郑君里主编《信号与系统》
（第二版）同步辅导

九章丛书

信号与系统
（第二版）
全程辅导
（上）

编写 九章系列课题组
主编 苏志平 赵洪岩

辽宁师范大学出版社

信号与系统

（第二版）

全程辅导

（上）

信号与系统全程辅导

（第二版）

上　册

编　写　九章系列课题组

主　编　苏志平　赵洪岩

辽宁师范大学出版社

内 容 简 介

本书是为了配合由高等教育出版社出版的郑君里主编《信号与系统》上、下册（第二版）的教材而编写的辅导用书。

本书对教材中各章的重点、难点做了较深刻的分析，对各章的课后习题做了全面解析解答。本书将是电气信息类本科生的重要参考书，也是教师的参考书。并可作为各类工程技术人员和自学者的辅导书。

图书在版编目（CIP）数据

信号与系统全程辅导/苏志平·赵洪岩主编．—大连：辽宁师范大学出版社，2004.8

ISBN 7-81103-076-4

Ⅰ．信…　Ⅱ．①苏…　②赵…　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（2004）第 085424 号

责任编辑：穆　杰
责任校对：童　娇
封面设计：黄志勇

出 版 者：辽宁师范大学出版社
地　　址：大连市黄河路 850 号
邮　　编：116029
印 刷 者：廊坊华星印刷厂
发 行 者：全国新华书店

幅面尺寸：727×960　1/16
印　　张：35
字　　数：550 千字

出版时间：2004 年 8 月第 1 版
印刷时间：2004 年 8 月第 1 次印刷
全套定价：38.00 元　本册定价：20.00 元

前　言

《信号与系统》（第二版）上、下册一直是大中专院校电子专业学生必修课程，其内容随着电子技术的发展而日趋丰富。这就产生了一个矛盾；一方面学生因所修课程越来越多而导致课外时间减少。另一方面因技术的进步又要求学生去了解比以前更多的知识。

今本书正是为了解决这一矛盾而精心编写的。

本书是与郑君里主编的教材《信号与系统》（第二版）上、下册同步配套的习题全程辅导书。本书除了有传统辅导书的解题过程外，主要有以下特点：

1. 知识点窍：运用公式、定理及定义来点明知识点。

2. 逻辑推理：阐述习题的解题过程。

3. 解题过程：概念清晰，步骤完整，数据准确，附图齐全。

把知识点窍——逻辑推理——解题过程联系起来，做到融汇贯通，最后给出本书的习题答案。在解题思路和解题技巧上进行精练分析和引导，巩固所学，达到举一反三的效果。

“知识点窍”和“逻辑推理”是本书的精华所在，是由多位著名教授根据学生在解题过程中进行分析而研究出来的一种新型的、拓展思路的解题方法。“知识点窍”提纲挈领地抓住了题目的核心知识，让学生清楚地了解出题者的意图；而“逻辑推理”则注重引导学生思维，旨在培养学生科学的思维方法，即掌握答题的思维技巧。在此基础上提供了详细的“解题过程”，使学生熟悉整个答题过程。本书在编写过程中，参考了郑君里老师编写的《信号与系统》（第二版），并借鉴了书中部分插图，在此深表感谢。

