

目 录

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	1
1.4 奇异信号	2
1.5 信号的分解	2
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	3
1.8 系统分析方法	3
书后习题解析	3
同步训练题	16
同步训练题答案	17
第2章 连续时间系统的时域分析	21
知识要点	21
2.1 系统的状态	21
2.2 系统的响应	21
2.3 卷积	21
2.4 算子	23
书后习题解析	23
同步训练题	45
同步训练题答案	47
第3章 傅里叶变换	51
知识要点	51
3.1 周期信号的傅里叶级数	51
3.2 傅里叶变换	52
3.3 抽样定理	54
书后习题解析	54
同步训练题	89
同步训练题答案	91

第4章 拉普拉斯变换、连续时间系统的 s 域分析	93
知识要点	93
4.1 拉普拉斯变换的定义、收敛域	93
4.2 拉氏变换的基本性质	93
4.3 拉普拉斯逆变换	94
4.4 系统函数(网络函数) $H(s)$	95
4.5 线性系统的稳定性	96
书后习题解析	96
同步训练题	129
同步训练题答案	130
第5章 傅里叶变换应用于通信系统——滤波、调制与抽样	132
知识要点	132
5.1 利用系统函数 $H(j\omega)$ 求响应	132
5.2 无失真传输条件	132
5.3 理想低通滤波器	132
5.4 物理可实现性	132
5.5 希尔伯特变换	133
5.6 调制与解调	133
5.7 理想带通滤波器	133
5.8 从抽样信号恢复连续时间信号	133
书后习题解析	134
同步训练题	147
同步训练题答案	148
第6章 信号的矢量空间分析	151
知识要点	151
6.1 信号的正交函数分解	151
6.2 沃尔什函数	152
6.3 相关	153
6.4 能量谱和功率谱	154
6.5 信号通过线性系统	154
6.6 匹配滤波器	154
6.7 码分多址(CDMA)通信	154
书后习题解析	154
同步训练题	169
同步训练题答案	169

第7章 离散时间系统的时域分析	172
知识要点	172
7.1 序列的概念、运算及数学模型	172
7.2 常系数线性差分方程的求解	172
7.3 离散时间系统的冲激响应与阶跃响应	173
7.4 卷积和分析	174
书后习题解析	174
同步训练题	189
同步训练题答案	190
第8章 z 变换、离散时间系统的 z 域分析	196
知识要点	196
8.1 z 变换	196
8.2 常用的逆 z 变换方法	197
8.3 z 变换与 s 变换的关系	197
8.4 差分方程的 z 变换求解及系统函数 $H(z)$	198
8.5 序列的傅里叶变换(DTFT)	198
书后习题解析	199
同步训练题	218
同步训练题答案	219
第9章 离散傅里叶变换以及其他离散正交变换	225
知识要点	225
9.1 离散性与周期性	225
9.2 傅里叶级数变换对	225
9.3 离散傅里叶变换(DFT)	226
9.4 DFT 性质	226
9.5 DFT 与 z 变换的关系	227
9.6 快速傅里叶变换(FFT)	227
9.7 一维沃尔什变换	227
9.8 离散余弦变换(DCT)	228
书后习题解析	228
同步训练题	243
同步训练题答案	244
第10章 模拟与数字滤波器	249
知识要点	249
10.1 网络分析与综合	249

10.2	模拟滤波器逼近	249
10.3	数字滤波器逼近	251
10.4	RC 有源滤波器	251
10.5	开关电容滤波器(SCF)	252
	书后习题解析	252
	同步训练题	271
	同步训练题答案	273
第 11 章	反馈系统	279
	知识要点	279
11.1	负反馈系统	279
11.2	根轨迹	279
11.3	奈奎斯特(Nyquist)稳定性判据	280
11.4	信号流图	281
	书后习题解析	281
	同步训练题	300
	同步训练题答案	302
第 12 章	系统的状态变量分析	308
	知识要点	308
12.1	状态方程的建立	308
12.2	状态方程的求解	308
12.3	状态矢量的线性变换	309
12.4	由状态方程判断系统的稳定性	309
12.5	系统的可控性与可观性	309
	书后习题解析	310
	同步训练题	327
	同步训练题答案	329

第1章 绪论

知 识 要 点

1.1 信号的概念与分类

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。

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	$f(t) = Ke^{at}$	$f(t) = K\sin(\omega t + \theta)$	$f(t) = Ke^{j\omega t}$	$Sa(t) = \frac{\sin t}{t}$	$f(t) = Ee^{-(\frac{t}{\tau})^2}$

