

● 高校经典教材配套辅导系列

信号与系统 (下册)

习题精解

主 编 李玲远 陆三兰

涵盖课程重点

精炼方法技巧

精解课后习题



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)



策 划：程道华
责任编辑：杨 帆
封面设计：众 邦

● 高校经典教材配套辅导系列

数学分析（上册）习题精解

数学分析（下册）习题精解

高等代数习题精解

电子技术基础（数字部分）习题精解

电子技术基础（模拟部分）习题精解

信号与系统（上册）习题精解

信号与系统（下册）习题精解

电路习题精解

物理化学习题精解

有机化学习题精解

无机化学习题精解

ISBN 7-81057-974-6



9 787810 579742 >

ISBN 7-81057-974-6/TN·358

套价：40.00元（上、下册）

高校经典教材配套辅导系列

信号与系统习题精解 (下册)

主编 李玲远 陆三兰

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统习题精解(下册)/李玲远,陆三兰主编.
—成都:西南交通大学出版社,2004.11

ISBN 7-81057-974-6

I. 信… II. ①李… ②陆… III. 信号系统—高等
学校—解题 IV. TN911.6-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 092825 号

《信号与系统习题精解》
(下册)

李玲远 陆三兰 主编

*

责任编辑 杨 帆

封面设计 众 邦

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码:610031 发行部电话:028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbsxx@swjtu.edu.cn

华中师范大学印刷厂印刷

*

开本:787mm×960mm 1/16 总印张:31.25

总字数:564 千字 印数:1—6 400 册

2004 年 11 月第 1 版 2004 年 11 月第 1 次印刷

ISBN7-81057-974-6/TN·358

· 套价(上下):40.00 元

版权所有,盗版必究,举报电话:(028)87600562

前 言

信号与系统是电子、通信类专业的一门重要的基础课程，主要研究确定性信号与线性时不变系统分析的基础理论、基本概念和基本分析方法。

信号与系统是一门理论性和系统性很强的课程，它的内容涉及数学知识较多，并有广泛的实际工程应用背景。学习这门课程应注重数学和物理概念的结合，注重学和练相结合，从而掌握该门课程的分析方法。本书正是为了帮助大学本科学习信号与系统和准备参加硕士研究生入学考试的考生而编写的。

本书是信号与系统课程的辅导教材，分为上、下两册，共12章，主要包括了以下四个方面内容的例题分析与习题详细解答：

(1) 信号与系统的时间域表示及分析方法。包括连续和离散信号与系统的表示、分析、求解方法。主要包括第1、2、7章内容。

(2) 信号与系统的变换域表示与分析方法。包括傅里叶变换、拉普拉斯变换、 z 变换、离散傅里叶变换以及基于这些正交变换的系统分析方法与应用。主要包括第3、4、5、8、9章内容。

(3) 系统状态变量分析方法。包括时间域和变换域，连续和离散系统的状态变量分析方法，主要包括第12章内容。

(4) 模拟与数字滤波器的设计与应用、反馈系统概念及分析以及信号矢量空间分析。主要包括第6、10、11章内容。

本书对380道习题作了详细的解答，对典型习题给出了分析思路，并补充了部分典型例题。

本书第3、5、6、7、8、9、10章由李玲远编写，第1、2、4、11、12章由陆三兰编写。同时还要感谢华中师范大学物理科学与技术学院陈慧参与了部分习题的解答。

在本书的编写过程中，我们参阅了一些国内外著作，均列于本书参考文献中，在此谨向相关作者表示深切谢意。由于作者水平所限，书中难免有不妥和错误之处，恳请读者批评指正。

编 者

2004年7月于武昌

内 容 提 要

本书是高等学校电子、通信类专业信号与系统课程的辅导教材，是由郑君里等编著的、由高等教育出版社出版的《信号与系统》（第二版）一书的参考题解答。本书分上、下两册，共 12 章，对 380 道习题给出了详细的分析与解答，并给出了典型例题。

本书可供高等学校电子、通信类专业的教师和学生使用，也可作为报考电子、通信类专业硕士研究生考生的复习参考用书。

目 录

(下 册)

