文章编号: 1008-1542(2007) 04-0289-03

大滞后对象的程序控制器算法

沈英才, 刘朝英, 宋雪玲

(河北科技大学 电气信息学院, 河北石家庄 050018)

摘 要: 针对不同生产过程的大滞后对象的共同特点, 提出一种简单且行之有效的程序控制方法: 由时间最优、预估、积分分离 PID 和 Bang-Bang 基本控制技术组成复合控制算法, 根据偏差和偏差变化率自动切换执行不同的算法。该方法具有编程简单、运算量小、占空间少和实时性强等优点。

关键词: 时间最优; 预估; 大滞后; 控制器; 算法

中图分类号: TP273 文献标识码: A

Algorithm in the programming controller of long time-delay systems

SHEN Ying-cai, LIU Chao-ying, SONG Xue-ling

(College of Electrical Engineering and Information Science, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei 050018, China)

Abstract: Considering some common features in various production processes where long time-delay occurs, we present a simple yet rather practical way to control such systems. This algorithm is composed of compound control algorithms, such as time optimization, model prediction, integral separation PID and Bang-Bang control. And the switches are automatically decided by the control error and its rate of change. This method has several advantages such as easy programming, simple computation, real-time working, etc.

Key words: time optimization; prediction; long time-delay; controller; algorithm

自动控制系统按给定值的不同可分为定值、随动和程序控制系统。程序控制系统的控制规律是: 给定值 r_t 按时间或其他约定条件变化, 其变化规律可归纳为快速提升、匀速提升、恒定、匀速下降和快速下降 5 种。典型的程序控制系统有间歇式化学反应釜和发酵罐等[1]。由于质量指标难以在线检测, 通常选择间接参数——温度作为被控变量。

对于不同的生产工艺和介质, 其发酵(或反应)温度、时间及阶段的数量存在很大的差异。例如图 1, 虽然不同生产工艺的温度、时间、段数存在着较大的差异, 并且整个生产过程对温度有严格而不同的程序要求, 但它们的共同特点是: 整个生产过程可以分为若干升温、恒温、降温 3 种基本阶段, 对升温和降温速率有所要求; 化学及生物反应器内温度容量滞后大。因此, 根据其共同的特点, 采用微电脑技术与预估、时间最优、积分分离 PID 和 Bang-Bang 等基本控制技术组合成不同的复合控制系统。

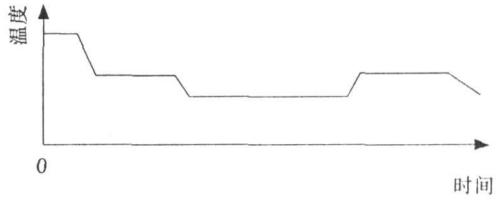

图 1 青霉素发酵过程曲线示意图

Fig. 1 Reaction curve of penicillin ferment process

收稿日期: 2006-12-08; 修回日期: 2007-05-21; 责任编辑: 冯 民

作者简介: 沈英才(1950-), 男, 河北沧州人, 副教授, 主要从事计算机控制和智能仪表方面的研究。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1 快速控制系统方案设计

设被控对象的数学模型为

$$G(S)=\frac{k_0 e^{-\tau s}}{(T_1 S+1)(T_2 S+1)} \quad 。 \tag{1}$$

在给定值 r^* 下的最优切换时间 t_1^* 为

$$t_1^*=\frac{a}{a-1}\ln a。 \tag{2}$$

在给定值 r^* 下的末态时间 t_2^* 为

$$t_2^*=\frac{a}{a-1}\ln\frac{a^{\frac{a}{a-1}}}{a^{\frac{a}{a-1}}-1} \quad 。 \tag{3}$$

对应最优时间下的切换偏差值 e^* 应为

$$e^*=\frac{r^*}{1-1/a}\left[\frac{1}{a}e^{-(t_1^*-t_2^*)}-e^{-(t_1^*-t_2^*)}\right]+r^* 。 \tag{4}$$

式(1)－式(4)中: k_0 是对象放大系数; T_1, T_2 是对象时间常数; $a=T_1/T_2$; τ 是对象滞后时间; t_1^*, t_2^* 是最优切换时间和末态时间。

