

文章编号: 1005—0523(2004)04—0078—04

PID 智能模糊自整定控制器设计及其应用

占自才

(华东交通大学 电气电子工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要:在生产过程中, 工况变化频繁、扰动剧烈、存在严重时变性的特点, 特别是在设备维修后开车时间更是如此. 本文提出了用智能模糊 PID 自整定控制器来替代生产过程中的常规 PID 控制器, 全面阐述了其结构组成及其设计过程, 并根据生产需要设计出该控制器且应用于实际生产过程中, 取得了良好的效果与经济效益.

关 键 词:输出特性; 给定稳定裕度的 PID 参数带; PID 参数模糊自整定; 时变性; 串级控制

中图分类号: TH215

文献标识码: A

1 引 言

PID 控制器由于具有结构简单、造价低廉等优点, 现在仍在工业生产的各种控制设备上广泛应用. 由它构成的控制系统能否顺利投入自动, 投入自动的系统能否保证在最佳控制状态下运行, 一直是从事工业过程自动控制技术人员及管理人员棘手的问题. PID 控制器应用上的关键就是参数整定及在线参数调整. 过去它的参数整定是由经验取值预设, 再依据试运行的响应波形做手动调整, 这种做法往往经验多于科学. 这样既费时, 又难以达到最佳的整定值. 尤其是对于复杂的控制系统在开车时控制过程, 控制参数的整定更为困难, 有时几天都很难稳定生产. 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、Astrom 的整定法等等, 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、快速性与鲁棒性之间的矛盾等, 这就使得单一控制参数的系统不能获得最佳的控制效果. 当环境变化, 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. 本文介绍一种适用于多种控制(如单回路控制、串级控制、相互耦合的多回路控制等)的 PID 参数智能模糊自整定控制器, 能较好地解决上述控制中的问题.

2 PID 参数模糊自适应控制器的构造

2.1 组成控制器的硬件结构

现场控制器的基本配置是一个含有处理器、存储器、I/O 基板的控制模块, 具有四通道差分输入、两通道输出, 能完成一般的串级系统控制任务. 由封装在控制模块中的软件模块, 实现受控系统的 PID 参数自整定及 PID 参数模糊自调整的控制.

当需要控制器对更多的测控信号进行控制时, 可以配置各种不同类型 I/O 信号处理扩展模块, 并根据需要选用 Ethernet、Modbus Plus、Interbus 将控制模块与各信号处理模块相连, 构成一个完整的控制器.

此外还可通过插入多种现场总线通讯 (Profibus、Ethernet、FIPIO、Interbus、ControlNet、De-

viceNet、Modbus Plus) 适配模块, 将参数自适应控制器嵌入各种控制设备(如 DCS、PLC、智能仪表等)。

PC 机用于给操作人员提供一个良好的人机界面, 监控 P、I、D 参数的自整定及模糊自调整的过程, 现场控制器与 PC 机之间通过 Modbus 或 Ethernet 网络进行通信。

2.2 基于现场总线的 PID 参数模糊自适应控制器

的软件设计^{[1],[2]}

参数模糊自适应控制软件由 PID 参数整定器及 PID 参数模糊自调整机构两部分组成(如图 1 所示)。其中由改进的 PID 控制器、临界参数检测模块、PID 参数计算模块构成 PID 参数整定器; 由模糊自调整模块、模糊 PID 参数自适应模块构成 PID 参数模糊自调整机构。