第 7 章 离散时间系统的时域分析	(271)
7.1 学习要点	(271)
7.1.1 离散时间信号	(271)
7.1.2 离散时间系统	(271)
7.1.3 差分方程的时域求解方法	(272)
7.2 典型例题	(272)
7.3 习题详解	(274)
第 8 章 z 变换、离散时间系统的 z 域分析	(297)
8.1 学习要点	(297)
8.1.1 z 变换的定义、收敛域及典型例序列的 z 变换	(297)
8.1.2 z 变换的主要性质	(298)
8.1.3 逆 z 变换	(299)
8.1.4 利用 z 变换解差分方程	(300)
8.1.5 系统函数及频率响应	(300)
8.2 典型例题	(301)
8.3 习题详解	(305)
第 9 章 离散傅里叶变换	(334)
9.1 学习要点	(334)
9.1.1 离散傅里叶变换及其性质	(334)
9.1.2 离散傅里叶变换与 z 变换的关系	(335)
9.1.3 快速傅里叶变换 (FFT)	(336)
9.1.4 离散傅里叶变换的应用	(336)
9.2 典型例题	(337)
9.3 习题详解	(338)

第 10 章 模拟与数字滤波器	(361)
10.1 学习要点	(361)
10.1.1 无源模拟网络综合	(361)
10.1.2 模拟滤波器	(361)
10.1.3 无限冲激响应 (IIR) 数字滤波器的设计	(361)
10.1.4 有限冲激响应 (FIR) 数字滤波器的设计	(362)
10.2 典型例题	(362)
10.3 习题详解	(364)
第 11 章 反馈系统	(390)
11.1 学习要点	(390)
11.1.1 反馈系统的概念、性质及应用	(390)
11.1.2 根轨迹	(391)
11.1.3 奈奎斯特稳定性判据	(392)
11.1.4 信号流程图	(392)
11.2 典型例题	(394)
11.3 习题详解	(399)
第 12 章 系统的状态变量分析	(439)
12.1 学习要点	(439)
12.1.1 基本概念	(439)
12.1.2 状态方程和输出方程建立	(440)
12.1.3 连续时间系统状态方程的求解	(440)
12.1.4 离散时间系统状态方程求解	(441)
12.1.5 由状态方程判断因果系统的稳定性	(442)
12.1.6 系统的可控制性和可观测性	(442)
12.2 典型例题	(442)
12.3 习题详解	(450)
参考文献	(487)

