

具有大纯滞后系统控制算法的研究

沈宪章 刘晓兰 吴天福

闵尊南

(郑州工业大学计自系) (江西电力职工大学 330032)

摘 要 本文针对具有大纯滞后的系统,分析了 Smith 预估补偿控制和采样 PI 控制的工作原理,并通过仿真对两种控制算法进行了比较研究。

关键词 滞后 Smith 预估补偿 采样 PI 控制 控制算法 仿真

中图分类号 TP13

1 问题的提出

纯滞后现象在实际工业生产中是很常见的。比如,氧气站到炼钢厂的氧气输送系统,连续轧钢机钢带厚度控制系统等,纯滞后特性都很明显。理想的纯滞后环节其输入、输出波形完全相同,仅是在时间上输出滞后于输入一个固定的时间。在实际工业生产中,只单纯地含有纯滞后特性的情况是较少的,大部分工艺过程的动态特性常是既包含有纯滞后特性又包含有惯性特性的情况,对于这种工艺过程称之为具有纯滞后的工艺过程,通常将过程的纯滞后时间 τ 和惯性时间常数 T 之比值 τ/T 作为一个衡量纯滞后大小的指标,当 $\tau/T > 0.5$ 时,则称系统为具有大纯滞后的工艺系统。

对于无纯滞后的系统,在阶跃输入作用下,输出在 $t > 0$ 时就立即有所反应,所以构成的调节系统中调节器的作用是及时的,但是当具有纯滞后时,调节器的校正作用要滞后一个纯滞后时间,这就引起调节品质下降,稳定性变差,从而使得控制问题变得复杂化,基于这个原因纯滞后系统(尤其是大纯滞后的工艺系统)被认为是最难控制的动态系统之一。

2 控制算法

在设计自动化方案时,常可以通过一些比较复杂的调节方案一如前馈、串级等来改善控制质量^[1],但是闭环内的纯滞后是前馈和串级等方案无法克服的。此外,还有一种称为“准连续 PI 控制算法”^[2],仿真研究表明该算法只适用于具有较小纯滞后的工艺对象的控制系统,当纯滞后占整个对象的动态因素较大时,(即 τ/T 较大时),采用这种算法将导致系统的性能变差。对于含大纯滞后环节的系统,目前常用的较为有效的控制算法有:Smith 预估补偿法和采样 PI 控制算法。

2.1 Smith 预估补偿算法的基本原理。

Smith 预估补偿控制系统的组成如图 1 所示,图中含有纯滞后特性的被控对象的传递

收稿日期:1996—12—27

国家自然科学基金资助(69274023)

函数为 $G_o(S)e^{-\tau s}$,Smith 予估器 $G_o(S)(1-e^{-\tau s})$ 反并接在控制器 $G_c(S)$ 上,形成带纯迟后补偿的控制器(即虚线框内部分)。该系统的闭环传递函数为

$$\frac{C(S)}{R(S)} = \frac{G_c(S)G_o(S)e^{-\tau s}}{1 + G_c(S)G_o(S)}$$

中已不含从而

控制系统的特征方程式为 $1 + G_c(S)G_o(S) = 0$ 。可见,系统经补偿后,特征方程式中已不含纯滞后,所以有可能改变控制器的放大系数,从而提高系统的动态品质。

2.2 采样PI 控制算法的基本原理

采样PI 控制系统方框图如图2所示。被控对象 $G_o(S)e^{-\tau s}$ 为具有大纯滞后的惯性对象,采样PI 控制器由采样开关K和PI 调节器 $G_c(S)$ 组成。

考虑到在调节器发出控制信号后一段时间内被控对象输出是不会改变的(因为对象存在大纯滞后特性),所以继续改变调节器的输出实际上就没有什么价值了,因此为了避免不必要的误操作,当被控对象受扰动输出偏离给定值时,采样PI 控制器仅在每个采样周期的开始时刻的一个较短的时间(Δt_c)内闭合采样开关,让调节器根据偏差信号 E^* 改变控制信号。接着,就断开采样开关,调节器保持其积分部分产生的控制信号不变,直至一个采样周期结束(保持的时间一般取为略大于对象的纯滞后时间 τ)。这实质上是一种“等等看”的控制方法,即在每个采样周期内,调节器只在周期开始的短时间调整控制量,然后等待一段足够长的时间,让控制作用得到充分反应后再作下一步的调整,因而能有效地消除纯滞后对系统的不良影响。采用这种控制步骤的算法就叫采样PI 控制算法。图3给出了采样PI 控制器的动作时间图。

