

双输入双输出时滞过程解耦 Smith 控制^①

孙 权, 何建忠, 王文华

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

摘 要: 针对实际工业过程控制中常见的双输入双输出时滞过程, 提出基于 Smith 预估补偿控制的反向解耦控制器设计方法。通过对系统解耦后的对象采用内模控制思想设计 Smith 预估控制器, 并讨论控制系统对象为一阶加纯滞后 (FOPDT) 模型下其控制器的实现方法和系统鲁棒稳定性分析。结合实际过程中的模型实例, 该解耦控制方案使得系统各路输出响应完全解耦并具有较好的标称性能和鲁棒性。仿真实例验证了该方案的有效性和优越性。

关键词: 双输入双输出过程; 时滞; 解耦; 内模控制; Smith 预估控制

Decoupling Smith Control for Two-input Two-output Process with Delay

SUN Quan, HE Jian-Zhong, WANG Wen-Hua

(School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: A design method of inverted decoupling control, based on Smith predictive control, is proposed for TITO time-delay process which is common in industrial application. By analyzing the decoupled model, the Smith predictive controller is developed that adopting the concept of internal model control. According to the research on the control model as FOPDT, the method of developing the controller and analysis of robust stability is completed. The decoupling control scheme not only can absolutely decouple the responses of system outputs but also guarantee the nominal performance and robustness. The simulation outcomes verify the effectiveness and superiority of the proposed method.

Key words: TITO process; time-delay; decoupling; IMC; Smith predictive control

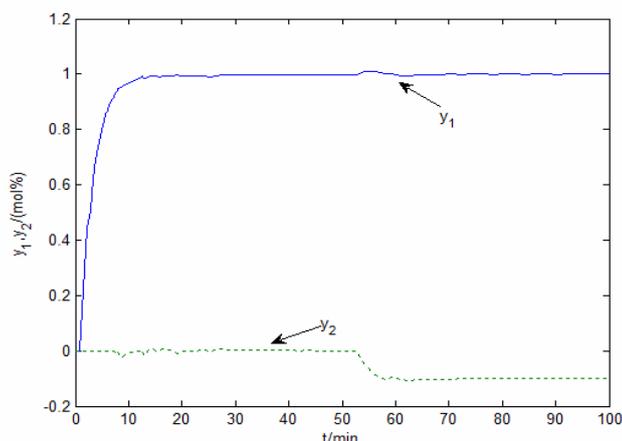
工业过程控制中普遍存在具有时滞的多输入多输出过程, 并且时滞环节使得被控过程动态性能和稳定性分析更加困难。因此, 时滞系统解耦的研究成为目前过程控制研究领域的一个重要课题^[1-4]。实际生产过程中, 各输出通道之间存在交联耦合作用且存在不同程度的时间滞后。对于存在耦合关系的多变量时滞系统, 文献[2,3]基于常规的单位反馈闭环控制结构提出了一种解析设计解耦控制器矩阵的方法, 文献[4-7]基于内模控制结构提出期望的对角化系统传递函数矩阵的形式从而拟合出稳定实现的解耦控制器。文献[8]引入解耦器消除系统内部耦合并设计 Smith 预估控制器实现多变量时滞系统的解耦控制。本文基于内模控制和 Smith 预估补偿原理