第7章 离散时间系统的时域分析

7.1 学习要点

7.1.1 离散时间信号

1. 常用序列之间的关系

$$\delta(n) = u(n) - u(n-1)$$

$$u(n) = \sum_{m=0}^{\infty} \delta(n-m)$$

2. 离散时间信号的表示

$$x(n) = \sum_{m=0}^{\infty} x(m)\delta(n-m)$$

任意序列 $x(n)$ 可以表示为加权、延迟的单位样值序列之和的形式。

3. 离散信号的卷积和

$$x(n) \cdot h(n) = \sum_{m=0}^{\infty} x(m)h(n-m)$$

卷积满足交换律、分配律、结合律

$$x_1(n) \cdot x_2(n) = x_2(n) \cdot x_1(n)$$

$$[x_1(n) + x_2(n)] \cdot x_3(n) = x_1(n) \cdot x_3(n) + x_2(n) \cdot x_3(n)$$

$$[x_1(n) \cdot x_2(n)] \cdot x_3(n) = x_1(n) \cdot [x_2(n) \cdot x_3(n)]$$

$x(n)$ 与 $\delta(n)$ 的卷积

$$x(n) \cdot \delta(n) = x(n)$$

$$x(n) \cdot \delta(n-m) = x(n-m)$$

$$x(n-m_1) \cdot \delta(n-m_2) = x(n-m_1-m_2)$$

7.1.2 离散时间系统

1. 线性时不变离散时间系统的差分方程

$$\sum_{k=0}^N a_k y(n-k) = \sum_{r=0}^M b_r x(n-r)$$

2. 离散时间系统的单位样值响应

当系统的激励 $x(n) = \delta(n)$, 其系统的零状态响应 $y(n) = h(n)$ 称为系统的单位样值响应。

$$y(n) = x(n) \cdot h(n)$$

系统的零状态响应等于系统的激励与单位样值响应的卷积和。

3. 离散时间系统的模拟

差分方程的基本运算关系是延迟(移位)、乘系数、相加, 则系统的基本单元为延迟、相乘和相加。

7.1.3 差分方程的时域求解方法

迭代法: 逐次代入求解或计算机求解。

时域经典法: 分别求差分方程的齐次解和特解, 代入边界条件求待定系数。

零输入响应与零状态响应的求解: 利用齐次解求零输入响应, 利用卷积求零状态响应。

7.2 典型例题

例 7-1 讨论下列各线性时不变系统的因果性和稳定性。

$$(1) h(n) = -a^n u(-n-1); \quad (2) h(n) = \delta(n+n_0), n_0 > 0;$$

$$(3) h(n) = 2^n R_N(n); \quad (4) h(n) = 2^n u(-n);$$

$$(5) h(n) = \left(\frac{1}{2}\right)^n u(n); \quad (6) h(n) = \frac{1}{n} u(n).$$

【解】 (1) $n < 0$ 时, $h(n) \neq 0$ 非因果系统

$\sum_{n=-\infty}^{\infty} |h(n)| = \sum_{n=-\infty}^{-1} |a^n| = \sum_{n=1}^{\infty} a^{-n}$ 该系统只有在 $|a| > 1$ 时才是稳定系统。

(2) $n < 0$ 时, $h(n) \neq 0$ 非因果系统

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} |h(n)| = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(n+n_0) = 1 < +\infty \quad \text{稳定系统。}$$

(3) $n < 0$ 时, $h(n) = 0$ 因果系统

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} |h(n)| = \sum_{n=0}^{N-1} 2^n = 2^N - 1 < +\infty \quad \text{故稳定系统。}$$

(4) $n < 0$ 时, $h(n) \neq 0$ 非因果系统

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} |h(n)| = \sum_{n=-\infty}^0 |2^n| = \sum_{n=0}^{\infty} 2^{-n} = 1 < +\infty \quad \text{稳定系统}$$

(5) $n < 0$ 时, $h(n) = 0$ 因果系统

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} |h(n)| = \sum_{n=0}^{\infty} \left| \left(\frac{1}{2}\right)^n \right| < +\infty \quad \text{稳定系统}$$

(6) $n < 0$ 时, $h(n) = \frac{1}{n}u(n) = 0$ 因果系统

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} |h(n)| = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left| \left(\frac{1}{n}\right)u(n) \right| = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n} = \infty \quad \text{非稳定系统}$$

例 7-2 离散时间系统的差分方程 $2y(n) - y(n-1) = 4x(n) + 2x(n-1)$, 求系统的单位样值响应 $h(n)$ 。

【解】 $2h(n) - h(n-1) = 4\delta(n) + 2\delta(n-1)$

$$2\alpha - 1 = 0 \quad \alpha = \frac{1}{2} \quad h(n) = c\left(\frac{1}{2}\right)^n$$

$$2h_1(n) - h_1(n-1) = 4\delta(n) \quad 2h_2(n) - h_2(n-1) = 2\delta(n-1)$$

$$h_1(0) = 2 \quad c = 2 \quad h_1(n) = 2\left(\frac{1}{2}\right)^n u(n)$$

$$h_2(1) = 1 \quad c = 2 \quad h_2(n) = 2\left(\frac{1}{2}\right)^n u(n-1)$$

$$h(n) = h_1(n) + h_2(n) = 2\left(\frac{1}{2}\right)^n u(n) + 2\left(\frac{1}{2}\right)^n u(n-1)$$

$$= 2\delta(n) + 4\left(\frac{1}{2}\right)^n u(n-1)$$

例 7-3 已知离散系统的差分方程为 $y(n+2) - 3y(n+1) + 2y(n) = x(n+1) - 2x(n)$, $x(n) = 2^n u(n)$, $y_a(0) = 0$, $y_a(1) = 1$, 求系统的零输入响应, 零状态响应及完全响应。

