

锅炉液位时滞系统的内模控制

林伟, 李玉榕

(福州大学 电气工程与自动化学院, 福建 福州 350002)

摘要:本文给出了单容时滞系统的改进内模控制算法。改进之处, 即在ITAE性能指标下确定 λ 参数值。然后, 通过QXLPC-III过程控制实验装置和西门子S7-300控制器, 用改进内模控制算法对锅炉液位进行控制, 结果表明这种方法具有良好的控制效果。

关键词:时滞; 改进内模控制; ITAE

中图分类号: TP273.22 文献标识码: B 文章编号: 1003-7241(2008)02-0024-03

Internal Model Control of the Time Delay System

LIN Wei, LI Yu-rong

(Fuzhou University Electrical Engineering and Automation Department, Fujian Fuzhou 350002 China)

Abstract: The paper presents an improved internal model control algorithm for the first order time delay system. The improvement is that the λ parameter is determined by the ITAE performance index. The design is verified on the QXLPC-III process control test installation with a S7-300 controller.

Key Words: time delay; improved internal model control; ITAE

1 引言

在工业控制领域当中, 时滞系统是一种难控系统, 也是当前研究的热点。对于时滞系统来说, 常规的PID调节器难以获得满意的控制效果。内模控制(Internal Model Control, 简称IMC)是一种基于过程数学模型进行控制器设计的新型控制策略, 它是在控制系统中引入了内部模型, 使系统的反馈量由常见的输出全反馈变为对象、干扰和模型输出之差的反馈, 这一控制结构的精妙之处是能将PID控制、Smith预估控制、多种预测控制等归纳在同一架构之下。当存在建模误差或干扰时, 滤波器发挥作用, 抑制干扰或模型失配而引起的实际输出与模型输出之差。这样, 系统的设定值响应和干扰响应被分离开来, 使系统既有较好的设定值响应性能, 又有较好的抗干扰性能和鲁棒性能。且控制器的设计也变得容易。由于其设计简单、控制性能好和具有良好的系统分析, 使得内模控制不仅是一种实用的先进控制算法, 而且还是提高常规控制系统设计水平的有力工具。与经典PID控制相比, 内模控制仅有一个整定参数 λ , 参数调整与系统动态品质和鲁棒性的关系比较明确。而且内模控制本身具有偏差积分作用, 无需在内模控制设计时引入积分环节。

2 内模控制原理

内模控制原理图及等价结构图如图1和图2所示, $G_{IMC}(s)$ 为内模控制器, $G(s)$ 为过程, $G_0(s)$ 为过程模型, $G_d(s)$ 为扰动通道传递函数。

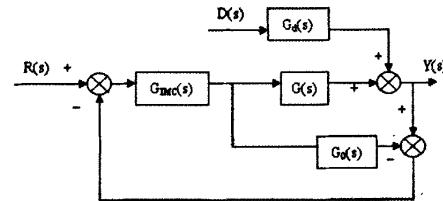


图1 内模控制原理图

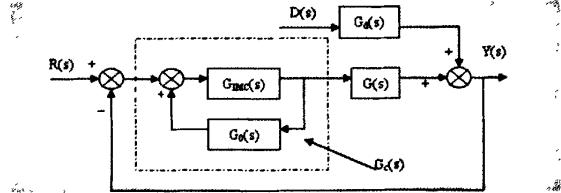


图2 内模控制等价结构图

对于图2中的内环反馈控制器, 有:

$$G_e(s) = \frac{G_{IMC}(s)}{1 - G_{IMC}(s)G_0(s)} \quad (1)$$

设被控对象为

$$G(s) = \frac{k}{Ts + 1} e^{-Ls} \quad (2)$$

式(2)中, k为放大系数; T为时间常数; L为时滞时间。

假设 $G_0(s) = G(s)$, 将过程模型 $G_0(s)$ 分为两部分, 其中 $G_{0+}(s) = e^{-Ls}$, $G_{0-}(s) = \frac{k}{Ts + 1}$ 。当鲁棒滤波器取为 $f(s) = \frac{1}{1 + \lambda s}$ 时, 可得:

$$\begin{aligned} G_{IMC}(s) &= G_{0-}^{-1}(s)f(s) \\ &= \frac{Ts + 1}{k(1 + \lambda s)} \end{aligned} \quad (3)$$

当时滞环节 e^{-Ls} 用对称一阶 Pade 逼近^[1]时, 可得:

$$G_0(s) \approx \frac{k}{Ts + 1} \cdot \frac{1 - 0.5Ls}{1 + 0.5Ls} \quad (4)$$

根据式(1), 可得:

$$G_e(s) = \frac{\frac{Ts + 1}{k(1 + \lambda s)}}{1 - \frac{1 - 0.5Ls}{(1 + \lambda s)(1 + 0.5Ls)}} = K_f \frac{0.5Ls + 1}{T_f s + 1} \cdot \frac{Ts + 1}{s} \quad (5)$$

