 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

$$y_1'(t) + \alpha y_1(t) = f_1(t)$$

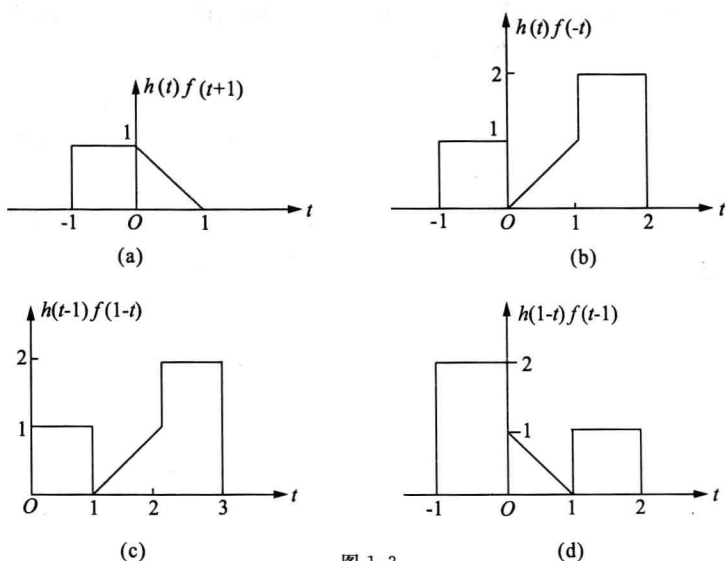


图 1-3

$$y'_2(t) + ay_2(t) = f_2(t)$$

相加得

$$y'_1(t) + ay_1(t) + y'_2(t) + ay_2(t) = f_1(t) + f_2(t)$$

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

可见

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

即满足叠加性、齐次性是显然的,故系统是线性的。

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

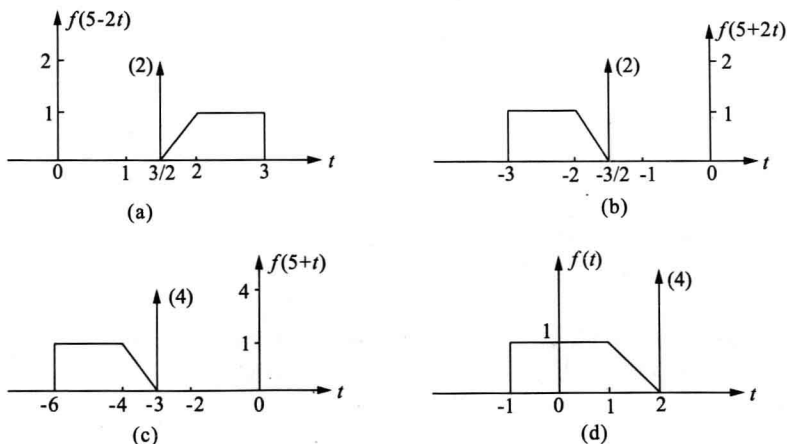


图 1-4

逻辑推理 $f(5-2t)$ 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。

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

例 5 给定图 1-5 所示的信号 $f(t)$, 试画出下列信号的波形:

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

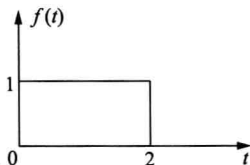


图 1-5

逻辑推理 $f(2t)$ 表示将 $f(t)$ 波形压缩, $f(\frac{1}{2}t)$ 表示将 $f(t)$ 波形扩展。

解题过程 以上各函数的波形如图 1-6 所示。

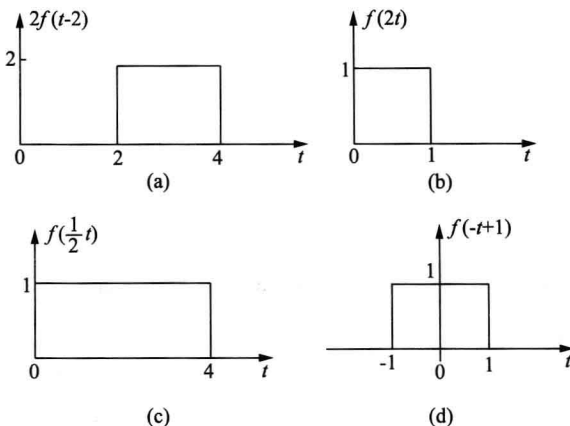


图 1-6

历年考研真题评析

题 1 (北京交通大学 2011 年) 已知 $f(t)$ 的波形如图 1-7 所示, 令 $y(t) = t \cdot u(t)$ 。

- (1) 用 $u(t)$ 和 $y(t)$ 表示 $f(t)$; (2) 画出 $f(-2t-4)$ 的图形。

逻辑推理 利用信号的运算,包括移位、相加(减)等来解题。

解题过程 (1) 由图和 $u(t)$ 的性质可得

$$f(t) = y(t) - y(t-1) - 2u(t-2) + y(t-3) - y(t-4)$$

(2) 利用函数的移位、相加(减)等可得到 $f(-2t-4)$ 的图形,如图 1-8 所示。

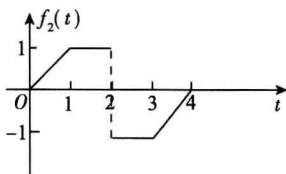


图 1-7

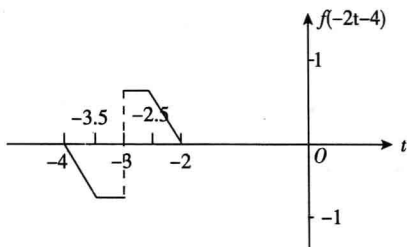


图 1-8

题 2 (北京航空航天大学 2011 年) 计算下列卷积:

(1) $e^{-t}u(t) * [\delta(t) + 2\delta'(t) - \delta''(t)] * t \cdot u(t)$;

(2) 已知两个序列分别为 $f_1(k) = \left(\frac{1}{3}\right)^k u(k)$, $f_2(k) = u(k) - u(k-3)$,

求 $k=2$ 和 $k=4$ 时, $y(k) = f_1(k) * f_2(k)$ 的值。

逻辑推理 利用函数的相乘、积分、微分性质求解。

解题过程 (1) $e^{-t}u(t) * [\delta(t) + 2\delta'(t) - \delta''(t)]$

$$\begin{aligned} &= e^{-t}u(t) + 2[e^{-t}u(t)]' - [e^{-t}u(t)]'' \\ &= e^{-t}u(t) - 2e^{-t}u(t) + 2\delta(t) - \delta'(t) + \delta(t) - e^{-t}u(t) \\ &= -2e^{-t}u(t) + 3\delta(t) - \delta'(t) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{故原式} &= [-2e^{-t}u(t) + 3\delta(t) - \delta'(t)] * tu(t) \\ &= -2e^{-t}u(t) * tu(t) + 3tu(t) - [tu(t)]' \\ &= -2e^{-t}u(t) * tu(t) + 3tu(t) - u(t) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{其中 } e^{-t}u(t) * tu(t) &= \int_{-\infty}^t e^{-\tau}u(\tau) d\tau * [tu(t)]' \\ &= (1 - e^{-t})u(t) * u(t) \\ &= \int_{-\infty}^t (1 - e^{-\tau})u(\tau) d\tau \\ &= tu(t) - u(t) + e^{-t}u(t) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{所以, 原式} &= -2[tu(t) - u(t) + e^{-t}u(t)] + 3tu(t) - u(t) \\ &= (t+1)u(t) - 2e^{-t}u(t) \end{aligned}$$

(2) $f_2(k) = u(k) - u(k-3) = \delta(k) + \delta(k-1) + \delta(k-2)$

$$\begin{aligned} y(k) &= f_1(k) * f_2(k) = \left(\frac{1}{3}\right)^k u(k) * [\delta(k) + \delta(k-1) + \delta(k-2)] \\ &= \left(\frac{1}{3}\right)^k u(k) + \left(\frac{1}{3}\right)^{k-1} u(k-1) + \left(\frac{1}{3}\right)^{k-2} u(k-2) \end{aligned}$$

$$\text{当 } k=2 \text{ 时, } y(2) = \frac{1}{9} + \frac{1}{3} + 1 = \frac{13}{9}$$

$$\text{当 } k=4 \text{ 时, } y(4) = \frac{1}{81} + \frac{1}{27} + \frac{1}{9} = \frac{13}{81}$$

