XINHAOYUXITONGQUANCHENGXUEXIZHIDAOYUXITIJINGJIE

SIGNALS & SYSTEMS

# 信号与系统

## 全程学习指导与习题精解

（高教第三版）

合订本

主编 贾永兴 王勇 朱莹 王渊

重点难点归纳 典型例题分析

课后习题精解 权威全面全能

东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

# 信号与系统全程学习指导与习题精解

（高教第三版）
合订本

主　编　贾永兴　王　勇　朱　莹　王　渊



东南大学出版社
·南京·

**图书在版编目(CIP)数据**

信号与系统全程学习指导与习题精解/贾永兴等主编.—南京:东南大学出版社,2013.4

ISBN 978-7-5641-4177-6

Ⅰ.①信… Ⅱ.①贾… Ⅲ.①信号与系统—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(2013)第 073515 号

**信号与系统全程学习指导与习题精解(高教第三版·合订本)**

---

**主　　编** 贾永兴　王　勇　朱　莹　王　渊　　**责任编辑** 刘　坚　戴季东
**电　　话** (025)83793329/83362442(传真)　　**电子邮件** liu-jian@seu.edu.cn

---

**出版发行** 东南大学出版社　　**出 版 人** 江建中
**社　　址** 南京市四牌楼 2 号　　**邮　　编** 210096
**销售电话** (025)83793191/83792174/83792214/83794121/83794174/57711295(传真)
**网　　址** www.seupress.com　　**电子邮件** press@seupress.com

---

**经　　销** 全国各地新华书店　　**印　　刷** 南京新洲印刷有限公司
**开　　本** 718mm×1005mm　1/16　　**印　　张** 16.75　**字　　数** 460 千
**版　　次** 2013 年 4 月第 1 版第 1 次印刷
**书　　号** ISBN 978-7-5641-4177-6
**定　　价** 25.00 元

---

# 前　言

《信号与系统》课程是通信工程、信息工程、电子工程等电子信息类专业一门重要的专业基础课。通过本课程的学习，使学生掌握信号与系统理论的基本概念、基本理论、基本规律和基本方法，培养学生的科学方法和思维能力，提高学生分析问题和解决问题的能力、自学的能力、总结归纳能力，为今后从事信息化的工作奠定必要的理论和实践基础。

本书在内容组织上与郑君里老师编写的《信号与系统》(第三版)相配套，根据大多数院校的教学内容，给出了第一 ～ 第八章和第十二章的学习指导和习题精解。针对《信号与系统》所涉及的内容多、方法多、知识点多的现象，本书立足教材，对每章的重点和难点进行了归纳、提炼和概括，指导学生系统地将所学知识进行梳理，为理解和掌握信号与系统理论、方法打下坚实的基础。为解决学生在学习过程中将理论应用到实践中所遇到的困难，本书对《信号与系统》教材中的习题给出了详细的解答。针对每道习题，首先给出解题思路，理清概念，阐明逻辑推理，点明解题技巧，注重引导学生主动思考，培养学生科学的思维方法。然后给出完整步骤，附图齐全，使学生熟悉解题过程，培养细致规范的解题习惯。为了方便学生对每章节知识掌握情况进行自测，本书在每章最后增加了阶段测试题，并给出了解答。对相关专业的学生来说，本书是一本有益实用的自学参考资料。

参与本书编写工作的是解放军理工大学理学院的贾永兴、王勇、朱莹、王渊四位老师，其中贾永兴老师负责编写前三章，王勇老师负责编写第四章和第五章，王渊老师负责编写第六章和第七章，朱莹老师负责编写第八章和第十二章。

由于编者水平有限，书中不足与错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

**编　者**

# 目 录

## 第一章 绪 论



## 第二章 连续时间系统的时域分析



## 第三章 傅里叶变换



## 第四章 拉普拉斯变换、连续时间系统的 $s$ 域分析



## 第五章 傅里叶变换应用于通信系统——滤波、调制与抽样



## 第六章 信号的矢量空间分析

## 第七章　离散时间系统的时域分析



## 第八章　$z$ 变换、离散时间系统的 $z$ 域分析



## 第十二章　系统的状态变量分析



## 附录

# 第一章　绪　论

## 知识点归纳

### 一、信号及其分类

**1. 信号的定义**

信号是指带有时间信号(或其他自变量)而变换的物理量。

**2. 信号的常用描述方式**

表达式、波形图。

**3. 信号的分类**

信号可以从不同的角度进行分类:

(1) 确定性信号和随机信号

确定性信号:对自变量的每一个取值,信号都有确定的函数值。也称为规则信号。

随机信号:对指定的自变量值,信号取值不能确定,只知道取某个值的概率。

(2) 周期信号与非周期信号

周期信号:按一定时间间隔重复,且无始无终的信号。

其表达式可以写为:$f(t)=f(t\pm nT)$,其中 $n=0,1,2\cdots\cdots$,满足此关系式最小 $T$ 值称为信号的周期。

注意:如果若干周期信号的周期具有公倍数,则它们迭加后仍为周期信号,迭加信号的周期是所有周期的最小公倍数。

非周期信号:不满足以上关系式的信号。

(3) 连续时间信号与离散时间信号

连续时间信号:在所讨论的时间内,除有限个间断点外,都能给出确定函数值的信号。

离散时间信号:只在某些离散的时间点上有信号值,在其他时间上信号没定义。

(4) 一维信号和多维信号

一维信号:信号可表示为一个自变量的函数。

多维信号:信号需要用多个自变量来表示。

### 二、典型信号

**1. 指数信号**

定义:$f(t)=ke^{at}$,$a$ 为实数,$k$ 为常数。

**2. 正弦信号**

定义:$f(t)=k\sin(\omega t+\theta)$,其中 $k$ 为振幅,$\omega$ 为角频率,$\theta$ 为初相位。

**3. 复指数信号**

定义:$f(t)=ke^{st}$,其中 $s=\sigma\pm j\omega$,为复数。

**4. 抽样信号**

定义:$\mathrm{Sa}(t)=\dfrac{\sin t}{t}$

**5. 钟形信号**

定义:$f(t)=Ee^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)^2}$

## 三、信号的运算

**1. 信号的基本运算**

(1) 信号相加：$f(t)=f_1(t)+f_2(t)$

(2) 信号相乘：$f(t)=f_1(t)\times f_2(t)$

(3) 信号时移：$f(t+t_0)$为信号 $f(t)$的时移。

当 $t_0>0$ 时，$f(t+t_0)$为 $f(t)$左移；$t_0<0$ 时，$f(t+t_0)$为 $f(t)$右移。

(4) 信号反褶：$f(-t)$，其波形为 $f(t)$以 $t=0$ 为轴反褶过来。

(5) 信号尺度变换：$f(at)$，$(a>0)$。

$a>1$ 时，$f(at)$将 $f(t)$的波形压缩；$0<a<1$ 时，$f(at)$将 $f(t)$的波形扩展。

(6) 信号微分：$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}f(t)$，即 $f(t)$对 $t$ 取导数。

(7) 信号积分：$\int_{-\infty}^{t} f(\tau)\mathrm{d}\tau$，即 $f(t)$对 $t$ 取积分。

**2. 信号的复合运算**

在信号的运算过程中，经常存在对信号进行多种运算的结合。

① 时延、反褶和尺度变换的综合运用

已知 $f(t)$的波形，求 $f(at+b)$的波形，可能要将时延、反褶和尺度变换结合应用。

例如对于 $f(4-3t)$，因为 $4-3t=-3\left(t-\frac{4}{3}\right)$，可以按照如下次序分步进行：

$$f(t)\rightarrow f(-t)\rightarrow f(-3t)\rightarrow f\left[-3\left(t-\frac{4}{3}\right)\right]$$

即先做反褶得到 $f(-t)$，再尺度变换，对波形压缩为原来的$\frac{1}{3}$，得到 $f(-3t)$，最后对波形右移$\frac{4}{3}$，得到$f\left[-3\left(t-\frac{4}{3}\right)\right]$，即得到 $f(4-3t)$的波形。

运算次序可以调整，例如按照尺寸变换→反褶→时延的次序。注意所有的运算都是针对时间变量 $t$ 来进行的。

② 微分和积分运算的综合运用

对信号进行微分和积分运算时，要注意信号 $f(t)$ 微分再积分之后，不一定还是 $f(t)$，即$\int_{-\infty}^{t}\frac{\mathrm{d}f(\tau)}{\mathrm{d}\tau}\mathrm{d}\tau$ 不一定等于 $f(t)$。

## 四、奇异信号

**1. 单位斜变信号**

定义：$R(t)=\begin{cases}0 & t<0\\ t & t\geqslant 0\end{cases}$

**2. 单位阶跃信号**

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

注：在 $t=0$ 跳变点，函数值未定义。

阶跃信号一个重要的用处是描述其他信号的存在范围。例如单位斜变信号就可用阶跃信号表示为 $tu(t)$。

**3. 单位冲激信号**

(1) 定义

$$\begin{cases}\delta(t)=\begin{cases}\infty & t=0\\ 0 & t\neq 0\end{cases}\\ \int_{-\infty}^{\infty}\delta(t)\mathrm{d}t=1\end{cases}$$