其中 $K_f = \frac{1}{k(\lambda + L)}$, $T_f = \frac{\lambda L}{2(\lambda + L)}$, 从式(5)可以看出, 单容时滞对象的内模控制可以用一个带滤波器的PI控制器来实现。

3 λ 值在ITAE性能指标下的确定

以前的文献^[1,7-9]研究中, λ 的取值没有统一的标准, 本章采用 ITAE 最佳调节律, 如式(6)所示, 来实现 λ 值的确定。

$$J(ITAE) = \int_0^{\infty} |e(t)| dt = \min \quad (6)$$

4 锅炉液位控制实验的设备介绍

现场控制对象是QXLPC-III 过程控制实验装置, 是本次进行锅炉液位控制的主要控制对象, 过程控制实验装置实景图见图3。QXLPC-III 过程控制实验装置是上海齐鑫科教实业公司专为从事生产过程自动化专业学习教学和科研的学生、教师和专业技术人员研制开发的一套由被控过程, 过程检测与变送, 过程控制以及执行机构等内容组成的, 并以温度、液位(本次实验研究的对象)、压力、流量为其主要受控变量或操纵变量的教学、科研实验设备。它主要由三个部分构成:

1. 由变频水泵、高位恒压水塔和储水池构成的供排水系统。

2. 由分布在三个不同层面上的五个单元所组成的被控过程, 这五个单元分别是:

1) 带有冷却水夹套的热水锅炉单元。它是整个被控过程的核心, 在它上面带有一个液位检测及变送仪表, 一个夹套冷却水温和一个锅炉水温温度检测传感器以及锅炉水加热执行器。

2) 2组流量检测与调节执行组合单元。这每一组都由一台电磁式流量计和一台德国宝得公司活塞式气动调节阀和1个二位式电磁阀构成, 它也是整个被控过程又一重要的过程检测与调节执行机构。(用户也可选择电动调节阀或其它型号的调节阀)。

3) 1个回路的压力检测单元。

4) 1个并联双容单元, 装有2个反压式液位检测与变送装置。

3. 由各种过程控制器(例如: 常规控制仪表, 可编程控制仪表, DCS 或 PCS 等), 工作电源和所有来自被控过程的过程

检测与变送信号构成过程控制实验操作台。

这三个部分, 乃至被控过程中的五个单元, 彼此之间均相对独立, 用户可根据具体情况自由选取, 具有极大的灵活性。

西门子 S7-300^[2]是模块化小型 PLC 系统, 能满足中等性能要求的应用。各种单独的模块之间可进行广泛组合构成不同要求的系统。主要包括: 导轨(RACK)、电源模块(PS)、中央处理器单元(CPU)、接口模块(IM)、信号模块(SM)、功能模块(FM)、通信处理器(CP)等。

STEP7是西门子 PLC 配置和编程的标准软件包, 用户可以使用 STEP7 进行系统配置、硬件组态和程序的编写、调试, 在线诊断 PLC 硬件配置状态、控制 PLC 的运行状态和 I/O 通道的状态等。

SIMATIC WinCC^[3]是可视化的监控组态运行软件包。本系统采用 WinCC V6.0 作为本地实验的监控软件。

5 西门子工业以太网控制系统的硬件组态

在 PLC 控制系统设计初期, 硬件组态的任务就是在 STEP7 中的“HW Config”生成一个与实际的硬件系统完全相同的系统。

本文建立的 SIMATIC 工业以太网控制系统, 在 CPU315 的 PN-IO 接口建立以太网总线, 并在总线上逐个添加支持工业以太网通讯协议的交换 SCALANCE-X208 等。双击某一模块, 打开该模块的属性窗口, 可在其中设置模块 IP 地址、测量范围、滤波功能等相关属性。主 CPU 和监控 PC/PG 的 Ethernet IP 地址设置为 192.168.0.1、192.168.0.2, 其他从站 IP 地址从 192.168.0.3 开始依次往下设置。并将基于工业以太网技术的自动化总线标准 PROFINET 用于控制系统通讯。

6 锅炉液位控制实验

控制界面如图4所示。

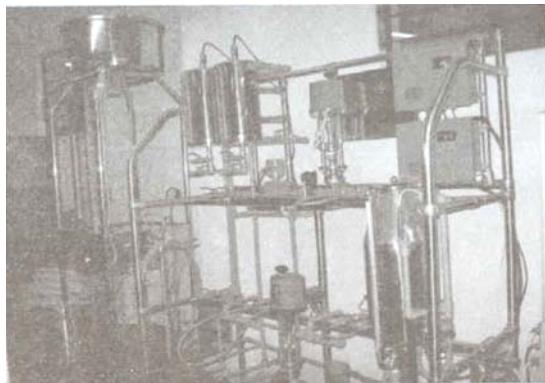


图3 QXLPC-III 过程控制实验装置实景图

建模方法分为两大类: 机理建模和实验建模。机理建模理论上可以很精确, 但实际上受客观条件的限制很难做到, 对于复杂的系统必须事先做许多简化和理想化后, 才能建立起机理建

