2.4 离散线性时不变系统的时域分析方法

系统分析

连续时间系统——微分方程描述

$$\begin{cases} 时域分析\begin{cases} 经典解法：齐次解+特解 \\ 工程解法：零输入响应+零状态响应 \end{cases} \\ 变换域分析:拉氏变换法 \end{cases}$$

离散时间系统——差分方程描述

$$\begin{cases} 时域分析\begin{cases} 经典解法：齐次解+特解 \\ 工程解法：零输入响应+零状态响应 \end{cases} \\ 变换域分析:z变换法 \end{cases}$$

学习：注意与连续系统分析方法上的联系、区别与对比。

2.4.1 离散线性系统的数学模型

例2-18 某人第n个月初存款x(n)元, 月息a, 写出第n个月本利和的数学关系（按复利计）。

若第**n-1**月时的总存数 **y(n-1)**，则第n个月本利和y(n)为：

$$y(n) = y(n\text{-}1) + ay(n-1) + x(n)$$

$$y(n) - (a+1)y(n-1) = x(n)$$

形如 $$y(n+2)-3y(n+1)+y(n)=0$$

前向差分方程，又称增序差分方程

形如 $$y(n)-(a+1)y(n-1)=x(n)$$

后向差分方程，又称减序差分方程

对于线性常系数差分方程，各序列号同时增加或减少同样的数目，方程描述系统的输入输出关系保持不变。

离散时间系统的一般模型:

$$y(n)+a_1y(n-1)+a_2y(n-2)+\cdots+a_Ny(n-N)$$

$$=b_0x(n)+b_1x(n-1)+\cdots+b_Mx(n-M)=\sum_{j=0}^{M}b_jx(n-j)$$

$$\sum_{i=0}^{N}a_iy(n-i)=\sum_{j=0}^{M}b_jx(n-j) \qquad a_0=1$$

差分方程的**阶数**为响应序号的最高值与最低值之差。

常系数线性差分方程时域解，也即对单输入-单输出线性时不变离散系统的分析方法：包括迭代法、经典法、零状态响应的卷积解法（时域零输入零状态法）。

2.4.2 迭代法

特点：概念清晰

方法简单

易于编程（极大优势）

但一般不易得到差分方程解析形式的(闭合)解

差分方程本质上是递推的代数方程，若已知边界条件和激励，利用迭代法可求得其数值解。

例2-20：若描述某系统的差分方程为

$$y(n) + 3y(n-1) + 2y(n-2) = x(n)$$

已知初始条件 $y(0)=0, y(1)=2$，**激励** $x(n)=2^n u(n)$，**求** $y(n)$

解： $y(n) = -3y(n-1) - 2y(n-2) + x(n)$

$$y(2) = -3y(1) - 2y(0) + x(2) = -2$$

$$y(3) = -3y(2) - 2y(1) + x(3) = 8 \ldots$$

2.4.3 经典解法

阅读p7-13及教材对应内容，比较离散线性系时不变统经典解法与连续线性时不变系统经典解法（上一节p7~12）的异同。

$$\sum_{i=0}^{N} a_i y(n-i) = \sum_{j=0}^{M} b_j x(n-j) \qquad a_0 = 1$$

与微分方程经典解类似，

$$y(n) = y_h(n) + y_p(n)$$

齐次解　　特解

差分方程对应齐次方程形式：

$$\sum_{i=0}^{N} a_i y(n+i) = 0 \text{或} \quad \sum_{i=0}^{N} a_i y(n\text{-}i) = 0$$

前向差分方程，或增序差分方程　　后向差分方程，或减序差分方程

满足这一方程的解，即为齐次解

求齐次解步骤：

1. 写特征方程，求特征根，写出齐次解形式
2. 由激励函数的形式写出特解通式，代入原方程求出待定系数
3. 写出原方程求解的一般形式（齐次解+特解）
4. 代入全解边界条件，确定齐次解待定系数

1. 齐次解

齐次方程：$y(n)+a_1y(n-1)+a_2y(n-2)+\cdots+a_Ny(n-N)=0$

则 $\lambda^N+a_1\lambda^{N-1}+\ldots+a_N=0$ 或 $1+a_1\lambda^{-1}+\ldots+a_N\lambda^{-N}=0$