(2) 性质

① 偶函数：$\delta(t)=\delta(-t)$

② 筛选性：$\delta(t-t_0)f(t)=f(t_0)\delta(t-t_0)$

筛选特性是冲激函数的一个重要特性，在后面的学习中用到。

③ 尺度变换：$\delta(at)=\frac{1}{|a|}\delta(t)$

④ 与单位阶跃函数的关系：

$$\frac{\mathrm{d}u(t)}{\mathrm{d}t}=\delta(t),\ \int_{-\infty}^{t}\delta(t)\mathrm{d}t=u(t)$$

**4. 冲激偶信号**

定义：$\frac{\mathrm{d}\delta(t)}{\mathrm{d}t}$

## 五、信号的分解

**1. 直流分量和交流分量的叠加**

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

直流分量 $f_{\mathrm{D}}(t)$即信号的平均值，从原信号中去掉直流分量即为交流分量 $f_{\mathrm{A}}(t)$。

**2. 偶分量和奇分量的叠加**

$$f(t)=f_{\mathrm{e}}(t)+f_{\mathrm{o}}(t)$$

其中$f_{\mathrm{e}}(t)=\frac{1}{2}[f(t)+f(-t)]=f_{\mathrm{e}}(-t)$，称为偶分量

$f_{\mathrm{o}}(t)=\frac{1}{2}[f(t)-f(-t)]=-f_{\mathrm{o}}(t)$，称为奇分量

**3. 脉冲分量的叠加**

(1) 冲激信号叠加

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

即将信号分解为无穷多个不同时刻、不同强度的冲激信号的叠加。

(2) 阶跃信号的叠加

$$f(t)=f(0)u(t)+\int_{0}^{\infty}\frac{\mathrm{d}f(t_1)}{\mathrm{d}t_1}u(t-t_1)\mathrm{d}t_1$$

即将有始信号分解为无穷多个不同时刻、不同幅度的阶跃信号的叠加。

**4. 实分量和虚分量**

$f(t)=f_{\mathrm{r}}(t)+\mathrm{j}f_{\mathrm{i}}(t)$，其中 $f_{\mathrm{r}}(t)$为信号 $f(t)$的实部，$f_{\mathrm{i}}(t)$为信号 $f(t)$的虚部。

## 六、系统的模型和分类、特性

**1. 系统的模型**

(1) 建立系统模型的方法：输入-输出描述法和状态变量描述法。

(2) 系统模型的表示：数学表达式和方框图。

**2. 系统的分类**

(1) 连续时间系统和离散时间系统

连续时间系统：激励和响应均为连续时间信号的系统。

离散时间系统：激励和响应均为离散时间信号的系统。

(2) 即时系统和动态系统

即时系统：系统在任意时刻的响应仅取决于该时刻的激励。

动态系统：系统在任意时刻的响应不仅与该时刻的激励有关，还与该时刻以前的激励有关。

(3) 线性系统与非线性系统

线性系统：具有线性特性的系统。

非线性系统：不具有线性特性的系统。

(4) 时变系统与时不变系统

时不变系统：系统参数不随时间变化的系统。

时变系统：系统参数随时间变化的系统。

(5) 因果系统与非因果系统

因果系统:任意时刻系统的响应仅与该时刻以及该时刻以前的激励有关,而与该时刻以后的激励无关。

非因果系统:响应出现在激励之前;或相应的出现是"无起因的"!

(6) 可逆系统与不可逆系统

可逆系统:系统在不同的激励作用下产生不同的响应。

不可逆系统:系统在不同的激励作用下产生了相同的响应。

**3. 线性时不变系统的特性**

(1) 线性

线性系统是同时具有叠加性和均匀性的系统。

(2) 时不变特性

若 $e(t)\rightarrow r(t)$,则 $e(t-t_0)\rightarrow r(t-t_0)$

即在相同初始状态下,系统的响应与激励加入的时刻无关!

(3) 微积分特性

若 $e(t)\rightarrow r(t)$,则$\dfrac{\mathrm{d}e(t)}{\mathrm{d}t}\rightarrow\dfrac{\mathrm{d}r(t)}{\mathrm{d}t}$,$\int_0^t e(\tau)\mathrm{d}\tau\rightarrow\int_0^t r(\tau)\mathrm{d}\tau$

**4. 线性时不变系统的判断**

线性和时不变特性的判断,关键是清楚什么是激励,什么是响应,系统的作用是什么。

(1) 线性的判断

例如,系统为 $r(t)=e(t)\cos t$,判断是否为线性系统。

从系统表达式中可以看出,$e(t)$为激励,$r(t)$为响应,系统的作用是对激励乘以 $\cos t$。

设 $e_1(t)\rightarrow r_1(t)=e_1(t)\cos t$,$e_2(t)\rightarrow r_2(t)=e_2(t)\cos t$