题3 (中国科学院电子学研究所 2011 年) 已知连续时间信号

$$f_1(t) = \begin{cases} 2, & |t| < 3 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}, \quad f_2(t) = \begin{cases} 1, & 0 < t < 1 \\ -1, & 1 < t < 2 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

求卷积函数 $y(t) = f_1(t) * f_2(t)$, 并画其概略图。

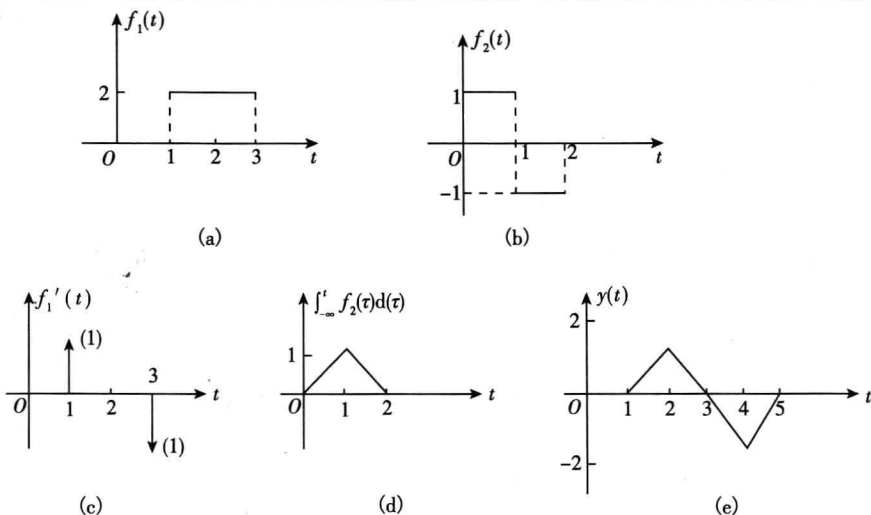


图 1-10

逻辑推理 利用函数的卷积性质来解题。

解题过程 $f_1(t)$ 、 $f_2(t)$ 的波形如图 1-9(a)、(b) 所示。

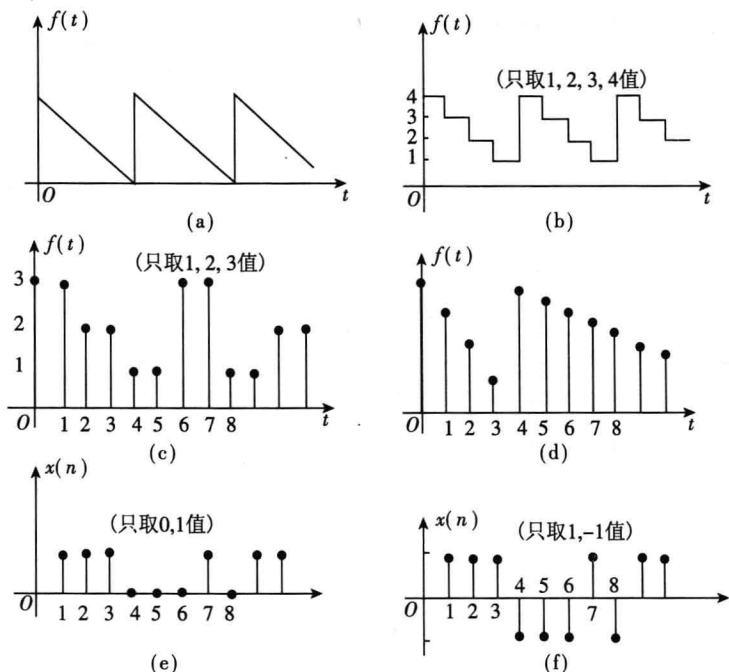
$f_1'(t)$ 、 $\int_{-\infty}^t f_2(\tau) d\tau$ 的波形如图 1-9(c)、(d) 所示。

$$\begin{aligned} y(t) &= f_1'(t) * f_2(t) = f_1(t) * \int_{-\infty}^t f_2(\tau) d\tau \\ &= [\delta(t-1) - \delta(t-3)] * \int_{-\infty}^t f_2(\tau) d\tau \end{aligned}$$

$y(t)$ 的波形如图 1-9(e) 所示。

教材同步习题全解

1.1 分别判断题图 1-1 所示各波形是连续时间信号还是离散时间信号,若是离散时间信号是否为数字信号?