3 仿真结果

为了研究比较采样PI 控制算法和Smith 予估补偿算法对具有纯滞后系统的控制效果,我们进行了系统仿真。仿真系统的方框图如图4所示。

图5~图7分别是被控对象为一阶惯性加纯滞后、二阶惯性加纯滞后和振荡环节加纯滞后的系统对阶跃输入的响应曲线,各图中(a)是采用PI 控制算法的仿真结果,(b)是采用Smith 予估补偿

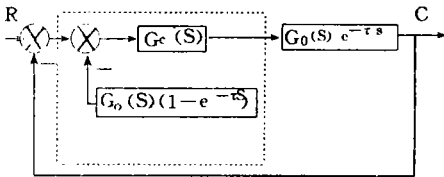


图1 Smith 予估补偿控制系统

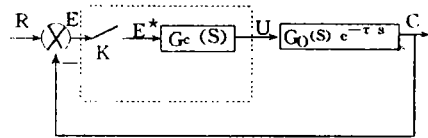


图2 采样PI 控制系统

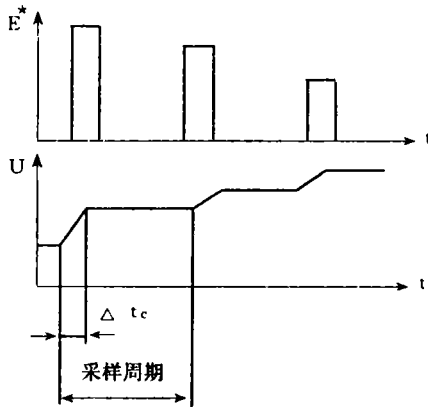


图3 采样PI控制器动作时间图

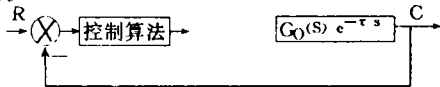


图4 仿真系统框图

算法的仿真结果。各图中还标出了响应曲线的调节时间 t_s 和最大超调量 M_p 。

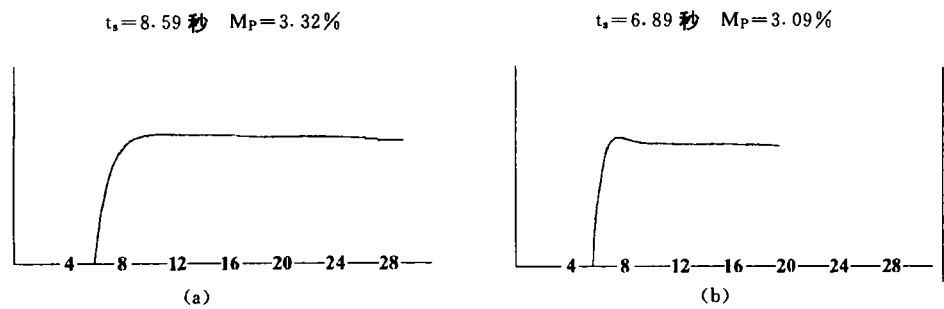


图 5 $G_0(S)e^{-s}=\frac{1}{1+S}e^{-6s}$ 响应曲线

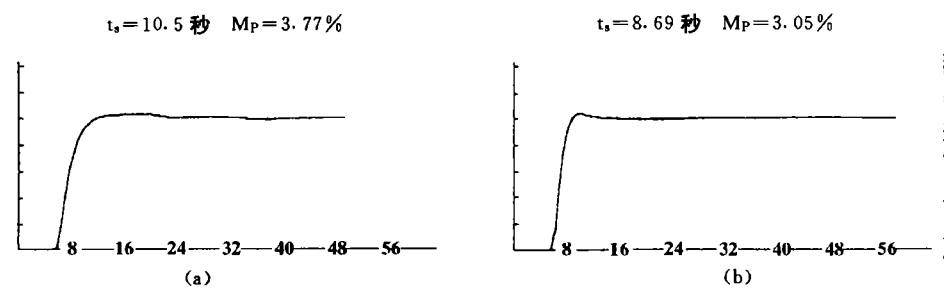


图 6 $G_0(S)e^{-s}=\frac{1}{(1+1.5S)(1+0.5S)}e^{-6s}$ 响应曲线

从响应曲线图的比较中可以看出,采样 PI 控制算法和 Smith 预估补偿算法的控制效果是相近的,对于一阶惯性加纯滞后和二阶惯性加纯滞后这样的被控对象,Smith 预估补偿算法的阶跃响应的性能指标略优于采样 PI 控制算法,而对于振荡环节加纯滞后这样的被控对象,采样 PI 控制算法的阶跃响应的性能指标优于 Smith 预估补偿算法。

