



高等学校优秀教材辅导丛书

GAO DENG XUE XIAO YOU XIU JIAO CAI FU DAO CONG SHU

主 编 刘继承 陈雪松 张秀艳

信号与系统

知识要点与习题解析



11.6
3

哈尔滨工程大学出版社

高等学校优秀教材辅导丛书

信号与系统 知识要点与习题解析

(配郑君里第二版教材·高教版)

主 编 刘继承 陈雪松 张秀艳

哈尔滨工程大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统知识要点与习题解析/刘继承,陈雪松,
张秀艳主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2005
ISBN 7-81073-711-2

I.信… II.①刘…②陈…③张… 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(2005)第 070959 号

内 容 简 介

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

书中对教材各章的知识要点作了系统的归纳和总结,对课后习题作出了全面的解答,并配以同步训练题,使学生加深对内容的理解和掌握。本书是电子信息类本科学生的重要参考书,也可作为教师及各类工程技术人员和自学者的参考用书。

哈尔滨工程大学出版社出版发行
哈尔滨市南通大街145号 哈尔滨工程大学11号楼
发行部电话:(0451)82519328 邮编:150001
新华书店经销
黑龙江省教育厅印刷厂印刷

*

开本 787mm×960mm 1/16 印张 26.25 字数 624 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—3 000 册

定价:32.00 元



P r e f P a r c e e f a

前言

本书是与郑君里主编的教材《信号与系统》(第二版,上、下册)配套的学习辅导用书。本书内容与原教材相对应,每章内容包括知识要点、书后习题解答、同步训练题及同步训练题答案等四部分内容。

书中内容紧密结合教材,突出重点,详略得当。知识要点对基本概念及内容要点等作了系统归纳,旨在帮助读者掌握课程的重点和难点,提高课程学习水平。课后习题解答给出了详细的解题过程,使学生熟悉整个答题过程、解题思路及技巧。同步训练题根据教学需要,进一步加深学生对教学内容的理解和掌握,并合理地增加难度。

本书第1章至第2章由张秀艳编写,第3章至第6章由陈雪松编写,第7章至第12章由刘继承编写。

由于编者水平所限及时间仓促,书中不妥之处在所难免,望广大读者批评指正。

编 者

2005年5月

第1章 绪论	1
知识要点	1
1.1 信号的概念与分类	1
1.2 典型的连续时间信号	1
1.3 信号的运算	2
1.4 奇异信号	2
1.5 信号的分解	3
1.6 系统模型及其分类	3
1.7 线性时不变系统的基本特性	4
1.8 系统分析方法	4
书后习题解析	4
同步训练题	19
同步训练题答案	21
第2章 连续时间系统的时域分析	26
知识要点	26
2.1 系统的状态	26
2.2 系统的响应	26
2.3 卷积	27
2.4 算子	28
书后习题解析	28
同步训练题	53
同步训练题答案	56
第3章 傅里叶变换	60
知识要点	60
3.1 周期信号的傅里叶级数	60
3.2 傅里叶变换	61
3.3 抽样定理	63
书后习题解析	64
同步训练题	108

同步训练题答案	110
第4章 拉普拉斯变换、连续时间系统的 s 域分析	113
知识要点	113
4.1 拉普拉斯变换的定义、收敛域	113
4.2 拉氏变换的基本性质	114
4.3 拉普拉斯逆变换	115
4.4 系统函数(网络函数) $H(s)$	115
4.5 线性系统的稳定性	116
书后习题解析	117
同步训练题	157
同步训练题答案	158
第5章 傅里叶变换应用于通信系统——滤波、调制与抽样	161
知识要点	161
5.1 利用系统函数 $H(j\omega)$ 求响应	161
5.2 无失真传输条件	161
5.3 理想低通滤波器	161
5.4 物理可实现性	162
5.5 希尔伯特变换	162
5.6 调制与解调	162
5.7 理想带通滤波器	162
5.8 从抽样信号恢复连续时间信号	163
书后习题解析	163
同步训练题	178
同步训练题答案	181
第6章 信号的矢量空间分析	184
知识要点	184
6.1 信号的正交函数分解	184
6.2 沃尔什函数	185
6.3 相关	186

