

文章编号: 1006-4729(2001)02-0023-04

用于串级控制的模糊自调整 PID 控制

何毅¹, 李晓枫

(1 湛江发电厂, 湛江 524000; 2 广东省电力试验研究所, 广州 510600)

摘要: 针对现代电厂运行工况变化频繁, 存在严重的动态时变非线性影响因素, 提出了一种模糊参数自调整PID控制器, 用以改善自动控制系统. 该控制器的参数运用模糊推理方法, 并能按照控制系统状态及运行工况的变化情况, 自动地在线调整PID参数. 文中介绍了该方法的基本原理, 并给出一些仿真研究的结果.

关键词: 串级控制; 模糊参数自调整PID; 主蒸汽温度控制系统

中图分类号: TP273⁺.4 **文献标识码:** A

引言

主蒸汽温度控制系统的控制品质对汽温变化影响很大, 严重影响电厂有关设备的热应力, 减小蒸汽温度的波动将有利于减小再热器、过热器及汽轮机的低周疲劳损耗. 然而现在开发出来的汽温控制系统几乎都是传统的PID反馈控制.

目前各种行之有效的整定方法, 包括改进算法的Ziegler-Nichols整定法、Cohen-Coon整定法和Astrom的整定法等, 在改善自动控制系统方面发挥了重大的作用. 但由于固定参数的PID控制器采用折衷的方法来解决静态与动态控制品质之间的矛盾、跟踪设定值与抑制扰动之间的矛盾、鲁棒性与控制性能之间的矛盾等, 这就使得系统不能获得最佳的控制效果. 当工况变化, 以及控制对象存在着大惯性、非线性、大纯滞后、强干扰等特性, 用一组事先整定的PID参数实施控制难以达到很好的控制效果, 尤其当对象参数变化超过一定的范围时, 系统性能会明显变差, 甚至超出许可范围.

随着计算机技术的发展, 人们将操作人员长期积累的调整经验用人工智能的方法以作为规则, 存入计算机中, 使计算机能够自动调整PID参数, 这样就出现了智能PID控制器. 这种将传统的PID控制与先进的专家系统结合起来的智能PID控制器, 使PID控制技术前进了一大步. 但由于操

作者经验不易精确描述, 控制过程中各种信号量以及评价指标难以定量表示, 因此, 这类控制器未能很好地将有用控制的知识和调整经验形成相应的控制律.

本文提出了一种用于串级控制的模糊自调整方法, 在自调整机构中, 按偏差信号及其变化趋势的大小、方向等特征, 通过模糊推理对P、I、D参数作出相应的调整, 以使控制参数在一个合理的稳定裕度范围内变化.

1 数字控制算式

在DCS中, 需用采样计算方法来算出控制方程中的各项. 因而采用差分方程显得更为方便. 在欧陆公司的DCS中, PID算法通常写成下面的形式:

$$OP_n = -\frac{100}{XP} \left(ER_n + \frac{TS}{T_I} \sum_{r=1}^n ER_r + \frac{T_D}{TS} \Delta PV_n \right) + FF \quad (1)$$

式中:

OP_n ——第 n 步采样后控制器的输出;

FF ——前馈项;

XP ——比例带(P);

T_I ——积分时间(I);

T_D ——微分时间(D);

ER_n ——第 n 步采样误差值;

ΔPV_n ——第 $n-1$ 步至第 n 步测量值的变化量;
 T ——时间;
 ER_r ——第 r 步采样误差值.

2 PID 参数的 Fuzzy 自调整控制

在整定出 XP, T_I, T_D 初值的基础上,^[2,3] 采用一种新的 Fuzzy 自调整机构在线调整 PID 参数, 以达到抑制大范围的扰动, 改进系统动态响应性能, 快速抑制定值等扰动的目的.

