

文章编号 1000-5013(2006)04-0447-02

一种不完全微分 PID 的多环 Smith 预估控制

宋 晶 王 永 初

(华侨大学机电及自动化学院, 福建 泉州 362021)

摘要 提出一种不完全微分 PID 控制器组态, 代替理想的 PID 控制器进行控制. 对于系统外扰的影响, 采用一种多环 Smith 预估器系统, 利用 MATLAB 进行仿真. 结果表明, 该控制系统具有良好的抗外扰性能, 可改善系统的调节品质.

关键词 预估器, 预估补偿, 不完全微分 PID, 多环 Smith

中图分类号 TP 273

文献标识码 A

1 不完全微分的一种组态

在 PID 控制中, 微分信号的引入可以改善系统的动态特性, 但也易引入高频干扰, 在误差扰动突出的时候, 尤其显出微分项的不足^[1]. 要解决这个问题, 可以在控制算法中加入低通滤波器, 即加入一个一阶惯性环节 $G_f(S) = 1/(1 + T_f S)$, 可以使系统的性能得到改善. 经典 PID 控制器结构式为 $D(S) = K_P(1 + 1/T_I S + T_D S)$; 现采用不完全 PID 控制器结构为 $D(S) = K_P(1 + 1/T_I S)[(T_D S + 1)/(T_f + 1)]$. 上式可变换为 $D(S) = K_P(1 + 1/T_I S)(T_D S + 1)f(S) = K^*(1 + 1/T_I^* S + T_D^* S)f(S)$. 其中, $f(S) = 1/(T_f S + 1)$, $T_f = T_D/Y$, $F = 1 + T_D/T_I$, $K^* = K_P F$, $T_I^* = T_I F$, $T_D^* = T_D/F$. 除去低通滤波器, 剩余是一完全微分 PID 控制器模型. 于是, 可采用稳定边界法进行参数整定^[2].

2 多环 Smith 预估调节器工作原理

根据 Smith 滞后补偿原理, Smith 预估调节器^[3]的形式为 $G'_P(S) = G_P(S)(1 - e^{-\tau S})$, $G_P(S)$ 为对象中不含有纯滞后的部分. 未加入 Smith 补偿器时系统的传递函数为

$$\frac{Y(S)}{R(S)} = \frac{G(S)G_P(S)e^{-\tau S}}{1 + G(S)G_P(S)e^{-\tau S}}. \quad (1)$$

可以得到加入 Smith 补偿器后的系统传递函数为

$$\frac{Y(S)}{R(S)} = \frac{G(S)G_P(S)}{1 + G(S)G_P(S)} \cdot e^{-\tau S}. \quad (2)$$

由此可见, Smith 预估控制的实质是相当于在闭环控制系统的反馈回路中, 加入一个产生超越函数 $e^{-\tau S}$ 的预测单元. Smith 预估控制系统适用于随动系统, 但对于过程控制, 系统主要的变化源往往不是给定信号, 而是内扰和外扰^[4]. 由于扰动信号并不包含在 Smith 预估补偿回路中, 因此纯滞后补偿效果大大降低. 通常称不直接通过调节器影响被控量的系统扰动为外扰. 为提高系统的控制精度, 引入一种多环 Smith 预估补偿控制. 为简化说明问题, 假定系统只有一个控制通道和一个扰动通道, 控制系统方框图如图 1 所示. 记控制通道与扰动通道的特性分别为 $G(S) = K e^{-\tau S}/Q(S)$, $G_f(S) = K_f e^{-\tau_f S}/Q_f(S)$; 系统的两个预估器特性分别为 $P_1(S) = K(1 - e^{-\tau S})/Q(S)$, $P_2(S) = K_f(e^{-\tau_f S})/Q_f(S)$. 根据图中的关系, 可得

收稿日期 2006-02-03

作者简介 宋 晶(1981-), 女, 硕士研究生, 主要从事预测预估控制的研究; 通信作者: 王永初(1937-), 男, 教授, E-mail: crystal@hqu.edu.cn

