21世纪高等院校经典教材同步辅导

ERSHIYISHIJIGAODENGYUANXIAOJINGDIANJIAOCAITONGBUFUDAO

信号与系统

第三版

全程导学及习题全解

上册

主编 苗 璐 副主编 余成金 熊 笑 胡 钰 主审 邓 晖

中国时代经济出版社

信号与系统

第三版

全程导学及习题全解

上册

主编 苗 璐 副主编 余成全 熊 平 胡 钰 邓 辉

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统(第三版)全程导学及习题全解. 上册 / 苗璐主编.
—北京：中国时代经济出版社，2011.9
(21 世纪高等院校经典教材同步辅导)
ISBN 978-7-5119-0946-6

Ⅰ.①信…　Ⅱ.①苗…　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（2011）第 149246 号

书　　名：信号与系统(第三版)全程导学及习题全解(上册)
出 版 人：王鸿津
作　　者：苗　璐
出版发行：中国时代经济出版社
社　　址：北京市丰台区玉林里 25 号楼
邮政编码：100078
发行热线：(010)83910219
传　　真：(010)68320584
邮购热线：(010)88361317
网　　址：www.cmepub.com.cn
电子邮箱：zgsdjj@hotmail.com
经　　销：各地新华书店
印　　刷：北京市优美印刷有限责任公司
开　　本：787×1092　1/16
字　　数：280 千字
印　　张：12.75
版　　次：2011 年 9 月第 1 版
印　　次：2011 年 9 月第 1 次印刷
书　　号：ISBN 978-7-5119-0946-6
定　　价：22.80 元

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》(第三版)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、系统的状态变量分析。每章分三部分,分别为概要总结、经典例题和教材习题的详细解答。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,高等教育出版社第三版)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、集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。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。

本书是在《信号与系统》第二版题解的基础上修订完成的。第三版教材对原有习题进行了增加和删减。本次修订对新增加的习题给出了详解,同时将第三版删除的习题,本书将其做为补充题全部予以保留,供读者参考。

本书由苗璐、余成金、熊笑、胡钰等编写,全书由邓晖老师主审。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张鹏、陈晓峰、张景刚等的大力协助,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、应启珩和杨为理老师,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

2011 年 8 月

目　　录

第一章　绪　　论 …… 1

本章学习重点 …… 1

典型例题讲解 …… 3

习题全解 …… 4

第二章　连续时间系统的时域分析 …… 21

本章学习重点 …… 21

典型例题讲解 …… 23

习题全解 …… 24

第三章　傅里叶变换 …… 49

本章学习重点 …… 49

典型例题讲解 …… 51

习题全解 …… 56

第四章　拉普拉斯变换、连续时间系统的 s 域分析 …… 95

本章学习重点 …… 95

典型例题讲解 …… 98

习题全解 …… 99

第五章　傅里叶变换应用于通信系统——滤波、调制与抽样 …… 147

本章学习重点 …… 147

典型例题讲解 …… 148

习题全解 …… 151

第六章　信号的矢量空间分析 …… 172

本章学习重点 …… 172

典型例题讲解 …… 174

习题全解 …… 175

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) 确定性信号与随机信号

(2) 周期信号和非周期信号

(3) 连续时间信号和离散时间信号

(4) 一维信号与多维信号

(5) 能量信号和功率信号

(6) 调制信号、载波信号和已调信号等

2. 典型的连续信号

(1) 实指数信号：$f(t) = Ae^{at}$

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

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

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

(5) 钟形信号：$f(t) = Ee^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)^2}$

3. 信号的运算

(1) 移位、反褶与尺度

(2) 微分与积分

(3) 两信号相加或相乘

4. 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：$\begin{cases} \displaystyle\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t)\mathrm{d}t = 1 \\ \delta(t) = 0 \quad (\text{当 } t \neq 0) \end{cases}$

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

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

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

5. **信号的分解**

(1) 直流分量与交流分量

(2) 偶分量与奇分量

(3) 脉冲分量

(4) 实部分量与虚部分量

(5) 正交函数分量

(6) 利用分形理论描述信号

6. **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

(6) 即时系统与动态系统

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 $a_1f_1(t)+a_2f_2(t)\rightarrow$ 输出 $a_1y_1(t)+a_2y_2(t)$（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.

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.

