21世纪高等院校经典教材同步辅导

ERSHIYISHIJIGAODENGYUANXIAOJINGDIANJIAOCAITONGBUFUDAO

信号与线性系统分析

全程导学及习题全解

第四版

苗明川　高静波　编

邓晖　主审

◆知识归纳　梳理主线重点难点

◆习题详解　精确解答教材习题

◆提高练习　巩固知识迈向更高

中国时代经济出版社

China Modern Economic Publishing House

21 世纪高等院校经典教材同步辅导

ERSHIYISHIJIGAODENGYUANXIAOJINGDIANJIAOCAITONGBUFUDAO

信号与线性系统分析

全程导学及习题全解

第四版

苗明川　高静波　编

邓晖　主审

◆知识归纳　梳理主线重点难点

◆习题详解　精确解答教材习题

◆提高练习　巩固知识迈向更高

中国时代经济出版社

China Modern Economic Publishing House

图书在版编目（CIP）数据

信号与线性系统分析全程导学及习题全解/苗明川、高静波编．—北京：中国时代经济出版社，2007.2

（21世纪高等院校经典教材同步辅导）

ISBN 978-7-80221-244-2

Ⅰ．信… Ⅱ．①苗… ②高… Ⅲ．①信号理论—高等学校—教学参考资料 ②线性系统—系统分析—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148870号

信号与线性系统分析全程导学及习题全解

苗明川 高静波 编

出版者	中国时代经济出版社
地址	北京东城区东四十条24号 青蓝大厦东办公区11层
邮政编码	100007
电话	(010)68320825(发行部) (010)88361317(邮购)
传真	(010)68320634
发行	各地新华书店
印刷	北京市白帆印务有限公司
开本	787×1092 1/16
版次	2007年2月第1版
印次	2007年2月第1次印刷
印张	20.625
字数	420千字
印数	1～5000册
定价	23.50元
书号	ISBN 978-7-80221-244-2

内容简介

本书是结合高等院校教材《信号与线性系统分析》(高等教育出版社，第四版，吴大正主编)编写的学习辅导教材与习题全解参考书。全书紧扣教材内容，对教材中的相应内容进行了系统、全面的归纳和总结，有助于读者全面掌握基本知识。对教材中全部习题给出了详细的解答过程，可以作为读者自我考核的标准与参考。本书还针对每章学习内容的重点难点进行了小结，并精选部分典型题目对其进行解答，以便读者对所学的知识进行巩固与提高。

本书可以作为高等院校学生及自考生学习《信号与线性系统分析》课程的辅导材料和复习参考书，也可作为考研强化复习的指导书和教师的教学参考书。

前　言

随着大规模集成电路、计算机的迅速发展，信号、电路与系统地研究重点转向离散的、数字的方面，信号与线性系统分析越来越多地运用了现代数学方法和概念。这门以研究信号处理规律的技术科学，正在发展成为具有强大生命力的学科。随着计算机技术的发展和应用，信号与线性系统分析在电子测试、系统检测等领域中得到广泛的应用，并已扩展到生物、医学、环境和其它许多领域中。《信号与线性系统分析》(高等教育出版社，第四版，吴大正主编)在全国许多高校电子信息和电气类及相关专业中被广泛使用，本书便是与这本教材配合使用的学习辅导用书。

本书紧扣教材，内容结构与教材一致，共分为八章。每章包括以下三个部分：

一、本章知识要点

本章知识要点，对教材中的相应内容进行了系统、全面的归纳和总结，有助于读者全面掌握基本知识，清晰把握各章知识的脉络。同时，这一部分也可以作为复习备考的重要手册。

二、典型例题讲解

重点难点分析，针对每一章中的重点、难点以及一些容易混淆的知识点进行了强调，同时也给出一些经典例题的详细解答，从而帮助学习者真正掌握各章的精髓。

三、习题全解

习题全解，对原教材中的全部习题做了详细解答。从学习者的角度，给出了解题的思路和步骤，对培养学习者的思维能力，树立理论联系实际的科学观点，提高综合分析问题和解决问题的能力等，都有着较好的帮助作用。

全书由苗明川、高静波编写，邓晖主审。邓晖老师严谨的治学态度，使编者受益匪浅，对此深表感谢。本书编写过程中得到余成金、李华、侯钢、张鹏、熊笑等同志的大力协助，并得到中国时代经济出版社的领导和有关编辑的大力支持，为此表示衷心的感谢！对《信号与线性系统分析》教材作者吴大正、杨林耀、张永瑞、王

松林、郭宝龙等老师，表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免有疏漏与缺点，恳请各位专家及广大读者批评指正。

编　者

2007年1月

目　　录

第一章　信号与系统

§1.1　本章知识要点

1. 信号的定义与分类

(1)信号的定义

信号是载有信息的随时间变化的物理量或物理现象，其图象为信号的波形.