在有纯滞后时间 τ 的条件下, 从切换点到末态时间为 t_2^*, 则加入纯滞后时间 τ 后切换时间为

$$t=t_2^*+\tau。 \tag{5}$$

但在 $t_2^*\rightarrow\tau$ 这段时间内其控制作用不能再用最大值, 而所施加的控制作用应为

$$u=r/k_0。 \tag{6}$$

由此, 快速提升阶段控制过程可归纳为, 当偏差值 $e<e^*$ 时, 控制输出取最大值($p=p_{max}$); 当 $e=e^*$ 时, 控制输出取最小值($p=p_{min}$), 延时($t_1^*-t_2^*$)后, 再以较小常量控制作用($u=r/k_0$)控制 τ 时间。同理可得快速下降阶段控制过程。

2 控制算法

采用了预估、时间最优、积分分离 PID 和 Bang-Bang 等几种基本算法[2,3], 由此组合成复合型控制系统, 从而使系统满足对给定值的变化具有最大响应速度、临界的非周期振荡、无余差的要求。计算机根据偏差以及偏差变化率的大小自动地选择不同的控制程序。当偏差及偏差变化率较大(即在快速提升或快速下降阶段)时, 其控制目的是要尽快地将被控参数拉回到给定值, 即要求有最大响应速度, 此时控制器对任何可测量的偏差输入都应饱和; 当偏差减小并接近给定值时, 采用低增益和微分作用来实现临界的非周期振荡, 使响应逐渐地趋近给定值, 同时, 控制器具有积分作用, 满足了消除静差的要求[2]。此外, 在小信号时, 采用低增益, 可实现对外界干扰的抑制。

2.1 给定值快速提升阶段控制算法

$r_i=r_{i+1}$, 当 $t_{i+1}=0\cap r_i<r_{i+1}$ 时, $i=0,1,\cdots,15$;

$p_k=p_{max}$, 当 $|E_k|<e^*$ 时;

$p_k=p_{min}$, 当 $E_k=e^*$ 时, 保持($t_1^*-t_2^*$)时间;

$p_k=R/k_0$, 保持 τ 时间;

$p_k=$ PID。

式中: r_i 是第 i 段给定值; t_i 是第 i 段时间($t_i=0$ 表示快速提升或下降); p_k 是第 k 次控制器输出; E_k 是第 k 偏差; p_{max}, p_{min} 是控制器输出的最大值和最小值。

2.2 给定值快速下降阶段控制算法

$r_i=r_{i+1}$, 当 $t_{i+1}=0\cap r_i>r_{i+1}$ 时, $i=0,1,\cdots,15$;

$p_k=p_{min}$, 当 $|E_k|<e^*$ 时;

$p_k=p_{max}$, 当 $E_k=e^*$ 时, 保持($t_1^*-t_2^*$)时间;

$p_k=R/k_0$, 保持 τ 时间;

$p_k=$ PID。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.3 给定值匀速提升阶段控制算法

$\Delta r_{i,j} = (r_{i+1} - r_i)t_0/t_i$, 当 $t_i \neq 0 \cap r_i < r_{i+1}$ 时;

$r_{i,j} = r_{i,j-1} + \Delta r_{i,j}$;

p_k= 积分分离 PID。

式中: $r_{i,j}$, $r_{i,j-1}$ 分别为第 i 段的第 j 次和第 $(j-1)$ 次的给定值; r_{i-1}, r_i 分别为第 j 段的始点值和终点值; t_0 为时间系数, min; t_i 为第 i 段的时间, min。

2.4 给定值匀速下降阶段控制算法

$\Delta r_{i,j} = (r_i - r_{i+1})t_0/t_i$, 当 $t_i \neq 0 \cap r_i > r_{i+1}$ 时;

$r_{i,j} = r_{i,j-1} - \Delta r_{i,j}$;

p_k= 积分分离 PID。

2.5 给定值恒定阶段控制算法

在恒定阶段, 由偏差的变化律自动地调整 3 个控制区域(即门限值)。不同的区域采用不同的控制算法, 将被控参数尽快地拉回到本区域内。在最内层控制区域引进积分作用以便消除静差[4,5], 控制器为正作用, 则 $E_k = r_i - U_k$; 控制器为反作用, 则 $E_k = U_k - r_i$, 其控制算法表示为

$r_i = r_{i+1}$, 当 $r_i = r_{i+1} \cap t_i \neq 0$ 时;

$p_k = p_{k-1}$, 当 $|E_k| < b_1$ 时;