$e_1(t)+e_2(t)\rightarrow r(t)=[e_1(t)+e_2(t)]\cos t=r_1(t)+r_2(r)$,满足叠加性

$ke_1(t)\rightarrow r(t)=ke(t)\cos t=kr_1(t)$,满足均匀性

所以该系统为线性系统。

(2) 时不变的判断

例如,系统为 $r(t)=te(t)$,判断是否为时不变。

从系统表示式中可以看出系统的作用是对激励乘以 $t$。

$e(t-t_0)\rightarrow r(t)=te(t-t_0)\neq r(t-t_0)=te(t-t_0)$,所以该系统为时变系统。

## 习题解答

**【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?

**【解题思路】** 连续时间信号和离散时间信号的判断,主要通过自变量时间的定义域来分析,而数字信号是一种特殊的离散时间信号,从幅度定义域来判断。

**【解】**

(a) 连续时间信号

(b) 连续时间信号

(c) 离散时间信号、数字信号

(d) 离散时间信号

(e) 离散时间信号、数字信号

(f) 离散时间信号、数字信号

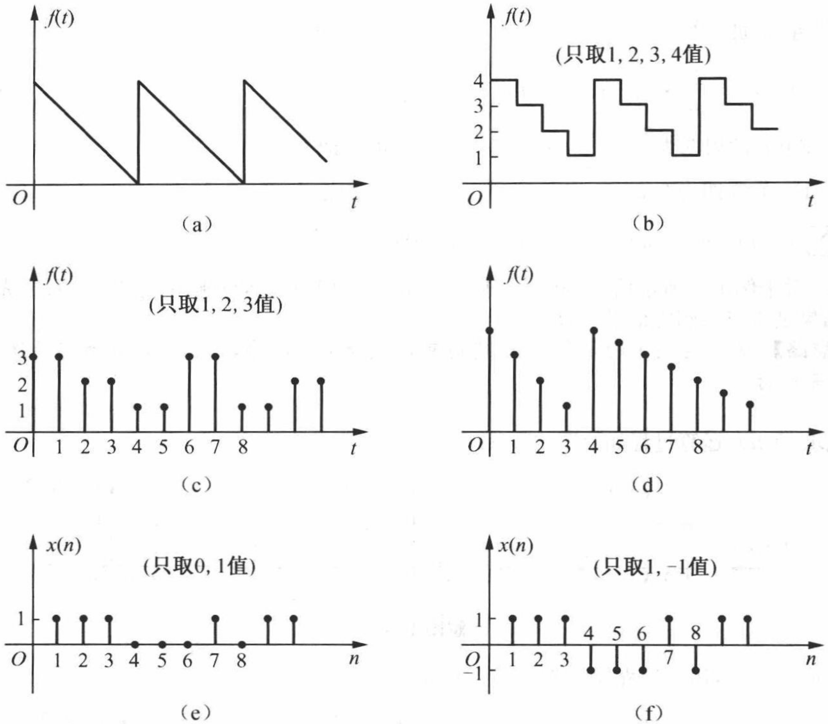
**【1-2】** 分别判断下列各函数式属于何种信号。(重复习题 1-1 所问。)

(1) $\mathrm{e}^{-at}\sin(\omega t)$　　(2) $\mathrm{e}^{-nT}$

(3) $\cos(n\pi)$　　(4) $\sin(n\omega_0)$($\omega_0$ 为任意值)

(5) $\left(\dfrac{1}{2}\right)^n$

以上各式中 $n$ 为正整数。




题图 1-1

【解题思路】 从概念出发,思路同题 1-1。

【解】

(1) 连续时间信号

(2) 离散时间信号

(3) 离散时间信号、数字信号

(4) 离散时间信号

(5) 离散时间信号

【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) $\sum\limits_{n=0}^{\infty}(-1)^n[u(t-nT)-u(t-nT-T)]$($n$ 为正整数)

【解题思路】 两个周期信号的周期如存在最小公倍数,叠加之后信号的周期为所有周期的最小公倍数。

【解】

(1) $\cos(10t)$的周期 $T_1=\frac{2\pi}{10}=\frac{\pi}{5}$

$\cos(30t)$的周期 $T_2=\frac{2\pi}{30}=\frac{\pi}{15}$

$\cos(10t)-\cos(30t)$的周期为 $T_1$ 和 $T_2$ 的最小公倍数,所以为$\frac{\pi}{5}$。

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

$\cos(10t)$和 $\sin(10t)$的周期均为$\frac{2\pi}{10}=\frac{\pi}{5}$

所以 $e^{j10t}$ 的周期为$\frac{\pi}{5}$

(3) $[5\sin(8t)]^2=\frac{25}{2}\cdot[1-\cos(16t)]$

因为 $\cos(16t)$的周期为$\frac{2\pi}{16}=\frac{\pi}{8}$，所以$[5\sin(8t)]^2$ 的周期为$\frac{\pi}{8}$