题图 1-1

知识点窍 连续时间信号:在所讨论的时间间隔内,除若干不连续点之外,对于任意时间值都可给出确定的函数值。

离散时间信号:只在某些不连续的规定瞬时给出函数值,在其他时间没有定义。

数字信号:时间与幅度取值都具有离散性的离散信号,即离散信号的幅值也被限定为某些离散值。

逻辑推理 结合图形,根据定义判断其信号类别。

解题过程 连续信号分两类:模拟信号(幅值、时间均连续);

量化信号(幅值离散,时间连续)。

离散信号也可分两类:抽样信号(时间离散,幅值连续);

数字信号(时间、幅值均离散)。

根据以上定义判定如下:

(a) 连续时间信号(幅值也是连续取值,故还属于模拟信号)。

(b) 连续时间信号(幅值离散,为量化信号)。

(c) 离散时间信号(幅值离散,为数字信号)。

(d) 离散时间信号(幅值连续,为抽样信号)。

(e)、(f) 均为离散时间信号,幅值离散,均为数字信号。

1.2 分别判断下列各函数式属于何种信号?(重复 1.1 题所问)

$$(1)e^{-at}\sin(\omega t); \quad (2)e^{-nT}; \quad (3)\cos(n\pi); \quad (4)\sin(n\omega_0)(\omega_0 \text{ 为任意值}); \quad (5)\left(\frac{1}{2}\right)^n.$$

以上各式中 n 为正整数。

知识点窍 由表达式判断信号时间与幅值取值的连续或离散。

逻辑推理 表达式中含有连续时间 t 的均为连续时间信号,含有离散时间 n 的均为离散时间信号,然后分别判断幅值的连续性。

解题过程 (1) $e^{-at}\sin(\omega t)$ 时间、幅值均连续取值,为连续时间(模拟)信号。

(2) e^{-nT} 时间离散,幅值连续,为离散时间(抽样)信号。

(3) $\cos(n\pi)$ 时间、幅值均离散,为离散时间(数字)信号。

(4) $\sin(n\omega_0)$ 时间离散,幅值连续,为离散时间(抽样)信号。

(5) $\left(\frac{1}{2}\right)^n$ 时间离散,幅值连续,为离散时间(抽样)信号。

1.3 分别求下列各周期信号的周期 T :

$$(1)\cos(10t) - \cos(30t); \quad (2)e^{j10t}; \quad (3)[5\sin(8t)]^2;$$

$$(4)\sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n [u(t-nT) - u(t-nT-T)] (n \text{ 为正整数}).$$

知识点窍 周期信号:按一定时间间隔重复,表示为

$$f(t) = f(t+nT), n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots (\text{任意整数})$$

满足此关系式的最小值 T 称为信号周期。

逻辑推理 求信号周期即找出上式中 T 的最小值,若所求信号为不同周期信号的叠加,则取其最小公倍数;若叠加的子信号中有一个为非周期的,则合成信号是非周期的。

解题过程 (1) $\cos(10t)$ 的信号周期 $\frac{2\pi}{10} = \frac{\pi}{5}$, 记为 T_1 ,

$$\cos(30t) \text{ 的信号周期 } \frac{2\pi}{30} = \frac{\pi}{15}, \text{ 记为 } T_2,$$

$$T_1, T_2 \text{ 的最小公倍数为 } \frac{\pi}{5}, \text{ 故 } T = \frac{\pi}{5}.$$

(2) 由欧拉公式,有 $e^{j10t} = \cos(10t) + j\sin(10t)$

$$T = \frac{2\pi}{10} = \frac{\pi}{5}$$

$$(3) [5\sin(8t)]^2 = 25\sin^2(8t) = 25 \cdot \frac{1 - \cos(16t)}{2} = \frac{25}{2} - \frac{25}{2}\cos(16t)$$

$$T = \frac{2\pi}{16} = \frac{\pi}{8}$$

$$(4) \text{原式} = \begin{cases} 1, & 2nT \leq t < (2n+1)T \\ -1, & (2n+1)T \leq t < (2n+2)T \end{cases} (\text{其中 } n \geq 0)$$