(2)信号的分类

根据信号的不同特性，可对信号进行不同的分类：确定信号与随机信号；周期信号与非周期信号；连续时间信号与离散时间信号；能量信号与功率信号等.

2. 信号的时域运算

(1)移位　$f(t+t_0)$，t_0 为常数

$t_0>0$，$f(t+t_0)$为 $f(t)$波形在 t 轴上左移 t_0；
$t_0<0$，$f(t+t_0)$为 $f(t)$波形在 t 轴上右移$|t_0|$.

(2)反转　$f(-t)$

$f(-t)$波形为 $f(t)$波形以 $t=0$ 为轴反转.

(3)尺度变换　$f(at)$，a 为常数

$a>1$，$f(at)$波形为 $f(t)$的波形在时间轴上压缩为原来的$\frac{1}{a}$；

$0<a<1$，$f(at)$波形为 $f(t)$的波形在时间轴上扩展为原来的$\frac{1}{a}$.

(4)微分运算　$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}f(t)$

信号经微分运算后会突出其变化部分.

(5)积分运算　$\int_{-\infty}^{t} f(\tau)\mathrm{d}\tau$

信号经积分运算后，其突变部分会变平滑.

(6)相加　$f(t)=f_1(t)+f_2(t)$

两信号相应时刻的值相加.

(7)相乘 $f(t)=f_1(t)\cdot f_2(t)$

两信号相应时刻的值相乘.

3.奇异信号

(1)单位阶跃信号

$$\varepsilon(t)=\begin{cases}0, & t<0\\ \frac{1}{2}, & t=0\\ 1, & t>0\end{cases}$$

(2)单位冲激信号

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

$$\begin{cases}\delta(t)=0, t\neq 0\\ \int_{-\infty}^{\infty}\delta(t)\mathrm{d}t=1\end{cases}$$

单位冲激信号的性质:

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

$\int_{-\infty}^{\infty}\delta(t-t_0)f(t)\mathrm{d}t=f(t_0)$

(b)偶对称性 $\delta(t)=\delta(-t)$

(c)尺度变换性 $\delta(at)=\frac{1}{|a|}\delta(t)$

(d)相乘性质 $f(t)\delta(t)=f(0)\delta(t)$

$f(t)\delta(t-t_0)=f(t_0)\delta(t-t_0)$

4.系统的定义与分类

(1)系统的定义

若干相互作用,相互联系的事物按一定规律组成具有特定功能的整体称为系统,此为系统广义的定义.对电信号而言,系统可看作是对信号进行存储、转换、传输和处理的物理装置.

(2)系统的分类

根据系统的数学模型的差异,可将系统划分为不同的类型:连续时间系统与离散时间系统;线性系统与非线性系统;时变系统与时不变系统;可逆系统与不可逆系统.

5.系统的特性

(1)线性

系统须同时满足可分解性、齐次性与叠加性,才是线性系统.

分解即全响应可分解为零输入与零状态响应之和.

(2)时不变特性

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,则该系统具有时不变性.
即,若$f(t) \longrightarrow y_{zs}(t)$,有

$$f(t-t_0) \longrightarrow y_{zs}(t-t_0)$$

则此连续系统具有时不变性.
对离散系统,道理相同.若 $f(k) \longrightarrow y_{zs}(k)$,又有

$$f(k-k_0) \longrightarrow y_{zs}(k-k_0)$$

则此系统具有时不变性.

(3)因果性

若一系统满足当且仅当输入信号激励时,才会出现零状态输出,则此系统具有因果性.即因果系统的输出不会出现在输入之前.

(4)稳定性

若系统的输入有界,则其输出也有界,则该系统具有稳定性,称为有界输入有界输出(BIBO)稳定系统.否则不稳定.

