21世纪高等院校经典教材同步辅导
ERSHIYISHIJIGAODENGYUANXIAOJINGDIANJIAOCAITONGBUFUDAO

XINHAOYUXITONG

信号与系统

第二版

全程导学及习题全解

上册

主　编　李　华
副主编　余成金　熊　笑
主　审　邓　辉

◆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

XINHAOYUXITONG

信号与系统

第二版

全程导学及习题全解

上册

主　编　李　华

副主编　余成金　熊　笑

主　审　邓　辉

◆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

信号与系统全程导学及习题全解．上册/李华主编．—北京：中国时代经济出版社，2006.9

（21世纪高等院校经典教材同步辅导）

ISBN 7－80221－120－4

Ⅰ．信…　Ⅱ．李…　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055924号

信号与系统全程导学及习题全解（上册）

李华　主编

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	北京密兴印刷厂
开　本	787×1092　1/16
版　次	2006年9月第1版
印　次	2006年9月第1次印刷
印　张	13.625
字　数	280千字
印　数	1～5000册
定　价	15.00元
书　号	ISBN 7－80221－120－4/G·068

内容简介

本书主要是根据高教出版社出版、郑君里编写的教材《信号与系统》(第二版)的课后习题解答,分上下册,分别对应教材的上下册。上册共分六章:绪论、连续时间系统的时域分析、傅里叶变换、拉普拉斯变换、滤波、调制与抽样、信号的矢量空间分析;下册也为六章:离散时间系统的时域分析、z变换、离散傅里叶变换、模拟与数字滤波器、反馈系统、状态变量分析。每章分三部分,分别为概要总结、经典例题和教材的详细课后习题解答。本书可以作为电子信息、通信、控制、电气信息专业、自动化、计算机等专业高职高专、函授和成人教育的配套教材,也可供研究生入学考试辅导。

前　言

本书是《信号与系统》(郑君里编著，高等教育出版社第二版)的配套辅导教材。“信号与系统”是一门理论性强、结构严谨、内容广泛的电子信息类专业的基础课程。它不仅与后续课程，如高频电路、通信基础、数字信号处理等有紧密联系，而且在培养学生的创新能力，提高学生的科研素质方面都有着重要作用。为了学好这门课程，首先要对基本概念和基本理论有较好的把握，它不仅需要较强的逻辑推理能力，深入地思考，反复领会，更需要做大量的习题，在解题过程中，一方面提高自己的解题技巧；另一方面，也是更重要的方面，是深化对基本概念和基本理论的认识。所以解题过程就是进一步领悟的过程，深入理解的过程。因此，做大量的习题是学好该门课程的关键之一。而由于“信号与系统”课程的习题对于初学者有一定的难度，初学者面对习题经常会感到无从入手，为了帮助初学者能顺利学好“信号与系统”这门课，并满足报考研究生的需求，我们编写了这本辅导教材。本书分六章，每章由概要总结、经典例题和教材的详细课后习题解答组成。第一部分的概要总结将每章的基本知识点、重要概念、常用的公式变化都列出来，让读者能在较短时间内对整个章节有大致的了解；第二部分是典型例题，每章三～五道题，这些题是结合了基本概念、最经常的题型、往年考研例题而编写出来的，具有很强的代表性，其目的是给初学者提供解题的思路，具有一定的启示作用，帮助初学者提高对基本概念和基本理论的认识，也是该门课程对学生的基本要求；第三部分是郑君里教材的详细课后习题解答。我们希望读者在刚开始做题时，不要忙于去翻阅解答，更不要抄袭解答去应付你的老师。解题是自我提高的过程，思考，思考，再思考；当你经过长时间的思考后，再去参阅习题解答，并举一反三，你就会有所领悟，受益匪浅。本书由李华、余成金、熊笑等同志编写，全书由邓辉老师主审。邓辉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陈晓峰、张景刚等同志的大力协助，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，为此表示忠心的感谢！对《信号与系统》教材的作者郑君里老师，表示衷心的感谢！

限于编者水平，书中难免有不妥或错误之处，恳请读者指正。

编　者

2006年8月

目　录

第一章　绪论

本章学习重点

(一) 信号

信号是信息的载体,是时间的函数,是消息的表现形式.