(4) $(-1)^n$ 的周期为 2，$u(t-nT)-u(t-nT-T)$的周期为 $T$

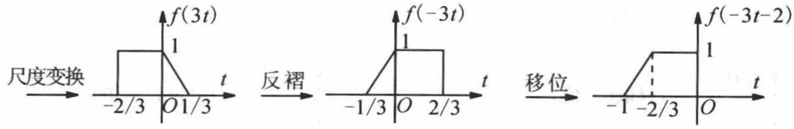
所以 $\sum\limits_{n=0}^{\infty}(-1)^n[u(1-nT)-u(t-nT-T)]$周期为 $2T$。

**【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。

**【解题思路】** 对信号波形的复合运算，有时可以交换运算次序，但是要注意所有的运算都是针对时间变量 $t$ 来进行。

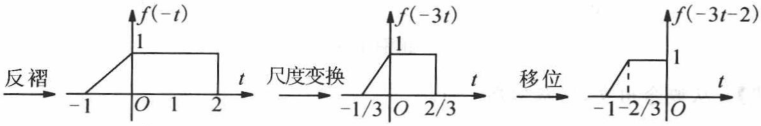
**【解】**

(1) 先求 $f(3t)$，运算过程如解图 1-4(1)所示。




**解图 1-4(1)**

(2) 先求 $f(-t)$，运算过程如解图 1-4(2)所示。




**解图 1-4(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$\frac{t_0}{a}$

**【解题思路】** 对信号波形的复合运算，交换运算次序时要注意所有的运算都是针对时间变量 $t$ 来进行，尤其尺度变换后的移位。

**【解】**

(1) $f(-at)$左移 $t_0$ 的运算结果表达式为 $f[-a(t+t_0)]=f(-at-at_0)$

(2) $f(at)$右移 $t_0$ 的运算结果表达式为 $f[a(t-t_0)]=f(at-at_0)$

(3) $f(-at)$左移$\frac{t_0}{a}$的运算结果表达式为 $f[-a(t+\frac{t_0}{a})]=f(-at-t_0)$

(4) $f(-at)$右移$\frac{t_0}{a}$的运算结果表达式为 $f\left[-a\left(t-\frac{t_0}{a}\right)\right]=f(-at+t_0)=f(t_0-at)$

所以正确答案是(4)

**【1-6】** 绘出下列各信号的波形。

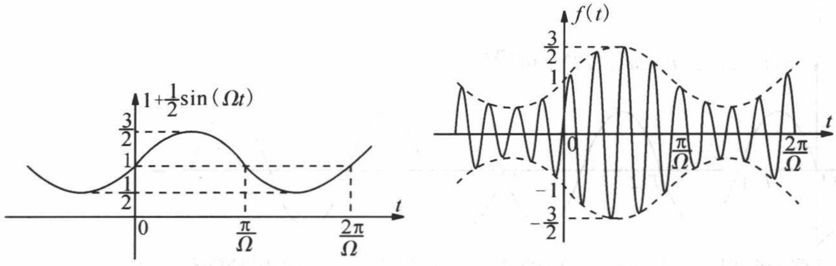
(1) $\left[1+\frac{1}{2}\sin(\Omega t)\right]\sin(8\Omega t)$

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

**【解题思路】** 波形相加和相乘是同一时刻信号幅值的相加和相乘。当一个低频信号和高频信号相乘时,运算结果通常是以低频信号为幅度包络的高频信号。

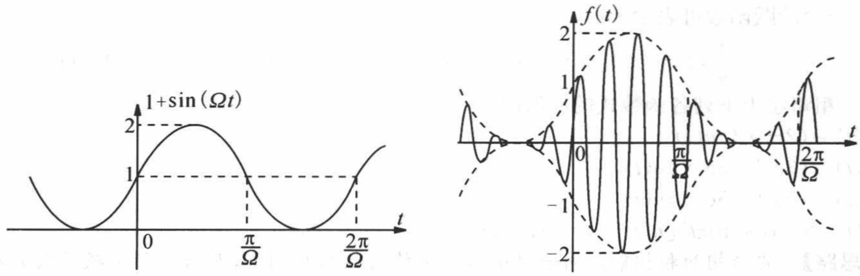
**【解】**

(1) $\left[1+\frac{1}{2}\sin(\Omega t)\right]$和 $f(t)$的波形如解图 1-6(1)所示。




**解图 1-6(1)**

(2) $[1+\sin(\Omega t)]$和 $f(t)$的波形如解图 1-6(2)所示。




**解图 1-6(2)**

**【1-7】** 绘出下列各信号的波形。

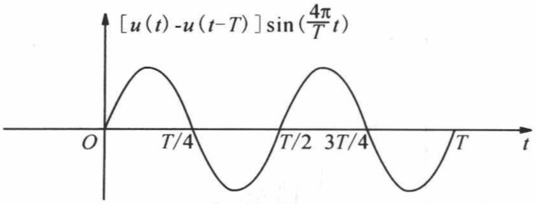
(1) $[u(t)-u(t-T)]\sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right)$