为差分方程的**特征方程**

进行因式分解：$(\lambda-\alpha_1)(\lambda-\alpha_2)\cdots(\lambda-\alpha_N)=0$

α_i 为差分方程的**特征根，**也叫系统的自然频率（固有频率）。

一阶差分方程的齐次解y(n)的形式为：

$$y(n)+\alpha_i y(n-1)=0 \qquad -\alpha_i = \frac{y(n)}{y(n-1)}$$

y(n)为一个公比为 $-\alpha_i$ 的等比级数

$$y_h(n)=C_i(-\alpha_i)^n$$ -α_i 为该一阶系统的特征根，C_i 是待定系数。

当N阶系统的特征根全部为一阶根时，若λ_i是特征根，则齐次解的形式为：

$$y_h(n)=\sum_{i=1}^{N} C_i \lambda_i^n$$

$$\boxed{y_h(t)=(A_1+A_2t+\cdots+A_m t^{m-1})e^{\lambda_1 t}+\sum_{i=m+1}^{N} A_i e^{\lambda_i t}}$$

$$\boxed{y_h(t)=\sum_{i=1}^{N} A_i e^{\lambda_i t}}$$

若λ_1为m阶重根，则齐次解的形式为：

$$y_h(n)=(C_1+C_2 n+C_3 n^2+\cdots+C_m n^{m-1})\lambda_1^n+\sum_{i=m+1}^{N} C_i \lambda_i^n$$

2. 特解：　线性时不变系统输入与输出有相同的形式

输入	特解 $y_p(n)$	
常数	B	
a^n	Ba^n	a 不等于特征根
	$B\,n^r a^n$	a是一个r阶特征根
n^k	$B_0 + B_1 n + \cdots + B_k n^k$	所有特征根均不等于1
	$(B_0 + B_1 n + \cdots + B_k n^k)n^r$	有r阶等于1的特征根
$\sin\beta n$ 或 $\cos\beta n$	$B_0\sin\beta n + B_1\cos\beta n$	$e^{\pm j\beta}$不等于特征根

将特解带入原方程，求得待定系数

3.全解 $y(n) = y_h(n) + y_p(n)$

代入完全解边界条件获得齐次解待定系数。

（边界条件是激励时刻及以后的系统状态）

若激励为0时刻加入，边界条件指y(0),y(1),…,y(N-1)。

全解只对n>=0有效。

算法：若特征根全部为一阶根，则：$y_h(n) = \sum_{i=1}^{N} C_i \alpha_i^n$

$$\begin{cases} y(0) = C_1 + C_2 + \cdots + C_N + y_p(0) \\ y(1) = C_1\alpha_1 + C_2\alpha_2 + \cdots + C_N\alpha_N + y_p(1) \\ \vdots \\ y(N-1) = C_1\alpha_1^{N-1} + C_2\alpha_2^{N-1} + \cdots + C_N\alpha_N^{N-1} + y_p(N-1) \end{cases}$$

联立求得待定系数 C_i。

说明：

自由响应，即对应齐次解：由初始状态和激励共同决定解的系数；换句话说，齐次解的待定系数由完全解的边界条件确定。所以，**对于激励为零的差分方程，自由响应就是零输入响应。**

完全解的边界条件：当激励在n=0时加入时，完全解的边界条件指y(0), y(1)....

p85 例2-21

求差分方程 $y(n)-4y(n-1)+3y(n-2)=x(n)$ 的全解，其中 $x(n)=2^n u(n)$，边界条件为 $y(0)=-\frac{1}{2}$，$y(1)=0$。

解：① 齐次解。

齐次方程为 $$y(n)-4y(n-1)+3y(n-2)=0$$

其特征方程可写为 $$\lambda^2-4\lambda+3=0$$

特征根为 $$\lambda_1=1 \quad \lambda_2=3$$

所以齐次解的形式为 $$y_h(n)=A_1+A_2 3^n$$

此处无u(n)

② 特解。

根据表2-7可知其特解形式为

$$y_p(n)=B2^n \quad (n\geqslant 0)$$

将特解代入系统差分方程，比较方程两边的对应项，则有

$$B2^n-4B2^{n-1}+3B2^{n-2}=2^n$$

解得 $B=-4$，则特解为

$$y_p(n)=-4\cdot 2^n \quad (n\geqslant 0)$$

此处无u(n)