由上式可知,信号以 $2T$ 为间隔周期重复,因此在 $t \geq 0$ 时,原信号是周期为 $2T$ 的周期信号。

1.4 对于教材例 1-1 所示的信号,由 $f(t)$ 求 $f(-3t-2)$,但改变运算顺序,先求 $f(3t)$ 或先求 $f(-t)$,讨论所得结果是否与原例的结果一致。

知识点窍 移位:将 $f(t)$ 自变量 t 换为 $t+t_0$, $t_0 > 0$ 波形左移, $t_0 < 0$ 波形右移。

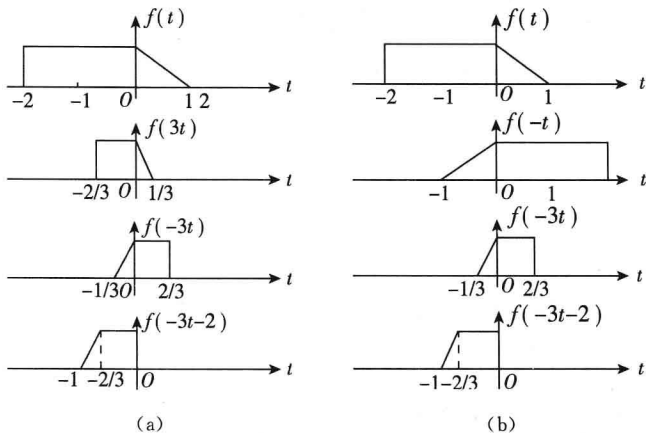
反褶:将 $f(t)$ 自变量 t 换为 $-t$,以 $t=0$ 为轴反转。

尺度:将 $f(t)$ 自变量 t 换为 at , $a > 1$ 压缩, $a < 1$ 扩展。

逻辑推理 注意若信号表示为 $f(at)$, a 为任意实数 ($a \neq 0$), 则 $f(at+t_0)$ 应变换为 $f\left[a\left(t+\frac{t_0}{a}\right)\right]$ 后按 $\frac{t_0}{a}$ 进行移位操作。

解题过程 按 $f(t) \rightarrow f(3t) \rightarrow f(-3t) \rightarrow f(-3t-2)$ 顺序,如解图 1-4(a) 所示。

按 $f(t) \rightarrow f(-t) \rightarrow f(-3t) \rightarrow f(-3t-2)$ 顺序,如解图 1-4(b) 所示。



解图 1-4

1.5 已知 $f(t)$, 为求 $f(t_0-at)$ 应按下列哪种运算求得正确结果(式中 t_0, a 都为正值)?

- (1) $f(-at)$ 左移 t_0 ; (2) $f(at)$ 右移 t_0 ;
 (3) $f(at)$ 左移 $\frac{t_0}{a}$; (4) $f(-at)$ 右移 $\frac{t_0}{a}$ 。

知识点窍 仍为考查反褶、尺度变换、移位的方法,见上题。

逻辑推理 判断过程中需注意 a, t_0 的正负与左、右移的对应关系。

解题过程 (1) $f(-at)$ 左移 t_0 :

$$f[-a(t+t_0)] = f(-at-at_0) \neq f(-at+t_0), \text{不符合要求。}$$

(2) $f(at)$ 右移 t_0 :

$$f[a(t-t_0)] = f(at-at_0) \neq f(-at+t_0), \text{不符合要求。}$$

(3) $f(at)$ 左移 $\frac{t_0}{a}$:

$$f\left[a\left(t+\frac{t_0}{a}\right)\right] = f(at+t_0) \neq f(-at+t_0), \text{不符合要求。}$$