(5)无记忆性

如果系统的输出只与当前时刻的输入有关,则称系统为无记忆系统.如果系统的输出不仅与当前时刻的输入有关,而且还与它过去或将来的输入有关,系统就称为记忆系统.

§1.2 典型例题讲解

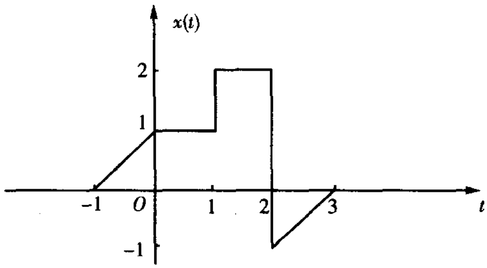
例 1—1 已知一连续时间信号 $x(t)$如例 1—1 图所示,画出并标明下列各信号的图形.

(1)$x(t-2)$ (2)$x(1-t)$

(3)$x(2t+2)$ (4)$x\left(2-\frac{t}{3}\right)$

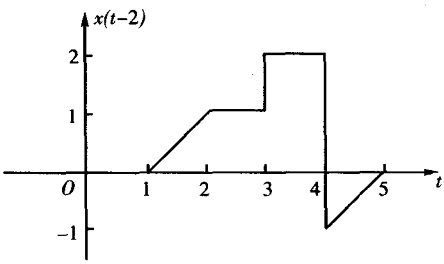
(5)$[x(t)+x(2-t)]u(1-t)$

(6)$x(t)\left[\delta\left(t+\frac{3}{2}\right)-\delta\left(t-\frac{3}{2}\right)\right]$

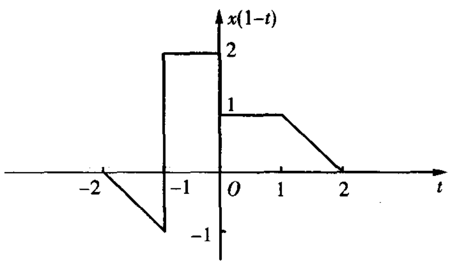


例 1—1 图

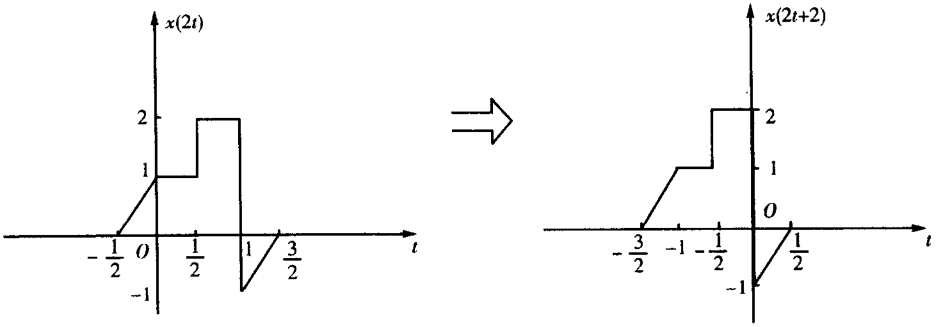
解 依照例 1—1 图所示信号,各小题的信号图形如解例 1—1 图所示.



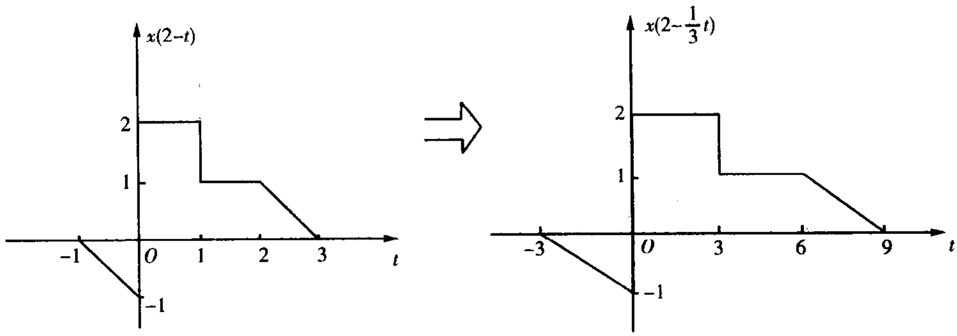
(1)