1. 信号的分类

(1) 连续时间信号和离散时间信号

(2) 周期信号和非周期信号

(3) 实信号和复信号

(4) 能量信号和功率信号

2. 典型的连续信号

(1) 实指数信号:$f(t) = Ae^{\alpha t}$

(2) 正弦信号:$f(t) = A\sin(\omega t + \theta)$

(3) 复指数信号:$f(t) = Ae^{st} = Ae^{(\alpha+j\omega)t}$

(4) 抽样信号:$\mathrm{Sa}(t) = \dfrac{\sin t}{t}$

3. 两个重要的函数及性质

(1) 单位阶跃函数:$\varepsilon(t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ 1 & (t > 0) \end{cases}$

(2) 单位冲激函数:$\begin{cases} \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t)\mathrm{d}t = 1 \\ \delta(t) = 0 \quad (\text{当 } t \neq 0) \end{cases}$

筛选性质:$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) f(t)\mathrm{d}t = f(0)$

$\delta(t)$ 是偶函数:$\delta(-t) = \delta(t)$

尺度变换:$\delta(at) = \dfrac{1}{|a|}\delta(t)$

4. 典型的离散信号

(1) 单位样本序列:$\delta(n) = \begin{cases} 1 & (n = 0) \\ 0 & (n \neq 0) \end{cases}$

(2) 单位阶跃序列:$\varepsilon(n) = \begin{cases} 1 & (n \geqslant 0) \\ 0 & (n < 0) \end{cases}$

$$\delta(n) = \varepsilon(n) - \varepsilon(n-1)$$

$$\delta(n) = \sum_{m=-\infty}^{n} \delta(m) \sum_{m=0}^{\infty} \delta(n-m)$$

(二) 系统

系统是由若干元件、部件以特定方式连接而成,为共同完成某种特殊功能的有机整体.

1. 系统的分类

(1) 连续时间系统和离散时间系统

(2) 线性系统和非线性系统

(3) 时变系统和时不变系统

(4) 集总参数系统和分布参数系统

(5) 可逆系统和不可逆系统

2. 线性时不变系统的基本性质

(1) 线性

线性指迭加性和齐次性,即若系统输入 $f_1(t)$、$f_2(t)$,对应的输出 $y_1(t)$、$y_2(t)$,则:

输入 $a_1 f_1(t) + a_2 f_2(t) \rightarrow$ 输出 $a_1 y_1(t) + a_2 y_2(t)$(a_1、a_2 为常数).

(2) 时不变特性

若输入为 $f(t)$,其零状态响应为 $y(t)$,则输入 $f(t-t_0)$ 对应输出 $y(t-t_0)$.

(3) 因果性

响应是过去和当前的激励产生的系统,否则为非因果系统.

(4) 稳定性

输入有界,则输出也有界(BIBO) 的系统.

典型例题讲解

例 1 画出下列函数的波形:

(1) $f_1(t) = \sin\pi t u(t) + \sin\pi(t-1)u(t-1)$;

(2) $f_2(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \sin\pi(t-n)u(t-n)$;

(3) $f_3(t) = \delta(t^2 - 4)$;

(4) $f_4(t) = \mathrm{sgn}(\sin t)$.

解 (1) $f_1(t)$ 的波形如图(a) 所示.

$$(2) f_2(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \sin\pi(t-n)u(t-n)$$
$$= [\sin\pi t u(t) + \sin\pi(t-1)u(t-1) + \sin\pi(t-2)u(t-2) + \cdots]$$

故 $f_2(t)$ 的波形如图(b) 所示.

(3) $f_3(t)$ 的波形如图(c) 所示.

