

文章编号: 1001-0920(2001) 02-0239-03

# 对象参考参数自适应时滞补偿器

鲁照权<sup>1</sup>, 韩江洪<sup>2</sup>

(1. 合肥工业大学 电气工程学院, 安徽 合肥 230009; 2. 合肥工业大学 计算机与信息学院, 安徽 合肥 230009)

**摘要:** 基于模型参考自适应控制原理, 提出对象参考参数自适应时滞补偿器。以线性大时滞不确定被控对象为参考模型综合出自适应律, 使预估补偿器的参数逐步逼近被控对象的参数直至相等。仿真研究表明, 在参数不匹配和出现负荷扰动的情况下, 参数自适应时滞补偿器均有良好的预估补偿能力。

**关键词:** 补偿器; 对象参考; 参数自适应; 大时滞; 不确定对象

中图分类号: TP 13

文献标识码: A

## Object Reference Adaptive Dead Time Compensator

LU Zhao-quan<sup>1</sup>, HAN Jiang-hong<sup>2</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. School of Computer Science and Information Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** Based on model reference adaptive control method, a kind of object reference adaptive dead time compensator is presented. The uncertain object with dead time is taken as a reference model and a kind of adaptive rule is proposed to make parameters of the compensator to approach the object's. Simulation results show that the object reference adaptive compensator has good performance to overcome disturbance and deviations of model parameters.

**Key words:** compensator; object reference; parameter adapt; dead time; uncertain object

## 1 引言

在大时滞过程控制中, Smith 预估补偿<sup>[1]</sup>方法已得到广泛的应用。其特点是预先估计出过程在基本扰动下的动态特性, 然后由预估器进行补偿, 力图使时滞  $\tau$  的被调量超前反映到调节器, 使调节器提前动作, 减小超调量并加快调节过程。然而 Smith 预估器对被控对象精确的数学模型有很强的依赖性, 当模型精度或运行条件发生变化时均影响控制效果, 甚至不稳定。为此, 人们提出了多种增益自适应补偿方案<sup>[2,3]</sup>、改进型方案<sup>[4]</sup>及其它类型的 Smith 方案<sup>[5-7]</sup>。

本文基于模型参考自适应控制原理, 提出对象参考参数自适应时滞补偿器, 力图使其模型参数在自适应律的控制下保持与被控对象一致。针对一阶惯性加时滞对象, 基于李亚普诺夫渐近稳定定理设计了自适应律。仿真结果表明, 参数自适应时滞补偿器对参数不匹配及负荷扰动有很强的适应能力。

## 2 参数自适应时滞补偿器

Smith 预估补偿控制原理如图 1 所示。图中,  $k_p g_p(s) e^{-\tau_p s}$  为被控对象,  $k_s g_s(s)$  为 Smith 预估补偿器的传递函数。显然, 当

收稿日期: 2000-03-23; 修回日期: 2000-05-26

作者简介: 鲁照权(1962—), 男, 安徽庐江人, 讲师, 博士生, 从事过程智能控制研究; 韩江洪(1954—), 男, 安徽泾县人, 教授, 博士生导师, 从事智能控制和神经网络及应用研究。

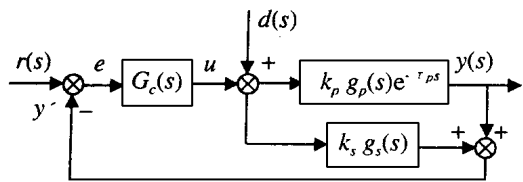


图1 Smith 预估补偿控制原理

$$k_s g_s(s) = k_p g_p(s) (1 - e^{-\tau_p s}) \quad (1)$$

时<sup>[8]</sup>,可消除大时滞对系统过渡过程的影响,使调节过程的品质与过程无时滞环节的情况一样,只在时间坐标上向后推迟一个时间  $\tau_p$ 。在工程上式(1)很难成立,考虑一般性,设

$$k_m g_m(s) = k_p g_p(s) (1 - e^{-\tau_p s}) \quad (2)$$

为使  $k_m g_m(s)$  能逼近  $k_p g_p(s)$ , 取  $k_p g_p(s)$  为参考模型。对象参考参数自适应时滞补偿控制原理如图2所示。