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

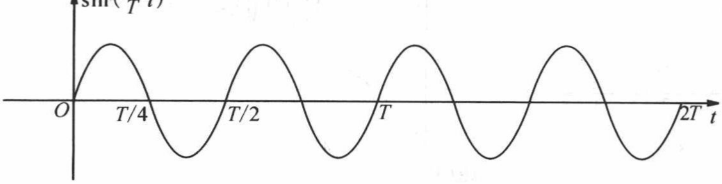
**【解题思路】** 信号与阶跃函数的相乘通常可以方便地用于表示信号的存在区间。

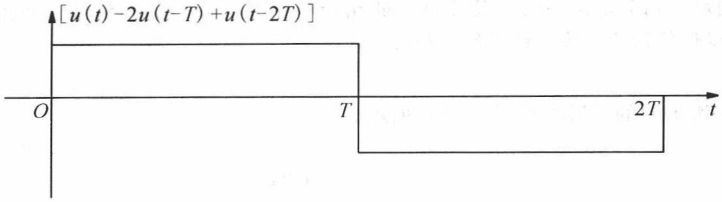
**【解】**

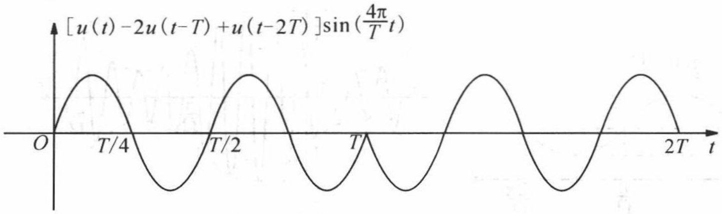
(1)




(2)






**【1-8】** 试将描述图 1-15 所示波形的式(1-16)和式(1-17)改用阶跃信号表示。

**【解题思路】** 阶跃函数通常用于表示信号的存在区间，可以简化分段函数的描述。

**【解】** 式(1-16)用阶跃函数可表示为：

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

式(1-17)用阶跃函数可表示为：

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

**【1-9】** 粗略绘出下列各函数式的波形图。

(1) $f(t)=(2-\mathrm{e}^{-t})u(t)$

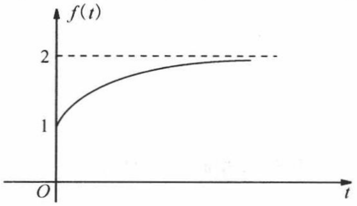
(2) $f(t)=(3\mathrm{e}^{-t}+6\mathrm{e}^{-2t})u(t)$

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

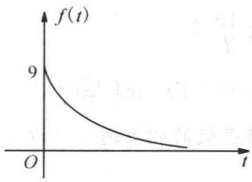
(4) $f(t)=\mathrm{e}^{-t}\cos(10\pi t)[u(t-1)-u(t-2)]$

**【解题思路】** 波形相加和相乘是同一时刻信号幅值的相加和相乘，而信号与阶跃函数的相乘通常可以方便地用于表示信号的存在区间。

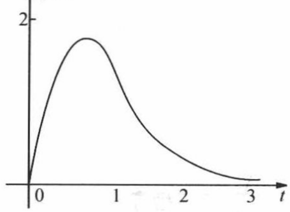
**【解】** $f(t)$的波形如解图 1-9(1)～(4)所示。



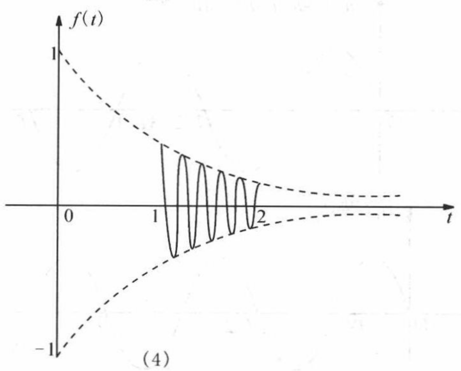

(1)




(2)



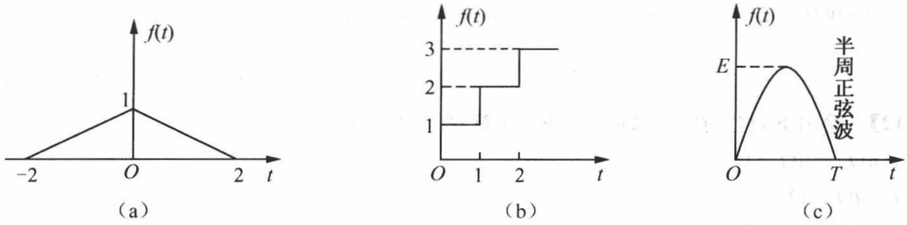

(3)