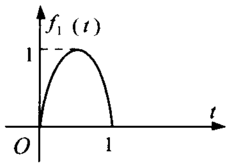


图 1－1(a)

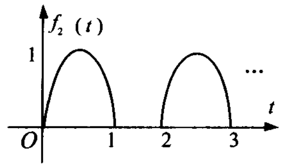


图 1－1(b)

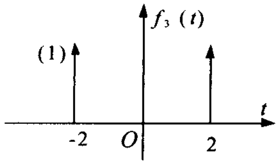


图 1－1(c)

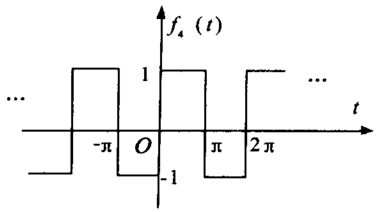


图 1－1(d)

(4) 当 $\sin t > 0$ 时，$f_4(t) = 1$；当 $\sin t < 0$ 时，函数值为 -1. 故 $f_4(t)$ 波形如图(d) 所示.

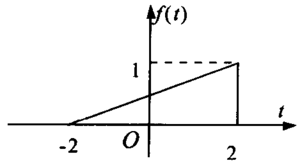


图 1－2

例 2　已知信号 $f(t)$ 的波形如图 1－2 所示，试画出下列各信号的波形：

(1) $f(2t)$；

(2) $f(2-t)$；

(3) $f(t)U(t)$.

解　各信号的波形依次如下所示.

(1)

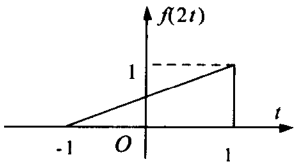


图 1－2(a)

(2)

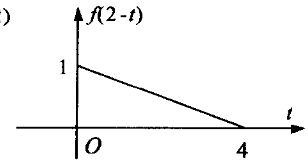


图 1－2(b)

(3)

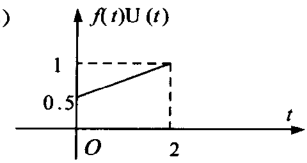


图 1－2(c)

例 3　判断下列系统是否为线性的、时不变的、因果的？

(1) $f(t) = e(4t)$；

(2) $f(t) = e^2(t)$；

(3) $f(t) = e(t)u(t)$.

解　(1) 令 $f_1(t) = e_1(4t)$，$f_2(t) = e_2(4t)$

则 $c_1 f_1(t) + c_2 f_2(t) = c_1 e_1(4t) + c_2 e_2(4t)$

满足线性要求.

当激励为 $f(t-t_0)$ 时，

$e(4t-t_0) = e\left[4\left(t-\frac{t_0}{4}\right)\right] = f\left(t-\frac{t_0}{4}\right)$，故系统时变；

当 $t = 1$ 时，$f(1) = e(4)$ 响应取决于将来输入，故系统非因果.

(2) 令 $f_1(t) = e_1^2(t)$，$f_2(t) = e_2^2(t)$

则 $c_1f_1(t)+c_2f_2(t)=c_1e_1^2(t)+c_2e_2^2\neq[c_1e_1(t)+c_2e_2(t)]^2$

故系统非线性.

$f(t-t_0)=e^2(t-t_0)$,满足时不变要求.

由 $f(t)=e^2(t)$ 知,响应只与当前输入有关,故系统因果.

(3) 令 $f_1(t)=e_1(t)u(t)$,$f_2(t)=e_2(t)u(t)$

$$\begin{aligned}c_1f_1(t)+c_2f_2(t)&=c_1e_1(t)u(t)+c_2e_2(t)u(t)\\&=[c_1e_1(t)+c_2e_2(t)]u(t)\end{aligned}$$