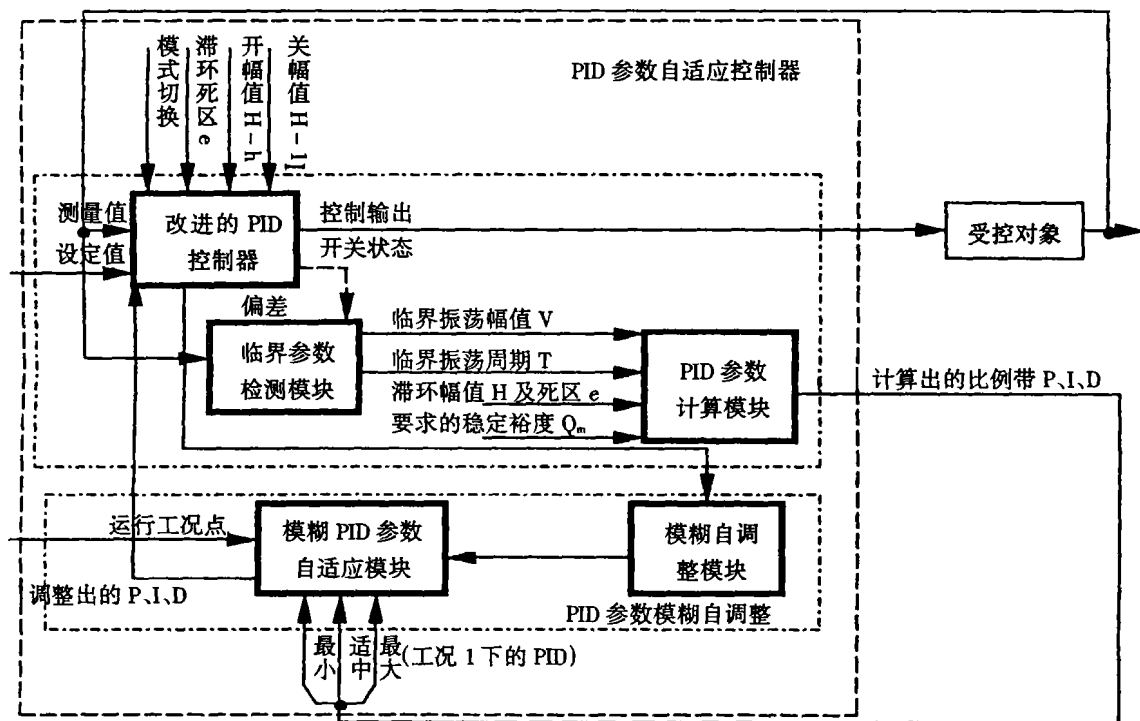


图 1 参数模糊自适应控制器软件模块的构造简图

2.2.1 PID 参数整定器

参数整定器是通过在原 PID 控制器进行改进, 在其上增加滞环继电器型开关控制(即两位控制)方式, 用以使控制系统产生小幅度的临界振荡; 而用检测模块在系统处于两位控制状态下, 获取系统临界参数; PID 参数计算模块用来从模块获得临界参数, 计算出适合于稳定裕度要求的比例带(P)、积分(I)、微分(D)等控制参数, 来完成基于稳定裕度的 P、I、D 参数的整定任务。

PC 计算机通过 RS232 接口与 Modbus 总线相连, 通过在 PC 机上切换控制方式, 控制现场控制器上的 PID 控制器进行两位激励的测试控制, 两位控制会在测量值与设定值的偏差超出滞环宽度时, 输出正负阶跃信号, 改变控制输出方向(由开→关或关→开), 从而引起系统在当前设定值附近产生可控制幅度的振荡, 通过这种控制不断摸索过程的动态特性, 测出系统临界振荡的周期 T 及幅值 V, 这些

系统参数通过 RS232 口传送到 PC 机, 将测得的临界振荡周期和幅值、两位控制的滞环幅值 H 和滞环宽度 e 等参数, 以及所要求的相角稳定裕度 Q_m 和幅值稳定裕度 A_m 等, 通过 PC 机送到 PID 参数计算模块中, 这样现场控制器内的计算模块就能算出、保存所要求稳定裕度的比例带、积分、微分, 并送到 PC 机上显示, 最后将计算出的 P、I、D 参数置入(或通过通信线传送到)数字控制装置中, 就完成了对现有控制装置的参数整定任务。

2.2.2 建立 PID 参数模糊自调整规则库

为了满足在不同误差和误差变化 de 对 PID 参数自整定的要求, 利用模糊控制规则在线对 PID 参数进行修改, 便构成了参数模糊自整定 PID 控制器, 其控制系统的结构如图 2 所示。这种技术的设计思想是先找出 PID 三个参数与误差和误差变化之间的模糊关系, 在运行中通过不断检测 e 和 Δe , 再根据模糊控制原理来对三个参数进行在线修改以满足

在不同 e 和 Δe 时对控制器参数的不同要求,从而使被控对象具有良好的动、静态性能. 根据对已有控制系统设计经验的总结,可以得出 PID 参数 K_p , K_i , K_d 的自整定规律如下:

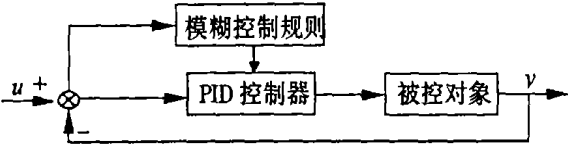


图 2 PID 参数模糊自整定控制系统结构图

- 1) 当 $|e|$ 较大时,应取较大的 K_p 和较小的 K_d (使系统响应加快),且使 $K_d=0$ (避免过大的超调).
- 2) 当 $|e|$ 中等时,应取较小的 K_p (使系统响应具有较小的超调), K_d 和 K_i 适中 (K_d 的取值对系统响应的影响较大).
- 3) 当 $|e|$ 较小时,应取较大的 K_p 和 K_i (使系统响应具有良好的稳态性能), K_d 的取值要适中,以避免在平衡点附近出现振荡.