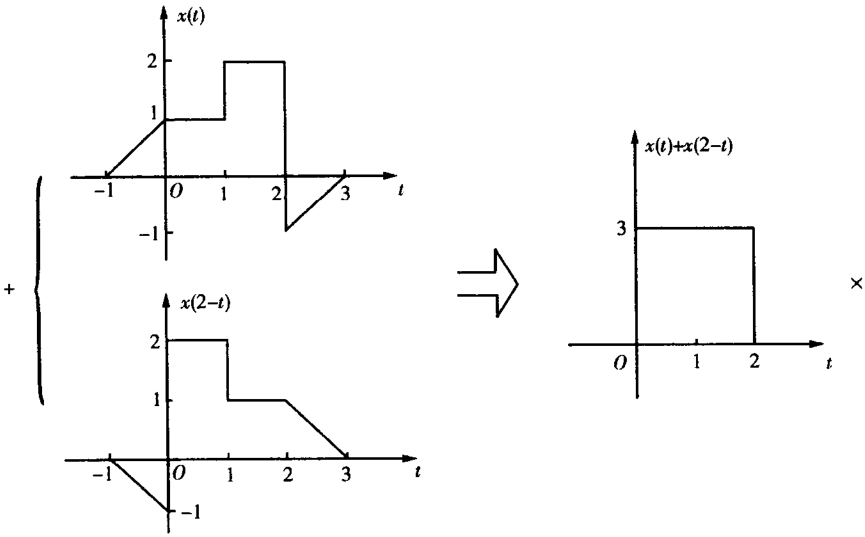
(2)

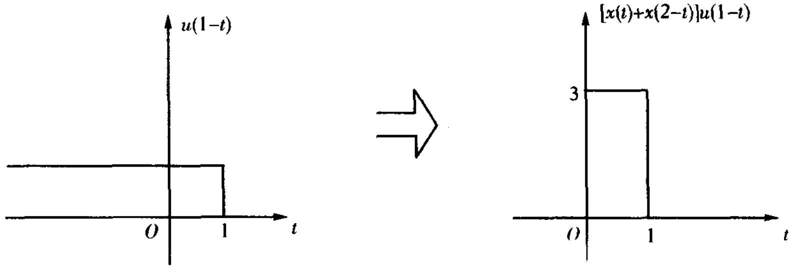

x(2t)
2
1
$-\frac{1}{2}$
O
$\frac{1}{2}$
1
$\frac{3}{2}$
-1
t
x(2t+2)
2
1
O
$-\frac{3}{2}$
-1
$-\frac{1}{2}$
$\frac{1}{2}$
-1
t

(3)

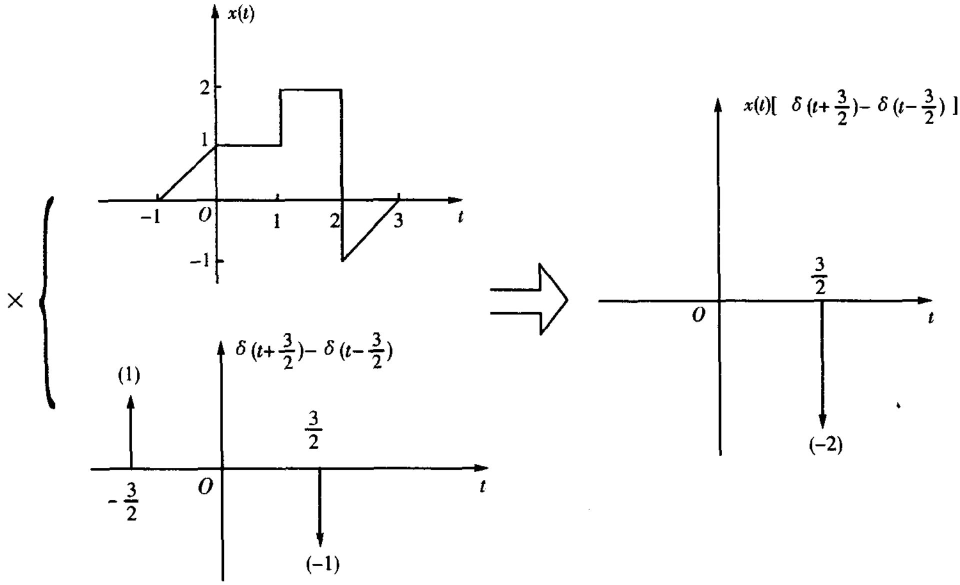

x(2-t)
2
1
-1
O
1
2
3
t
-1
$x(2-\frac{1}{3}t)$
2
1
-3
O
3
6
9
t
-1

(4)


x(t)
2
1
-1
O
1
2
3
t
-1
+
x(2-t)
2
1
-1
O
1
2
3
t
-1
x(t)+x(2-t)
3
O
1
2
t
×



(5)



(6)

解例 1—1 图

例 1—2 已知系统:(a) $y(n)=2f(n)+3$,(b) $y(t)=f(2t)$,(c) $y(n)=f(-n)$,(d) $y(t)=tf(t)$.