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

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

$t = 0$ 处是 $u(t)$ 的跳变点。

3. 单位冲激信号

$$\begin{cases} \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1 \\ \delta(t) = 0 \quad (t \neq 0) \end{cases}$$

单位冲激信号的性质:

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

$$\textcircled{2} \delta(t) = \delta(-t);$$

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

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

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

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。

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. 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。

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。

3. 系统的分类

根据其数学模型的差异划分, 系统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。

书后习题解析

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

(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。

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

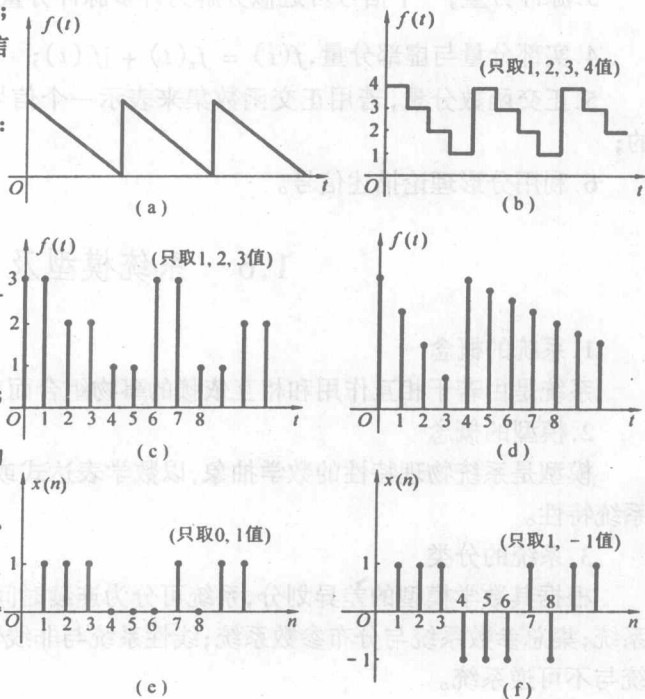


图 1-1

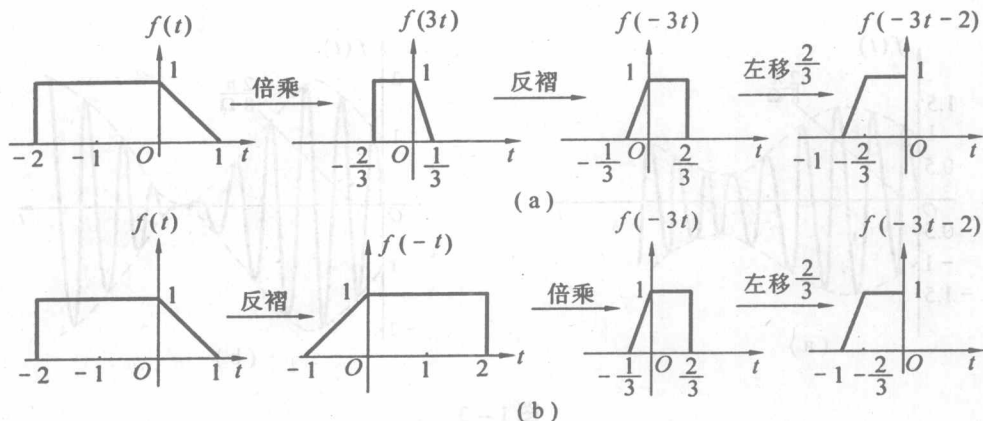


图 1-2

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:

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

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:

$$(1) [u(t) - u(t - T)] \sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right); (2) [u(t) - 2u(t - T) + u(t - 2T)] \sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right).$$

$$\text{解 (1)} \quad [u(t) - u(t - T)] \sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right) = \begin{cases} \sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right), & 0 < t \leq T \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

$\sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right)$ 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。