模糊自调整算式分别有:

$$XP = \frac{100(0.5 + \alpha)}{K_{pc}} \tag{2}$$

$$T_D = T_{dc}(0.5 + \alpha), T_I = 4T_D \tag{3}$$

调整因子 α 的在线调整规律是由一个模糊推理生成:

$$\alpha(t+1) = \alpha(t) + \gamma h(t), \alpha(t) \in (0,1) \tag{4}$$

式中: γ 为经验系数.

通过设置不同的模糊映射表就可以得到所希望的、不同形状的 $\alpha(t)$ 曲线. 按上面规则推理生成的一个模糊映射方式如表 1 所示, $h(t)$ 的在线自调整即为简单的查询表. 表 1 中: H 为 $h(t)$ 的模糊数; E 为偏差 e 的模糊数; CE 为偏差变化率的模糊数.

表 1 $H(t)$ 的模糊自调整查询表

H		CE										
		+4	+3	+2	+1	+0	0	-0	-1	-2	-3	-4
E	+4	PB	PB	PB	PS	0	R	0	NS	NB	NB	NB
	+3	PB	PB	PS	PS	0	R	0	NS	NS	NB	NB
	+2	PB	PS	PS	PS	0	R	0	NS	NS	NS	NB
	+1	PS	PS	PS	PS	0	R	0	NS	NS	NS	NS
	+0	0	0	0	0	0	R	0	0	0	0	0
	0	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
	-0	0	0	0	0	0	R	0	0	0	0	0
	-1	NS	NS	NS	NS	0	R	0	PS	PS	PS	PS
	-2	NB	NS	NS	NS	0	R	0	PS	PS	PS	PB
	-3	NB	NB	NS	NS	0	R	0	PS	PS	PB	PB
	-4	NB	NB	NB	NS	0	R	0	PS	PB	PB	PB

3 串级控制的模糊自调整 PID 控制

对于过程控制中存在大迟延的系统, 目前大多数仍采用串级 PID 控制. 锅炉主蒸汽温度控制就是一种典型控制系统. 其主回路控制的是一个 大迟延的对象, 且对控制品质要求很高, 用传统 PID 控制往往很难达到满意的控制效果, 为此, 我们在主回路的 PID 控制器中嵌入参数模糊自调整机构(见图 1); 其副回路是一个快速对象, 而且控制精度要求不高. 我们保持传统 PID 控制器, 用比例控制(即 P), 参数的整定用传统的 (Ziegler-Nichol) 方法即可.

系统的构造方法如下:

1 主回路按上述的方法构成 PID 参数模糊

自调整控制器, 副回路仍用传统 P 控制器.

2 先将主回路保持在跟踪状态, 副回路投入自动, 并将副回路切换到 On-Off 控制, 检测出此时副回路的临界参数, 按 Ziegler-Nichol(以下简称为 Z-N)方法计算出的副回路 P 参数, 在 P 控制器中将副环 P 控制参数设定好.

3 而后将主回路投入串级控制系统, 并将主回路切换到 On-Off 控制, 检测出此时主回路的临界参数, 按 SM 方法分别计算出主回路最小及最大稳定裕度的 P, I, D 参数.

4 将由 SM 方法计算出的最小及最大稳定裕度的 P, I, D 参数加入参数模糊自调整机构中再投入自动.

