华腾教育
HUA TENG EDUCATION

高等学校教材经典同步辅导丛书电学类(一)
配高教社《信号与系统》(第二版)上册 郑君里等编

SIGNALS & SYSTEMS

信号与系统

(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

- 紧贴教材：精讲重点 点拨方法 联系考研
- 考试宝典：教材精华 经典试卷 常考试题
- 学习卡：资料下载 信息交流 互动论坛
- 课后习题：三级突破 分析要点 总结难点

中国矿业大学出版社

高等学校教材经典同步

信号与系统

（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

中国矿业大学出版社

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
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** 19.75　**本册字数** 450 千字
版次印次	2006 年 8 月第 1 版　2006 年 8 月第 1 次印刷
总 定 价	148.00 元

高等学校教材
经典同步辅导丛书编委会

前言

PREFACE

《信号与系统》(上)是电气信息类(包括自动化类、电气类、电子类)专业重要的专业课程之一,也是报考上述专业硕士研究生的考试课程。郑君里等编写的《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好这门课程,掌握更多知识,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(上)同步辅导及习题全解》。

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。考虑到读者的不同情况,我们在内容上做了以下安排:

1. 内容提要:串讲概念,总结性质和定理,知识全面系统。

2. 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、详细的讨论与分析,并引导学生思考问题、能够举一反三,拓展思路。

3. 历年考研真题评析:精选历年考研真题进行深入的讲解。

4. 课后习题全解:本书给出了郑君里等编写的《信号与系统》(第二版)各章习题的答案。我们不仅给出了详细的解题过程,而且我们根据难易程度把课后习题分成了三个等级,针对不同的等级我们给出了不同程度的讲解。

编写本书时,依据大学本科现行教材及教学大纲的要求,参考了清华大学、北京大学、同济大学、浙江大学、人民大学、复旦大学等高等院校的教材,并结合教学大纲的要求进行编写。

我们衷心希望本书提供的内容能够对读者在掌握课程内容、提高解题能力上有所帮助。同时,由于编者的水平有限,本书难免出现不妥之处,恳请广大读者批评指正。

华腾教育教学与研究中心

目录 CONTENTS

第一章

绪　论

内容提要

一、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。

二、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

(1)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。

(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。

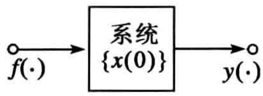
三、冲激函数和阶跃函数

1. 掌握连续信号中阶跃函数 $\varepsilon(t)$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。

四、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

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

2. 齐次性(含零输入响应齐次性和零状态响应齐次性),即

$$a\{x(0)\}\rightarrow a y_{zi}(\cdot) \tag{2}$$

$$a f(\cdot)\rightarrow a y_{zs}(\cdot) \tag{3}$$

3. 叠加性(含零输入响应叠加性和零状态响应叠加性),即

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

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

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

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

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

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。

五、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:

以 $h(t)$为桥梁:$y(t)=f(t)*h(t)$

以 $g_n(t)$为桥梁:$y(t)=f(t)*g_n(t)$

以 $s(t)$ 为桥梁：$y(t)=f(t)*s(t)$

以 $h(n)$ 为桥梁：$y(n)=f(n)*h(n)$

六、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

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

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

$$Y(\mathrm{j}\omega)=F(\mathrm{j}\omega)\cdot H(\mathrm{j}\omega)$$

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

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

七、典型连续信号

实指数信号

$$f(t)=A\mathrm{e}^{at}$$

正弦信号

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

复指数信号

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

抽样函数

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

高斯函数

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

单位斜变信号

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

单位阶跃信号

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

$$\frac{\mathrm{d}R_1(t)}{\mathrm{d}t}=\varepsilon(t),\int_0^t\varepsilon(\tau)d\tau=R_1(t)$$

矩形脉冲信号

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

符号函数

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

$$\varepsilon(t)=\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\operatorname{sgn}(t),\ \operatorname{sgn}(t)=2\varepsilon(t)-1$$

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

解题分析 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:

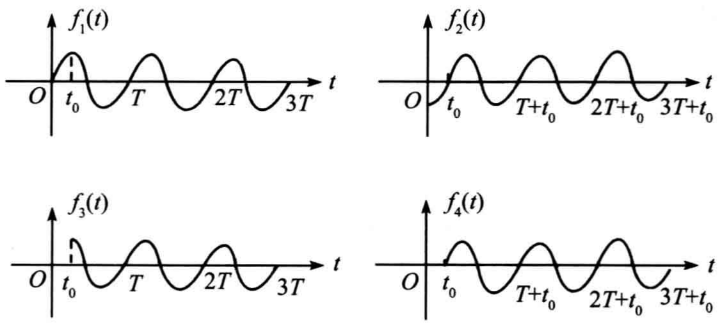


图 1－1

【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) $h(1-t)f(t-1)$。

解题分析 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。

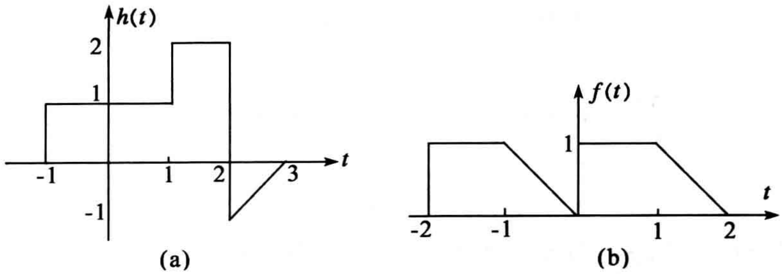


图 1－2

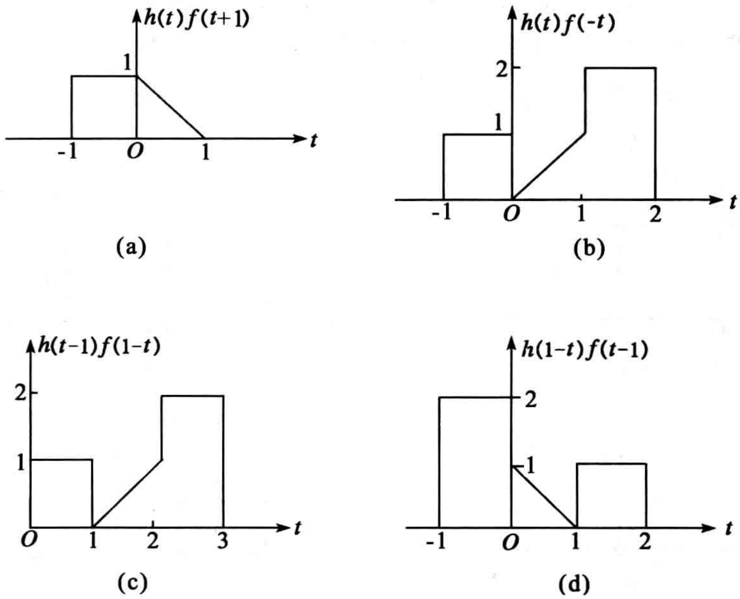


图 1－3

【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、可加、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

$$y'_1(t)+ay_1(t)=f_1(t)$$

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

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

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

即满足可加性,齐次性是显然的。故系统为线性的。

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

解题分析 $f(5-2t)$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。

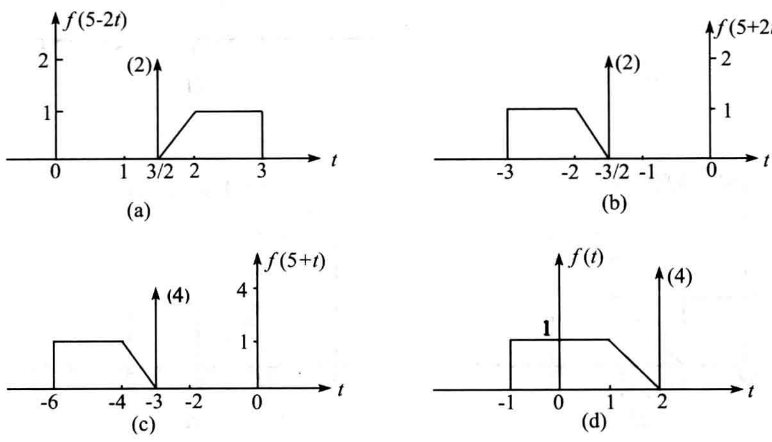


图 1－4

【例 5】 给定 1－5 图示信号 $f(t)$,试画出下列信号的波形

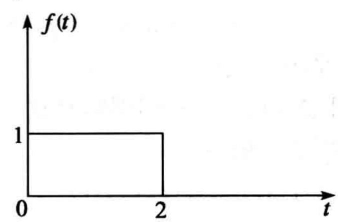


图 1－5

(a)$2f(t-2)$;