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

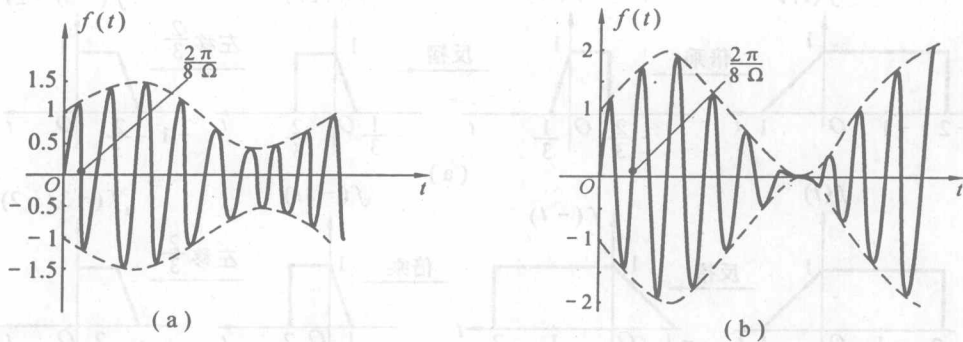


图 1-3

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

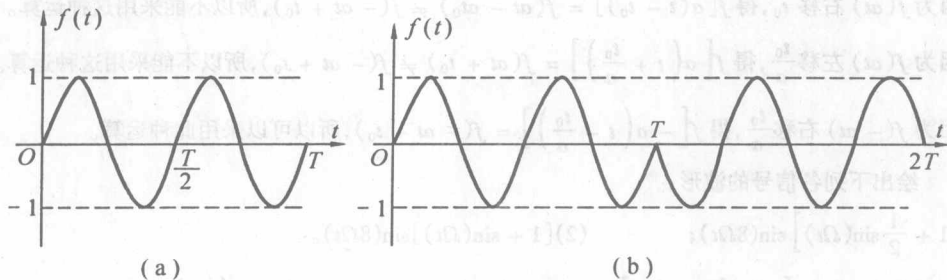


图 1-4

1-8 试将描述教材中图 1-15 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

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

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。

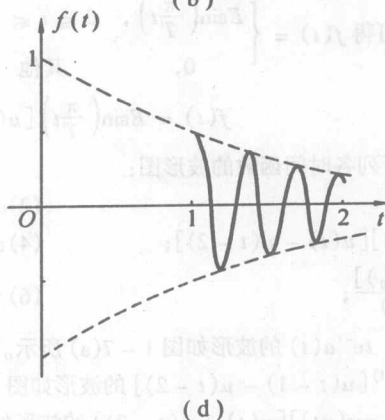
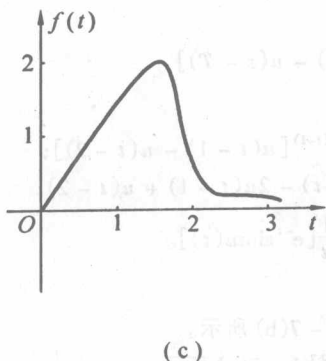
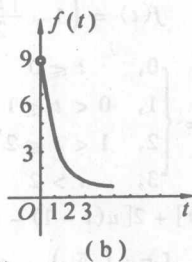
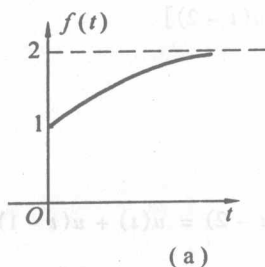


图 1-5

1-10 写出图 1-6(a), (b), (c) 所示各波形的函数式。

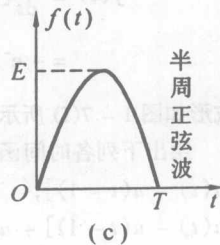
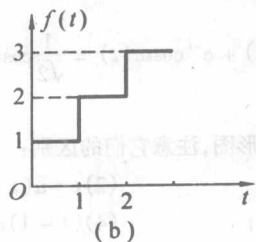
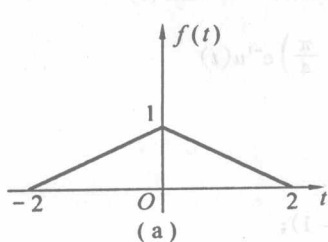


图 1-6

解 由图 1-6(a) 可得 $f(t) = \begin{cases} 1 + \frac{1}{2}t, & -2 \leq t \leq 0 \\ 1 - \frac{1}{2}t, & 0 < t \leq 2, \text{即} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$

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

由图 1-6(b) 可得 $f(t) = \begin{cases} 0, & t \leq 0 \\ 1, & 0 < t \leq 1 \\ 2, & 1 < t \leq 2 \\ 3, & t > 2 \end{cases}$, 即

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

由图 1-6(c) 可得 $f(t) = \begin{cases} E \sin\left(\frac{\pi}{T}t\right), & 0 \leq t \leq T, \text{即} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$

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

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) $\frac{\sin[a(t-t_0)]}{a(t-t_0)}$;