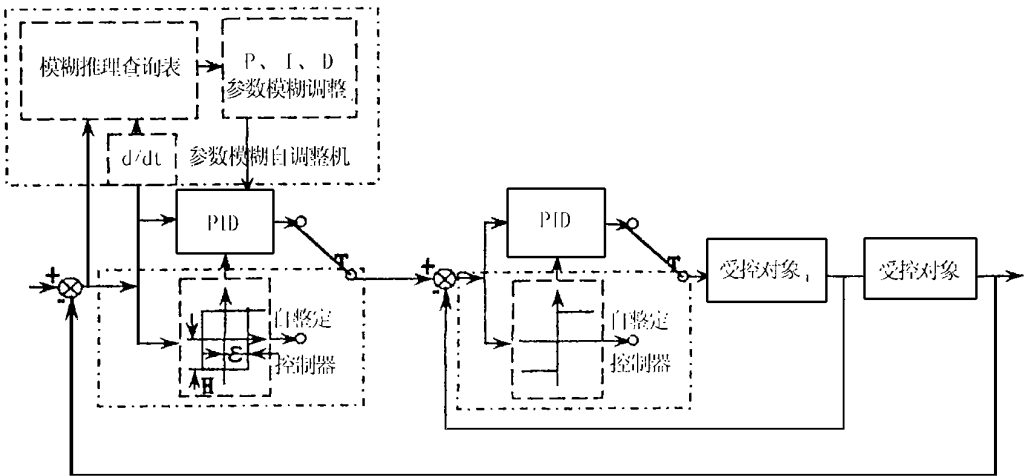


图 1 在典型的串级(汽温控制系统)PID 控制器上加入模糊自调整的框图

4 蒸汽温度控制的数学模型

现代化电厂要求过热蒸汽系统更多地运行在一个大的负荷变化范围,而不是稳定在某一个负荷.这就意味着控制系统的参数要随着负荷的变化来设定,要求在新的运行工况下整定出一组新的控制参数.由于蒸发系统中含有许多复杂的、非线性的物理过程,使得它只能用非线性模型来描述.一个折衷的方法是采用拟线性模型,它实际上是一个依据不同负荷的运行工况、相应改变有关参数的线性模型.可变参数主要有传递函数的时间常数和放大倍数.用于模拟控制系统在 30% ~ 100% 负荷的范围变化.表 2 给出了某 600 MW 燃煤电厂过热汽温系统在不同运行工况下的传递函数,该系统在 100%, 75%, 50%, 37% 负荷下传递函数中的有关参数有所不同,将各个传递函数列

于表 2 中.

表 2 汽温对喷水扰动的动态特性

负荷(%)	副回路传递函数	主回路传递函数
37	$-5.072/(1+28s)^2$	$1.048/(1+56.6s)^8$
50	$-3.067/(1+25s)^2$	$1.119/(1+42.1s)^7$
75	$-1.657/(1+20s)^2$	$1.202/(1+27.1s)^7$
100	$-0.815/(1+18s)^2$	$1.276/(1+18.4s)^6$

5 仿真研究

该算法已用功能模块(Function Block)编程软件编制好并放入 T640 中.下面给出一些仿真例子,分别用通用的 Ziegler-Nichole 整定法(Z-N)、基于稳定裕度的整定法(SM)、在 SM 基础上加上模糊参数自调整法(SM + FST)3 种方法进行计算.用基于稳定裕度的整定法(SM)及 Z-N 整定法整定出本文中所用的过热汽温系统模型的有关参数分别列于表 3、表 4.

表 3 用基于稳定裕度的整定法(SM)整定出的有关参数

负荷 %	主 回 路									副回路
	最小裕度			适中裕度			最大裕度			XP_s
	XP_n	T_{Im}	T_{Dn}	XP_n	T_{Im}	T_{Dn}	XP_n	T_{Im}	T_{Dn}	
100	97.06	52.55	13.75	109.50	56.92	14.40	123.70	64.00	17.42	4
75	83.09	109.20	35.97	96.46	118.90	28.52	109.43	136.30	30.01	8
50	70.93	179.50	134.40	85.77	199.50	103.40	93.45	241.80	69.78	15

表 4 用 Z-N 整定法整定出的有关参数

负荷 %	主回路			副回路 XP_s
	XP_m	T_{Im}	T_{Dm}	
100	83	94.8	23.7	4
75	91	154.8	38.7	8
50	85	240.0	60.1	15

图 2 给出了汽温串级控制系统中分别采用的 Ziegler-Nichole 整定法(Z-N)、基于稳定裕度的整定法(SM),在 SM 基础上参数模糊自调法(SM + FST)结构的仿真过程曲线.