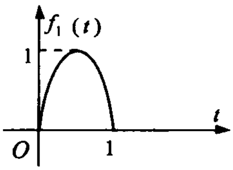


图 1－1(a)

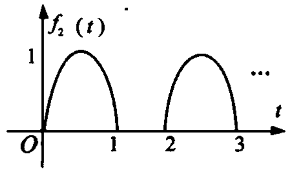


图 1－1(b)

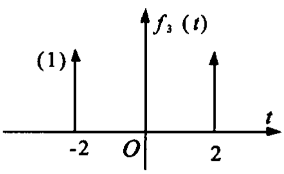


图 1－1(c)

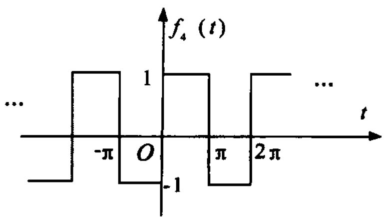


图 1－1(d)

(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.

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

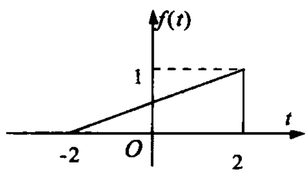


图 1－2

解　各信号的波形依次如下所示.

(1)

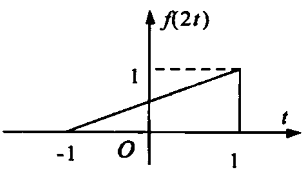


图 1－2(a)

(2)

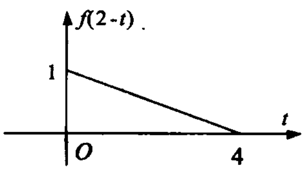


图 1－2(b)

(3)

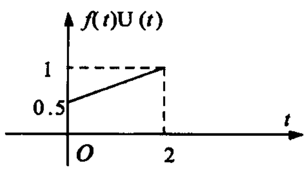


图 1－2(c)

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,

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

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
$$c_1 f_1(t) + c_2 f_2(t) = c_1 e_1^2(t) + c_2 e_2^2 \neq [c_1 e_1(t) + c_2 e_2(t)]^2$$

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

$$c_1 f_1(t) + c_2 f_2(t) = c_1 e_1(t)u(t) + c_2 e_2(t)u(t) = [c_1 e_1(t) + c_2 e_2(t)]u(t)$$

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?

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)

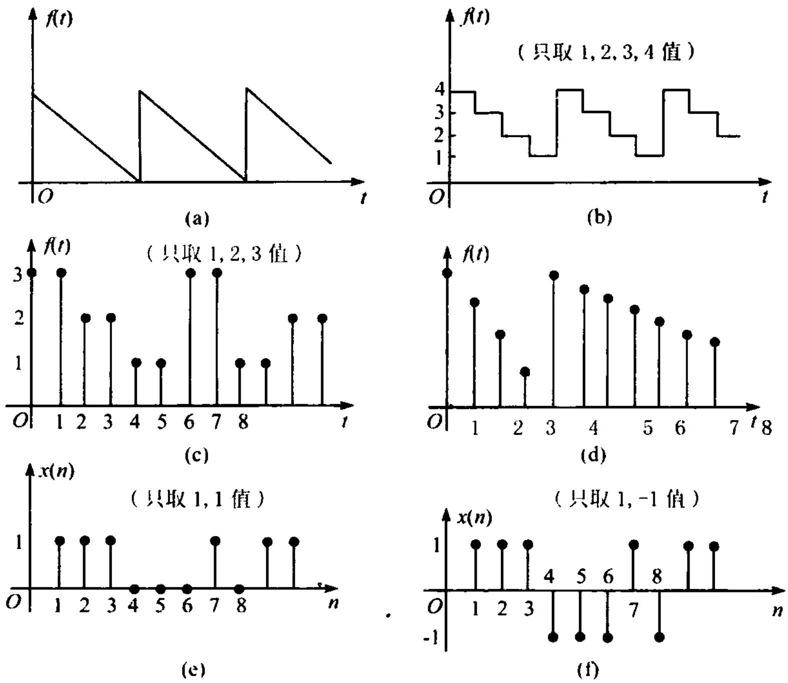
(1)$e^{-at}\sin(\omega t)$; (2)e^{-nT}; (3)$\cos(n\pi)$;

(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.