6.4 能量谱和功率谱	187
6.5 信号通过线性系统	187
6.6 匹配滤波器	187
6.7 码分多址通信	188
书后习题解析	188
同步训练题	204
同步训练题答案	205
第7章 离散时间系统的时域分析	207
知识要点	207
7.1 序列的概念、运算及数学模型	207
7.2 常系数线性差分方程的求解	208
7.3 离散时间系统的冲激响应与阶跃响应	208
7.4 卷积和分析	209
书后习题解析	210
同步训练题	227
同步训练题答案	229
第8章 z 变换、离散时间系统的 z 域分析	237
知识要点	237
8.1 z 变换	237
8.2 常用的逆 z 变换方法	238
8.3 z 变换与 s 变换的关系	239
8.4 差分方程的 z 变换求解及系统函数 $H(z)$	239
8.5 序列的傅里叶变换(DTFT)	240
书后习题解析	240
同步训练题	263
同步训练题答案	265
第9章 离散傅里叶变换以及其他离散正交变换	274
知识要点	274
9.1 离散性与周期性	274

9.2 傅里叶级数变换对	275
9.3 离散傅里叶变换(DFT)	275
9.4 DFT 性质	275
9.5 DFT 与 z 变换的关系	276
9.6 快速傅里叶变换(FFT)	277
9.7 一维沃尔什变换	277
9.8 离散余弦变换(DCT)	277
书后习题解析	278
同步训练题	295
同步训练题答案	297
第 10 章 模拟与数字滤波器	302
知识要点	302
10.1 网络分析与综合	302
10.2 模拟滤波器逼近	303
10.3 数字滤波器逼近	304
10.4 RC 有源滤波器	305
10.5 开关电容滤波器(SCF)	305
书后习题解析	305
同步训练题	328
同步训练题答案	331
第 11 章 反馈系统	338
知识要点	338
11.1 负反馈系统	338
11.2 根轨迹	339
11.3 奈奎斯特(Nyquist)稳定性判据	340
11.4 信号流图	340
书后习题解析	341
同步训练题	363
同步训练题答案	366

第 12 章 系统的状态变量分析	375
知识要点	375
12.1 状态方程的建立	375
12.2 状态方程的求解	375
12.3 状态矢量的线性变换	376
12.4 由状态方程判断系统的稳定性	376
12.5 系统的可控性与可观性	376
书后习题解析	377
同步训练题	397
同步训练题答案	400

第1章 绪论



1.1 信号的概念与分类

1.1.1 信号的概念

信号是消息的表现形式,消息则是信号的具体内容。

1.1.2 信号的分类

根据信号的不同函数关系和是否具有随机特性,对常用的信号可按下面四种方式分类:确定性信号与随机信号;周期信号与非周期信号;连续时间信号与离散时间信号;一维信号与多维信号。

1.2 典型的连续时间信号

典型的连续时间信号如表 1-1 所示。

表 1-1

典型信号	指数信号	正弦信号	复指数信号	抽样信号	钟形信号
表示式	$f(t) = Ke^{at}$	$f(t) = K\sin(\omega t + \theta)$	$f(t) = Ke^{at}$	$Sa(t) = \frac{\sin t}{t}$	$f(t) = Ee^{-(\frac{t}{\tau})^2}$

表中, $a \in R$; $s = \sigma + j\omega$; τ 是当 $f(t)$ 由最大值 E 下降为 $0.78E$ 时,所占据的



时间宽度。

1.3 信号的运算

在信号的传输与处理过程中,需要进行的信号运算如表 1-2 所示。

表 1-2

信号运算	移位	反褶	尺度变换	微分运算	相加	相乘
表示式	$f(t + t_0)$	$f(-t)$	$f(at)$	$\frac{d}{dt}f(t)$	$f(t) = f_1(t) + f_2(t)$	$f(t) = f_1(t) \cdot f_2(t)$