(b)$f(2t)$;

(c) $f\left(\frac{1}{2}t\right)$;

(d) $f(-t+1)$。

解题分析 $f(2t)$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。

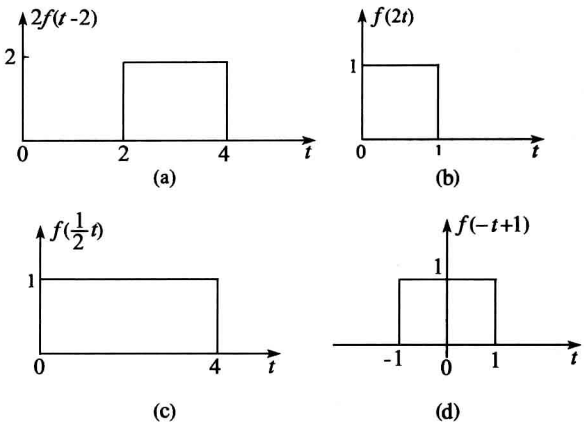


图1—6

历年考研真题评析

【题1】 （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$h_1(t)=\varepsilon(t-2)-\varepsilon(t-6)$，$h_2(t)=\delta(t-2)$，$h_3(t)=\delta(t-8)$。若系统的输入$f(t)=\varepsilon(t)-\varepsilon(t-4)$，求系统的零状态响应。

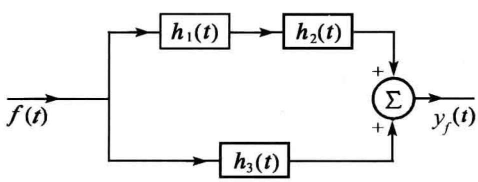


图1—7

解题分析 利用线性时不变系统的各种性质解题。

解题过程 系统的单位冲激响应为

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

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

其中$[\varepsilon(t)-\varepsilon(t-4)]*[\varepsilon(t-4)-\varepsilon(t-8)]$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。

$$\begin{aligned}y_f(t)=&\varepsilon(t)*\varepsilon(t-4)-\varepsilon(t)*\varepsilon(t-8)-\varepsilon(t-4)*\varepsilon(t-4)+\\&\varepsilon(t-4)*\varepsilon(t-8)+\varepsilon(t-8)-\varepsilon(t-12)\\=&\varepsilon(t)*\varepsilon(t)*\delta(t-4)-\varepsilon(t)*\varepsilon(t)*\delta(t-8)-\varepsilon(t)*\varepsilon(t)*\delta(t-8)\\&+\varepsilon(t)*\varepsilon(t)*\delta(t-12)+\varepsilon(t-8)-\varepsilon(t-12)\end{aligned}$$

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

故零状态响应为

$$\begin{aligned}y_f(t)=&t\varepsilon(t)*\delta(t-4)-2t\varepsilon(t)*\delta(t-8)+t\varepsilon(t)*\delta(t-12)+\varepsilon(t-8)\\&-\varepsilon(t-12)\\=&(t-4)\varepsilon(t-4)-2(t-8)\varepsilon(t-8)+(t-12)\varepsilon(t-12)+\varepsilon(t-8)\\&-\varepsilon(t-12)\end{aligned}$$

【题 2】 (清华大学 2005 年)试求下列函数值：

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

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

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

(d) $f_4(t)=\dfrac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}[\mathrm{e}^{-t}\varepsilon(t)]$。

解题分析 利用函数的相乘、积分、微分性质求解。

解题过程 (a)可以求得

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

注意到 $\varepsilon(0)=0.5$，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

$$\begin{aligned}f_2(t)&=\int_{-\infty}^{\infty}\delta(t^2-4t+3)\mathrm{d}t\\&=\int_{-\infty}^{\infty}[\delta(t-1)+\delta(t-3)]\mathrm{d}t\\&=2\end{aligned}$$

(c)按照(b)的分析，可得

$$\begin{aligned} f_3(t) &= \int_{-2}^{2} \delta(t^2 - 4t + 3)\mathrm{d}t \\ &= \int_{-2}^{2} [\delta(t-1) + \delta(t-3)]\mathrm{d}t \\ &= 1 \end{aligned}$$

(d)解此题时应注意利用(1 及 2)式

$$f(t)\delta(t-t_0) = f(t_0)\delta(t-t_0) \tag{1}$$

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\varepsilon(t) = \delta(t) \tag{2}$$