(4)

**解图 1-9**

**【1-10】** 写出题图 1-10(a)、(b)、(c)所示各波形的函数式。




**题图 1-10**

**【解题思路】** 根据波形写表达式，要将波形各段的数学表达式和存在范围相结合来描述。

**【解】**

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

(b) $f(t)=u(t)+u(t-1)+u(t-2)$

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

**【1-11】** 绘出下列各时间函数的波形图。

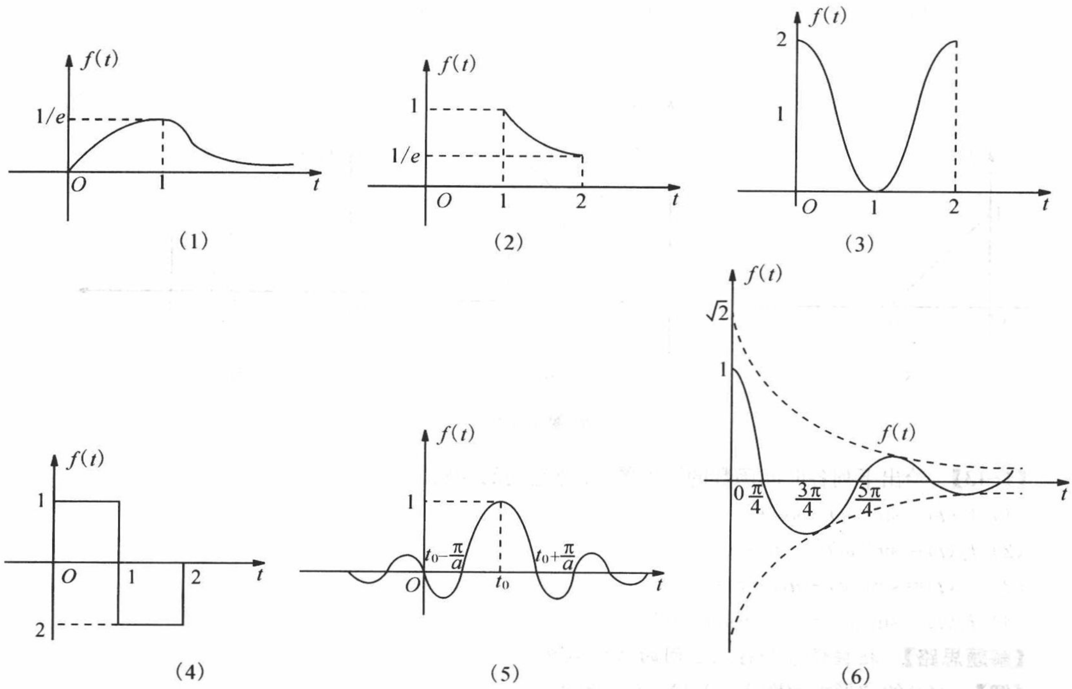
(1) $te^{-t}u(t)$　　(2) $e^{-(t-1)}[u(t-1)-u(t-2)]$

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

**【解题思路】** 根据数学表达式画波形，要将波形和存在范围相结合，同时要注意常用信号的移位、求异等运算，可简化表达式再画波形。

**【解】** $f(t)$的波形如解图 1-11(1)～(6)所示。



**解图 1-11**

其中(6) 可先将表达式简化，再画波形，即

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}[\mathrm{e}^{-t}(\sin t)u(t)]=-\mathrm{e}^{-t}(\sin t)u(t)+\mathrm{e}^{-t}\cos t u(t)+\mathrm{e}^{-t}(\sin t)\delta(t)$$