1.4 奇异信号

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

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

$t = 0$ 是 $u(t)$ 的跳变点。

3. 单位冲激信号 $\begin{cases} \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1 \\ \delta(t) = 0, & \text{当 } t \neq 0 \text{ 时} \end{cases}$

单位冲激信号的性质:

① $\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) f(t) dt = f(0), \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t - t_0) f(t) dt = f(t_0);$

② $\delta(t) = \delta(-t);$

③ $\int_{-\infty}^t \delta(\tau) d\tau = u(t);$

④ $f(t)\delta(t) = f(0)\delta(t), f(t)\delta(t - t_0) = f(t_0)\delta(t - t_0);$

⑤ $\delta(at) = \frac{1}{|a|}\delta(t)。$

4. 冲激偶信号 冲激函数的微分呈现 δ_1 正、负极性的一对冲激,称为冲激偶信号,以 $\delta'(t)$ 表示。

冲激偶信号的性质:

$$\textcircled{1} \int_{-\infty}^{\infty} \delta'(t) f(t) dt = -f'(0), \int_{-\infty}^{\infty} \delta'(t - t_0) f(t) dt = -f'(t_0);$$

$$\textcircled{2} \int_{-\infty}^{\infty} \delta'(t) dt = 0;$$

$$\textcircled{3} f(t) \delta'(t) = f(0) \delta'(t) - f'(0) \delta(t).$$

1.5 信号的分解

1. 直流分量与交流分量, $f(t) = f_D + f_A(t)$;

2. 偶分量与奇分量, $f(t) = f_e(t) + f_o(t)$;

3. 脉冲分量, 一个信号可近似分解为许多脉冲分量之和, 即 $f(t_0) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \delta(t - t_0) dt$;

4. 实部分量与虚部分量, $f(t) = f_r(t) + j f_i(t)$;

5. 正交函数分量, 若用正交函数集来表示一个信号, 则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。

1.6 系统模型及其分类

1.6.1 系统的概念

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。

1.6.2 模型的概念

模型是系统物理特性的数学抽象, 以数学表达式或具有理想特性的符号组成图形来表征系统特性。

1.6.3 系统的分类

根据其数学模型的差异划分, 可分为: 连续时间系统与离散时间系统; 即时系统与动态系统; 集总参数系统与分布参数系统; 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。

1.7 线性时不变系统的基本特性

线性时不变系统的基本特性为:叠加性与均匀性;时不变特性;微分特性;因果性。

1.8 系统分析方法

常用的系统分析方法为:输入-输出描述法;状态变量描述法。



1-1 分别判断图1-1所示各波形是连续时间信号还是离散时间信号,若是离散信号是否为数字信号?

解 (a) 连续时间信号(模拟信号);(b) 连续时间信号(量化信号);(c) 离散时间信号(数字信号);(d) 离散时间信号(抽样信号);(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) 连续时间信号;(2) 离散时间信号(抽样信号);(3) 离散时间信号(数字信号);(4) 离散时间信号(抽样信号);(5) 离散时间信号(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)。

解 (1) $\cos(10t)$ 的周期 $T_1 = \frac{2\pi}{10} = \frac{\pi}{5}$; $\cos(30t)$ 的周期 $T_2 = \frac{2\pi}{30} = \frac{\pi}{15}$ 。因为 T_1, T_2 的最小公倍数为 $\frac{\pi}{5}$, 所以此信号的周期 $T = \frac{\pi}{5}$ 。

(2) 根据欧拉公式 $e^{j\omega t} = \cos(\omega t) + j\sin(\omega t)$, 有 $e^{j10t} = \cos(10t) + j\sin(10t)$, 所以得此信号的周期 $T = \frac{2\pi}{10} = \frac{\pi}{5}$ 。

(3) 因为 $[5\sin(8t)]^2 = 25\sin^2(8t) = 25 \times \frac{1 - \cos(16t)}{2} = \frac{25}{2} - \frac{25}{2}\cos(16t)$, 所以此信号的周期为 $T = \frac{2\pi}{16} = \frac{\pi}{8}$ 。