比较p73例2-11，形式一致

③ 全解的形式为

$$y(n)=y_h(n)+y_p(n)=A_1+A_2 3^n-4\cdot 2^n \quad (n\geqslant 0)$$

代入边界条件 $y(0)=-\frac{1}{2}$、$y(1)=0$ 有

$$A_1+A_2-4\times 1=-\frac{1}{2}$$

$$A_1+3A_2-4\times 2=0$$

由此解得

$$A_1=\frac{5}{4} \quad A_2=\frac{9}{4}$$

所以其全解为

$$y(n)=\underbrace{\frac{5}{4}+\frac{9}{4}3^n}_{\text{自由响应}}\underbrace{-4\cdot 2^n}_{\text{受迫响应}} \quad (n\geqslant 0)$$

因为激励在n=0时刻加入，且输出的最高阶与输入的最高阶相同，所以边界条件为y(0), y(1)。 $y(n)-4y(n-1)+3y(n-2)=x(n)$

如果差分方程为 $y(n+2)-4y(n+1)+3y(n)=x(n)$

激励仍然在n=0时刻加入，完全响应的边界条件为

例 2-22　已知 $y(n)-2y(n-1)=2u(n)$，$y(-1)=0$，求响应 $y(n)$。

解：显然特征根 $\lambda=2$，齐次解形式为

$$y_h(n)=A\,(2)^n$$

由激励写出特解 $y_p(n)=B$，代回原方程得 $y_p(n)=-2$，写出全响应为

$$y(n)=A\,(2)^n-2$$

由于 $y(-1)=0$ 是激励加入之前的边界条件，由迭代法可递推写出

$$y(0)=2u(0)+2y(0-1)=2+y(-1)=2 \quad （全解边界条件）$$

$$A-2=2 \quad A=4$$

$$y(n)=(4\times 2^n-2)u(n)=2(2^{n+1}-1)u(n)$$

反转课堂

2.4.4 零输入响应和零状态响应

1. 零输入响应

激励为零，由系统的非零状态产生的响应：

$$y_{zi}(n) \xrightarrow{\text{形同}} y_h(n)$$

无重根时： $$y_{zi}(n) = \sum_{i=1}^{N} C_i \alpha_i^n$$

若 α_1 为r阶重根，则解为：

$$y_{zi}(n) = (C_1 + C_2 n + C_3 n^2 + \cdots + C_r n^{r-1})\alpha_1^n + \sum_{i=r+1}^{N} C_i \alpha_i^n$$

与齐次解的不同在于：求待定系数 C_i 需要代入激励加入前的系统初始状态。

激励加入前的系统初始状态的判断方法:

系统差分方程为 $y(n+2)+y(n+1)+y(n)=u(n)$，试确定系统的初始状态。

因为激励在n=0时刻加入，且输出的最高阶为y(2)，所以激励加入之前的边界条件为y(1), y(0)。

系统差分方程为 $y(n)+y(n-1)+y(n-2)=u(n)$，试确定系统的初始状态。

因为激励在n=0时刻加入，且输出的最高阶为y(0)，所以激励加入之前的边界条件为y(-1), y(-2)。

激励加入前的系统初始状态的判断方法:

判断方法总结：

1、先获得激励加入的前一时刻a；（例2-23、24中a=-1）

2、再将a替代响应最高阶中的n，代数结果即是零输入响应的边界条件（激励加入前的系统状态）。（例2-23中响应最高阶y(n+2),由a=-1替代n,得a+2=-1+2=1，即y(1)是加激励前的时刻的状态，y(1)、y(0)是零输入响应的边界条件；同理例2-24中y(-1)、y(-2)是零输入响应的边界条件。）