由于编者水平有限及时间仓促，不妥之处在所难免。希望广大读者不吝批评、指正。

编　者

2004 年 8 月

目　录

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

- 信号是消息的表现形式，消息是信号的具体内容。
- 系统是由若干相互作用和相互依赖的事物组合而成的具有特定功能的整体。
- 信号可从不同角度进行分类

（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）一维信号和多维信号。

- 典型的连续时间信号表达式及特性

（1）指数信号

$$f(t) = K\mathrm{e}^{at} \quad \text{式中 } a \text{ 是实数。}$$

指数信号的一个重要特性是它对时间的微分和积分仍然是指数形式。

（2）正弦信号

$$f(t) = K\sin(\omega t + \theta)。$$

式中 K 为振幅，ω 是角频率，θ 称为初相位。

正弦信号对时间的积分与微分仍为同频率的正弦信号。

（3）复指数信号　$f(t) = K\mathrm{e}^{st}$　其中 $s=\sigma+\mathrm{j}\omega$。

实际上不能产生复指数信号，但可以利用它来描述各种基本信号，使许多运算和分析得以简化。

（4）$s_a(t)$ 信号(抽样信号)　　$s_a(t) = \dfrac{\sin t}{t}$。

$s_a(t)$ 信号具有以下性质：

$$\int_0^{\infty} s_a(t)\mathrm{d}t = \frac{\pi}{2}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} s_a(t)\mathrm{d}t = \pi$$

(5) 钟形信号（高斯函数）

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

函数式中的参数 τ 是当 $f(t)$ 由最大值 E 下降为 $0.78E$ 时，所占据的时间宽度。

- 信号的传输与处理过程进行的信号运算包括：
  信号的移位、反褶、尺度倍乘、微分、积分以及两信号的相加或相乘。
- 本身有不连续点或其导数与积分有不连续点的函数称为奇异函数或奇异信号。

(1) 单位斜变信号 $f(t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ t & (t \geqslant 0) \end{cases}$

(2) 单位阶跃信号 $u(t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ 1 & (t > 0) \end{cases}$

在跳变点 $t=0$ 处，函数值未定义，或在 $t=0$ 处规定函数值 $u(0) = -\frac{1}{2}$

(3) 单位冲激信号 $\begin{cases} \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t)\mathrm{d}t = 1 \\ \delta(t) = 0 \quad (当\ t \neq 0) \end{cases}$

(4) 冲激偶信号

冲激函数的微分呈现正、负极性的一对冲激，称为冲激偶信号；以 $\delta'(t)$表示。

- 从不同角度对信号进行分解

(1) 分解为直流分量和交流分量

$$f(t) = f_{\mathrm{D}} + f_{\mathrm{A}}(t)$$

(2) 分解为偶分量和奇分量

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{1}{2}[f(t) + f(-t)] + \frac{1}{2}[f(t) - f(-t)] \\ &= f_{\mathrm{e}}(t) + f_{\mathrm{o}}(t) \end{aligned}$$

(3) 分解为冲激信号叠加之和

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

(4) 实部分量与虚部分量

瞬时值为复数的信号 $f(t)$ 可分解为实、虚两部分之和

$$f(t) = f_{\mathrm{r}}(t) + \mathrm{j}f_{\mathrm{i}}(t)。$$

(5) 正交函数分量

如果用正交函数集来表示一个信号，那么，组成信号的各分量就是相互正交的。

(6) 利用分形理论描述信号。

- 系统的分类

(1) 连续时间系统与离散时间系统；

(2) 即时系统与动态系统；

(3) 集总参数系统与分布参数系统；

(4) 线性系统与非线性系统；

(5) 时变系统与时不变系统；

(6) 可逆系统与不可逆系统。

- 线性时不变系统的基本特性

叠加性与均匀性、时不变特性、微分特性和因果性。

- 系统分析方法

系统的数学描述方法分为两大类型，一是输入—输出描述法，另一是状态变量描述法。

系统数学模型的求解方法可分为时间域方法与变换域方法两大类型。

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？

【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。即比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】