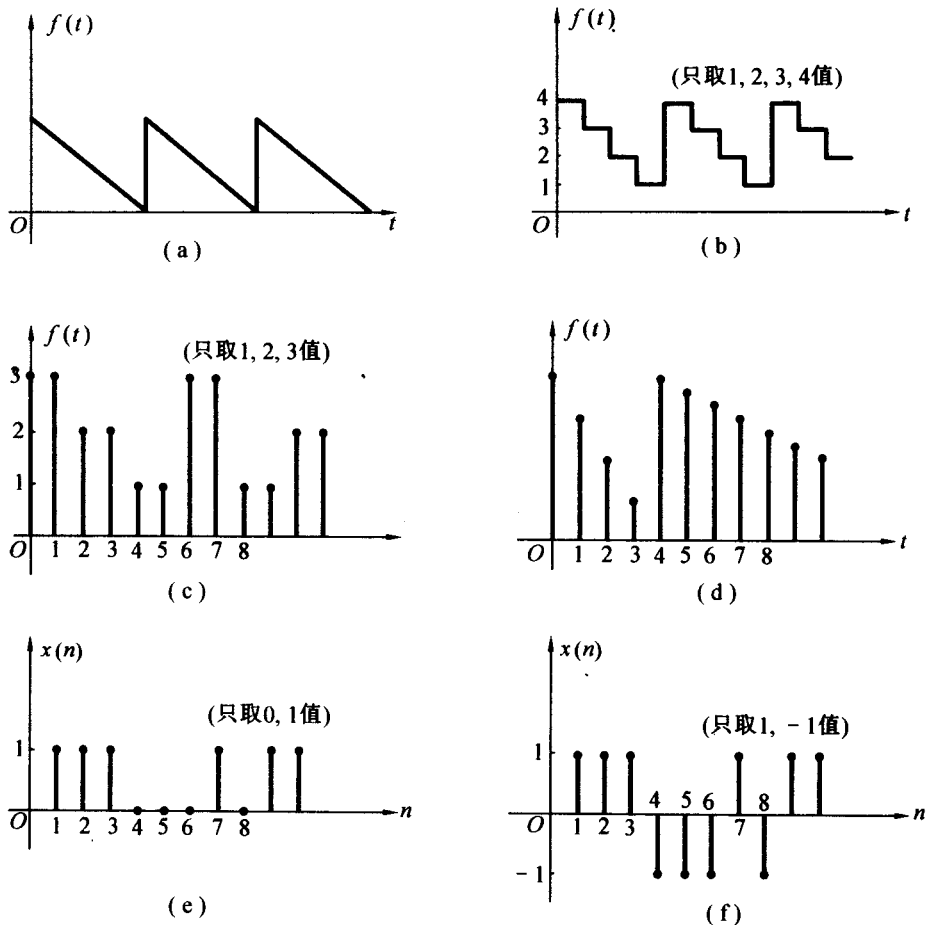


图 1-1

(4) $\sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n [u(t - nT) - u(t - nT - T)] = \begin{cases} 1, & 2nT \leq t < (2n+1)T \\ -1, & (2n+1)T \leq t < (2n+2)T \end{cases}$, 其中 $n \geq 0$, 所以信号的周期为 $2T$ 。

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。

解 按照 $\begin{cases} f(t) \rightarrow f(3t) \rightarrow f(-3t) \rightarrow f(-3t-2) \text{ 顺序} \\ f(t) \rightarrow f(-t) \rightarrow f(-3t) \rightarrow f(-3t-2) \text{ 顺序} \end{cases}$

