

文章编号: 1000-5013(2008)02-0317-02

# 滞后削弱器控制系统的设计

李钟慎, 王永初

(华侨大学 机电及自动化学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 将大滞后的对象演变成小滞后的对象, 按平方误差积分准则设定点最优整定算法整定比例积分微分 (PID) 控制器参数. 采用 Simulink 对不同  $L_m$  时的滞后削弱器控制系统的阶跃响应进行仿真, 结果表明, 系统加入滞后削弱器后, 只能把等效对象的纯滞后时间变小, 但不能消除纯滞后时间. 滞后削弱器对大滞后系统的控制效果很好, 且优于经典 PID 控制系统. 利用滞后削弱器可以用 PID 控制器来控制大滞后系统.

关键词: 大滞后系统; 滞后削弱器; 比例积分微分控制器; 误差平方积分准则

中图分类号: TP 273; TP 214

文献标识码: A

## 1 滞后削弱器控制系统

滞后削弱器控制系统的方框图, 如图 1 所示. 图 1 中, 被控对象  $G_0(s)e^{-\tau_s}$  可以分为两个部分, 即不含滞后部分的惯性环节  $G_0(s)$  和纯滞后环节  $e^{-\tau_s}$ . 把  $G_0(s)$  串联一个常数  $L_m$  后与被控对象并联, 然后在反馈中串联常数  $1/(L_m + 1)$ . 则滞后时间削弱器的等效对象为

$$G_{eq}(s) = [G_0(s)e^{-\tau_s} + G_0(s)L_m] / (L_m + 1). \quad (1)$$

若  $e^{-\tau_s}$  取一阶泰勒级数展开近似式, 即  $e^{-\tau_s} \approx 1 - \tau_s$ , 可得

$$G_{eq}(s) = G_0(s) \left( 1 - \frac{\tau_s}{L_m + 1} \right). \quad (2)$$

对式 (2) 再用一次  $e^{-\tau_s} \approx 1 - \tau_s$ , 可近似为

$$G_{eq}(s) \approx G_0(s) \exp[-\tau_s / (L_m + 1)]. \quad (3)$$

比较式 (3) 和被控对象可看出,  $G_{eq}(s)$  的纯滞后时间是被控对象的  $1/(L_m + 1)$  倍. 这样, 就可以将大滞后的对象演变成小滞

后的对象. 图 1 所示的控制器  $G_c(s)$  可以采用比例积分微分 (PID) 控制器, 即  $G_c(s) = K_P(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s)$ . 被控对象大多可近似用一阶加纯滞后环节来表示, 其传递函数为  $G_0(s)e^{-\tau_s} = K e^{-\tau_s} / (T_s + 1)$ . 按文 [1] 所提供的平方误差积分 (ISE) 准则设定点最优整定算法整定 PID 控制器参数, 则有

$$K_P = \frac{1.048}{K} \left( \frac{\tau}{T} \right)^{-0.897}, \quad T_I = T / [1.195 + (-0.368) \left( \frac{\tau}{T} \right)], \quad T_D = 0.89T \left( \frac{\tau}{T} \right)^{0.888}. \quad (4)$$

## 2 仿真示例

钢厂轧钢车间在对工件进行轧制之前, 需要将工件加热到一定的温度. 生产车间中有几个加热段的温度控制系统, 其中一个加热炉温度的传递函数为  $G_0(s)e^{-\tau_s} = 1.06e^{-90s} / (120s + 1)$ . 由于  $\forall T = 0.75$ , 所以该系统是大滞后系统, 采用滞后削弱器方法对该系统进行控制.

### 2.1 $L_m$ 对滞后削弱器控制系统的影响

收稿日期: 2007-07-25

作者简介: 李钟慎 (1971-), 男, 副教授, 主要从事 CAD 技术与工业自动化的研究. E-mail: lzcycw@hqu.edu.cn.

基金项目: 华侨大学高层次人才科研启动项目 (07BS510)