题图 1－1

(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 $\frac{2\pi}{30}=\frac{\pi}{15}$，

两者的最小公倍数为 $\frac{\pi}{5}$，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　$[5\sin(8t)]^2=25\sin^2(8t)=25\,\frac{1-\cos(16t)}{2}=\frac{25}{2}-\frac{25}{2}\cos(16t)$

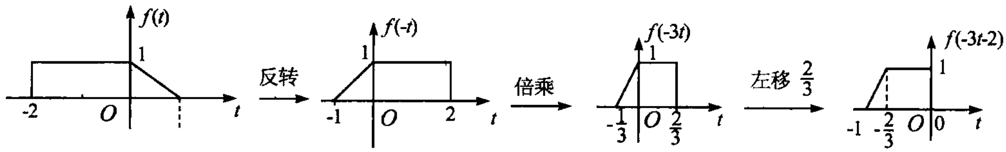
$$故\ T=\frac{2\pi}{16}=\frac{\pi}{8}.$$

(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 $n\geqslant 0$

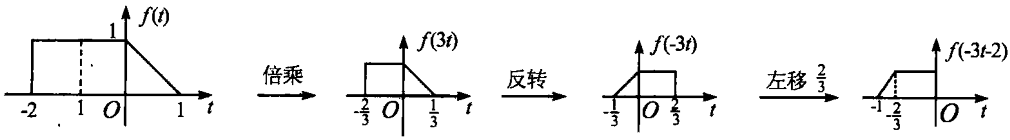
由上式可知，信号以 $2T$ 为周期.

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

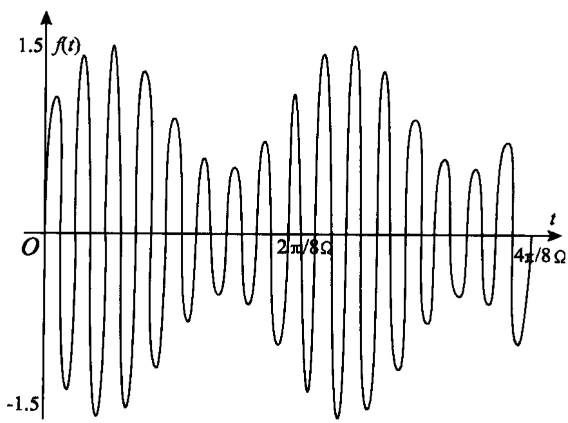


图 1－6(a)

解 (1) 此信号为周期信号，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.

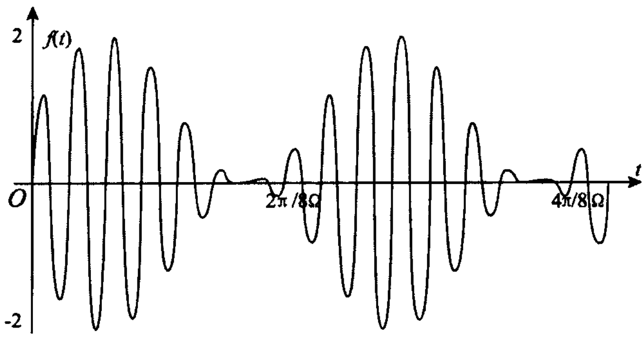


图 1－6(b)

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.

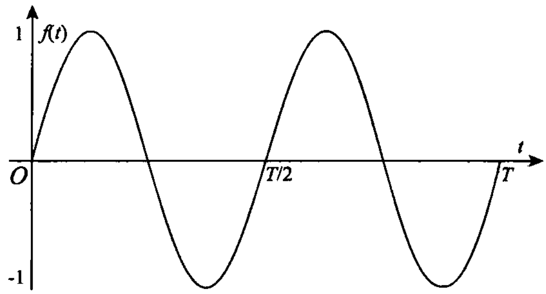


图 1－7(a)

(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.