用这两种不同于例 1-1 所示的运算顺序, 由 $f(t)$ 求得 $f(-3t-2)$ 的波形如图 1-2(a) 和

图 1-2(b) 所示。

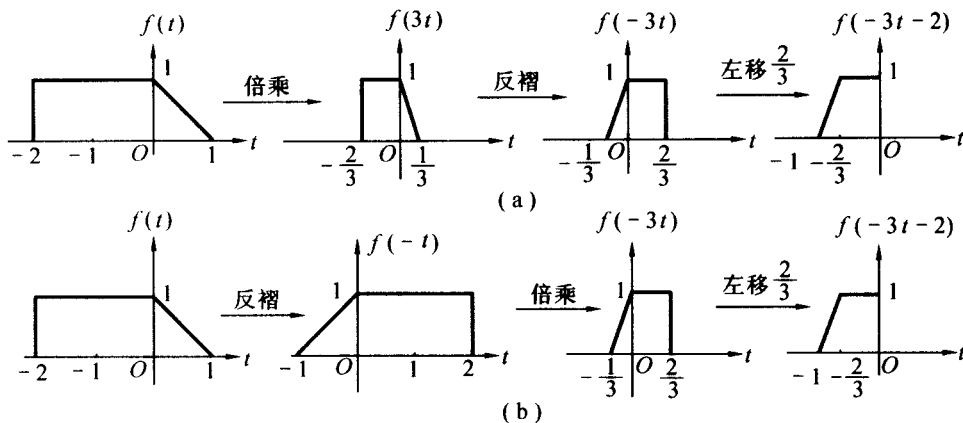


图 1-2

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 (1) 因为 $f(-at)$ 左移 t_0 , 得 $f[-a(t+t_0)] = f(-at-at_0) \neq f(-at+t_0)$, 所以不能采用这种运算。

(2) 因为 $f(at)$ 右移 t_0 , 得 $f[a(t-t_0)] = f(at-at_0) \neq f(-at+t_0)$, 所以不能采用这种运算。

(3) 因为 $f(at)$ 左移 $\frac{t_0}{a}$, 得 $f\left[a\left(t+\frac{t_0}{a}\right)\right] = f(at+t_0) \neq f(-at+t_0)$, 所以不能采用这种运算。

(4) 因为 $f(-at)$ 右移 $\frac{t_0}{a}$, 得 $f\left[-a\left(t-\frac{t_0}{a}\right)\right] = f(-at+t_0)$, 所以可以采用此种运算。

1-6 绘出下列各信号的波形:

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

解 (1) 令 $f(t) = \left[1 + \frac{1}{2}\sin(\Omega t)\right]\sin(8\Omega t)$, 其波形如图 1-3(a) 所示。

(2) 令 $f(t) = [1 + \sin(\Omega t)]\sin(8\Omega t)$, 其波形如图 1-3(b) 所示。

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) $[u(t) - u(t-T)]\sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right) = \begin{cases} \sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right), & 0 < t \leq T \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$

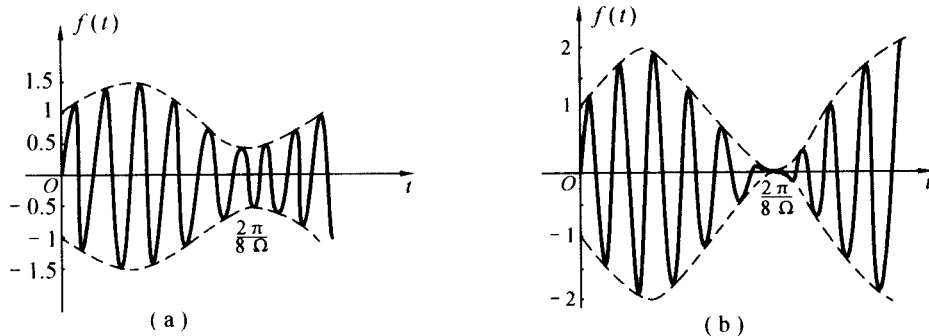


图 1-3

$\sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right)$ 的周期为 $\frac{2\pi}{\frac{4\pi}{T}} = \frac{T}{2}$, 波形如图 1-4(a) 所示, $f(t)$ 表示原信号。

$$(2)[u(t) - 2u(t - T) + u(t - 2T)]\sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right) = \begin{cases} \sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right), & 0 < t \leq T \\ -\sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right), & T < t \leq 2T \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

$\sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right)$ 的周期为 $\frac{2\pi}{\frac{4\pi}{T}} = \frac{T}{2}$, 波形如图 1-4(b) 所示, $f(t)$ 表示原信号。