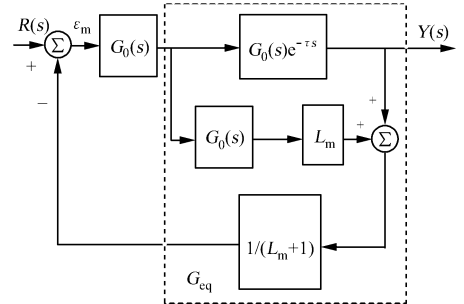


图 1 滞后削弱器控制系统

Fig. 1 Decreasing delay time control system

对  $G_0(s)e^{-\tau}$  的对象, 取不同的  $L_m$ , 利用本文方法, 滞后削弱器控制系统中 PID 控制器的参数整定如下: (1)  $L_m = 1, K_P = 2.38, T_I = 113.53, T_D = 24.56$ ; (2)  $L_m = 3, K_P = 4.44, T_I = 106.57, T_D = 13.27$ ; (3)  $L_m = 5, K_P = 6.38, T_I = 104.44, T_D = 9.26$ . 采用 Simulink 进行仿真, 取不同的  $L_m$  时滞后削弱器控制系统的阶跃响应, 如图 2 所示. 从图 2 可以看出,  $L_m$  越大, 等效对象的纯滞后时间越小, 滞后削弱器控制系统的调节时间变短, 超调量变大. 值得说明的是, 并不是  $L_m$  越大, 控制效果就越好. 当  $L_m$  大到一定值时, 等效对象的纯滞后占整个过程动态的份额已经很小; 再增大  $L_m$ , 其控制效果就不会有明显的变化了. 这是因为系统加入滞后削弱器后, 只能把等效对象的纯滞后时间变小, 但不能消除纯滞后时间. 这也是滞后削弱器控制系统与 Smith 预估控制系统不同之处<sup>[2-4]</sup>.

2.2 两种控制系统的比较

对  $G_0(s)e^{-\tau}$  的对象, 按 ISE 准则设定点最优整定算法, 整定 PID 控制器的参数  $K_P = 1.28, T_I = 130.58, T_D = 45.45$ . 滞后削弱器控制系统与经典 PID 控制系统的阶跃响应图, 如图 3 所示. 实线表示  $L_m = 3$  时滞后削弱器控制系统的阶跃响应, 虚线表示经典 PID 控制系统的阶跃响应. 从图 3 可以看出, 滞后削弱器控制系统的控制效果优于经典 PID 控制系统, 前者的调节时间远远短于后者.

3 结束语

利用滞后削弱器将大滞后的对象演变成小滞后的对象, 就可以用最常用的 PID 控制器来控制大滞后系统, 并取得良好的控制效果. 该方法简单实用, 可在工程中获得广泛应用.

参考文献:

[1] 薛定宇. 反馈控制系统设计与分析——MATLAB 语言应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.  
[2] 王永初. 滞后过程的预估与控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.  
[3] 任永平, 李圣怡. 一种非线性 PID 控制器及其参数分析[J]. 信息与控制, 2005, 34(4): 486-489.  
[4] 王启志, 王永初. 智能 PID 控制器研究的现状与进展[J]. 自动化仪表, 2002, 23(12): 1-3.

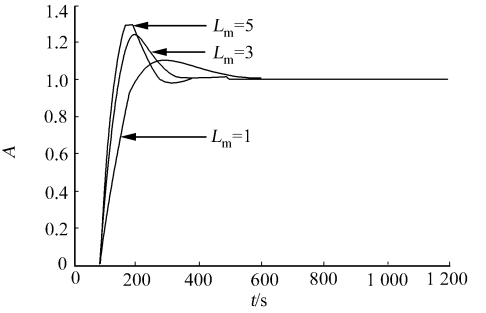


图 2  $L_m$  对控制系统阶跃响应的影响

Fig. 2 The relationship between the step responses of decreasing delay-time control system and the parameter  $L_m$

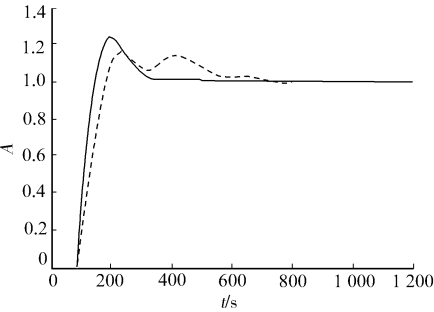


图 3 两种控制系统的阶跃响应比较

Fig. 3 Comparison of the step responses of two control systems

Design of Decreasing Delay-time Control System

LI Zhong-shen, WANG Yong-chu

(College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

**Abstract:** The method of decreasing delay time controller is presented. Firstly, the large delay time plant is remodeled into small delay-time plant. And then the parameters of optimal proportional integral derivative (PID) controller are tuned by integral of square error (ISE) criterion. The relationship between the step responses of decreasing delay-time control system and the parameter  $L_m$  is simulated by Simulink. The simulation results show that the decreasing delay-time controller only can decrease delay time, but can't cancel delay time. The effect of decreasing delay-time control system is very good. Using decreasing delay-time controller, the large delay time system can be controlled by PID controller.

**Keywords:** large delay time system; decreasing delay time controller; PID controller; integral of square error

(责任编辑: 黄仲一 英文审校: 郑亚青)