$p_k = p_{k-1} + k_P(E_k - E_{k-1}) + k_I E_k + k_D(E_k - 2E_{k-1} + E_{k-2})$, 当 $b_1 < |E_k| \leqslant b_2$ 时;

$p_k = p_{k-1} + k_P(E_k - E_{k-1}) + k_D(E_k - 2E_{k-1} + E_{k-2})$, 当 $|E_k| > b_2$ 时。

式中: p_{k-1}, p_k 为第 $(k-1)$ 和第 k 次控制器输出; U_k 为第 k 次采样滤波值; E_k, E_{k-1}, E_{k-2} 为第 k, $(k-1)$ 和 $(k-2)$ 次偏差; k_P 为比例系数; $k_I = k_P T/T_I$, 为积分系数; $k_D = k_P T_D/T$, 为微分系数; b_1 $(b_1 < b_2)$ 为死区门限值; b_2 为积分分离门限值。

2.6 给定值的程序给定算法

在设定参数时, 只要依次给出每段的始点值 r_i、终点值 r_{i+1} 及每段时间 t_i, 软件自动识别快速提升 $(t_i = 0 \cap r_i < r_{i+1})$、匀速提升 $(t_i \neq 0 \cap r_i < r_{i+1})$、恒定 $(t_i \neq 0 \cap r_i = r_{i+1})$、匀速下降 $(t_i \neq 0 \cap r_i > r_{i+1})$、快速下降 $(t_i = 0 \cap r_i > r_{i+1})$ 等 5 个阶段。控制程序框图见图 2。

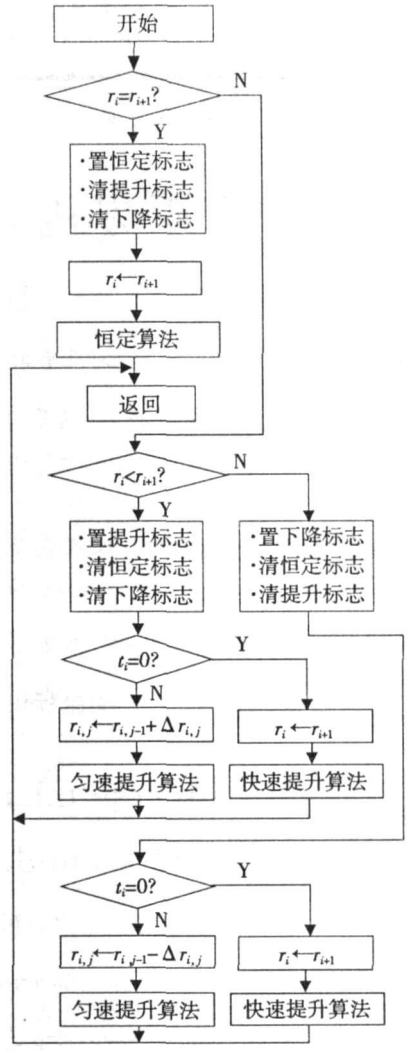

图 2　复合控制程序框图

Fig. 2　Control program flowchart

3　结　语

该提速算法和降速算法可以实现从提速阶段或降速阶段到恒定阶段的无超调量切换。恒定阶段控制算法与标准的数字 PID 控制算法相比, 各项动态的品质指标均得到明显的改善, 具有超调量小、过渡时间短、控制误差小、性能稳定、可靠性高等优点。与新型控制规律算法相比具有算法简单、运算量小、实时性好等特点。该复合控制算法曾用于氯乙酸、树脂等化学反应器及生化反应器的温度程序控制, 效果良好。该控制器不仅适用于各种生化反应器的温度控制, 对于其他大滞后对象的控制也具有一定的参考价值。

参考文献:

[1] 喜裕庚. 预估控制[M]. 北京: 国防工业出版社, 1993.

[2] 沈英才, 刘朝英. 完全模拟人工法及其控制器[J]. 自动化与仪表, 1996, 11(3): 32-33.

[3] 沈英才, 刘朝英, 宋雪玲. 间歇式反应釜智能型温度控制器的研制[J]. 河北科技大学学报, 2005, 26(3): 237-240.

[4] 王锦标, 方崇智. 过程计算机控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992. 2.

[5] 沈英才, 刘朝英, 宋雪玲. 智能型生化反应器控制仪[J]. 河北工业科技, 2006, 23(6): 325-327.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net