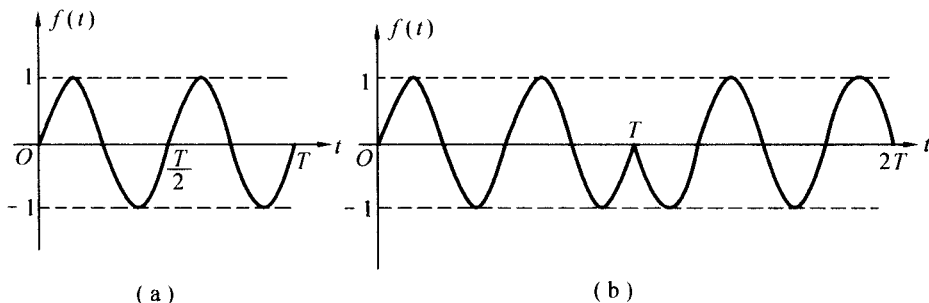


图 1-4

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

解 表达式(1-16)为 $f(t) = \begin{cases} e^{-at}, & 0 < t < t_0 \\ e^{-at} - e^{-a(t-t_0)}, & t_0 \leq t < \infty \end{cases}$, 用阶跃信号可表示为

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

表达式(1-17)为 $\int_{-\infty}^t f(\tau) d\tau = \begin{cases} \frac{1}{a}(1 - e^{-at}), & 0 < t < t_0 \\ \frac{1}{a}(1 - e^{-at}) - \frac{1}{a}[1 - e^{-a(t-t_0)}], & t_0 \leq t < \infty \end{cases}$

用阶跃信号可表示为

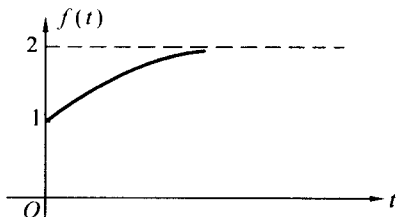
$$\int_{-\infty}^t f(\tau) d\tau = \frac{1}{a}(1 - e^{-at})[u(t) - u(t - t_0)] + \left\{ \frac{1}{a}(1 - e^{-at}) - \frac{1}{a}[1 - e^{-a(t-t_0)}] \right\} \cdot u(t - t_0) \\ = \frac{1}{a}(1 - e^{-at})u(t) - \frac{1}{a}[1 - e^{-a(t-t_0)}]u(t - t_0)$$

1-9 粗略绘出下列各函数式的波形图:

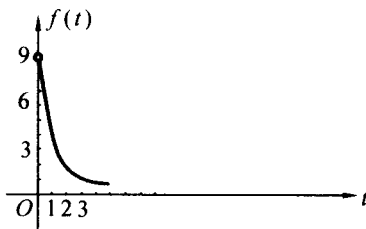
(1) $f(t) = (2 - e^{-t})u(t)$; (2) $f(t) = (3e^{-t} + 6e^{-2t})u(t)$;

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

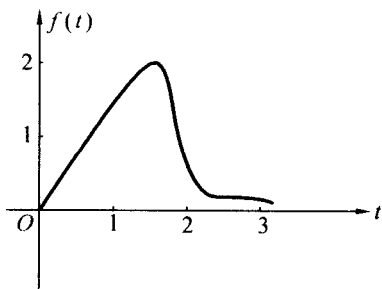
解 信号波形分别如图 1-5(a), 图 1-5(b), 图 1-5(c), 图 1-5(d) 所示。



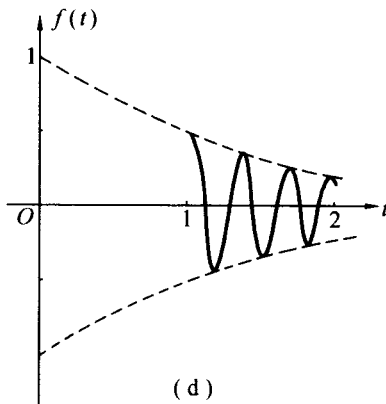
(a)



(b)



(c)



(d)

图 1-5