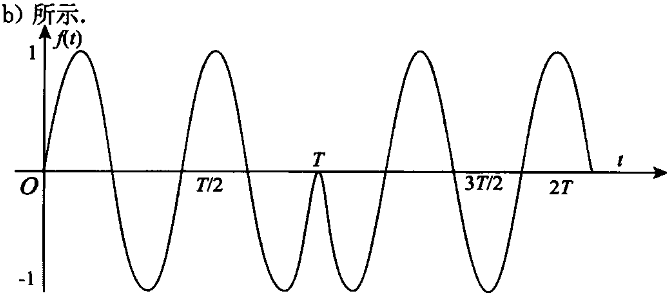
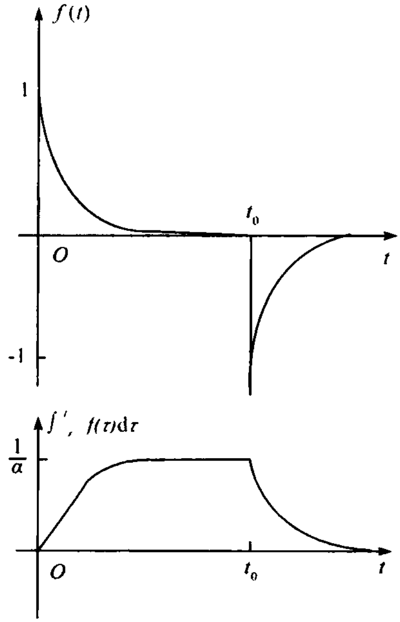


图 1－7(b)

1－8 试将描述教材第 14 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 1－15 积分运算

解 表达式(1－16)为

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

写成阶跃信号为

$$f(t)=e^{-\alpha t}[u(t)-u(t-t_0)]+[e^{-\alpha t}-e^{-\alpha(t-t_0)}]u(t-t_0)=e^{-\alpha t}u(t)-e^{-\alpha(t-t_0)}u(t-t_0)$$

表达式(1－17)为

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

写成阶跃信号为

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

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

1－9 粗略绘出下列各函数式的波形图:

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

(3) $f(t)=(5e^{-t}-5e^{-3t})u(t)$;　(4) $f(t)=e^{-t}\cos(10\pi t)[u(t-1)-u(t-2)]$.

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

(1)

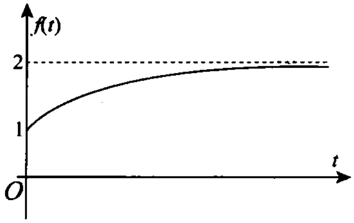


图 1－9(a)

(2)

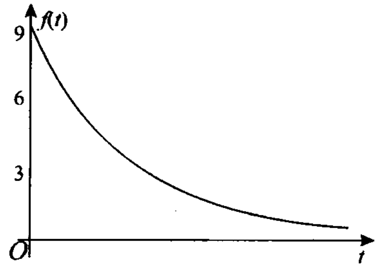


图 1－9(b)

(3)

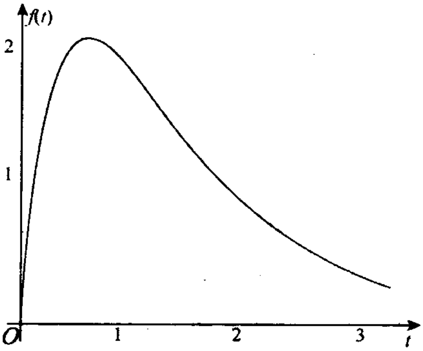


图 1－9(c)

(4)

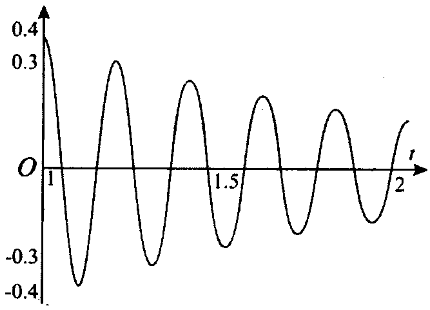
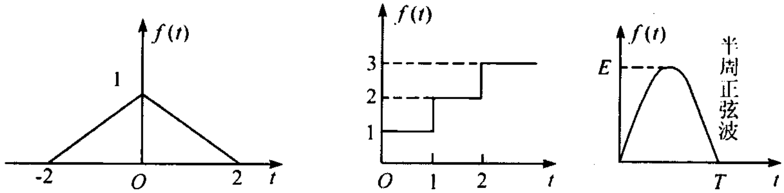


图 1－9(d)

1－10　写出题图 1－10(a)、(b)、(c) 所示各波形的函数式.



