

# 排序连续调节信号实现问题的探讨

苏安邦

(应用物理系)

## 摘 要

本文就连续信号排序的问题进行探讨,提出两种可能实现的方法,并对其机理与线路给予分析,给出连续排序信号过剩量的计算公式,可供从事电路、网络及控制方面的有关人员参考。

## 一、问题的提出

在机械设备及间歇生产过程中,经常遇到顺序控制问题。例如,六角车床的生产过程包括如下几个工序:送加工件、夹紧、六次进刀、退刀、转动工件和退加工件,它们形成一个周而复始的加工过程。在间歇生产过程中,开始进料,进料结束时随即关闭进料阀门,并开始加热(或冷却)以及反应过程,生产过程结束后,打开出料阀门。这样一个重复的过程有一个共同的特点:按一定的时间顺序或按一定的动作要求顺序发出控制指令信号。这类系统的要求是一个控制指令动作完成后,才执行第二个控制指令动作,形成一个一环扣一环、往前移动的动作。目前已有成熟的方法和设备,如数字程控或环形计数器之类的装置。这类控制之所以能实现,一是其动作均是开关式的,即非开则关,非“1”则“0”,表征其动作的完成是位置传感器的极限行程开关(或上、下限限制值)。二是信号之间仅表现静态间的逻辑关系,而动态联系不密切。因此利用延时器就可以实现开关动作,每一个执行部件的开或关均视为一个状态 $x_i$ 与 $\bar{x}_i$ 。每一个状态,根据动作的时间关系,可事先列表(表1)。按照

表 1

状 态	时 间					
	$t_1$	$t_2$	$t_3$	...	$t_{k-1}$	$t_k$
$x_1$	1	0	0	0...0	0	0
$x_2$	0	1	0	0	0	0
$x_3$	0	0	1	0	0	0
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$x_k$	0	0	0	0	1	0
$x_k$	0	0	0	0	0	1

本文1987年8月7日收到。

表中所示的关系，可以构成一个逻辑控制线路（图 1）。图中  $t_1, t_2, \dots, t_k$  为定时触发信号（或行程开关定位触发信号或定位开关触发信号）加入的时刻。清零以后，各个触发器处于“0”态，然后起动， $z_1, t_1$  与  $\bar{x}_2$  符合使第一个触发器置“1”态， $x_1, t_2$  和  $\bar{x}_3$  使第二个触发器置“1”态，其余类推。后一个触发器的 0 端输出反馈到前一个触发器，保证动作的协调，因此顺序开关动作的控制已不存在实现排序方面的困难。除了按图 1 环节的环形计数器方式构成外，还可以应用布尔代数的逻辑关系来设计装置。

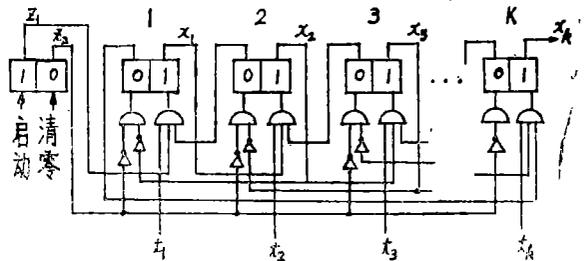


图 1

但是连续信号的排序，是排序信号的大小，而不是信号的有或无的问题。这类问题由一个主变化源来决定各个排序信号的增或减。变量之间表现出很强的动态关系和固定的静态关系。例如  $x_1, x_2, x_3$  为三个被控制变量， $m$  为主变化源。在静态时，要求保持

$$x_1/x_2 = \alpha_2, \tag{1}$$

$$x_1/x_3 = \alpha_3. \tag{2}$$

动态时，当  $m$  增加时，要求  $x_3$  先增大，跟着  $x_2$  增大，最后  $x_1$  增大，稳态时，又要求保持式（1）、（2）的关系。而当  $m$  减小时，则先减少  $x_1$ ，跟着减少  $x_2$ ，最后减少  $x_3$ 。同样，稳态时，又要求保持式（1）、（2）的关系。譬如，多种燃料混烧的系统，这几种燃料分别标为  $x_i(t), i = 2, 3, \dots, n$ ，要求一定的空气供应量  $x_1(t)$ ，即要求  $[x_1(\infty)/x_i(\infty)] = \alpha_i, (i = 2, 3, \dots, n)$  的静态关系。在动态过程中，往往要求有一定的空气过剩量，即