(6) $\frac{d}{dt}[e^{-t}\sin tu(t)]$ 。

解 (1) $f(t) = te^{-t}u(t)$ 的波形如图 1-7(a) 所示。

(2) $f(t) = e^{-(t-1)}[u(t-1) - u(t-2)]$ 的波形如图 1-7(b) 所示。

(3) $f(t) = [1 + \cos(\pi t)][u(t) - u(t-2)]$ 的波形如图 1-7(c) 所示。

(4) $f(t) = u(t) - 2u(t-1) + u(t-2)$ 的波形如图 1-7(d) 所示。

(5) $f(t) = \frac{\sin[a(t-t_0)]}{a(t-t_0)}$ 的波形如图 1-7(e) 所示, 信号关于 $t = t_0$ 偶对称。

(6) $f(t) = \frac{d}{dt}[e^{-t}\sin tu(t)] = -e^{-t}\sin tu(t) + e^{-t}\cos tu(t) + e^{-t}\sin t\delta(t)$

$$= -e^{-t}\sin tu(t) + e^{-t}\cos tu(t) = \frac{1}{\sqrt{2}}\cos\left(t + \frac{\pi}{4}\right)e^{-t}u(t)$$

该信号的波形如图 1-7(f) 所示。

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 (1) $f(t) = t[u(t) - u(t-1)]$ 的波形如图 1-8(a) 所示。

(2) $f(t) = t \cdot u(t-1)$ 的波形如图 1-8(b) 所示。

(3) $f(t) = t[u(t) - u(t-1)] + u(t-1)$ 的波形如图 1-8(c) 所示。

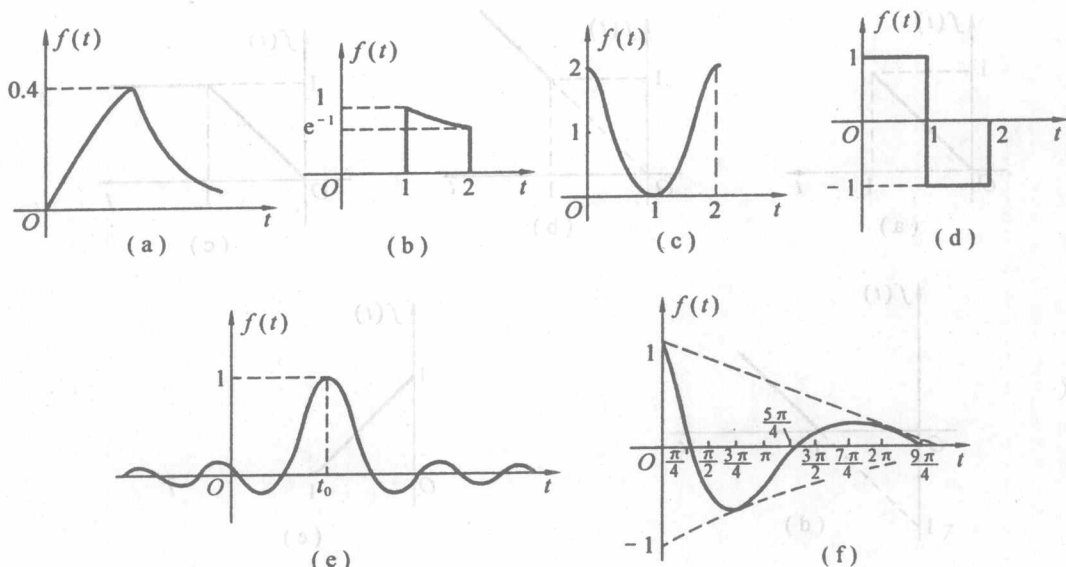


图 1-7

(4) $f(t) = (t-1)u(t-1)$ 的波形如图 1-8(d) 所示。

(5) $f(t) = -(t-1)[u(t) - u(t-1)]$ 的波形如图 1-8(e) 所示。

(6) $f(t) = t[u(t-2) - u(t-3)]$ 的波形如图 1-8(f) 所示。

(7) $f(t) = (t-2)[u(t-2) - u(t-3)]$ 的波形如图 1-8(g) 所示。

1-13 绘出下列各时间函数的波形图, 注意它们的区别:

(1) $f_1(t) = \sin(\omega t) \cdot u(t);$

(2) $f_2(t) = \sin[\omega(t-t_0)] \cdot u(t);$

(3) $f_3(t) = \sin(\omega t) \cdot u(t-t_0);$

(4) $f_4(t) = \sin[\omega(t-t_0)] \cdot u(t-t_0)。$

解 各时间函数的波形如图 1-9 所示。

1-14 应用冲激信号的抽样特性, 求下列表示式的函数值:

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

(2) $\int_{-\infty}^{\infty} f(t_0-t)\delta(t)dt;$

(3) $\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t-t_0)u\left(t-\frac{t_0}{2}\right)dt;$

(4) $\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t-t_0)u(t-2t_0)dt;$

(5) $\int_{-\infty}^{\infty} (e^{-t} + t)\delta(t+2)dt;$

(6) $\int_{-\infty}^{\infty} (t + \sin t)\delta\left(t - \frac{\pi}{6}\right)dt;$

(7) $\int_{-\infty}^{\infty} e^{-j\omega t}[\delta(t) - \delta(t-t_0)]dt。$

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

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

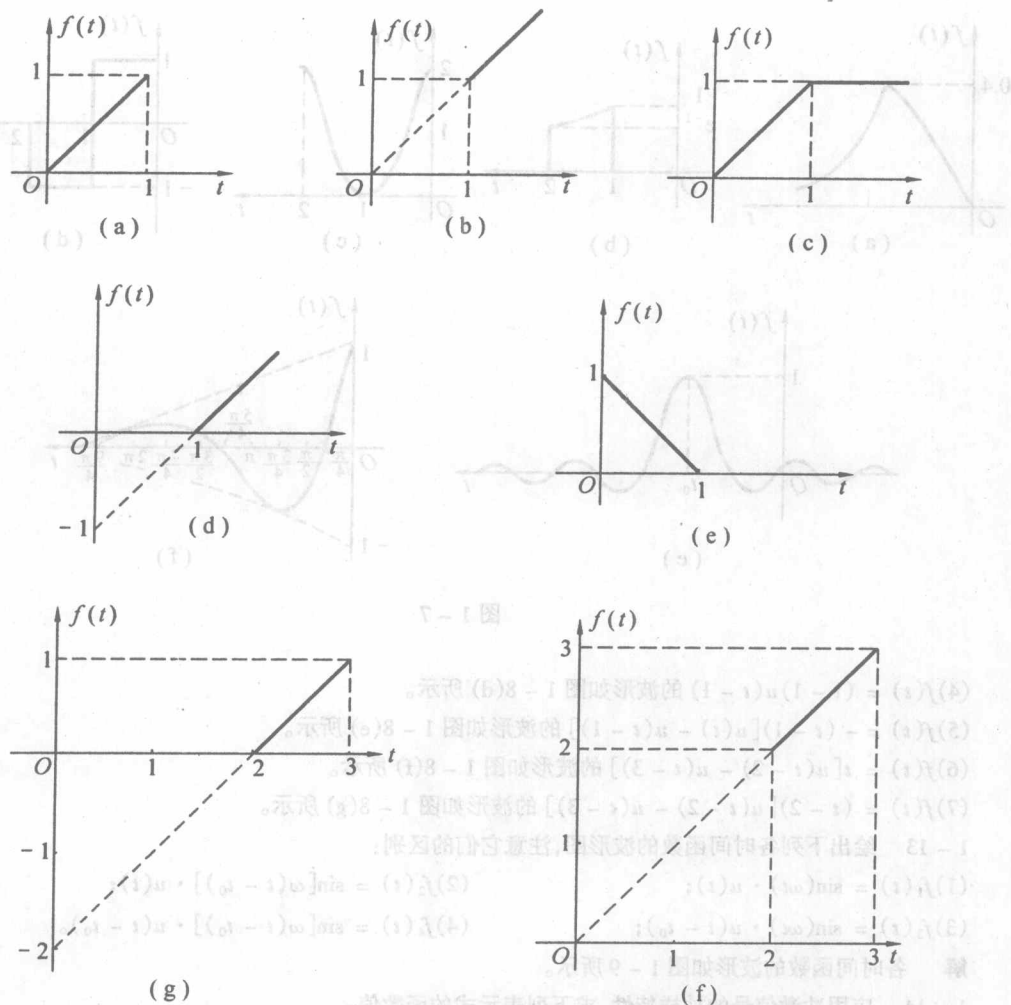


图 1-8

$$(3) \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t - t_0) u\left(t - \frac{t_0}{2}\right) dt = u\left(t_0 - \frac{t_0}{2}\right) = u\left(\frac{t_0}{2}\right) = 1;$$

$$(4) \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t - t_0) u(t - 2t_0) dt = 0;$$

$$(5) \int_{-\infty}^{\infty} (e^{-t} + t) \delta(t + 2) dt = e^2 - 2;$$

$$(6) \int_{-\infty}^{\infty} (t + \sin t) \delta\left(t - \frac{\pi}{6}\right) dt = \frac{\pi}{6} + \sin\left(\frac{\pi}{6}\right) = \frac{\pi}{6} + \frac{1}{2};$$

$$(7) \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j\omega t} [\delta(t) - \delta(t - t_0)] dt = 1 - e^{-j\omega t_0}.$$