【解】 求零输入响应 $y_a(n)$

$$y(n+2) - 3y(n+1) + 2y(n) = 0 \quad \alpha^2 - 3\alpha + 2 = 0 \quad \alpha_1 = 1, \alpha_2 = 2$$

$$y_a(n) = c_1 + c_2 2^n \quad c_1 + c_2 = 0, c_1 + 2c_2 = 1 \text{ 求得 } c_1 = -1 \quad c_2 = 1$$

$$y_a(n) = [-1 + 2^n]u(n)$$

求单位样值响应 $h(n)$

$$h(n) = B_1 + B_2 2^n$$

$$h(n+2) - 3h(n+1) + 2h(n) = \delta(n+1) - 2\delta(n)$$

$$n=-2 \quad h(0)=0; n=-1 \quad h(1)=1 \quad n=0 \quad h(2)=3-2=1$$

$$\text{代入 } h(n) \quad h(1)=B_1+2B_2=1$$

$$h(2)=B_1+4B_2=1 \text{ 求得 } B_1=1, B_2=0 \quad h(n)=u(n-1)$$

求零状态响应

$$y_{zs}(n)=x(n) \cdot h(n)=2^n u(n) \cdot u(n-1)=(2^n-1)u(n-1)$$

$$\begin{aligned} \text{求全响应 } y(n) &= y_{zi}(n) + y_{zs}(n) = (-1+2^n)u(n) + (2^n-1)u(n-1) \\ &= 2[(2^n-1)u(n)] \end{aligned}$$

7.3 习题详解

7-1 分别绘出以下各序列的图形:

$$(1) x(n) = \left(\frac{1}{2}\right)^n u(n);$$

$$(2) x(n) = 2^n u(n);$$

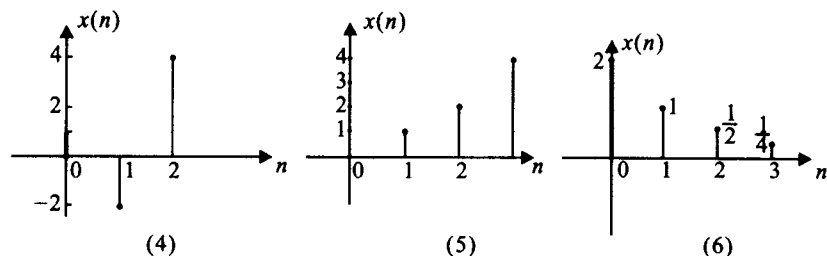
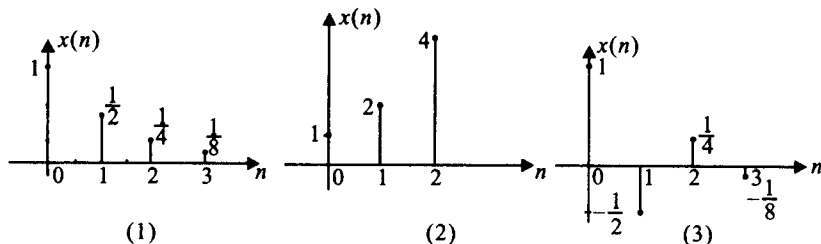
$$(3) x(n) = \left(-\frac{1}{2}\right)^n u(n);$$

$$(4) x(n) = (-2)^n u(n);$$

$$(5) x(n) = 2^{n-1} u(n-1);$$

$$(6) x(n) = \left(\frac{1}{2}\right)^{n-1} u(n).$$

【解】 各序列的图形如图所示



7-2 分别绘出以下各序列的图形:

$$(1) x(n) = nu(n);$$

$$(2) x(n) = -nu(-n);$$

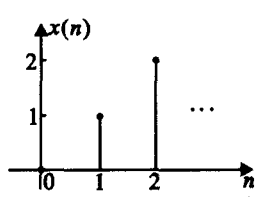
$$(3)x(n] = 2^{-n}u(n);$$

$$(4)x(n] = (-\frac{1}{2})^{-n}u(n);$$

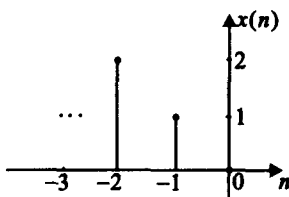
$$(5)x(n] = -(\frac{1}{2})^nu(-n);$$

$$(6)x(n] = (\frac{1}{2})^{n+1}u(n+1)。$$

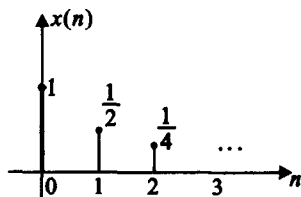
【解】 各序列图形如图所示：



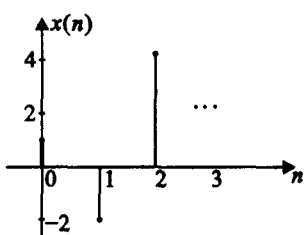
(1)



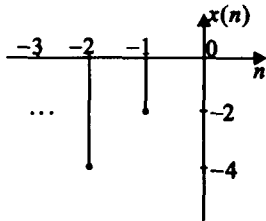
(2)



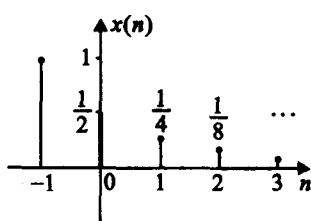
(3)



(4)



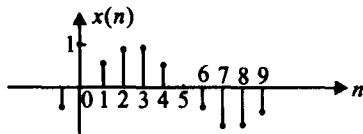
(5)



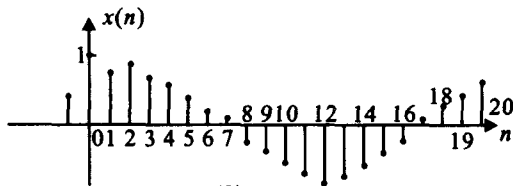
(6)

7-3 分别绘出以下各序列的图形。(1) $x(n] = \sin(\frac{n\pi}{5})$; (2) $x(n] = \cos(\frac{n\pi}{10} - \frac{\pi}{5})$; (3) $x(n] = (\frac{5}{6})^n \sin(\frac{n\pi}{5})$ 。

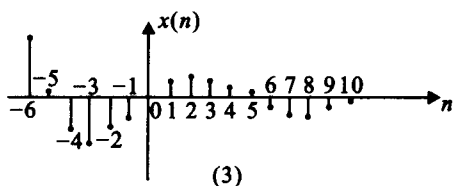
【解】 各序列图形如下所示



(1)



(2)



7-4 判断以下各序列是否周期性的,如果是周期性的,试确定其周期。

$$(1) x(n) = A \cos\left(\frac{3\pi}{7}n - \frac{\pi}{8}\right) \quad (2) x(n) = e^{j(\frac{\pi}{8} - n)}$$

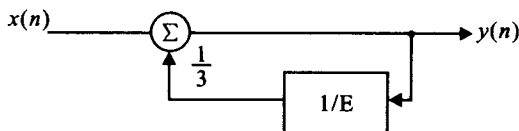
【分析】 $x(n) = A \sin(n\omega_0)$ 中的 ω_0 反映序列值依次周期性重复的速率。若 $\frac{2\pi}{\omega_0}$ 为整数时,序列具有周期 $\frac{2\pi}{\omega_0}$ 。若 $\frac{2\pi}{\omega_0}$ 不是整数而为有理数,序列仍为周期序列,其周期大于 $\frac{2\pi}{\omega_0}$ 。若 $\frac{2\pi}{\omega_0}$ 即不是整数,又不是有理数,则序列不是周期序列。

【解】 (1) $\omega_0 = \frac{3\pi}{7}, \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{14}{3}, N = \frac{14}{3}k, k = 3$ 时, $N = 14$, 其周期 $N = 14$ 。

(2) $\omega_0 = \frac{1}{8}, \frac{2\pi}{\omega_0} = 16\pi, 16\pi$ 是无理数, $x(n)$ 是非周期序列。