零输入响应 与 自由响应 的关系：（仔细理解下面的结论）

初始状态为零时，零输入响应为零，但自由响应不一定为零。

激励为零时，自由响应就是零输入响应。

零输入响应是自由响应的一部分。

2. 冲激响应和阶跃响应

单位脉冲响应$h[n]$是激励为单位脉冲序列$\delta(n)$作用于离散时间LTI系统所产生的零状态响应。

单位阶跃响应$g[n]$是激励为单位阶跃序列$u(n)$作用于离散时间LTI系统所产生的零状态响应。

因为 $\delta(n)=u(n)-u(n-1)$

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

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

依据LTI系统性质：

$$h(n)=g(n)-g(n-1)$$

$$g[n]=\sum_{m=-\infty}^{n}h[m]$$

$$g(n)=\sum_{k=0}^{\infty}h(n-k)$$

求冲激响应的方法：

一、差分方程阶数N=0,则式2-57

$$y(n)+a_1y(n-1)+a_2y(n-2)+\cdots+a_Ny(n-N)$$

$$=b_0x(n)+b_1x(n-1)+\cdots+b_Mx(n-M)=\sum_{j=0}^{M}b_jx(n-j)$$

写作：$$y(n)=\sum_{j=0}^{M}b_jx(n-j)$$

对应的冲激响应：$$h(n)=\sum_{j=0}^{M}b_j\delta(n-j)$$

则冲激响应$h(n)$由有限个$\delta(n)$的移位构成，称为有限冲击响应（FIR）滤波器

二、差分方程阶数 $N \neq 0$,则式2-57写作

$$h(n)+a_1h(n-1)+....+a_Nh(n-N)=\sum_{j=0}^{M}b_j\delta(n-j)$$

若输入仅有一个$\delta(n)$时，原方程化简为：

$$h_0(n)+a_1h_0(n-1)+....+a_Nh_0(n-N)=\delta(n)$$

由于n>0时，输入为0 ？ 所以 $h_0(n)$ 形式同齐次解。

无重根时： $h_0(n)=\sum_{i=1}^{N}A_{h_i}(\lambda_i)^n$

注意：连续系统求冲激响应要加u(t)

若 λ_1 为r阶重根：$h_0(n)=(A_{h_1}+A_{h_2}n+...+A_{h_r}n^{r-1})\lambda_1^n+\sum_{i=r+1}^{N}A_{h_i}\lambda_i^n$

求待定系数：A_{h_i} 需要N个边界条件

n=0时，$h_0(0)+a_1h_0(-1)+....+a_Nh_0(-N)=\delta(0)=1$

因为：$h_0(i)=0 \quad i=-1,-2,...,-N+1$ 所以：$h_0(0)=1$

N个边界条件（固定），可得到待定系数A_{h_i}

注意：将n<-1代入求系数时，$h_0(n)$后面不加u(n)，但最后$h_0(n)$要加u(n).

3、通式求系统的冲激响应

$$h(n)+a_1h(n-1)+....+a_Nh(n-N)=\sum_{j=0}^{M}b_j\delta(n-j)$$

由2知：
$$\delta(n)\Rightarrow h_0(n)$$
$$\delta(n-j)\Rightarrow h_0(n-j)$$
$$b_j\delta(n-j)\Rightarrow b_jh_0(n-j)$$
$$\sum_{j=0}^{M}b_j\delta(n-j)\Rightarrow \sum_{j=0}^{M}b_jh_0(n-j)$$
$$\therefore h(n)=\sum_{j=0}^{M}b_jh_0(n-j)$$

结论：先求单一冲激激励的响应，再根据**LTI**系统性质，得到系统的冲激响应。该方法称为间接法。

注意：此处与连续系统求冲激响应的不同：

t =0 时刻微分方程左右两端的 $\delta(t)$及各阶导数应该持平衡状态。

p89

注意： 此处无u(n)

例 2-25 已知系统的数学模型为

$$y(n)-5y(n-1)+6y(n-2)=x(n)-3x(n-2)$$

求系统的单位冲激响应 $h(n)$。

解：由间接法，设单一 $\delta(n)\to h_0(n)$，则有

$$\begin{cases} h_0(n)-5h_0(n-1)+6h_0(n-2)=\delta(n) \\ h_0(0)=1, h(-1)=0 \end{cases}$$

特征根为 $\lambda_1=2$, $\lambda_2=3$，所以 $h_0(n)=A_1 2^n+A_2 3^n$，代入上述边界条件有

$$\begin{cases} A_1+A_2=1 \\ \frac{1}{2}A_1+\frac{1}{3}A_2=0 \end{cases} \quad \text{计算得} \quad \begin{cases} A_1=-2 \\ A_2=3 \end{cases}$$

所以 $h_0(n)=(3^{n+1}-2^{n+1})u(n)$，依据方程右端的形式及系统特性有

注意： 此处加u(n)