试判断上述哪些系统不具有以下性质:

(1)线性;(2)稳定性;(3)时不变;(4)因果性.

解 (1)(a)系统非线性. 原因如下:

$$f_1(n)\longrightarrow y_1(n)=2f_1(n)+3$$

$$f_2(n)\longrightarrow y_2(n)=2f_2(n)+3$$

$$af_1(n)+bf_2(n)\longrightarrow y(n)=2[af_1(n)+bf_2(n)]+3\neq ay_1(n)+by_2(n)$$

(2)(d)系统不是稳定系统,因为 $t\to\infty$ 时,$y(t)\to\infty$.

(3)(b)、(c)、(d)都不具有时不变性.

对于 $y(t)=f(2t)$,有

$$f(t-t_0)\longrightarrow f(2t-t_0)\neq f(2t-2t_0)=y(t-t_0)$$

对于 $y(n)=f(-n)$,有

$$f(n-n_0)\longrightarrow f(-n-n_0)\neq f(-n-n_0)=y(n-n_0)$$

对于　$y(t)=tf(t)$,有

$$f(t-t_0)\longrightarrow f(t-t_0)\neq(t-t_0)f(t-t_0)=y(t-t_0)$$

(4)(b)、(c)不具因果性.

对于 $y(t)=f(2t)$,当 $t=1$ 时,有 $y(1)=f(2)$;

对于 $y(n)=f(-n)$,当 $n=-1$ 时,有 $y(-1)=f(1)$.

§1.3　习题全解

1.1　画出下列各信号的波形[式中 $r(t)=t\varepsilon(t)$ 为斜升函数].

(1) $f(t)=(2-3e^{-t})\varepsilon(t)$　　(2) $f(t)=e^{-|t|},-\infty<t<\infty$

(3) $f(t)=\sin(\pi t)\varepsilon(t)$　　(4) $f(t)=\varepsilon(\sin t)$

(5) $f(t)=r(\sin t)$　　(6) $f(k)=\begin{cases}2^k, & k<0\\ \left(\dfrac{1}{2}\right)^k, & k\geqslant 0\end{cases}$

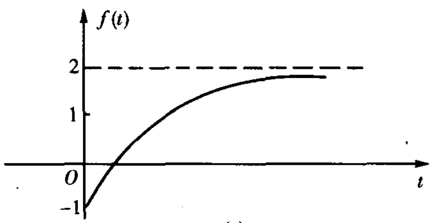
(7) $f(k)=2^k\varepsilon(k)$　　(8) $f(k)=(k+1)\varepsilon(k)$

(9) $f(k)=\sin\left(\dfrac{k\pi}{4}\right)\varepsilon(k)$　　(10) $f(t)=[1+(-1)^k]\varepsilon(k)$

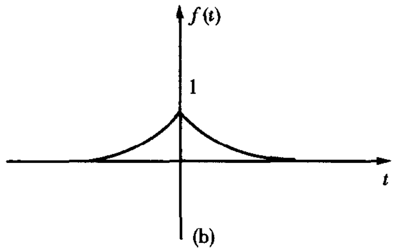
解　(1)由 $\varepsilon(t)$ 的定义,知

$$f(t)=\begin{cases}2-3e^{-t}, & t>0\\ 0, & t<0\end{cases}$$

由此绘其波形,如图解 1.1 图(a)所示.



(a)



(b)

(2)由题意知

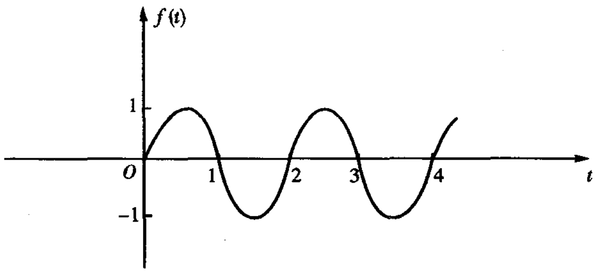
$$f(t)=\begin{cases}e^{-t}, & 0\leqslant t<\infty\\ e^{t}, & -\infty<t<0\end{cases}$$

由此绘其波形,如解 1.1 图(b)所示.