基金项目 福建省自然科学基金资助项目(A9910011); 国务院侨务办公室科研基金资助项目(03QZR13)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$Y(S) = X_1(S) + X_2(S) + X_3(S) = \frac{K}{Q(S)} \cdot m(S) + \frac{K_f}{Q_f(S)} f(S). \tag{3}$$

根据式(3), 可得到 $f(S)$ 至 $Y(S)$ 的闭环传递函数为

$$\frac{Y(S)}{f(S)} = (K_f / Q_f(S)) / [(1 + D(S)K / Q(S))].$$

3 仿真实验^[5]

现取模拟对象特性为 $G(S) = \frac{1.5 e^{-3s}}{(2S + 1)(2.35S + 1)}$, 扰动通道的特性为 $G_f(S) = \frac{1.2 e^{-2s}}{2S + 1}$, 则控制通道和扰动通道的预估器分别为 $P_1(S) = \frac{1.5}{(2S + 1)(2.35S + 1)}(1 - e^{-3s})$ 和 $P_2(S) = \frac{1.2}{2S + 1}(1 - e^{-5s})$. 控制器 $D(S)$ 采用不完全微分 PID, 经稳定边界法整定后可得, $K_P^* = 0.6, T_I^* = 5.5, T_D^* = 1.375$. 令 $T_I = T_D$, 则 $F = 2$, 可保证 $T_I / T_D = 4/1$ 的理想关系, γ 取值为 20, 得到控制器传递函数为

$$D(S) = 0.6(1 + \frac{1}{5.5S} + 1.375S)(\frac{1}{0.1375S + 1}).$$

通过 Simulink 仿真后, 如图 2 所示.

4 结束语

由图的比较结果可以看出, 加入 Smith 预估器后调节品质得到很大的改善, 但是对于扰动的加入, 超调量增大, 调节时间变长. 多环 Smith 预估控制很好的解决了这个问题, 超调量显著减小, 调节时间变短, 在克服外扰的过程中具有更高的调节品质.

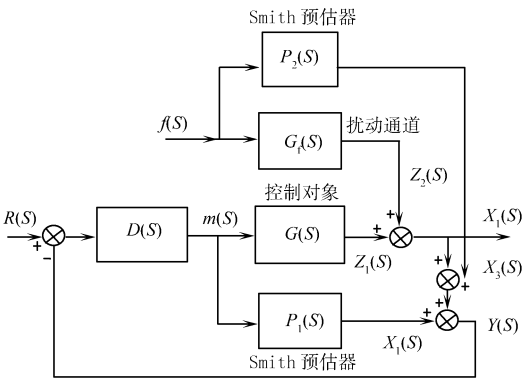


图 1 多环 Smith 预估控制系统方框图

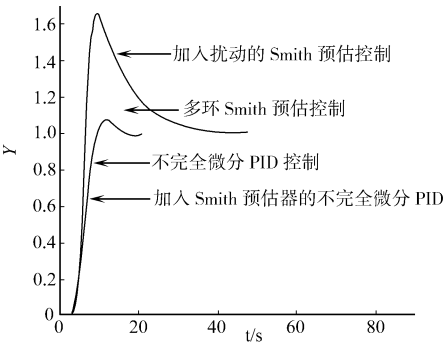


图 2 Simulink 仿真图

参 考 文 献

1 王永初, 陈庄金, 李钟慎. 现代控制工程设计基础[M]. 广州: 暨南大学出版社, 1997. 66~ 68
2 王永初. 仪表系统的调环测试方法[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1984. 104~ 108
3 王永初. 滞后过程的预估与控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987. 49~ 50
4 金以慧. 过程控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002. 112~ 115
5 薛定宇. 控制系统计算机辅助设计——MATLAB 语言及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1996. 261~ 264

A System of Multi-Loop Smith Predictor Based on Incomplete Derivative PID Control

Song Jing Wang Yongchu

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

Abstract A kind of incomplete derivative PID controller is put forward to replace classic PID controller in a control system. A multi-loop Smith predictor is used to eliminate the influence brought about by the interrupt outside the system, and the effect of the predictor is simulated in the Matlab environment, the simulation results show that such a system characteristic of good resistance to the interrupt can improve the adjusting performance of the system.

Keywords predictor compensation, incomplete derivative PID, multi loop Smith predictor