根据以上分析,对于 PID 参数智能模糊自校正系统的设计可以归结为:取语言变量 $|e|$ 和 $|\Delta e|$ 的语言值为“大”、“中”、“小”,其隶属度函数分别用图 3、图 4 来表示.

其中隶属度函数的几个主要参数 e_1 、 e_2 、 e_3 、 de_1 、 de_2 、 de_3 可以根据不同情况进行调整以提高 PID 控制器的总体控制性能. 依据 $|e|$ 和 $|\Delta e|$ 的不同组合状态,其模糊 PID 参数自调整的规则库可以有不同种类. 下例给出某种组态下的规则库:

规则 1:如果 $|e|$ 是大,则 $K_{p1}=K'_{p1}$, $K_{i1}=0$, $K_{d1}=0$;

规则 2:如果 $|e|$ 是中且 $|\Delta e|$ 是大,则 $K_{p2}=K'_{p2}$, $K_{i2}=0$, $K_{d2}=K'_{d2}$;

规则 3:如果 $|e|$ 是中且 $|\Delta e|$ 也是中,则 $K_{p3}=K'_{p3}$, $K_{i3}=0$, $K_{d3}=K'_{d3}$;

规则 4:如果 $|e|$ 是中且 $|\Delta e|$ 是小,则 $K_{p4}=K'_{p4}$, $K_{i4}=0$, $K_{d4}=K'_{d4}$;

规则 5:如果 $|e|$ 是小,则 $K_{p5}=K'_{p5}$, $K_{i5}=K'_{i5}$, $K_{d5}=K'_{d5}$;

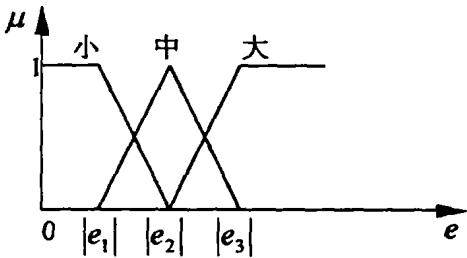


图 3 语言变量误差的隶属度函数

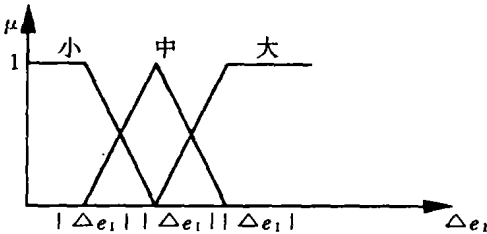


图 4 语言变量误差变化的隶属度函数

其 $K'_{p1}-K'_{p5}$ 、 $K'_{i1}-K'_{i5}$ 、 $K'_{d1}-K'_{d5}$ 分别是在不同状态下对于参数 K_p 、 K_i 、 K_d 用常规 PID 参数整定法得到的整定值.

同理可以依据 $|e|$ 和 $|\Delta e|$ 的不同组态得到不同的模糊 PID 参数自调整规则库.

3 应用实例与结论(图 5)