$$\frac{x_1(t)}{x_i(t)} \geq \alpha_i + \Delta\alpha_i(t). \tag{3}$$

$$\int_{t_0}^{t_0+t_s} \Delta\alpha_i(t)\alpha_i = A_i. \tag{4}$$

$t_s$  为一个调节周期。这种信号的排序问题比开关信号的排序问题复杂得多，这就要求探讨这类特殊排序问题的实现方法。

## 二、连续信号的排序

根据生产的具体要求，排序问题可归纳为

$$m \uparrow \rightarrow x_k \uparrow \rightarrow x_{k-1} \uparrow \rightarrow x_{k-2} \uparrow \rightarrow \dots \rightarrow x_2 \uparrow \rightarrow x_1 \uparrow, \tag{5}$$

$$m \downarrow \rightarrow x_1 \downarrow \rightarrow x_2 \downarrow \rightarrow x_3 \downarrow \rightarrow \dots \rightarrow x_{k-1} \downarrow \rightarrow x_k \downarrow, \tag{6}$$

式（5）的含义是  $m$  上升，引起  $x_k$  上升，待  $x_k$  上升后，再使  $x_{k-1}$  上升，等等。式（6）的含义是当  $m$  下降时，首先引起  $x_1$  降低，待  $x_1$  降低后，再引起  $x_2$  下降，其余类推。例如，燃油锅炉燃料燃烧的控制过程属于两个变量  $x_1$  和  $x_2$  的排序系统。当负荷  $m$  增加时，先增加风  $x_1$ ，风增加

后再按风/油之比增加油；当负荷 $m$ 减少时，先减少油，再按比例减少风。这种排序的关系可由图 2 表示。

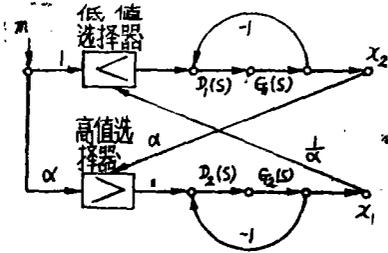


图 2

图 2 的作用可以分解成图 3 和图 5 两种情况。

图 3 为  $m$  增加的情况：

$$x_1(s) = \alpha \frac{D_2(s)G_2(s)}{1 + D_2(s)G_2(s)} m(s), \quad (7)$$

$$x_2(s) = \frac{D_2(s)G_2(s)}{1 + D_2(s)G_2(s)} \cdot \frac{D_1(s)G_1(s)}{1 + D_1(s)G_1(s)} m(s). \quad (8)$$

据达林补偿原理， $D_2(s)G_2(s)/[1 + D_2(s)G_2(s)]$  及  $D_1(s)G_1(s)/[1 + D_1(s)G_1(s)]$  可预期为一阶惯性环节，即

$$\frac{D_2(s)G_2(s)}{1 + D_2(s)G_2(s)} = \frac{1}{1 + T_2s}, \quad (9)$$

$$\frac{D_1(s)G_1(s)}{1 + D_1(s)G_1(s)} = \frac{1}{1 + T_1s}. \quad (10)$$

则有

$$D_2(s) = \frac{1}{T_2sG_2(s)}, \quad (11)$$

$$D_1(s) = \frac{1}{T_1sG_1(s)}, \quad (12)$$

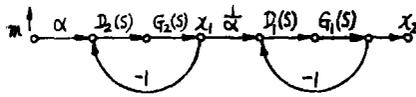


图 3  $m$  增加的情况

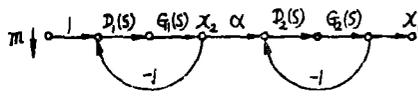


图 5  $m$  减少的情况

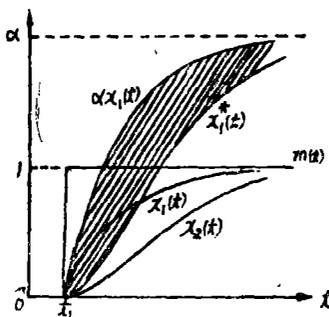


图 4  $m$  增加的情况

$x_1(t)$  与  $x_2(t)$  跟踪  $m(t)$  的变化过程由图 4 说明。图中  $x_1^*(t)$  表示实际需要的  $x_2(t)$  值，因此斜线区域为  $x_1(t)$  相对于  $x_2(t)$  的过剩量，这个过剩量是生产所要求的。