需要指出的是,上述 Smith 预估被偿算法的仿真结果是在假设 Smith 预估器 $G_0(S)(1-e^{-s})$ 能完全补偿掉被控对象的纯滞后,即所采用的预估器中 $G_0(S)$ 和 e^{-s} 精确等于被控对象中的 $G_0(S)$ 和 e^{-s} 这样的前提下得到的。当预估器的模型参数和实际对象的参数有偏差时,其结果就不一样了,这种情况下的仿真结果如图 8 所示($G_0(S)=1/(1+S)$, 预估器纯滞后时间为 5.7 秒,实际对象纯滞后时间为 6 秒)。从图 8 可以看出,当 Smith 预估补偿器的参数有偏差时,系统阶跃响应将产生周期性的波动,从而使整个系统性能指标变差,调节时间 t_s 延长。而采样 PI 控制不存在此类问题。

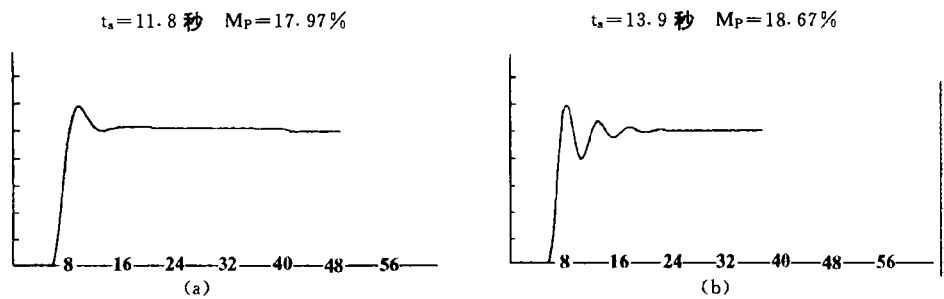


图 7 $G_0(S)e^{-s}=\frac{1}{S^2+S+1}e^{-6s}$ 响应曲线

4 结束语

通过对具有大纯滞后系统的仿真研究,可以得到如下结论:

4.1 当实际控制对象的精确数学模型已知,而且模型参数不会变化时,对大纯滞后系统可采用 Smith 预估补偿控制,也可采用采样 PI 控制,其效果均较好。

4.2 鉴于 Smith 预估补偿控制极大地依赖于预估器模型的准确程度,当所取得的实际对象模型参数不准确或参数易变时,Smith 控制器的参数与对象参数会有偏差,这时,若采用 Smith 预估算法,控制效果将变差。

4.3 鉴于采样 PI 控制算法中不包含被控对象的精确模型参数,它对被控对象数学模型准确程度的依赖性很小,故当大纯滞后系统对象模型精确参数不易取得或参数易变时,可采用采样 PI 控制算法,其控制效果较好。

$t_s = 23.9$ 秒

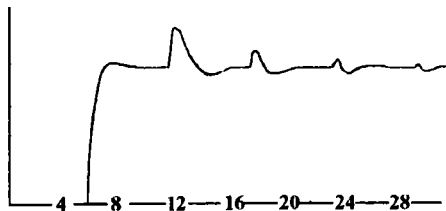


图 8 Smith 预估器参数与对象参数有偏差时的阶跃响应曲线

参 考 文 献

- 1 王冀程·祝和云·化工过程控制工程,化学工业出版社·1991
- 2 谢剑英编著·微型计算机控制技术·国防工业出版社·1991

The Study of Control Algorithm for Systems With Pure Time Delay

Shen Xianzhang Liu Xiaolan Wu Tianfu

Min zunan

(Zhengzhou University of Technology) (Jiangxi electric University for Staffs)

Abstract In this paper, the systems with pure time delay are studied. The principles of Smith predictive compensation control and sampled PI control are analysed. And the two control algorithms are compared by means of simulation.

Keywords delay Smith predictive compensation sampled PI control control algorithm, simulation.