第五章z变换同样可解

3. 零状态响应

解释本页每一步推导的依据

如果$\delta(k) \rightarrow h(k)$

$$\delta(k-i) \quad \rightarrow h(k-i)$$

$$x(i)\delta(k-i) \rightarrow x(i)h(k-i)$$

$$x(k) = x(k) * \delta(k) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} x(i)\delta(k-i) \rightarrow \sum_{i=-\infty}^{\infty} x(i)h(k-i) = x(k) * h(k)$$

$$y_{zs}(k) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} x(i)h(k-i) = x(k) * h(k)$$

如果x(k)是因果函数，且系统为因果系统，则

$$y_{zs}(k) = \sum_{i=0}^{k} x(i)h(k-i)$$

系统的全响应为：$y(k) = y_{zi}(k) + y_{zs}(k)$

4. 全响应不同分解方法之间的关系

如果特征根均为单根，则

由该公式说明自由响应、受迫响应、零输入响应、零状态响应之间的包容关系。

$$y(n)=y_h(n)+y_p(n)$$

$$=\sum_{i=1}^{N}A_i\lambda_i^n+y_p(n)=\sum_{i=1}^{N}A_{zii}\lambda_i^n+\sum_{i=1}^{N}A_{zsi}\lambda_i^n+y_p(n)$$

$$=y_{zi}(n)+y_{zs}(n)$$

系统的零输入响应是自由响应的一部分；受迫响应是零状态响应的一部分；零输入响应和零状态响应中的齐次解部分之和是自由响应。

例2-26 教材p90　　找出其中一处错误

例 2-26 离散线性时不变系统用下面差分方程来描述

$$y(n+2)-0.7y(n+1)+0.1y(n)=7x(n+2)-2x(n+1)$$

已知该系统的输入为 $x(n)=\mathrm{u}(n)$；边界条件为 $y(0)=9, y(1)=13.9$，求系统的零输入响应与零状态响应，并指出全响应中的自由响应与强迫响应、暂态响应与稳态响应分量。

解：根据前面的讨论，将所有序列序号同时减 2，将前向差分方程转换为后向差分方程后再做分析。

$$y(n)-0.7y(n-1)+0.1y(n-2)=7x(n)-2x(n-1)$$

① 求系统的特征根（自然频率），由差分方程写出

$$\lambda^2-0.7\lambda+0.1=0$$

分解因式得

$$(\lambda-0.5)(\lambda-0.2)=0$$

所以有

$$\lambda_1=0.5 \qquad \lambda_2=0.2$$

② 判断系统的初始状态。将 $x(n)=\mathrm{u}(n)$ 代入方程，有

$$y(n)-0.7y(n-1)+0.1y(n-2)=7\mathrm{u}(n)-2\mathrm{u}(n-1)$$

可知 $n=0$ 时加入了激励，初始状态应为 $y(-1)$、$y(-2)$ 的一组数据，题中所给的是全解的边界条件，所以用倒递推法求初始状态。 由0，1推至-1、-2

$n=1$ 时，$y(1)-0.7y(0)+0.1y(-1)=7\mathrm{u}(1)-2\mathrm{u}(0)$，得 $y(-1)=-26$。

$n=0$ 时，$y(0)-0.7y(-1)+0.1y(-2)=7\mathrm{u}(0)-2\mathrm{u}(-1)$，得 $y(-2)=-202$。

③ 求零输入响应。

$$y_{zi}(n)=y_h(n)=A_1(0.5)^n+A_2(0.2)^n$$ 此处不加u(n)

代入初始状态(零输入响应的边界条件)得

$$\begin{cases}y(-1)=A_1 0.5^{-1}+A_2 0.2^{-1}=-26\\ y(-2)=A_1 0.5^{-2}+A_2 0.2^{-2}=-202\end{cases}$$

求出

$$A_1=12 \qquad A_2=-10$$

所以得

$$y_{zi}(n)=[12(0.5)^n-10(0.2)^n]\mathrm{u}(n)$$ 此处加u(n)

④ 求系统的单位冲激响应 $h(n)$。

设等式右端为单一激励 $\delta(n)$ 时,方程改写为

$$h_0(n)-0.7h_0(n-1)+0.1h_0(n-2)=\delta(n)$$

于是

$$h_0(n)=B_1(0.5)^n+B_2(0.2)^n$$ 此处不加u(n)