2. 图 5 为  $m$  减少的情况：

$$x_2(s) = \frac{D_1(s)G_1(s)}{1 + D_1(s)G_1(s)} m(s), \quad (13)$$

$$x_1(s) = \frac{D_1(s)G_1(s)}{1+D_1(s)G_1(s)} - a \frac{D_2(s)G_2(s)}{1+D_2(s)G_2(s)} m(s), \quad (14)$$

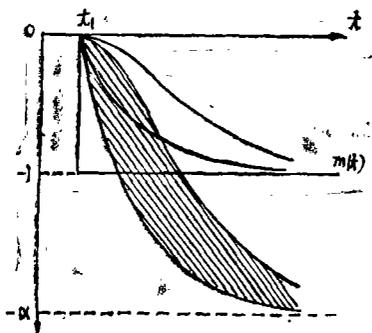


图 6 m下降情况

$D_1(s)$ 与 $D_2(s)$ 按式(11)与式(12)选择, 则可以得到图6所示的响应曲线. 图中斜线部分为 $ax_1(t)$ 相对于 $x_2(t)$ 的过剩量.

式(5)与式(6)连续信号排序可用图7的结构来实现. 其中

$$\begin{aligned} x_2^* &= \max(x_1, \hat{x}_2) \\ x_3^* &= \max(x_1, x_2, \hat{x}_3) \\ &\vdots \\ x_n^* &= \max(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n-1}, \hat{x}_n) \\ \hat{x}_n &= m \\ \hat{x}_{n-1} &= \min(x_n, m) \\ \hat{x}_{n-2} &= \min(x_n, x_{n-1}, m) \\ &\vdots \\ \hat{x}^2 &= \min(x_n, x_{n-1}, \dots, x_3, m) \\ \hat{x}_1 &= \min(x_n, x_{n-1}, \dots, x_2, m) \end{aligned}$$

这种排序信号的阵列可归结成表2的关系.

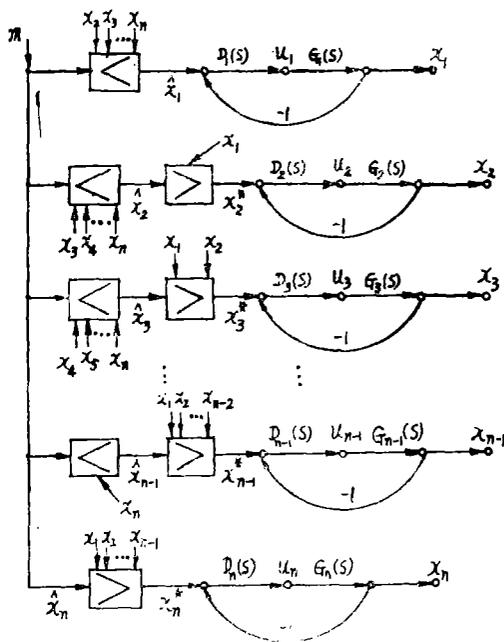


图 7

表 2

0	$x_2$	$x_3 \dots x_n$	$m$	$\hat{x}_1$	0...0	0
0	0	$x_3 \dots x_n$	$m$	$\hat{x}_2$	$x_1$ 0...0	$x_2^*$
0	0	$x_4 \dots x_n$	$m$	$\hat{x}_3$	$x_1$ $x_2$ 0...0	$x_3^*$
		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
0	0...0	$x_n$	$m$	$\hat{x}_n$	$x_1$ $x_2 \dots x_{n-2}$ 0	$x_n^*$
低值选择器的输入				低值选择器的输出	高值选择器的输出	
←高值选择器的输入→						

### 三、过剩量的计算

首先假设  $\alpha_i = 1, i = 2, 3, \dots, n, T_1 = T_2 = T_3 = \dots = T_n, m(s) = 1/s$ , 则有

$$x_1(t) = L^{-1} \left[ \frac{1}{1+T_1s} \cdot \frac{1}{s} \right] = 1 - e^{-t/T_1},$$

$$x_2(t) = L^{-1} \left[ \frac{1}{(1+T_1s)^2} \cdot \frac{1}{s} \right] = -e^{-t/T_1} - \frac{1}{1!T_1} t e^{-t/T_1},$$

$$x_3(t) = L^{-1} \left[ \frac{1}{(1+T_1s)^3} \cdot \frac{1}{s} \right] = 1 - e^{-t/T_1} - \frac{1}{1!T_1} t e^{-t/T_1} - \frac{1}{2!T_1^2} t^2 e^{-t/T_1},$$