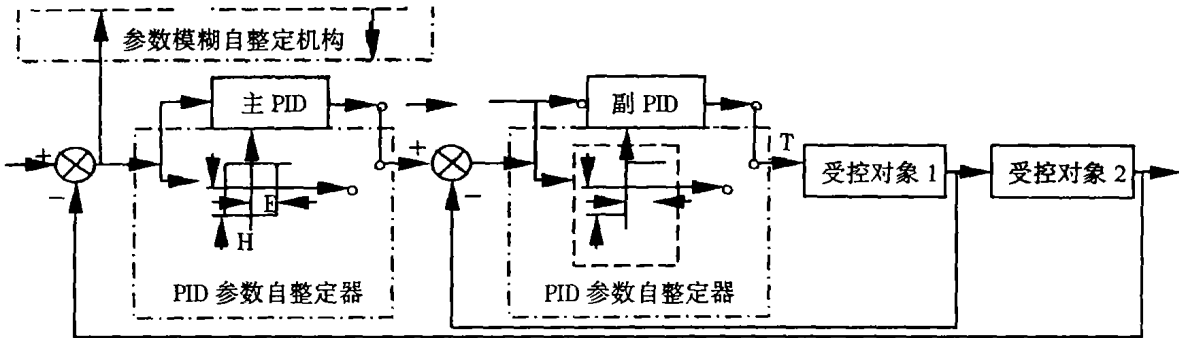


图 5 在合成塔中温常规控制系统上加入 PID 参数模糊自适应控制器的构造框图

本方案的一个应用例子是某化工企业合成塔中温控制系统,该合成塔中温是非常重要的参数,直接影响到合成树脂的质量,采用的是塔顶温度组成的串级控制系统。

合成塔中温是一个具有大时延、多容大惯性的受控对象,通过其动态特性实验结果可以看出该对象具有明显的滞后特性,因此对该对象的控制比较困难。影响中温稳定的主要因素有:①循环水工况不稳定,催化媒状况内扰动频繁且扰动量较大,影响中温度变化较快;③外部扰动(如注入料波动、合成塔压力波动、水位波动、给水温度及流量变化等)变化频繁且扰动量较大,致使中温长期不能稳定;④由于参数整定不当引起一、二级控制量不匹配,使得内扰较大,造成中温在外扰较小时仍偏离设定值较大。

采用本方案的这个中温受控过程,由于受塔顶温度影响较大,为了易于控制,有两级串级控制系统。图6、7分别给出了合成塔中温与顶温在常规PID参数整定下与PID参数模糊智能自整定下的控制效果对比图。从图中可以看出,后者比前者的控制效果要好。

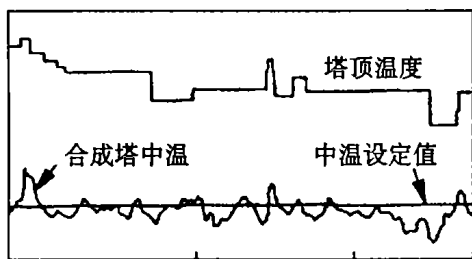


图6 常规控制人口PID整定的中温曲线图

实际上,本控制器的PID参数智能模糊自整定控制器还成功地用于燃煤电厂中储式制粉系统有

关的控制回路^{[3]、[4]}。制粉系统的控制是一个涉及三入三出的多变量控制问题。运用本控制器后,系统能控制各运行参数自动适应各种干扰及调控指令的变化,完成解耦的控制任务,确保球磨机稳定地运行在给定的工作点上,不会造成差压、料位的波动;温度、负压的调控也能很好地维持参数的稳定。突破了长期以来不能投球磨机自动的局面,降低了球磨机的耗电量,经济效益显著。可以预见,模糊智能控制在今后的生产过程控制中将会得到更为广泛的应用。

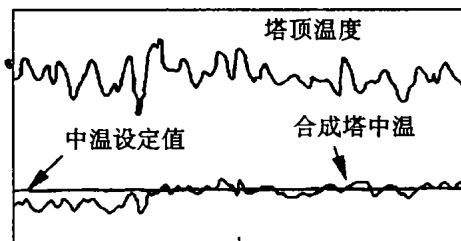


图7 PID智能模糊自整定控制的中温曲线图

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 [A]. IFAC Symposium on Power Plant and Power Systems Control 2000, Brussels, Belgium, 2000, 26~29.
- [3] 李晓枫. 模糊自寻优控制系统及工业应用[J]. 化工自动化及仪表, 2001, (2): 27.
- [4] Lee Xiao-Feng. Novel Design Method for the Ball Mill Pulverizing System Based On Fuzzy Reasoning and Auto-Tuning PID Control [A]. IFAC Conference on New Technologies for Computer Control 2001, HongKong, China, 2001, 19~22.

Designs and Application of Intelligent and Fuzzy PID Adaptive Contoller

ZHAN Zi-cai

(School of Electrical and Electronic Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013 China)

Abstract: In the productive process china, the working condition changes frequently, especially after equipment reparation. This paper designs a kind of intelligent and fuzzy PID adaptive controller to replace common controller, which brings good efficiency and profits in practice.

Key words: output characteristic; fuzzy self-tuning; PID; parameter control; time variability; serial control