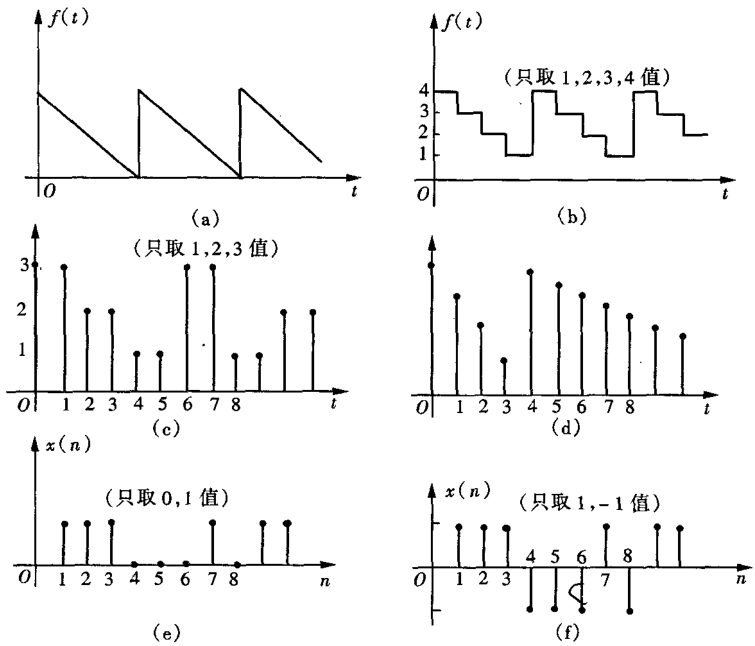
连续信号分两类：模拟信号（幅值、时间均连续）；

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



题图 1-1

(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）;

(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，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) $\cos(10t)-\cos(30t)$；

(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）。

【知识点窍】

周期信号：按一定时间间隔重复，表示为

$$f(t)=f(t+nT),n=0,\pm1,\pm2,\cdots(\text{任意整数})$$

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，则合成信号非周期。

【解题过程】

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

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

T_1，T_2 的最小公倍数为$\frac{\pi}{5}$，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)
$$\begin{aligned}[5\sin(8t)]^2&=25\sin^2(8t)\\&=25\cdot\frac{1-\cos(16t)}{2}\\&=\frac{25}{2}-\frac{25}{2}\cos(16t)\end{aligned}$$

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

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

其中 $n\geqslant0$.

由上式可知，信号以 $2T$ 间隔周期重复。

因此在 $t \geqslant 0$ 时，原信号是周期为 $2T$ 的周期信号。

1-4 对于例 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。

【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】

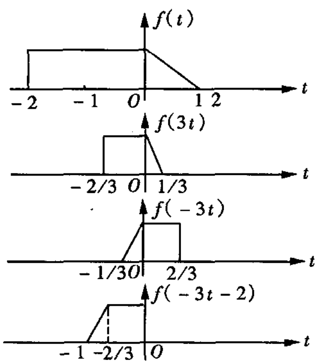
按 $f(t) \to f(3t) \to f(-3t) \to f(-3t-2)$ 顺序，如解图1-4（a）。

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

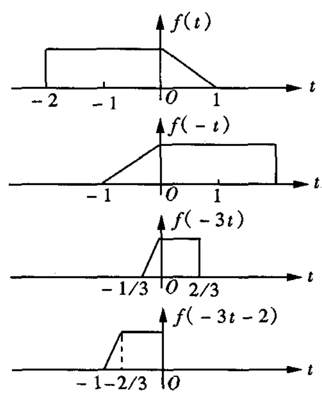
1-5 已知 $f(t)$，为求 $f(t_0-at)$ 应按下列哪种运算求得正确结果（式中 t_0，a 都为正值）？