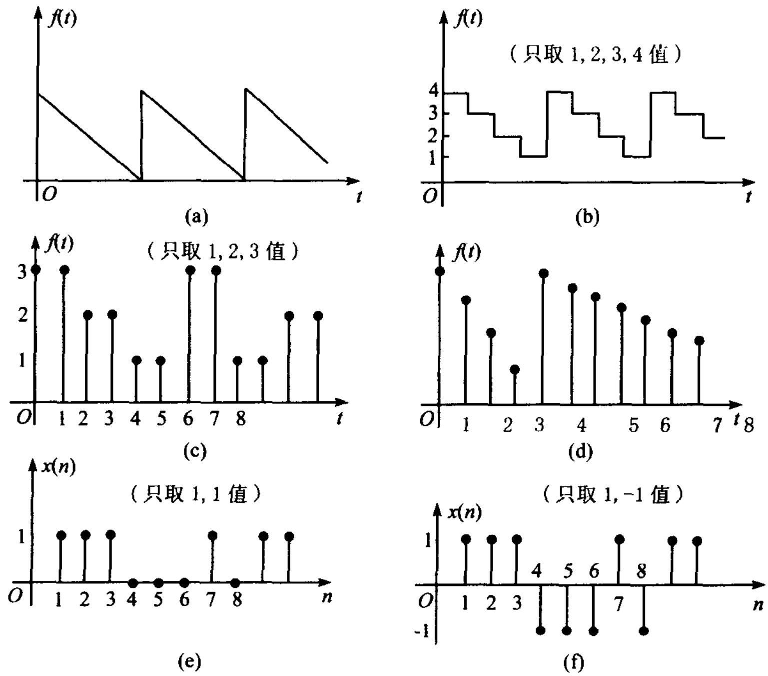
满足线性要求.

对 $f(t-t_0)=e(t-t_0)u(t-t_0)\neq e(t-t_0)u(t)$

故系统时变,又因 $f(t)$ 只与当前输入有关,故系统因果.

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

解 (a) 连续时间信号.

(b) 连续时间信号.

(c) 离散时间信号，因幅值离散，为数字信号.

(d) 离散时间信号，因幅值连续，不是数字信号.

(e) 离散时间信号，数字信号.

(f) 离散时间信号，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)；　(5)$\left(\frac{1}{2}\right)^n$. 以上各式中 n 为正整数.

解　(1)$e^{-at}(\omega t)$ 时间、幅值均连续，为连续时间信号.

(2)e^{-nT} 时间离散、幅值连续，为离散时间信号，但不是数字信号.

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

(4)$\sin(n\omega_0)$ 时间离散、幅值连续，为离散时间信号，但不是数字信号.

(5)$\left(\frac{1}{2}\right)^n$ 时间离散、幅值连续，为离散时间信号，但不是数字信号.

1－3　分别求下列各周期信号的周期 T:

(1)$\cos(10t)-\cos(30t)$；

(2)e^{j10t}；

(3)$[5\sin(8t)]^2$；

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

解　(1)$\cos(10t)$ 的信号周期$\frac{2\pi}{10}=\frac{\pi}{5}$，

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

两者的最小公倍数$\frac{\pi}{5}$，故 $T=\frac{\pi}{5}$.

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

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

(3) 由
$$\begin{aligned}[5\sin(8t)]^2&=25\sin^2(8t)\\&=25\,\frac{1-\cos(16t)}{2}\\&=\frac{25}{2}-\frac{25}{2}\cos(16t)\end{aligned}$$

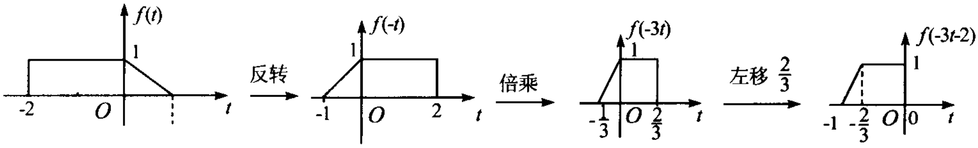
$$故\ T=\frac{2\pi}{16}=\frac{\pi}{8}.$$

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

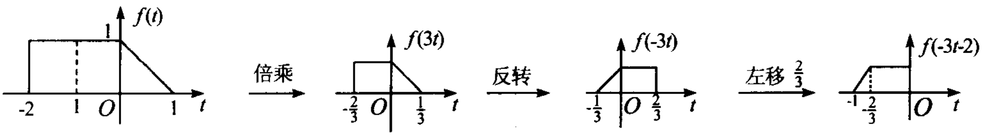
由上式可知，信号以 $2T$ 为周期.

1－4　对于教材例1－1所示信号，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之结果一致.