代入固定边界条件求系数有

$$\begin{cases}h_0(0)=B_1+B_2=1\\ h_0(-1)=2B_1+5B_2=0\end{cases}$$

求得

$$B_1=\frac{5}{3} \qquad B_2=-\frac{2}{3}$$

所以

$$h_0(n)=\left[\frac{5}{3}(0.5)^n-\frac{2}{3}(0.2)^n\right]\mathrm{u}(n)$$ 此处加u(n)

根据系统的线性时不变性质，激励为 $7\delta(n)-2\delta(n-1)$ 时的响应为

$$
\begin{aligned}
h(n) &= 7[h_0(n)] - 2[h_0(n-1)] \\
&= 7\left[\frac{5}{3}(0.5)^n - \frac{2}{3}(0.2)^n\right]\mathrm{u}(n) - 2\left[\frac{5}{3}(0.5)^{n-1} - \frac{2}{3}(0.2)^{n-1}\right]\mathrm{u}(n-1) \\
&= 7\delta(n) + [2.5\times(0.5)^{n-1} + 0.4\times(0.2)^{n-1}]\,\mathrm{u}(n) \qquad \boxed{\mathrm{u}(n-1)} \\
&= [5(0.5)^n + 2(0.2)^n]\,\mathrm{u}(n)
\end{aligned}
$$

⑤ 求 $x(n)=u(n)$ 时的零状态响应。

$$
\begin{aligned}
y_{zs}(n) &= \mathrm{u}(n) * h(n) = \sum_{m=0}^{n}[5(0.5)^m + 2(0.2)^m] \\
&= \left[5\frac{1-(0.5)^{n+1}}{1-0.5} + 2\frac{1-(0.2)^{n+1}}{1-0.2}\right]\mathrm{u}(n) \\
&= [12.5 - 5(0.5)^n - 0.5(0.2)^n]\,\mathrm{u}(n)
\end{aligned}
$$

可以看出 $y_{zs}(n)$ 是由激励与系统结构共同决定的，所以零状态响应中既包含自由响应，又包含强迫响应。其中和激励形式相同的分量为强迫分量，即 $12.5\mathrm{u}(n)$。

⑥ 求全响应。

$$
y(n) = y_{zi}(n) + y_{zs}(n) = [12.5 + 7(0.5)^n - 10.5(0.2)^n]\,\mathrm{u}(n)
$$

强迫响应为 $12.5\mathrm{u}(n)$，自由响应为 $[7(0.5)^n - 10.5(0.2)^n]\mathrm{u}(n)$；

稳态响应为 $12.5\mathrm{u}(n)$，暂态响应为 $[7(0.5)^n - 10.5(0.2)^n]\mathrm{u}(n)$。

完成实验四

待定系数确定方法总结

<table>
<tr><th></th><th>差分方程</th><th>微分方程</th></tr>
<tr><td>齐次解$y_h(.)$</td><td colspan="2">待定系数保留在齐次解中</td></tr>
<tr><td>特解$y_p(.)$</td><td colspan="2">代入原方程，利用对应项相等确定待定系数</td></tr>
<tr><td>全解y(.)</td><td colspan="2">将边界条件（输入时刻及之后）代入全解y(.)，解代数方程确定待定系数</td></tr>
<tr><td>零输入响应$y_{zi}(.)$</td><td colspan="2">将边界条件（输入时刻之前）代入零输入响应$y_{zi}(.)$，解代数方程确定待定系数</td></tr>
<tr><td>由一个冲激函数产生的冲激响应$h_0(n)$</td><td>将固定边界条件代入$h_0(n)$解代数方程确定待定系数</td><td>没有该过程</td></tr>
<tr><td>冲激响应h(.)</td><td>根据差分方程输入形式，叠加平移$h_0(n)$</td><td>将h(t)（必须加u(t)）代入原方程，利用冲激函数平衡准则，确定待定系数</td></tr>
<tr><td>零状态响应$y_{zs}(.)$
全解y(.)</td><td colspan="2">系数已经确定</td></tr>
</table>

中间过程只有求h(t)时才加u(t)，其它都不加u(t)

- 若LTI离散系统的阶跃响应为 $g(k)$ ， 求其单位序列响应

其中：$g(k)=(\frac{1}{2})^{k}\varepsilon(k)$