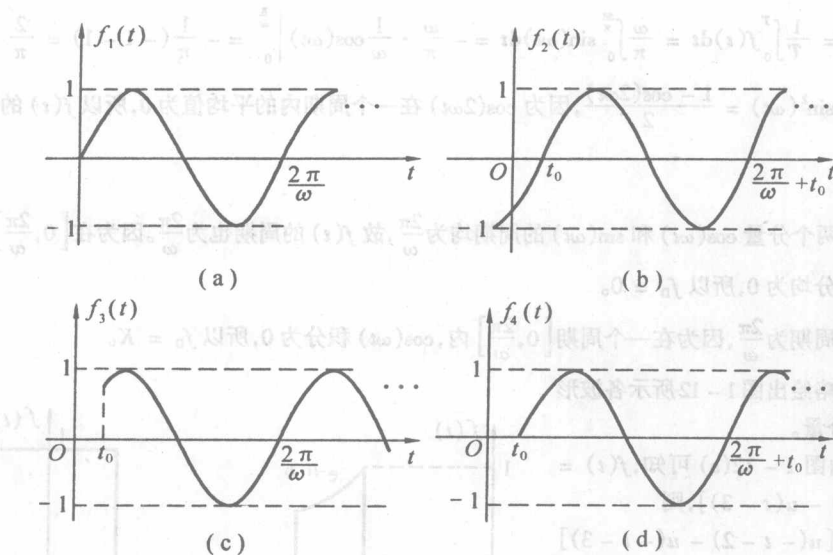


图 1-9

1-15 电容 C_1 与 C_2 串联, 以阶跃电压源 $v(t) = Eu(t)$ 串联接入, 试分别写出回路中的电流 $i(t)$, 每个电容两端电压 $v_{C1}, v_{C2}(t)$ 的表示式。

解 根据已知条件可画出如图 1-10 所示电路, 故有

$$i(t) = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \cdot \frac{dv(t)}{dt} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} E \delta(t)$$

所以, C_1 两端电压为
$$v_{C1}(t) = \frac{1}{C_1} \int_{-\infty}^t i(t) dt = \frac{C_2 E}{C_1 + C_2} u(t)$$

C_2 两端电压为
$$v_{C2}(t) = \frac{1}{C_2} \int_{-\infty}^t i(t) dt = \frac{C_1 E}{C_1 + C_2} u(t)$$

1-16 电感 L_1 和 L_2 并联, 以阶跃电流源 $i(t) = Iu(t)$ 并联接入, 试分别写出电感两端电压 $v(t)$, 每个电感支路电流 $i_{L1}(t), i_{L2}(t)$ 的表示式。

解 根据已知条件可画出如图 1-11 所示电路, 故有

$$v(t) = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2} \cdot \frac{di(t)}{dt} = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2} \cdot I \delta(t)$$

所以, L_1 支路电流为
$$i_{L1}(t) = \frac{1}{L_1} \int_{-\infty}^t v(t) dt = \frac{L_2 I}{L_1 + L_2} u(t)$$

L_2 支路电流为
$$i_{L2}(t) = \frac{1}{L_2} \int_{-\infty}^t v(t) dt = \frac{L_1 I}{L_1 + L_2} u(t)$$

1-17 分别指出下列各波形的直流分量等于多少?