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

**【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) $(t-1)u(t-1)$

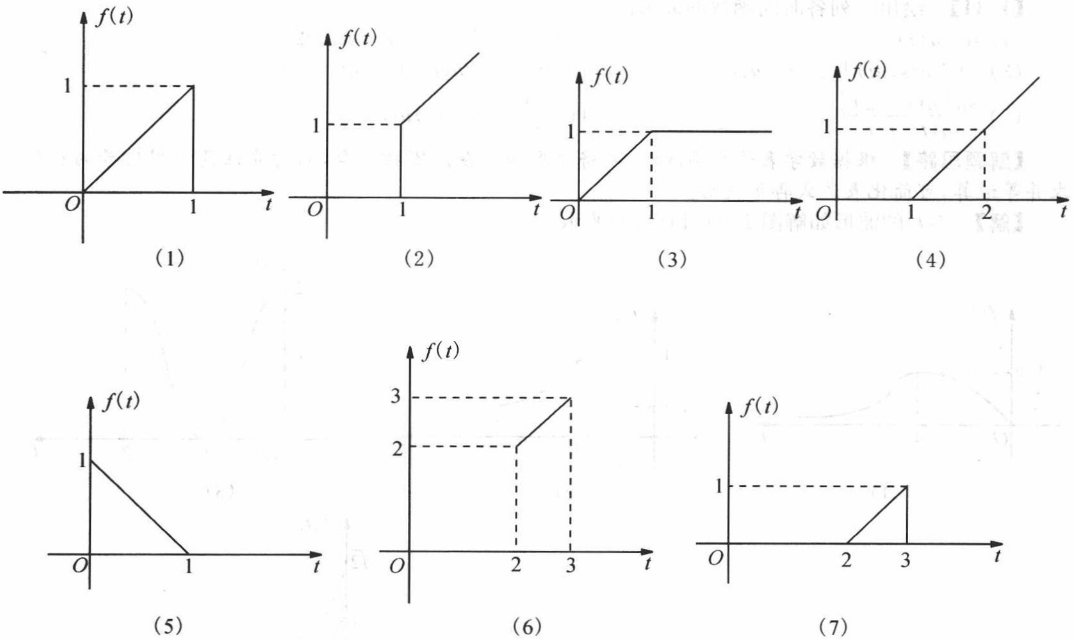
(5) $-(t-1)[u(t)-u(t-1)]$

(6) $t[u(t-2)-u(t-3)]$

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

**【解题思路】** 把握阶跃函数表示信号的存在区间，以及信号的移位运算。

**【解】** $f(t)$的波形如解图 1-12(1)～(7)所示。



解图 1-12

**【1-13】** 绘出下列各时间函数的波形图，注意它们的区别。

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

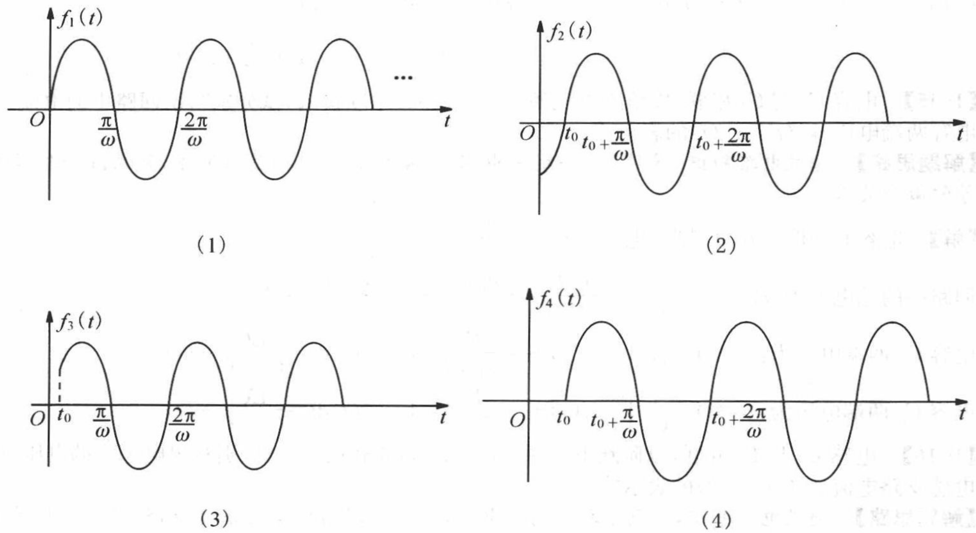
(2) $f_2(t)=\sin[\omega(t-t_0)]\cdot u(t)$

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

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

**【解题思路】** 把握信号和存在区间的移位运算。

**【解】** $f(t)$的波形如解图 1-13(1)～(4)所示。




**解图 1-13**

**【1-14】** 应用冲激信号的抽样特性，求下列表示式的函数值。

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

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

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

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

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

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

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

**【解题思路】** 从单位冲激信号的筛选（抽样）特性着手，利用

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

**【解】**

(1) $\int_{-\infty}^{\infty} f(t-t_0)\delta(t)\mathrm{d}t=\int_{-\infty}^{\infty} f(0-t_0)\delta(t)\mathrm{d}t=f(-t_0)\int_{-\infty}^{\infty}\delta(t)\mathrm{d}t=f(-t_0)$

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

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

(4) $\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t-t_0)u(t-2t_0)\mathrm{d}t=\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t-t_0)u(t_0-2t_0)\mathrm{d}t=u(-t_0)\int_{-\infty}^{\infty}\delta(t-t_0)\mathrm{d}t=u(-t_0)$

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

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

$=\frac{\pi}{6}+\frac{1}{2}$