解法一



解法二



1－5 已知 $f(t)$，为求 $f(t_0-at)$ 应按下列哪种运算求得正确的结果(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 $\frac{t_0}{a}$.

解 正确结果是(4).

(1) $f(-at) \xrightarrow{\text{左移 } t_0} f[-a(t+t_0)]=f(-at-at_0)$；

(2) $f(at) \xrightarrow{\text{右移 } t_0} f(at-at_0)$；

(3) $f(at) \xrightarrow{\text{左移} \frac{t_0}{a}} f(at+t_0)$；

(4) $f(at) \xrightarrow{\text{右移} \frac{t_0}{a}} f(t_0-at)$.

1－6 给出下列各信号的波形：

(1) $\left[1+\frac{1}{2}\sin(\Omega t)\right]\sin(8\Omega t)$；

(2) $[1+\sin(\Omega t)]\sin(8\Omega t)$.

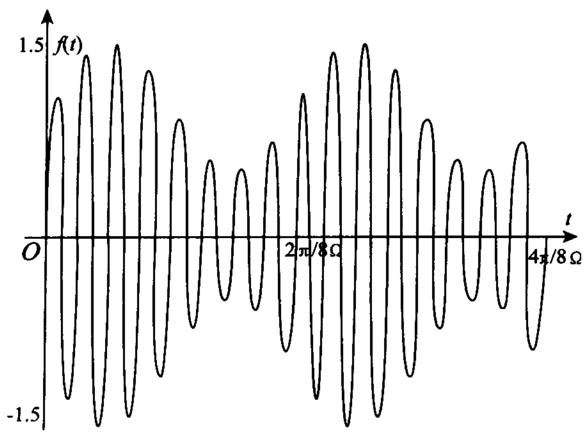


图 1－6(a)

解　(1) 可以得到此信号的周期 $T=\frac{2\pi}{8\Omega}$,波形如图 1－6(a) 所示.

(2) 此信号为周期信号,周期 $T=\frac{2\pi}{8\Omega}$,波形如图 1－6(b) 所示.

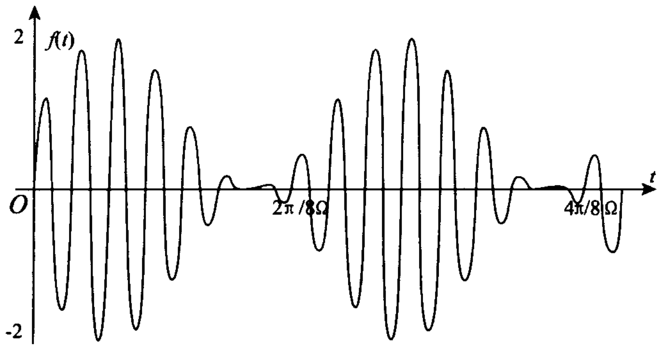


图 1－6(b)

1－7　绘出下列各信号的波形:

(1)$[u(t)-u(t-T)]\sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right)$;

(2)$[u(t)-2u(t-T)+u(t-2T)]\sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right)$.

解　(1) 信号 $\sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right)$的周期为$\frac{T}{2}$,

则在区间$[0,T]$内,包含 $\sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right)$的两个周期,波形如图 1－7(a) 所示.

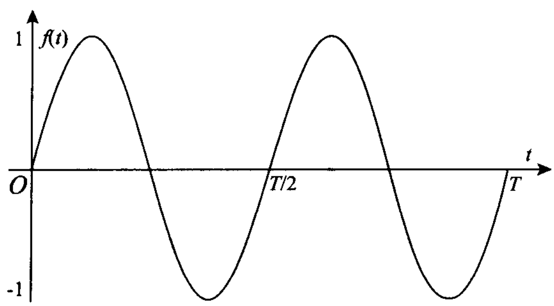


图 1－7(a)

(2) 信号 $\sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right)$的周期为$\frac{T}{2}$,

在区间$[0,T]$内,包含 $\sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right)$两个周期,在$[T,2T]$内,包含$-\sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right)$的两个周期,波形如图 1－7(b) 所示.