(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 $\frac{t_0}{a}$。



解图 1-4（a）



解图 1-4（b）

【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

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

(3) $f(at)$ 左移$\dfrac{t_0}{a}$

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

(4) $f(-at)$ 右移$\dfrac{t_0}{a}$

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

1-6 绘出下列各信号的波形：

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

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

【知识点窍】

信号周期的计算：各频率分量的最小公倍数。

【逻辑推理】

由数学表达式绘制信号波形，首先应求出信号周期，然后大致绘出幅度曲线。

【解题过程】

(1) 信号 $\left[1+\dfrac{1}{2}\sin(\Omega t)\right]\sin(8\Omega t)$ 的周期为

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

波形如解图 1-6（a），f（t）表示原信号。

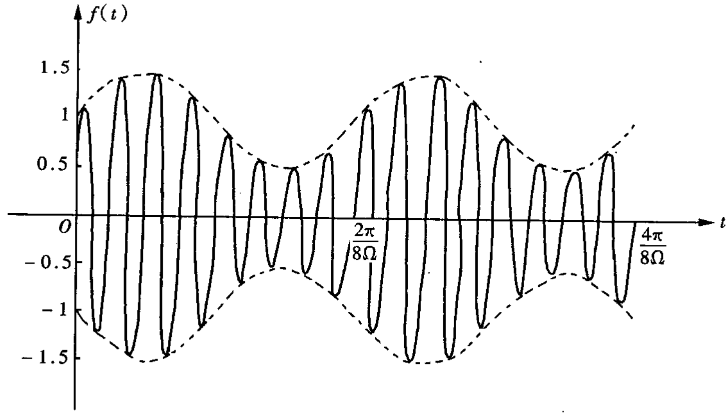
(2) 信号$[1+\sin(\Omega t)]\sin(8\Omega t)$的周期为

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

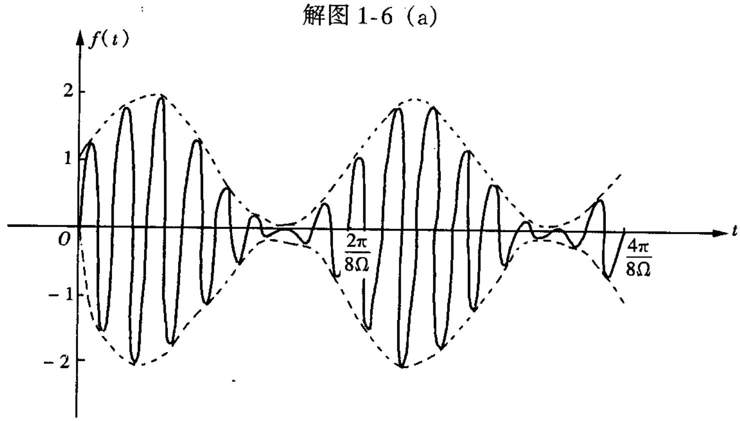
波形如解图 1-6(b)，$f(t)$表示原信号。

本题其实相当于用 $\sin(8\Omega t)$作为载波，对基带信号进行调制，包络携带了原基带信号的信息。

1-7 绘出下列各信号的波形：



解图 1-6 (a)



解图 1-6 (b)

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

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

【知识点窍】

单位阶跃信号 $u(t)=\begin{cases}0 & (t<0)\\ 1 & (t>0)\end{cases}$ 在 $t=0$ 处函数值未定义，或规定 $u(0)=\frac{1}{2}$。

【逻辑推理】

分析表达式，画出信号波形。

【解题过程】

(1) $u(t)-u(t-T)=\begin{cases}1, 0<t\leqslant T\\ 0 \quad\quad 其他\end{cases}$

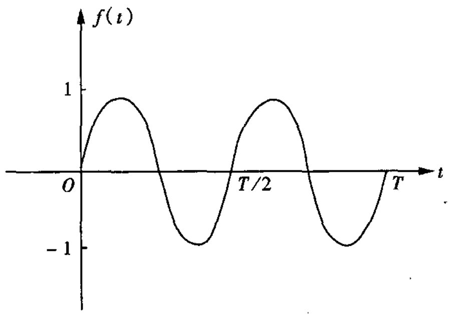
$\sin\frac{4\pi}{T}t$ 的周期为$\frac{2\pi}{\frac{4\pi}{T}}=\frac{T}{2}$

波形如解图 1-7(a)，$f(t)$ 表示原信号。

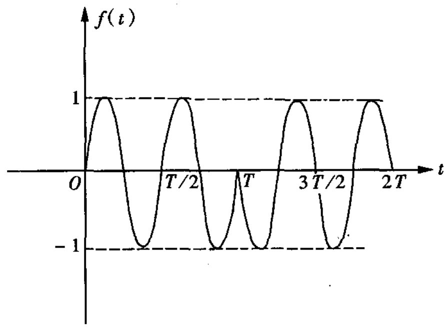
$$(2)u(t)-2u(t-T)+u(t-2T)=\begin{cases}1, & 0<t\leqslant T\\ -1, & T<t\leqslant 2T\\ 0, & \text{其他}\end{cases}$$