(3)由 $\varepsilon(t)$ 的定义,知

$$f(t)=\begin{cases}\sin(\pi t), & t>0\\ 0, & t<0\end{cases}$$

由此绘其波形,如解 1.1 图(c)所示.

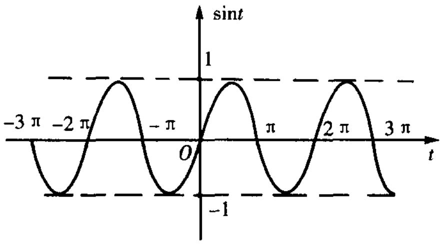


(c)

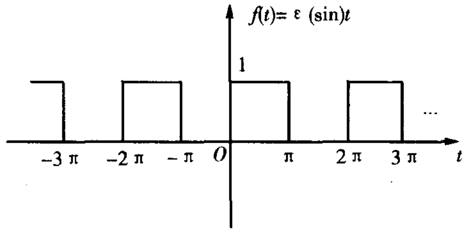
解 1.1 图

(4)本题为复合信号波形求解.由 $\varepsilon(t)$ 的定义,可知当 $\sin t>0$ 时,$f(t)=1$;$\sin t<0$ 时 $f(t)=0$,先画出 $\sin t$ 的波形,再根据相应的时间区域绘出 $f(t)=$

$\varepsilon(\sin t)$的波形，如解1.1图(d)所示.



(d_1)

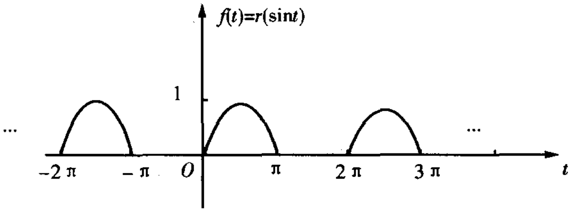


(d_2)

(5)本题为复合信号波形求解，由 $r(t)$ 的定义，知

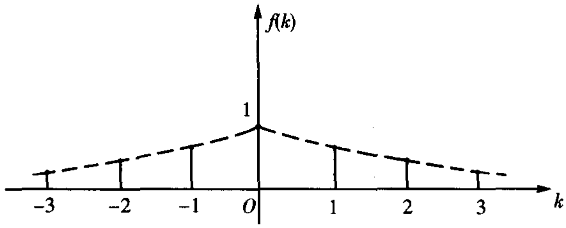
$$f(t)=r(\sin t)=\begin{cases}\sin t, & \sin t \geqslant 0\\ 0, & \sin t<0\end{cases}$$

由此绘出其波形，如解 1.1 图(e)所示.



(e)

(6)本题为离散信号波形求解，其波形如解 1.1 图(f)所示.



(f)

(7)由 $\varepsilon(k)$的定义，知

$$f(k)=\begin{cases}2^k, & k\geqslant 0\\ 0, & k<0\end{cases}$$

由此绘出其波形，如解 1.1 图(g)所示.

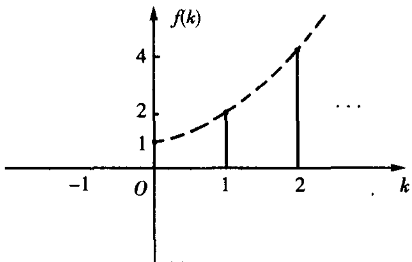
(8)根据 $\varepsilon(k)$的定义，可将 $f(k)$写为

$$f(t)=\begin{cases}k+1, & k\geqslant 0\\ 0, & k<0\end{cases}$$

由此绘其波形，如解 1.1 图(h)所示.