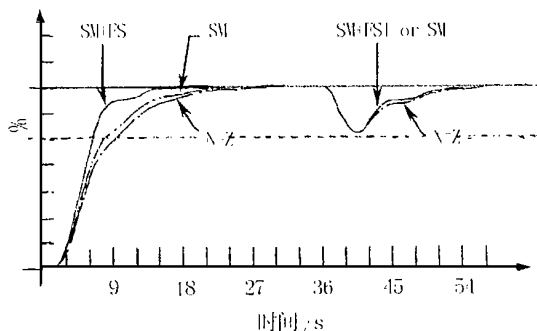


图2 汽温串级控制系统中负荷扰动过程曲线

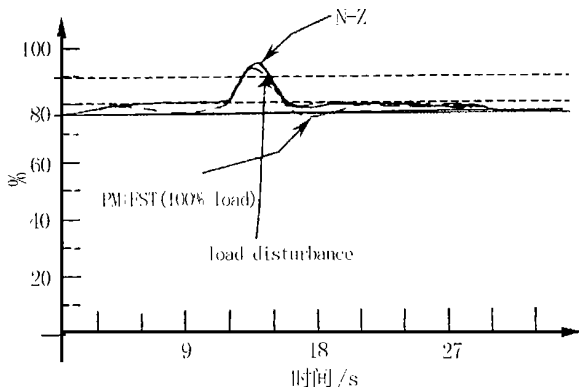


图3 爬升的变负荷过程中加入负荷扰动后的系统响应
(以每分钟 1.67% 速度从 50% 负荷变到 100%)

仿真结果发现,采用给定相角及幅值裕度来整定 PID 控制器的参数是有效的.从闭环响应可以看到采用 SM + FST 的设计方法能得到非常好的控制效果,而采用 Z-N 整定方法系统的响应较慢.其次,我们在爬升的变负荷的过程中加入负荷扰动,系统响应的仿真结果如图 3 所示.说明在这种工况下,采用 SM + FST 控制器比 Z-N 整定方法的控制器,更具有抑制扰动能力.

6 结 论

采用一种基于给定稳定裕度来整定控制参数 (SM),具有模糊参数自调整 (FST) 及模糊粗调 (FRT) 的模糊自适应 PID 控制. SM + FST + FRT 无论对于大负荷变化,还是对于设定值及负荷扰动,都有良好的闭环响应特性,即合理的超调量和较短的调整时间.

参考文献:

- [1] 李晓枫.在分散控制系统上实现的 PID 参数模糊自调整控制[J].工业仪表与自动化装置,2000,(5):31~34.
- [2] LEE Xiao-feng. Application of The Fuzzy Adaptive PID to A Power Plant[J]. IFAC Symposium on Power Plant and Power Systems Control 2000. 2000. 26~29.
- [3] 范永胜,徐治皋,陈来九.基于动态特性热力分析的锅炉过热汽温自适应模糊控制系统研究[J].中国电机工程学报,1997,23~28.

Fuzzy Self-adjusting PID Control Applied to Cascade Control System

HE Yi¹, LI Xiao-feng²

(1. Zhanjiang Power Plant, Zhanjiang 524000, China; 2. Guangdong Power Test and Institute, Guangzhou 510600, China)

Abstract: In this paper, a new tuning method based on the specified margin is proposed to determine the parameters of the new fuzzy self-adjusting PID controllers, which are used for control of superheated steam temperatures, and to cope with the situation of modern power plants with working condition changing frequently and strong steam temperature dynamic time-varying nonlinear property. Using the fuzzy inference method, the PID parameters can adaptively be adjusted on line for varying the state of the system and changing the operating condition. The basic ideas are illustrated by some simulations.

Key words: cascade control; fuzzy parameter self-adjusting PID; superheated steam temperature control system