(a)　(b)　(c)

题图 1－10

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

(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) $[1+\cos(\pi t)][u(t)-u(t-2)]$；　(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　各信号波形分别如图 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)

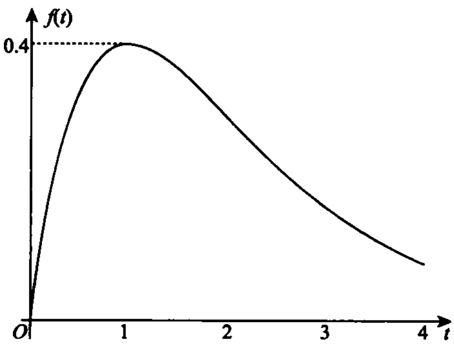


图 1－11(a)

(2)

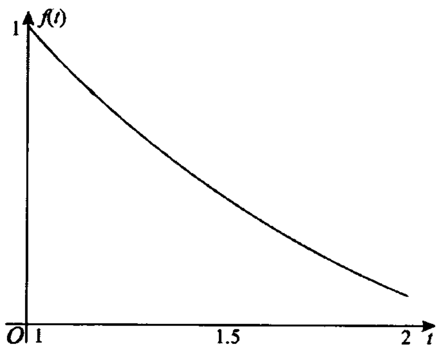


图 1－11(b)

(3)

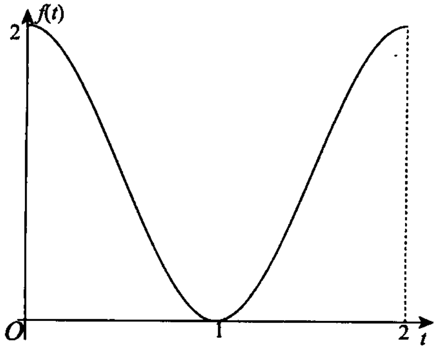


图 1－11(c)

(4)

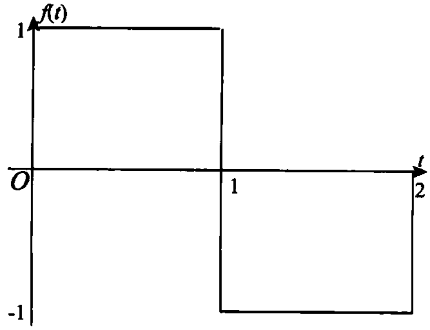


图 1－11(d)

(5)

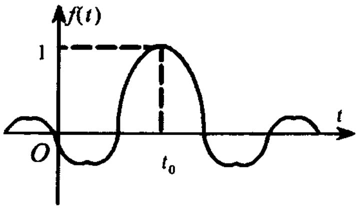


图 1－11(e)

(6)

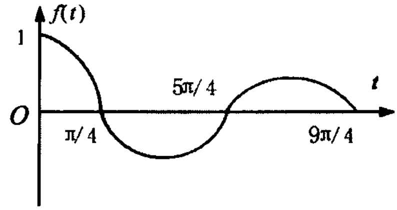


图 1－11(f)

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　信号波形分别如图 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)

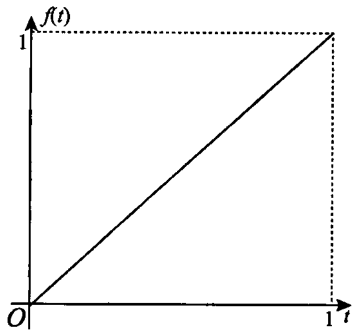


图 1－12(a)

(2)

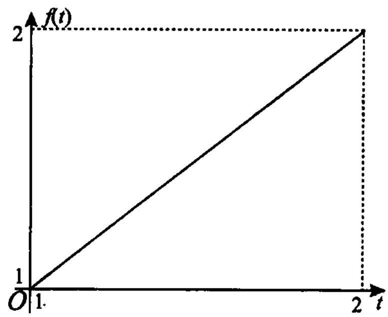


图 1－12(b)

(3)

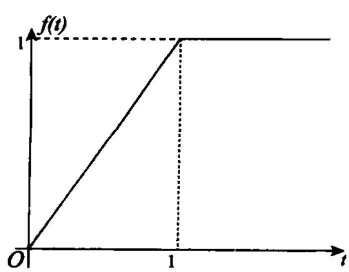


图 1－12(c)

(4)

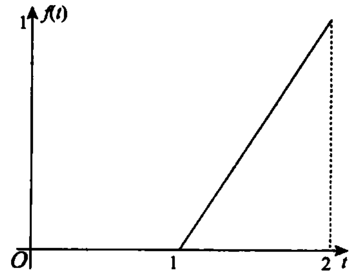


图 1－12(d)