(9)由 $\varepsilon(k)$的定义，可知

$$f(k)=\begin{cases}\sin\left(\dfrac{\pi k}{4}\right), & k\geqslant 0\\ 0, & k<0\end{cases}$$



(g)

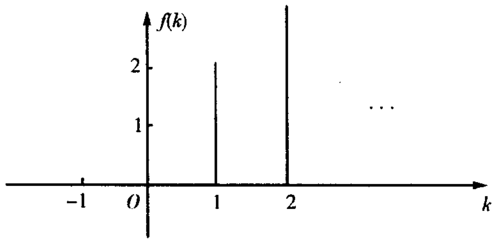
而 $\sin\left(\frac{\pi k}{4}\right)$ 的周期为 8，由此绘出 $f(k)$ 的波形，如解 1.1 图(i)所示.

(10)由 $\varepsilon(k)$ 的定义，可知

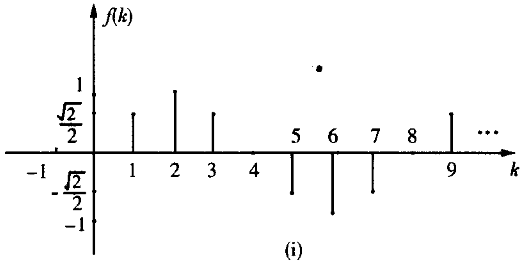
$$f(k)=\begin{cases}1+(-1)^k, & k\geqslant 0\\ 0\ \ , & k<0\end{cases}$$

即在 $k\geqslant 0$ 的范围内，k 为奇数时 $f(k)=0$；k 为偶数时 $f(k)=2$.

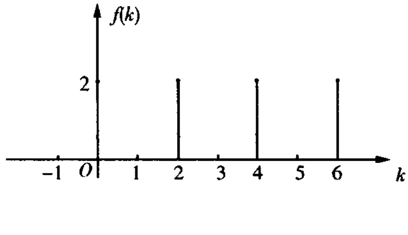
由此绘出其波形，如解 1.1 图(j)所示.



(h)



(i)



(j)

解 1.1 图

1.2 画出下列各信号的波形[式中 $r(t)=t\varepsilon(t)$ 为斜升函数].

(1) $f(t)=2\varepsilon(t+1)-3\varepsilon(t-1)+\varepsilon(t-2)$ (2) $f(t)=r(t)-2r(t-1)+r(t-2)$

(3) $f(t)=\varepsilon(t)r(2-t)$ (4) $f(t)=r(t)\varepsilon(2-t)$

(5) $f(t)=r(2t)\varepsilon(2-t)$ (6) $f(t)=\sin(\pi t)[\varepsilon(t)-\varepsilon(t-1)]$

(7) $f(t)=\sin\pi(t-1)[\varepsilon(2-t)-\varepsilon(-t)]$ (8) $f(k)=k[\varepsilon(k)-\varepsilon(k-5)]$

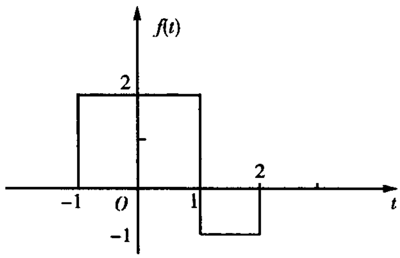
(9) $f(k)=2^{-k}\varepsilon(k)$ (10) $f(k)=2^{-(k-2)}\varepsilon(k-2)$

(11) $f(k)=\sin\left(\frac{k\pi}{6}\right)[\varepsilon(k)-(\varepsilon-7)]$ (12) $f(k)=2^k[\varepsilon(3-k)-\varepsilon(-k)]$

解 (1)由时移阶跃函数的特点，知

$$f(t)=\begin{cases}0, & t<-1\\ 2, & -1<t<1\\ -1, & 1<t<2\\ 0, & t>2\end{cases}$$

由此绘其波形，如解 1.2 图(a)所示.

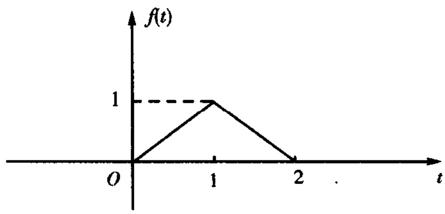


(a)

(2)由斜升函数 $r(t)$ 的定义及时移特性，知

$$f(t)=\begin{cases}0, & t\leqslant 0\\ t, & 0<t\leqslant 1\\ t-2(t-1)=2-t, & 1<t\leqslant 2\\ t-2(t-1)+(t-2)=0, & t>2\end{cases}$$

由此绘其波形，如解 1.2 图(b)所示.