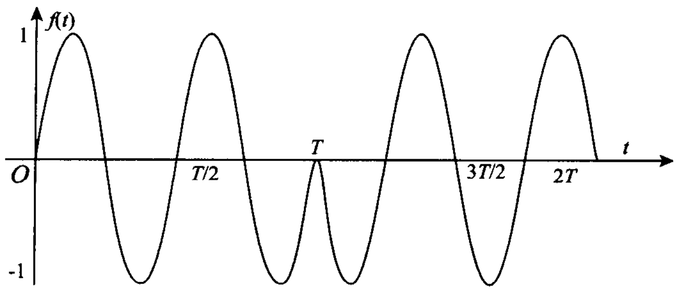
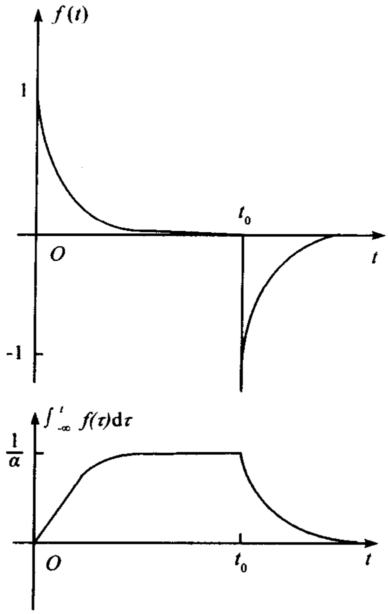


图 1－7(b)

1－8　试将描述教材第 12 页图 1－15 波形的表达式(1－16) 和(1－17) 改用阶跃信号表示.



题图 1－8　积分运算

解　表达式(1－16) 为

$$f(t)=\begin{cases} e^{-at} & (\text{当 } 0<t<t_0) \\ e^{-at}-e^{-a(t-t_0)} & (\text{当 } t_0\leqslant t<\infty) \end{cases}$$

写成阶跃信号为

$$\begin{aligned} f(t) &= e^{-at}[u(t)-u(t-t_0)]+[e^{-at}-e^{-a(t-t_0)}]u(t-t_0) \\ &= e^{-at}u(t)-e^{-a(t-t_0)}u(t-t_0) \end{aligned}$$

表达式(1－17) 为

$$\int_{-\infty}^{t} f(\tau)\mathrm{d}\tau=\begin{cases} \dfrac{1}{a}(1-e^{-at}) & (0<t<t_0) \\ \dfrac{1}{a}(1-e^{-at})-\dfrac{1}{a}[1-e^{-a(t-t_0)}] & (t_0<t<\infty) \end{cases}$$

写成阶跃信号为

$$\int_{-\infty}^{t} f(\tau)\mathrm{d}\tau = \frac{1}{a}(1-\mathrm{e}^{-at})[u(t)-u(t-t_0)] + \left\{\frac{1}{a}(1-\mathrm{e}^{-at}) - \frac{1}{a}[1-\mathrm{e}^{-a(t-t_0)}]\right\}u(t-t_0)$$

$$= \frac{1}{a}(1-\mathrm{e}^{-at})u(t) - \frac{1}{a}[1-\mathrm{e}^{-a(t-t_0)}]u(t-t_0).$$

1－9　粗略绘出下列各函数式的波形图：

(1) $f(t) = (2-\mathrm{e}^{-t})u(t)$；

(2) $f(t) = (3\mathrm{e}^{-t}+6\mathrm{e}^{-2t})u(t)$；

(3) $f(t) = (5\mathrm{e}^{-t}-5\mathrm{e}^{-3t})u(t)$；

(4) $f(t) = \mathrm{e}^{-t}\cos(10\pi t)[u(t-1)-u(t-2)]$.

解　信号波形分别如图 1－9(a)、1－9(b)、1－9(c)、1－9(d) 所示.