$\sin\frac{4\pi}{T}t$ 周期为$\frac{T}{2}$

波形如解图 1-7（b），$f(t)$ 表示原信号。



解图 1-7（a）



解图 1-7（b）

1-8 试将描述图 1-15 波形的表达式（1-16）和（1-17）改用阶跃信号表示。

【知识点窍】

借助阶跃函数表示分段信号，考查阶跃函数的表示及信号的移位性质。

【逻辑推理】

用阶跃函数将信号的不同分段区间表示出来。

【解题过程】

表达式（1-16）为

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

用阶跃信号表示可写作

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

表达式（1-17）为

$$\int_{-\infty}^{t} f(\tau)d\tau = \begin{cases} \dfrac{1}{\alpha}(1-\mathrm{e}^{-\alpha t}) & (0 < t < t_0) \\ \dfrac{1}{2}(1-\mathrm{e}^{-\alpha t}) - \dfrac{1}{2}[1-\mathrm{e}^{-\alpha(t-t_0)}] & (t_0 < t < \infty) \end{cases}$$

用阶跃信号表示为

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{t} f(\tau)\mathrm{d}\tau = & \frac{1}{2}(1-\mathrm{e}^{-\alpha t})[u(t)-u(t-t_0)] \\ & + \left\{\frac{1}{2}(1-\mathrm{e}^{-\alpha t}) - \frac{1}{2}[1-\mathrm{e}^{-\alpha(t-t_0)}]\right\}u(t-t_0) \\ = & \frac{1}{\alpha}(1-\mathrm{e}^{-\alpha t})u(t) - \frac{1}{2}[1-\mathrm{e}^{-\alpha(t-t_0)}]u(t-t_0) \end{aligned}$$

1-9 粗略绘出下列各函数式的波形图：

(1) $f(t) = (2-\mathrm{e}^{-t})u(t)$；

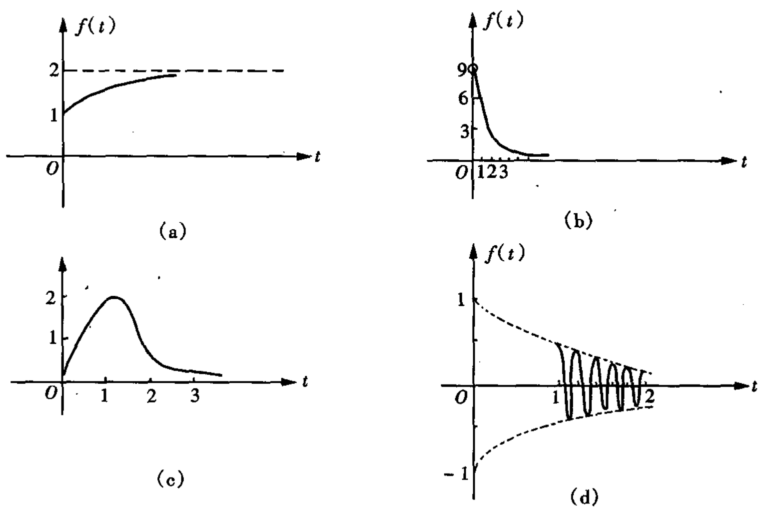
(2) $f(t) = (3\mathrm{e}^{-t} + 6\mathrm{e}^{-2t})u(t)$；

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

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

【解题过程】

信号波形分别如解图 1-9 (a)、(b)、(c)、(d) 所示。



解图 1-9

1-10 写出题图 1-10 (a)、(b)、(c) 所示各波形的函数式。

【解题过程】

(1) 由题图 1-10 (a) 可得