### 3 自适应律<sup>[9]</sup>

下面以一阶惯性加纯时滞环节为例,讨论自适应律设计。设

$$k_p g_p(s) = \frac{k_p}{T_p s + 1} \quad (3)$$

$$k_m g_m(s) = \frac{k_m}{T_m s + 1} \quad (4)$$

由式(3)知

$$\dot{y}_p(t) = -\frac{1}{T_p} y_p(t) + \frac{k_p}{T_p} u(t) \quad (5)$$

式中  $y_p(t)$  为被控对象无纯时滞时的响应。由式(4)和图2知

$$\dot{y}_m(t) = -\frac{1+k_m f(t)}{T_m} y_m(t) + \frac{k_m g(t)}{T_m} u(t) \quad (6)$$

假设  $k_m g_m(s) = k_p g_p(s)$ ,  $T_m = \tau_p$ , 则  $y_p(t) = y(t)$ , 即

$$\dot{y}(t) = -\frac{1}{T_p} y(t) + \frac{k_p}{T_p} u(t) \quad (7)$$

则  $e_y(t) = y(t) - y_m(t)$  (8)

将式(6)和(7)代入并整理得

$$\dot{e}_y(t) = -\frac{1}{T_p} e_y(t) - \Phi(t) y_m(t) + \Psi(t) u(t) \quad (9)$$

式中

$$\begin{cases} \Phi(t) = \frac{1}{T_p} - \frac{1+k_m f(t)}{T_m} \\ \Psi(t) = \frac{k_p}{T_p} - \frac{k_m g(t)}{T_m} \end{cases} \quad (10)$$

为使补偿器模型逼近被控对象,应设计  $f(t)$  和  $g(t)$  的自适应律,使式(9)渐近稳定。即当  $t \rightarrow \infty$  时,  $e_y(t) \rightarrow 0, \Phi(t) \rightarrow 0, \Psi(t) \rightarrow 0$ <sup>[10]</sup>。选取李亚普诺夫函数为

$$V(\epsilon) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{k_m}{T_m} e_y^2 + \frac{1}{\lambda_1} \Phi^2 + \frac{1}{\lambda_2} \Psi^2 \right\} \quad (11)$$

式中,  $\lambda_1 > 0, \lambda_2 > 0$ 。设  $k_m/T_m > 0$ , 则  $V(\epsilon) > 0$  对所有  $\epsilon \neq 0$  均成立。而

$$\dot{V}(\epsilon) = -\frac{k_m}{T_p T_m} e_y^2 + \left\{ \frac{1}{\lambda_1} \dot{\Phi} - \frac{k_m}{T_m} e_y y_m(t) \right\} + \left\{ \frac{1}{\lambda_2} \dot{\Psi} + \frac{k_m}{T_m} e_y u(t) \right\} \quad (12)$$

若选

$$\begin{cases} \dot{\Phi}(t) = \lambda_1 \frac{k_m}{T_m} e_y y_m(t) \\ \dot{\Psi}(t) = -\lambda_2 \frac{k_m}{T_m} e_y u(t) \end{cases} \quad (13)$$

则

$$\dot{V}(\epsilon) = -\frac{k_m}{T_p T_m} e_y^2 \leq 0, \quad T_p > 0 \quad (14)$$

因为  $V(\epsilon) > 0, \dot{V}(\epsilon) \leq 0$ , 只要按式(10)决定  $\Phi(t)$  和  $\Psi(t)$ , 即可保证式(9)稳定。将式(10)对时间  $t$  求导,得

$$\begin{cases} \dot{\Phi}(t) = -\frac{k_m}{T_m} \dot{f}(t) \\ \dot{\Psi}(t) = -\frac{k_m}{T_m} \dot{g}(t) \end{cases} \quad (15)$$

分别代入式(13),得

$$\begin{cases} \dot{f}(t) = -\lambda_1 e_y y_m(t) \\ \dot{g}(t) = \lambda_2 e_y u(t) \end{cases} \quad (16)$$