可以求出

$$\begin{aligned} f_4(t) &= \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}[\mathrm{e}^{-t} \cdot \varepsilon(t)] \\ &= -\mathrm{e}^{-t} \cdot \varepsilon(t) + \mathrm{e}^{-t}\delta(t) \\ &= -\mathrm{e}^{-t}\varepsilon(t) + \delta(t) \end{aligned}$$

【题 3】 (空军工程大学 2006 年)信号 $f(t)$ 的波形如图 1－8 所示,画出 $y(t) = f(2t+2) * \delta(t-3)$ 的波形。

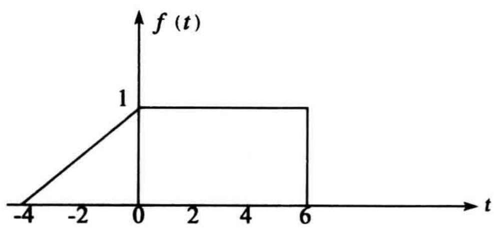


图 1－8

解题分析 主要考查信号的运算包括移位、相加(减)、相乘等。

解题过程 $f(2t+2) * \delta(t-3) = f[2(t-3)+2] = f(2t-4)$

由 $f(t)$ 画出 $f(2t-4)$ 可以有几种方法,现仅以 $f(t) \to f(t-4) \to f(2t-4)$ 一种方法画出 $f(2t-4)$ 的波形。

$f(t-4)$ 将 $f(t)$ 的波形向右移动 4 个单位,如图 1－9(a)所示,$f(2t-4)$ 将 $f(t-4)$ 的波形压缩一倍,其波形如图 1－9(b)所示。

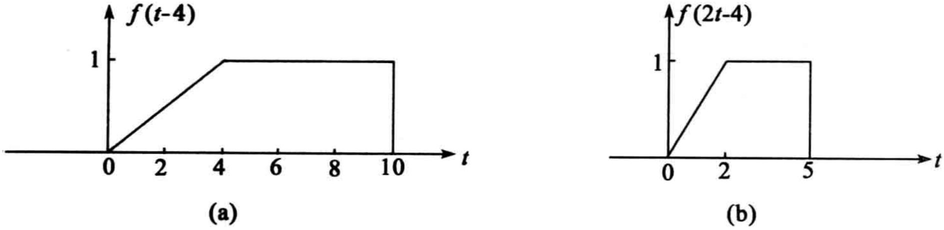


图 1－9

课后习题全解

○1-1　分别判断图 1—图 1—10 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？

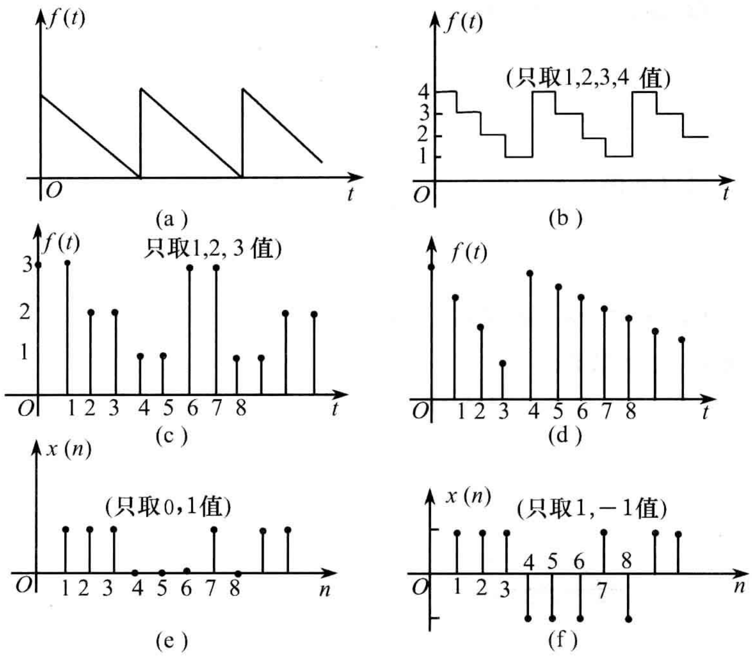


图 1—10

解　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)$e^{-at}\sin(\omega t)$；　(2)e^{-nT}；

(3)$\cos(n\pi)$；　(4)$\sin(n\omega_0)$（ω_0 为任意值）；