(b)

(3)由 $r(t)$ 的定义，知 $r(t)=t\cdot\varepsilon(t)$，推知 $r(2-t)=(2-t)\cdot\varepsilon(2-t)$，

又 $\varepsilon(2-t)=\begin{cases}1, & t\leqslant 2\\ 0, & t>2\end{cases}$

由题意，$f(t)=\varepsilon(t)r(2-t)=(2-t)\varepsilon(2-t)\varepsilon(t)$

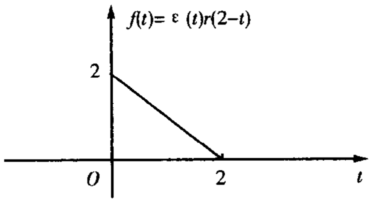
由 $\varepsilon(t)$ 的定义，知

$$\varepsilon(2-t)\varepsilon(t)=\begin{cases}1, & 0\leqslant t\leqslant 2\\ 0, & t<0 \text{ 或 } t>2\end{cases}$$

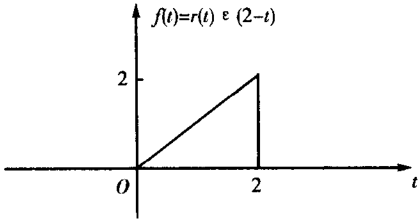
所以 $f(t)=\begin{cases}2-t, & 0\leqslant t\leqslant 2\\ 0, & t<0 \text{ 或 } t>2\end{cases}$

由此绘其波形，如解 1.2 图(c)所示.

(4)本题与题(3)解法相似. $f(t)=t\cdot\varepsilon(t)\cdot\varepsilon(2-t)$，即当 $0\leqslant t\leqslant 2$ 时，$f(t)=t$；而其它区域 $f(t)=0$. 被形如解 1.2 图(d)所示.



(c)



(d)

(5)由斜升函数及阶跃函数定义及性质，$f(t)$ 可写为

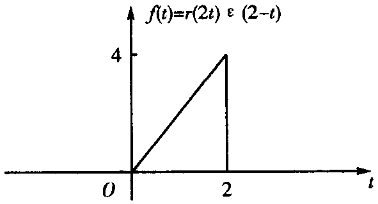
$$f(t)=2t\cdot\varepsilon(2t)\varepsilon(2-t)=\begin{cases}2t, & 0\leqslant t\leqslant 2\\ 0, & t>2 \text{ 或 } t<0\end{cases}$$

由此绘其波形，如解 1.2 图(e)所示.

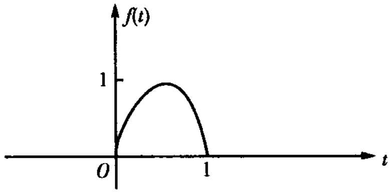
(6)由题意知

$$f(t)=\begin{cases}\sin(\pi t), & 0\leqslant t\leqslant 1\\ 0, & t<0 \text{ 或 } t>1\end{cases}$$

由此绘其波形，如解 1.2 图(f)所示.

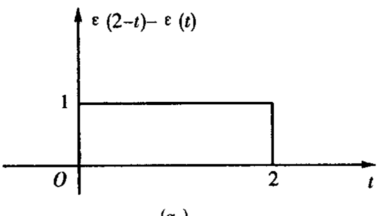


(e)

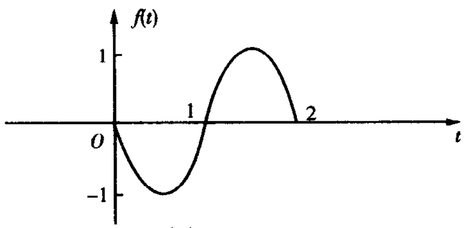


(f)

(7)画出 $\varepsilon(t+2)-\varepsilon(t)$ 的波形，然后将其反转得到 $\varepsilon(2-t)-\varepsilon(-t)$ 的波形，如解 1.2 图(g_1)所示；将 $\sin\pi(t-1)$ 与 $\varepsilon(2-t)-\varepsilon(-t)$ 相乘得 $f(t)$，即将 $\sin\pi(t-1)$ 波形中 $0\leqslant t\leqslant 2$ 以外的部分截去得 $f(t)$ 波形如解 1.2 图(g_2)所示.



(g_1)



(g_2)