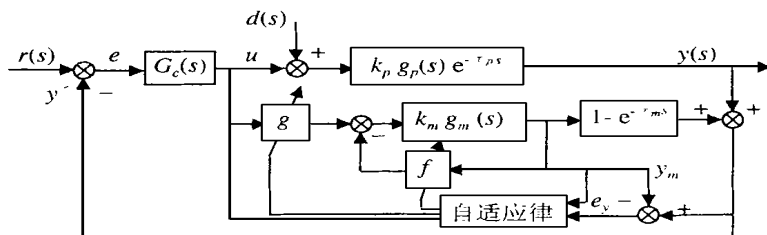


图2 对象参考参数自适应时滞补偿控制原理

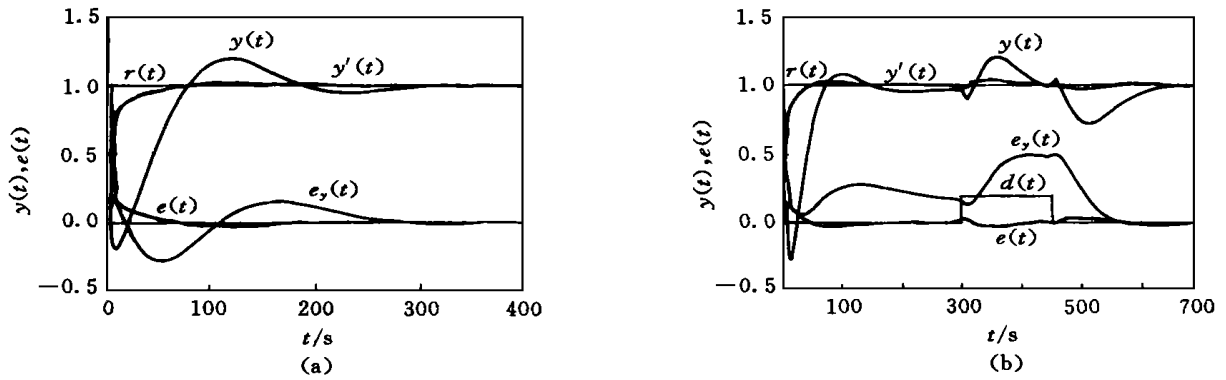


图 3 输入单位阶跃信号的响应曲线

(a)  $d(t) = 0$  (b)  $d(t) = 0.2$ 

式(16)即为时滞补偿器模型的参数自适应律。

## 4 仿真研究

设被控对象、预估器和控制器模型分别为

$$G_p(s) = \frac{k_p}{T_p s + 1} e^{-\tau_p s}$$

$$G_m(s) = \frac{k_m}{T_m s + 1} e^{-\tau_m s}$$

$$G_c(s) = k_c + k_I \frac{1}{s}$$

令  $k_p = 2$ ,  $T_p = 30\text{s}$ ,  $\tau_p = 30\text{s}$ ,  $k_m = 3$ ,  $T_m = 20\text{s}$ ,  $\tau_m = 20\text{s}$ ,  $k_c = 2$ ,  $k_I = 0.1$ 。纯滞后环节采用一阶 Pade 近似。仿真结果如图 3 所示。

## 5 结论

对象参考参数自适应时滞补偿器是基于 Smith 预估补偿器、模型参考自适应控制原理和李亚普诺夫渐近稳定定理而设计的,具有完善的理论基础。仿真结果表明,当补偿器模型参数不匹配或出现外部扰动时,对象参考参数自适应时滞补偿器均有良好的补偿效果,从而具有很高的应用价值。

## 参考文献:

- [1] Smith O J M. A controller to overcome dead time[J]. ISAJ, 1958, (2): 28-33.
- [2] Giles R F, Bartley T M. Gain-adaptive dead time compensation[J]. ISA Trans, 1977, (1): 46-49.
- [3] 王连铮, 张建华, 孟庆贤. 增益预估自适应纯滞后补偿控制器[J]. 自动化学报, 1997, 23(1): 139-142.
- [4] Hang C C. A performance study of control system with dead time[J]. IEEE IECE, 1980, 27: 234-241.
- [5] 刘欣, 尹绍清, 肖顺达. 模糊自适应 Smith 预估控制及应用[J]. 控制理论与应用, 1993, 10(6): 399-403.
- [6] 王建辉, 齐昕, 顾树生. 一类纯滞后系统模糊 Smith 控制策略的研究[J]. 控制与决策, 1998, 13(2): 141-145.
- [7] 汪洋, 苏宏业, 金建祥, 等. 基于建模误差估计的 Smith 补偿器鲁棒稳定化自动整定算法[J]. 仪器仪表学报, 1998, 19(2): 140-146.
- [8] 金以慧. 过程控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993. 339-366.
- [9] 李清泉. 自适应控制系统理论、设计与应用[M]. 北京: 科学出版社, 1990. 153-195.
- [10] 郑大钟. 线性系统理论[M]. 北京: 清华大学出版社, 1990. 121-140.