模，实验建模把被研究的对象看作为一个黑箱，通过施加不同的输入信号，研究对象的输出响应信号与输入激励信号之间的关系，估计出系统的数学模型。本文采用实验建模。

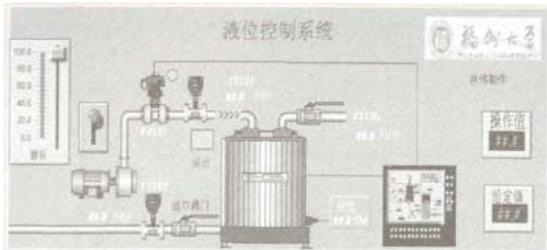


图4 液位控制系统界面

锅炉液位模型测试实验步骤如下：

- (1) 将锅炉液位信号和进出水回路流量信号连接至S7-300，通过监控软件WinCC V6.0来显示其状态
- (2) 启动WinCC V6.0软件，加入进出水回路流量信号连接和锅炉的液位信号连接。在历史数据曲线窗口采集实验曲线。
- (3) 开启水泵，系统投运，手动进水及出水阀门使液位保持在一定值上。
- (4) 系统平衡后，突然开大进水阀门至一定阀位（适度），记录数据，待系统重新稳定。

根据上述方法，采样时间为0.2秒，在液位25cm处，加大进水阀门，求得锅炉液位在30cm处模型，曲线图如图5所示。

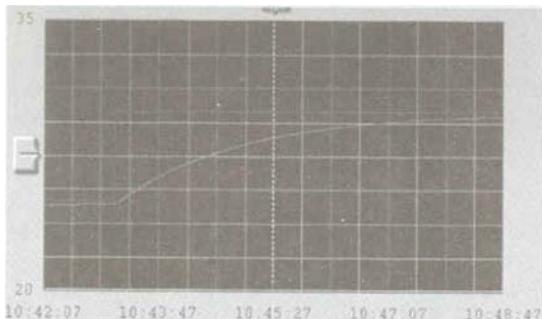


图5 锅炉液位模型测试曲线

根据作图法^[4]，可得锅炉液位模型在30cm处的传递函数为：

$$G(s) = \frac{1.042}{202s+1} e^{-2s} \quad (7)$$

实验设定锅炉液位的从25cm上升到30cm，并待液位稳定后，给定液位5升/分钟的扰动输入，采样时间为0.2秒，用本文改进内模控制，在matlab仿真环境下，求得 $\lambda=1.1008$ 。 $G_c(s)$ 控制器采用零阶保持器离散化后，得到控制量 $u(k)$ 与误差 $e(k)$ 的关系，如式(8)所示。

$$\begin{aligned} u(k) - 1.819u(k-1) + 0.8187u(k-2) \\ = 184.7e(k) - 264.5e(k-1) + 79.95e(k-2) \end{aligned} \quad (8)$$

然后把所求得的控制参数用STEP7编程，得到液位实验响应

曲线如图6所示。

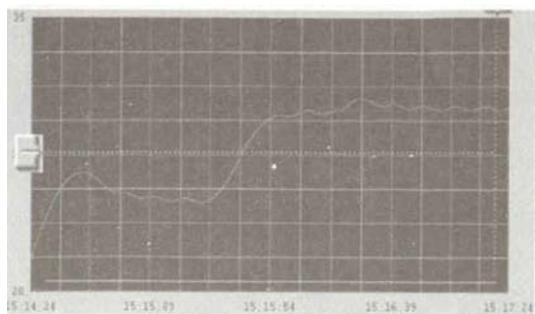


图6 锅炉液位改进内模控制曲线

从图6可以看出，液位调节时间达0.5分钟左右，当液位加入扰动输入后，上超调达到10%左右，大约经过15秒后，系统恢复平衡。

6 结束语

以上实验结果说明了，本文编制的改进内模控制器，对系统的液位控制具有自适应能力，具有比较满意的动态和静态性能，鲁棒性强。

参考文献：

- [1] 王福永. 纯滞后系统内模控制器的设计与仿真研究[J]. 苏州大学学报(工科版). 2003, 23(1): 49-53
- [2] 西门子(中国有限公司) 自动化与驱动集团. 深入浅出西门子S7-300PLC[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.
- [3] 西门子(中国有限公司) 自动化与驱动集团. 深入浅出西门子WinCC V6[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.
- [4] 方康玲, 主编. 过程控制系统[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2002.8-33
- [5] 柴瑞娟, 陈海霞. 西门子PLC编程技术及工程应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006
- [6] 王树青, 等. 先进控制技术及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.48-53
- [7] 杨智, 刘敬东, 赵克中. 基于内模结构的模糊控制器 [J]. 甘肃科学学报. 2000, 12(2): 15-19
- [8] 谭功全, 陈永会. 内模控制器的一种简单设计 [J]. 自动化与仪器仪表. 2002, 1: 11-15
- [9] 游浩. 内模控制和IMC-PID控制及其应用 [D]. 北京化工大学, 2000

作者简介：林伟（1983—），男，硕士研究生，研究方向：纯时滞系统的优化控制。