7-5 列出题图7-5所示系统的差分方程,已知边界条件 $y(-1) = 0$ 。分别求以下输入序列时的输出 $y(n)$ (用逐次迭代法求)。

(1) $x(n) = \delta(n), (2) x(n) = u(n), (3) x(n) = u(n) - u(n-5)$



题图 7-5

【解】 $y(n) = \frac{1}{3}y(n-1) + x(n)$

$$(1) x(n) = \delta(n), y(0) = \frac{1}{3}y(-1) + \delta(0) = 1$$

$$y(1) = \frac{1}{3}y(0) + \delta(1) = \frac{1}{3}$$

$$y(n) = \left(\frac{1}{3}\right)^n u(n)$$

$$(2) x(n] = u(n), y(0) = \frac{1}{3}y(-1) + u(0) = 1, y(1) = \frac{1}{3}y(0) + u(1) = \frac{4}{3}$$

$$y(2) = \frac{1}{3}y(1) + u(1) = \frac{13}{9}$$

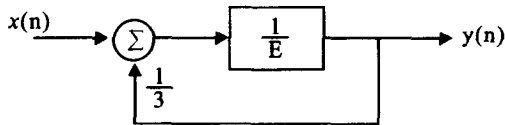
$$y(n) = \left[\frac{3}{2} - \frac{1}{2} \times \left(\frac{1}{3}\right)^n\right] u(n)$$

(3) $x(n) = u(n) - u(n-5)$, 当 $n = 0 \sim n = 4$, $u(n) - u(n-5) = 1$, 其余 n 值 $x(n) = 0$

采用逐次迭代法取得

$$y(n) = \left[\frac{3}{2} - \frac{1}{2} \times \left(\frac{1}{3}\right)^n\right] [u(n) - u(n-5)] + \frac{1}{3^n} u(n-5)$$

7-6 列出题图7-6所示系统的差分方程, 已知边界条件 $y(-1) = 0$, 并限定当 $n < 0$ 时, 全部 $y(n) = 0$, 若 $x(n) = \delta(n)$, 求 $y(n)$ 。



题图 7-6

【解】 $y(n) = x(n-1) + \frac{1}{3}y(n-1)$ $y(n) - \frac{1}{3}y(n-1) = x(n-1)$

当 $x(n) = \delta(n)$, $y(n) = h(n) = c\left(\frac{1}{3}\right)^n$

由 $y(-1) = 0$, 求得 $y(0) = 0, y(1) = 1$, 求得 $c = 3$

$$y(n) = h(n) = 3\left(\frac{1}{3}\right)^n u(n-1)$$

7-7 在题7-5中, 若限定当 $n > 0$ 时, 全部 $y(n) = 0$, 以 $y(1) = 0$ 为边界条件, 求当 $x(n) = \delta(n)$ 时的响应 $y(n)$, 这时, 可以得到一个左边序列, 试解释为什么会出现这种结果。

【解】 $y(n) = \frac{1}{3}y(n-1) + x(n)$

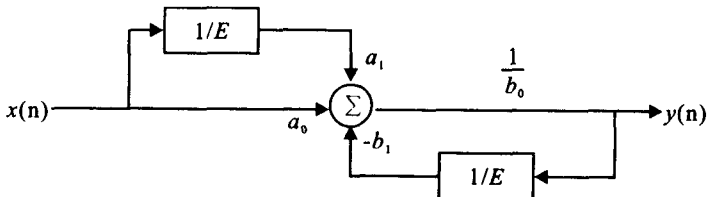
当 $x(n] = \delta(n)$, $y(n) = c\left(\frac{1}{3}\right)^n$

由 $y(0) = 0$, 求得 $y(-1) = -3$ 求得 $c = -1$

$$y(n) = -\left(\frac{1}{3}\right)^n u(-n-1)$$

$y(n) = -\left(\frac{1}{3}\right)^n u(-n-1)$ 是一个左边序列, 这是因为题目限定了当 $n > 0$ 时, 全部 $y(n) = 0$ 。这样, 边界条件只能由 $n < 0$ 得出, 得到左边序列。