(1)

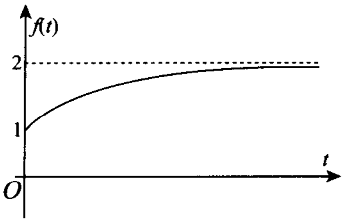


图 1－9(a)

(2)

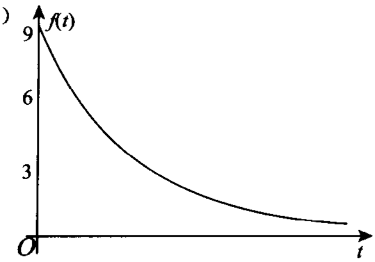


图 1－9(b)

(3)

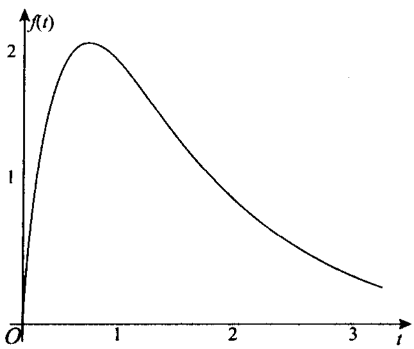


图 1－9(c)

(4)

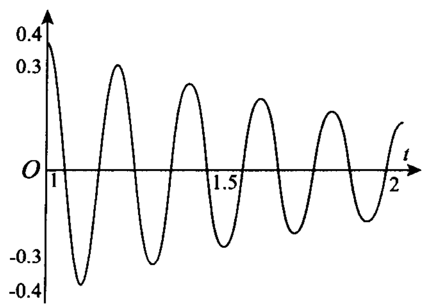


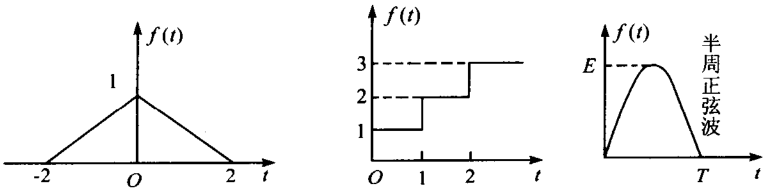
图 1－9(d)

1－10　写出题图 1－10(a)、(b)、(c) 所示各波形的函数式.

解　(a) 由题图 1－10(a) 可写出

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

于是 $f(t) = \left(1-\dfrac{|t|}{2}\right)[u(t+2)-u(t-2)]$.



(a)　　(b)　　(c)

题图 1－10

(b) 由题图 1－10(b) 可写出

$$f(t)=\begin{cases}0 & (t\leqslant 0)\\ 1 & (0<t\leqslant 1)\\ 2 & (1<t\leqslant 2)\\ 3 & (t>2)\end{cases}$$

于是 $f(t)=[u(t)-u(t-1)]+2[u(t-1)-u(t-2)]+3u(t-2)$

$=u(t)+u(t-1)+u(t-2).$

(c) 由题图 1－10(c) 可写出

$$f(t)=\begin{cases}E\sin\left(\frac{\pi}{T}t\right) & (0\leqslant t\leqslant T)\\ 0 & (\text{其它})\end{cases}$$

于是 $f(t)=E\sin\left(\frac{\pi}{T}t\right)[u(t)-u(t-T)]$.

1－11　绘出下列各时间函数的波形图：

(1) $te^{-t}u(t)$；　　(2) $e^{-(t-1)}[u(t-1)-u(t-2)]$；

(3) $[1+\cos(\pi t)][u(t-2)]$；　　(4) $u(t)-2u(t-1)+u(t-2)$；

(5) $\dfrac{\sin[a(t-t_0)]}{a(t-t_0)}$　　(6) $\dfrac{d}{dt}[e^{-t}\sin t u(t)]$.

解　各信号波形分别为图 1－11(a)、图 1－11(b)、图 1－11(c)、图 1－11(d)、图 1－11(e)、图 1－11(f) 所示.