提出反向解耦控制器的设计并利用内模控制器设计的方法设计 Smith 预估控制器以达到双输入双输出时滞系统的解耦控制, 获得较好的稳定性能和动态品质。

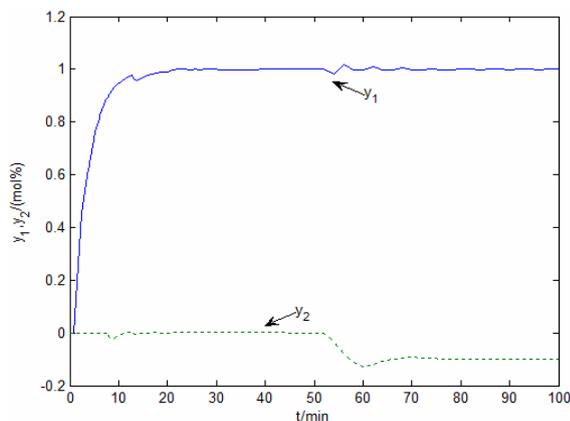
1 解耦控制数学模型设计分析

工业过程控制中对于包含延迟对象的系统, 广泛采用 Smith 预估补偿方法以使整个系统达到良好的效果, 可以减小超调并加速调节过程^[1]。从原理上来讲, Smith 预估补偿控制与内模控制实际上是等效的。本文结合 Smith 预估补偿控制及文献[3]的解耦内模控制方法, 提出双变量时滞过程反向解耦 Smith 控制, 如图 1 所示。

① 收稿时间:2011-06-24;收到修改稿时间:2011-08-05

图3 输出 y_1 , y_2 的增量曲线

从图3中可以看出,通过对解耦控制器的设计和参数 λ_1 、 λ_2 的整定,系统的响应曲线平稳且无超调,该仿真结果较文献[3]仿真后的结果具有更加良好的动态性能,具有更快的响应速度,此方法可使系统无超调地快速跟踪,无稳态误差并具有良好的解耦性。对于系统的鲁棒性分析仿真,使 $G_p(s)$ 中各元素的静态增益和纯滞后时间增加 20%,时间常数减小 20%。在其他条件不变的情况下对该系统进行仿真验证,其得到的响应曲线如图4所示:

图4 输出 y_1 , y_2 的增量曲线

通过图4可以得出,本文中设计的反向解耦控制方法以及 Smith 预估控制器对控制系统具有较好的解耦性和鲁棒稳定性。

4 结论

本文针对双输入双输出时滞过程,采用内模控制与 Smith 预估补偿理论相结合的方法,提出反向解耦控制及系统控制器的设计方法,实现了各路输出的动态解耦,有效地改善了系统的动态性能。并通过仿真表明该方案有效可行并保证系统良好的响应性能和鲁棒稳定性,具有一定的实用价值。

参考文献

- 1 黄灿,桂卫华,阳春华,蒋朝辉,谢永芳.多变量时滞过程解耦 Smith 控制.控制理论与应用,2010,27(10):1393-1398.
- 2 刘涛,张卫东,顾诞英.多变量时滞过程的解耦控制设计.自动化学报,2005,31(6):881-889.
- 3 汤伟,施颂椒,王孟效.大时滞过程双自由度自整定内模控制.上海交通大学学报,2003,37(4):493-498
- 4 靳其兵,袁琴.双输入双输出过程解耦内模控制.控制工程,2009,16(1):5-7,11.
- 5 Cha S, Chun D, Lee J. Two-step IMC-PID method for multiloop control system design. Industrial & Engineering Chemical Research, 2002,41(12):3037-3041.
- 6 王东风,王剑东,韩璞.一种多变量系统的内模解耦控制设计方法.控制工程,2003,10(5):463-465.
- 7 Wang QG, Zhang Y, Chiu MS. Decoupling internal model control for multivariable system with multiple time delays. Chemical Engineering Science, 2002,57(1):115-124.
- 8 Zhang WD, Sun YX. Two degree of freedom Smith predictor for processes with time delay. Automatica, 1998,34:1279-1282.
- 9 Wood RK, Berry YMW. Terminal composition of binary distillation column. Chemical Engineering Science, 1973, 28(9):1707-1717.
- 10 Wang QG, Huang B, Guo X. Auto-tuning of TITO decoupling controllers from step tests. ISA Transactions, 2000,39(4):407-418.
- 11 Wang QG, Zhang Y, Chiu MS. Non-interacting control design for multivariable industry processes. Journal of Process Control, 2003,13(3):253-165.
- 12 邵惠鹤.工业过程高级控制.上海:上海交通大学出版社,1997.