(1) 全波整流 $f(t) = |\sin(\omega t)|$;

(2) $f(t) = \sin^2(\omega t)$;

(3) $f(t) = \cos(\omega t) + \sin(\omega t)$;

(4) 升余弦 $f(t) = K[1 + \cos(\omega t)]$ 。

解 (1) $\sin(\omega t)$ 的周期为 $\frac{2\pi}{\omega}$, 则 $|\sin(\omega t)|$ 的周期为 $\frac{\pi}{\omega}$, 因而

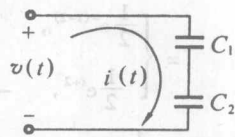


图 1-10

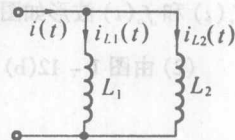


图 1-11

$$f_D = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt = \frac{\omega}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{\omega}} \sin(\omega t) dt = -\frac{\omega}{\pi} \cdot \frac{1}{\omega} \cos(\omega t) \Big|_0^{\frac{\pi}{\omega}} = -\frac{1}{\pi} (-1 - 1) = \frac{2}{\pi}$$

(2) $f(t) = \sin^2(\omega t) = \frac{1 - \cos(2\omega t)}{2}$, 因为 $\cos(2\omega t)$ 在一个周期内的平均值为 0, 所以 $f(t)$ 的直流分量 $f_D = \frac{1}{2}$ 。

(3) $f(t)$ 的两个分量 $\cos(\omega t)$ 和 $\sin(\omega t)$ 的周期均为 $\frac{2\pi}{\omega}$, 故 $f(t)$ 的周期也为 $\frac{2\pi}{\omega}$ 。因为在 $[0, \frac{2\pi}{\omega}]$ 内, $\cos(\omega t)$ 和 $\sin(\omega t)$ 的积分均为 0, 所以 $f_D = 0$ 。

(4) $f(t)$ 的周期为 $\frac{2\pi}{\omega}$, 因为在一个周期 $[0, \frac{2\pi}{\omega}]$ 内, $\cos(\omega t)$ 积分为 0, 所以 $f_D = K$ 。

1-18 粗略绘出图 1-12 所示各波形的偶分量和奇分量。

解 (1) 由图 1-12(a) 可知, $f(t) = e^{-(t-2)}[u(t-2) - u(t-3)]$, 则

$$f(-t) = e^{-(t+2)}[u(-t-2) - u(-t-3)]$$

$$f_e(t) = \frac{1}{2}[f(t) + f(-t)]$$

$$= \begin{cases} \frac{1}{2}e^{-(t-2)}, & 2 \leq t \leq 3 \\ \frac{1}{2}e^{-(t+2)}, & -3 \leq t \leq -2 \end{cases}$$

$$f_o(t) = \frac{1}{2}[f(t) - f(-t)]$$

$$= \begin{cases} \frac{1}{2}e^{-(t-2)}, & 2 \leq t \leq 3 \\ -\frac{1}{2}e^{-(t+2)}, & -3 \leq t \leq -2 \end{cases}$$

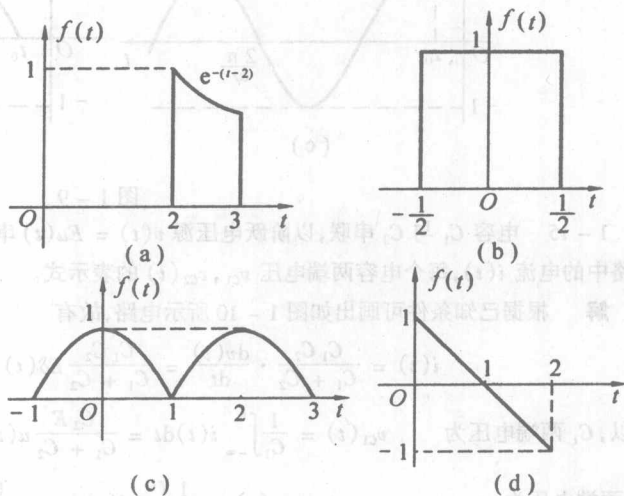


图 1-12

$f_e(t)$ 和 $f_o(t)$ 波形如图 1-13(a) 所示。

(2) 由图 1-12(b) 可知, $f(t) = u(t + \frac{1}{2}) - u(t - \frac{1}{2})$, 则 $f(-t) = f(t)$, 因此

$$f_e(t) = f(t), \quad f_o(t) = 0$$

$f_e(t)$ 的波形如图 1-13(b) 所示。

(3) $f(t)$ 的反褶 $f(-t)$ 及偶、奇分量 $f_e(t), f_o(t)$ 如图 1-13(c) 所示。

(4) $f(t)$ 的反褶 $f(-t)$ 及偶、奇分量 $f_e(t), f_o(t)$ 如图 1-13(d) 所示。

1-19 绘出下列系统的仿真框图:

(1) $\frac{d}{dt}r(t) + a_0 r(t) = b_0 e(t) = b_0 e(t) + b_1 \frac{d}{dt}e(t);$

(2) $\frac{d^2}{dt^2}r(t) + a_1 \frac{d}{dt}r(t) + a_0 r(t) = b_0 e(t) + b_1 \frac{d}{dt}e(t)。$

解 (1) 设 $\frac{d}{dt}\lambda(t) + a_0 \lambda(t) = e(t)$, 则将其改写为 $\frac{d}{dt}\lambda(t) = e(t) - a_0 \lambda(t)$, 依此画出如图 1-14(a) 所

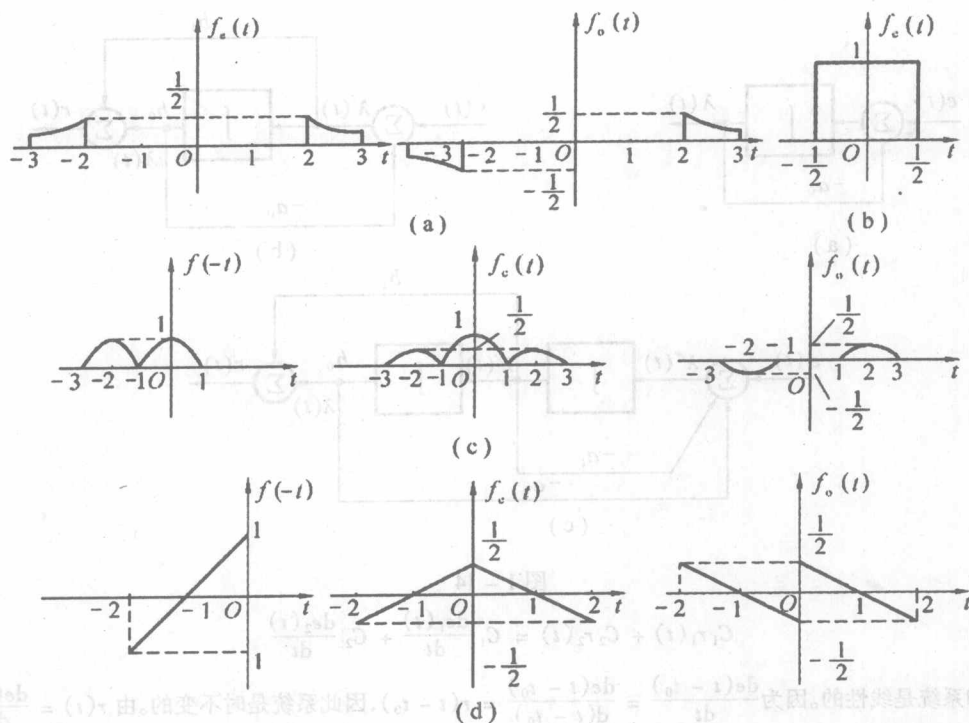


图 1-13

示的方框图,再将前式代入原式中,得

$$\begin{aligned} r'(t) + a_0 r(t) &= b_0 [\lambda'(t) + a_0 \lambda(t)] + b_1 [\lambda''(t) + a_0 \lambda'(t)] \\ &= [b_0 \lambda'(t) + b_1 \lambda''(t)] + a_0 [b_0 \lambda(t) + b_1 \lambda'(t)] \end{aligned}$$

于是有

$$r(t) = b_0 \lambda(t) + b_1 \lambda'(t)$$

将上式在图 1-14(a) 中实现,从而得到系统的方框图,如图 1-14(b) 所示。

(2) 方法同(1), 设 $\frac{d^2}{dt^2} \lambda(t) + a_1 \frac{d}{dt} \lambda(t) + a_0 \lambda(t) = e(t)$, 代入原式中得 $r(t) = b_0 \lambda(t) + b_1 \lambda'(t)$, 用方框图实现如图 1-14(c) 所示。

1-20 判断下列系统是否为线性的、时不变的、因果的?

(1) $r(t) = \frac{de(t)}{dt}$;

(2) $r(t) = e(t)u(t)$;

(3) $r(t) = \sin[e(t)]u(t)$;

(4) $r(t) = e(1-t)$;

(5) $r(t) = e(2t)$;

(6) $r(t) = e^2(t)$;

(7) $r(t) = \int_{-\infty}^t e(\tau) d\tau$;

(8) $r(t) = \int_{-\infty}^{5t} e(\tau) d\tau$ 。

解 (1) 令 $r_1(t) = \frac{de_1(t)}{dt}$, $r_2(t) = \frac{de_2(t)}{dt}$, 则有