7-8 列出题图7-8所示系统的差分方程, 指出其阶次。



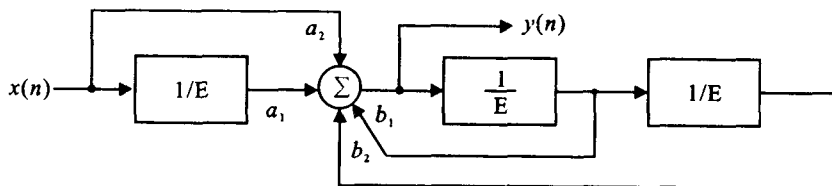
题图 7-8

【解】 $y(n) = [a_0 x(n) + a_1 x(n-1) - b_1 y(n-1)] \frac{1}{b_0}$

$$b_0 y(n) + b_1 y(n-1) = a_0 x(n) + a_1 x(n-1)$$

差分方程的阶次由方程中未知序列变量序号的最高与最低值之差来判断。因方程中阶次 $y(n)$, $y(n-1)$, $x(n)$, $x(n-1)$, 差分方程阶次为 1。

7-9 列出题图7-9所示系统的差分方程, 指出其阶次。



题图 7-9

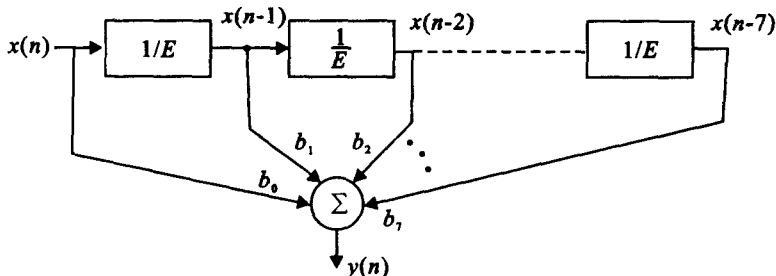
【解】 $y(n) = a_0 x(n) + a_1 x(n-1) + b_1 y(n-1) + b_2 y(n-2)$

$$y(n) - b_1 y(n-1) - b_2 y(n-2) = a_0 x(n) + a_1 x(n-1)$$

$n - (n-2) = 2$, 其阶次为 2。

7-10 已知描述系统的差分方程表示式为 $y(n] = \sum_{r=0}^7 b_r x(n-r)$, 试绘出此离散系统的方框图。如果 $y(-1) = 0, x(n) = \delta(n)$, 试求 $y(n)$, 指出此时 $y(n)$ 有何特点, 这种特点与系统结构有何关系。

【解】 系统方框图如下图所示。



$$y(0) = b_0 \delta(0) + b_1 \delta(-1) + \cdots + b_7 \delta(-7) = b_0$$

$$\vdots$$

$$y(7) = b_0 \delta(7-0) + b_1 \delta(7-1) + \cdots + b_7 \delta(7-7) = b_7$$

$$0 \leq n \leq 7 \quad y(n) = b_r \quad (r = n); n < 0 \quad y(n) = 0$$

7-11 解差分程 (1) $y(n) - \frac{1}{2}y(n-1) = 0, y(0) = 1$; (2) $y(n) - 2y(n-1) = 0, y(0) = \frac{1}{2}$; (3) $y(n) + 3y(n-1) = 0, y(1) = 1$; (4) $y(n) + \frac{2}{3}y(n-1) = 0, y(0) = 1$ 。

【解】 (1) $y(n) = c\left(\frac{1}{2}\right)^n, y(0) = c = 1, y(n) = \left(\frac{1}{2}\right)^n$

(2) $y(n) = c(2)^n, y(0) = c = \frac{1}{2}, y(n) = (2)^{n-1}$

(3) $y(n) = c(-3)^n, y(1) = c(-3) = 1, c = -\frac{1}{3}, y(n) = -\frac{1}{3}(-3)^n = (-3)^{n-1}$

(4) $y(n) = c\left(-\frac{2}{3}\right)^n, y(0) = c = 1, y(n) = \left(-\frac{2}{3}\right)^n$

7-12 解差分方程

(1) $y(n) + 3y(n-1) + 2y(n-2) = 0, y(-1) = 2, y(-2) = 1$

(2) $y(n) + 2y(n-1) + y(n-2) = 0, y(0) = y(-1) = 1$