(1)

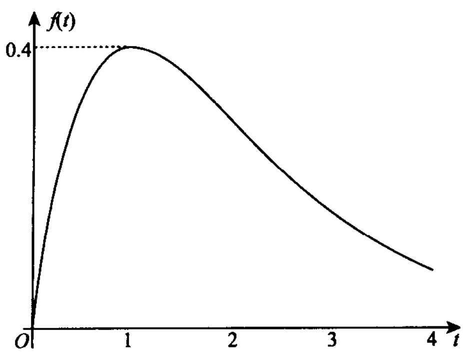


图 1－11(a)

(2)

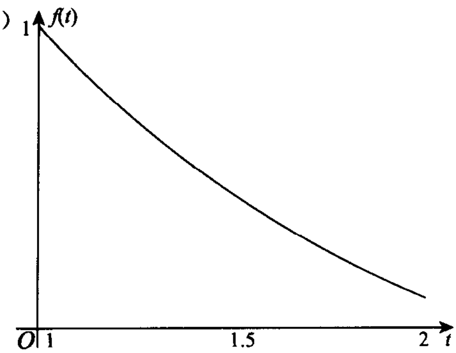


图 1－11(b)

(3)

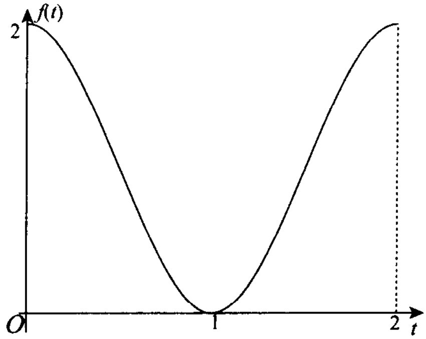


图 1－11(c)

(4)

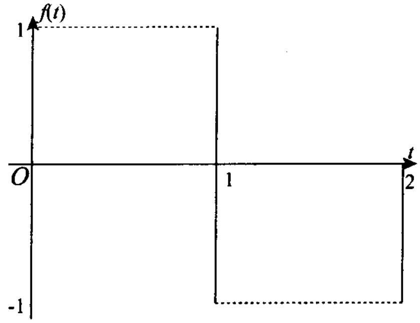


图 1－11(d)

(5)

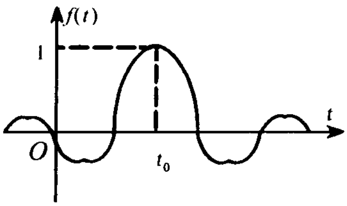


图 1－11(e)

(6)

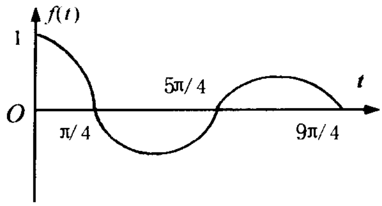


图 1－11(f)

1－12　绘出下列各时间函数的波形图，注意它们的区别：

(1)$t[u(t)-u(t-1)]$；　　(2)$t\cdot u(t-1)$；

(3)$t[u(t)-u(t-1)]+u(t-1)$；　　(4)$(t-1)u(t-1)$；

(5)$-(t-1)[(u(t)-u(t-1)]$；　　(6)$t[u(t-2)-u(t-3)]$；

(7)$(t-2)[u(t-2)-u(t-3)]$.

解　信号波形分别为图 1－12(a)、图 1－12(b)、图 1－12(c)、图 1－12(d)、图 1－12(e)、图 1－12(f)、图 1－12(g) 所示.

(1)

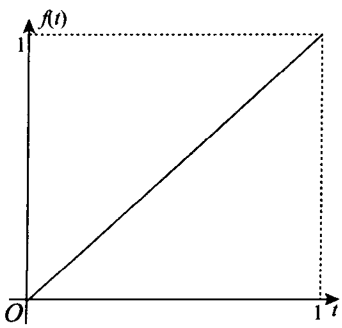


图 1－12(a)

(2)

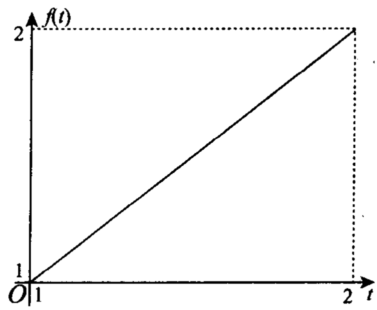


图 1－12(b)