$$x_4(t) = L^{-1} \left[ \frac{1}{(1+T_1s)^4} \right]$$

$$= 1 - e^{-t/T_1} - \frac{1}{1!T_1} t e^{-t/T_1} - \frac{1}{2!T_1^2} t^2 e^{-t/T_1} - \frac{1}{3!T_1^3} t^3 e^{-t/T_1},$$

$$x_n(t) = L^{-1} \left[ \frac{1}{(1+T_1s)^n} \cdot \frac{1}{s} \right]$$

$$= 1 - e^{-t/T_1} - \frac{1}{1!T_1} t e^{-t/T_1} - \frac{1}{2!T_1^2} t^2 e^{-t/T_1}$$

$$- \dots - \frac{1}{(n-1)!T_1^{(n-1)}} t^{(n-1)} e^{-t/T_1},$$

过剩量

$$A_i = \int_0^{t_s} [x_1(t) - x_2(t)] dt = \sum_{j=2}^{i-1} \frac{1}{(l-1)!T_1^{(l-1)}} \int_0^{t_s} t^{(l-1)} e^{-t/T_1} dt$$

$$= \sum_{l=2}^{i-1} \frac{t_s^l e^{-t_s/T_1}}{(l-1)!T_1^{(l-1)}} \left[ \left( \frac{T_1}{t_s} \right) - (l-1) \left( \frac{T_1}{t_s} \right)^2 (l-1)(l-1) \left( \frac{T_1}{t_s} \right)^3 \right.$$

$$\left. - (l-1)(l-2)(l-3) \left( \frac{T_1}{t_s} \right)^4 - \dots \right], \quad i = 2, 3, \dots, n.$$

### 四、实现问题

利用微型机带有相应的A/D与D/A转换器及接口板, 就可以实现图7所示的连续信号排序问题, 其子程序见图8。

利用模拟电路实现要比微型机实现困难得多, 图9是  $Y = \max(x_1, x_2, x_3, x_4)$  的实现线路。

图10是  $Y = \min(x_1, x_2, x_3, x_4)$  的实现线路。

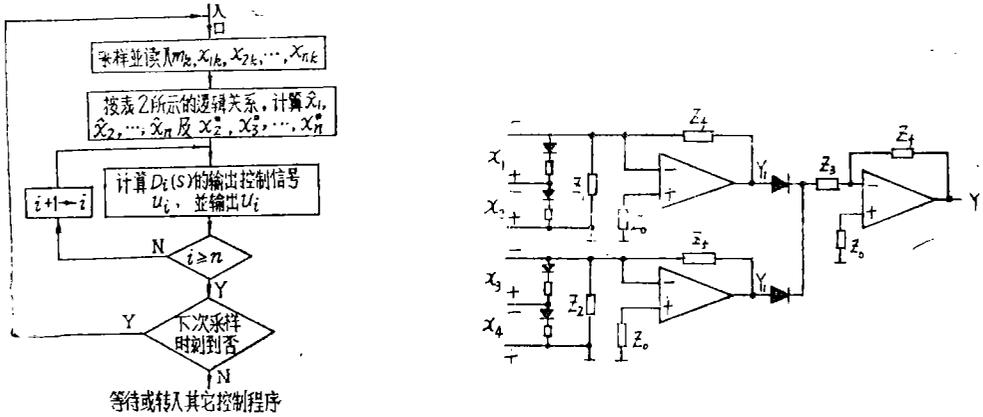


图 8

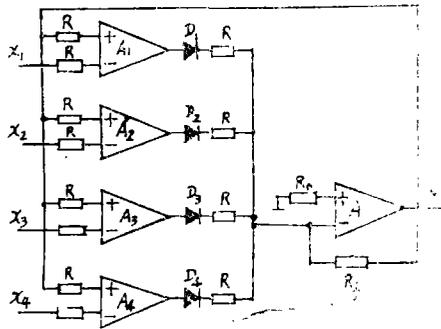


图 10

### 参 考 文 献

- (1) 绪方胜彦著, 卢伯英等译, 现代控制工程, 科学出版社, (1980).
- (2) Shinsky, F.G., Process Control System, McGraw-Hill, (1979)
- (3) 李清泉、黄昌宁编著, 集成运算放大器原理与应用, 科学出版社, (1980).

## Implementation of Ordering of Continued Adjustment Signals

Su Anbang

### Abstract

This paper deals with the implementation of ordering of continued signals. This is a problem merits consideration for those who work with circuit, network and control in both academic and engineering circles.

Two methods of realizable are presents here along with the analysis of mechanism and circuit as well as the formula for calculating excess amount of continued ordered signals.